

研 究 報 告

第18巻 第1号(通巻第30号)

昭和57年8月(1982)

目 次

1. 接合カムの第4,5曲線をインポリユートとする研究(第1報) —単弦曲線接合カムと双曲線接合カム—	糸 島 寛 典	1
2. 対数螺線接合カムの研究(第1報)—往復従動節—	糸 島 寛 典	15
3. Elastic Deformation of Floating HooP Retaining Planet Gears	灘 野 宏 正	37
4. 自動分割方式を使用したF・E・Mによる歯の応力分布	野 原 稔	47
5. 蛍光ランプ照明と疲労の研究	原 田 一 彦	55
6. 呉高専電子計算機室の実態と分析(第2報)	村 上 滋 樹 町 田 勝 吉	59
7. SF ₆ ガス中、及び空気とSF ₆ との混合ガス中での沿面せん絡特性	若 宮 正 明	65
8. 気体中の沿面せん絡特性	若 宮 正 明	71
9. 中空陰極放電の実験的研究I	山 崎 勉	79
10. 長い打撃棒による梁の横衝撃	久 良 喜代彦	87
11. 透水系数測定に及ぼす要素について	石 井 義 明	97
12. 三次元弾性論による平板の曲げ理論の検討	丸 上 晴 朗	103
13. 爆発エネルギーによる貫入試験とマサ地盤の土性	西 村 光 正	119
14. Coupled Roomの音のエネルギー分布	藤 井 健 緒 方 信一郎	129
15. 軟弱地盤の常時微動による振動性状	門 前 勝 明 後 迫 上 幸 茂 壇 本 幸 昌 山 本 徳 王 杵 本 弘 二	137
16. 春秋正義訳註(五)		202
昭和56年度本校教官による他誌発表論文一覧表		203

接合カムの第4, 5曲線を インボリュート曲線とする研究(第1報) ——単弦曲線接合カムと双曲線接合カム——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Connective Cam by using the Involute Curve
for the 4th, 5th Curve of the Cam Profile (1st Report)
--- Sine Curve and Hyperbolic Connective Cam ---

Hironori ITOSHIMA

If the 4th curve of the connective cam has the involute curve, then the maximum value of the negative acceleration of the follower is the low value.

If the 5th curve of the connective cam has the involute curve, then the acceleration in the stoped point in each stroke of the cam can be zero.

In this paper, the involute curve is used in the 4th and 5th curve of the sine curve or the hyperbolic connective cam. The motion of the offset circular arc follower, the pressure angle and the specific sliding of the cam are analysed, the best cam is designed.

§ 1 緒 言

接合カムについてはインボリュート曲線¹⁾、橢円²⁾、放物線³⁾、双曲線⁴⁾、単弦曲線⁵⁾を前報に論じて来たが、カムの各行程の輪郭上の5つの曲線の作用角を指定し、第5の曲線の縮閉線がカムの回転中心に来るようにカムの寸法を選定することが、インボリュート接合カムの場合を除いて最大の困難な点であったが、この第5の曲線をインボリュート曲線とすれば設計が非常に容易になることがわかった。

本報告においては単弦曲線接合カムと双曲線接合カムにおいて第4,5の曲線をインボリュート曲線とする場合の円弧往復従動節について運動を解析し、最良の設計法を述べる。

§ 2 記 号

a : 単弦曲線(双曲線)の x 軸方向の寸法

b : 単弦曲線(双曲線)の y 軸方向の寸法

Σ : カムの作用角($=\alpha+\beta+\gamma+\tau_1+\tau_2$)

α : 第1曲線(単弦曲線, 双曲線)の作用角

τ_1 : 第2曲線(円弧)の作用角

β : 第3曲線(単弦曲線, 双曲線)の作用角

τ_2 : 第4曲線(インボリュート曲線)の作用角

r : 第5曲線(インボリュート曲線)の作用角

θ_d : 上昇点における停留角

θ_e : 下降点における停留角

u : 第4インボリュート曲線の基礎円半径

r_g : 第5インボリュート曲線の基礎円半径

$dh/d\theta$: 従動節の速度係数

$d^2h/d\theta^2$: 従動節の加速度係数

R_0 : カムの基礎円半径

ρ_T : カムの輪郭の曲率半径

r : 従動節の円弧半径 e : 従動節のかたより量 ω : カムの角速度 ϕ : 押進め角 t : カムの高さ ε : カムのパラメーター θ : カムの回転角 H : 従動節のリフト h : 従動節の変位 σ_1 : カムの滑り率 σ_2 : 従動節の滑り率

§ 3 単弦曲線接合カムの場合

前報⁵⁾において第3の単弦曲線の代りにインボリュート曲線を使用して往き行程の終点の縮閉線の終点をカムの回転中心に来るようにして、終点の加速度を零にする方法で、図1において曲線 $F_2 F_3$ は第2単弦曲線の縮閉線で、 β により、 $F_2 F_3$ 上の G 点が定まる。 G 点における法線上に u (第4インボリュート曲線の基礎円半径) の半径で中心 V をとり、 V を中心として円弧 GW を引く。 G, V 点の XY 座標が与えられているものとする。第5曲線の基礎円 WO を S を中心とし、半径 r_g の円弧とす。

カムの行程の作用角 Σ が与えられているので、 F 点を往き行程のカムの輪郭の終点とすれば SO は FO に垂直だから、 WV と OS の交点を S とすれば WS はかならずしも OS に等しくないで、第4の作用角 τ_2 は変えないで、 u の長さを変えて $WS = OS$ にする。直線 VS の水平線の傾斜角を Δ とす。 S 点の XY 座標は X_s, Y_s だから

$$Y_s = X_s \tan(\Sigma - 90^\circ), \quad Y_s - Y_v = \tan \Delta (X_s - X_v) \quad \dots\dots\dots (1), (2)$$

となる。式(1)を式(2)に代入すれば X_s, Y_s は V 点の座標 X_v, Y_v と Δ で示される。

$$X_s = \frac{Y_v - X_v \tan \Delta}{\tan(\Sigma - 90^\circ) - \tan \Delta}, \quad Y_s = \frac{(Y_v - X_v \tan \Delta) \tan(\Sigma - 90^\circ)}{\tan(\Sigma - 90^\circ) - \tan \Delta} \quad \dots\dots\dots (3), (4)$$

よって $\overline{OS} = r_g = \sqrt{X_s^2 + Y_s^2}$ から式(3), (4)を代入すれば次式となる。

$$\overline{OS} = r_g = \frac{Y_v - X_v \tan \Delta}{\sin(\Sigma - 90^\circ) - \tan \Delta \cos(\Sigma - 90^\circ)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

次に $\overline{WS} = u + \overline{VS} = u + \sqrt{(X_s - X_v)^2 + (Y_s - Y_v)^2}$ から、これに式(3), (4)を代入すれば次式となる。

$$\overline{WS} = u + \frac{Y_v - X_v \tan(\Sigma - 90^\circ)}{\cos \Delta (\tan(\Sigma - 90^\circ) - \tan \Delta)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{ただし } \Delta = \Sigma - 90^\circ - \tau, \quad \Sigma - 90^\circ = \Delta + \tau \quad \dots\dots\dots (7)$$

式(5), (6)の右边を等しくおけば u は次式となる。

$$u = \{X_v (\sin(\Delta + \tau) - \sin \Delta) + Y_v (\cos \Delta - \cos(\Delta + \tau))\} / \sin \tau \quad \dots\dots\dots (8)$$

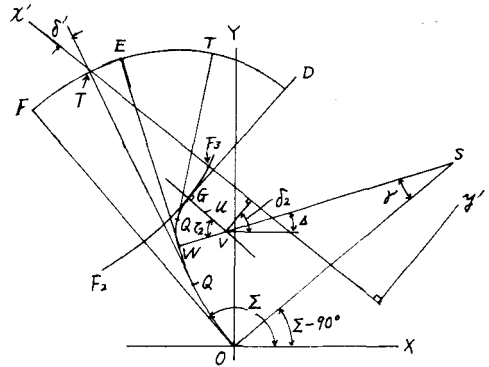


図1 第4, 5曲線の基礎円半径 u, r_g の決定

3.1 u の決定

前報⁵⁾において V 点の $x'y'$ 座標への変換, $x'y'$ 座標の xy 座標への変換, xy 座標の XY 座標への変換は次式のようになる。

前報⁵⁾の式(101), (99), (42)より

$$x_v' = x_D' - \rho_D \cos \delta_D - u \sin \delta_D, \quad y_v' = y_D' - \rho_D \sin \delta_D + u \cos \delta_D \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\delta_D = \delta_A + \alpha - \beta, \quad x_D' = a \cos K_D, \quad y_D' = (2b/\pi) K_D, \quad \sin K_D = (2b/\pi a) \tan \delta_D \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\rho_D = 4b^2/(\pi^2 x_D' \cos^3 \delta_D) \quad \dots\dots\dots (11)$$

が得られ, 前報⁵⁾の式(48), (47), (29)~(33)より

$$\left. \begin{aligned} x_v &= -m + (x_v' + m) \cos(2\delta_B + \tau_1) + y_v' \sin(2\delta_B + \tau_1) \\ y_v &= (x_v' + m) \sin(2\delta_B + \tau_1) - y_v' \cos(2\delta_B + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\delta_B = \delta_A + \alpha, \quad x_B = a \cos K_B, \quad y_B = (2b/\pi) K_B, \quad \sin K_B = (2b/\pi a) \tan \delta_B \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$x_{F2} = x_B - \rho_B \cos \delta_B, \quad y_{F2} = y_B - \rho_B \sin \delta_B, \quad \rho_B = 4b^2/(\pi^2 x_B \cos^3 \delta_B) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$m = y_{F2}/\tan(\delta_B + \tau_1/2) - x_{F2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

となる。次に前報⁵⁾の式(56), (22), (23), (19), (21)より次式が得られる。

$$X_V = q - (p - x_v) \cos \delta_A + y_v \sin \delta_A, \quad Y_V = (p - x_v) \sin \delta_A + y_v \cos \delta_A \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$p = x_A - y_A/\tan \delta_A, \quad q = R_0 - y_A/\sin \delta_A \quad \dots\dots\dots (17), (18)$$

$$x_A = a \cos K_A, \quad y_A = (2b/\pi) K_A, \quad \sin K_A = (2b/\pi a) \tan \delta_A \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$R_0 = 4b^2/(\pi^2 x_A \cos^3 \delta_A) \quad \dots\dots\dots (20)$$

次に式(9)を式(12)に代入し, 得られた x_v, y_v を式(16)に代入して整理すれば

$$\begin{aligned} X_V &= q - p \cos \delta_A - m \cos \delta_A + m \cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) + x_D' \cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) \\ &\quad + y_D' \sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) - \rho_D \cos(\alpha + \beta + \tau_1) + u \sin(\alpha + \beta + \tau_1) \quad \dots\dots\dots (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_V &= p \sin \delta_A + m \sin \delta_A + m \sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) + x_D' \sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) \\ &\quad - y_D' \cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) - \rho_D \sin(\alpha + \beta + \tau_1) - u \cos(\alpha + \beta + \tau_1) \quad \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

式(21), (22)を式(8)に代入して u を求めれば次式のようになる。

$$\begin{aligned} &q\{\sin(\delta + \tau) - \sin \delta\} + (p + m)\{\sin(\delta + \delta_A) - \sin(\delta + \delta_A + \tau)\} \\ &+ (m + x_D')\{\sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \delta) - \sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \delta - \tau)\} \\ &- y_D'\{\cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \delta) - \cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \delta - \tau)\} \\ &- \rho_D\{\sin(\alpha + \beta + \tau_1 - \delta) - \sin(\alpha + \beta + \tau_1 - \delta - \tau)\} \\ u &= \frac{\sin \tau + \cos(\alpha + \beta + \tau_1 - \delta) - \cos(\alpha + \beta + \tau_1 - \delta - \tau)}{\sin \tau + \cos(\alpha + \beta + \tau_1 - \delta) - \cos(\alpha + \beta + \tau_1 - \delta - \tau)} \quad \dots\dots\dots (23) \end{aligned}$$

X_V, Y_V は式(21), (23)で, r_g は式(5)で求まる。

3.2 第4曲線(インボリュート曲線) DE ($\alpha + \tau_1 + \beta \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2$)

式(9)より x_v', y_v' を求めれば第4のインボリュート曲線上の点 T の $x'y'$ 座標は図1から

$$\delta' = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon, \quad \rho_T = \rho_D + u(\varepsilon - \alpha - \beta + \tau_1) \quad (24), (25)$$

$$x_T' = \rho_T \cos \delta' + u \sin \delta' + x_V', \quad y_T' = \rho_T \sin \delta' - u \cos \delta' + y_V' \quad (26)$$

となり、縮閉線である円弧 GW は次式となる。

$$x_Q' = x_V' + u \sin \delta', \quad y_Q' = y_V' - u \cos \delta' \quad (27)$$

これを式(12)の x', y' に代入して X_T, Y_T, X_Q, Y_Q を求めれば第4インボリュート曲線と基礎円 V が描かれる。

3.3 第5インボリュート曲線 EF ($\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 \leq \varepsilon \leq \Sigma$)

図1において第5インボリュート曲線の縮閉線の円弧 WO 上に Q 点の接線 QT が x' の交角を δ' とすれば

$$\delta' = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon, \quad \rho_T = \rho_D + u\tau_2 + r_g(\varepsilon - \alpha - \beta - \tau_1 - \tau_2) \quad (28), (29)$$

から、円弧 WO の中心 S の $x'y'$ 座標は V 点より x' 軸の垂線と VS の交角は $\delta_D - \tau_2$ だから

$$x_S' = x_V' - (r_g - u) \sin(\delta_D - \tau_2), \quad y_S' = y_V' + (r_g - u) \cos(\delta_D - \tau_2) \quad (30)$$

となる。第5インボリュート曲線上の T 点の $x'y'$ 座標は次式となる。

$$x_T' = \rho_T \cos \delta' + r_g \sin \delta' + x_S', \quad y_T' = \rho_T \sin \delta' - r_g \cos \delta' + y_S' \quad (31)$$

円弧 WO 上の Q 点の $x'y'$ 座標は

$$x_Q' = x_S' + r_g \sin \delta', \quad y_Q' = y_S' - r_g \cos \delta' \quad (32)$$

となり、カムの輪郭も縮閉線が描かれる。

3.4 t の決定

図1よりカムの高さ t は $t = OF - R_0$ だから

$$t = \rho_D + u\tau_2 + r_g r - R_0 \quad (33)$$

となるので、 $t=1$ にするためには a, b, R_0, r_g, u の値を t で割って再び a, b, R_0, r_g, u とすればよい。表1は $\Sigma = 120^\circ, \alpha, \beta, \gamma, \tau_1, \tau_2, a/b, \delta_A$ を与えて a, b, u, r_g, R_0 を求めたものである。

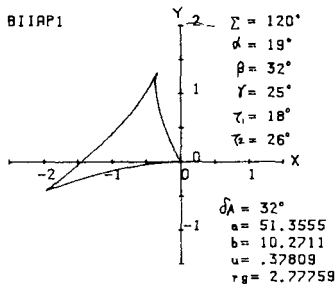


図2 単弦曲線接合カムの表1-2例B0の縮閉線

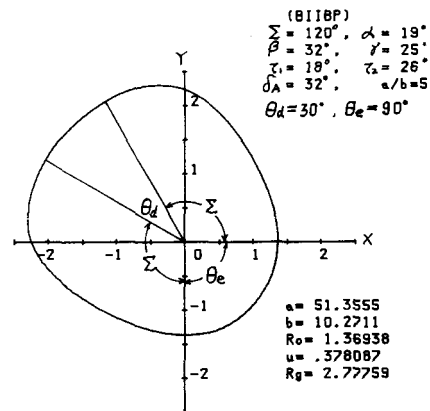


図3 単弦曲線接合カム(例B0)のカムの輪郭

3.5 計算例

図2は表1-2の例B0のデータで描いたカムの往き行程の輪郭の縮閉線で第5の縮閉線は原点Oに一致する。図3はこの場合のカムの全輪郭を示す。ただし上昇停留角 $\theta_d = 30^\circ$ である。

§4 往復従動節の運動

前報⁵⁾において第1単弦曲線, 円弧, 第2単弦曲線, インボリュート曲線, 第3単弦曲線の場合の円弧, 往復従動節の運動すなわち変位, 速度, 加速度に対して前報⁵⁾の式(74), (77), (79), (93), (94)が成立し, 次式で示される。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{e}{\sqrt{X_M^2 + Y_M^2}} - \tan^{-1} \frac{X_M}{Y_M} \quad \left. \vphantom{\theta = \cos^{-1} \frac{e}{\sqrt{X_M^2 + Y_M^2}} - \tan^{-1} \frac{X_M}{Y_M}} \right\} \dots\dots\dots (34)$$

ただし, $X_M = X_T + r \cos \varepsilon$, $Y_M = Y_T + r \sin \varepsilon$

表1-1 $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 17.5^\circ$, $\beta = 27.5^\circ$, $\gamma = 22.5^\circ$, $\tau_1 = 25^\circ$, $\tau_2 = 27.5^\circ$
 $a/b = 5.7647$, $t = 1$

δ_A°	u	r_g	a	b	R_0	例
26	.09691	3.28484	109.10200	18.92590	1.83523	A
27	.09219	3.28713	101.07000	17.53260	1.74533	
28	.08550	3.29029	93.52690	16.22410	1.65993	
29	.07695	3.29427	86.43890	14.99450	1.57861	
30	.06656	3.29911	79.77760	13.83900	1.50100	

表1-2 $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 19^\circ$, $\beta = 32^\circ$, $\gamma = 25^\circ$, $\tau_1 = 18^\circ$, $\tau_2 = 26^\circ$
 $a/b = 5$, $t = 1$

δ_A°	u	r_g	a	b	R_0	例
28	.43901	2.75298	71.41900	14.28380	1.68588	B 2
29	.42772	2.75763	65.91960	13.18390	1.60126	B 1
30	.41368	2.76331	60.75360	12.15070	1.52047	
31	.39705	2.77001	55.90360	11.18070	1.44324	B 0
32	.37809	2.77759	51.35550	10.27110	1.36938	
33	.35685	2.78607	47.09160	9.41831	1.29861	

表1-3 $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 18^\circ$, $\beta = 32^\circ$, $\gamma = 25^\circ$, $\tau_1 = 18^\circ$, $\tau_2 = 27^\circ$
 $a/b = 2$, $t = 1$

δ_A°	u	r_g	a	b	R_0	例
20	.70561	2.54626	22.31810	11.15910	2.74369	C 2
25	.76992	2.52266	15.29510	7.64756	2.10506	C 0
30	.71524	2.54697	10.15620	5.07808	1.61175	
35	.57824	2.60470	6.42789	3.21395	1.21546	
37	.50496	2.63537	5.25656	2.62828	1.07702	C 1
40	.37736	2.68870	3.78921	1.89461	0.88626	

$$h = \eta_M - k = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta + r \cos(\theta - \varepsilon) - k \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$\text{ただし, } k = \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2}$$

$$\frac{dh}{d\theta} = \eta_M \tan(\theta - \varepsilon) + e, \quad \frac{d\varepsilon}{d\theta} = \frac{\eta_M}{(\rho_T + r) \cos(\theta - \varepsilon)} \quad \dots\dots\dots (36), (37)$$

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{dh}{d\theta} \tan(\theta - \varepsilon) + \frac{\eta_M}{\cos^2(\theta - \varepsilon)} \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\theta} \right) \quad \dots\dots\dots (38)$$

4.1 押進め角と滑り率

前報⁵⁾の式(72), (95)~(97)により押進め角 ϕ は

$$\phi = \theta - \varepsilon \quad \dots\dots\dots (39)$$

となり, カムと従動節の滑り率 σ_1 と σ_2 は次式となる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \frac{\overline{TP}}{r + \overline{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots\dots (40)$$

$$\text{ただし, } \overline{TP} = \eta_M / \cos \phi - r$$

4.2 計算例

図4は表1-1の例Aで $e = 0$, 往復従動節の円弧半径 $r = 1 \sim 5$ に変化された場合の加速度係数 $d^2h/d\theta^2$ をカムの回転角 θ に対して描いたもので, 行程の終点の加速度は正確に零とすることができる。 r の増加によって正の加速度の頂きを水平にすることができる。負の最大加速度も減少させることができるが, u の値が小さいため負の加速度の頂きは傾斜している。 $e = 0$ だから行き行程のみ示す。

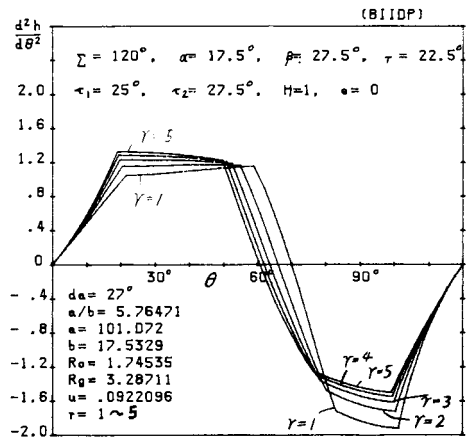


図4 r の変化による単弦曲線の表1-1, 例Aの場合の加速度曲線

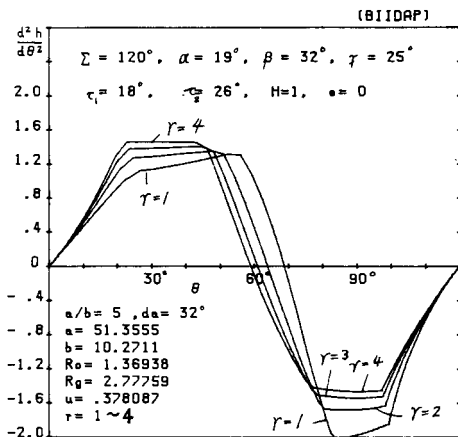


図5 r の変化による表1-2, 例B0の加速度曲線

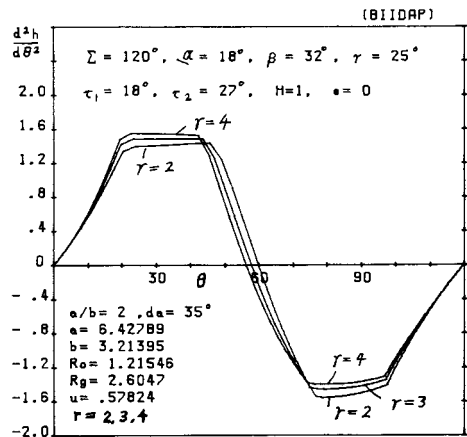


図6 r の変化による表1-3, 例C0の加速度曲線

図5は表1-2の例B0のデータで、 $e=0$ ， $r=1\sim4$ の場合の加速度曲線を θ に対して示す。 $r=4$ で正負の加速度曲線の頂きを共に水平にし、その絶対値を等しくさせることができた。これは u の値が適切だったことを示す。

図6は表1-3の例C0のデータで、 $e=0$ ， $r=2, 3, 4$ の場合の加速度曲線を θ に対して示す。 u が少し大きいせいで負の加速度曲線の頂きは図4とは逆に傾斜し、 r の変化に対し水平とならぬ。

図7は表1-2の例B0の $r=4$ の場合の従動節の運動をカムの回転角 θ に対して示す。 $d^2h/d\theta^2_{\max} \approx \pm 1.46$ となり、最適である。図8はこの場合の ϕ, σ_1, ρ_r と $d^2h/d\theta^2$ を ϵ に対して示す。 $\phi_{\max} \approx 10^\circ$ ， $\sigma_{1\max} \approx 1.79$ で理想的である。図9はこの場合のカムの輪郭と縮閉線を示す。ただし上昇停留角 $\theta_d = 30^\circ$ にしてある。輪郭は滑らかで、縮閉線の終点は原点に一致している。図10はこの場合の円弧従動節の滑り率 σ_2 を円弧上の位置 $r\phi$ について示す。接触の両端では $\sigma_2 = \infty$ であるが、中央は均一で約2になる。

§5 双曲線接合カムの場合

前報⁴⁾と図1において曲線 F_2F_3 を第2双曲線の縮閉線とすれば単弦曲線の場合と全く同様に作用角 $\Sigma, \alpha, \beta, \gamma, \tau_1, \tau_2$ が指定されれば式(7)より A が決まる。図1のG点の x_G', y_G' は前報⁴⁾の式(29)～(32)により次式となる。

$$\delta_D' = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - (\alpha + \tau_1 + \beta) = \delta_A + \alpha - \beta \quad \dots\dots\dots (41)$$

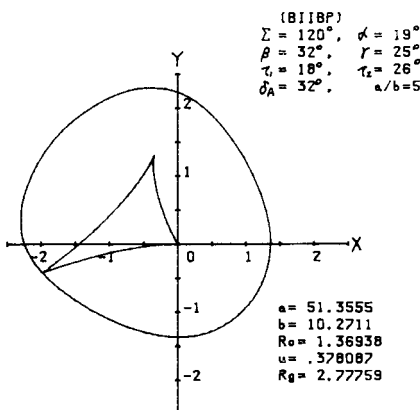


図9 表1-2例B0のカムの輪郭と縮閉線

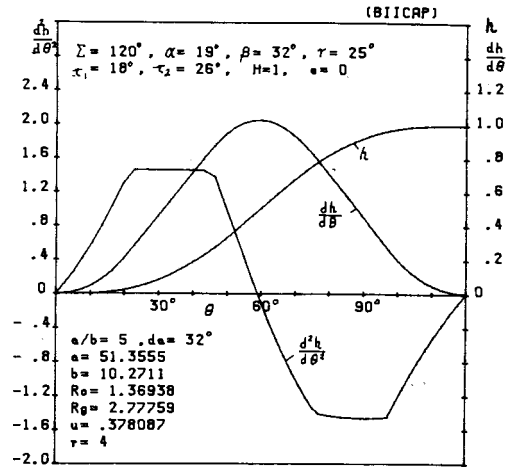


図7 表1-2例B0の $r=4$ の運動

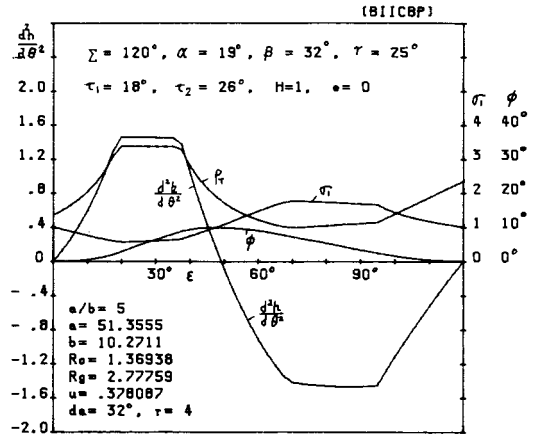


図8 図7の場合の $\phi, \sigma_1, \rho_r, d^2h/d\theta^2$

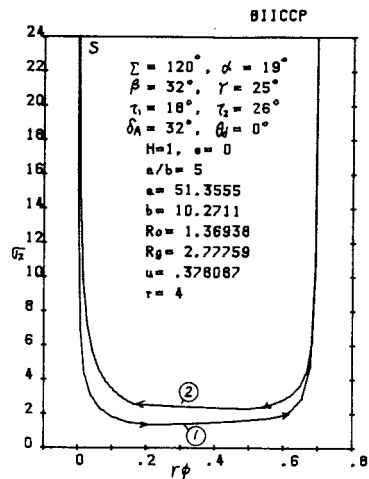


図10 表1-2例B0の円弧従動節の滑り率 σ_2

$$x_{D'} = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_{D'}}}, \quad y_{D'} = \frac{b^2 \tan \delta_{D'}}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_{D'}}}, \quad \rho_D = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta_{D'}}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_{D'}} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (42), (43)$$

$$x_{G'} = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_{D'})^3, \quad y_{G'} = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_{D'})^3 \quad (44)$$

前報⁴⁾の式(41), (54)より x_G, y_G は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} x_G &= m - (m - x_{G'}) \cos(2\delta_B + \tau_1) - y_{G'} \sin(2\delta_B + \tau_1) \\ y_G &= (m - x_{G'}) \sin(2\delta_B + \tau_1) - y_{G'} \cos(2\delta_B + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

$$\delta_B = \delta_A + \alpha, \quad m = x_P + y_P / \tan(\delta_B + \tau_1/2) \quad (46)$$

ただし, x_P, y_P は前報⁴⁾の式(23)~(25)で求まる。 X_G, Y_G は

$$X_G = g - (x_G - c) \cos \delta_A + y_G \sin \delta_A, \quad Y_G = (x_G - c) \sin \delta_A + y_G \cos \delta_A \quad (47)$$

$$g = R_0 - b^2 / (\cos \delta_A \sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_A}), \quad c = (a^2 + b^2) / \sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_A} \quad (48), (49)$$

となり, G 点の XY 座標は求まる。

5.1 第4インボリュート曲線 DE ($\alpha + \tau_1 + \beta \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2$)

図11において第4曲線のインボリュートの半径 u の基礎円の中心 V の XY 座標は前報⁴⁾の式(94), (96)より次式となる。

$$x_{V'} = x_{D'} + \rho_D \cos \delta_D + u \sin \delta_D, \quad y_{V'} = y_{D'} - \rho_D \sin \delta_D + u \cos \delta_D \quad (50)$$

$$\delta_D = \delta_A + \alpha - \beta \quad (51)$$

次に式(44), (45)の $x_{G'}, y_{G'}$ の代りに $x_{V'}, y_{V'}$ を代入すれば x_V, y_V が求まるので式(47)の x_G, y_G の代りに x_V, y_V を代入すれば X_V, Y_V が求められる。

インボリュート曲線は ε が与えられれば

$$\delta' = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon, \quad \rho_T = \rho_D + u(\varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta) \quad (52), (53)$$

となる。ただし ρ_D は式(43)で与えられる。インボリュートの輪郭は

$$x_{T'} = x_{V'} - \rho_T \cos \delta' - u \sin \delta', \quad y_{T'} = y_{V'} + \rho_T \sin \delta' - u \cos \delta' \quad (54)$$

となり, 基礎円の円弧の座標 $x_{Q'}, y_{Q'}$ は

$$x_{Q'} = x_{V'} - u \sin \delta', \quad y_{Q'} = y_{V'} - u \cos \delta' \quad (55)$$

となり, 式(44), (47)により $x_{T'}, y_{T'}$ は X_T, Y_T に, $x_{Q'}, y_{Q'}$ は X_Q, Y_Q に座標変換すればカムの輪郭とその縮閉線の円弧 GW は求められる。

5.2 第5インボリュート曲線 EF ($\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 \leq \varepsilon \leq \varepsilon$)

図1により式(23)と同様に u が求められる。ただし p の代りに c を用いる。

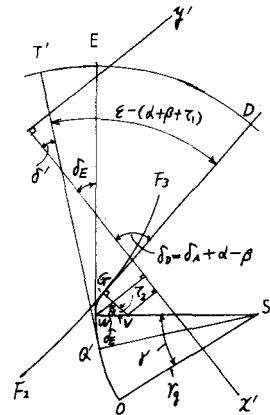


図11 双曲線の場合の第4, 5曲線

$$u = \frac{g\{\sin(\delta + \gamma) - \sin \delta\} + (m - c)\{\sin(\delta + \delta_A) - \sin(\delta + \delta_A + \gamma)\} + (m - x_D')\{\sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \delta) - \sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \delta - \gamma)\} - y_D'\{\cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \delta) - \cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \delta - \gamma)\} - \rho_D\{\sin(\alpha + \beta + \tau_1 - \delta) - \sin(\alpha + \beta + \tau_1 - \delta - \gamma)\}}{\sin \gamma + \cos(\alpha + \tau_1 + \beta - \delta) - \cos(\alpha + \tau_1 + \beta - \delta - \gamma)} \quad (56)$$

$$\text{ただし, } \delta = \Sigma - 90^\circ - \gamma \quad (57)$$

$$X_V = g + (c - m)\cos \delta_A + (m - x_D')\cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) + y_D'\sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) - \rho_D\cos(\alpha + \beta + \tau_1) + u\sin(\alpha + \beta + \tau_1) \quad (58)$$

$$Y_V = (m - c)\sin \delta_A + (m - x_D')\sin(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) - y_D'\cos(\delta_A + 2\alpha + \tau_1) - \rho_D\sin(\alpha + \beta + \tau_1) - u\cos(\alpha + \beta + \tau_1) \quad (59)$$

X_V, Y_V が求まれば式(5)により r_g が求まる。

$$r_g = \frac{Y_V - X_V \tan \delta}{\sin(\delta + \gamma) - \tan \delta \cos(\delta + \gamma)} = \frac{Y_V \cos \delta - X_V \sin \delta}{\sin \gamma} \quad (60)$$

図11において第5インボリュート曲線の縮閉線の円S上のQ'点の接線QT'がx'軸と交わる角を δ' とすれば

$$\delta' = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon, \quad \rho_T = \rho_D + u\tau_2 + r_g(\varepsilon - \alpha - \beta - \tau_1 - \tau_2) \quad (61), (62)$$

となり, S点の $x'y'$ 座標は次式となる。

$$x_S' = x_V' + (r_g - u)\sin(\delta_D - \tau_2), \quad y_S' = y_V' + (r_g - u)\cos(\delta_D - \tau_2) \quad (63)$$

インボリュート曲線上の点Tの $x'y'$ 座標と縮閉線上のQ点の $x'y'$ 座標は次式となる。

$$x_T' = x_S' - \rho_T \cos \delta' - r_g \sin \delta', \quad y_T' = y_S' + \rho_T \sin \delta' - r_g \cos \delta' \quad (64)$$

$$x_Q' = x_S' - r_g \sin \delta', \quad y_Q' = y_S' - r_g \cos \delta' \quad (65)$$

式(45), (47)により x_T', y_T' を X_T, Y_T に, x_Q', y_Q' を X_Q, Y_Q に変換すればカムの輪郭EFと縮閉線の円弧WOが求められる。

カムの高さを t とすれば式(33)と同様に

$$t = \rho_F - R_0 = \rho_D + u\tau_2 + r_g \cdot \gamma - R_0 \quad (66)$$

となり, t の長さを基準とするため, t で a, b, u, r_g, R_0 を割ってその値を再びその値にすれば $t = 1$ の場合の値が定まる。 $\Sigma = 120^\circ$ で $\alpha, \beta, \gamma, \tau_1, \tau_2$ を適当に割りあて, a, b, u を任意に与えて各 δ_A について t を求め, $t = 1$ としたものを表2に示す。

5.3 計算例

図12は表2の例①のデータによるカムの全輪郭と往き行程の縮閉線を示す。ただし上昇停留角 $\theta_d = 30^\circ$ とす。図から輪郭は滑らかで, 第5の縮閉線の終点はカムの中心に一致する。

§ 6 双曲線接合カムの運動と押進め角と滑り率

半径 r の円弧往復従動節の変位, 速度, 加速度は前報⁴⁾から次式で示される。

表2 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=16^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\gamma=25^\circ$, $\tau_1=20^\circ$, $\tau_2=29^\circ$, $t=1$

a/b	δ_A°	u	r_g	a	b	R_0	例
1.1	15	.296170	2.62694	1.66346	1.51224	1.67203	①
	16	.309271	2.62252	1.46876	1.33523	1.51874	
	17	.308283	2.62421	1.28982	1.17257	1.37508	
	18	.294641	2.63140	1.12559	1.02327	1.24008	
1.2	16	.398986	2.58144	2.08698	1.73915	1.78210	②
	17	.409024	2.57822	1.85630	1.54692	1.63011	
	18	.406577	2.58042	1.64359	1.36966	1.48735	
	19	.392839	2.58753	1.44764	1.20637	1.35289	
	20	.368846	2.59910	1.26741	1.05617	1.22592	
1.3	17	.488487	2.54198	2.52295	1.94073	1.85908	③
	18	.494968	2.54020	2.25616	1.73550	1.70956	
	19	.490306	2.54326	2.00948	1.54575	1.56881	
	20	.475540	2.55072	1.78161	1.37047	1.43597	
	21	.451522	2.56221	1.57138	1.20875	1.31029	
	22	.418999	2.57742	1.37776	1.05981	1.19113	
1.5	22	.602619	2.49444	2.45095	1.63397	1.53009	④
	24	.543543	2.52196	1.93285	1.28857	1.29391	
	25	.503866	2.54018	1.70298	1.13532	1.18416	
	26	.457959	2.56114	1.49118	0.99412	1.07934	
	27	.406153	2.58472	1.29651	0.86434	0.97908	
	28	.348728	2.61079	1.11811	0.74540	0.88301	

$$\theta = \cos^{-1} \frac{e}{\sqrt{X_M^2 + Y_M^2}} - \tan^{-1} \frac{X_M}{Y_M} \quad \left. \vphantom{\theta = \cos^{-1} \frac{e}{\sqrt{X_M^2 + Y_M^2}} - \tan^{-1} \frac{X_M}{Y_M}} \right\} \dots\dots\dots (67)$$

ただし $X_M = X_T + r \cos \varepsilon$, $Y_M = Y_T + r \sin \varepsilon$

$$h = \eta_M - k = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta - r \cos(\theta - \varepsilon) - \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2} \quad \dots\dots\dots (68)$$

$$\frac{dh}{d\theta} = \eta_M \tan(\theta - \varepsilon) + e, \quad \frac{d\varepsilon}{d\theta} = \frac{\eta_M}{(\rho_T + r) \cos(\theta - \varepsilon)} \quad \dots\dots\dots (69), (70)$$

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{dh}{d\theta} \tan(\theta - \varepsilon) + \frac{\eta_M}{\cos^2(\theta - \varepsilon)} \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\theta} \right) \quad \dots\dots (71)$$

押進め角 ϕ とカムと従動節の滑り率 σ_1 , σ_2 は, 前と同様次式となる。

$$\phi = \theta - \varepsilon, \quad \overline{TP} = \eta_M / \cos(\theta - \varepsilon) - r \quad \dots\dots\dots (72), (73)$$

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \frac{\overline{TP}}{r - \overline{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots\dots (74), (75)$$

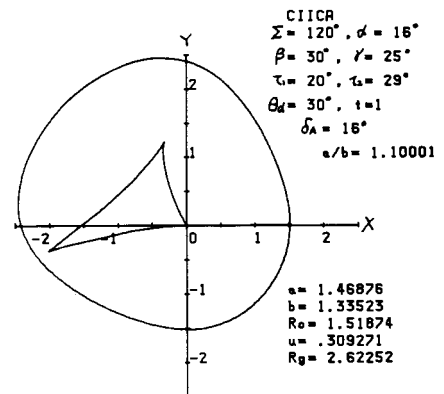


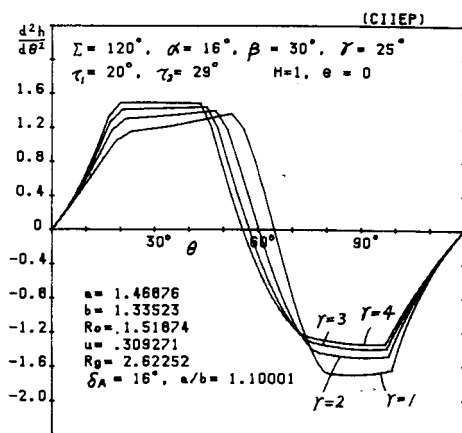
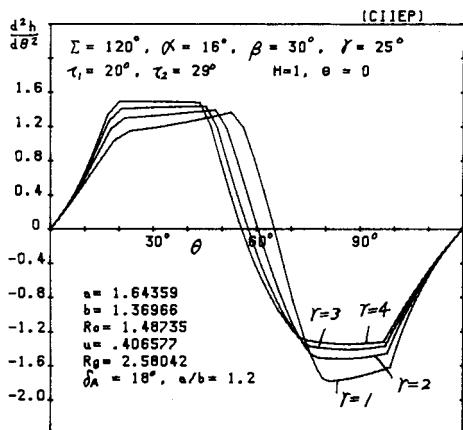
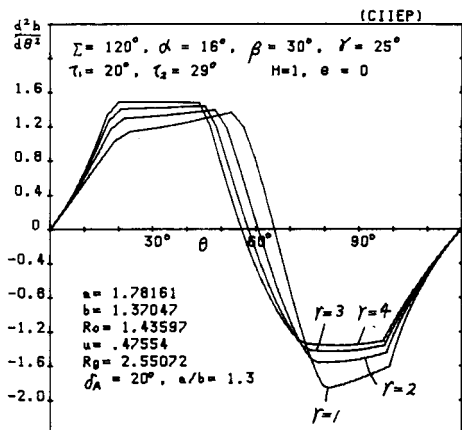
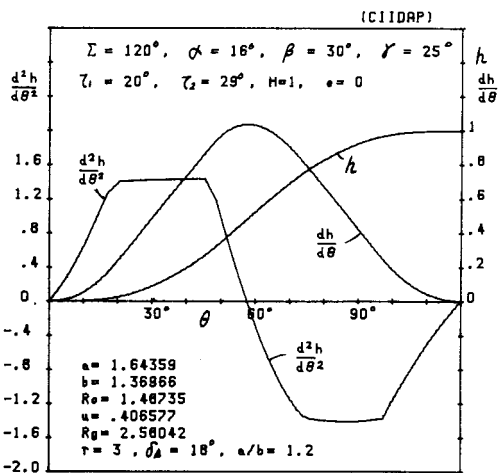
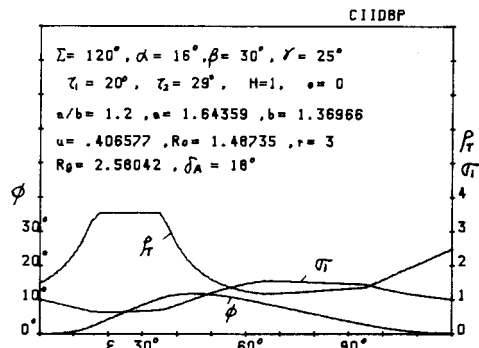
図12 双曲線接合カムの表2例①のカムの輪郭と縮閉線

6.1 計算例

図13は表2の例①の $a/b = 1.1$ のデータで $\delta_A = 16^\circ$ の場合 $r = 1 \sim 4$ の場合の加速度係数 $d^2h/d\theta^2$ をカムの回転角 θ に対して示す。ただし $e = 0$ とし往き行程のみの $d^2h/d\theta^2$ を示す。 $r = 3$ の場合が良好である。 u が小さいから負の頂きが傾斜している。

図14は表2の例②の $a/b = 1.2$ の $\delta_A = 18^\circ$ のデータで $r = 1 \sim 4$ の場合の加速度係数を示す。 $r = 3$ の場合が良好で $d^2h/d\theta^2 \approx \pm 1.4$ となり、正負の加速度曲線の頂きは水平になっている。この場合の $u \approx 0.4$ で図13の $u \approx 0.8$ より良好である。

図15は表2の例③の $a/b = 1.3$ で $\delta_A = 20^\circ$ のデータで $r = 1 \sim 4$ の場合の加速度係数を示す。 $r = 3$

図13 表2例①の r の変化による加速度の変化図14 表2例②の r の変化による加速度の変化図15 表2例③の r の変化による加速度の変化図16 図14の表2例②の $r = 3$ の運動図17 図16の場合の ϕ, σ_1, ρ_T

の場合が良好で $d^2h/d\theta^2_{\max} \approx \pm 1.43$ となる。 $u = 0.47$ で図14の場合より u が少し大きいために負の頂きが右に傾斜する。だから u が 0.4 より非常に大きい場合は r を大きくしても傾斜がなおらない。

図16は図14のデータ、表2の例②の $r = 3$ の場合の変位、速度、加速度を示し、図17はこの場合の ϕ , ρ_r を ε に対して示す。 $\phi_{\max} \approx 11.8^\circ$, $\sigma_{1\max} \approx 1.5$ となり良好である。

図18は図15の表2の例③の $r = 3$ の場合の運動を示し、図19はこの場合の ϕ , σ_1 , ρ_r を ε に対して示す。 $\phi_{\max} \approx 12^\circ$, $\sigma_{1\max} \approx 1.7$ となり、図17と余り変わらないが、 a/b が増すにつれ ϕ_{\max} , $\sigma_{1\max}$ も増加する。

図20は表2の例②の図17のデータで円弧従動節の円弧上の位置 $r\phi$ における従動節の滑り率 σ_2 を示したもので、接触の両端と中央で $\sigma_2 = \infty$ となり、途中は平均 3 となるので良好である。

図21は表2の例②の場合のデータによるカムの輪郭と往き行程の縮閉線を示す。ただし、上昇停留角 $\theta_d = 30^\circ$ とす。輪郭は滑らかである。

§ 7 結 論

以上により第4曲線と第5曲線をインボリュート曲線とした場合の単弦接合カムと双曲線接合カムにおいて次の結論が得られた。

- (1) 第5曲線にインボリュート曲線を用いることにより容易に加速度曲線の終点を零にすることができた。
- (2) 往復従動節の円弧半径 r が小さいと負の加

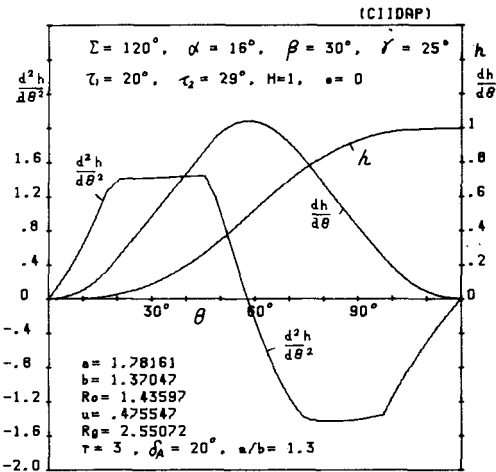


図18 表2例③の $r = 3$ の運動

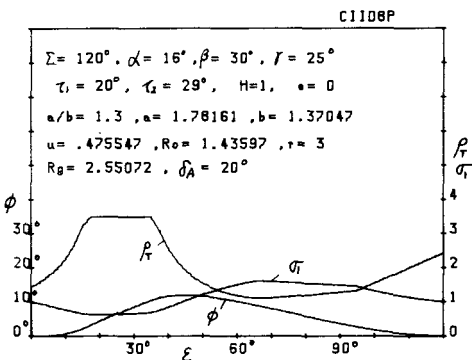


図19 図18の表2例③の ϕ , σ_1 , ρ_r

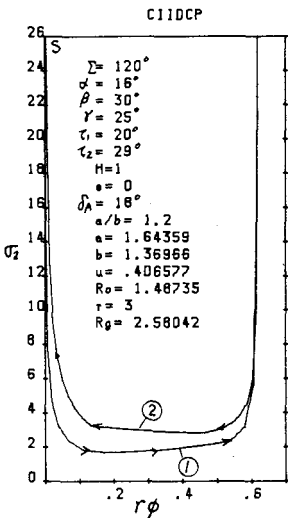


図20 図16の表2例②の場合の σ_2

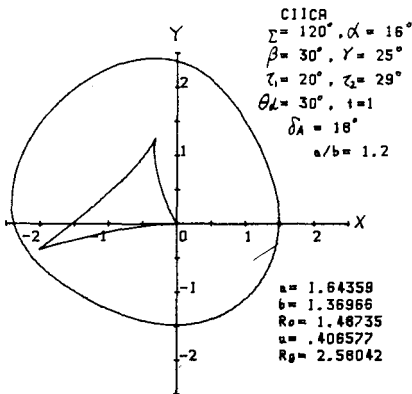


図21 表2例②のカムの輪郭と縮閉線

速度が大きくなりすぎ r はある程度大きくしなければならないが滑り率を考えると小さい方がよい。 $r=3\sim 4$ 程度が正負の最大加速度を等しく、頂きを水平に近づけることができ、その場合第4曲線の基礎円半径 u を約0.4に取るのがよい。

(3) 単弦と双曲線接合カムを比較した場合に双曲線の場合の方が僅かながら最大加速度を低くすることができる。加速度曲線の形は両者共にほぼ同様である。

本研究は、本校学生 中西宏、三登幸夫両君の協力を得た。

文 献

- 1) 糸島寛典：円弧インボリュート接合カムの研究(第1報)一往復従動節一，呉高専研究報告，16-1，1980
- 2) 糸島寛典：円弧楕円接合カムの研究(第1報)一往復従動節一，呉高専研究報告，16-1，1980
- 3) 福永恭一，糸島寛典：円弧放物線接合カムの研究(第1報)一往復従動節，徳山高専研究紀要，第4号，1980
- 4) 糸島寛典：双曲線接合カムの研究(第1報)一往復従動節一，呉高専研究報告，17-1，1981
- 5) 糸島寛典：単弦曲線接合カムの研究(第1報)一往復従動節一，呉高専研究報告，17-1，1981

(昭和57年4月15日受付)

対数螺旋線接合カムの研究 (第1報)

——往復従動節——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Connective Logarithmic Spiral Cam (1st Report) --- Reciprocating Follower ---

Hironori ITOSHIMA

The connective logarithmic spiral cam has a profile composed of the three logarithmic spirals (in addition two circular arcs or one circular arc and two involute curves), and the three evolutes of the three logarithmic spirals are in contact with each other.

For the motion of the follower is smoothed, a cross point of the two evolutes is a rotating center of the cam.

In this paper, the motion of the reciprocating offset follower with a circular arc is analysed. The maximum acceleration of the follower, the pressure angle and the specific sliding are discussed. If a circular arc and the two involute curves along the cam profile are used, then the maximum acceleration of the follower can be decreased.

When a lift of the follower and the rotating angle of the cam are specified, the design of the best cam can be decided.

§ 1 緒 言

前報^{1,2,3,4,5)}においてインボリュート、楕円、放物線、双曲線、単弦曲線等の接合カムにおける往復従動節の運動等、特に加速度について論じた。

本研究においては板カムの輪郭に対数螺旋線を使用する場合の円弧往復従動節の運動の解析を行い、行程の始点と終点の加速度を零にし、加速度曲線の頂きを水平にしたいわゆる修正台形カムに近似するように螺旋線の間に円弧あるいはインボリュート曲線を挿入して接合し、最大押進め角やカムの最大滑り率等を調べ、最適カムと従動節の各部の寸法の設計を行う。

§ 2 記 号

a : 対数螺旋線の x 軸方向の寸法

b : 対数螺旋線の y 軸方向の寸法

R_0 : カムの基礎円半径

ρ_r : カムの輪郭の曲率半径

Σ : カムの行程の作用角

α, β, γ : カムの第1, 2, 3の対数螺旋線の作用角

τ_1, τ_2 : カムの第1, 2円弧の作用角

θ : カムの回転角

k : 下降点における従動節の高さ

h : 従動節の変位

$dh/d\theta$: 従動節の速度係数

ω : カムの角速度

e : 従動節のかたより量

r : 従動節の円弧半径

t : カムの高さ

δ : 法線と x 軸のなす角

ε : カムのパラメーター

u : インボリュート曲線の基礎円半径

σ_1 : カムの滑り率

σ_2 : 従動節の滑り率

θ_d : 上昇点における停留角

θ_e : 下降点における停留角

$d^2h/d\theta^2$: 従動節の加速度係数

§ 3 対数螺旋線の縮閉線

対数螺旋線の極座標と xy 座標は次式で示される。

$$r = ae^{b\varphi}, \quad x = ae^{b\varphi} \cos \varphi, \quad y = ae^{b\varphi} \sin \varphi \quad \dots\dots (1), (2)$$

ただし, r はラジアルベクトル, φ はラジラスベクトルが x 軸となす角である。

図1は $a=1$, $b=0.5$ の対数螺旋線を示す。今この対数螺旋線の縮閉線を求めるには, 式(2)を φ で微分して dy/dx を求め, 更にこれを x で微分すれば次式が得られる。

$$\frac{dy}{dx} = \frac{b \sin \varphi + \cos \varphi}{b \cos \varphi - \sin \varphi}, \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{b^2 + 1}{ae^{b\varphi} (b \cos \varphi - \sin \varphi)^3} \quad \dots\dots (3), (4)$$

螺旋線の点の曲率半径を ρ とすれば公式により

$$\rho = \{1 + (dy/dx)^2\}^{\frac{3}{2}} / \left| \frac{d^2y}{dx^2} \right| \quad \dots\dots (5)$$

から, 螺旋線上の点を T とし, 曲率中心を Q とし, 曲率半径を ρ_T とすれば式(5)に式(3), (4)を代入して次式を得る。

$$\rho_T = ae^{b\varphi} \sqrt{b^2 + 1} \quad \dots\dots (6)$$

曲率中心 Q の xy 座標を x_Q, y_Q とすれば公式により

$$x_Q = x_T - \frac{\{1 + (dy/dx)^2\}}{d^2y/dx^2} \times \frac{dy}{dx}, \quad y_Q = y_T + \frac{1 + (dy/dx)^2}{d^2y/dx^2} \quad \dots\dots (7)$$

となるので, 式(7)に式(3), (4)を代入して整理すれば

$$x_Q = -abe^{b\varphi} \sin \varphi, \quad y_Q = abe^{b\varphi} \cos \varphi \quad \dots\dots (8)$$

となり, ラジラスベクトルを r_Q とすれば

$$r_Q = \sqrt{x_Q^2 + y_Q^2} = abe^{b(\varphi + \pi/2)} \quad \dots\dots (9)$$

となり, 縮閉線は 90° だけ位相の進んだ, 半径を b 倍した対数螺旋線となる。

図1において, この螺旋線の一部をカムの輪郭とするわけだから, 始点 A をとり, OA が x 軸となす角を φ_0 とし, $OA = r_0$, 曲率中心を Q_0 , $AQ_0 = \rho_A = R_0$ とし, AQ_0 が x 軸となす角を δ_A とす。対数螺旋線の性質から

$$\angle OAQ_0 = \angle OTQ = \tan^{-1} b \quad \dots\dots (10)$$

となる。式(1)より φ が φ_0 のときの AQ_0 がカムの基礎円半径 R_0 だから式(6)より

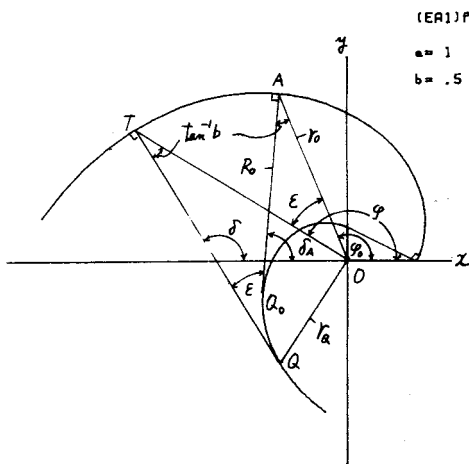


図1 対数螺旋線とその縮閉線

$$\varphi_0 = \frac{1}{b} \log_e \frac{R_0}{a\sqrt{b^2+1}} \dots\dots\dots (11)$$

となる。式(8)より

$$x_0 = abe^{\varphi_0} \cos(\varphi + \pi/2), \quad y_0 = abe^{\varphi_0} \sin(\varphi + \pi/2) \dots\dots\dots (12)$$

となり、これから φ を消去すれば縮閉線の方程式は次式のようなになる。

$$\log_e (x_0^2 + y_0^2) - 2b \tan^{-1} \frac{y_0}{x_0} = 2(\log_e a + \log_e b) - b\pi \dots\dots\dots (13)$$

3.1 対数螺線の法線表示

図1において、任意の点 T の法線 TQ が x 軸の交角を δ とすれば次式を得る。

$$\tan \delta = (y_T - y_0) / (x_T - x_0) = (\sin \varphi - b \cos \varphi) / (\cos \varphi + b \sin \varphi) \dots\dots\dots (14)$$

$$\tan \varphi = (b + \tan \delta) / (1 - b \tan \delta) \dots\dots\dots (15)$$

図1において、 $\angle AOT = \varepsilon$ とすれば、 ε は AQ_0 と TQ のなす角に等しく、 ε 点は始点 A から T 点の位置を表す。図から次式を得る。

$$\varphi = \varphi_0 + \varepsilon, \quad \delta = \varphi - \tan^{-1} b \dots\dots\dots (16), (17)$$

§ 4 対数螺線接合カムの輪郭

図2は対数螺線接合カムの往き行程の構成法を示す。カムの往き行程の始点を A 、終点を F とし、第1対数螺線を AB 、その両端の法線のなす角すなわち作用角を α 、第1円弧 BC 、その作用角を τ_1 、第2対数螺線を CD 、その作用角を β 、第2円弧 DE 、その作用角を τ_2 、第3対数螺線を EF 、その作用角を γ とする。各作用角の和を Σ とすれば Σ は次式となる。

$$\Sigma = \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 + \gamma \dots\dots\dots (18)$$

4.1 第1対数螺線 AB ($0 \leq \varepsilon \leq \alpha$)

図2において、第1対数螺線 AB の始点 A の曲率中心 Q_0 を O 点とし、カムの回転中心とし、 OA を X 軸、 OA に直角に Y 軸をとる。 B 点の曲率中心を Q_B とすれば、曲線 OQ_B は第1対数螺線の縮閉線である。 BQ_B が x 軸となす角を δ_B とする。

第1対数螺線上の T 点の法線が OA すなわち X 軸のなす角を ε とし、曲率半径を ρ_T とすれば次式となり、 T 、 Q 点の xy 座標は次式となる。

$$x_T = ae^{\varphi_0} \cos \varphi, \quad y_T = ae^{\varphi_0} \sin \varphi, \quad \varphi = \varphi_0 + \varepsilon \dots\dots\dots (19)$$

$$\rho_T = a\sqrt{b^2+1} e^{\varphi_0} \dots\dots\dots (20)$$

$$x_0 = abe^{\varphi_0} \cos(\varphi + \pi/2), \quad y_0 = abe^{\varphi_0} \sin(\varphi + \pi/2) \dots\dots\dots (21)$$

ただし、 φ_0 は R_0 、 a 、 b が与えられれば式(11)より求まる。式(17)より A 点と B 点の δ は次式となる。

$$\delta_A = \varphi_0 - \tan^{-1} b, \quad \delta_B = \varphi_B - \tan^{-1} b, \quad \varphi_B = \varphi_0 + \alpha \dots\dots\dots (22), (23)$$

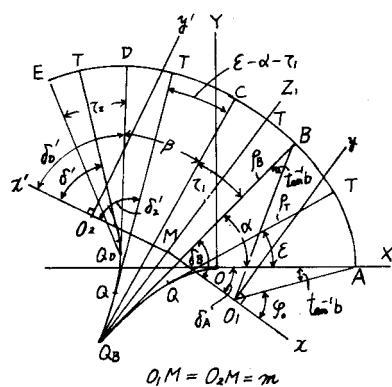


図2 対数螺線接合カムの輪郭

B 点の曲率半径 ρ_B は次式となる。

$$\rho_B = a\sqrt{b^2+1} e^{b\varphi_B} \quad (24)$$

4.2 第1円弧 BC ($\alpha \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1$)

図2において, 第1円弧 BC は Q_B 点を中心に半径 ρ_B の円弧で作用角は τ_1 であるから, 式(8)より Q_B 点の座標は

$$x_{QB} = -abe^{b\varphi_B} \sin \varphi_B, \quad y_{QB} = abe^{b\varphi_B} \cos \varphi_B \quad (25)$$

となり, 第1円弧上の T 点と Q_B 点を結ぶ線が X 軸の交角を δ とすれば δ と x_T, y_T は次式となる。

$$\delta = \delta_B + \varepsilon - \alpha = \varphi_0 - \tan^{-1} b + \varepsilon \quad (26)$$

$$x_T = x_{QB} + \rho_B \cos \delta, \quad y_T = y_{QB} + \rho_B \sin \delta \quad (27)$$

4.3 第2対数螺線 CD ($\alpha + \tau_1 \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta$)

図2において $\angle BQ_B C$ の2等分線を対称軸として xy 座標の対称座標 $x'y'$ を作り, 第1対数螺線とその縮閉線の対称曲線を第2対数螺線, 第2縮閉線とす。この線上に任意の点 T をとり, その曲率半径 TQ が x' 軸の交角を δ_2' とし, TQ と OA との交角は ε だから, CQ_B と TQ とのなす角は $\varepsilon - \alpha - \tau_1$ となるから

$$\delta_2' = (\alpha + \delta_A) - (\varepsilon - \alpha - \tau_1) = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon \quad (28)$$

となる。式(17), (22)より次式となる。

$$\varphi' = \delta_2' + \tan^{-1} b = \delta_A + \tan^{-1} b + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon = \varphi_0 + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon \quad (29)$$

T 点と Q 点の $x'y'$ 座標は次式となる。

$$x_T' = ae^{b\varphi'} \cos \varphi', \quad y_T' = ae^{b\varphi'} \sin \varphi', \quad \rho_T = a\sqrt{b^2+1} e^{b\varphi'} \quad (30)$$

$$x_Q' = -abe^{b\varphi'} \sin \varphi', \quad y_Q' = abe^{b\varphi'} \cos \varphi' \quad (31)$$

D 点の φ' を φ_D' とし, D 点の曲率中心 Q_D の $x'y'$ 座標を x_{QD}', y_{QD}' とすれば

$$\varphi_D' = \varphi + \alpha - \beta, \quad x_{QD}' = -abe^{b\varphi_D'} \sin \varphi_D', \quad y_{QD}' = abe^{b\varphi_D'} \cos \varphi_D' \quad (32), (33)$$

となる。 D 点の曲率半径を ρ_D とすれば次式となる。

$$\rho_D = a\sqrt{b^2+1} e^{b\varphi_D'} \quad (34)$$

DQ_D が x' 軸となす角を δ_D' とすれば式(28)の ε を $\alpha + \tau_1 + \beta$ とおけば次式となる。

$$\delta_D' = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - (\alpha + \tau_1 + \beta) = \delta_A + \alpha - \beta \quad (35)$$

4.4 第2円弧 DE ($\alpha + \tau_1 + \beta \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2$)

図2において D 点の曲率中心 Q_D を中心に半径 $DQ_D = \rho_D$ で中心角が τ_2 の円弧 DE を描き, この上に任意の点 T をとり, TQ_D と x' 軸の交角を δ' とすれば δ' と T 点の $x'y'$ 座標は次式となる。

$$\delta' = \varphi_0 + 2\alpha + \tau_1 - \tan^{-1} b - \varepsilon \quad (36)$$

$$x_T' = x_{QD}' + \rho_D \cos \delta', \quad y_T' = y_{QD}' + \rho_D \sin \delta' \quad (37)$$

x_{QD}', y_{QD}', ρ_D は式(31), (34)に示されている。

4.5 $x'y'$ 座標の xy 座標への変換

図2において、 x 軸と x' 軸の交点を M とし、対称軸を Z_1Q_B とすれば $\angle Z_1Mx = \angle Z_1Mx' = \delta_B + \tau_1/2$ となる。図3において、 $O_1M = O_2M = m < 0$ とすれば

$$m = x_{QB} - y_{QB} / \tan(\delta_B + \tau_1/2) \quad \dots\dots\dots (38)$$

が得られる。また、図3で $x'y'$ 座標の点 P を xy 座標に変換すれば次式となる。

$$x = m + (x' - m) \cos(2\delta_B + \tau_1) + y' \sin(2\delta_B + \tau_1) \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$y = (x' - m) \sin(2\delta_B + \tau_1) - y' \cos(2\delta_B + \tau_1) \quad \dots\dots\dots (40)$$

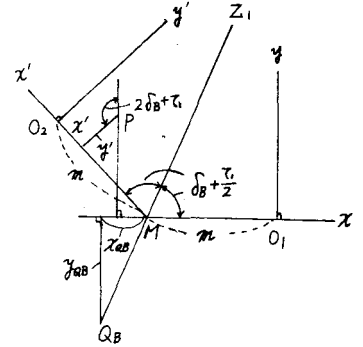


図3 $x'y'$ 座標の xy 座標への変換

4.6 第3対数螺線 EF ($\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 \leq \varepsilon \leq \Sigma$)

図4において第2縮閉線 Q_DQ_D と $x'y'$ で Q_D を中心とし半径 ρ_D で中心角 τ_2 の円弧 DE を描き、 $\angle DQ_DE$ の2等分線 Z_2Q_D を引き、 x' 軸の交点を N とす。 Z_2N を対称軸として対称座標 $x''y''$ 、対称縮閉線 Q_DO を描けば Q_DO は第3縮閉線となる。第3対数螺線 EF を Q_DO を縮閉線として描き、その上に任意の点 T をとり、曲率中心を Q とす。 TQ が OA となす角を ε とすれば、 TQ が EQ_D となす角は $\varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta - \tau_2$ となる。 EQ_D の延長が x'' 軸となす角は DQ_D が x' 軸となす角に等しいので δ_D' となる。 TQ が x'' 軸となす角を δ'' とすれば式(35)を用いて

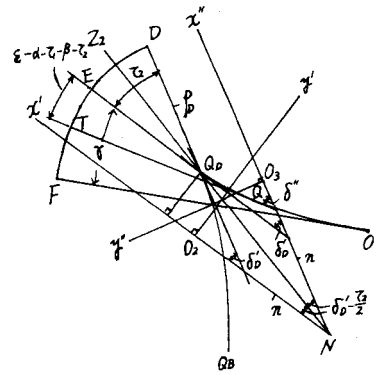


図4 第3対数螺線 EF

$$\delta'' = \delta_D' + \varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta - \tau_2 = \delta_A - 2\beta - \tau_1 - \tau_2 + \varepsilon \quad \dots\dots (41)$$

となる。式(17)、(22)と式(41)より φ'' は次式となる。

$$\varphi'' = \delta'' + \tan^{-1} b = \delta'' + (\varphi_0 - \delta_A) = 2\varphi_0 - 2\beta - (\tau_1 + \tau_2) + \varepsilon \quad \dots\dots\dots (42)$$

第3対数螺線とその縮閉線を $x''y''$ 座標で示せば前と同様に次式となる。

$$x_T'' = ae^{b\varphi''} \cos \varphi'', \quad y_T'' = ae^{b\varphi''} \sin \varphi'', \quad \rho_T = a\sqrt{b^2 + 1} e^{b\varphi''} \quad \dots\dots\dots (43), (44)$$

$$x_Q'' = -abe^{b\varphi''} \sin \varphi'', \quad y_Q'' = abe^{b\varphi''} \cos \varphi'' \quad \dots\dots\dots (45)$$

終点 F の φ'' と ρ を φ_F'' 、 ρ_F とすれば式(42)から

$$\varphi_F'' = \alpha - \beta + \tau + \varphi_0, \quad \rho_F = a\sqrt{b^2 + 1} e^{b\varphi_F''} \quad \dots\dots\dots (46)$$

となり、 OF と OA の差を t とし、これをカムの高さとするれば次式となる。

$$t = \rho_F - R_0 \quad \dots\dots\dots (47)$$

4.7 $x''y''$ 座標の $x'y'$ 座標への変換

図4より $O_2N = O_3N = n > 0$ とすれば $\angle Z_2Nx' = \delta_D' - \tau_2/2$ となるから n は次のようになる。

$$n = \frac{y_{QD}'}{\tan(\delta_D' - \tau_2/2)} - x_{QD}' \quad \dots\dots\dots (48)$$

円弧だから次式を得る。

$$X_T = R_0 \cos \varepsilon, \quad Y_T = R_0 \sin \varepsilon \quad \dots\dots\dots (58)$$

4.12 計算例

図7は表1の例1のデータ $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 22.5^\circ$, $\beta = 32.5^\circ$, $\gamma = 25^\circ$, $\tau_1 = 20^\circ$, $\tau_2 = 20^\circ$, $a = R_0 = 1.7441$, $b = 1.7$ による往き行程のカムの輪郭とその縮閉線を示す。第3縮閉線が $\varepsilon = 120^\circ$ のとき原点 O に一致すればよいのであるが僅かにずれている。

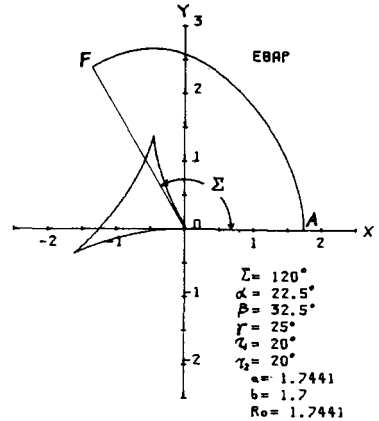


図7 往き行程のカムの輪郭と縮閉線

§5 第3対数螺旋線の縮閉線の終点が原点上に来る条件

$x''y''$ 座標上の第3螺旋線の縮閉線の方程式は式(13)より

$$\log_e((x_o'')^2 + (y_o'')^2) - 2b \tan^{-1} \frac{y_o''}{x_o''} = 2(\log_e a + \log_e b) - b\pi \quad \dots\dots\dots (13)$$

であるから, R_0 , a , b を指定し, 原点 O の xy 座標 x_o , y_o を求め, 各作用角 α , β , γ , τ_1 , τ_2 を指定して, 式(39), (40)より x_o' , y_o' を求め, 式(49)より x_o'' , y_o'' を求め, 上式(13)の x_o'' , y_o'' を代入して左辺の値が右辺の値に等しくなるようにすればよいが, 電算機によっても複雑なので次のようにする。

表1 $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 22.5^\circ$, $\beta = 32.5^\circ$, $\gamma = 25^\circ$, $\tau_1 = 20^\circ$
 $\tau_2 = 20^\circ$, $a = R_0 = 1$, $t = 1$

b	X_o	Y_o	$a = R_0$	例
1.4	0.033483	0.018562	2.25985	例 1
1.5	0.025871	0.023055	2.06411	
1.6	0.018431	0.027545	1.89370	
1.7	0.011152	0.032039	1.74410	
1.8	0.004032	0.036531	1.61184	
1.9	-0.002935	0.041026	1.49415	
2.0	-0.009757	0.045524	1.38885	
2.1	-0.016433	0.050023	1.29414	

$\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 32.5^\circ$, $\beta = 51^\circ$, $\gamma = 36.5^\circ$, $\tau_1 = 0^\circ$
 $\tau_2 = 0^\circ$, $a = R_0 = 1$, $t = 1$

b	X_o	Y_o	$a = R_0$	例
1.4	0.026710	-0.064536	1.93550	例 A
1.5	0.017961	-0.058226	1.75982	
1.6	0.009447	-0.051917	1.60713	
1.7	0.001154	-0.045599	1.47333	
1.8	-0.006922	-0.039280	1.35527	
1.9	-0.014796	-0.032952	1.25042	
2.0	-0.022474	-0.026614	1.15679	
2.1	-0.029964	-0.020267	1.07276	

往き行程の各曲線の作用角 $\alpha, \beta, \gamma, \tau_1, \tau_2$ を指定し、角を示す $b = 1.4 \sim 2.1$ を指定し、 a と R_0 を例えば 1 に指定し、式(11)より φ_0 を求め、例えば $\varepsilon = \Sigma$ として第 3 縮閉線の終点の座標 X_{QF}, Y_{QF} と ρ_F を求め式(47)から t を求め、 t で与えられた R_0, a, X_{QF}, Y_{QF} を割ったものを再び R_0, a, X_0, Y_0 として示したものを表 1 に示す。そうすれば $t = 1$ で X_0, Y_0 が共に零に近いものを選ぶ。

5.1 計算例

表 1 の例 1 の場合が X_0, Y_0 の値が最も零に近いので、このデータで $\theta_d = 30^\circ, \theta_e = 90^\circ$ とした場合のカムの全輪郭を図 8 に示す。滑らかな曲線である。

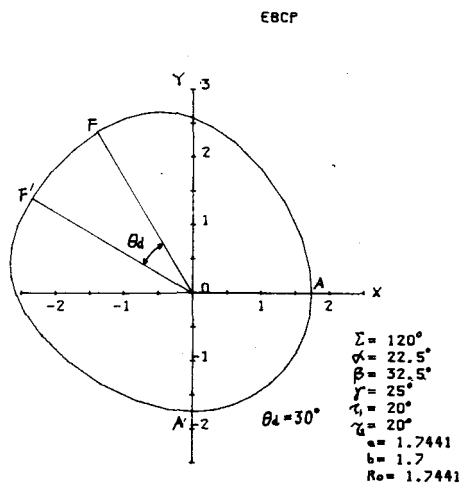


図 8 カムの全輪郭 (表 1 の例 1)

§ 6 往復かたより円弧従動節の運動

図 9 に示す円弧従動節が e だけかたよって往復動する場合カムの中心 O を原点とする $\xi\eta$ 座標を取り、カムの OA と η 軸の交角を θ とし、カムに固定された XY 座標が O 点を中心として右回り回転するものとすれば θ はカムの回転角である。

従動節の円弧あるいはローラの中心を M とし、 M 点の ξ 軸よりの高さを η_M とし、 M 点の最低の高さを k とすれば、 k は A 点の r の円弧と接している場合で

$$k = \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2} \quad (59)$$

となり、従動節の変位を h とすれば

$$h = \eta_M - k \quad (60)$$

となる。 ξ_M, η_M は図 9 より、 OA と T 点の法線の交角を ε とすれば次式のようになる。

$$\eta_M = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta + r \cos(\theta - \varepsilon) \quad (61)$$

$$\xi_M - e = X_T \sin \theta - Y_T \cos \theta + r \sin(\theta - \varepsilon) \quad (62)$$

式(62)より θ を求めれば

$$\theta = \cos^{-1} \frac{e}{\sqrt{(X_T + r \cos \varepsilon)^2 + (Y_T + r \sin \varepsilon)^2}} - \tan^{-1} \frac{X_T + r \cos \varepsilon}{Y_T + r \sin \varepsilon} \quad (63)$$

が得られる。もし $e = 0$ の場合は θ は次式となる。

$$e = 0, \quad \theta = \tan^{-1} \frac{Y_T + r \sin \varepsilon}{X_T + r \cos \varepsilon} \quad (64)$$

6.1 従動節の速度・加速度

図 9 において T 点の法線と ξ 軸の交点を P とすれば、 P 点はカム 1 と従動節 2 の瞬間中心 I_{12} だから、

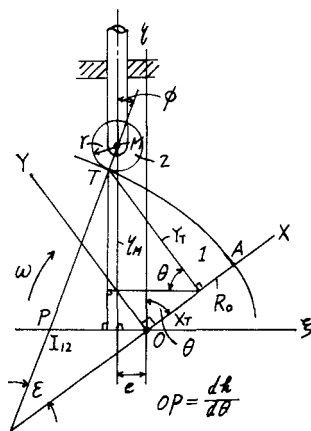


図 9 往復かたより円弧従動節の運動

$\overline{OP} = dh/d\theta$ となる。

$$\frac{dh}{d\theta} = \eta_M \tan(\theta - \varepsilon) + e \quad \dots\dots\dots (65)$$

ω をカムの角速度とすれば，従動節の速度 v ，加速度 a は

$$v = \omega \cdot dh/d\theta, \quad a = \omega^2 d^2h/d\theta^2, \quad \omega = \text{一定} \quad \dots\dots\dots (66), (67)$$

となる。式(65)を θ で微分すれば

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{dh}{d\theta} \tan(\theta - \varepsilon) + \eta_M \sec^2(\theta - \varepsilon) \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\theta}\right) \quad \dots\dots\dots (68)$$

となる。前報¹⁾⁻⁵⁾でカムの輪郭が楕円，双曲線，放物線，単弦曲線の場合に $d\varepsilon/d\theta$ は

$$\frac{d\varepsilon}{d\theta} = \frac{\eta_M}{(\rho_T + r) \cos(\theta - \varepsilon)} \quad \dots\dots\dots (69)$$

となったが，対数螺線の場合も式(69)のようになることを証明する。

式(62)を θ で微分すれば

$$r \cos(\theta - \varepsilon) \left(\frac{d\varepsilon}{d\theta} - 1\right) = \frac{dX_T}{d\theta} \sin \theta - \frac{dY_T}{d\theta} \cos \theta + X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta \quad \dots\dots\dots (70)$$

となる。式(53)を θ で微分すれば

$$\frac{dX_T}{d\theta} = \frac{dx_T}{d\theta} \cos \delta_A + \frac{dy_T}{d\theta} \sin \delta_A, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = -\frac{dx_T}{d\theta} \sin \delta_A + \frac{dy_T}{d\theta} \cos \delta_A \quad \dots\dots\dots (71)$$

となる。第1対数螺線において式(18)，(20)を θ で微分すれば

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{d\theta} &= \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dx_T}{d\theta} = ae^{b\varphi} (b \cos \varphi - \sin \varphi) \frac{d\varepsilon}{d\theta} \\ \frac{dy_T}{d\theta} &= ae^{b\varphi} (b \sin \varphi + \cos \varphi) \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (72) \end{aligned}$$

となる。いま $\tan^{-1} b = \Delta$ とおけば式(20)より次式を得る。

$$\rho_T = ae^{b\varphi} / \cos \Delta, \quad b = \tan \Delta \quad \dots\dots\dots (73), (74)$$

式(73)，(74)を式(72)に代入すれば

$$\frac{dx_T}{d\theta} = \rho_T \sin(\Delta - \varphi) \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_T \cos(\Delta - \varphi) \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (75)$$

となり，これを式(71)に代入すれば

$$\frac{dX_T}{d\theta} = \rho_T \sin(\Delta - \varphi + \delta_A) \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \rho_T \cos(\Delta - \varphi + \delta_A) \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (76)$$

となる。しかるに $\Delta - \varphi + \delta_A = \tan^{-1} b - (\varphi_0 + \varepsilon) + \varphi_0 - \tan^{-1} b = -\varepsilon$ だから

$$\frac{dX_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \rho_T \cos \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (77)$$

となり，前報¹⁾⁻⁵⁾に一致する。これを式(70)に代入すれば式(61)を用いて

$$r \cos(\theta - \varepsilon) \left(\frac{d\varepsilon}{d\theta} - 1 \right) = \rho_T \frac{d\varepsilon}{d\theta} (-\sin\theta \sin\varepsilon - \cos\theta \cos\varepsilon) + \eta_M - r \cos(\theta - \varepsilon)$$

$$= -\rho_T \cos(\theta - \varepsilon) \frac{d\varepsilon}{d\theta} + \eta_M - r \cos(\theta - \varepsilon)$$

となるので、これから式(69)が得られる。第2, 3対数螺線の場合も同様になる。円弧の場合は既に前報^{1)~5)}において証明されている。

6.2 押進め角と滑り率

押進め角 ϕ は図9より次式となる。

$$\phi = \theta - \varepsilon \quad \dots\dots\dots (78)$$

カムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は前報¹⁾より次式となる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{\overline{TP}}{r + \overline{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}}, \quad \overline{TP} = \frac{dh/d\theta - e}{\sin\phi} - r \quad \dots\dots\dots (79)$$

6.3 計算例

(1) $\tau_1 = \tau_2 = 0$ の場合

図10は表1の例Aの $\Sigma = 120^\circ, \alpha = 32.5^\circ, \beta = 51^\circ, r = 36.5^\circ, a = R_0 = 1.4733, b = 1.7, e = 0$ で $r = 2 \sim 5$ の場合の加速度係数 $d^2h/d\theta^2$ を θ に対して示す。正負の最大加速度が等しい場合は $r = 6$ で $d^2h/d\theta^2 = 1.78$ となる。図11は $r = 6$ の場合の運動を示す。図から明らかなように $\tau_1 = \tau_2 = 0$ の場合の加速度曲線は尖り、等2次加速度カムの加速度の形となる。

図12はこの場合の ϕ, σ_1, ρ_T を ε に対して示す。 $\phi_{\max} = 18^\circ, \sigma_{1\max} = 2.2$ となり良好である。図13はこのデータによるカムの輪郭と往き行程の縮閉線を示す。ただし $\theta_d = 80^\circ$, 曲線は滑らかである。

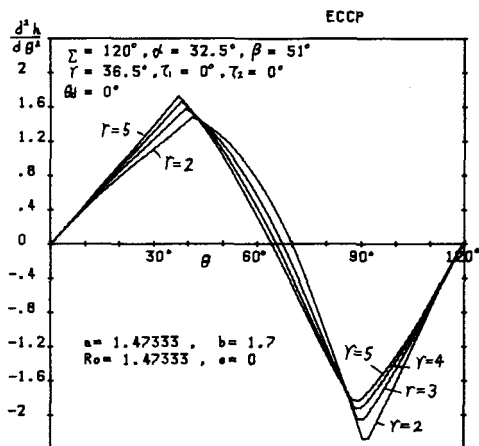


図10 $\tau_1 = \tau_2 = 0$ の表1の例Aの加速度線図

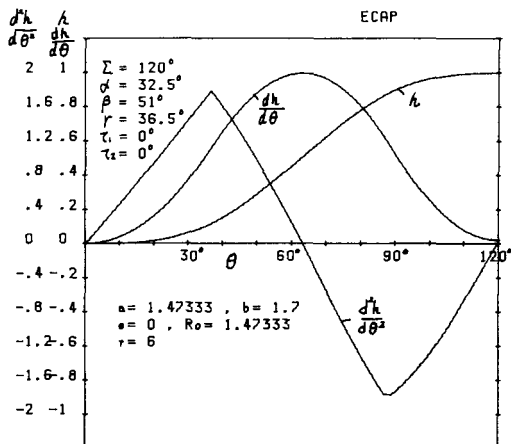


図11 図10の $r = 6$ の運動

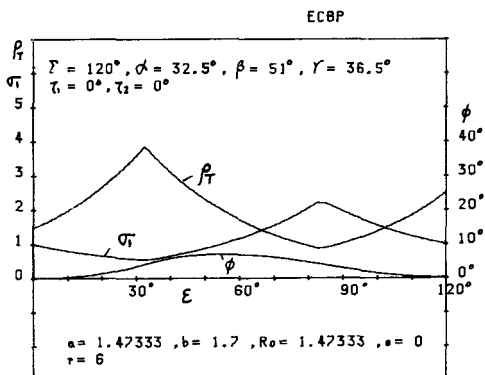


図12 図10の $r = 6$ の ϕ, σ_1, ρ_T

(2) $\tau_1 \neq 0, \tau_2 \neq 0$ の円弧の場合（図14）

表1の例1において $\tau_1 = 20^\circ, \tau_2 = 20^\circ$ のときの $b = 1.7$ の場合が X_0, Y_0 が零に近いのでこれを選ぶ, a は任意の値でよいが $a = R_0 = 1.7441$ として $r = 2 \sim 10$ の加速度を θ に対して示す。かたより量 $e = 0$ なので往き行程のみ示す。正負の最大加速度がほぼ等しいのは $r = 10$ の場合で $d^2h/d\theta^2 \approx +1.48, -1.58$ となり, 図11の場合に比し約0.25小さくなる。しかし, 加速度曲線の頂きは正の側は水平になるが, 負のそれは傾斜する。

図15は $r = 10$ の場合の運動を θ に対して示す。往き行程の終点の速度が正確に零となっていない。図16はこの場合の ϕ, σ_1, ρ_T を ε に対して示す。 $\phi_{\max} = 4.649^\circ, \sigma_{1\max} \approx 1.86, \rho_{T\min} = 1.2963$ である。図17はこの場合の従動節の円弧上の滑り率 σ_2 を円弧上の位置 $r\phi$ に対して示す。往き行程のみで, 戻り行程は同様になる。両端で $\sigma_2 = \infty$, 平均 $\sigma_2 \approx 2$ で表1の例1の $r = 10$ の場合は良好である。

§ 7 第2円弧をインボリュート曲線にする場合

図15から明らかなように, 第2円弧の場合, 負の加速度の頂きが傾斜して水平にならない。これをほぼ水平にするには前報⁵⁾のように第2円弧の代わりに基礎円半径 u のインボリュート曲線を用いればよい。

7.1 インボリュート曲線 DE

$$(\alpha + \tau_1 + \beta \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2)$$

図18で第2縮閉線の終点 Q_D において法線を立て, その上に $VQ_D = u$ の V 点を取り, V 点を中心として

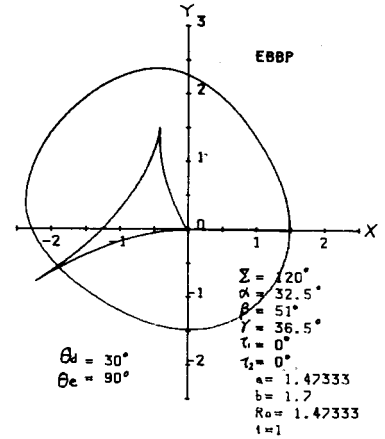


図13 図10の表1の例Aのカムの輪郭と縮閉線

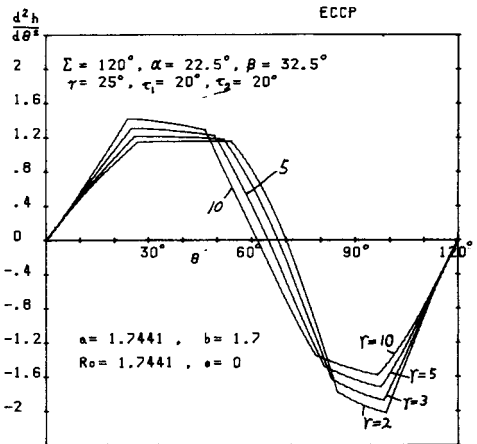


図14 表1例1の r の変化による加速度線図

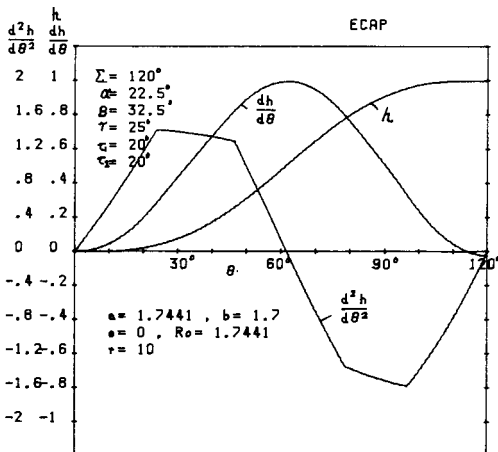


図15 表1例1の $r = 10$ の場合の運動

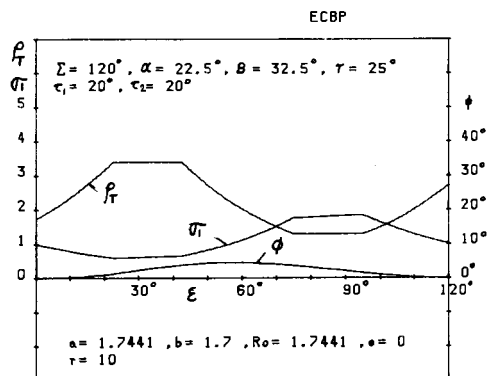
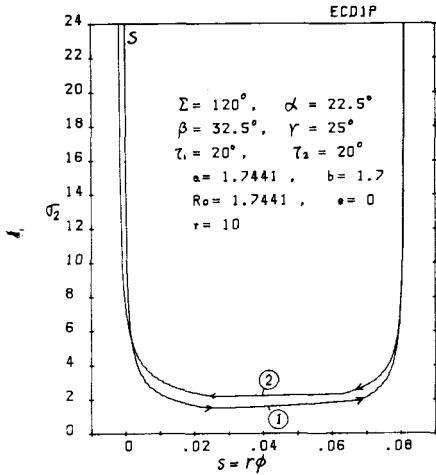


図16 表1例1の $r = 10$ の場合の ϕ, σ_1, ρ_T

図17 表1例1の $r=10$ の場合の滑り率 σ_2

中心角 τ_2 の円弧 $Q_D W$ を描く、 $Q_D W$ を縮閉線とするインボリュート曲線 DE を描き、 DE 上の任意の点 T の曲率中心 Q を作る。 $TQ = \rho_T$ 、 TQ の延長と x' 軸の交角を δ' とすれば DQ_D と TQ の交角は $\varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta$ なので

$$\rho_T = u(\varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta) + \rho_D \quad \dots\dots\dots (80)$$

となり、 ρ_D は式(84)で求まる。

DQ_D の延長と x' 軸の交角を δ_D' とすれば式(35)から

$$\delta' = \delta_D' - (\varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta) = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon, \quad \delta_D' = \delta_A + \alpha - \beta \quad \dots\dots\dots (81)$$

となる。基礎円 V の中心 V の $x'y'$ 座標と T, Q 点の $x'y'$ 座標は次のようになる。

$$x_V' = x_D' - \rho_D \cos \delta_D' - u \sin \delta_D', \quad y_V' = y_D' - \rho_D \sin \delta_D' + u \cos \delta_D' \quad \dots\dots\dots (82)$$

$$x_T' = \rho_T \cos \delta' + u \sin \delta' + x_V', \quad y_T' = \rho_T \sin \delta' - u \cos \delta' + y_V' \quad \dots\dots\dots (83)$$

$$x_Q' = x_V' + u \sin \delta', \quad y_Q' = y_V' - u \cos \delta' \quad \dots\dots\dots (84)$$

式(83), (84)の T, Q の座標を式(39), (40)に代入し、更に式(53)に代入すればカムの輪郭と円弧 $Q_D W$ は求まる。

7.2 第3対数螺線 EF ($\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 \leq \varepsilon \leq \Sigma$)

前報⁵⁾と同様に図18, 19において DQ_D を対称軸として第2縮閉線 $Q_D Q_B$ と $x'y'$ 軸の対称な縮閉線 $Q_D Q_B'$ と $x''y''$ 座標を作る。 $Q_D Q_B'$ を縮閉線とするカムの輪郭を DE' とし、その上の任意の点を T'' 、曲率中心を Q'' とすれば $T''Q''$ は Q'' 点で $Q_D Q_B'$ に接する。 $T''Q''$ と x'' の交角を δ'' とする。

V 点のまわりに Q'' 点を角 τ_2 回転させた位置を Q''' とし、 $Q_D Q''$ を WQ''' の位置に回転し、 Q''' 点の接線を $T'''Q'''$ とし、 x'' 軸の交角を δ''' とし、 $T'''Q'''$ が OA となす角を ε とすれば $T'''Q'''$ と EW との交角は $\varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2)$ となり、 $T''Q''$ と $T'''Q'''$ の交角は τ_2 で次式を得る。

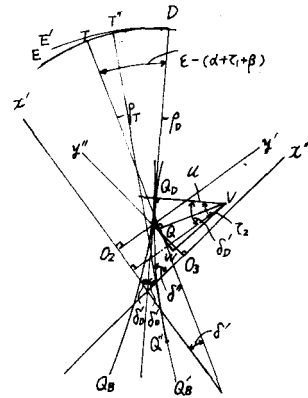


図18 インボリュート曲線の挿入

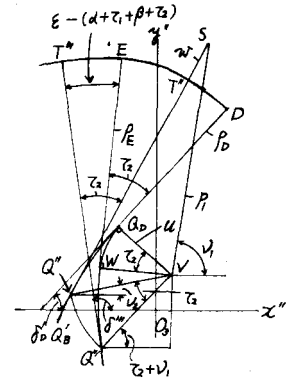


図19 第3対数螺線

$$\delta''' = \delta_D' + \tau_2 + \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2), \quad \delta_D' = \delta_A + \alpha - \beta \quad \dots\dots\dots (85)$$

$$\delta'' = \delta''' - \tau_2 = \delta_A + \varepsilon - 2\beta - \tau_1 - \tau_2 \quad \dots\dots\dots (86)$$

$$\text{しかるに, } \varphi'' = \delta'' + \tan^{-1} b, \quad \varphi_0 = \delta_A + \tan^{-1} b \quad \dots\dots\dots (87), (88)$$

$$\text{だから } \varphi'' = \varepsilon - 2\beta - (\tau_1 + \tau_2) + \varphi_0 \quad \dots\dots\dots (89)$$

となる。 T'' 点の $x''y''$ 座標は次式となる。

$$x_T'' = ae^{b\varphi''} \cos \varphi'', \quad y_T'' = ae^{b\varphi''} \sin \varphi'', \quad \rho_T = a\sqrt{b^2 + 1} e^{b\varphi''} \quad \dots\dots\dots (90)$$

Q'' 点の $x''y''$ 座標は次式となる。

$$x_Q'' = -abe^{b\varphi''} \sin \varphi'', \quad y_Q'' = abe^{b\varphi''} \cos \varphi'' \quad \dots\dots\dots (91)$$

F 点の曲率半径を ρ_F とすれば次式となる。

$$\rho_F = a\sqrt{b^2 + 1} e^{b\varphi_F''}, \quad \varphi_F'' = \alpha - \beta + \tau + \varphi_0 \quad \dots\dots\dots (92), (93)$$

故にカムの高さ t は次式となる。

$$t = \rho_F - R_0 \quad \dots\dots\dots (94)$$

図19において $EW = DQ_D + u\tau_2$ だから

$$w = u\tau_2 \quad \dots\dots\dots (95)$$

とおけば $T''Q''$ を V 点のまわりに τ_2 だけ回転したとき $T'''Q''' = T''Q'' + w$ でなければならぬから、 $Q''T''$ の延長上に $ST'' = w$ の S 点を取り、 S 点の $x''y''$ 座標を求めれば

$$x_S'' = x_T'' + w \cos \delta'', \quad y_S'' = y_T'' + w \sin \delta'' \quad \dots\dots\dots (96)$$

となる。 Q 点の $x''y''$ 座標は式(91)の代りに次式で与えられる。

$$x_Q'' = x_T'' - \rho_T \cos \delta'', \quad y_Q'' = y_T'' - \rho_T \sin \delta'' \quad \dots\dots\dots (97)$$

$x'y'$ 座標を $x''y''$ 座標に変換するには式(48), (49)を用いる。ただし、この場合は τ_2 だけ回転していないので V 点の $x''y''$ 座標は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} x_V'' &= -n + (x_V' + n) \cos 2\delta_D' + y_V' \sin 2\delta_D' \\ y_V'' &= (x_V' + n) \sin 2\delta_D' - y_V' \cos 2\delta_D' \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (98)$$

ただし、 n は式(48)で求められる。

次に SV の長さを p_1 、 $Q''V$ の長さを p_2 、 SV と $Q''V$ の水平角を ν_1, ν_2 とすれば

$$p_1 = SV = \sqrt{(x_S'' - x_V'')^2 + (y_S'' - y_V'')^2}, \quad \tan \nu_1 = \frac{y_S'' - y_V''}{x_S'' - x_V''} \quad \dots\dots\dots (99)$$

となるので、 S 点を V 点のまわりに τ_2 回転させた位置を T''' とすれば T''' 点の $x'''y'''$ 座標と p_2, ν_2 は次式となる。

$$x_T''' = x_V'' + p_1 \cos(\nu_1 + \tau_2), \quad y_T''' = y_V'' + p_1 \sin(\nu_1 + \tau_2) \quad \dots\dots\dots (100)$$

$$p_2 = Q''V = \sqrt{(x_Q'' - x_V'')^2 + (y_Q'' - y_V'')^2}, \quad \tan \nu_2 = \frac{y_V'' - y_Q''}{x_V'' - x_Q''} \quad \dots\dots\dots (101)$$

Q''' 点の $x'''y'''$ 座標を x_Q''' 、 y_Q''' とすれば

$$x_Q''' = x_V'' + p_2 \cos(\nu_2 + \tau_2), \quad y_Q''' = y_V'' + p_2 \sin(\nu_2 + \tau_2) \quad \dots\dots\dots (102)$$

となる。 $x'''y'''$ 座標は $x''y''$ 座標と同一で $x'y'$ 座標に変換するには式(98)から

$$\left. \begin{aligned} x' &= -n + (x''' + n) \cos 2\delta_D' + y''' \sin 2\delta_D' \\ y' &= (x''' + n) \sin 2\delta_D' - y''' \cos 2\delta_D' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (103)$$

を用いる。 $x'y'$ 座標を xy 座標に変換するには式(39), (40)を用い, xy 座標を XY 座標に変換するには式(53)を用いればよい。

§ 8 第3縮閉線が原点に来る条件

往き行程の終点における加速度を零とするためには第3縮閉線の終点が原点に来る必要がある。 $\Sigma = 120^\circ$, $\tau_1 = 20^\circ$, $\tau_2 = 20^\circ$, $u = 0.4$ として α, β, r の値を少しずつ変化させて往き行程の縮閉線の終点の

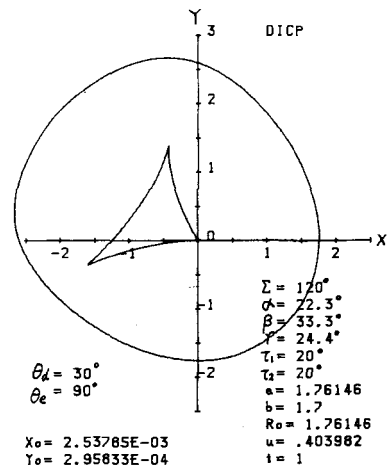
表2 $\Sigma = 120^\circ$, $\tau_1 = 20^\circ$, $\tau_2 = 20^\circ$, $t = 1$
 $a = 1.76146$, $b = 1.7$, $R_0 = 1.76146$, $u = 0.403982$

α	β	r	X_F	Y_F	X_0	Y_0	例
22.1	33.3	24.6	-1.36	2.38	0.206E-01	-1.140E-01	例 ①
22.1	33.4	24.5	-1.35	2.38	0.188E-01	0.843E-03	
22.1	33.5	24.4	-1.35	2.38	0.170E-01	0.156E-01	
22.1	33.6	24.3	-1.34	2.38	0.152E-01	0.303E-01	
22.2	33.2	24.6	-1.38	2.38	0.134E-01	-2.18E-01	
22.2	33.3	24.5	-1.37	2.39	0.116E-01	-6.86E-02	
22.2	33.4	24.4	-1.36	2.39	0.979E-02	0.799E-02	
22.2	33.5	24.3	-1.36	2.39	0.800E-02	0.228E-01	
22.2	33.6	24.2	-1.35	2.39	0.620E-02	0.374E-01	
22.3	33.1	24.6	-1.39	2.39	0.617E-02	-2.97E-01	
22.3	33.2	24.5	-1.38	2.39	0.435E-02	-1.46E-01	
22.3	33.3	24.4	-1.38	2.39	0.254E-02	0.293E-03	
22.3	33.4	24.3	-1.37	2.39	0.729E-03	0.151E-01	
22.3	33.5	24.2	-1.37	2.40	-1.108E-02	0.299E-01	
22.3	33.6	24.1	-1.36	2.40	-2.288E-02	0.446E-01	

座標 X_0, Y_0 を求めたものを表2に示す。 u を0.4としたのは前報⁵⁾の経験からこの程度がよい。

8.1 計算例

表2において X_0, Y_0 が共に最も零に近いものは例①の $\alpha = 22.3^\circ$, $\beta = 33.3^\circ$, $r = 24.4^\circ$, $\tau_1 = \tau_2 = 20^\circ$ である。 $a = R_0 = 1.7441$, $b = 1.7$, $u = 0.4$ として t を求めると $t = 0.990142$ となるので, この t の値で a, R_0, u を割って $t = 1$ とした場合は $a = R_0 = 1.76146$, $u = 0.403982$ となる。図20はこのデータで $\Sigma = 120^\circ$, $\theta_d = 30^\circ$ としてカムの輪郭とその往き行程の縮閉線を描いたもので, 輪郭は滑らかで縮閉線は原点に一致する。



8.2 従動節の速度, 加速度

図20 表2例①のインボリュートカムの輪郭と縮閉線

カムの輪郭のインボリュート部分の速度，加速度は前報¹⁾で明らかなように

$$\frac{dX_r}{d\theta} = -\rho_r \sin \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_r}{d\theta} = \rho_r \cos \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta}$$

となり， $d\varepsilon/d\theta$ は式(69)に一致するので，速度に対しては式(65)，加速度に対しては式(68)，(69)が使用できる。

8.3 計算例

図21は表2の例①のデータで $r=1 \sim 10$ の場合の加速度係数を θ に対して求めたもので，往き行程の場合のみ示す。 r が増すにつれ，正の加速度が増加し，負のそれが減少し， $r=10$ ではほぼその最大値が等しくなる。負の加速度の頂きはほぼ水平であるが，正のそれはやや傾斜する。

図22は $r=10$ の場合の運動を示す。 $d^2h/d\theta^2 \max \approx 1.45$ となる。図23は ϕ, σ_1, ρ_r を ε に対して示す。 $\phi_{\max} \approx 4.63^\circ$ ， $\sigma_{1\max} \approx 1.81$ ， $\rho_{r\min} \approx 1.28$ で良好である。図24はこの場合の従動節の円弧上の滑り率 σ_2 を円弧上の位置において示す。平均 $\sigma_2 \approx 2$ で良好である。

§ 9 第3対数螺旋線の縮閉線を円弧とする場合

往き行程のカムの輪郭の各曲線の作用角を指定して，第3対数螺旋線の縮閉線の終点が回転中心 O に一致させるには電算機で繰返し計算を行う必要があり，また，各作用角を少しずつ変化させねばならぬので，各作用角を完全に指定して，図25に示すように第3対数螺旋線の縮閉線の代りに G 点を

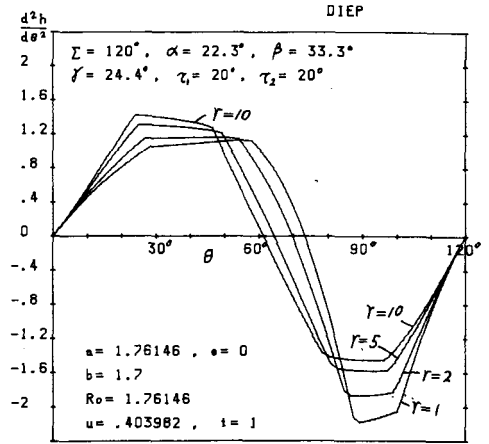


図21 表2例①の r の変化による加速度線図

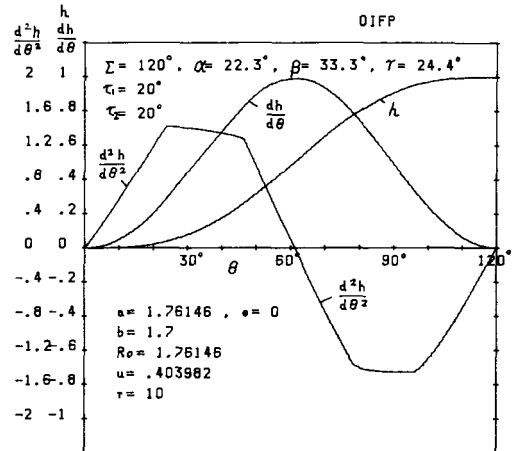


図22 表2例①の $r=10$ の場合の運動

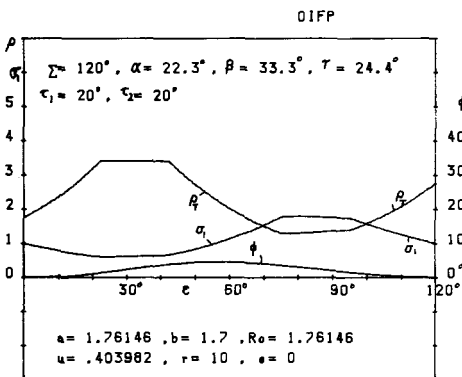


図23 表2例①の $r=10$ の場合の ϕ, σ_1, ρ_r

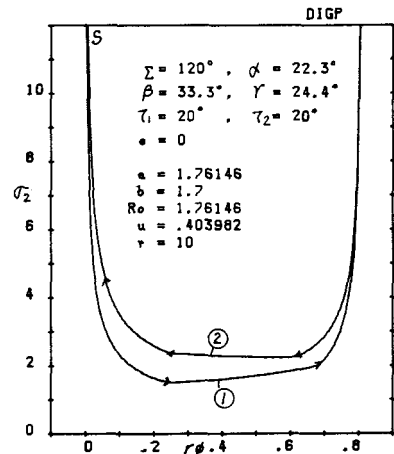


図24 表2例①の $r=10$ の場合の σ_2

$$u = \frac{-g\{\sin(\delta+\gamma)-\sin\delta\}+(m+c)\{\sin(\delta_A+\gamma+\delta)-\sin(\delta_A+\delta)\} + (x_D'-m)\{\sin(2\delta_B+\tau_1-\delta_A-\delta)-\sin(2\delta_B+\tau_1-\delta_A-\delta-\gamma)\} - y_D'\{\cos(2\delta_B+\tau_1-\delta_A-\delta)-\cos(2\delta_B+\tau_1-\delta_A-\delta-\gamma)\} - \rho_D\{\sin(\alpha+\beta+\tau_1-\delta)-\sin(\alpha+\beta+\tau_1-\delta-\gamma)\}}{\sin\gamma+\cos(\alpha+\beta+\tau_1-\delta)-\cos(\alpha+\beta+\tau_1-\delta-\gamma)} \quad (116)$$

式(113)より φ_D' , x_D' , y_D' , ρ_D が求まるので、式(116)から u が求まる。式(115)より X_V , Y_V を求めて式(109)に代入すれば r_g が求まる。

9.1 各作用角と a , b , R_0 を与えたときの u , r_g の決定

各作用角と a , b , R_0 を任意に与えて、 u , r_g を求めた後往き行程の終点 F の曲率半径 ρ_F とカムの高さ t は次式で求められる。

$$\rho_F = \rho_D + u \cdot \tau_1 + r_g \cdot \gamma, \quad t = \rho_F - R_0 \quad (117), (118)$$

得られた t を $t=1$ とするため、 a , R_0 , u , r_g を t で割ったものを再び a , R_0 , u , r_g とすれば表3が得られる。

この場合各作用角と b が指定されれば、 a , R_0 , u にどのような値を指定しても同じ R_0 , u , r_g が得られる。表3において R_0 を1~2にとった場合 u が比較的小さいので、第1インボリュートの効果が少ないのではないかと思うので、各作用角の変更が望ましい。

9.2 カムの輪郭 EF ($\alpha+\tau_1+\beta+\tau_2 \leq \varepsilon \leq \Sigma$)

表3-1 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=22.8^\circ$, $\beta=33.8^\circ$, $\gamma=24.4^\circ$, $\tau_1=20^\circ$, $\tau_2=20^\circ$
 $a=1$, $R_0=1$, $u=0.4$, $t=1$

a	b	R_0	u	r_g	例
2.76126	1.2	2.76126	.495492	3.27626	例 (A)
2.50109	1.3	2.50109	.425558	3.29657	
2.27871	1.4	2.27871	.357374	3.31640	
2.08657	1.5	2.08657	.290949	3.33572	
1.91898	1.6	1.91898	.226183	3.35458	
1.77161	1.7	1.77161	.163091	3.37295	
1.64108	1.8	1.64108	.101583	3.39088	

表3-2 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\gamma=24^\circ$, $\tau_1=20^\circ$, $\tau_2=26^\circ$
 $a=1$, $R_0=1$, $u=0.4$, $t=1$

a	b	R_0	u	r_g	例
1.62422	2.1	1.62422	.564679	2.96544	例 (B)
1.52268	2.2	1.52268	.520305	2.98272	
1.43035	2.3	1.43035	.476999	2.99960	
1.34607	2.4	1.34607	.434737	3.01607	
1.26886	2.5	1.26886	.393483	3.03217	
1.19792	2.6	1.19792	.353232	3.04787	
1.13254	2.7	1.13254	.313951	3.06320	

表3-3 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\gamma=22^\circ$, $\tau_1=20^\circ$, $\tau_2=28^\circ$
 $a=1$, $R_0=1$, $u=0.4$, $t=1$

a	b	R_0	u	r_g	例
1.73177	2.0	1.73177	.691270	3.05348	例 ㉔
1.61982	2.1	1.61982	.648124	3.07397	
1.51845	2.2	1.51845	.606009	3.09399	
1.42628	2.3	1.42628	.564917	3.11352	
1.34215	2.4	1.34215	.524812	3.13261	
1.26509	2.5	1.26509	.485686	3.15122	
1.19428	2.6	1.19428	.447501	3.16940	

表3-4 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\gamma=20^\circ$, $\tau_1=20^\circ$, $\tau_2=30^\circ$
 $a=1$, $R_0=1$, $u=0.4$, $t=1$

a	b	R_0	u	r_g	例
1.51424	2.2	1.51424	.679868	3.22815	例 ㉕
1.42223	2.3	1.42223	.640683	3.25090	
1.33825	2.4	1.33825	.602453	3.27310	
1.26133	2.5	1.26133	.565156	3.29477	
1.19066	2.6	1.19066	.528759	3.31592	
1.12554	2.7	1.12554	.493259	3.33656	
1.06537	2.8	1.06537	.458618	3.35670	

図25において第2インボリュート曲線 EF の縮閉線は円弧 WO だから、この上の点 T とその曲率中心 Q の XY 座標は次式ようになる。

$$GQ \text{の水平角を } \lambda \text{ とすれば } \angle W G Q = \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2)$$

$$\text{だから } \lambda = \Delta + \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2) \quad \dots\dots\dots (119)$$

$$X_Q = X_G - r_g \cos \lambda, \quad Y_Q = Y_G - r_g \sin \lambda \quad \dots\dots\dots (120)$$

$$\rho_T = \rho_D + u\tau_2 + r_g \{ \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2) \} \quad \dots\dots\dots (121)$$

$$X_T = X_Q - \rho_T \sin \lambda, \quad Y_T = Y_Q + \rho_T \cos \lambda \quad \dots\dots\dots (122)$$

となり、 X_G, Y_G は式(107), (108)から求められる。

9.3 第2インボリュート曲線の変位、速度、加速度、 押進め角、滑り率

第2インボリュートの変位、速度、加速度は前報¹⁾⁵⁾により式(60)~(69)が使用でき、押進め角、滑り率は式(78), (79)が使用できる。

9.4 カムの輪郭と縮閉線の計算例

図26は表3-1の例㉕のデータによるカムの輪郭と往き

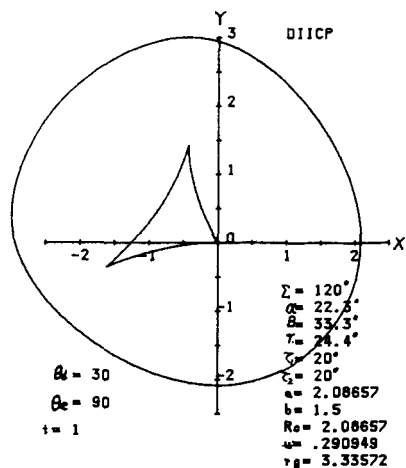


図26 2重インボリュート接合カムの輪郭と縮閉線、表3-1, 例㉕

行程の縮閉線を示す。第2インボリュートの終点がカムの中心に一致することがよくわかり、カムの輪郭も滑らかであるが、 R_0 が少し大きいようである。

§10 2重インボリュートの場合の運動

この場合の運動の式はカムの輪郭上のT点のXY座標がわかれば変位 h は式(68)より θ が求まり、式(61)より η_M 、式(60)より h が求まる。速度係数 $dh/d\theta$ は式(65)、 $de/d\theta$ は式(69)より、加速度係数 $d^2h/d\theta^2$ は式(68)より求まる。

押進め角 ϕ 、滑り率 σ_1, σ_2 は式(78)、(79)より求まる。

10.1 計算例

図27は表3-1、例④のデータで $r=3\sim 15$ の場合の加速度係数を θ に対して往き行程について示す。 r が増すにつれて正の加速度は増し、負のそれは減少し、 $r=15$ で最大値はほぼ等しくなる。 $u \approx 0.3$ のため負の加速度の頂きはほぼ水平になるが、正のそれは傾斜する。この部分は円弧だからで、水平にするためには第2曲線円弧の代りにインボリュート曲線を使用したらよいのではないか。

図28は表3-1、例④の $r=15$ の場合の運動を示す。 $d^2h/d\theta^2_{\max} \approx \pm 1.48$ で良好である。図29はこの場合の ϕ, σ_1, ρ_T を ϵ に対して示したもので、 $\phi_{\max} \approx 3.24^\circ$ 、 $\sigma_{1\max} \approx 1.71$ 、 $\rho_{T\min} \approx 1.57$ となる。

図30は従動節の円弧上の滑り率 σ_2 を円弧上の位置 $S=r\phi$ に対して往き行程のみ示す。 $e=0$ のため

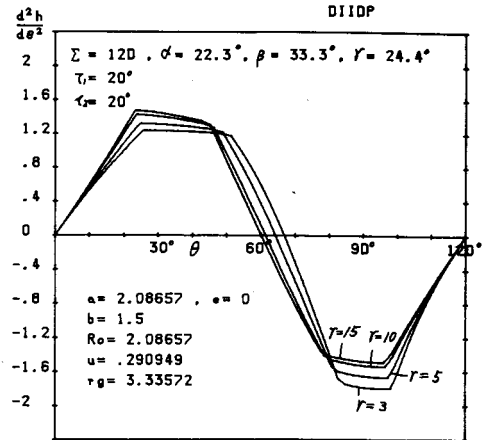


図27 表3-1例④の r の変化による加速度線図

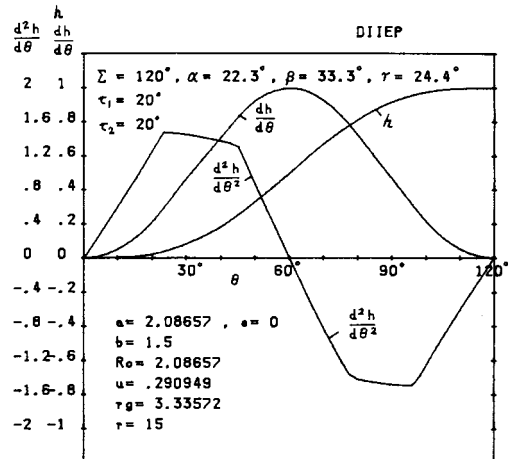


図28 表3-1例④の $r=15$ の場合の運動

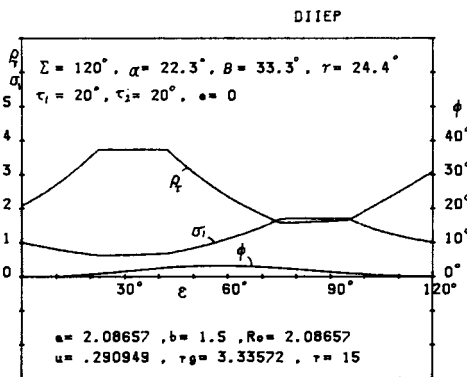


図29 表3-1例④の $r=15$ の場合の ϕ, σ_1, ρ_T

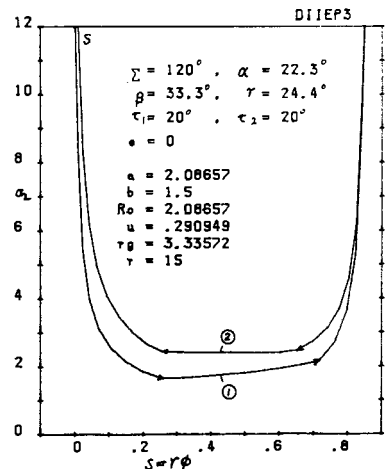
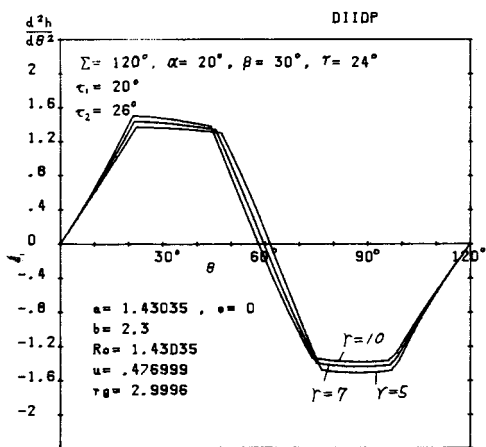
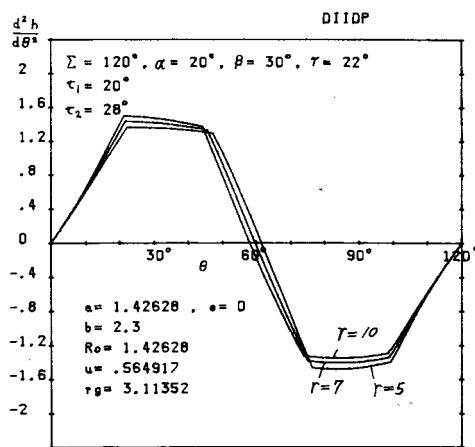
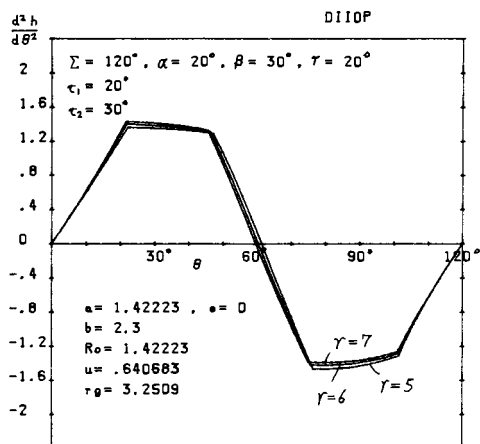
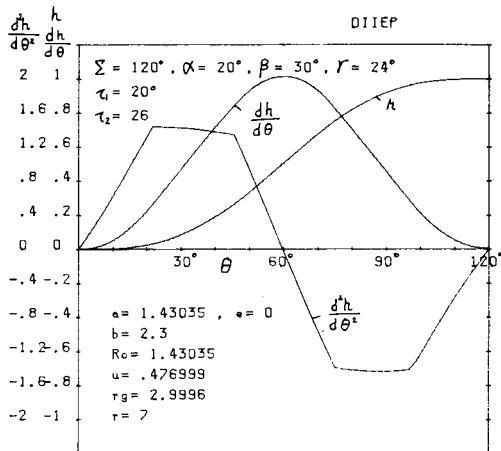
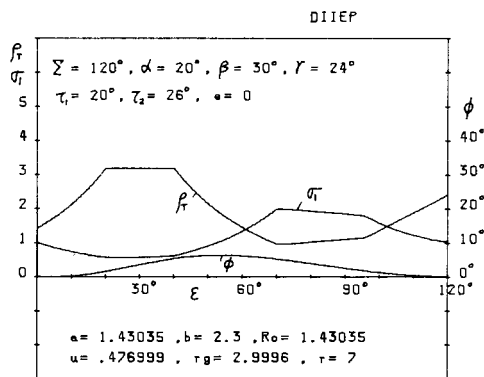
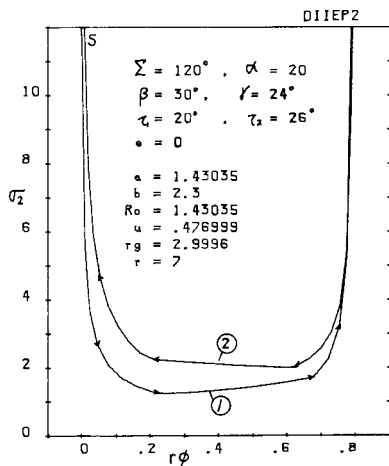


図30 図28の場合の σ_2

図31 表3-2例③の r の変化による加速度線図図32 表3-3例④の r の変化による加速度線図図33 表3-4例⑤の r の変化による加速度線図図34 表3-2例③の $r=7$ の場合の運動図35 図34の場合の ϕ , σ_1 , ρ_T 図36 図34の場合の σ_2

め戻り行程は同様になる。両端で $\sigma_2 = \infty$ ，平均 $\sigma_2 \approx 2$ となり良好である。

図31は表3-2，例⑧のデータで $r = 5, 7, 10$ の場合の加速度係数を示す。 $r = 7$ 付近が負の加速度の頂きが水平となり，正負のそれがほぼ等しくなるので最良である。 $u \approx 0.48$ である。

図32は表3-3，例⑨のデータで $r = 5, 7, 10$ の場合の加速度係数を示す。 $u \approx 0.56$ で負の加速度の頂きが少し傾斜している。図33は表3-4，例⑩のデータで $r = 5, 7, 10$ の場合で， $u \approx 0.64$ で負の加速度の頂きが更に傾斜するので， u としては0.48程度がよい。

図34は図31に示した例⑧の $r = 7$ の場合の運動を示す。 $d^2h/d\theta^2_{\max} \approx 1.44$ となり，例①の図28より良好である。図35はこの場合の ϕ ， σ_1 ， ρ_T を示す。 $\phi_{\max} \approx 6.47^\circ$ ， $\sigma_{1\max} \approx 2$ ， $\rho_{T\max} \approx 1.05$ となり良好である。図36は従動節の円弧上の滑り率 σ_2 を円弧上の位置 $r\phi$ に対して示す。両端で $\sigma_2 = \infty$ ，平均 $\sigma_2 \approx 2$ で良好である。

§11 結 論

以上により3個の対数螺旋線を円弧またはインボリュート曲線で接合したカムの往復従動節の運動において次の結論が得られた。

(1) 3個の対数螺旋線のみでの接合カムの場合は加速度曲線の頂きが尖って値が大きい。等2次加速度カムの形となる。(2) 対数螺旋線の間に円弧を挿入した円弧対数螺旋線接合カムでは加速度曲線の頂きは低くなるが水平にはならぬ。(3) 第2円弧の代りにインボリュート曲線を挿入すると負の加速度の頂きを水平にすることができた。(4) 第3対数螺旋線の縮閉線の終点をカムの回転中心に一致させるよう作用角を選ぶことの困難性を除くためにこの部分を円弧とし輪郭をインボリュート曲線とすれば容易に終点の加速度を零にすることができた。

本研究には本校学生 荒川靖雄，出口弘樹両君の協力を得た。

文 献

- 1) 糸島寛典：円弧インボリュート接合カムの研究（第1報）一往復従動節一，呉高専研究報告，16-1，1980
- 2) 糸島寛典：円弧楕円接合カムの研究（第1報）一往復従動節一，呉高専研究報告，16-1，1980
- 3) 福永恭一，糸島寛典：円弧放物線接合カムの研究（第1報）一往復従動節一，徳山高専研究紀要，第4号，1980
- 4) 糸島寛典：双曲線接合カムの研究（第1報）一往復従動節一，呉高専研究報告，17-1，1981
- 5) 糸島寛典：単弦曲線接合カムの研究（第1報）一往復従動節一，呉高専研究報告，17-1，1981

（昭和57年4月15日受付）

Elastic Deformation of Floating Hoop Retaining Planet Gears

(Department of Mechanical Engineering)
Hiromasa NADANO

The elastic deformation of the floating hoop and the stress distribution in the radial cross-section of the floating hoop which are caused by the centrifugal forces exerted by the planet gears, are calculated under the assumption that the floating hoop is a comparatively thin-walled rings. Further, the sample calculation for the floating hoop contacting a race on three planet gears is carried out, and then the mechanical strength of the floating hoop in bulk, as affected by the combination of the stresses resulting from the bending stress, the tensile stress and the shearing stress is examined.

1. Introduction

In certain application of epicyclic gears the planet carrier may run at so high a speed that the centrifugal force then exerted by each planet on its bearing may greatly exceed the ever-present component to the bearing load that ensures from the tooth faces transmitted. Under such conditions the greatly increased total bearing load may cause a considerable risk of damage to the planet bearing. The author is investigating the potentialities that are inherent in various methods of at least partially relieving the planet bearing from the centrifugal force generated by the rotation of the planet carrier. The present report is devoted to only one of these methods, that of the "floating hoop".

2. Elastic deformation of the floating hoop due to centrifugal loads exerted by planet gears

2.1. Nomenclature

E : Young's modulus of the floating hoop

F : Magnitude of each centrifugal, concentrated radially outward load

I : Moment of inertia of the floating hoop

M : Bending moment

N : Number of concentrated radially outward load

R : Radius of the floating hoop

δ : Deflection of the floating hoop

θ : One-half the angular spacing (equiangular interval) of the loads, as defined by, $\theta = \pi/N$

2.2. Schema of epicyclic gears

Fig. 1 shows schematically a kind of epicyclic gear drive, where 1 denotes the "floating hoop" that contacts a race on each planet gears 2.

The elastic deformation of the floating hoop and the stress distribution in the radial cross-section of the floating hoop that are caused by the centrifugal force exerted by the planet gears, are calculated under the assumptions that the floating hoop is a comparatively thin-walled rings,

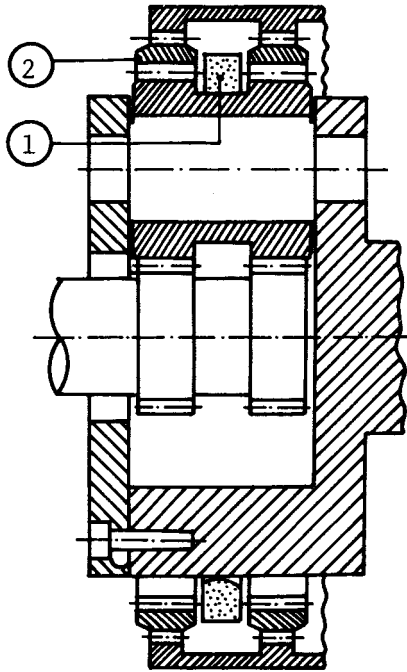


Fig. 1 Schematic of epicyclic gear drive provided with floating hoop

and that the race of the floating hoop is in pure contact with the contacting surfaces of the planet gears. Therefore, the effect of the comparatively small frictional forces between the race of the hoop and the races of the planet will be neglected.

In the design calculation methods now to be outline for the floating hoop and the planet races it is, of course, to be accounted for that there are as many evenly spaced and equivalent centrifugal loads as there are planets in the epicyclic gear drive to be considered.

2.3. Analysis of deformation of the floating hoop due to evenly spaced, concentrated loads

R. Lipp⁽¹⁾ has summarized the moment and the deflection equations for thin-walled rings under evenly spaced concentrated loads F , but his four formulas, as printed in his article are not wholly correct. Therefore, the author rederived the moment and the deflection equations for such rings by using Castigliano's theorem in the way indicated by C. B. Biezeno & R. Grammel⁽²⁾.

When the ring is loaded by the number of radial forces N , evenly spaced and thus at equiangular intervals 2θ , as shown in Fig. 2, any radial cross-section of the ring ϕ_i , must support an unknown normal force N_i , an unknown shearing force F_i , and an unknown bending mement M_i , so as to ensure internal equilibrium. The total contribution of the external loading to these quantities N_i, F_i, M_i , is given by,

$$\left. \begin{aligned} N_i &= N_o \cos \phi_i - F_o \sin \phi_i \\ F_i &= N_o \sin \phi_i + F_o \cos \phi_i \\ M_i &= N_o R (1 - \cos \phi_i) + F_o R \sin \phi_i - M_o \end{aligned} \right\}$$

}

$\dots\dots\dots (1)$

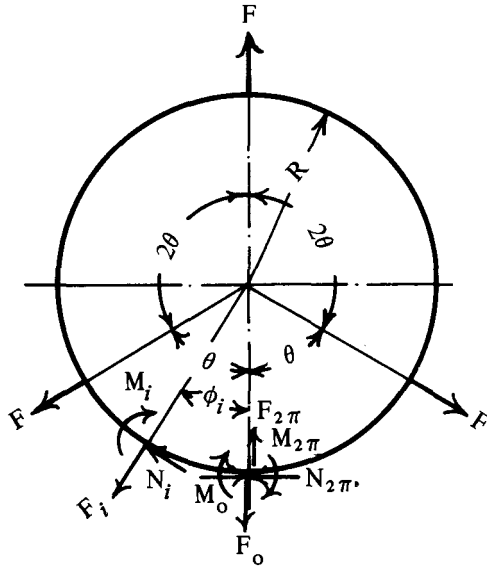


Fig. 2 Ring loaded by radial force F , evenly spaced and thus at equiangular interval 2θ

From the conditions of equilibrium, the normal force N_o , the shearing force F_o , and the bending moment M_o , at the position $\theta = 0$, are cast into the following from,

$$-N_o + \sum_{i=1}^n \frac{\phi_i}{2\pi} F_i \sin \phi_i = 0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\therefore N_o = \frac{F}{2} \frac{1}{\sin \theta}$$

$$-F_o + \sum_{i=1}^n \frac{\phi_i}{2\pi} F_i \cos \phi_i = 0 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\therefore F_o = 0$$

$$-M_o + R(-N_o) - \sum_{i=1}^n \frac{R}{2\pi} F_i = 0 \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$M_o = -\frac{FR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{\sin \theta} \right)$$

$$\text{Now, } \frac{1}{\theta} - \frac{1}{\sin \theta} = \frac{1}{\theta} - \operatorname{cosec} \theta$$

$$\theta \operatorname{cosec} \theta - 1 = \sum_{i=1}^n \frac{(2^{2n} - 2) B_n x^{2n}}{(2n)!}$$

Therefore, the equation of the moment M_o occurred at the one-half of the angular spacing of the loads (between loads) is given by,

$$\begin{aligned} M_o &= -\frac{FR}{2} \frac{\theta}{6} \left(1 + \frac{7}{60} \theta^2 + \frac{31}{2520} \theta^4 + \dots \right) \\ &= -\frac{\pi FR}{N \times 2} \frac{1}{6} \left\{ 1 + \frac{7}{60} \left(\frac{\pi}{N} \right)^2 + \frac{31}{2520} \left(\frac{\pi}{N} \right)^4 + \dots \right\} \\ &= -FR \times K_1 \quad \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

Further, substituting the above equation into Eq. (1), the normal force N_i , the shearing force F_i , and the bending moment M_i at an arbitrary cross section ϕ_i , are found, viz.:

$$\left. \begin{aligned} N_i &= \frac{F \cos \phi_i}{2 \sin \theta}, & F_i &= \frac{F \sin \phi_i}{2 \sin \theta} \\ M_i &= \frac{FR}{2 \sin \theta} (1 - \cos \phi_i) + \frac{FR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{\sin \theta} \right) \\ &= \frac{FR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \phi_i}{\sin \theta} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

In this case, the normal force N_θ , the shearing force F_θ , and the bending moment M_θ at load are derived by putting ϕ_i to θ . Therefore, the quantities of N_θ , F_θ and M_θ are given by the following equations.

$$\left. \begin{aligned} N_\theta &= \frac{F \cos \theta}{2 \sin \theta} = \frac{F}{2} \cot \frac{\pi}{N}, & F_\theta &= \frac{F}{2} \\ M_\theta &= \frac{FR}{2 \sin \theta} (1 - \cos \theta) + \frac{FR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{\sin \theta} \right) \\ &= \frac{FR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \cot \theta \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{Now, } \theta \cot \theta = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{2^{2n} B_n x^{2n}}{(2n)!}$$

Therefore, the equation of the moment occurred at the loads is given by,

$$\begin{aligned} M_\theta &= \frac{FR}{2} \frac{\theta}{3} \left(1 + \frac{1}{15} \theta^2 + \frac{2}{315} \theta^4 + \dots \right) \\ &= \frac{FR}{2} \frac{1}{3} \frac{\pi}{N} \left\{ 1 + \frac{1}{15} \left(\frac{\pi}{N} \right)^2 + \frac{2}{315} \left(\frac{\pi}{N} \right)^4 + \dots \right\} \\ &= FR \times K_2 \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

The strain energy stored in the element ds of the ring is given by,

$$U = \frac{1}{2} \int_0^s \frac{M^2}{EI} ds \dots \dots \dots (9)$$

Therefore, the outward, radial deflection of the ring at the line of the action of each load, this being also outward, is given by,

$$\begin{aligned} \delta_2' &= \frac{\partial U}{\partial \left(\frac{F}{2} \right)} = \frac{R}{EI} \int_0^\theta M_i \frac{\partial M_i}{\partial \left(\frac{F}{2} \right)} d\phi_i \\ &= \frac{R}{EI} \int_0^\theta \frac{\theta FR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \phi_i}{\sin \theta} \right) R \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \phi_i}{\sin \theta} \right) d\phi_i \\ &= \frac{FR^3}{2EI} \int_0^\theta \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \phi_i}{\sin \theta} \right)^2 d\phi_i \\ &= \frac{FR^3}{2EI} \left\{ \frac{1}{\theta^2} \phi_i - \frac{2}{\theta} \frac{\sin \phi_i}{\sin \theta} + \frac{1}{\sin^2 \theta} \left(\frac{1}{4} \sin 2\phi_i + \frac{\phi_i}{2} \right) \right\} \bigg|_0^\theta \\ &= \frac{FR^3}{2EI} \left\{ -\frac{1}{\theta} + \frac{1}{2 \sin \theta} \left(\cos \theta + \frac{\theta}{\sin \theta} \right) \right\} \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

For small angles $\theta = \frac{\pi}{N}$, or say, at a large enough number of planets N , the outward, radial deflection of the ring at the line of action of loads reduces to,

$$\begin{aligned}\delta_2 &= \delta_2' \times N = \frac{FR^3}{EI} \frac{N}{2} \left\{ -\frac{1}{\theta} + \frac{1}{2 \sin \theta} \left(\cos \theta + \frac{\theta}{\sin \theta} \right) \right\} \\ &= \frac{FR^3}{EI} \frac{N}{2} \frac{\theta^3}{45} \left(1 + \frac{11}{112} \theta^2 + \dots \right) \\ &= \frac{FR^3}{EI} \frac{N}{90} \left(\frac{\pi}{N} \right)^3 \left\{ 1 + \frac{11}{112} \left(\frac{\pi}{N} \right)^2 + \dots \right\} \\ &= \frac{FR^3}{EI} \times K_3 \dots \dots \dots (11)\end{aligned}$$

The equation of the moment occurred by the imaged load F_o acting at the one-half of the angular spacing of the loads F is given by,

$$M_j = M_i + F_o R \sin \phi_i = \frac{FR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \phi_i}{\sin \theta} \right) + F_o R \sin \phi_i$$

Similarly, the inward, radial deflection of the ring between the loads, when these are again outward, is given by,

$$\begin{aligned}\delta_1' &= \left(\frac{\partial U}{\partial F_o} \right)_{F_o=0} = \frac{1}{EI} \int_0^\theta M_j \frac{\partial M_j}{\partial F_o} \bigg|_{F_o=0} R d\phi_i \\ &= \frac{R}{EI} \int_0^\theta \frac{FR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \phi_i}{\sin \theta} \right) R \sin \phi_i d\phi_i \\ &= \frac{FR^3}{EI} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \theta}{\theta} - \frac{\sin \theta}{2} \right) \dots \dots \dots (12)\end{aligned}$$

For small angles $\theta = \frac{\pi}{N}$, or say, at a large enough number of planets N , the inward, radial deflection of the ring between the loads is given by,

$$\begin{aligned}\delta_1 &= \delta_1' \times N = \frac{FR^3}{EI} \frac{N}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \theta}{\theta} - \frac{\sin \theta}{2} \right) \\ &= \frac{FR^3}{EI} \frac{N}{2} \frac{\theta^3}{24} \left(1 - \frac{1}{15} \theta^2 - \frac{1}{560} \theta^4 - \dots \right) \\ &= \frac{FR^3}{EI} \frac{N}{48} \left(\frac{\pi}{N} \right)^3 \left\{ 1 - \frac{1}{15} \left(\frac{\pi}{N} \right)^2 - \frac{1}{560} \left(\frac{\pi}{N} \right)^4 - \dots \right\} \\ &= \frac{FR^3}{EI} \times K_4 \dots \dots \dots (13)\end{aligned}$$

2.4. Calculated results

For verification, the classical equations of the deflection and the bending moment for a thin-walled ring in the typical case of two diametrically opposite and equivalent, outward radial force F , where $N = 2$, should be reproduced by substituting $\theta = \frac{\pi}{2}$ in Eqs. (8) and (11). It is found that the former equation is,

$$\left. \begin{aligned}M_i &= \frac{\pi}{2} \frac{FR}{2} \frac{2}{\pi} = 0.318 FR \\ \delta_2 &= \frac{FR^3}{EI} \frac{2}{2} \left(-\frac{2}{\pi} + \frac{\pi}{4} \right) = 0.149 \frac{FR^3}{EI}\end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

Further, the classical equations of the moment and the deflection for the thin-walled ring between two loads F are reproduced equally well,

$$\left. \begin{aligned} M_{i=0} &= \frac{FR}{2} \left(\frac{2}{\pi} - 1 \right) = -0.182 FR \\ \delta_1' &= \frac{FR^3}{EI} \frac{2}{2} \left(\frac{2}{\pi} - \frac{1}{2} \right) = 0.137 \frac{FR^3}{EI} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

where the negative sign in the equation of $M_{i=0}$ indicates that the local radius of curvature on the ring becomes larger than the original radius of curvature on the ring.

When thus comparing the above equation derived by author and the classical equation derived by S. Timoshenko ⁽³⁾, it appears that the former is indeed identical with the latter.

Table 1 Numerical factors of K_1 , K_2 , K_3 and K_4 in the equations of moment and deflection of floating hoop

N	K_1	K_2	K_3	K_4
2	0.181690	0.318309	0.148778	0.136620
3	0.099885	0.188790	0.047816	0.066678
4	0.070487	0.136619	0.024317	0.038739
5	0.054876	0.107584	0.014882	0.025166
6	0.045070	0.088904	0.010088	0.017618
7	0.038298	0.075824	0.007297	0.013008
8	0.033323	0.066133	0.005531	0.009990
9	0.029508	0.058656	0.004356	0.007909
10	0.026484	0.052708	0.003500	0.006419
11	0.024028	0.047861	0.002874	0.005309
12	0.021992	0.043834	0.002403	0.004471
13	0.020277	0.040434	0.002033	0.003805
14	0.018811	0.037526	0.001776	0.003285
15	0.017543	0.035009	0.001531	0.002864
16	0.016437	0.032809	0.001335	0.002514
17	0.015461	0.030870	0.001184	0.002232
18	0.014596	0.029148	0.001039	0.001995
19	0.013823	0.027608	0.000915	0.001794
20	0.013128	0.026223	0.000830	0.001615
21	0.012499	0.024970	0.000771	0.001472
22	0.011930	0.023831	0.000692	0.001334
23	0.011407	0.022794	0.000592	0.001234
24	0.010931	0.021841	0.000584	0.001130
25	0.010492	0.020965	0.000536	0.001042
26	0.010088	0.020157	0.000508	0.000956
27	0.009714	0.019408	0.000502	0.000900
28	0.009366	0.018714	0.000427	0.000834
29	0.009041	0.018069	0.000359	0.000768
30	0.008739	0.017465	0.000372	0.000716
35	0.007490	0.014966	0.000250	0.000538
40	0.006554	0.013092	0.000324	0.000417

The coefficients of K_1 , K_2 , K_3 and K_4 in the above-cited equations of the moment and the deflection of the ring for $N = 2, 3, 4, \dots, 40$, i.e. for spacing $\theta = 180, 120, 72, \dots, 9$ degrees are summarized in Table 1. The values of the deflection and the moment on the thin-walled ring are evaluated by multiplying the coefficients concerned by the values of $\frac{FR^3}{EI}$ and FR .

3. Mechanical strength of floating hoop contacting a race on three planet gears

Fig. 3 shows the dimension of the epicyclic gear drive, specified in cm. In this drive, the floating hoop has a rectangular cross-section, and the dimension of its hoop is given as follows ; the inner radius of the floating hoop is 20 cm. The outer radius of the floating hoop is 24 cm. Therefore, the thickness of the floating hoop is 4 cm. The width of the floating hoop is 1 cm. And Young's modulus of the material of the floating hoop E is $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$.

$$I = 16/3 \text{ cm}^4, Z = 8/3 \text{ cm}^3,$$

where I and Z indicate the moment of inertia and the section modulus of the floating hoop, respectively.

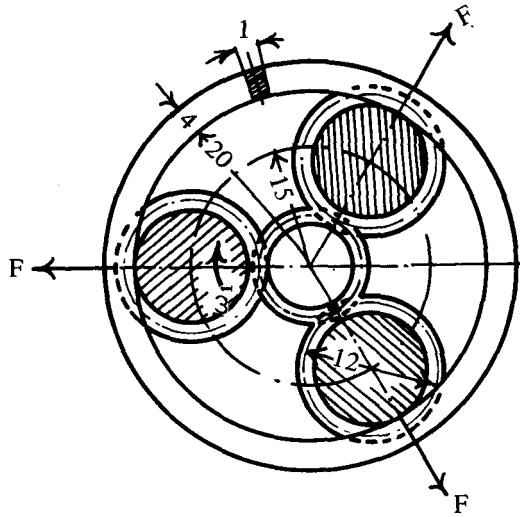


Fig. 3 Dimensions, in cm, in the epicyclic drive considered in the sample calculations for floating hoop

Further, the diameter of the pitch circle of each supposedly double helical planet gears is 12 cm, and the face width of the planet gear as shown in Fig. 1 is 2 cm, and consequently the mass W of the planet gear itself is given by,

$$W = \frac{\pi}{4} 12^2 (2 \times 2 + 2) \rho = 5.4/g \text{ kgf.s}^2/\text{cm}$$

where ρ represents the density of the gear material, $7.85 \times 10^3 / \text{g kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^4$ and g is equal to 981 cm/s^2 .

When the carrier of the planet gear drives is rotating at the angular velocity ω_1 rad per unit time around the centre of axis of sun gear, the centrifugal force generated by each planet gear with mass W is given by,

$$F = W R_1 \omega_1^2$$

where R_1 denotes the distance between the centre of each planet gear and that of sun gear.

For example, when the angular velocity ω_1 of the planet carrier is 200 rad/s , the centrifugal force F is given by,

$$F = \frac{5.4}{g} \times 15 \times (200)^2 = 3306 \text{ kgf}$$

Therefore, the centrifugal force exerted per unit width of each planet race is given by,

$$F = 3306 \text{ kgf/cm.}$$

When the number of the planet gears N is 3, the stress distribution in the most critical cross-section of the floating hoop, i.e. its distribution at each load can be evaluated as follows:

(a) The bending stress in the cross-section of the floating hoop at each centrifugal force can be estimated from Table 1.

$$M_i = F R_2 (0.18879) = 13731 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

where R_2 denotes the radius of the neutral line of the race of the floating hoop ($R_2 = 22 \text{ cm}$).

In this case, the bending stress generated at the surface of the race of the floating hoop is,

$$\sigma_B = \frac{M_i}{Z} = \frac{13731}{\frac{8}{3}} = 5149 \text{ kgf/cm}^2$$

(b) When the centrifugal force exerted by the planet gear applies, the tensile stress in the cross-section of the floating hoop is caused by the normal force N_i .

$$N_i = N_{i=\frac{\pi}{3}} = \frac{F \sin \theta}{2 \cos \theta} = 954.4 \text{ kgf}$$

And then, the tensile stress σ_t is,

$$\sigma_t = \frac{N_i}{A} = \frac{954.4}{4} = 239 \text{ kgf/cm}^2$$

(c) The shearing stress in each section of the floating hoop is evaluated as follows :

$$F_i = \frac{F}{2} = \frac{3306}{2} = 1653 \text{ kgf}$$

Therefore, the shearing stress concerned is given by,

$$\tau = 1.5 \frac{F_i}{A} = 1.5 \frac{1653}{4} = 619 \text{ kgf/cm}^2$$

We shall have to examine the mechanical strength of the floating hoop in bulk, as affected by the combination of the stresses resulting from the bending stress σ_B , the tensile stress σ_t and the shearing stress τ . Now, the maximum principal stress σ_1 in the cross-section of the floating hoop is expressed by,

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} (\sigma_B + \sigma_t + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_B + \sigma_t)^2 + 4 \tau^2})$$

$$= 4047 \text{ kgf/cm}^2$$

If the principal stress generated by the centrifugal force exerted by each planet gear should exceeds the elastic limit of hardened steel of which the floating hoop is made, the floating hoop will be plastically deformed. This in turn will then incur a considerable risk of damage to the planet bearing, and the planet gear is no longer retained by the floating hoop.

When comparing the deflection of the race of the floating hoop in the cross-section between loads and at loads, the former is larger than the latter. Therefore, let us confine ourselves to estimating the deflection of the race in the cross-section between loads.

For example, when the number of the planet gears is 3, and the angular velocity of the planet gear rotating around the sun gear is $\omega_1 = 200 \text{ rad/s}$, the deflection of the floating hoop between loads is,

$$\delta_1 = \frac{FR_2^3}{EI} \times 0.0667 = \frac{3306 \times (22)^3 \times 0.0667}{2.1 \times 10^6 \times 16/3} = 0.21 \text{ cm}$$

References

- (1) R. Lipps, *Machine Design*, Sept. 4 (1975), p. 77
- (2) C. B. Biezeno & R. Grammel, "Engineering Dynamics", Vol. 1, Sect. II, p. 105; Vol. 2, Sect. II, p. 138 (1955), Blackie & Son Ltd.
- (3) S. Timoshenko, "Strength of Materials", Vol. 1, Chap. XII, p. 380–381, 3rd Edition (1955), D. Van Nostrand Comp.

(Received April 15, 1982)

自動分割方式を使用した F・E・M による 歯の応力分布

(機械工学科) 野 原 稔

Stress Distribution in Gear Teeth due to Finite Element Method using Method of Automatic Division of Teeth

Minoru NOHARA

The finite element method (F.E.M) has been applied to solve many problems of the information of a solid.

In this case, the model of the solid is necessary to be expressed by the network divided by the finite elements.

In this report, the stress distribution in the gear teeth in which the concentrated load acts on the meshing faces was obtained by using the computer simulation technique.

§ 1 緒 言

有限要素法 (F・E・M) は、数値解法として広く利用されている有効な方法であるが、F・E・M を使用する場合、解法に必要なデータの準備およびその正誤の検査に多くの時間を要する。これを改善するために自動分割法を導入し、任意形状を有する物体の解析に必要なデータの作成が、自動的にできるようになれば大変有益である。

本報においては、片持はりに自動分割法を使用し、分割状況における計算精度を理論解と比較した後、歯車の歯について自動分割法を適用し、かみあい状態における歯元応力および主応力の分布状態を求めた。

§ 2 記 号

α : かみあい圧力角

m : モジュール

z : 歯数

P : 作用線方向に作用する力

R_g : 基礎円半径

ω : 歯中心線に垂直に交わる線と作用線のなす角

i : $i = 1$ の場合小歯車, $i = 2$ の場合大歯車を示す

b : 歯幅

C_s : 頂げき係数

x : 転位係数

R_a : 歯先円半径

R_m : 有効歯元円半径

§ 3 解析方法

本報告においては、二次元領域をモデル化するのに線形三角形要素を使用するため、領域分割は最も細かい分割とすることができる。⁽¹⁾

また、F・E・M により二次元領域を解析する場合、この領域を分割する必要が生じるが、有益な結果

を得るためには十分に小さい要素で、しかも計算速度の高速化のために大きな要素となるよう、両方のバランスに細心の注意を払う必要がある。そこで、手軽に任意形状を有する物体の領域を分割できる方法が有効となってくる。図1 (a) に示すような任意形状を有する領域モデルの要素分割を考える場合、8箇の x, y 座標値と x, y 方向の分割数を入力すれば、図1 (b) に示すような領域の分割が自動的に決定される。また領域分割の大小は、図1 (a) の辺中央の節点2, 4, 6, 8をどちらか一方に移動させることにより、分割の大きさを任意に変化させることができる。

§ 4 分割精度

$F \cdot E \cdot M$ は三角形要素の分割数および大きさによって得られる値が異なるため、どの程度の分割を行えば、ほぼ目的とする計算精度が得られるかを求めておく必要がある。

本報においては、片持りを例にとり精度の検討を行なう。図2に示すような $t = 10\text{mm}$, $l = 100\text{mm}$, $h = 40\text{mm}$ の寸法を持つ片持りの先端に、 $P = 100\text{kgf}$ が作用した場合の固定端の最大応力が発生する位置 $\eta = 20\text{mm}$ の応力は式(1)で与えられる。

$$\sigma = M \eta / I = 12 P \eta l / b h^3 \dots\dots\dots (1)$$

また、上述したと同様な寸法および条件を持つ片持りに自動分割法を適用し、図3 (a) に示すように番号付けをした後、 $n_x = 4, n_y = 8, 12, 16, 20$ を入力すると図3 (b) に示すように要素分割が決定できる。図3 (b) に示す要素分割の引張側の最大応力が発生する固定端の要素番号7の応力と理論値との

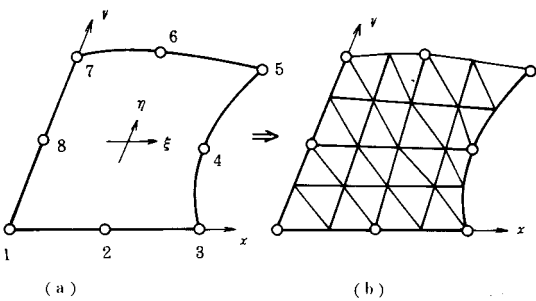


図1 任意形状を有する物体から三角形要素の発生

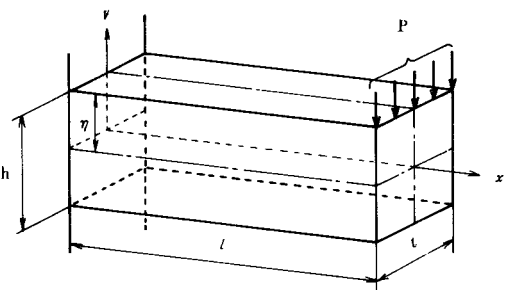


図2 片持りの形状

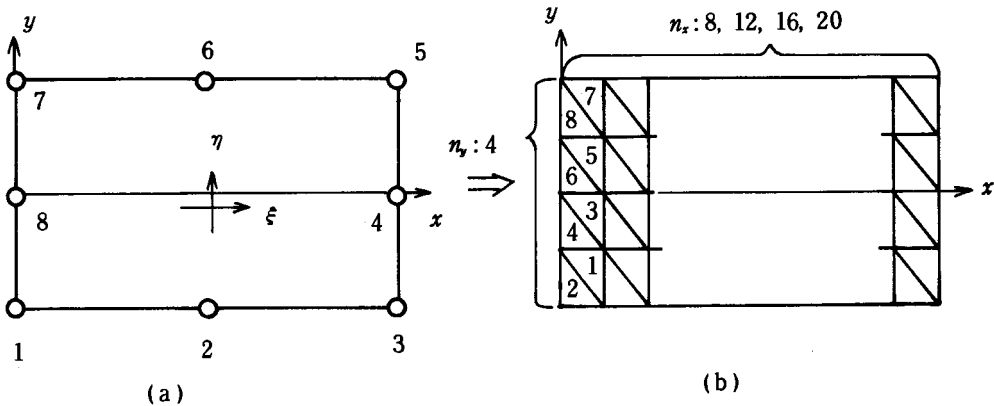


図3 長方形片持りから三角形要素の発生

比較を表1に示す。表1において、 n_x 方向の分割を増すにしたがって、計算精度が増加することがわかる。このことより、片持はり形状を持つ解析対象物に対しては、 $n_x \geq 20$ 、 $n_y \geq 4$ 以上に分割を行えば、ほぼ満足できる計算精度を得ることが可能となる。

表1 長方形ばりのF・E・M値と理論値の比較

分割数		F・E・M値	理論値	F・E・M値／理論値
n_y	n_x	σ_1 kgf/mm ²	σ kgf/mm ²	σ_1 / σ
4	8	2.95	3.62	0.81
	12	3.23	3.62	0.89
	16	3.37	3.62	0.93
	20	3.46	3.62	0.96

§5 解析モデル

任意形状を有する二次元モデルに歯車の歯を選び、荷重点の移動によって変化する応力の変化を調べる。まず、大小両歯車の歯形を図4(a)、(b)に示すように8箇の領域に分割する。分割したそれぞれの領域について、 x 方向および y 方向を何分割するかを決定し、自動分割プログラムに入力し出力結果をX、Yプロッターに作図させた。これを図5(a)、(b)に示すように、歯元付近は少し小さめの分割、歯の内部は大きめの分割となっており、分割が適確に行なわれたかどうかの判断が一見してわかる。

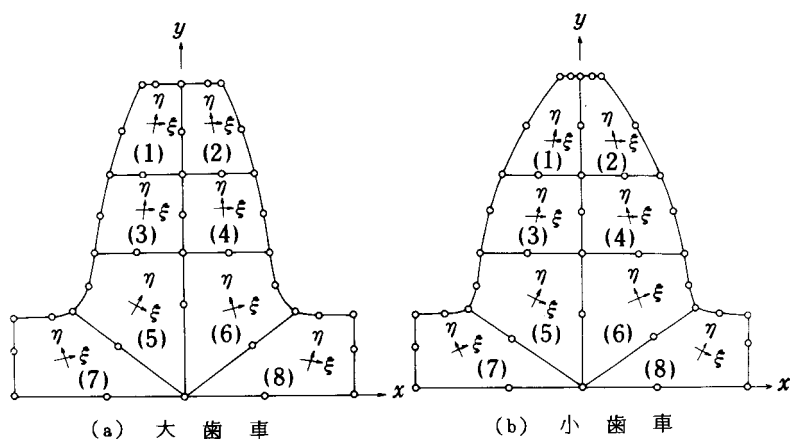


図4 歯の領域分割

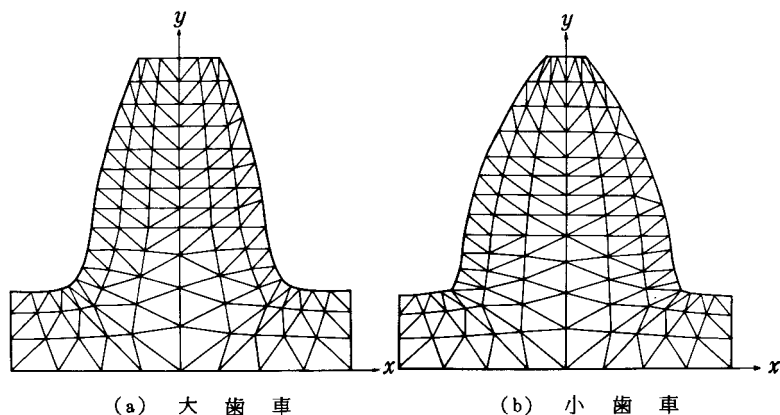


図5 歯の要素分割

§ 6 歯に作用する荷重とその位置

F・E・Mにおいては、図6に示すように歯に作用する作用線方向荷重 P を x 方向荷重 P_x 、 y 方向荷重 P_y に分けて入力する必要がある。このため荷重 P と P_x がなす角 ω と荷重が作用する位置すなわち歯底円からの高さ \bar{a} を求める。

→本報においては、解析の対象に転位係数 $x_{1,2} = \pm 0.5$ 、 $m = 4$ 、 $z_1 = 18$ 、 $z_2 = 40$ 、 $b = 10 \text{ mm}$ 、 $\alpha = 20^\circ$ 、 $C_s = 0.25 \text{ m}$ の歯車を選んだ⁽³⁾いま、図7に示すようなかみあい作用線上の任意の点Qにおける x 、 y 方向の荷重を求める計算式を小歯車を例にとり式(2)に示す。

$$APIP = PO_1 \cdot \sin \alpha$$

$$AL3 = \sqrt{R_{k1}^2 - R_{g1}^2} - R_{g1} \cdot \tan \alpha$$

$$\varphi_1 = \pi/2 \cdot 1/z + \text{inv } \alpha + 2x_1 \tan \alpha / z_1$$

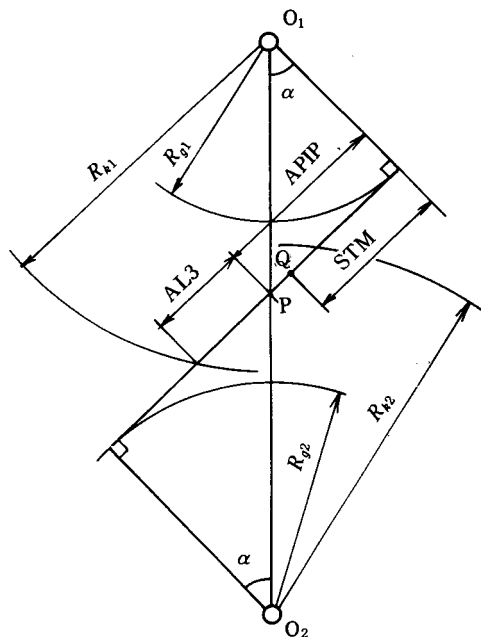


図7 かみあいの状態

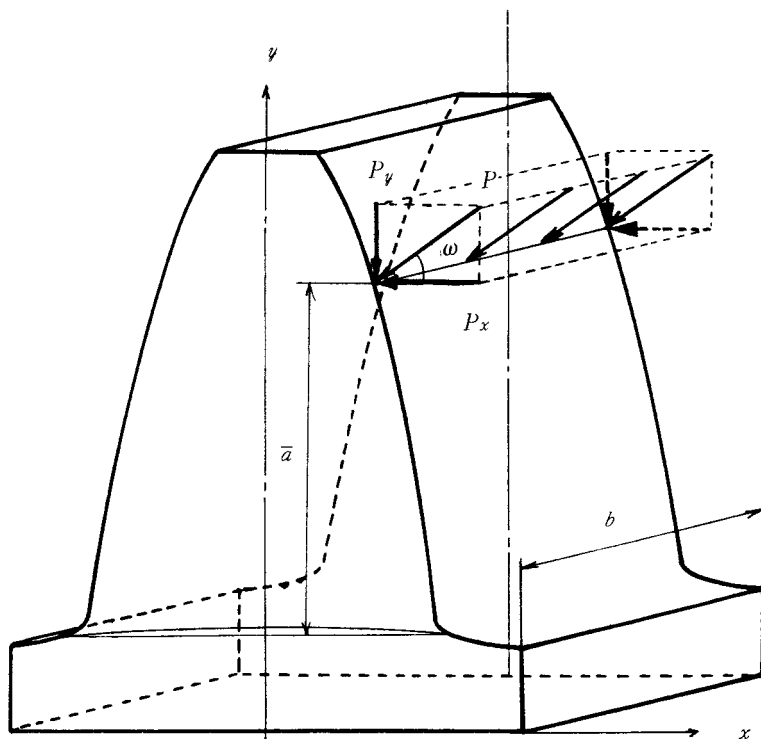


図6 歯に作用する荷重とその位置

$$\left. \begin{aligned} \omega &= STM/R_{g1} - \varphi_1 \\ P_x &= P \cos \omega \\ P_y &= P \sin \omega \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

次に、歯底円から荷重点までの距離 \bar{a} を求める。 \bar{a} は $R_m \leq R_g$ の判別により式(3)により決定される。

$R_m > R_g$: の場合

$$\left. \begin{aligned} \bar{a} &= QO_1 \cdot \cos \angle g - \sqrt{R_{g1}^2 - (S_f/2)^2} \\ S_f &= 2R_m \sin(\varphi_1 - \text{inv } \alpha_f) \\ \angle g &= \tan^{-1}(STM/R_{g1}) - AA \\ AA &= STM/R_{g1} - \varphi_1 \\ \alpha_f &= \tan^{-1} \sqrt{(R_{m1}/R_{g1})^2 - 1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$R_m < R_g$: の場合

式(3)における S_f の項を S_g とすることにより得られる。ただし、 $S_g = 2R_g \cdot \sin \varphi_1$ とする。

式(2)(3)により得られた荷重点の変化による \bar{a} , P_x , P_y の値を表2に示す。

表2 かみあい位置の変化による \bar{a} , P_x , P_y

かみあい位置	記号	大 歯 車			小 歯 車		
		\bar{a} mm	P_x kgf	P_y kgf	\bar{a} mm	P_x kgf	P_y kgf
歯 先	A	9.06	92.5	38.1	9.25	81.8	57.6
2枚かみあい始め	B	6.78	95.3	30.4	5.82	90.8	41.8
2枚かみあい終り	C	5.06	97.3	23.1	3.33	96.5	26.1
歯 元	D	3.62	98.9	15.1	1.54	99.7	8.2

§ 7 歯元応力⁽⁴⁾

荷重点の変化による大歯車の歯元応力の状態を図8に、小歯車のそれを図9に示す。

これらの図より、荷重点が歯先～2枚かみあいの始め付近までの範囲にある場合、歯元付近の最大応力は歯の圧縮側の応力が引張側の応力より大きく現われる。また、荷重が2枚かみあい終り付近～歯元の範囲においては、歯の引張側の応力が圧縮側の応力より大きく現われることがわかる。

§ 8 歯の応力分布⁽⁵⁾

荷重点の歯先から歯元までの移動による大歯車の歯内部の応力分布状態を図10に、小歯車のそれを図11に示す。図においてわかるように、荷重点の移動にともない、歯先付近の応力分布はしだいに小さくなり、点でしか現われない大きさとなって行くことがわかる。

§ 9 結 言

F・E・Mに自動分割法を導入し、荷重点の変化による歯車の歯の応力を求めた結果、次のようなことがわかった。

- 1) 自動分割法を使用すると、任意形状を有する物体の解析に必要なデータが自動的に作成され、デー

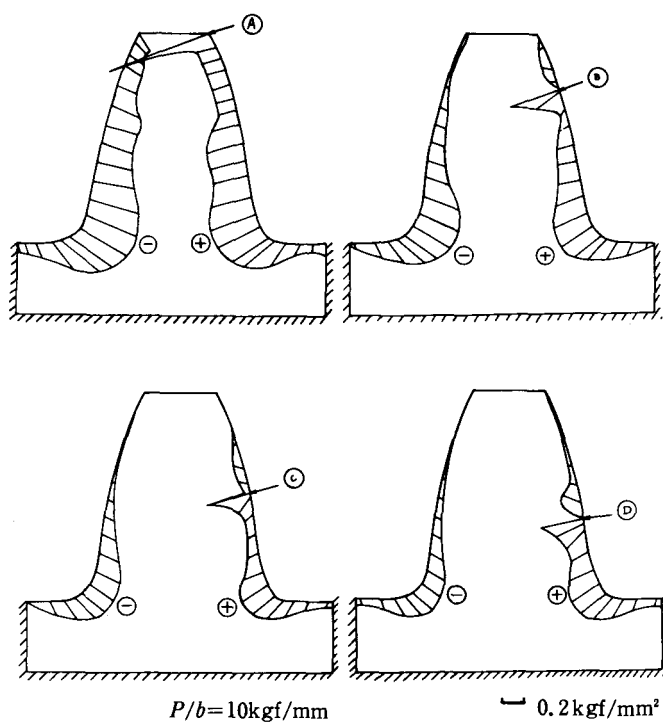


図8 大歯車の歯元応力

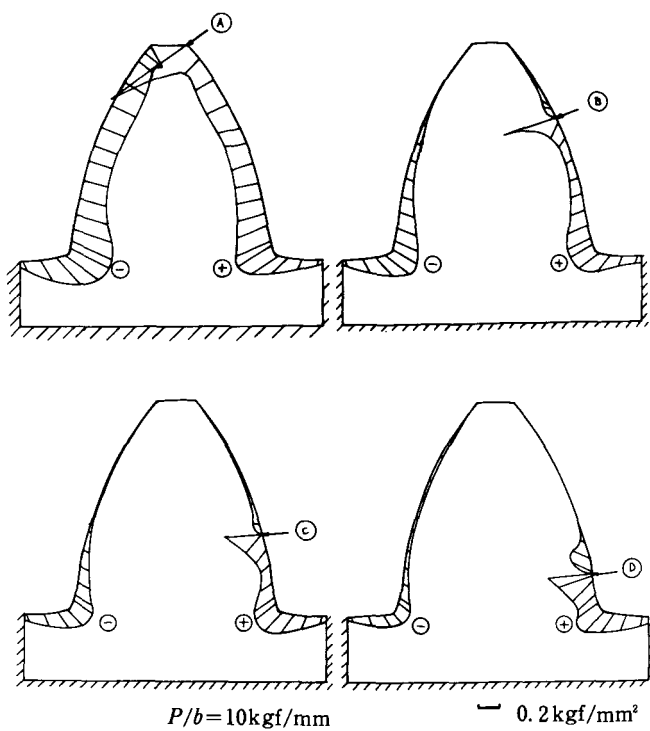


図9 小歯車の歯元応力

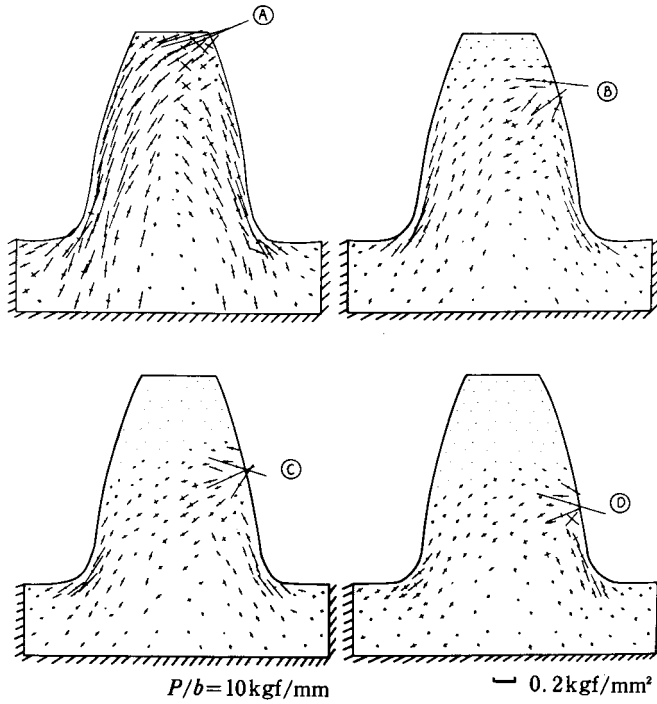


図10 大歯車の歯内部の応力分布

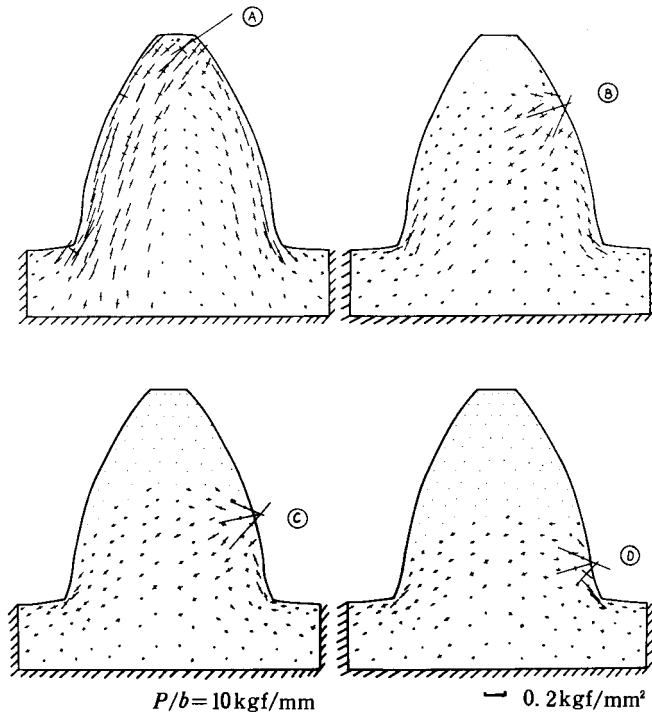


図11 小歯車の歯内部の応力分布

タ作成に要する時間が大幅に短縮されるということがわかった。

2) 荷重点の移動に対する歯元応力の変化および応力の分布状態を明らかにすることができた。

計算には FACOM 230-28 S および FACOM F2 を使用した。計算機使用に際して、便宜をいただくとともに終始御指導をたまわった近畿大学工学部、藤井亮先生に深く感謝致します。

文 献

- 1) Zienkiewicz, O. C., The Finite Element Method, McGraw-Hill, (1967)
- 2) L. J. Segerlind 著 (川井忠彦訳), 応用有限要素解析, (1980), 丸善
- 3) 野原, 灘野, 呉高専研究報告, 16-1, 1980
- 4) A. Seireg. Trans. ASME, PTG-4, (1973), 1108
- 5) G. V. Torpion. Trans. ASME, PTG 15, (1973), 1159

(昭和57年4月15日受付)

蛍光ランプ照明と疲労の研究

(電気工学科) 原 田 一 彦

Studies of the Fluorescent Lamps Lighting and Fatigue

Kazuhiko HARADA

We studied fatigue by the erasing work under three kinds of fluorescent lamps lighting (general lamp, good color rendering lamp and three band luminescent lamp).

Using three sorts of illuminances (200 lx, 600 lx and 1000 lx), we conducted the erasing work at which the erasing paper with the Landolt ring with six colors (5R4/12, 5YR6.5/12, 5Y8/12, 5G5/8, 2.5 PB4/8 and 7.5P4/8) was used.

After that we examined the fatigue by taking the variety of the blood pressure and pulse. The following results were obtained;

- (1) The highest blood pressure and pulse under three band luminescent and good color rendering lamps lighting varied less than that under general lamp lighting.
- (2) The variety value of them at every fluorescent lamp got low when illuminance was high.
- (3) Accordingly, in case of the work with many colors, if we use three band luminescent and good color rendering lamps, and moreover use high illuminance, we get little fatigue.

§ 1 緒 言

前回、普通形、演色改善形および3波長域形の3種類の蛍光ランプの照明下で、7色のランドルト環で作った抹消用紙で抹消作業をした場合の目の疲労について、フリッカーメーターを使用して調査した¹⁾。その結果は、3波長域形蛍光ランプによる照明が最も目の疲労が少なく、演色改善形、普通形の順であった。また、どの蛍光ランプでも、照度を高くすれば疲労と作業の誤差が少なくなることがわかった。

今回は、ほぼ前回と同様の作業を3種類の蛍光ランプ照明下で行ない、循環機能の変化による疲労の程度を求めるため、血圧と脈拍を測定した。そして、蛍光ランプの種類および照度との関係を検討した。

§ 2 疲 労²⁾

(1) 疲労現象

人間の疲労現象は、極めて複雑であるので、その程度の的確な判断ならびに測定は困難である。一般的には、運動や作業の場合、その能率が低下したときと考えられるが、これは、エネルギーの消耗、老廃物の蓄積等により動作および能力の減退を起こすことによろうが、精神的な影響も見逃がすことはできない。運動や作業をしなくても、精神的負担によっても疲労を生じる。しかし、ほとんどの疲労は、休養によって完全に取り去ることができるのが大きな特徴である。

疲労は、原因によるもの(過重、未熟、不適性等)、部位によるもの(全身、局部)、症状によるもの(急性、慢性、自覚、他覚)に一応分類することができるが、内容が複雑なだけに困難である。

疲労の原因は、肉体的なもの、精神的なもの、また、体質による場合がある。肉体的原因即ち運動や作業による原因は、主として乳酸のような疲労物質の蓄積、グリコーゲン、ビタミン等の必要物質の消耗、自律神経系による神経調節の変調、中枢神経系の疲労等が考えられる。

疲労感を覚えないのに、検査ではその症状がでたり、疲労感を自覚しても、それがすぐに能率の低下に結びつかないことがある。しかし、疲労現象は、顔、全身、呼吸、血液、尿、筋、神経、循環系および感覚系にでてくる。このことは、疲労の測定・判定に利用され、各種の検査法がある。前回の実験で採用したフリッカーテストは、神経・感覚機能の変化を、今回の血圧、脈拍を測定するのは、循環機能の変化を利用したものである。

(2) 血 圧

血圧の測定は、圧迫法といわれている体外から血管を圧迫して間接的に測る方法が採用されている。これは、心臓の収縮時の圧力、血管の弾力性、収縮状態の抵抗、血液の性質等が関係する。普通の健康な成人で最大血圧 100～130 mmHg、最小血圧 50～80 mmHg 程度であるが、年齢によりやや上昇する傾向がある。

血圧は、前記理由以外に、肉体的、精神的な影響を受けて鋭敏に変化し、また、立って測定すると座った場合よりも高くなる傾向がある。そして、運動、仕事、食事、入浴等も影響する。

運動をしている状態での血圧変化の測定は困難であるが、終了後の経過は容易に測定できる。一般的には、運動中は強弱の程度に比例するが、20～60 mmHg の範囲で最大血圧は上昇し、終了後は直ちに下降をはじめ、循環系の疲労のため数分～数十分の間平常状態より下がり、その後再び上昇して平常値に回復する。図 1 はその状態を示したものである。運動による血圧の上昇は、循環機能が增強されることによるが、体質、能力、運動の種類および程度等によってその様子は違ってくる。

最小血圧も運動すると若干上昇するが、最大血圧はほど大きくない。

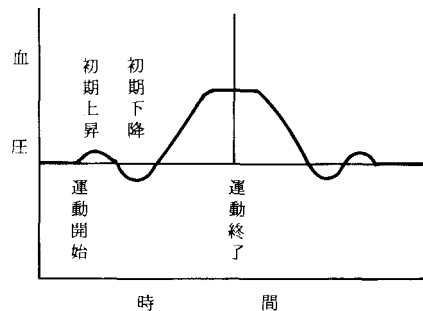


図 1 運動による最高血圧の変動

(3) 脈 拍

脈拍は、脈拍数と律動、大小、遅速等の性質を触診によって求める。運動時の脈拍は増加し、また、小さくなり触診では計測しにくくなるので、カルディオタコグラフや心電計を用いる電氣的な測定が行なわれる。

脈拍数は、成人で平常時毎分 70 程度であるが、運動を始めると図 2 のように増加し、若干の変動はあるがほぼ一定の値を保ち、終了すると漸減して定常値にもどるのが一般的である。運動時の脈拍数の増加は、交感神経の刺激によるものが主で、このほかに、体温の上昇、血中アドレナリンの増加、静脈血圧上昇、酸素欠乏、二酸化炭素の増量などが原因となる。運動終了後の脈拍の回復は、一般的には軽度の運動の場合は早く、強度の場合は時間がかかる。

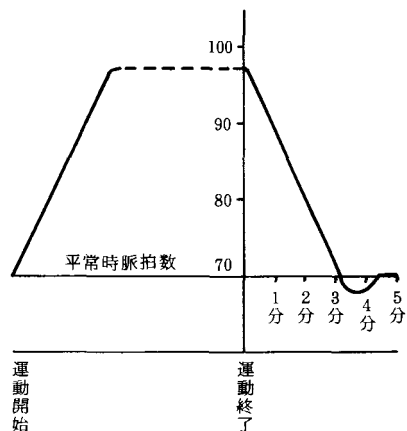


図 2 運動による脈拍数の変動

しかし、運動の種類と強度、持続時間、熟練度、個人の体質により異なる。

§ 3 実験および吟味

実験方法は、目の疲労を測定した前回とほぼ同様で、使用した蛍光ランプは、普通形（白色）、演色改善形および3波長域形の3種類の前回と同一のもので、机上面の照度も200, 600および1,000 lxの3段階で測定した。抹消用紙のランドルト環の大きさは、前回は、外径3.3mm、内径2.0mmであったが、今回は、疲労の影響がさらに大きくなるように外径2.80mm、内径1.68mm、切れ目の幅0.25mmとした。台紙の色は白色で反射率90%のものである。ランドルト環の色は、5R4/12, 5YR6.5/12, 5Y8/12, 5Y9/3, 5G5/8, 2.5PB4/8および7.5P4/8の7色を用意したが、5Y9/3の色再現が十分でないため、この色を除外した。したがって、縦、横56個ずつの合計3136個のランドルト環が8方向に無作為に配列したが、実際には、2744個が対象となった。

被験者は、視力および色覚の正常な16歳の男子学生4名である。

抹消作業の方法は前回と同様で、ある一方向の切れ目のランドルト環を抹消する方法で、20分間行なわせた直前・直後に、血圧（最大、最低）、脈拍の測定をした。測定には、市販の電子血圧計を使用した。これは、最高血圧、最低血圧および脈拍が同時にデジタル表示されるようになっている。

疲労は、これらの値から次のように定義した変化率を求めて、この値で検討することにした。即ち、値が小さいと疲労が少ないと判断する。

$$\text{変化率} = \frac{\text{実験後の測定値} - \text{実験前の測定値}}{\text{実験前の測定値}} \times 100\%$$

図3は、最高血圧の変化率を示したものである。これからわかるように、3波長域形、演色改善形、普通形の順に値が少なく、3波長域形と演色改善形の値は接近しているが、普通形蛍光ランプとの間では、1,000 lxの場合、前者の0.4%に対して、後者は3.5%で約8.7倍の差であった。また、蛍光ランプの種類に無関係に、照度が高くなると、値は小さくなる傾向があることがはっきりわかる。3波長域形蛍光ランプでは、200 lxと1,000 lxとの間で約8.7倍、600 lxと1,000 lxの間では約5.7倍の差があった。

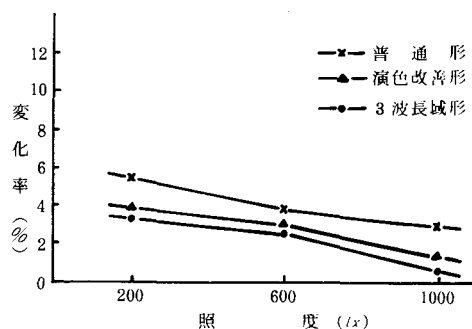


図3 抹消作業による最高血圧の変化

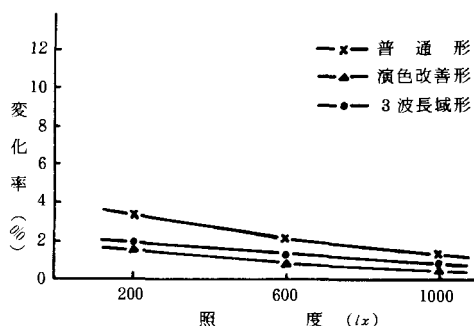


図4 抹消作業による最低血圧の変化

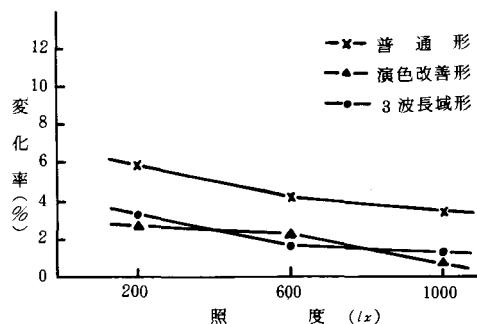


図5 抹消作業による脈圧の変化

も値が小さいが、3波長域形と大差ない。

図5は、最大血圧と最小血圧の差の脈圧の変化率を求めたものである。脈圧の変動は、疲労と大いに関係があるが、最大血圧の場合と同じく3波長域形と演色改善形はほとんど差がなく、普通形とは約3%の差があり、また、当然ながらこの場合も照度が高くなると値は小さくなる。

図6は、脈拍数の変化率を示したもので、血圧の場合とはほぼ同様の傾向であったが、1,000 lxでは、普通形と他の2種の蛍光ランプとの差は僅かで約5%であった。

前回の目の疲労の実験では、3波長域形蛍光ランプによる照明が最も疲労が少なく、演色改善形、普通形の順となったが、今回の実験では、3波長域形と演色改善形との差はあまりなく、普通形に比較して疲労が少ないという結果となった。また、照度を高くすれば疲労が少なくなることは前回と同様であった。演色性の良い照明下では、目の疲労も循環機能の疲労も少ないことがわかった。

§4 結 言

3種類の蛍光ランプ照明下で、6色のランドルト環による抹消作業をした場合の血圧と脈拍を測定して疲労の程度を求めた。演色性の良好な3波長域形と演色改善形の場合は大差なく、普通形に比べて疲労は少なく、また、どの蛍光ランプでも照度を高くすれば、疲労が少なくなる結果となった。

測定値は、被験者によってバラツキがあったが、血圧や脈拍は微妙に変化するので困難な面があるが、さらに正確な測定法を検討したい。

最後に、卒業研究として測定に協力していただいた14期生 杉原裕二、西川崇虎 両君と 被験者になっていただいた学生諸君に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 原田一彦：呉高専研究報告 VOL. 17-1 (昭和56年) 75
- 2) 宮島俊名：体育と運動の医学 241~246

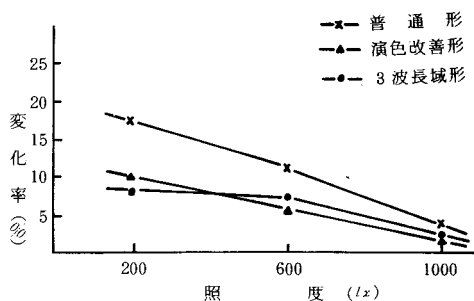


図6 抹消作業による脈拍数の変化

(昭和57年4月15日受付)

呉高専電子計算機室の実態と分析（第2報）

（電気工学科） 村 上 滋 樹
（電子計算機室） 町 田 勝 吉

An Analysis on the Actual Conditions of Computer Room at KURE Technical College (2nd Report)

Shigeki MURAKAMI
Masayoshi MACHIDA

A survey view on the actual conditions of computer room in last four years ('78 (S53) - '81 (S56)) are presented. FACOM 230-28S system were reinforced with two 17.7MB DP units and two MT units in 1980. The effects of those reinforcement were improvement of availability, easy operation of the system etc..

On the otherhand, this system became more undesirable for our requirements, e.g. high speed processing of mass data, immediate responsibility to the requests (TSS), etc.

The guidelines for the selection of new system which will be able to satisfy our requirements are considered lastly.

1 緒 言

電子計算機室が開室して7年余が経過した。FACOM 230-28Sシステム¹⁾も逐次増強を重ね計算機システムとして標準的な構成をもつようになったが、日進月歩の流れの中ではやや時代遅れの感がするのが実状である。第1報²⁾に続いて、その後の3年間の稼動状況、利用状況及び設備充実の推移を概観して簡単な分析を試み、今後の電子計算機室のあり方や、近い将来導入されるであろう新しい電子計算機システムの構成について検討してみる。

2 利用状況

利用概況を表1, 2および図1, 2に示す。54年度はジョブ数、1日当りCPU時間も10.9と最大となった。55年度はジョブ数が約10(%)減少し、CPU時間も約30(%)減少しているが、これは教官研究の長時

表1 稼 動 状 況

年度	稼動日数	ジョブ数(演習)	CPU時間	ジョブ数/日	CPU時間/日	電源投入時間/日	稼動率(%)
53	280	8048 (2921)	2586	28.7	9.2	13.4	68.7
54	278	9123 (4297)	3018	32.8	10.9	15.4	70.8
55	272	8350 (3635)	2030	30.7	7.5	11.4	65.8
56	288	8736 (3821)	2921	30.3	10.1	13.7	73.8

間ジョブの減少と、マイクロコンピュータが多くの研究室に導入され、それを使いこなすために28Sシステムの利用時間が減ったためと思う。56年度はまた増加しているが、演習の増加と教官研究において長時間利用者が増えたという事情によるものである。なお、56年度よりOSをBOS/VSに完全に移行して、FORTRANの水準を上げるとともに、演習はVS/COLTに移行したが、演習ジョブは各メンバー毎にジョブ数をカウントしないで、学級単位(グループ単位)を1ジョブとして処理するので、メンバー単位でカウントしていた以前の場合に比べると演習ジョブ数、全ジョブ数はかなり多くなるはずである。

56年度の月別利用状況をみると、ジョブ数については略々平均して利用されていることが分かる。CPU時間をみても、9月から2月にかけて

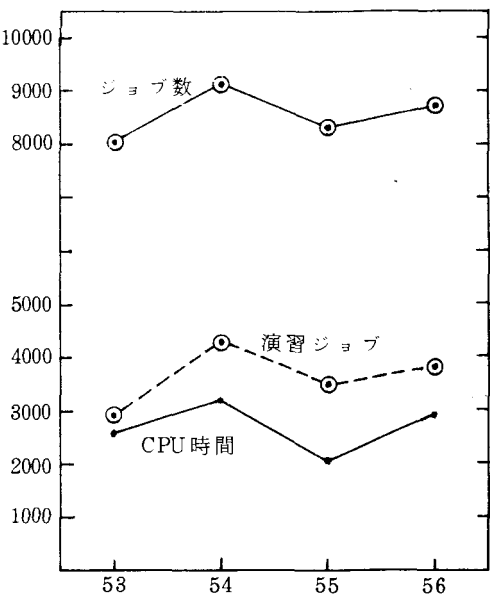


図1 年度別利用状況

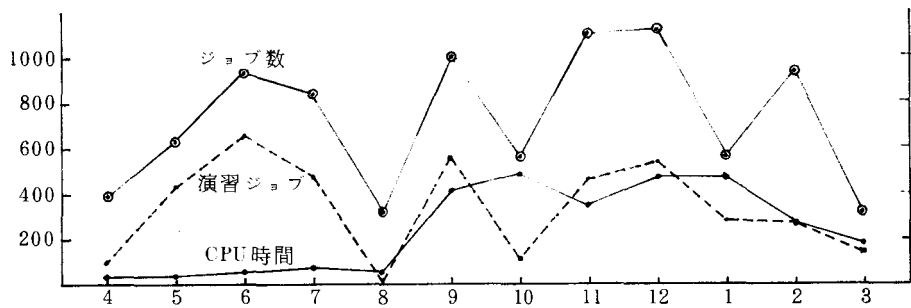


図2 昭和56年度 月別利用状況

表2 学科別利用状況 (ジョブ数(演習)/CPU時間)

年 度	機 械 工 学 科	電 気 工 学 科	土 木 工 学 科	建 築 学 科	計
53	$\frac{3542 (1149)}{1298.7}$	$\frac{1920 (1182)}{77.7}$	$\frac{1272 (517)}{41.8}$	$\frac{632 (73)}{631.8}$	$\frac{7366 (2921)}{2050.0}$
54	$\frac{2497 (1487)}{904.6}$	$\frac{3051 (1819)}{58.7}$	$\frac{1809 (991)}{46.8}$	$\frac{787 (0)}{843.9}$	$\frac{8144 (4297)}{1854.0}$
55	$\frac{1985 (1549)}{318.3}$	$\frac{3525 (1626)}{67.1}$	$\frac{1082 (323)}{89.1}$	$\frac{1156 (137)}{952.8}$	$\frac{7748 (3635)}{1427.3}$
56	$\frac{3018 (1326)}{1474.3}$	$\frac{2422 (1199)}{586.6}$	$\frac{1597 (1163)}{41.0}$	$\frac{1055 (133)}{204.3}$	$\frac{8092 (3821)}{2306.2}$
計	$\frac{11042 (5511)}{3995.9}$	$\frac{10918 (5826)}{790.1}$	$\frac{5760 (2994)}{218.7}$	$\frac{3630 (343)}{2632.8}$	$\frac{31350(14674)}{7637.5}$
比率(%)	$\frac{35.2 (37.6)}{52.3}$	$\frac{34.8 (39.7)}{10.3}$	$\frac{18.4 (20.4)}{2.9}$	$\frac{11.6 (2.3)}{34.5}$	$\frac{100 (100)}{100}$

で平均的にうまく利用されている。演習が、前期の前半に相当量実施されており電子計算機室にとっても他の利用者にとっても好ましい状況となっている。

つぎに学科別利用状況をみると、ジョブ数では、機械、電気、土木、建築の順となり、CPU時間については、機械、建築、電気、土木となっている。土木工学科における演習の増加が目立っている。電気、土木でCPU時間が少ないのは、メモリが小さいため大規模なネットワークについて計算できないものと思われる。ジョブ当りCPU時間[分]が建築—43.5、機械—21.9、電気—4.3、土木—2.3となっていることより利用の内容が推察されよう。

3 設備充実の推移

メモリの増設、補助記憶装置の増設という要望を実現するべく、文部省に概算要求を提出するとともに、メーカーとも技術的接渉を続けた。メモリについては64KBが上限であることが確認されたので磁気ディスク装置(DP)と磁気テープ装置(MT)の導入に向かって進むこととなった。幸いにも文部省の御理解を得て昭和55年度特別設備費により17.7MB-DP 2台、MT 2デッキに加えて、フロッピー・データエントリシステム(複座)を導入することができた。

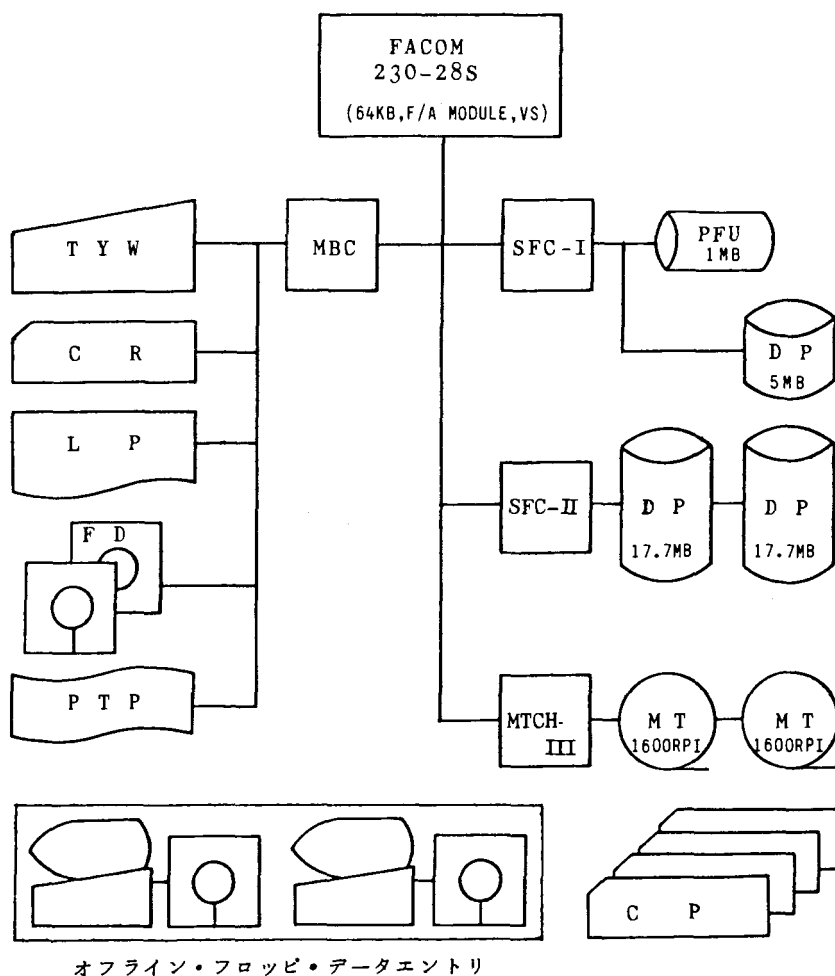


図3 呉高専 FACOM 230-28S システム

昭和56年度以降の28Sシステムは図3のとおりで、汎用計算機システムとして標準的構成となった。システム運用上、最も大きな利益をもたらしたものはディスク装置の増設でありその効果は次のとおりである。

- (1) システム用パックの交換が不要となり、交換時に要する手操作時間が減少できるため稼働率が向上した(前年比+8%)。
- (2) COLTジョブの随時処理が実現し、COLT機能がレベルアップできた(例えば各学生毎のデータカード作成、エラーメッセージの内容充実など)。
- (3) 利用者用ファイルの確保。

磁気テープ装置設置による利点としては

- (1) 各種データ(例えば会計情報、演習成果など)の蓄積と利用者用ファイルの確保。
- (2) 各種アプリケーションプログラムの活用が容易になった。
- (3) システムプログラムのレベルアップ、修正が容易になった。

などがあげられる。

さらに、フロッピーディスクによるデータ交換を行うため54年度に電気工学科に導入された超高速過渡現象解析システムにあわせてフロッピーディスク装置を導入した。両システムのデータ交換はIBM標準仕様によって行われている³⁾。フロッピーディスクをベースとした入出力方式に移行している社会的う勢を考慮し、管理の便利さ、出力データなどの保存の便利さ、入力データ作成機器数の増加をねらいとして、翌年度にはフロッピー・データエントリシステム(複座)が導入された。

55年度の増設により28Sシステムは、低速であり主記憶が少ないという宿命的条件下で2種類の入力方式と多様な出力方式をもった有用なシステムとなってきたのである。

4 28Sシステムの問題点と今後のシステムの検討

現システムの問題点としては次のようなものがあげられるであろう。

- (1) 処理速度がおそく、現状でも2倍以上の速度が必要である。
- (2) 主記憶容量が小さく64KBで、拡張ができない。
- (3) TSS利用ができない。

これらの問題点と利用形態の多様化に対応することができるシステムの仕様の概略は次のようなものとなるであろう。

- (1) 処理速度は最低で4倍、できれば10倍が望ましい。
(現状でも2倍の速度が必要であるが、記憶容量が増せば計算規模拡大による処理量が相乗的に増加するし、TSSにすれば更に能力向上が望まれる。)
- (2) 主記憶容量は少なくとも1MB必要であり、拡張可能であること。
(計算規模拡張(例えば連立方程式の元数拡張)を多くの利用者が希望していること、TSS, OSのオーバーヘッドなどから1MBは必要最小限であろう。)
- (3) TSSをフォアグラウンドジョブとし端末は少なくとも25台は必要である。
(演習における教育効果向上、短時間ジョブの即時処理などの時流に沿った処理方式が必要である。長時間ジョブはバックグラウンドジョブとして取扱う。)
- (4) ファイル容量は400MB以上が望ましい。
(200MB程度のDP装置が2台以上必要であり、システム用、システム保全用、ユーザファイルと使い分ければ3台必要となる。データベース利用を考慮すれば更に容量を大きくすべきである。)
- (5) 通信機能を具備していること。
- (6) 漢字処理機能をもっていること。
- (7) 自動化/省力化運転の機能が優れていること。

(8) レンタル利用方式であること。

（買取りであると5年間程度利用しないと不利であるが、処理量が飛躍的に増加する可能性がありその予測が困難であることと3年位で新機種が発表されプライスパフォーマンスがアップするので3年程度を契約期間とするレンタル方式が有利である。）

上述の条件を具備している機種を28Sの性能との関連上、富士通⁴⁾のMシリーズの中から選ぶとすると、M150F以上のシステムとなるが、M-160F程度が望ましいと思う。

5 結 言

28Sシステムの増強と、演習量の増加により総処理量の拡大、稼働率の向上が達成されたが、現システムは運用時間から考えても利用可能性の限界にきていると思われる。多角的活用、効率的運用をねがう私達の要求を満たしてくれるような新システムの導入が早急に実現するよう教官各位、関係職員各位の御支援をお願いする。

参 考 文 献

- 1) 村上：呉高専 FACOM 230-28Sシステム，呉高専研究報告第11巻第2号（昭和51年3月）。
- 2) 村上・町田：呉高専電子計算機室の実態と分析（第1報），呉高専研究報告第15巻第2号（昭和55年2月）。
- 3) 廣光・町田：超高速過渡現象解析システム／FACOM 230-28S・データ・コンバージョン・ソフトウェアの開発，呉高専研究報告第17巻第1号（昭和56年9月）。
- 4) 富士通：FACOM MシリーズFモデルの概要，FACOMジャーナル VOL. 6 NO. 2（昭和55年）。

（昭和57年4月15日受付）

SF₆ ガス中及び空気と SF₆ との混合ガス中での沿面せん絡特性

(電気工学科) 若 宮 正 明

Surface Flashover Voltage in Compressed SF₆ - Air mixture Gases

Masaaki WAKAMIYA

The characteristics of the surface flashover of the dielectrics are of great importance for investigating the extend phenomena of Gleitbüschel. We have measured the surface flashover voltage by inserting a bakelite plate between the electrode of the hemisphere and that of the plane, applying the standard impulse voltage. The measurement items were the surface flash-over voltages of the SF₆ gas and those of the mixture gases of SF₆ and the air, by changing the gas pressures: 0.5 -- 6.0 atm.

§ 1 まえがき

近年、SF₆ガスは絶縁媒体として電気機器の各分野にわたり利用され、今後もその応用が期待されている。

SF₆ガス中及びその混合気体中でのコロナの進展特性を知ることは、内部絶縁及び外部絶縁の絶縁設計上きわめて有用なことで、今まで多数のデータが発表され筆者もその一部を発表してきた。⁽¹⁾⁽²⁾

SF₆ガス中におかれた誘電体表面をコロナが進展する性状を知るための一方法としてLichtenberg Figure による観測があるが、こゝでは沿面ブラシコロナ (Gleitbüschel) が進展して全面 flashover になることからこの基礎資料を得るため SF₆ガス中及び SF₆と空気との混合ガス中において誘電体表面における沿面せん絡電圧を気圧を変化しながら求めたものである。

§ 2 実験装置及び測定回路

実験装置及び測定回路図を図1に示す。高気圧タンクは前報にも説明した通り、直径60 cm、長さ1 mの丸味を付けた円筒型で最高10気圧まで耐えるよう設計され、耐インパルス 300 kVの高圧ブッシング、電極移動装置 (移動20 cm、精度 0.1 mm) 観測用窓 2ヶ、測定用ブッシング 3ヶを有する。

電極は曲率半径 0.5 mmの半球棒 (真鍮製) と直径15 cmの近似ログスキー電極 (アルミニウム製) で電極間に誘電体を挿入した。

誘電体としては前回の測定結果と共通性を持たすため、厚さ1 mmのベークライト板 ($\epsilon_s = 4.6$) を直径8 cmの円形に切り取って使用した。

電圧印加は衝撃電圧発生器 (最大充電電圧 300 kV、最大蓄積エネルギー 3.75 kWS) の発生電圧を抵抗分圧器で分圧して半球棒電極に印加したが、発生波形は $\pm (1.1 \times 40) \mu\text{S}$ 、とし抵抗分圧器の分圧比及び球電極 (直径15 cm) より充電電圧と発生電圧との利用率を測定し、以後の測定では充電電圧に利用率を乗じて発生電圧とした。

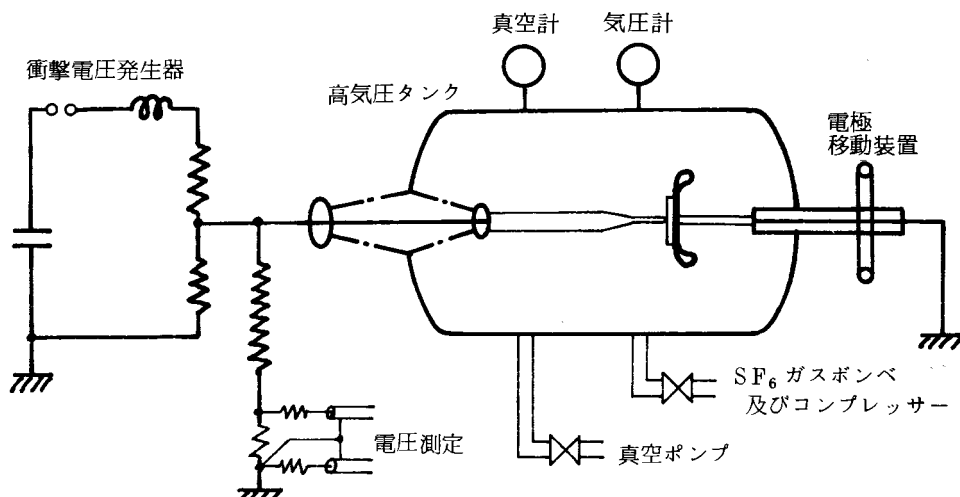


図1 実験装置及び測定回路

§3 実験結果及び考察

ガスの封入は高気圧タンクから真空ポンプで 10^{-2} torr まで真空引きした後、 SF_6 ガスボンベから直接タンクに送り込んだ。タンク内はシリカゲルを加熱脱湿して 2 kg 挿入してガス中の湿気をとるようにした。

測定用プッシングを利用してタンク内部の照明及び内部ガスを攪拌するためのファンを取付けてあり、半球棒電極を誘電体（ベークライト板）表面に接するにはタンク内を照明し観測窓から観ながら調整し測定にあたってはファンで約 20 分間充分攪拌してから測定した。

ベークライト板は石けん水で洗い充分水洗した後一日放置して充分乾燥したものを使用した。

半球棒電極は実験ごとにピカールで研磨したものをアルコールでふいて使用し、誘電体を平板電極に密着させるには両面接着テープを使用した。

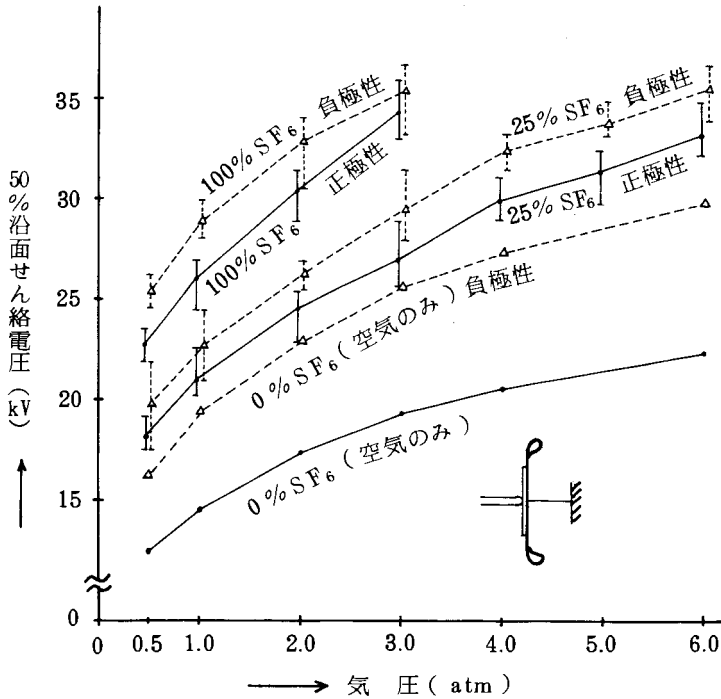
電圧の印加は標準衝撃電圧 (1.1×40) μS を昇降法により 25~40 回加え、計算により 50% 沿面せん絡電圧及び標準偏差を求めた。試料を交換しないで同一試料に多数回電圧を印加すると、半球棒電極近傍に残留電荷が蓄積して、実際の沿面放電々圧値より高い放電々圧を示す可能性もあり、また沿面放電することにより track が生じるのではないかと、特に気圧を上昇すると沿面せん絡は誘電体表面に密着して生じるためせん絡電圧値が低下することが予想された。

しかし試みに予備実験を行なったところ、同一試料に多数回電圧を印加することによって沿面せん絡電圧値がことさら低下する傾向はみられず、また高気圧にしても誘電体表面にことさら tracking が生じるという現象は見られなかった。また残留電荷の影響もことさら考慮する必要はない程度と考えられた。

3.1 SF_6 ガス中での沿面せん絡電圧

SF_6 ガスボンベから高気圧タンクにガスを送り込むが高気圧タンクの容積が大きい（約 40 リットル）上にガス回収装置を備えていないため経済的理由であまり高気圧まで測定できない。

図 2 に SF_6 ガスを 3 気圧まで変化し沿面せん絡電圧の上限、下限及び 50% 沿面せん絡電圧（以後 V_{50} と略称）を示す。さらに比較するため空気中及び 25% SF_6 混合ガス（ SF_6 25%、空気 75%）のデータも示した。


 図2 SF₆ ガス中の気圧と50%沿面せん絡電圧

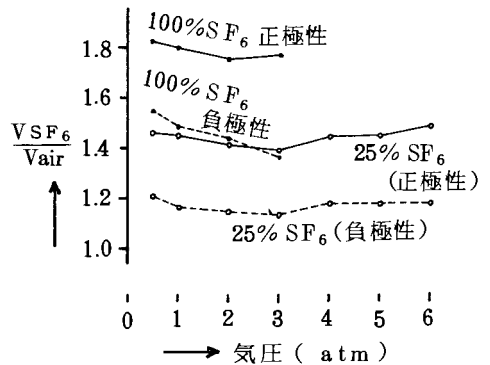
正極性衝撃電圧を印加した場合は気圧の上昇と共に V_{50} は単調に上昇する。4 atm 以上についてもこの割合で上昇するか否か不明であるが25% SF₆ のデータと合わせ考えるとかなり飽和し気圧との依存性は少なくなるものと予想される。

100% SF₆ 及び25% SF₆ ガス中での V_{50} は空気の場合の何倍かを求めてみると図3となり、100% SF₆ の V_{50} は空気中の V_{50} の約1.8倍、25% SF₆ では同様に1.4～1.5倍でこの値は気圧を変化しても殆んど一定である。

測定値のバラツキは図2からみるとかなり大きいようであるが標準偏差は殆んど0.5 kV以下であり最も大きいものでも1.4 kVと割合安定している。

負極性衝撃電圧を印加した場合は気圧の上昇と共に V_{50} は一様に高くなり正極性の場合とはほぼ同様な傾向を有する。経済的理由で3気圧までしか測定していないが、気圧上昇による V_{50} 飽和度は正極性よりやや高いものと思われる。図3からみると100% SF₆ の V_{50} は空気の場合に比較して0.5 atmでは1.55倍であるが気圧を上昇すると、1.3倍くらいに小さくなっている。しかし25% SF₆ では気圧に関係なく1.2倍と一定している。

正極性と負極性について V_{50} を比較してみると図4となる。これによると空気中では気圧に関係


 図3 $\frac{V_{SF_6}}{V_{air}}$ と気圧との関係

なく $\frac{V_{50-}}{V_{50+}}$ はおよそ 1.35 で一定していて 負極性の V_{50} が正極性よりかなり高いが 100 % SF_6 ガス中では $\frac{V_{50-}}{V_{50+}}$ は 1.1 あるいはそれ以下で 極性効果は 気中ほど大きくないことが分かる。負性ガスであること及び前報⁽²⁾で得た Gleitbüschel の伸びは極性効果がかなり大きいことから判断すれば Gleitbüschel が誘電体端部に達しそれがせん絡に至るにはかなり大きな電荷がパルス状に注入される必要があり、そのため V_{50} が上昇するとも考えられる。しかし Gleitbüschel は、誘電体表面抵抗率（表面抵抗率が大きい場合は伸びは大きくなる）及び誘電体の固有静電容量（固有容量 C_0 の 1.2 ~

1.8 乗に伸びは比例する）によって大巾に異なってくる。印加電界は背後電極に対する電界と、表面抵抗と固有容量との分布定数回路の端部に集中静電容量が接続された回路の充電に要する電界に分けて考えると、前報の如く平板電極上に X 線フィルムを置いた状態の電極系では、背後電極に対する電界が強いため今回のような電極系と直接比較するのに無理があるとも云える。

3.2 SF_6 - 空気との混合ガス中での 50% 沿面せん絡電圧

混合気体中における沿面せん絡電圧は、平等電界中では気体 A と気体 B による沿面せん絡電圧値を各々 V_A 、 V_B とすれば、A・B との混合気体中における沿面せん絡電圧 V_C は V_A と V_B との中間値をとることは各種の発表がなされており、実験式も一部示されている。しかし不平等電界では、 V_C は V_A と V_B との中間値にならない場合が時折見られることから、混合比を変えることにより沿面せん絡電圧値の変化を測定する。

測定法は高気圧タンクを 10^{-2} torr まで真空引きした後、ボンベから SF_6 を送り込み、さらにコンプレッサーで空気を圧入して SF_6 と空気との混合ガスを作った。

例えば 25% SF_6 では SF_6 ガスを 1.5 atm まで入れて後、さらにコンプレッサーで 6.0 atm まで封入して 25% SF_6 ・6 atm の測定を行ない、他の気圧の測定をする場合はリークバルブを用いて所定の気圧になるまで排気を行なう。0.5 atm のときは真空ポンプで 880 torr まで真空引きを行なった。尚、混合を充分に行なうため、及びシリカゲルにより湿気をとるために実験中はタンク内のファンは廻し続けて攪拌を行なった。

上記の理由により、実験途中で電極の研磨やベークライト板の交換を行っていないが、実験終了後タンクから電極装置を取り出してみると、半球棒電極はやゝ表面がザラザラになっていて、平板電極も放電による小さな穴がベークライト板の端部全周にわたって接触部に存在していたが、ベークライト板には殆んど沿面せん絡による痕跡は無く、横からすかしてみると中心電極から放射状に曲りくねった放電跡がやっと判別できる程度であった。

SF_6 の混合比を 10%、25%、50%、75% に変化し、前述の 100% 及び 0%（空気のみ）を合わせて正極性の V_{50} をまとめたものを図 5 に示す。

これによると、このような電極系では SF_6 -空気との混合気体中の沿面せん絡電圧値は SF_6 単体及び空気単体の沿面せん絡電圧値の中間の値を持つこと、及び SF_6 ガスの混合比を高くすると一様に V_{50} は高くなり、気圧を上昇してもこの傾向は変わらない。

また気圧を上昇することによる V_{50} の飽和性は空気の場合とは同程度で、前報⁽²⁾での Gleitbüschel の伸びから判断すると、気圧上昇にともないかなり飽和性が強く、気圧を上昇させても V_{50} は殆んど変化しないのではなかろうかとの予想に反するものであったが、この原因は前記による理由と思

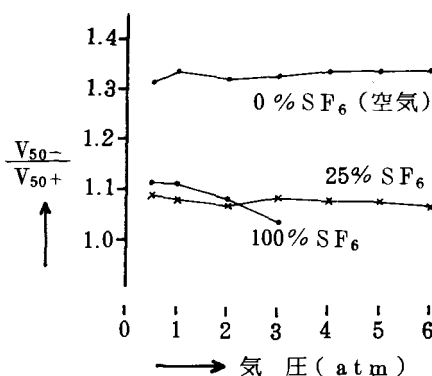


図 4 $\frac{V_{50-}}{V_{50+}}$ と気圧との関係

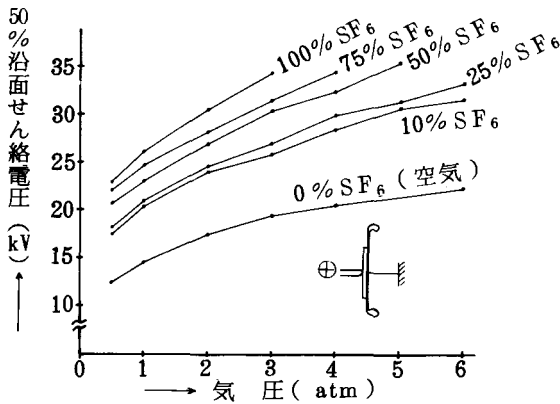
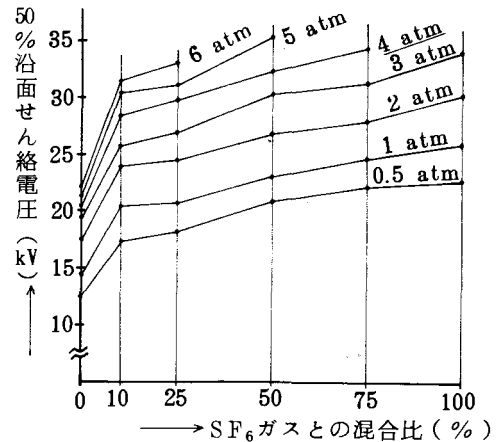


図5 混合気体中の気圧と50%沿面せん絡電圧 (正極性)


 図6 SF₆ガスの混合比と50%沿面せん絡電圧 (正極性)

われる。

図5から気圧をパラメーターにして混合比と V_{50} との関係を求めたものが図6である。これからSF₆の混合比が0%から10%に上昇したとき V_{50} はかなり高くなるが、それ以上混合比を増加しても V_{50} はさほど大きくならないことが分かる。

SF₆ガスと空気との混合比を0%、10%、22%、50%、75%、100%の各々について、気圧と V_{50} との関係を負極性衝撃電圧を印加して求めた結果を図7に示す。これから気圧をパラメーターにして混合比と V_{50} との関係を求めたものが図8である。

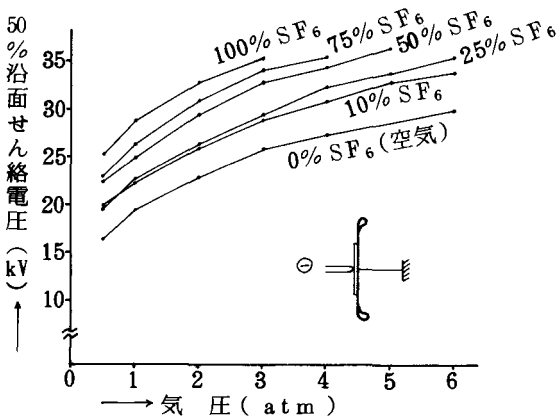
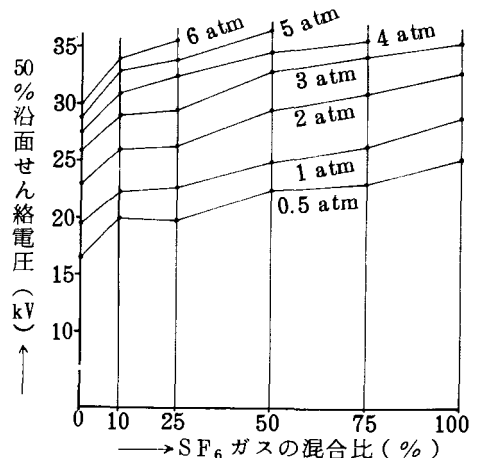


図7 混合気体中の気圧と50%せん絡電圧 (負極性)


 図8 SF₆ガスの混合比と50%沿面せん絡電圧 (正極性)

この結果、負極性において〔i〕正極性と同様にSF₆—空気との混合気体中の沿面せん絡電圧値は各々の単体の沿面せん絡電圧との中間値となる。〔ii〕SF₆の混合比を増加すると V_{50} も大きくなる。0.5 atmで一部この傾向と逆転するが、これはバラツキの範囲内と考えられる。〔iii〕気圧を増加すると V_{50} も高くなる。

特に〔i〕の特性については既発表の資料⁽³⁾(厚さ2mmのガラス板とX線フィルムを重ねて誘電体としたとき負極性では混合気体の V_{50} は気圧を上昇すると空気の V_{50} より低くなる)と異なった傾向を示すが、この原因は誘電体が異なるためと考えられるが今後さらに追求する必要がある。

V_{50} を正・負極性について比べてみると、 SF_6 の混合比を変化しても気圧を変化しても負極性の V_{50} がいずれもわずかながら高く、従って V_{50-}/V_{50+} は1.0以上になるが、気圧を上昇するに従って極性の差が無くなってくる。しかも SF_6 の混合比を増すに従ってこの傾向は強くなる。

§4 ま と め

曲率半径0.5mmの半球棒電極と直径15cmの近似ログスキー電極間に厚さ1mm、直径8cmの円板のベークライトを挿入し、標準衝撃電圧を印加したとき、 SF_6 ガス及び SF_6 ガスと空気との混合ガス中での50%沿面せん絡電圧 V_{50} を求めた結果およそ次のような特性を示した。

- (1) 気圧が1 atmでは SF_6 ガス中の V_{50} は空気中での V_{50} の正極性では1.8倍、負極性では1.5倍となり、気圧を0.5～3 atmまで変化してもこの傾向は変わらない。
- (2) 極性効果は、気中では V_{50} は負極性のとき高く、正極性のときのおよそ1.3倍で気圧を0.5～6 atmまで変化してもこの傾向は変わらないが、 SF_6 ガス中では1 atmにおいて1.1倍で気圧を高くするとその差はごく少なくなる。
- (3) SF_6 ガスと空気との混合ガスは、 SF_6 ガスの混合比を高くするほど V_{50} も高くなり、空気中での V_{50} と100% SF_6 ガス中での V_{50} との中間値となり、気圧を0.5～6 atmまで変化しても同じ傾向となる。
- (4) 正極性では SF_6 ガスを10%加えることにより V_{50} はかなり高くなるが、負極性では SF_6 ガスを空気に混合しても V_{50} は正極性ほど高くない。

参 考 文 献

- 1) 若宮 呉高専研報 16巻1号
- 2) 若宮 呉高専研報 16巻2号
- 3) 築地 昭和56年電気学会全国大会

(昭和57年4月15日受付)

気体中の沿面せん絡特性

(電気工学科) 若 宮 正 明

Surface Flashover Voltage in the Air and the Compressed Air

Masaaki WAKAMIYA

In order to obtain the basic data of the characteristics of the progressing creeping corona, the surface flashover voltage has been measured by inserting the bakelite plate between the electrode of the hemisphere and that of the plane, applying standard impulse voltage. The measurement items were as follow: the effects of 1. the changing atmosphere pressure, 2. the thickness of the dielectrics, 3. the creeping distances, 4. the sizes of the back electrode, and etc. Thereby, we have clarified the characteristics of the surface flashover voltage in the atmosphere.

§ 1 まえがき

誘電体表面の沿面放電進展は誘電体表面にフィルムを挿入して測定するリヒテンベルグ図 (Photographic Lichtenberg Figure) が盛んに研究されて、筆者もその一部を発表してきた。⁽¹⁾

今回はその過程で参考資料を得る目的で、Gleitbüschel がさらに進展したもの、即ちせん絡特性を、空气中及び気圧を変化したり誘電体の厚さを変化して求めたものである。

実験では曲率半径 0.5 mm の半球棒と平板 (接地) 電極で、平板電極にベークライト板を密着させ気圧を変化させたとき、誘電体の厚さを変えたとき、背後電極の大きさを変えたとき、等の各条件についてベークライト板上の沿面せん絡特性を $\pm (1.1 \times 40) \mu\text{s}$ の標準衝撃電圧を印加して求めたものである。

これにより空气中の沿面せん絡特性が明らかになったが、今後 SF_6 ガス中、及び SF_6 ガスと空気との混合比を変化して、その特性を測る予定である。

§ 2 実験装置

全体の実験装置及び測定回路を図 1 に示す。高気圧タンクは直径 60 cm、長さ 1 m のはゞ円筒型で最高 10 気圧まで耐えられるように設計され、耐インパルス 300 kV の高圧ブッシング、電極移動装置 (精度 0.1 mm)、観測用窓 2 ケ、測定用ブッシング 8 ケが付いている。このブッシングを利用してタンク内部の照明、及び内部を攪拌するためのファンを使用できる。

電極は、曲率半径 0.5 mm の半球棒 (真鍮製) 及び平板電極 (14.5 cm の近似ロゴスキー電極及び、30、12、7 cm 径の平板電極) とし、主として近似ロゴスキー電極を使用した。

誘電体としては、厚さ 1、2、3、5 mm 厚のベークライト板、及び医療用 X 線フィルム (直接撮影用、両面感光、厚さ 0.19 mm) を円形に切り抜いて使用した。

電圧測定はサージシンクロ (岩崎、515-S 3) で波形の観測を行なった。

印加電圧はインパルス発生器（最大充電電圧 300 kV、最大蓄積エネルギー 3.75 kWs）で土（ 1.1×40 ） μ s の標準衝撃電圧を発生させ、抵抗分圧器で分圧して印加した。

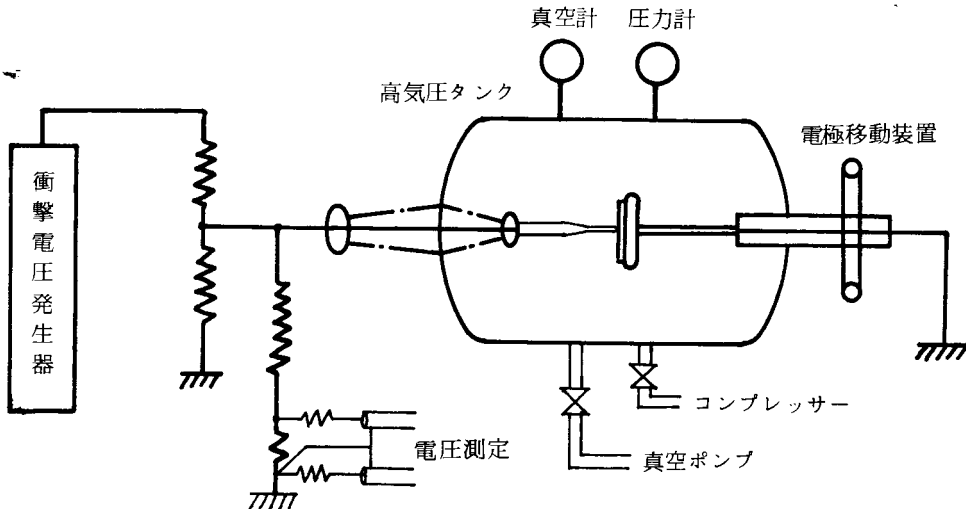


図1 実験回路

§ 3 実験結果

3.1 気圧を変化したときの沿面せん絡終電圧

曲率半径 0.5 mm の半球棒電極と直径 14.5 cm ϕ の近似ログスキー電極の間に、直径 14 cm ϕ 、厚さ 1.0 mm のベークライト板（比誘電率 $\epsilon_s = 4.6$ ）を挿入し、ベークライト板は平板電極に両面接着テープで接着した。

印加電圧を上昇すると半球棒電極先端から誘電体表面に沿って沿面コロナが進展し、Initial（I 図形）－Polbüschel（P 図形）－Transient（T 図形）－Gleitbüschel（G 図形）－Flushover と変化する。尚、I 図型（Initial の意）は筆者が提案した⁽¹⁾名称であるが、その他、S 図型、Starting の意⁽²⁾ P P 図型（Pre Polbüschel の意）⁽³⁾の呼び名があるが、内容的にはやゝ異なる点もあれど大略的には、ほぼ同様な意味に解して差支えない。

電圧の測定は球電極（直径 15 cm ϕ ）を接続して昇降法で約 50 回、衝撃電圧を印加して衝撃電圧発生器の利用率を求め、サージシンクロから得られた波形に分圧器の分圧比を乗じて得られた利用率がほぼ一致することを確認し、以後の測定では衝撃電圧発生器の充電電圧にその利用率を乗じた値を発生電圧とした。印加回数は昇降法により、25～40 回程度とした。

50% せん絡電圧及び標準偏差を図 2 に示す。気圧が比較的低い場合、例えば 2 atm、1 atm（大気圧）及び 0.5 atm（真空ポンプで 380 Torr まで真空引き）等では極性効果が明らかに表われ、正極性の沿面ブラシコナは負極性のそれに比し、約 2 倍の進展性を有する⁽¹⁾ので、沿面せん絡電圧は負極性より正極性の方がかなり低い。それに比し気圧が高くなると正極性と負極性との差が小さくなっている。

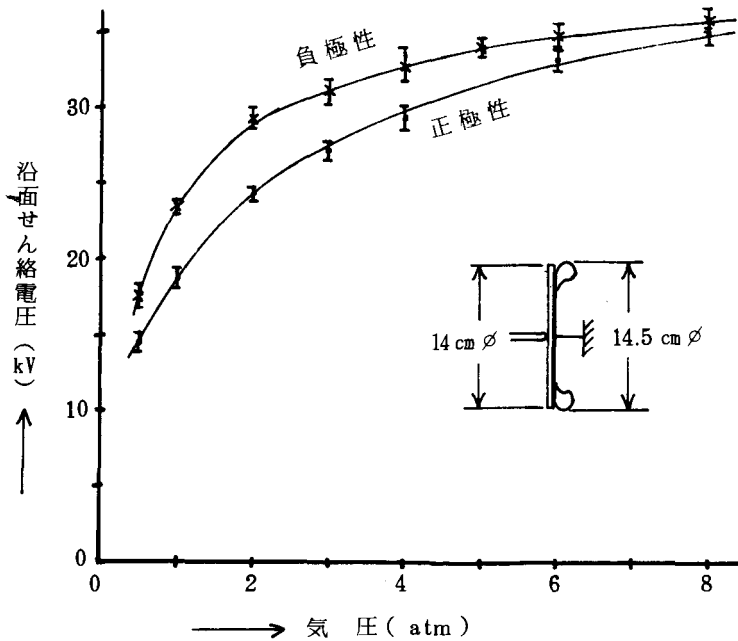


図2 沿面せん絡電圧と気圧との関係
(大きさのほぼ等しい誘電体と近似ロゴスキー電極)

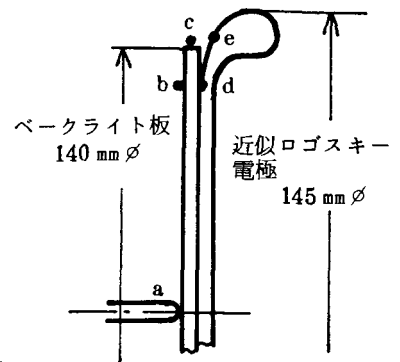


図3 近似ロゴスキー電極の端部

この電極系では誘電体の端部では下部電極と接せず空間となっているため、沿面ブラシコナは図3で半球棒電極の先端aから誘電体表面にそってb点まで比較的速やかに進展するが、b点からc点までは背後電極が無いため進展が抑制され、放電の痕跡でも端部c点を経てd点に放電し、c点の近傍のe点には放電していない。したがって誘電体全面に背後電極が存在する場合に比し沿面せん絡電圧は高くなるが、気圧が高くなると負極性ではこの傾向が少なくなる。

この傾向を調べるため背後電極が誘電体より小さい場合について、一例として直径8 cm ø、厚さ1 mmのベークライト板を直径7 cm øの平板電極に密着して同様な測定をしたところ、図4の如く、正極性は近似ロゴスキー電極の場合と同様に気圧を高くすると沿面せん絡電圧は上昇するが、負極性の方は電圧の上昇が飽和して5 atm以上の気圧になると負極性の方が逆に低くなっている。

このように誘電体端部で背後電極の影響を受けないような電極寸法について調べる必要があるの

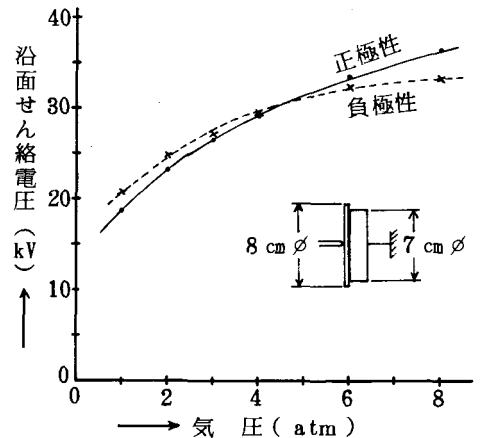


図4 沿面せん絡電圧と気圧との関係
(平板電極とそれより大きい誘電体)

で、直径 8 cm ϕ 及び 4 cm ϕ 、厚さ 1 mm のベークライト板を、直径 14.5 cm ϕ の 近似ロゴスキー電極に接着して同様な測定を行なった結果を図 5 に示す。

この結果、背後電極が誘電体の全面にある場合には気圧の上昇と共に沿面せん絡電圧は上昇するがその度合がかなり小さく飽和してくる。

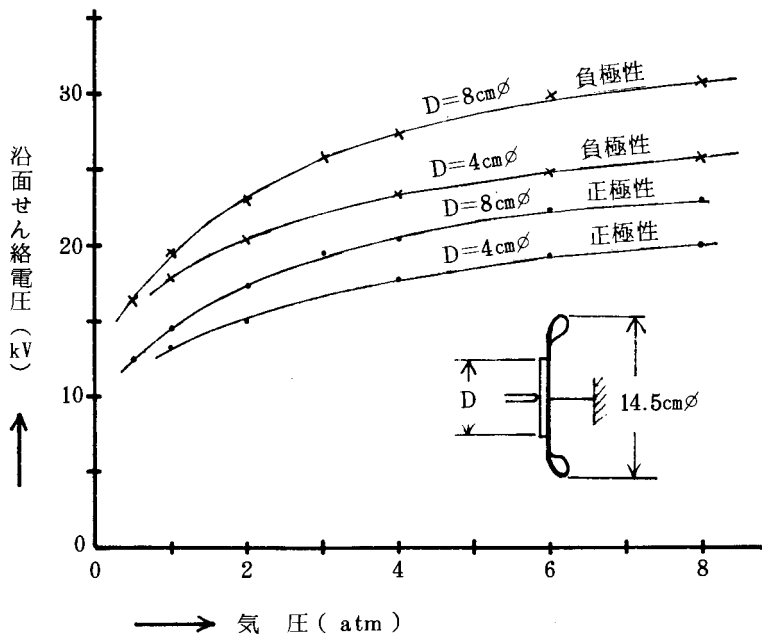


図 5 沿面せん絡電圧と気圧との関係
(近似ロゴスキー電極とそれより小さい誘電体)

正極性では図 2 及び図 4 で示されるように誘電体端部まで背後電極が無い場合には気圧の上昇と共にせん絡電圧は高くなるに反し、負極性では、誘電体端部に背後電極が無い場合には、背後電極がある場合と同じように飽和が大きいことが分かる。

各気圧について、正極性の沿面せん絡電圧 V_+ と負極性の沿面せん絡電圧 V_- との比は図 6 に示す

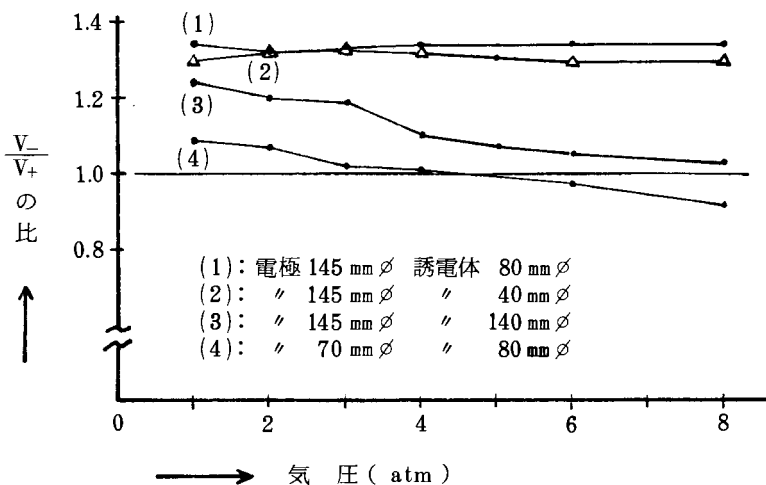


図 6 V_- / V_+ と気圧との関係

如く、誘電体の背後全面に平板電極が存在する場合には、気圧に関係なく V_- / V_+ はほぼ 1.3 であるが、図 2 及び図 4 のように誘電体端部に背後電極が無いような電極系では気圧の上昇と共に V_- / V_+ の値は小さくなる。

このことは、背後電極が無い場合は正の Gleitbüschel は気圧の上昇と共に進展が少なくなるのに比し、負の Gleitbüschel は気圧を上昇させても進展は抑制されないことを意味する。

3.2 誘電体厚さと沿面せん絡電圧との関係

直径 14 cm ϕ で厚さ 1、2、3、5 mm の各ペークライト板を 1 atm の条件で 0.5 mm ϕ の半球棒と直径 14.5 cm ϕ の近似ログスキー電極との間に挿入した時のインパルス電圧に対する沿面せん絡電圧を図 7 に示す。

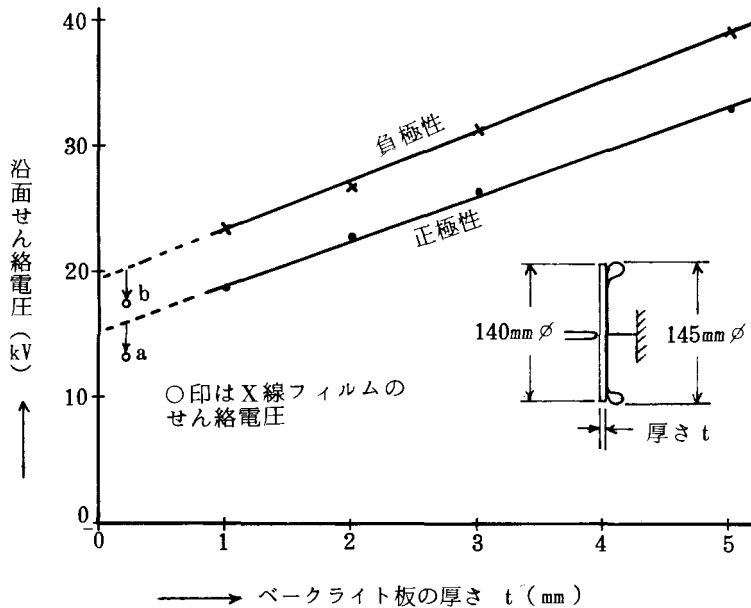


図 7 誘電体厚さと沿面せん絡電圧との関係

誘電体の厚さを増すとせん絡電圧はほぼ直線的に増加し、正極性の場合、

$$V_+ = 16.0 + 3.5 t \text{ [kV]} \quad (t = \text{厚さ, 単位mm})$$

となり、負極性については同様に

$$V_- = 19.5 + 4.0 t \text{ [kV]} \text{ となる。}$$

Lichtenberg 図を得るための参考資料にと、直接撮影用 X 線フィルム (厚さ 0.19 mm) について同様な測定を行なったところ、正極性では 13.3 kV、負極性では 17.3 kV で図 7 の a、b 点となり、ペークライト板のデータに $t = 0.19$ を代入して得られる値より、正極性・負極性とも 4 ~ 5 kV 沿面せん絡電圧は低い結果となる。

この差は誘電体の固有静電容量に関連するものと思われ、NF 製 LCR メーター (測定周波数 1 kHz) で測定したところ、ペークライト及びフィルムの比誘電率 ϵ_s は、各々 4.6 及び 2.5 が得られた。

固有容量と Gleitbüschel の伸びとの関係は、正極性では $lg+ = K_1 V^3 Co^{1.2}$ 、負極性では $lg- = K_2 V^{4.7} Co^{1.8}$ (lg : Gleitbüschel の長さ cm、 Co : 固有容量 PF/cm²、 V : 印加電圧 kV) との式が発表されている⁽⁴⁾が、これによると固有容量が小さいと Gleitbüschel の伸びは小さくなり、せん

絡電圧は高くなることになり、実験結果と逆の傾向となるが図7のベークライトとX線フィルムの測定値から Gleitbüschel の伸びと固有容量の関係を求めてみると正極性では $(-\frac{1}{3.0})$ 乗に比例し負極性では $(-\frac{1}{3.6})$ 乗に比例する。

3.3 背後電極効果と沿面せん絡電圧との関係

背後電極効果の影響を調らるため、曲率半径 0.5 mm の半球棒電極と平板電極との間に、直径 14 cm ϕ 、厚さ 1 mm のベークライト板を挿入し、平板電極の大きさを 30、12、7 cm ϕ と変化することによって、背後電極を変化すると共に沿面距離を変化して沿面せん絡電圧を求めた。

例えば平板電極が 30 cm ϕ では誘電体の端部は直接背後電極になることから、沿面距離は誘電体の半径と等しくなり 70 mm と考えられる。平板電極が 12 cm ϕ では放電は誘電体の端部まで進展し、裏面の電極へ向けて進むので沿面距離は、 $70 + (\frac{140 - 120}{2}) = 80$ mm となり、同様に平板電極が 7 cm ϕ では、それは 105 mm となる。このようにして求めた沿面距離と沿面せん絡電圧との関係は図8となる。

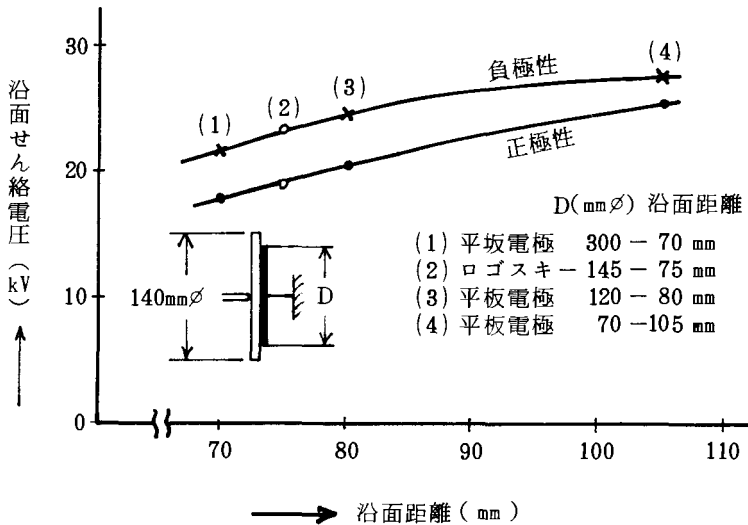


図8 背後電極の大きさと沿面せん絡電圧との関係

前述の近似ログスキー電極の場合、放電の痕跡はログスキー電極の端部より約 8 mm 内側のところに見られるので、沿面距離は上記と同様な計算により約 75 mm となる。このときの 50% せん絡電圧値 ($V_{50+} = 19.1$ kV, $V_{50-} = 23.1$ kV) は図8から得られる値 ($V_+ = 18.8$ kV, $V_- = 23.2$ kV) とほぼ一致し、図中に白丸印で記す。

このように背後電極を誘電体の大きさより小さくすると、誘電体表面で背後電極がある部分までストリーマが進展し、チャンネルを通して電荷が補給されるため沿面コロナは急速に進展することになるが、これに対し背後電極が無い部分になるとストリーマの進展が急激に阻害され、図9の値から計算すると、背後電極が無い場合は背後電極がある場合に比較してストリーマの進展は約 $\frac{1}{3}$ になることが分かる。

3.4 沿面距離と沿面せん絡電圧との関係

直径30 cmの平板電極と曲率半径0.5 mmの半球棒電極の間に、厚さ1 mmのベークライト板を挿入しベークライト板の大きさを直径4、6、8、10、14、20 cmの円形に切断し1 atmの条件で、沿面距離と沿面せん絡電圧との関係を求めたものを図9に示す。

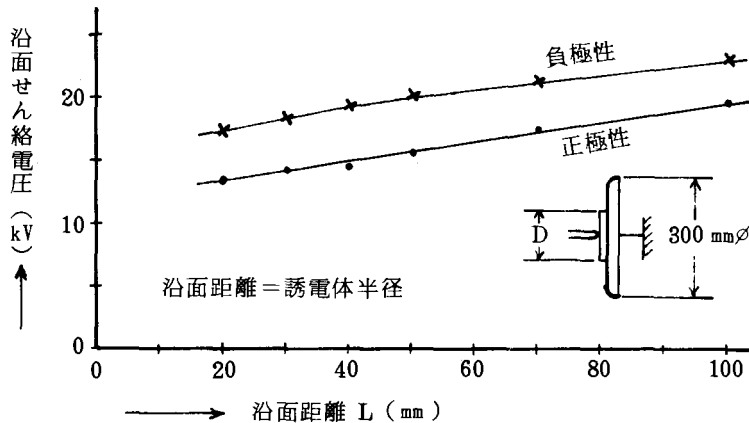


図9 誘電体の大きさと沿面せん絡電圧

背後電極は誘電体の背後に全面にわたって存在しているので、誘電体の半径は沿面距離と等しくなり **Gleitbüschel** は急激に進展することになる。沿面せん絡電圧は沿面距離（誘電体の半径）が大きくなるとほぼ直線的に増大する。このことは **Gleitbüschel** は出始めると印加電圧に殆んど比例して進展距離が伸びることを示している。

図9によると沿面せん絡電圧 V (kV) は沿面距離を L (cm) とすれば、

$$\text{正極性では } V_+ = 0.75 L + 12 \quad (\text{kV})$$

$$\text{負極性では } V_- = 0.80 L + 16 \quad (\text{kV})$$

となる。

§4 あとがき

誘電体の沿面せん絡電圧は **Gleitbüschel** が誘電体端部に達する電圧とほぼ等しく、ベークライト板上の沿面せん絡電圧を条件を変えて測定した結果、大略次のことが分かった。

(1) 誘電体の全面に背後電極が存在する場合には、正極性・負極性とも気圧を上昇すると沿面せん絡電圧は高くなるがかなり飽和する。

(2) この場合正極性と負極性との比 V_+/V_- は、気圧の変化に関係なくほぼ1.8になる。

(3) 大気圧中で誘電体の沿面距離を大きくしても沿面せん絡電圧はあまり大きくならず、

$$V_+ = 0.75 L + 12 \quad (\text{kV}) \quad V_- = 0.80 L + 16 \quad (\text{kV})$$

となり、例えば正極性で $L = 2.0$ cmの場合、 L を5倍にしても沿面せん絡電圧は1.4倍にしかない。

(4) 誘電体の端部には背後電圧が無いような電極構造では、気圧の上昇と共に正極性では沿面せん絡電圧はかなり高くなるが、負極性では飽和して沿面せん絡電圧はあまり高くない。

(5) 誘電体の大きさを一定にして背後電極を小さくすると、当然ながら沿面せん絡電圧は高くなり例えば14 cmの誘電体で背後電極を14 cmから7 cmにすると、沿面せん絡電圧は約1.5倍にな

る。

参 考 文 献

- 1) 若宮 呉高専研究報告 16巻1号
- 2) 川島 電気学会誌 99巻4号
- 3) 川島 放電研究会資料 E-D-78-48
- 4) 横井他 電気学会誌 90巻4号

(昭和57年4月15日受付)

中空陰極放電の実験的研究 I

(電気工学科) 山 崎 勉

Experimental Study on the Hollow-Cathode Discharge I

Tsutomu YAMAZAKI

Experimental data are reported on the current-voltage characteristics of the hollow-cathode glow discharge.

Measurements are limited to the low current discharge, 10–500 mA, of the argon pressure ranging from 40 to 250 Pa, because of power supply available and the poor cooling system of the cathode. And, the effect of the gas flow is also investigated. As a result, the hollow-cathode effects are confirmed experimentally. And it is found that when the gas is flowing, the discharge current becomes higher and the sustaining voltage becomes lower.

1. まえがき

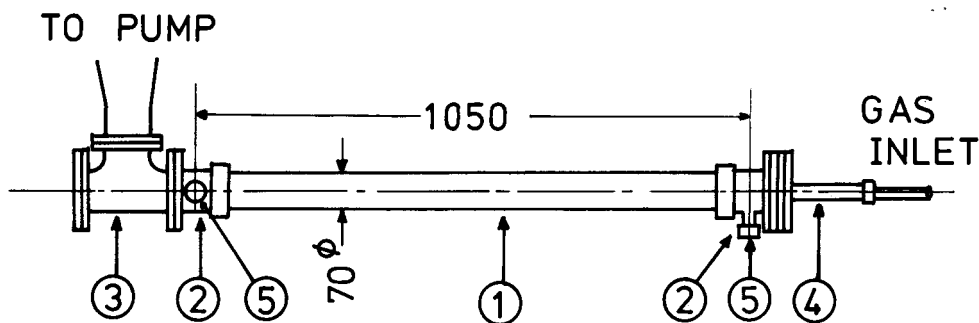
中空陰極放電(または, ホロー陰極放電)は, 陰極を円筒形にしその内側に負グローが現われるようにする事により簡単に得られる。この種の放電の特徴は, 一般にホロー陰極効果として知られている¹⁾。まず, 放電維持電圧の低下や陰極電流密度の増加等が挙げられる。この結果比較的低い電圧で放電陽光柱プラズマを得る事ができる。グロー放電に從來よく用いられていた熱陰極に比べ, 機械的に丈夫で取扱いも簡単であるので, もし十分な電子放出能が得られれば非常に好都合である。また, 陰極内部では陰極に衝突するイオンによるスパッタリングのため陰極材料の原子スペクトル強度の増大やイオンのスペクトル強度の増加も観測されている。そして, これらの事は, 金属蒸気レーザーに応用されている⁴⁾。このようなホロー陰極効果は, すべて負グローが陰極の内側にある事が重要な役割を果たしている。そして, この負グロー内では電子エネルギー分布が陽光柱で観測されるマクスウェル分布とは異なった形をもち²⁾, その事もホロー陰極効果と密接な関係にある。その結果, 從來陽光柱内では不可能であった負性気体も含む各種の気体の放電励起がホロー陰極内で可能となり, 新しい気体材料によるレーザーも考えられている^{3, 4)}。

一方, 炭酸ガスレーザーにみられるように気体を流しながら放電させる事により, 大きなレーザー出力を得る事が行なわれている⁴⁾。その目的は気体温度の上昇を防ぎ, レーザー下準位の密度の上昇を抑制するためである。その他の放電中でも気体を流す事が行なわれているが, その物理的素過程の研究も重要である。

本報告ではホロー陰極放電において, 気体の流れがある場合の電圧電流特性がそれがない場合に比べてどのように変化するか実験的に求め, 定性的に検討を行なった。実験はアルゴンを用い, グロー放電の範囲で行なった。

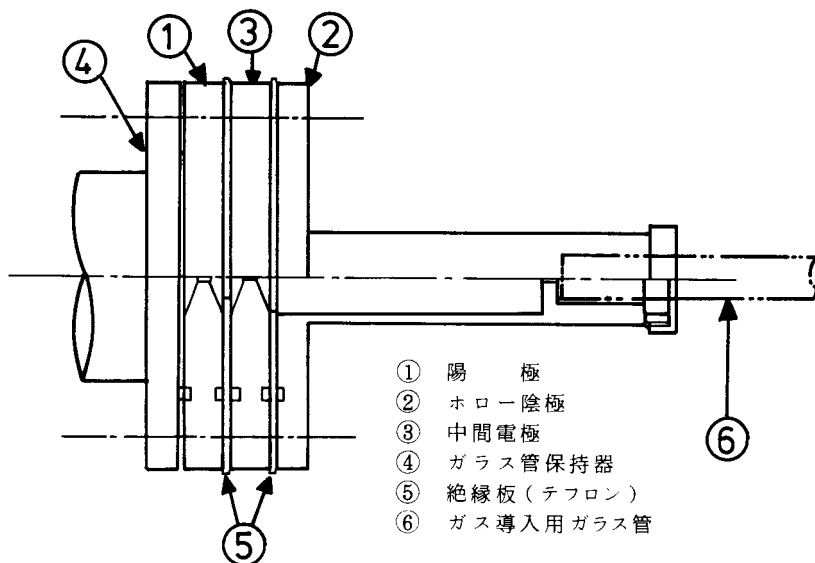
2. 実験装置

実験装置の構成を図1に示す。高真空排気装置（日本真空 YH-350A，油回転ポンプ（320ℓ/min），油拡散ポンプ（650ℓ/min））により排気開始後約一時間で 5×10^{-6} Torr 程度まで排気できる。ここで，1 Torr ≈ 133.3 Pa である。放電容器は，内直径66mm，厚さ2mm，長さ約1mのガラス管とそれを支える二つの金属製のガラス管保持器より構成されている。排気装置の6インチゲートバルブからレギュレーサにより2½インチに絞り，90°エルボを通して水平にし，T型の管継手を用いてガラス管保持器とフランジ接続をしている（VG-65）。T型継手の相対向する一方に観測用のまどを取りつけ，残りの一方はガラス管に接続されている。そして，ガラス管の他端にホロー陰極をフランジで接続した。また，ガラス管保持器には気体圧力測定のための直径18mmのゲージポートが1つずつとりつけられているので，ここにピラニ真空計の測定子を挿入した。気圧は主として排気装置側のゲージポートにて測定した。気体の導入は，



- ① ガラス管
- ② ガラス管保持器
- ③ T形継手
- ④ ホロー陰極
- ⑤ 18φゲージポート

図1 実験装置の構成



- ① 陽 極
- ② ホロー陰極
- ③ 中間電極
- ④ ガラス管保持器
- ⑤ 絶縁板（テフロン）
- ⑥ ガス導入用ガラス管

図2 ホロー陰極装置

円筒形ホロー陰極の軸方向から行った。高圧ガス容器から調圧弁を通して減圧されたガスを調速弁を通してホロー陰極に入射させる。この二つの弁はともに金属製であるので、陰極との電気的絶縁のために調速弁と陰極との間は直径18mmのガラス管で接続した。気体を流しての実験では、調圧弁の圧力計の指示を一定として、調速弁を調整して流れを制御した。また、気体を流さない場合には調速弁を閉じ、この弁とガス容器との間の気圧を低くし、一定の圧力を保つようにした。

ホロー陰極装置はステンレス製 (SUS 304) で、その構造を図2に示す。放電は、排気装置側のガラス管内に陽極を設定してやるとこのガラス管全体が陽光柱で満たされる状態で行う事ができる。しかし、今回の実験では陽光柱より負グロー付近に注目するので、図2に示したように陽極を陰極のすぐそばに設定した。この結果、陽光柱はほとんど存在せず、陰極部分の電圧電流特性を測定する事になる。陽光柱は、グロー放電に本質的なものではなく、これより陰極側が放電維持に本質的な意味をもっている事¹⁾から上記のような構造とした。陰極の内直径は $d = 26\text{mm}$ 、長さ $l = 100\text{mm}$ でその表面は比較的粗い。ガス導入部とホロー陰極は直径2mm、長さ5mmの穴で接続されている。陽極は、中間電極をはさんで陰極と一体でガラス管保持器の一端に固定されている。陽極および中間電極には、それぞれ $4\text{mm}\phi \times 6.5\text{mm}l$ 、 $2\text{mm}\phi \times 5.8\text{mm}l$ の穴があけてある。実験中、中間電極は浮遊電位にあり陰極空間を囲むようになっている。また、中間電極は放電開始の時には陽極と同電位にして、点灯用の補助電極としても利用した。各電極間は厚さ1mmのテフロン板を用いて絶縁し、フランジ、ゲージポートおよびガラス管保持器の接続にはゴムパッキンを用いている。陰極には特別な冷却装置は設置していないので、実験中は小型の扇風機により空冷にして、パッキン部分の温度上昇を防いだ。

実験に用いた電源は次のとおりである。単相100Vを絶縁トランスで200Vに昇圧し、これを単相誘導電圧調整器を用いて可変交流電圧0~400Vとした。半導体整流器とコンデンサにより倍電圧整流する事により、1000V 2A程度の直流電源を得る事ができた。直流電圧は、1.2k Ω の安定化抵抗を通してホロー陰極の両端に接続した。

なお、実験に用いたアルゴンガスは市販の溶接用高圧ガスを利用し、その成分構成はJISによると次のようになっている。体積百分率で $A > 99.9$ 、 $O_2 < 0.002$ 、 $H_2 < 0.01$ 。および水分は $0.02\text{mg}/\ell$ 。(35 $^{\circ}\text{C}$, 100kg/cm 2)。

3. 実験結果

気体を流して行う実験では、陰極内部の気圧は直接測定することはできない。そのため封入気体の圧力の測定は気体の流れのない場合と同様に排気装置側のピラニ真空計の指示を利用した。また、実験は油回転ポンプで気体を排気しながら行った。その時、調圧弁の出口の圧力を $1\text{kg}/\text{cm}^2 = 9.8 \times 10^4\text{Pa}$ (一定) とし、ピラニ真空計の指示を調速弁の調整によりある値に保って実験した。圧力の範囲は0.3~2 Torrである。

気体を流した場合の実験結果を図3に示す。気圧 $P = 133\text{Pa}$ (1 Torr) の時、放電維持電圧 (V_s) は約220Vで放電電流 (I_a) が100mA付近まで

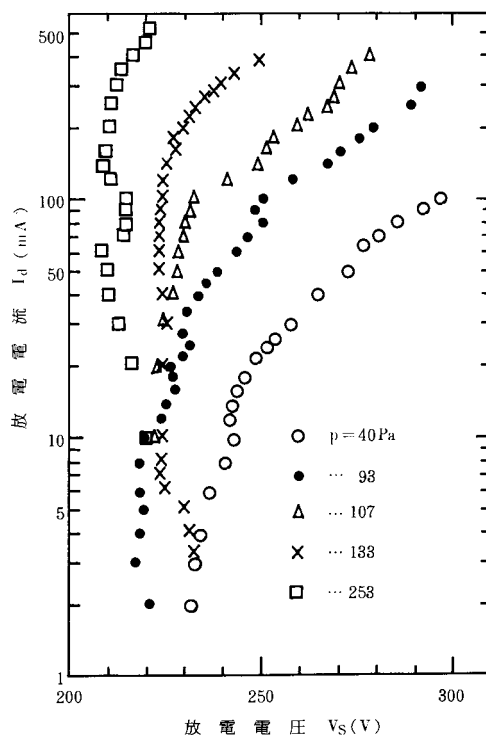


図3 気体を流した場合のホロー陰極放電の電圧電流特性

ほぼ一定の値を示している。その後電圧の増加とともに電圧は増加している（正特性）。気圧が高くなるほど、一定電圧の電流領域が、電流の大きい方に移り電圧も少し低くなっている。また、正特性の領域と定電圧特性を示す領域の境付近では、気圧が高くなると負特性の傾向が顕著に現われている。一方、気圧が低い場合には逆に定電圧領域は電流値の小さい方に移り、正特性の領域が低い電流値から現われている。以上の結果に相似則を適用して J/p^2 対 V_s の形で表わすと図4のようになる。ここで、 J は電流密度で、放電電流を陰極の表面積で割った値である ($I_d/(\pi dl + \pi d^2/2)$)。この結果、ほぼ一つの曲線上にある事がわかる。ただし、かなりのばらつきがみられる。このばらつきの原因は、放電の再現性がよくない事とピラニ真空計の校正が不十分である事、また気体流量の変化等が考えられる。ここでピラニ真空計は、カタログに記載された校正値（純アルゴン）をそのまま利用した。一方、調圧器の圧力計は目盛幅が大きく（1 kg/cm²毎）ピラニ真空計よりも大きな誤差を含んでいる。その他、実験の経過に伴って起こる電極表面等の変化（スパッタリング等）も考えられる。

気体を流さないで行った実験結果を図5に示す。気体を流した場合と同様の結果であるが、全体的に電流はより小さく（約1/10）電圧は50 V程度高い方に移動している。なお、定電圧の部分はほとんど見られない。それは、電流が小さくなると放電維持が困難となり測定できなかったためである。なお、大きな電流値では陰極の過熱と電源の関係から測定範囲が制限された。気体を流さない場合の J/p^2 対 V_s の特性を図6に示す。

4. 検 討

気体を流して測定した方が、放電維持電圧は低く、放電電流は大きくなる事が、以上の実験結果より

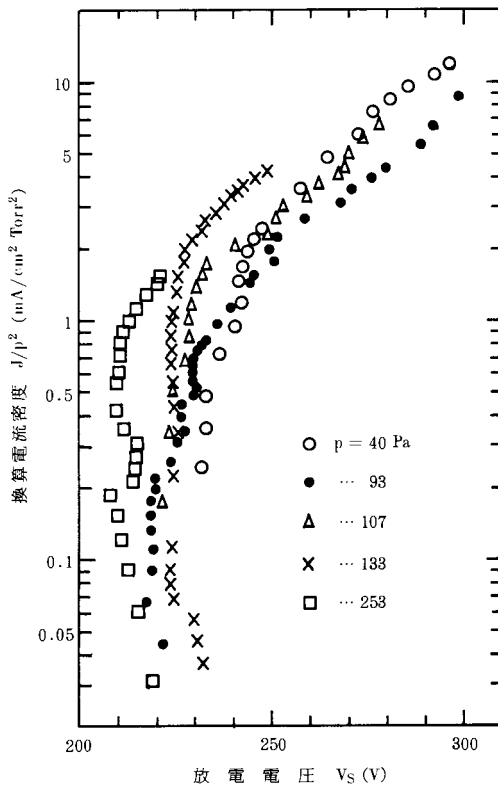


図4 気体を流した場合の換算電流密度と放電電圧の関係

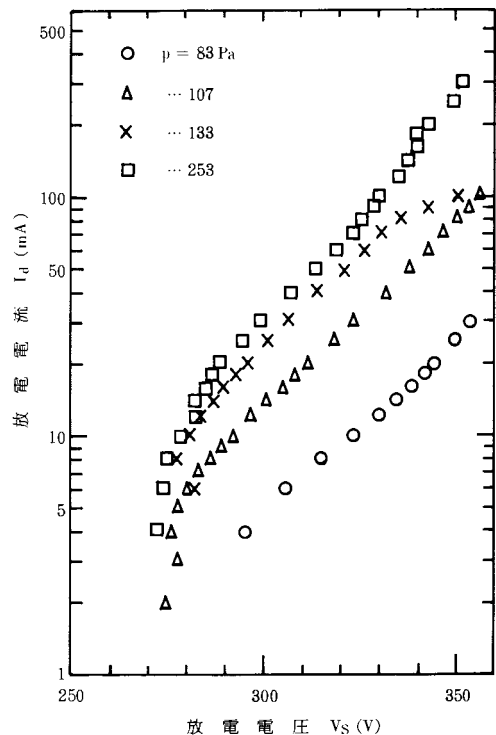


図5 ホロー陰極放電の電圧電流特性（封じ切り）

わかる。気体の流れの効果を考えるため、まず、気体流量について考える。流れを粘性流と仮定し、断面積が円形の導管の二点を考える。各点の圧力を p_1, p_2 としてその距離を導管の軸方向に測って L とすると、管内を流れる気体の流量は次式で表わされる⁵⁾

$$Q_s = \frac{M}{kT_g} \frac{\pi d^4}{128\eta L} \frac{p_1 + p_2}{2} \quad (p_1 \sim p_2)$$

ここで、 M, T_g, η は気体の分子質量、温度、粘性係数である。また、 k はボルツマン定数、 d は導管の直径である。この式を利用して、 $p = 133 \text{ Pa}$ の時の流量を求める。このため、二つのゲージポートの圧力を測定した。 $p_1 = 1.00 \text{ Torr}$ 、この時、 $d = 66 \text{ mm}$ 、 $L = 1.05 \text{ m}$ 、 $M = 39.948 \text{ amu}$ 、 $T_g = 300 \text{ K}$ 、 $\eta = 2.10 \times 10^{-5} \text{ Nsm}^{-2}$ とする。その結果、流量は次のようになった。

$$\begin{aligned} Q_s &= 1.52 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\ &= 0.152 \text{ g/s} \end{aligned}$$

次に、この値を用いて陰極内でのレイノルズ数およびクヌーセン数を求める。ただし、レイノルズ数 $R_s = 4Q_s/(\pi \eta d)$ 、クヌーセン数 $K_s = \lambda/d$ で表わされ、 λ は気体分子の平均自由行程である。 $(\lambda \approx 4.80 \times 10^{-2}/p \text{ (Torr) mm})$

$d = 2.6 \text{ cm}$ とすると

$$R_s = 354.9, \quad K_s = 1.85 \times 10^{-4}$$

また、流量測定に用いた部分では、 $d = 6.6 \text{ cm}$ となるので、次のようになる。

$$R_s = 139.8, \quad K_s = 7.27 \times 10^{-4}$$

一般に層流の場合、 $R_s < 1200$ 、 $K_s < 0.01$ で粘性流となると考えられるので、実験時の気体の流れは境界層を無視すると、粘性流として妥当である。

次に、この流量で流速が音速に等しいとすると、陰極出口付近の圧力 (p_c) は次式で与えられる。

$$p_c = \frac{4Q_s}{\pi d^2} \left(\frac{kT_g}{rM} \right)^{1/2}$$

ここで r は比熱比。そこで、 $d = 2.6 \text{ cm}$ とすると $p_c = 0.415 \text{ Torr}$ 。ピラニ真空計の指示がこの値より低い場合には、気体の流速は音速に達する。今回の実験条件では、気体の流速はすべて音速以下であるが、気圧が高くなるほど流速は音速に近くなっていたと考えられる。

ホロー陰極放電の電圧電流特性に及ぼす気体の流れの効果について考える。まず気体は、陰極から陽極の方に向かって流れている。その結果、陰極中の電子は気体の流れに乗って陽極に達し、気体の流れのない場合に比べ大きな放電電流となる。また、気体の流れにより実際に陰極内を通過する気体分子の

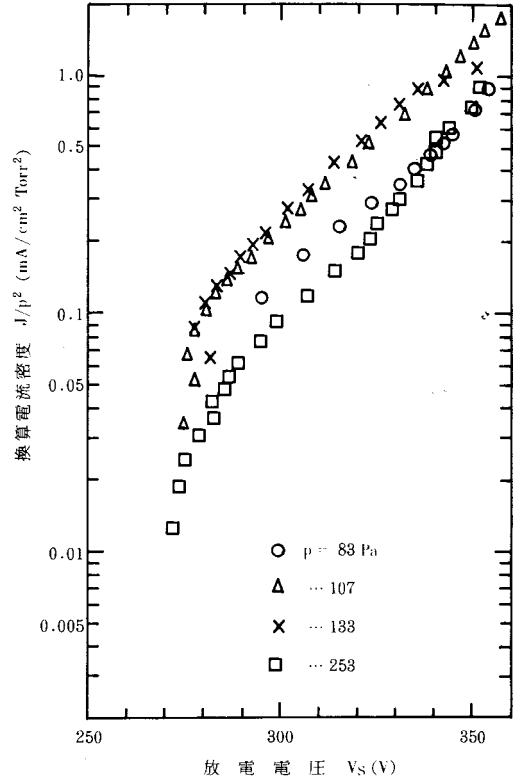


図6 封じ切って行った場合の換算電流密度と放電電圧の関係

数が増加するため、電離衝突数が増加し、より低い電圧で大きな電流が得られる事になる。これらの事は図3と図5より確かめられる。

また、気体を流している場合(図3)に気圧Pが高い方が低電圧、大電流になる理由は、気圧が高い方が気体の流速が大きくなる事による。また、気体の流れがない場合に比べ、気圧が0.3 Torrから1.9 Torrの電圧電流特性の変化の割合(測定値のちらばり)を見ても、気体の流れのある場合の方が大きくなっている事から、流れの効果は上記の二つの効果が同時に影響していると推定される。(図3と図5より)

図4と図6に示された J/p^2 は、陰極面単位面積から放出される電子数を表わす。 $(J/p^2/e, e$ は素電荷)。これらの電子は、イオンや準安定原子や光量子が陰極に当たり二次電子を放出させる結果、生じたものである。実験結果において、同一の電圧(例えば、 $V_s = 300V$)では、気体を流している場合の方が約100倍の電流密度が得られている。この理由の説明には、上記の二次電子放出機構の他に、スパッタリング等の考慮も重要であると考えられる。いずれにしても、気体の流れによりイオン、準安定原子、スパッタされた分子が陽極方向に流されるにもかかわらず、陰極面からの二次電子放出が増加する過程を考える必要がある。これについての説明には、もっと他の実験により検討する必要がある、今回の実験の結果のみでは簡単に説明する事はできない。しかし、定性的には次のように考えられる。

ホロー陰極の特徴は、負グローが陰極内部に存在する事にある。その結果、負グロー内で発生したイオン、準安定原子、光量子等の陰極からの二次電子放出に重要な役割をもつ粒子の損失を減少させ、平板電極の場合に比べ大きな陰極電流密度を得る事ができる。気体の流れがある場合、この事は助長され、より多くの陰極電流が得られる事が実験結果よりわかる。気体が流れている場合には、陰極内部に存在する中性粒子の数は増加する。その結果、陰極内部の大部分を占める負グローの中での電子衝突による電離や励起の数が増大すると考えられる。そして、陰極からの二次電子放出に寄与すべき粒子のうち、イオンや準安定原子等は陽極方向に流される結果、その寄与は小さくなる。一方、光量子は流される事はないので、励起衝突数の増加とともに、この効果は大きくなる。この結果、光電子放出の増加により、気体を流した場合に陰極電流が増加したと考える事ができる¹⁾。その他の理由として、陰極の構造からわかるように、気体の流れ方が層流からはずれてくる事も考えられる。陰極の出口側で反射された粒子が再び陰極に戻り、二次電子放出に寄与する可能性がある。これらの事は、陰極内部の観察が必要である。このためには、陰極の構造をもう少し考える必要があると思われる。

5. ま と め

中空陰極放電の電圧電流特性を実験的に求めた。使用した気体はアルゴンで、低気圧グロー放電の領域に限定した。その結果、ホロー陰極は、比較的低い電圧で大きな電流の放電が、簡単に得られる事が確認できた。また、気体の流れが陰極方向から陽極方向に存在すると、流れのない場合に比べ、放電電流は10倍程度大きくなり、放電維持電圧は50V程度低くなる事がわかった。

今後の問題として、測定領域の拡大が必要である。ホロー陰極をプラズマ源として使用する場合やレーザーの励起等に用いる場合とではその運転条件が異なるため、その最適条件を実験的に求める必要がある。それと同時に、気体の流れの効果を定量的に明らかにする事も残されている。また、理論的解析も重要であり、実験と比較のためには、陰極内部のプラズマ諸量の測定も必要である。

最後に、実験装置の製作に御協力を頂いた実習工場みなさんに感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 放電ハンドブック, 電気学会(昭和53年)
- 2) Borodin, V. S. Kagan Yu. M., : Soviet Phys. Tech. Phys. Vol. 11, No. 1, p. 131 (1966)
- 3) J. K. Crane, J. T. Verdeyen : J. Appl. Phys. Vol. 51, No. 1, p. 123~ (1980)

- 4) 新版レーザー入門, 電子通信学会, 稲場文男著 (昭和56年)
- 5) "A User's Guide to Vacuum Technology" John-Wiley & Sons Inc. John F. O'Hanlon (1980)
- 6) C. M. Ferreira, J. L. Delcroix ; J. Appl. Phys. Vol. 49, No. 4, p. 2380 (1978)

(昭和57年4月15日受付)

長い打撃棒による梁の横衝撃

(土木工学科) 久 良 喜代彦

Transverse Impact of a Long Striker on a Beam

Kiyohiko KURŌ

A numerical solution of the finite difference method is presented for flexural wave propagation in a uniform, simply supported beam resulting from transverse impact of a long striker at the mid-point according to the Timoshenko's equation. A comparison is made of the solutions and the experimental results.

§ 1. まえがき

梁に鋼球を落下させて横衝撃を加える場合、鋼球は普通、剛体として扱われる。

しかし、比較的長い打撃棒をその軸方向に落下させて横衝撃を加える場合には打撃棒中を歪み波がその軸方向に伝播往復することを考慮する必要があるように思われる。すなわち、打撃棒を弾性体として取扱う必要があるように思われる。

本研究は比較的長い打撃棒を両端単純支持梁のスパン中央に落下させる場合について、上記の点を考慮に入れて打撃棒を弾性体と見做して解く差分解法を開発し、これを鋼棒を角鋼梁に落下させる衝撃実験の結果と比較することによって、本研究で得られた差分解法の適用性について検討すると同時に、打撃棒を剛体と見做す場合と弾性体と見做す場合との差異について検討しようとするものである。

なお、本研究では打撃棒として用いる鋼棒の端面は球面とし、鋼棒と梁との接触について Hertz の理論を用いることにする。また、梁の横衝撃については Timoshenkō の理論によることにする。

§ 2. 記 号

本報告で用いる記号の主なものは次の通りである。

A, A_1	梁および打撃棒の断面積 (cm^2)	f	打撃棒要素のばねに作用する力 (kg)
α	接近距離 (cm)	G	梁の剛性率 (kg/cm^2)
b	梁の幅 (cm)	g	重力の加速度 (cm/sec^2)
β	剪断たわみ角	h	梁の厚さ (cm)
C	打撃棒要素のばねの圧縮量 (cm)	I	梁の断面 2 次モーメント (cm^4)
γ_1, γ_2	打撃棒および梁の単位体積重量 (kg/cm^3)	i, j	梁および打撃棒の各部を表わす添字
Δx	梁の分割長 (cm)	k	Hertz の定数
Δt	時間間隔 (sec)	k'	梁断面の剪断係数
E	弾性係数 (kg/cm^2)	l, l_1	梁のスパンおよび打撃棒の長さ (cm)
E_1, E_2	打撃棒および梁の弾性係数 (kg/cm^2)	M	曲げモーメント ($\text{kg}\cdot\text{cm}$)
F	打撃棒と梁との間の接触力 (kg)	μ_1, μ_2	打撃棒および梁の材料のポアソン比

n	時間間隔に付した番号	t	時間(sec)
$n \max$	n の最大値	τ'	梁の内部摩擦係数(sec)
nd, ns	梁および打撃棒の分割数	v, v'	梁要素および打撃棒要素の変位速度(cm/sec)
p	梁の支点部分を表わす添字	W, W'	" " " の重量(kg)
Q	剪断力(kg)	y, y'	" " " の鉛直方向変位(cm)
R_1	打撃棒端面の曲率半径(cm)	x, x'	梁および打撃棒の軸方向座標(cm)
s	打撃棒要素のばね定数(kg/cm)	y_b, y_s	梁要素の曲げおよび剪断によるたわみ(cm)
σ	曲げ応力(kg/cm ²)	ω	梁要素の回転角速度(1/sec)
θ	梁の曲げによるたわみ角	$()_n$	時間間隔 n における変化量

§ 3. 解法の概要

Timoshenko 理論によると、梁の横振動によって梁の各部に生ずる鉛直方向変位 y は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} E_2 \cdot I \cdot \frac{\partial^3 y_b}{\partial x^3} + k' \cdot G \cdot A \cdot \frac{\partial y_s}{\partial x} - I \cdot \frac{\gamma_2}{g} \cdot \frac{\partial^3 y_b}{\partial t^2 \cdot \partial x} &= 0 \\ \frac{\gamma_2}{g} \cdot A \cdot \left(\frac{\partial^2 y_b}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_s}{\partial t^2} \right) - k' \cdot G \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y_s}{\partial x^2} &= 0 \\ y &= y_b + y_s \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

次に、弾性理論によると、縦波の伝播による打撃棒各部の変位 y' は次式で与えられる。

$$\frac{\gamma_1}{g} \cdot \frac{\partial^2 y'}{\partial t^2} = E_1 \cdot \frac{\partial^2 y'}{\partial x_1^2} \quad (2)$$

打撃棒の衝撃端面が球面をなす場合、梁と打撃棒との間の接触力は Hertz の理論によって次のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} F &= k \cdot \alpha^{3/2} \\ \alpha &= y_1' - y_1 \\ k &= \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{\sqrt{R_1}}{\delta_1 + \delta_2}, \quad \delta_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot E_1}, \quad \delta_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{\pi \cdot E_2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

y_1', y_1 は打撃棒衝撃端および梁の被衝撃点の変位

(1), (2), (3)を総合して解くことによって、打撃棒を弾性体と見做す場合の梁の横衝撃の解が得られる。

§ 4. 数値解析法

(1) 離散化モデル

前節の方程式(1), (2), (3)を差分的手法で解くことにする。

この計算目的のために図1の梁および打撃棒を図2のように、重錐をばねで連ねたものとして表現する。

梁におけるばねは曲げに対する弾性のみを表わし、打撃棒におけるばねは打撃棒の軸方向の伸縮に対する弾性を表わすものとする。

次に衝撃後の経過時間を微小時間間隔 Δt に分割する。一つの時間間隔 Δt の間では力、変位、変位速

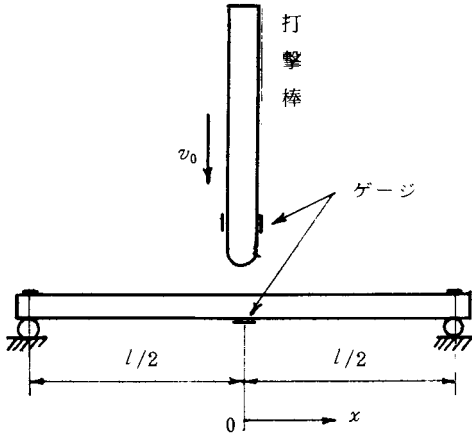


図1 実験梁

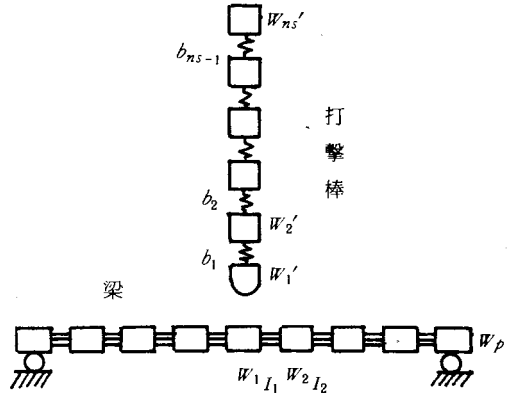


図2 計算目的のための梁および打撃棒の表現

度等の変量は一定であると見做すことにする。

(2) Timoshenkō 式の差分展開

§ 3 の Timoshenkō の微分方程式(1) は次の方程式群に置きかえられる¹⁾

$$\left\{ \begin{array}{l} (y_i)_n = (y_i)_{n-1} + (v_i)_{n-1} \cdot \Delta t \\ (\theta_i)_n = (\theta_i)_{n-1} - (\omega_i)_{n-1} \cdot \Delta t \\ (M_i)_n = -E_2 \cdot I_i \{ (\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n \} / \Delta x \\ (\beta_i)_n = \{ (y_{i+1})_n - (y_i)_n \} / \Delta x - (\theta_i)_n \\ (Q_i)_n = G \cdot k' \cdot A_i \cdot (\beta_i)_n \\ (\omega_i)_n = (\omega_i)_{n-1} + \{ \{ (M_{i+1})_n - (M_i)_n \} / \Delta x - (Q_i)_n \} \cdot \Delta t \cdot g / (I_i \cdot \gamma_2) \\ (v_i)_n = (v_i)_{n-1} + \{ (Q_i)_n - (Q_{i-1})_n \} \cdot g \cdot \Delta t / W_i \end{array} \right. \quad (1)'$$

(3) 縦振動の波動方程式の差分展開

縦振動の波動方程式(2)は次の方程式群に分解される³⁾

$$\left\{ \begin{array}{l} (y'_j)_n = (y'_j)_{n-1} + (v'_j)_{n-1} \cdot \Delta t \\ (C_j)_n = (y'_{j+1})_n - (y'_j)_n \\ (f_j)_n = s_j \cdot (C_j)_n \\ (v'_j)_n = (v'_j)_{n-1} + \{ (f_j)_n - (f_{j-1})_n \} \cdot g \cdot \Delta t / W'_j \end{array} \right. \quad (2)'$$

(4) 接触力関連式の差分展開

接触力 F に関する(3)式およびそれに関連する式を差分化したものを次のように配列する^{1), 2)}

$$\left\{ \begin{array}{l} (y'_1)_n = (y'_1)_{n-1} + (v'_1)_{n-1} \cdot \Delta t \\ (y_1)_n = (y_1)_{n-1} + (v_1)_{n-1} \cdot \Delta t \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (\alpha)_n = (y_1')_n - (y_1)_n \\ (F)_n = k \cdot \{(\alpha)_n\}^{3/2}, \quad (\alpha)_n \geq 0 \\ (v_1')_n = (v_1')_{n-1} + \{(f_1)_n - (F)_n\} \cdot g \cdot \Delta t / W_1' \\ (v_1)_n = (v_1)_{n-1} + \{(F)_n + (Q_1)_n - (Q_1')_n\} \cdot g \cdot \Delta t / W_1 \end{array} \right. \quad (3)'$$

ここに Q_1' は重錐 1 (載荷点) の左側の剪断力。

5) 条件式

a. 境界条件

i) 支点では曲げモーメントおよび変位が 0 であることから,

$$(v_p)_n = 0, \quad (M_p)_n = 0$$

ii) 載荷点をスパン中央とすると、梁および荷重が左右対称ということから、計算はスパン中央から右の部分についてのみ行うことにする。この場合、

$$(Q_1')_n = -(Q_1)_n, \quad (\theta_1')_n = -(\theta_1)_n$$

ここに θ_1' は重錐 1 (載荷点) 左側のたわみ角。

b. 初期条件

打撃棒の衝撃速度を v_0 とすると,

$$(v_j')_0 = v_0, \quad (j = 1, 2, \dots, ns)$$

c. 梁の内部摩擦

梁の内部摩擦による歪み波の減衰を考慮する場合には(1)'式の中の $(M_i)_n$ についての式のかわりに、Voigt 型の減衰モデルを用いて、次のように修正したものを用いることにする。

$$(M_i)_n = -\frac{E_2 \cdot I_i}{4x} \left[(\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n + \frac{\tau'}{\Delta t} \left\{ \left((\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n \right) - \left((\theta_i)_{n-1} - (\theta_{i-1})_{n-1} \right) \right\} \right]$$

6) 計算プログラム

上記の各差分式(1)', (2)', (3)' および各種条件式を総合することによって、次の計算プログラムが得られる。

これを解くことによって、梁各部の変位、変位速度、曲げモーメント、せん断力、曲げ応力等の時間変化が得られる。

$$\boxed{nd, ns, nmax, \Delta t}$$

$$\boxed{A_1, l_1, R_1, v_0, E_1, \gamma_1, \mu_1}$$

$$\boxed{b, h, l, E_2, \gamma_2, \mu_2, k'}$$

$$\boxed{\tau'}$$

$$p = 1 + nd/2$$

$$A = b \cdot h, \quad I = b \cdot h^3/12, \quad G = E_2 / \{2(1 + \mu_2)\}$$

$$\Delta x = l/nd, \quad \Delta l_1 = l_1/ns, \quad \Delta l_1' = l_1/(ns-1)$$

$$\delta_1 = (1 - \mu_1^2) / (\pi \cdot E_1), \quad \delta_2 = (1 - \mu_2^2) / (\pi \cdot E_2)$$

$$k = 4 \cdot \sqrt{R_1} / \{3 \cdot \pi (\delta_1 + \delta_2)\}$$

$$W_i = \tau_2 \cdot A \cdot \Delta x, \quad (i=1, 2, \dots, p-1)$$

$$W_p = \tau_2 \cdot A \cdot \Delta x / 2$$

$$W_j' = \tau_1 \cdot A_1 \cdot \Delta l_1, \quad (i=1, 2, \dots, ns)$$

$$s_j = A_1 \cdot E_1 / \Delta l_1', \quad (j=1, 2, ns-1)$$

$$(y_i)_0 = 0, \quad (v_i)_0 = 0, \quad (i=1, 2, \dots, p)$$

$$(\theta_i)_0 = 0, \quad (\omega_i)_0 = 0, \quad (i=1, 2, \dots, p-1)$$

$$(v_j')_0 = 0, \quad (y_j')_0 = 0, \quad (j=1, 2, \dots, ns)$$

$$(f_j)_0 = 0, \quad (j=1, 2, \dots, ns-1)$$

$$n=1$$

$$(y_j')_n = (y_j')_{n-1} + (v_j')_{n-1} \cdot \Delta t, \quad (j=1, 2, \dots, ns)$$

$$(y_i)_n = (y_i)_{n-1} + (v_i)_{n-1} \cdot \Delta t, \quad (i=1, 2, \dots, p)$$

$$(\alpha)_n = (y_1')_n - (y_1)_n$$

$$(\alpha)_n > 0 \quad \text{ならば} \quad (F)_n = k \cdot (\alpha)_n^{3/2}, \quad (\alpha)_n \leq 0 \quad \text{ならば} \quad (F)_n = 0$$

$$(C_j)_n = (y_{j+1}')_n - (y_j')_n \quad (j=1, 2, \dots, ns-1)$$

$$(\theta_i)_n = (\theta_i)_{n-1} - (\omega_i)_{n-1} \cdot \Delta t, \quad (i=1, 2, \dots, p-1)$$

$$(M_1)_n = -2 \cdot E_2 \cdot I \cdot [(\theta_1)_n + \tau' \cdot \{(\theta_1)_n - (\theta_1)_{n-1}\} / \Delta t] / \Delta x$$

$$(M_i)_n = -E_2 \cdot I \cdot [(\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n + \tau' \cdot \{((\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n) - ((\theta_i)_{n-1} - (\theta_{i-1})_{n-1}) / \Delta t\}] / \Delta x, \\ (i=2, 3, \dots, p-1)$$

$$(M_p)_n = 0$$

$$(\sigma_i)_n = (M_i)_n \cdot h / (2 \cdot I), \quad (i=1, 2, \dots, p)$$

$$(\beta_i)_n = \{(y_{i+1})_n - (y_i)_n\} / \Delta x - (\theta_i)_n, \quad (i=1, 2, \dots, p-1)$$

$$(Q_i)_n = G \cdot k' \cdot A \cdot (\beta_i)_n, \quad (i=1, 2, \dots, p-1)$$

$$(\omega_i)_n = (\omega_i)_{n-1} + \{[(M_{i+1})_n - (M_i)_n] / \Delta x - (Q_i)_n\} \cdot g \cdot \Delta t / (I \cdot \tau_2), \quad (i=1, 2, \dots, p-1)$$

$$(v_1')_n = (v_1')_{n-1} + \{(f_1)_n - (F)_n\} \cdot \Delta t \cdot g / W_1'$$

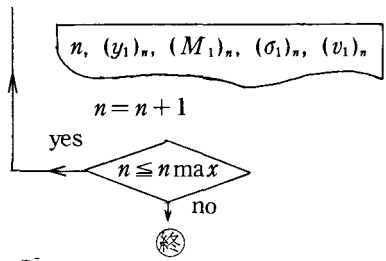
$$(v_j')_n = (v_j')_{n-1} + \{(f_j)_n - (f_{j-1})_n\} \cdot \Delta t \cdot g / W_j', \quad (j=1, 2, \dots, ns-1)$$

$$(v_{ns}')_n = (v_{ns}')_{n-1} - (f_{ns-1})_n \cdot \Delta t \cdot g / W_{ns}'$$

$$(v_1)_n = (v_1)_{n-1} + \{2 \cdot (Q_1)_n + (F)_n\} \cdot g \cdot \Delta t / W_1$$

$$(v_i)_n = (v_i)_{n-1} + \{(Q_i)_n - (Q_{i-1})_n\} \cdot g \cdot \Delta t / W_i, \quad (i=2, 3, \dots, p-1)$$

$$(v_p)_n = 0$$



§ 5. 衝撃実験

角鋼梁の両端を単純支持とし、スパン中央下縁に共和ゲージ K10A1 を貼布した。(図1)

打撃棒は直径20mm、長さ10、25、50、100cmのステンレス鋼棒を用い、その衝撃端面は半径20mmの球面仕上げとした。また、衝撃端面から20mmの位置に打撃棒の軸方向に共和ゲージ K5A1 を貼布した。

梁のスパン中央上縁に打撃棒を落下させて、梁に横衝撃を加え、ゲージ貼布位置の歪み波形をシンクロスコープ DS 5016 で観測した。

角鋼梁としては次の寸法のものを用いた。

幅	厚さ	スパン
1	× 1	× 30 cm
1.2	× 2.48	× 30 cm
1.2	× 2.48	× 59 cm
1.2	× 3.25	× 59 cm

表1 梁および打撃棒の静的特性

	単位体積重量	弾 性 係 数
梁	0.00774 kg/cm ³	2.1 × 10 ⁶ kg/cm ²
打 撃 棒	0.00784	1.99 × 10 ⁶

実験に用いた角鋼ならびにステンレス鋼棒の静的特性を表1に示す。

なお、打撃棒を落下させる上記の実験のほか、鋼球(直径42mm、50.8mm)を落下させる実験も行った。

実験結果として得られた歪み波形の1例を写真1に示す。

§ 6. 計算例

1.2×2.48×59cmのスパン中央にφ2×100cmのステンレス鋼棒を落高10cmで落下させた場合について本解法を適用する。計算データは次の通りである。

- 梁分割数 $nd=40$
- 鋼棒分割数 $ns=68$
- 時間間隔 $\Delta t=0.5 \times 10^{-6} \text{sec}$
- 鋼棒の長さ $l_1=100 \text{cm}$, 直径 $d_1=2 \text{cm}$, 端面曲率半径 $R_1=2 \text{cm}$
- 鋼棒の衝撃速度 $v_0=\sqrt{2 \times 980 \times 10}=140 \text{cm/sec}$
- 梁の幅 $b=1.2 \text{cm}$, 厚さ $h=2.48 \text{cm}$, スパン $l=59 \text{cm}$
- 鋼棒の弾性係数 $E_1=1.99 \times 10^6 \text{ kg/cm}^3$
- 単位重量 $\gamma_1=0.00787 \text{ kg/cm}^3$
- ポアソン比 $\mu_1=0.31$

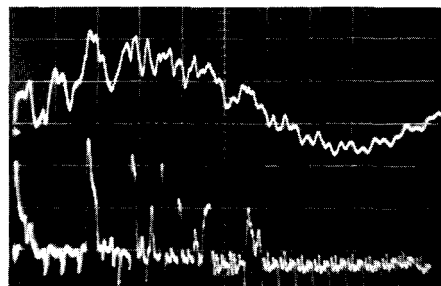


写真1 梁 1.2×2.48×59cm
打撃棒 φ2×100cm, 落高10cm
上: スパン中央下縁歪み波形, $0.5 \times 10^{-3} / \text{div}$.
下: 打撃棒端歪み波形, $0.04167 \times 10^{-3} / \text{div}$.
横 1 ms/div.

角鋼の弾性係数 $E_2 = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

単位重量 $\gamma_2 = 0.00774 \text{ kg/cm}^3$

ポアソン比 $\mu_2 = 0.29$

剪断係数 $k' = 0.6667$

内部摩擦係数 $\tau' = 0, 1 \times 10^{-6}, 3 \times 10^{-6} \text{ sec}$

なお、打撃棒を弾性体として計算する場合と、剛体として計算する場合とを比較するために、後者の場合として打撃棒と同一重量の鋼球を落下させる場合についても計算を行った。

計算結果として得られた梁スパン中央下縁および打撃棒端の理論歪み波形およびおのおのの場合の実測波形を図3に示す。

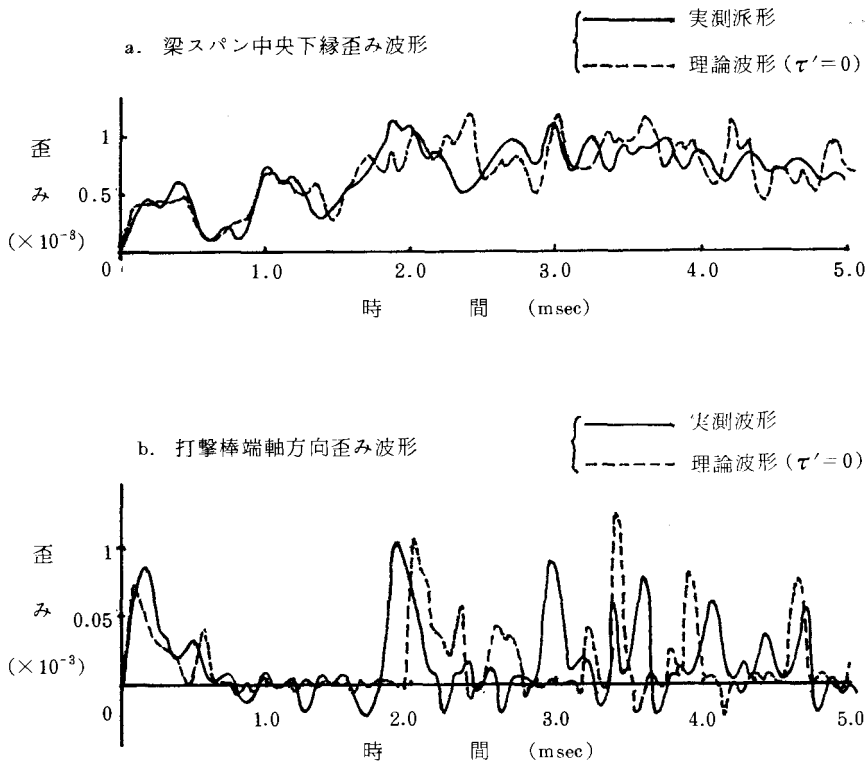


図3 実測波形と理論波形との比較
(打撃棒 $\phi 2 \times 100 \text{ cm}$, 落高 10 cm , 梁 $1.2 \times 2.48 \times 59 \text{ cm}$)

§ 7. 計算結果と実験結果との比較検討

種々の実験条件のもとで得られた梁スパン中央下縁の最大歪みおよび衝撃による梁の過渡振動に続く定常振動の固有周期とおのおのに対する理論値をまとめると表2のようになる。なお、梁の固有周期 T の理論値は次式で計算した。

$$T = \frac{2 \cdot l^2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_2 \cdot A}{g \cdot E_2 \cdot I}}$$

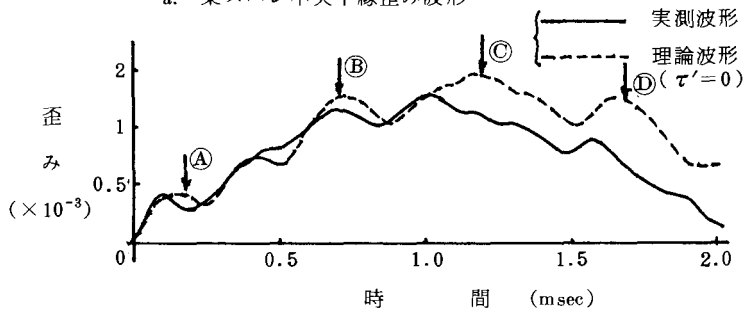
梁のスパン中央下縁の歪み波形, 梁スパン中央の変位波形, 打撃棒端の軸方向歪み波形を相互に比較

表2 梁の最大歪みおよび固有周期の実測値と理論値との比較

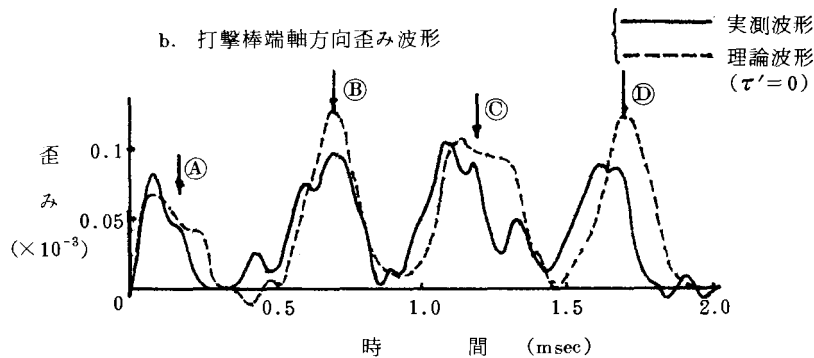
梁 寸 法 (cm)	打撃棒寸法 (cm)※	梁スパン中央下縁最大歪み			定常振動固有周期	
		実 測 値 ($\times 10^{-6}$)	理 論 値 ($\times 10^{-6}$)		実測値 (msec)	理論値 (msec)
			$\tau'=0$	$\tau'=8 \mu\text{sec}$		
$1 \times 1 \times 30$	$\phi 2 \times 10$	1163	1100	900	3.8	3.9
	$\phi 2 \times 25$	1727	1675	1400	3.6	
	$\phi 2 \times 50$	2419	2250	2000		
	($\phi 5.08$)	1500	1650	1425	3.8	
$1.2 \times 2.48 \times 30$	$\phi 2 \times 25$	775	725	725		1.56
	$\phi 2 \times 50$	1050	1075	1025	1.58	
	$\phi 2 \times 100$	1300	1450	1450	1.51	
	($\phi 4.2$)	457	600	480	1.51	
	($\phi 5.08$)	680	740	660	1.52	
$1.2 \times 2.48 \times 59$	$\phi 2 \times 25$	523	600	530	5.5	6.05
	$\phi 2 \times 50$	883	990	915	5.5	
	$\phi 2 \times 100$	1142	1500	1075	5.5	
	($\phi 5.08$)	460	610	440	5.5	
$1.2 \times 3.29 \times 59$	$\phi 2 \times 25$	450	590	480	4.4	4.62
	$\phi 2 \times 50$	708	700	630	4.1	
	$\phi 2 \times 100$	900	1050	900	4.1	

※ () は鋼球を表わす。

a. 梁スパン中央下縁歪み波形



b. 打撃棒端軸方向歪み波形



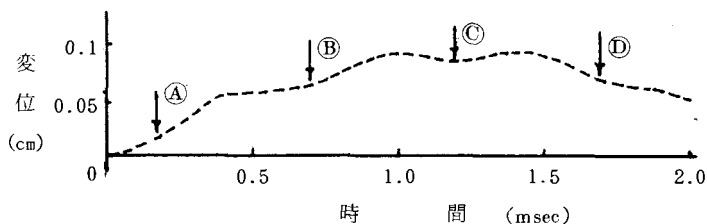
c. 梁スパン中央理論変位波形 ($\tau' = 0$)

図4 変位波形と歪み波形との関係
(打撃棒 $\phi 2 \times 100$ cm, 落高 10 cm, 梁 $1.2 \times 2.48 \times 30$ cm)

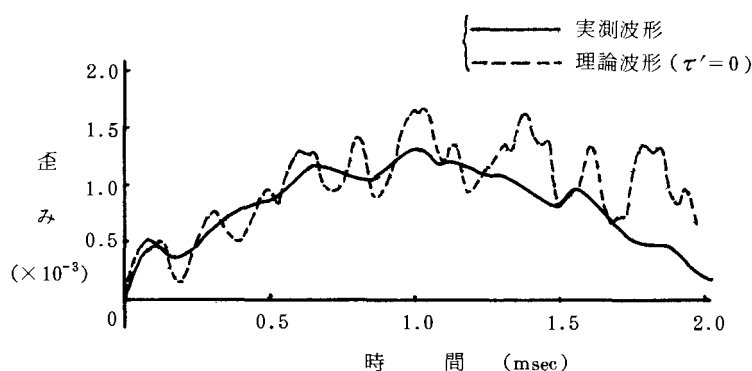


図5 打撃棒を剛体と見做した場合の歪み波形
(梁および打撃条件は図4の場合と同じ)

したものを図4に示す。

図4の場合について打撃棒を剛体として計算して得られた理論歪み波形と実測波形とを比較した結果を図5に示す。

上記のようにして、種々検討した結果をまとめると次のようになる。

(1) 打撃棒端の歪み波形

a. 立上り時の理論波形は実測波形とかなり良く一致しているが、立上り時の最大歪みの理論値は実測値を若干下まわっている。

b. 立上り以後にあらわれる比較的大きな歪みの発生時刻は理論波形では実測波形の場合より若干遅くなっている。

c. 図4の中の見印④, ⑤, ⑥, ⑦に見られるように打撃棒端の歪み波形の中に含まれる比較的大きな歪み波の山および梁のスパン中央下縁の歪み波形の高周波分の山は梁のスパン中央下縁の理論たわみ波形の中の高周波分の凹部に対応しているように思われる。

このことからみると、打撃棒と梁とは衝撃中も常時接触しているのではなく、梁のたわみ振動に伴って接触したり離れたりするように思われる。

d. 打撃棒端の歪み波形に含まれる小振幅の高周波分は打撃棒の中を往復する歪み振動を表わすもののように思われる。

(2) 梁の歪み波形

a. 梁の歪み波形に関する本解法の適用性はおおむね良好のように思われるが、次のような点が認められる。

i. 初期の立上り時の理論歪みは一般に実測歪みより若干下まわっている。

ii. 歪み波形がその最大歪みに到達した後は、理論波形と実測波形との間には若干のずれが生じている。

iii. 梁の定常振動の固有周期の理論値は実測値より若干大きくなっている。(表2)

b. 理論波形を実測波形に近づけるためには梁の内部摩擦をある程度考慮する必要があると思われるが、^{(1),(2)} 本解法のように打撃棒を弾性体と見做す場合には、剛体と見做す場合と比較して、梁の内部摩擦係数 τ' の計算結果におよぼす影響は一般に小さく、時には内部摩擦を考慮しなくても結果に左程影響はない場合も認められる。

c. 打撃棒の長さが余り長くない場合、打撃棒を弾性体と見做して得られる理論歪み波形と剛体と見做した場合の波形には余り大きな差は認められない。

しかし、打撃棒の長さが長くなって行くと、両方の波形の中の低周波分は大略等しいようであるが、高周波分には差異が生じて来る。

例えば、図4-aと、これと同一条件の場合の図5と比較してわかるように打撃棒を剛体と見做して得られる歪み波形の中では高周波分の振幅がかなり大きくなって来る。

§ 8. あとがき

本研究で得られた主要な結論は次の通りである。

a. 本研究で得られた差分解法の適用性はおおむね良好である。

b. 打撃棒の長さが余り長くない場合、これを剛体と見做しても差支えないように思われる。

打撃棒の長さが相当長い場合、これを剛体と見做して解析すると、高周波分が著しく大きく表われて来るように思われる。

c. 打撃棒を弾性体として解析する場合には内部摩擦の計算結果におよぼす効果は余り大きくないように思われる。

この点についてはその理由等について今後更に検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 久良喜代彦: Timoshenko 梁の差分解法, 呉高専研究報告17巻1号, 1981.
- 2) 久良喜代彦: 単純支持梁の曲げ応力波に関する数値解析法について, 呉高専研究報告16巻2号, 1981.
- 3) Smith, A. E. L.: Pile Driving Analysis by the Wave Equation, Proc. ASCE, Aug. 1960.

(昭和57年3月25日受付)

透水係数測定に及ぼす要素について

(土木工学科) 石 井 義 明

Some Influence on the Measurement of the Permeability Coefficient Under the Variable Head

Yoshiharu ISHII

In order to investigate some influence as the leakage of water between the soil sample and cylinder, a permeability test under the variable head was carried out using a improved base plate (Fig. 1).

These results are as follows,

- (1) The flow rate of water through the center of sample is faster than the edge (Fig. 3).
- (2) The permeability ratio k_1/k_3 at the center and edge becomes small with the increasing hydraulic gradient (Fig. 6).
- (3) The influence of the leakage as the above mentioned is practically negligible.

§ 1 まえがき

ダム工事における浸透水量、掘削時の湧水量の決定には透水係数を必要とし、また地すべりを起こしやすい斜面の安定を検討する時にはせん断強さとともに透水性を知る必要がある。透水係数の測定は室内試験によるものと現位置で直接測定する二つの方法がある。しかし前者は均一な試料の作成が困難であること、容器と試料の間の漏水の問題等があり、後者の値のほうが信頼される傾向にある。そこでより正確な室内透水試験値を得るため、上記の問題点や動水傾度がどの程度の影響を及ぼしているかを知るため、砂とシルト質な粘土を混合した試料を用い、変水位型透水装置の底盤を改良し実験を行なった。これはまた、不攪乱非整形マサ土の透水係数を求める予備実験として行なったものである。

§ 2 試料ならびに実験装置

用いた試料は2mmのフルイを通過した砂とシルト質な乾燥粘土を3対1の割合、1対1の割合で混合した2種類で、主に前者を用いた。3対1で混合した試料の最適含水比は約18%、最大乾燥密度は1.6 g/cm³である。試料を容器に詰める時の含水比は11~14%の範囲ではほぼ一定となるよう調整し、5層に分け、一層当たり10回突き棒で均一となるよう注意深く突き固めた。含水比を11~14%としたのは最適含水比より大きいと、わずかな含水比の変化が大きな透水係数の差となり、逆に10%以下の乾燥側になると、真空ポンプを使い飽和させる時、水の浸透とともに試料が沈下し、実験前に測定した試料高さが変化するためである。試験終了後に調べた飽和度は90±3%で、平均間げき比は0.77であった。試料の直径は10cmであるが、高さは11.2, 9.2, 7.2, 5.2, 3.2cmの5種類である。

透水試験機ならびにその取扱い方法は、ほぼJIS規格にもとづく変水位型試験機であるが、円筒容器の底盤は浸透水量を3ヶ所で測定できるよう改良したもので図1に示した。中示部(内径5cm,面積19.6

cm²)を通過した水は①で、周辺部(内径10.0~7.5 cm, 面積34.9cm²)を通過した水は③で、中心部と周辺部にはさまれた部分(内径7.5~5 cm, 面積25cm²)を通過した水は②の所で透水量を測定し、同時にスタンドパイプの水位の変化(h_1 , h_2)も測定した。底盤の詳細図は図の下に示すように高さ1.5 cmの円形ステンレス製の壁で仕切られ、壁の間には直径5 mm以上の砂利を入れ、これをポーラスストーンのかわりとし、ここを通過して集水孔に水が集められる。水が排出するそれぞれコックの高さは同一とし、水頭差はここから測定した。

§ 3 実験結果と考察

3.1 試料密度の均一性

透水係数の測定に及ばす要素は種々あるが、突き固める時の密度の不均一も大きな要素の一つである。試料の含水比、突き固め回数を一定として均一に突き固めたとしても、容器と試料の間の摩擦により生ずる中心部と周辺部の密度の差は避けがたい。突き固めた後の中心部の湿潤密度を γ_{t1} 、周辺部の湿潤密度を γ_{t2} とし、その比を含水比との関係にプロットしたものが図2である。これは突き固めた試料全体の湿潤密度を測定した後、中心部のみを切り出しその湿潤密度を測定したもので、 γ_{t2} は周辺部というより全体の湿潤密度である。

図は含水比 $w = 7.5\%$ 以下では密度の比 $\gamma_{t1}/\gamma_{t2} = 1.0$ 以下となり中心部の密度が全体の密度より小さい事を示し、結果的には周辺部の密度のほうが大きい事になる。逆に $w = 7.5 \sim 15\%$ では γ_{t1}/γ_{t2} は1.0以上となり中心部の密度のほうが大きい事を示している。これは含水比が大きいと見掛け粘着力が増大し、試料と容器の間に生ずる附着力のため周辺部は締め固まりにくく、含水比が低く乾燥側になると見掛け粘着力が減少し試料が容器に付着しないためと思われる。また $w = 15\%$ 以上では1.0に近づく傾向にあり、ある程度以上の含水比では附着力にもとづく密度の不均一がなくなるものと思われる。 γ_{t1}/γ_{t2} が0.05異なると、今回の実験では透水係数が2~3割増減するから、附着力にもとづく密度の不均一は無視できない。従って均一な密度の試料を作成するためには最適含水比に近い、乾燥側の含水比で試料を突き固める必要がある。

3.2 ダルシーの法則の適用限界と流速分布

ダルシーの法則が適用される土中の流れは層流状態にあり、動水傾度と流速は直線関係にあるが、流速がある限界を越すと乱流状態となり流速の増加割合は低下し透水係数も小さくなるとされている¹⁾。そこで試料を飽和させた後、供試体高さは一定で、水頭のみ順次変化させ、所定時間(5秒)の間に流れる透水量から求めた流速 v と動水傾度 i の関係の一例を示すと図3のようである。ただし、 i は5秒

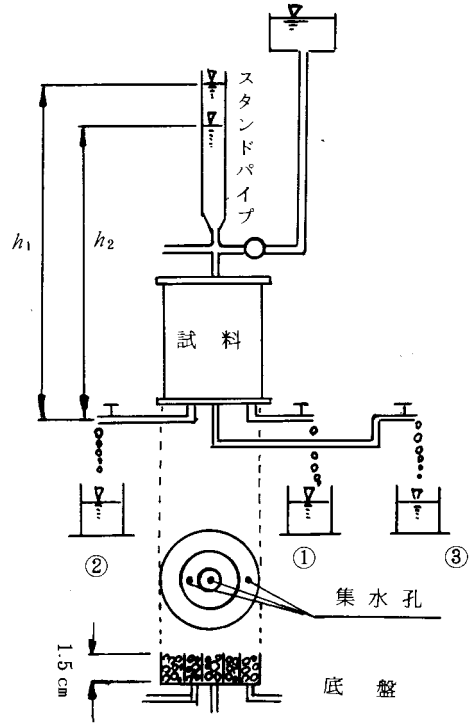


図1 透水試験機の概要と底盤

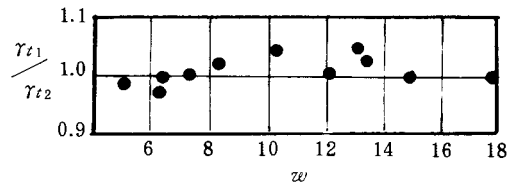


図2 密度の不均一

間に変化する動水傾度の平均値を用いた。
図中のNa 1 は 3 対 1 (砂：粘土) の, Na 2 は 1 対 1 の割合で混合した試料の結果で, ③は図 1 に示したように, 通過した水を測定した場所で①は中心部の, ③は円筒容器周辺のものである。図が煩雑になるため②で測定した結果は省略する。

図はNa 2 - ③を除く三つについては $i = 11 \sim 12$ 以下ではほぼ直線的で原点近くを通り, 層流でダルシーの法則が適用できると思われる。しかし $i = 11 \sim 12$ 以上では流速の増加割合は減少しているため乱流状態が生じているものと思われる。Na 2 の結果は粘土分が多い試料であるためNa 1 の流速より低い, 同様な傾向にある。また①と③を比較すると同一動水傾度でも中心部を通過する流速①が大きく周辺部の流速が遅い事を示している。容器と試料の間の漏水の影響を考慮すると周辺部の流量が多くなると思われるし, また図 2 の密度の均一性からしても周辺部は締まりにくく密度が小さいため透水量が大きくなると想像されるが逆の結果となっている。その理由は明確でないが, 管路内を流れる流体の流速が管路の壁の摩擦抵抗により中心部はど大きい流速の分布となる事と同様な現象が生じているのではないかと考えられる。管路内の平均流速は

$$U_m = \frac{R^2}{8\mu} \frac{\Delta P}{l} \quad \dots\dots\dots (1)$$

R : 管路半径, ΔP : 圧力差, μ : 粘性係数, l : 管路長

上式より中心部の最大流速を求めると平均流速の 2 倍となる。図 3 の Na 1 についてみれば①は③の約 2 倍で, ③の所を流れる流速を平均流速とみなせば管路の場合と同様な値となる。また粘土分の多い Na 2 の場合, ①は③の約 3 倍となり粘土分が多く間げき比の小さいものほど周辺部が中心部の流速より更に遅くなるといえる。以上のように周辺部流速が遅い事から容器と試料の間の漏水が透水性に及ぼす影響は小さく, 特に粘性分の多い土ほど, その影響が小さいものと思われる。

このような流速分布の差が実験終了後取り出した試料の含水比の分布にどのような影響を与えているかを知るため, 供試体高さとの関係でみたものが図 4 である。 w_1 は試料中心部の, w_2 は容器と接している周辺部の含水比である。試料高さが 10 cm 前後のものは $w_1/w_2 = 1.0$ で中心部と周辺部で差はないが高さの低いものは 1.0 以下であり周辺部の含水比が高い。この事は試料高さが低いものほど突き固める時の密度の不均一, 容器と試料の間の漏水の影響が大きい事を物語っていると思われる。従って JIS 規格の 12 cm 以上のものについては漏水の影響は小さいと思われる。

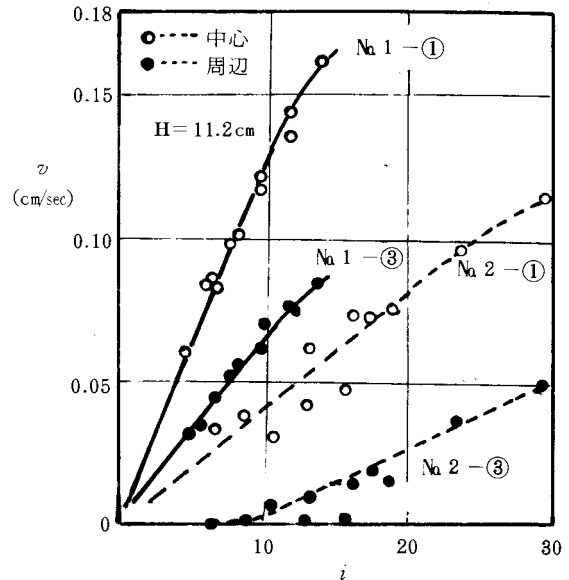


図 3 流速と動水傾度の関係

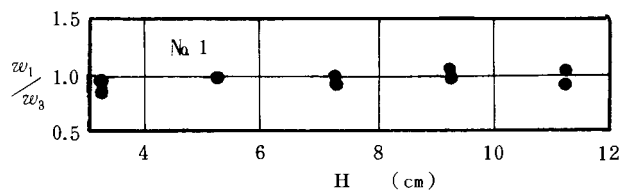


図 4 含水比の分布

3.3 透水係数に及ぼす動水傾度の影響

図3から動水傾度 i の増大とともに流速が増加するが、ある限界を越すと増加割合は低下しているため透水係数も小さくなる。そこで図3の結果から透水係数を求め i との関係の一例をプロットすると図5のようである。 $i=10$ 以下では①と②の透水係数 k はほぼ一定とみられるが、 $i=10$ 以上では k が減少する傾向にあり試料内で乱流が生じているものと思われる。しかし試料周辺部の③は $i=10$ までは k が増大し、それ以上では減少している。この実験は試料を詰めた後、水頭のみを順次上げ i を増加させているため高さ、密度は一定であるから、③の k が増大する理由は漏水量の増大によるものと思われる。

図5は同一高さの試料の結果であるが、高さの異なる試料を用い i を変化させた場合の中心部の透水係数 k_1 と周辺部の透水係数 k_3 の比が i とともにどのように変化するかを図6が示している。Na 1の結果については $i=10$ 以下ではその比 k_1/k_3 は2で中心部が2倍大きい透水係数を示し、これは図3の流速と同じ傾向である。しかし i の増大とともにその比

は減少し 1.0 に漸近する傾向にある。これは i の増大とともに漏水の影響により k_3 が増大するが、 k_1 はその影響がないためである。一方 Na 2の結果は特に中心部の流速が大きく、 i の増大とともに 1.0 に漸近する傾向にある。従って粘土分が多く間げきの小さい試料ほど漏水に及ぼす i の影響が大である。通常行う JIS による透水試験は $i=10$ 以下であるから漏水の影響より、円筒容器と水との摩擦の影響が特に大きいといえる。摩擦による流速低下の影響を取り除くためには透水量を中心部と周辺部に分離測定する必要がある。

その他、試料の直径も透水係数に影響を与えが、今回は JIS に基づく直径 10cm のものについてしか実験は行わなかった。しかし、容器と水との間の摩擦力は管路の場合

$$\tau = fw \frac{U_m^2}{g} \dots\dots\dots (2)$$

f : 抵抗係数, w : 水の単位体積重量, U_m : 平均流速

流速一定の場合 τ は定数となり、断面積が大きいほど周辺部における流速低下割合が減少するため透水係数に与える影響は小さくなる。従って断面積の大きい試料を用い透水試験をする事が望ましい。これについては今後確かめるつもりである。

3.4 透水係数に及ぼす試料高さの影響

管路における流速は管壁と水との摩擦により管路が長いほど低下するが、本実験のような土粒子の間を通過する水も土粒子との間の摩擦による水頭損失のため流速が低下し、透水係数は試料長さが長くなるほど小さくなる。この関係を示したものが図7である。ただし、図3から分かるように今回の実験で

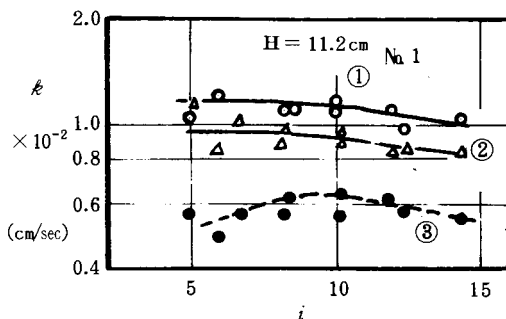


図5 透水係数と動水傾度の関係

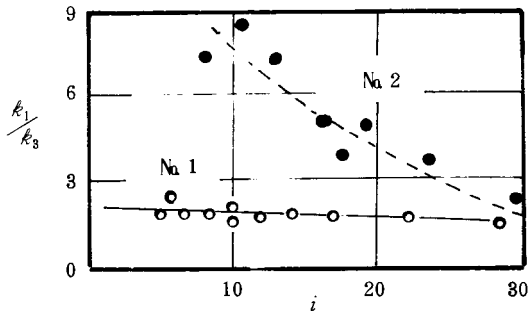


図6 不均一な透水係数

使用した試料にダルシーの法則が適用されるのは $i=11$ 以下であり、また動水傾度の影響も受けるため、 $i=9 \sim 11$ の範囲で得られた透水係数のみをプロットした。図は水頭損失のため高さの増大とともに k も減少しているが、その影響はそれほど大きいものではない。減少の割合は①の中心部を通過する場合が大きく、①は③の周辺部を通る水より流速が速いので、流速の大きいものはど試料高さの影響を受けやすいといえる。

図8は中心の k_1 と周辺の k_3 の比 k_1/k_3 に及ぼす高さの影響を示し、試料高さの増大とともに k_1/k_3 は増加する傾向にあり、高さが高いほど中心部を通過する水の割合が周辺部より多い事を示している。これは図6との関係からすれば、高さの増大とともに i は相対的に減少することになり漏水量が少なくなり、また容器と水との間の摩擦により周辺部の流速が低下するため中心部を通過する水の割合が多いといえる。

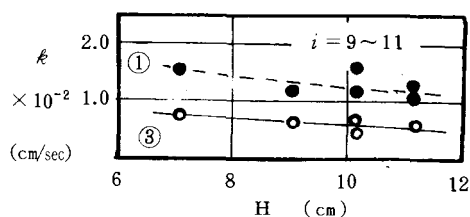
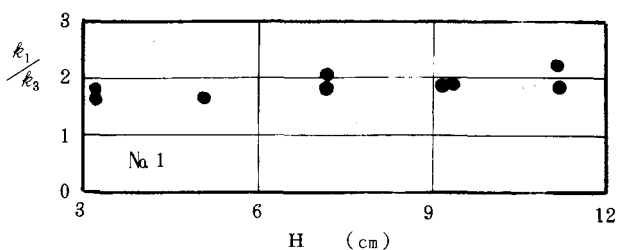
図7 k に及ぼす高さの影響

図8 透水係数の分布と高さの影響

§ 4 まとめ

2種類の試料を用い透水性に及ぼす要素について実験を行った結果、主なものをまとめると次のようである。

- 突き固める時の含水比により中心部と周辺部の密度が異なり、含水比が7.5%以下では周辺部の密度が大きく、7.5%以上では中心部の密度が大きくなる。しかし最適含水比に近い乾燥側の含水比の場合は中心と周辺での密度の差がなくなり均一な密度の試料となる。
- 同一間げき比、同一密度の試料であっても周辺部より中心部を通過する水量が多い。従って中心部で測定する透水係数が大きい。この傾向は粘土分の多い試料ほど著しい。
- 動水傾度が11以上になると流速の増加割合は低下し、透水係数が小さくなる。
- 試料高さが高いものはど周辺部流速は中心部より低下量が大きい。

以上の結果から従来より問題とされている室内透水試験における試料と容器の間からの漏水が透水係数決定に及ぼす影響は小さく、特に粘性土では無視しうるほどである。漏水よりも容器と水との摩擦による流速低下のほうが透水係数の決定に大きな影響を与える。

三国²⁾は現場透水試験と、室内透水試験で得られるものが1オーダー低い結果を得、その理由として室内試験では水が鉛直方向のみに流れ現場のそれは鉛直と水平の両方向に流れるためとしている。確かにこれも一つの理由であろうが、今回の実験結果からすれば、室内試験では容器と水との間の摩擦抵抗による流速の低下が、試料全体の小さな透水係数を得ることになり、これももう一つの理由と思われる。従ってより正確な透水係数を得るためには試料を通過した水量を中心部と周辺部別々に測定するとともに、動水傾度も規定し、より大きな断面の試料について調べる必要がある。今回の実験は非整形試料の透水係数を求めるための予備実験として行ったもので、今後更にデータの集積を重ね、非整形試料を用いた実験に発展させたい。

参 考 文 献

- 1) 土質試験法編集委員会(1971年): 土質試験法, 土質工学会, pp. 265.
- 2) ライブラリー出版委員会(1977年): 土質調査試験結果の解釈と適用例, 土質工学会, pp. 305.

(昭和57年4月10日受付)

三次元弾性論による平板の曲げ理論の検討

(土木工学科) 丸 上 晴 朗

A Study on the Bending of Plates by Means of the Theory of Three Dimensional Elasticity

Seirō MARUGAMI

We apply the theory of three dimensional elasticity to the problem of bending of a plate in the determinate conditions. we get one formula that contributes to the calculation of displacement and stress at any point in a plate.

Using this formula, we calculated the deflections of plates. At the same time the deflections of plates of are calculated with Kirchhoff's and Reissner's theory. When the thickness of a plate is large, the difference between the former and the latter becomes remarkable.

§ 1. まえがき

等方性平板の曲げ理論についてみると今日までに多くの人々によりいろいろな理論が発表されている。板の厚さが板の辺長に比べて十分小さな薄板の微小たわみを対象とした曲げ理論の代表的なものに Kirchhoff 等による理論がある。本文では簡単のためにこの理論を以下 Kirchhoff 理論という。Kirchhoff 理論においては平板面に垂直な断面内に作用しているせん断応力による板の変形を無視しているが、この変形を考慮に入れた理論のうちで最初に発表されたのは Reissner 理論である。以下この理論を Reissner 理論ということにする。Kirchhoff 理論を少し改良した Reissner 理論は薄板はもちろんある程度の厚板にも適用できるものである。以上の両理論を薄板へ適用すると正しい結果を得ることができる。薄板の限界というものは必ずしも明確なものではないので本論では両理論による解が厳密解と一致する度合を板厚を変えながら求めることを主目的とするものである。両理論による解には応力と変位があるがここでは変位のなかで一番簡単なたわみだけを取りあげて厳密解のそれと比較対照することにする。厳密解としては三次元弾性論の適用によって得た解を使用する。

§ 2. KIRCHHOFF 理論によるたわみ¹⁾

四辺が単純支持される強度 q の等分布荷重を全面に受ける正方形板の中心（両対角線の交点）のたわみ w は次式で表わされる。

$$w = 0.00406 \frac{q a^4}{D} \dots\dots\dots (1)$$

a は辺長で、 D は板の曲げ剛性で $D = \frac{E k^3}{12(1-\nu^2)}$ である。

§ 3. REISSNER 理論によるたわみ²⁾

Reissner 理論を等分布荷重満載の四辺単純支持長方形板へ適用した場合の解が身近な文献にはでていない。そこで Reissner 理論を単純支持長方形板へ適用する方法を述べる。長方形板に対して図 1 のように座標系を定める。板のたわみ曲面 w は次の偏微分方程式を満足する。

$$D\Delta\Delta w = q - \frac{(2-\nu)h^2\Delta q}{10(1-\nu)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

q は分布荷重の強度である。 q は変数であってもよい。 h

は板厚とする。 $\Delta\Delta \equiv \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}$, $\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ である。

板の任意断面に作用する曲げモーメント, ねじりモーメント, せん断力は次の式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} M_x &= -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) + \frac{h^2}{5}\frac{\partial Q_x}{\partial x} - \frac{\nu q h^2}{10(1-\nu)} \\ M_y &= -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) + \frac{h^2}{5}\frac{\partial Q_y}{\partial y} - \frac{\nu q h^2}{10(1-\nu)} \\ M_{xy} &= (1-\nu)D\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y} - \frac{h^2}{10}\left(\frac{\partial Q_x}{\partial y} + \frac{\partial Q_y}{\partial x}\right) \\ Q_x &= -D\frac{\partial(\Delta w)}{\partial x} + \frac{h^2}{10}\Delta Q_x - \frac{h^2}{10(1-\nu)}\frac{\partial q}{\partial x} \\ Q_y &= -D\frac{\partial(\Delta w)}{\partial y} + \frac{h^2}{10}\Delta Q_y - \frac{h^2}{10(1-\nu)}\frac{\partial q}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

平板上の微小長方形を考えてこれに作用している力のうち図 1 の $x-y$ 平面に垂直方向の力のつり合い条件式から次式が成立する。

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}\left(\Delta Q_x + \frac{\partial q}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Delta Q_y + \frac{\partial q}{\partial y}\right) &= \frac{\partial^3 Q_x}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 Q_x}{\partial x\partial y^2} \\ &+ \frac{\partial^3 Q_y}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 Q_y}{\partial y\partial x^2} + \Delta q = \frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y}\right) \\ &+ \frac{\partial^2}{\partial y^2}\left(\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y}\right) + \Delta q = \Delta\left(\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y}\right) + \Delta q \\ &= \Delta\left(\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q\right) = 0 \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

(5)式が成立することは(4)式から明らかである。(5)式から次式が成立する。

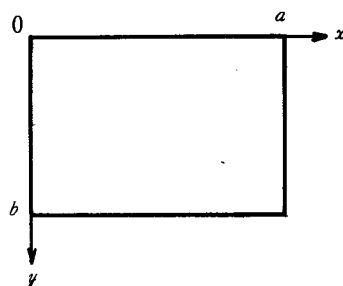


図 1

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Delta Q_x + \frac{\partial q}{\partial x} \right) = - \frac{\partial}{\partial y} \left(\Delta Q_y + \frac{\partial q}{\partial y} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

(6)式の両辺を x, y で積分すると次のようになる。

$$\int \left(\Delta Q_x + \frac{\partial q}{\partial x} \right) dy = - \int \left(\Delta Q_y + \frac{\partial q}{\partial y} \right) dx \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで次式で示される関数 ψ を導入する。

$$\psi \equiv \frac{h^2}{10} \int \left(\Delta Q_x + \frac{\partial q}{\partial x} \right) dy = - \frac{h^2}{10} \int \left(\Delta Q_y + \frac{\partial q}{\partial y} \right) dx \quad \dots\dots\dots (8)$$

よって(8)式から(9)式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial y} &= \frac{h^2}{10} \left(\Delta Q_x + \frac{\partial q}{\partial x} \right) \\ \frac{\partial \psi}{\partial x} &= - \frac{h^2}{10} \left(\Delta Q_y + \frac{\partial q}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

(8)と(9)とから次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= -D \frac{\partial (\Delta w)}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y} - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial x} \\ Q_y &= -D \frac{\partial (\Delta w)}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial x} - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ψ の満足すべき微分方程式を求めるために次のようにする。(2)式の解 w を

$$w = w_1 + w_2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

とおく。ここに w_1 は(12)の特解, w_2 は(13)の一般解である。

$$D \Delta \Delta w_1 = q - \frac{(2-\nu)h^2 \Delta q}{10(1-\nu)} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\Delta \Delta w_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (13)$$

(10)式の w へ(11)式の右辺を代入すると Q_x, Q_y は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= -D \frac{\partial}{\partial x} (\Delta w_1 + \Delta w_2) + \frac{\partial \psi}{\partial y} - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial x} \\ &= -D \frac{\partial}{\partial x} (\Delta w_2) + \frac{\partial \psi}{\partial y} - D \frac{\partial}{\partial x} (\Delta w_1) - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial x} \\ Q_y &= -D \frac{\partial}{\partial y} (\Delta w_1 + \Delta w_2) - \frac{\partial \psi}{\partial x} - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial y} \\ &= -D \frac{\partial}{\partial y} (\Delta w_2) - \frac{\partial \psi}{\partial x} - D \frac{\partial}{\partial y} (\Delta w_1) - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (14)$$

上式において

$$\left. \begin{aligned} -D \frac{\partial}{\partial x} (\Delta w_1) - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial x} &\equiv Q_x' \\ -D \frac{\partial}{\partial y} (\Delta w_1) - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial y} &\equiv Q_y' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

とおく。

$$\begin{aligned} Q_x' - \frac{h^2}{10} \Delta Q_x' &= -D \frac{\partial}{\partial x} (\Delta w_1) - \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{h^2}{10} \Delta \left\{ D \frac{\partial}{\partial x} (\Delta w_1) + \frac{(2-\nu)h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial x} \right\} \\ &= -D \frac{\partial}{\partial x} (\Delta w_1) - \frac{h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial x} \end{aligned} \dots\dots\dots (16)$$

全く同様にして次式が成立する。

$$Q_y' - \frac{h^2}{10} \Delta Q_y' = -D \frac{\partial}{\partial y} (\Delta w_1) - \frac{h^2}{10(1-\nu)} \frac{\partial q}{\partial y} \dots\dots\dots (17)$$

(3)式の Q_x , Q_y へそれぞれ(14)式の Q_x , Q_y の右辺を代入して(16), (17)式の関係を考慮すれば,

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\psi - \frac{h^2}{10} \Delta \psi \right) = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\psi - \frac{h^2}{10} \Delta \psi \right) = 0 \dots\dots\dots (18)$$

となる。上式の括弧内の式は定数となり、この定数を0として ψ の満足する偏微分方程式は次のようになる。

$$\Delta \psi - \frac{10}{h^2} \psi = 0 \dots\dots\dots (19)$$

次いで(2)の解 w を求めることになるが、このためには(11), (12), (13)のようにする。今の場合荷重強度 q は一定であるから $\Delta q = 0$ となり(12)は

$$D \Delta \Delta w_1 = q \dots\dots\dots (20)$$

となり w_1 としては次式で示されるものを用いる。

$$w_1 = \frac{q}{24D} (x^4 - 2ax^3 + a^3x) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2q}{aD} \left(\frac{a}{m\pi} \right)^5 \left\{ 1 - (-1)^m \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \dots\dots\dots (21)$$

$$\begin{aligned} w_2 = \sum_{m=1}^{\infty} &\left(A_m \cosh \frac{m\pi}{a} y + B_m \sinh \frac{m\pi}{a} y + C_m \frac{m\pi}{a} y \sinh \frac{m\pi}{a} y \right. \\ &\left. + D_m \frac{m\pi}{a} y \cosh \frac{m\pi}{a} y \right) \sin \frac{m\pi}{a} x \end{aligned} \dots\dots\dots (22)$$

簡単のために $\frac{m\pi}{a} \equiv \alpha_m$ とおくと w は次のようになる。

$$\begin{aligned} w = \frac{q}{24D} &(x^4 - 2ax^3 + a^3x) + \sum_{m=1}^{\infty} (A_m \cosh \alpha_m y + B_m \sinh \alpha_m y \\ &+ C_m \alpha_m y \sinh \alpha_m y + D_m \alpha_m y \cosh \alpha_m y) \sin \alpha_m x \end{aligned}$$

$$= \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{2q}{aD\alpha_m^5} \{1 - (-1)^m\} + A_m \cosh \alpha_m y + B_m \sinh \alpha_m y + C_m \alpha_m y \sinh \alpha_m y + D_m \alpha_m y \cosh \alpha_m y \right] \sin \alpha_m x \quad (23)$$

(19)の解 ψ は X_m を x だけの関数とし $\frac{m\pi}{b} \equiv \beta_m$ として,

$$\psi = \sum_{m=1}^{\infty} X_m \cos \frac{m\pi}{b} y = \sum_{m=1}^{\infty} X_m \cos \beta_m y \quad (24)$$

で表わされるものとする。これを(19)式へ代入すれば

$$\sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \frac{d^2 X_m}{dx^2} - \left(\beta_m^2 + \frac{10}{h^2} \right) X_m \right\} \cos \beta_m y = 0 \quad (25)$$

となり、この式が常に成立するためには、

$$\frac{d^2 X_m}{dx^2} - \left(\beta_m^2 + \frac{10}{h^2} \right) X_m = 0 \quad (26)$$

でなければならない。(26)式から、

$$X_m = E_m' e^{r_m x} + F_m' e^{-r_m x} \quad (27)$$

となる。ただし $r_m \equiv \sqrt{\beta_m^2 + \frac{10}{h^2}}$ とする。よって(24)の ψ は、

$$\psi = \sum_{m=1}^{\infty} (E_m \sinh r_m x + F_m \cosh r_m x) \cos \beta_m y \quad (28)$$

となる。

(23)と(28)の両式には積分定数 A_m, B_m, \dots, F_m が6個あるのでこれを定めるための境界条件を考える
と次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} x=0 : w &= M_x = 0 \\ x=a : w &= M_x = 0 \\ y=0 : w &= M_y = 0 \\ y=b : w &= M_y = 0 \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

$x=0$ で $w=0$, $x=a$ で $w=0$ という条件を(23)の w は恒等的に満足している。従って(29)は実質上6個の条件式を与えていることになるのでこれら6条件式から都合よく6個の積分定数を決定できる。
 M_x, M_y を求めるために(10)式の右辺へ(23), (28)式の w, ψ を代入すると今の場合 q = 一定であるので $\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial q}{\partial y} = 0$ となって Q_x, Q_y は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= -D \frac{\partial(\Delta w)}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y} = -\frac{q}{2}(2x-a) - 2D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^3 (C_m \cosh \alpha_m y + D_m \sinh \alpha_m y) \cos \alpha_m x \\ &\quad - \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m (E_m \sinh r_m x + F_m \cosh r_m x) \sin \beta_m y \\ Q_y &= -D \frac{\partial(\Delta w)}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial x} = -2D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^3 (C_m \sinh \alpha_m y + D_m \cosh \alpha_m y) \sin \alpha_m x \end{aligned} \right\}$$

$$-\sum_{m=1}^{\infty} \gamma_m (E_m \cosh \gamma_m x + F_m \sinh \gamma_m x) \cos \beta_m y \quad \Bigg| \quad \dots\dots\dots (30)$$

(3), (23), (30)式から M_x , M_y を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} M_x = & -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \frac{h^2}{5} \frac{\partial Q_x}{\partial x} - \frac{\nu q h^2}{10(1-\nu)} \\ & = (1-\nu) D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 (A_m \cosh \alpha_m y + B_m \sinh \alpha_m y + C_m \alpha_m y \sinh \alpha_m y \\ & + D_m \alpha_m y \cosh \alpha_m y) \sin \alpha_m x - 2\nu D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 (C_m \cosh \alpha_m y + D_m \sinh \alpha_m y) \sin \alpha_m x \\ & + \frac{2}{5} h^2 D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^4 (C_m \cosh \alpha_m y + D_m \sinh \alpha_m y) \sin \alpha_m x - \frac{h^2}{5} \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m \gamma_m (E_m \cosh \gamma_m x \\ & + F_m \sinh \gamma_m x) \sin \beta_m y + \frac{q}{2} (ax - x^2) - \frac{(2-\nu)qh^2}{10(1-\nu)} \quad \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y = & -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + \frac{h^2}{5} \frac{\partial Q_y}{\partial y} - \frac{\nu q h^2}{10(1-\nu)} \\ & = (\nu-1) D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 (A_m \cosh \alpha_m y + B_m \sinh \alpha_m y + C_m \alpha_m y \sinh \alpha_m y \\ & + D_m \alpha_m y \cosh \alpha_m y) \sin \alpha_m x - 2D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 (C_m \cosh \alpha_m y + D_m \sinh \alpha_m y) \sin \alpha_m x \\ & - \frac{2}{5} h^2 D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^4 (C_m \cosh \alpha_m y + D_m \sinh \alpha_m y) \sin \alpha_m x + \frac{h^2}{5} \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m \gamma_m (E_m \cosh \gamma_m x \\ & + F_m \sinh \gamma_m x) \sin \beta_m y - \frac{1}{2} \nu q (x^2 - ax) - \frac{\nu q h^2}{10(1-\nu)} \quad \dots\dots\dots (32) \end{aligned}$$

$x=0$ で $M_x=0$ であるから (31) 式から,

$$M_x = -\frac{h^2}{5} \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m \gamma_m E_m \sin \beta_m y - \frac{2-\nu}{10(1-\nu)} q h^2 = 0$$

となり, 定数項を Fourier 級数展開すると次式が成立する。

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m \gamma_m E_m \sin \beta_m y + \frac{(2-\nu)q}{2(1-\nu)} \\ & = \sum_{m=1}^{\infty} \left[\beta_m \gamma_m E_m + \frac{(2-\nu)q}{m\pi(1-\nu)} \{1 - (-1)^m\} \right] \sin \beta_m y = 0 \quad \dots\dots\dots (31)_1 \end{aligned}$$

これから,

$$E_m = \frac{(\nu-2)\{1 - (-1)^m\}q}{(1-\nu)b\beta_m^2 \gamma_m} \quad \dots\dots\dots (33)$$

となる。

$x=a$ で $M_x=0$ であるから (31) 式から,

$$M_x = -\frac{h^2}{5} \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m \gamma_m (E_m \cosh a\gamma_m + F_m \sinh a\gamma_m) \sin \beta_m y - \frac{(2-\nu)qh^2}{10(1-\nu)} = 0$$

となり (31)₁ 式の場合と同様にして次式を得る。

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m \gamma_m (E_m \cosh a\gamma_m + F_m \sinh a\gamma_m) \sin \beta_m y + \frac{(2-\nu)q}{2(1-\nu)} \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} \left[\beta_m \gamma_m (E_m \cosh a\gamma_m + F_m \sinh a\gamma_m) \right. \\ & \quad \left. + \frac{(2-\nu)q}{m\pi(1-\nu)} \{1 - (-1)^m\} \right] \sin \beta_m y = 0 \end{aligned} \quad (31)_2$$

これと (33) 式から,

$$F_m = \frac{(\nu-2)\{1 - (-1)^m\} \tanh \frac{a\gamma_m}{2}}{(\nu-1)b\beta_m^2\gamma_m} q \quad (34)$$

となる。

$y=0$ で $w=0$ であるから (23) 式から,

$$\sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{2q}{aD\alpha_m^5} \{1 - (-1)^m\} + A_m \right] \sin \alpha_m x = 0 \quad (23)_1$$

となり A_m は次のようになる。

$$A_m = -\frac{2}{aD\alpha_m^5} \{1 - (-1)^m\} q \quad (35)$$

$y=b$ で $w=0$ であるから (23) 式から,

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{2q}{aD\alpha_m^5} \{1 - (-1)^m\} + A_m \cosh \alpha_m b + B_m \sinh \alpha_m b + C_m \alpha_m b \sinh \alpha_m b \right. \\ & \quad \left. + D_m \alpha_m b \cosh \alpha_m b \right] \sin \alpha_m x = 0 \end{aligned} \quad (23)_2$$

となり次式が成立する。

$$\begin{aligned} & \frac{2q}{aD\alpha_m^5} \{1 - (-1)^m\} + A_m \cosh \alpha_m b + B_m \sinh \alpha_m b + C_m \alpha_m b \sinh \alpha_m b \\ & \quad + D_m \alpha_m b \cosh \alpha_m b = \sin \alpha_m x \end{aligned} \quad (36)$$

$y=0$ で $M_y=0$ であるから (32) 式から,

$$\begin{aligned} M_y &= -D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 (A_m + 2C_m) \sin \alpha_m x + \nu D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 A_m \sin \alpha_m x - \frac{2}{5} h^2 D \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^4 C_m \sin \alpha_m x \\ & \quad - \frac{\nu q}{2} (x^2 - ax) - \frac{\nu q h^2}{10(1-\nu)} = 0 \end{aligned}$$

となり、終りの二項を Fourier 級数展開すると上式は次のようになる。

$$M_y = \sum_{m=1}^{\infty} \left[(\nu-1)D\alpha_m^2 A_m - 2 \left(1 + \frac{h^2 \alpha_m^2}{5} \right) D\alpha_m^2 C_m + \frac{\nu q}{m\pi} \left\{ 1 - (-1)^m \right\} \left\{ \frac{2}{\alpha_m^2} - \frac{h^2}{5(1-\nu)} \right\} \right] \sin \alpha_m x = 0 \quad \dots\dots\dots (32)_1$$

これから次式が成立する。

$$(\nu-1)D\alpha_m^2 A_m - 2 \left(1 + \frac{h^2 \alpha_m^2}{5} \right) D\alpha_m^2 C_m + \frac{\nu q}{m\pi} \left\{ 1 - (-1)^m \right\} \left\{ \frac{2}{\alpha_m^2} - \frac{h^2}{5(1-\nu)} \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (37)$$

(35) と (37) から C_m は次のようになる。

$$C_m = \frac{\{1 - (-1)^m\}}{2aD\alpha_m^3(5 + h^2\alpha_m^2)} \left(\frac{10}{\alpha_m^2} - \frac{\nu h^2}{1-\nu} \right) q \quad \dots\dots\dots (38)$$

$y = b$ で $M_y = 0$ であるから (32) 式から, (32)₁ 式の場合と同様にして次式を得る。

$$M_y = \sum_{m=1}^{\infty} \left[(\nu-1)D\alpha_m^2 (A_m \cosh \alpha_m b + B_m \sinh \alpha_m b + C_m \alpha_m b \sinh \alpha_m b + D_m \alpha_m b \cosh \alpha_m b) - 2D\alpha_m^2 \left(1 + \frac{h^2 \alpha_m^2}{5} \right) (C_m \cosh \alpha_m b + D_m \sinh \alpha_m b) + \frac{\nu q}{m\pi} \left\{ 1 - (-1)^m \right\} \left\{ \frac{2}{\alpha_m^2} - \frac{h^2}{5(1-\nu)} \right\} \right] \sin \alpha_m x = 0 \quad \dots\dots\dots (32)_2$$

これから次式が成立する。

$$(\nu-1)D\alpha_m^2 (A_m \cosh \alpha_m b + B_m \sinh \alpha_m b + C_m \alpha_m b \sinh \alpha_m b + D_m \alpha_m b \cosh \alpha_m b) - 2D\alpha_m^2 \left(1 + \frac{h^2 \alpha_m^2}{5} \right) (C_m \cosh \alpha_m b + D_m \sinh \alpha_m b) + \frac{\nu q}{m\pi} \left\{ 1 - (-1)^m \right\} \left\{ \frac{2}{\alpha_m^2} - \frac{h^2}{5(1-\nu)} \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (39)$$

A_m , C_m は既に求まっているから (36), (39) の両式は B_m と D_m に関する連立一次方程式となっているので, これから B_m , D_m を求めると次のようになる。

$$B_m = \frac{b\{1 - (-1)^m\} \operatorname{sech}^2 \frac{\alpha_m b}{2}}{4aD\alpha_m^2(5 + h^2\alpha_m^2)} \left(\frac{\nu h^2}{1-\nu} - \frac{10}{\alpha_m^2} \right) q + \frac{2\{1 - (-1)^m\} \tanh \frac{\alpha_m b}{2}}{aD\alpha_m^5} q \quad \dots\dots\dots (40)$$

$$D_m = \frac{\{1 - (-1)^m\} \tanh \frac{\alpha_m b}{2}}{2aD\alpha_m^3(5 + h^2\alpha_m^2)} \left(\frac{\nu h^2}{1-\nu} - \frac{10}{\alpha_m^2} \right) q \quad \dots\dots\dots (41)$$

以上のようにして (23), (28) 式中の積分定数が全て決定された。従って (3), (10), (23), (28) 式から断面力, たわみが全て求まる。

§ 4. 三次元弾性論によるたわみ³⁾

図2のような座標系をもつ四辺単純支持平板が等分布荷重を満載する場合において板の任意点 (x, y, z) の弾性変位の x, y, z 軸方向成分をそれぞれ u, v, w とする。三次元弾性論により u, v, w を求める方法並びに計算結果は別に発表した⁴⁾ので本文ではこれとの重複をできるだけ避けるようにする。これによると u, v, w は次のようになる。

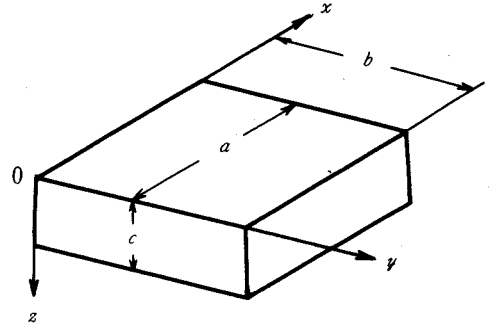


図 2

$$\begin{aligned}
 u = & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda c m B_{mn}}{a(\lambda + 2\mu) r_{mn}^2} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\
 & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left[B_{mn} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} + B'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right] \frac{cm}{a(\lambda + 2\mu)} \\
 & \times \left\{ \frac{\lambda}{r^2 + r_{mn}^2} - \frac{2(\lambda + \mu)r^2}{(r^2 + r_{mn}^2)^2} \right\} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} \\
 v = & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda c n B_{mn}}{b(\lambda + 2\mu) r_{mn}^2} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \\
 & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left[B_{mn} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} + B'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right] \frac{cn}{b(\lambda + 2\mu)} \\
 & \times \left\{ \frac{\lambda}{r^2 + r_{mn}^2} - \frac{2(\lambda + \mu)r^2}{(r^2 + r_{mn}^2)^2} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} \\
 w = & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left[B_{mn} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} + B'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right] \frac{r}{r^2 + r_{mn}^2} \\
 & \times \left\{ 1 + \frac{2(\lambda + \mu)r_{mn}^2}{(\lambda + 2\mu)(r^2 + r_{mn}^2)} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{r\pi z}{c}
 \end{aligned} \tag{42}$$

上式において λ, μ はラーメの定数

$$r_{mn}^2 = \left(\frac{cm}{a} \right)^2 + \left(\frac{cn}{b} \right)^2$$

$$B_{mn} = \frac{4}{\pi ab} \int_0^b \int_0^a ([w]_{z=0} - [w]_{z=c}) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy$$

$$B'_{mn} = \frac{4}{\pi ab} \int_0^b \int_0^a ([w]_{z=0} + [w]_{z=c}) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy$$

である。

B_{mn}, B'_{mn} は未知量である。 $z=0$ において垂直応力 $\sigma_z = -q$, $z=c$ において $\sigma_z = 0$ なる条件式から B_{mn}, B'_{mn} を求める。

$$\sigma_z = \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \tag{43}$$

の u, v, w へ (42) 式の関係を代入して $\sigma_z = f(x, y, z)$ なる式で σ_z を求める。 $f(x, y, 0) = -q$, $f(x, y, c) = 0$ の両式から B_{mn}, B'_{mn} を求めればよいのであるが $f(x, y, c)$ を計算する場合注意すべきことがひとつある。それは Fourier 級数の不連続点における問題である。即ち (42) 式をそのまま (43) 式へ代入するのではなく (42) 式中の z に関する Fourier 級数はこれを和に直してから (43) 式へ代入しなければならないということである。以下にこの計算について簡単に記す。(42) 式中の z に関する Fourier 級数の和は公式集⁵⁾から求まるものもあるが、求まらないものがあるのでこの求め方から始める。

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n \sin nx}{(n^2 + a^2)^2} = y \quad \dots\dots\dots (44)$$

の和を求めよう。(44) 式の y は次の微分方程式を満足する。

$$\frac{d^2 y}{dx^2} - a^2 y = -\frac{\pi \sinh a(\pi - x)}{2 \sinh \pi a} \quad \dots\dots\dots (45)$$

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots\dots\dots$$

とにおいて (45) 式へ代入し右辺を展開すると

$$-\frac{\pi \sinh a(\pi - x)}{2 \sinh \pi a} = -\frac{\pi}{2} \left\{ 1 - \frac{\coth \pi a}{1!} (ax) + \frac{(ax)^2}{2!} - \frac{\coth \pi a}{3!} (ax)^3 + \frac{(ax)^4}{4!} - \dots\dots\dots \right\}$$

となるので両辺の係数を比較すると次式が成立する。

$$\left. \begin{array}{ll} a_0 = C_1 \text{ (任意定数)} & a_1 = C_2 \text{ (任意定数)} \\ a_2 = \frac{a^2}{2!} C_1 - \frac{1}{2!} \frac{\pi}{2} & a_3 = \frac{a^2}{3!} C_2 + \frac{1}{3!} \frac{\pi a}{2} \coth \pi a \\ a_4 = \frac{a^4}{4!} C_1 - \frac{a^2}{4!} \pi & a_5 = \frac{a^4}{5!} C_2 + \frac{1}{5!} \pi a^3 \coth \pi a \\ a_6 = \frac{a^6}{6!} C_1 - \frac{a^4}{6!} \frac{3}{2} \pi & a_7 = \frac{a^6}{7!} C_2 + \frac{1}{7!} \frac{3}{2} \pi a^5 \coth \pi a \\ a_8 = \frac{a^8}{8!} C_1 - \frac{a^6}{8!} 2\pi & a_9 = \frac{a^8}{9!} C_2 + \frac{1}{9!} 2\pi a^7 \coth \pi a \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (46)$$

従って y は次のようになる。

$$\begin{aligned} y &= C_1 \left(1 + \frac{a^2}{2!} x^2 + \frac{a^4}{4!} x^4 + \frac{a^6}{6!} x^6 + \frac{a^8}{8!} x^8 + \dots\dots\dots \right) \\ &\quad - \frac{\pi}{2} \left(1 \cdot \frac{1}{2!} x^2 + 2 \cdot \frac{a^2}{4!} x^4 + 3 \cdot \frac{a^4}{6!} x^6 + 4 \cdot \frac{a^6}{8!} x^8 + \dots\dots\dots \right) \\ &\quad + C_2 \left(x + \frac{a^2}{3!} x^3 + \frac{a^4}{5!} x^5 + \frac{a^6}{7!} x^7 + \frac{a^8}{9!} x^9 + \dots\dots\dots \right) \\ &\quad + \frac{\pi}{2} \coth \pi a \left(\frac{a}{3!} x^3 + 2 \cdot \frac{a^3}{5!} x^5 + 3 \cdot \frac{a^5}{7!} x^7 + 4 \cdot \frac{a^7}{9!} x^9 + \dots\dots\dots \right) \\ &= C_1 \cosh ax + \frac{C_2}{a} \sinh ax - \frac{\pi x}{4a} \sinh ax + \frac{\pi}{4a^2} \coth \pi a (ax \cosh ax - \sinh ax) \quad \dots\dots\dots (47) \end{aligned}$$

(47)式を Fourier 展開した場合(44)式の左辺に一致するように C_1 , C_2 を定めると y は次のようになる。

$$y = \frac{\pi x \cosh a(x-\pi)}{4a \sinh \pi a} - \left(\frac{\pi}{\sinh \pi a} \right)^2 \frac{\sinh ax}{4a}$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n \sin nx}{(n^2 + a^2)^2} \dots\dots\dots (48)$$

必要な級数の和を以下に示す。(48)式の両辺を x で微分すると、

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2 \cos nx}{(n^2 + a^2)^2} = \frac{\pi \cosh a(x-\pi)}{4a \sinh \pi a} + \frac{\pi x \sinh a(x-\pi)}{4 \sinh \pi a}$$

$$- \left(\frac{\pi}{2 \sinh \pi a} \right)^2 \cosh ax \dots\dots\dots (49)$$

となる。

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n n \sin nx}{(n^2 + a^2)^2} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n \sin nx \cos n\pi}{(n^2 + a^2)^2} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n(x+\pi)}{(n^2 + a^2)^2}$$

となるので(48)式で x を $x+\pi$ とすることにより、

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n n \sin nx}{(n^2 + a^2)^2} = \frac{\pi(x+\pi) \cosh ax}{4a \sinh \pi a} - \left(\frac{\pi}{\sinh \pi a} \right)^2 \frac{\sinh a(x+\pi)}{4a} \dots\dots\dots (50)$$

となる。

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n n^2 \cos nx}{(n^2 + a^2)^2} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2 \cos nx \cos n\pi}{(n^2 + a^2)^2} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2 \cos n(x+\pi)}{(n^2 + a^2)^2}$$

となるので(49)式の x を $x+\pi$ とすることにより、

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n n^2 \cos nx}{(n^2 + a^2)^2} = \frac{\pi \cosh ax}{4a \sinh \pi a} + \frac{\pi(x+\pi) \sinh ax}{4 \sinh \pi a}$$

$$- \left(\frac{\pi}{2 \sinh \pi a} \right)^2 \cosh a(x+\pi) \dots\dots\dots (51)$$

となる。

公式集から、

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos nx}{n^2 + a^2} = \frac{\pi \cosh a(\pi-x)}{2a \sinh \pi a} - \frac{1}{2a^2} \dots\dots\dots (52)$$

となる。(50), (51)式の場合と同様(52)式右辺の x を $x+\pi$ とすることにより次式を得る。

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \cos nx}{n^2 + a^2} = \frac{\pi \cosh ax}{2a \sinh \pi a} - \frac{1}{2a^2} \dots\dots\dots (53)$$

以上の級数の和を用いて(42)式を変形すると次のようになる。

$$u = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{cm}{a(\lambda+2\mu)} (B_{mn} J_1 + B'_{mn} J_2) \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad \Bigg]$$

$$\left. \begin{aligned} v &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{cn}{b(\lambda+2\mu)} (B_{mn}J_1 + B'_{mn}J_2) \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \\ w &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (B_{mn}J_3 + B'_{mn}J_4) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (54)$$

上式中の J_1, J_2, J_3, J_4 は次の通りである。

$$\begin{aligned} J_1 &= \frac{\pi\mu}{\gamma_{mn} \sinh \pi\gamma_{mn}} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \cos h \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) \\ &\quad + \frac{\pi^2(\lambda+\mu)}{2c \sinh \pi\gamma_{mn}} \left\{ 2z \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) + c \sinh \pi\gamma_{mn} \frac{z}{c} \right\} \\ &\quad - (\lambda+\mu) \left(\frac{\pi}{\sinh \pi\gamma_{mn}} \right)^2 \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \cos h \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} + 1 \right) \\ J_2 &= (\lambda+\mu) \left(\frac{\pi}{\sinh \pi\gamma_{mn}} \right)^2 \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} + 1 \right) \\ &\quad - \frac{\pi\mu}{\gamma_{mn} \sinh \pi\gamma_{mn}} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) \\ &\quad - \frac{\pi^2(\lambda+\mu)}{2c \sinh \pi\gamma_{mn}} \left\{ 2z \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) + c \sinh \pi\gamma_{mn} \frac{z}{c} \right\} \\ J_3 &= \frac{\pi}{\sinh \pi\gamma_{mn}} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(1 - \frac{2z}{c} \right) + \frac{\pi^2(\lambda+\mu)\gamma_{mn}}{2(\lambda+2\mu) \sinh \pi\gamma_{mn}} \cosh \pi\gamma_{mn} \frac{z}{c} \\ &\quad + \frac{\pi^2(\lambda+\mu)\gamma_{mn}z}{c(\lambda+2\mu) \sinh \pi\gamma_{mn}} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) \\ &\quad - \frac{(\lambda+\mu)\gamma_{mn}}{\lambda+2\mu} \left(\frac{\pi}{\sinh \pi\gamma_{mn}} \right)^2 \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} + 1 \right) \\ J_4 &= \frac{\pi}{\sinh \pi\gamma_{mn}} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(1 - \frac{2z}{c} \right) \\ &\quad + \frac{(\lambda+\mu)\gamma_{mn}}{\lambda+2\mu} \left(\frac{\pi}{\sinh \pi\gamma_{mn}} \right)^2 \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} + 1 \right) \\ &\quad + \frac{\pi^2(\lambda+\mu)\gamma_{mn}}{2c(\lambda+2\mu) \sinh \pi\gamma_{mn}} \left\{ 2z \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(1 - \frac{2z}{c} \right) - c \cosh \pi\gamma_{mn} \frac{z}{c} \right\} \end{aligned}$$

(54)式の u, v, w を(43)式へ代入して σ_z を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi\lambda\gamma_{mn}^2}{c(\lambda+2\mu)} B_{mn} \left[(\lambda+\mu) \left(\frac{\pi}{\sinh \pi\gamma_{mn}} \right)^2 \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} + 1 \right) \right. \\ &\quad - \frac{\pi^2(\lambda+\mu)}{2c \sinh \pi\gamma_{mn}} \left\{ 2z \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) + c \sinh \pi\gamma_{mn} \frac{z}{c} \right\} \\ &\quad \left. - \frac{\pi\mu}{\gamma_{mn} \sinh \pi\gamma_{mn}} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi\gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi \lambda \gamma_{mn}^2}{c(\lambda+2\mu)} B'_{mn} \left[\frac{\pi \mu}{\gamma_{mn} \sinh \pi \gamma_{mn}} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) \right. \\
& + \frac{\pi^2 (\lambda + \mu)}{2c \sinh \pi \gamma_{mn}} \left\{ 2z \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) + c \sinh \pi \gamma_{mn} \frac{z}{c} \right\} \\
& - (\lambda + \mu) \left(\frac{\pi}{\sinh \pi \gamma_{mn}} \right)^2 \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} + 1 \right) \left. \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\
& + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (\lambda + 2\mu) B_{mn} \left[\frac{\pi^2 (\lambda + \mu) \gamma_{mn}^2}{2c(\lambda + 2\mu) \sinh \pi \gamma_{mn}} \sinh \pi \gamma_{mn} \frac{z}{c} \right. \\
& + \frac{\pi^2 (\lambda + \mu) \gamma_{mn}}{c(\lambda + 2\mu) \sinh \pi \gamma_{mn}} \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left\{ \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) + \pi \gamma_{mn} \frac{z}{c} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) \right\} \\
& - \frac{\pi (\lambda + \mu) \gamma_{mn}^2}{c(\lambda + 2\mu)} \left(\frac{\pi}{\sinh \pi \gamma_{mn}} \right)^2 \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} + 1 \right) \\
& - \frac{\pi^2 \gamma_{mn}}{c \sinh \pi \gamma_{mn}} \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(1 - \frac{2z}{c} \right) \left. \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\
& + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (\lambda + 2\mu) B'_{mn} \left[\frac{\pi^2 \gamma_{mn}}{c \sinh \pi \gamma_{mn}} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} - 1 \right) \right. \\
& + \frac{\pi (\lambda + \mu) \gamma_{mn}^2}{c(\lambda + 2\mu)} \left(\frac{\pi}{\sinh \pi \gamma_{mn}} \right)^2 \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(\frac{2z}{c} + 1 \right) \\
& + \frac{\pi^2 (\lambda + \mu) \gamma_{mn}}{2c(\lambda + 2\mu) \sinh \pi \gamma_{mn}} \left\{ 2 \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(1 - \frac{2z}{c} \right) \right. \\
& \left. \left. - 2\pi \gamma_{mn} \frac{z}{c} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \left(1 - \frac{2z}{c} \right) - \pi \gamma_{mn} \sinh \pi \gamma_{mn} \frac{z}{c} \right\} \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \dots\dots\dots (55)
\end{aligned}$$

上式で $z=0$ とすると,

$$\begin{aligned}
& \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\pi^2 \mu (\lambda + \mu) \gamma_{mn}}{c(\lambda + 2\mu) \sinh \pi \gamma_{mn}} \left\{ B'_{mn} \left(\frac{\pi \gamma_{mn}}{\sinh \pi \gamma_{mn}} - 1 \right) \sinh^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \right. \\
& \left. - B_{mn} \left(\frac{\pi \gamma_{mn}}{\sinh \pi \gamma_{mn}} + 1 \right) \cosh^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} = -q \dots\dots\dots (56)
\end{aligned}$$

となり, $z=c$ として式を簡単にすると次のようになる。

$$\begin{aligned}
& \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\pi^2 \mu (\lambda + \mu) \gamma_{mn}}{c(\lambda + 2\mu)} B_{mn} \left(\pi \gamma_{mn} - \frac{1}{\sinh \pi \gamma_{mn}} \cosh^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \right. \\
& \left. - \frac{\pi \gamma_{mn}}{\sinh^2 \pi \gamma_{mn}} \cosh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \cosh \frac{3\pi \gamma_{mn}}{2} \right) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\
& + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\pi^2 \mu (\lambda + \mu) \gamma_{mn}}{c(\lambda + 2\mu)} B'_{mn} \left(\frac{1}{2} \tanh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} + \frac{\pi \gamma_{mn}}{\sinh^2 \pi \gamma_{mn}} \sinh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \sinh \frac{3\pi \gamma_{mn}}{2} \right. \\
& \left. - \pi \gamma_{mn} \right) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} = 0 \dots\dots\dots (57)
\end{aligned}$$

(56), (57) 式の両辺へ $\sin \frac{m'\pi x}{a} \sin \frac{n'\pi y}{b}$ をかけて $0 \sim a, 0 \sim b$ の間で積分すると $m=m', n=n'$ の項だけが残って (56) は (56)₁, (57) は (57)₁ となる。

$$\frac{ab\pi^2\mu(\lambda+\mu)\gamma_{mn}}{2c(\lambda+2\mu)\sinh\pi\gamma_{mn}}\left\{B'_{mn}\left(\frac{\pi\gamma_{mn}}{\sinh\pi\gamma_{mn}}-1\right)\sinh^2\frac{\pi\gamma_{mn}}{2}-B_{mn}\left(\frac{\pi\gamma_{mn}}{\sinh\pi\gamma_{mn}}+1\right)\cosh^2\frac{\pi\gamma_{mn}}{2}\right\}$$
$$=\frac{-ab\{1-(-1)^m\}\{1-(-1)^n\}q}{mn\pi^2} \dots\dots\dots (56)_1$$

$$\frac{ab}{4}\frac{2\pi^2\mu(\lambda+\mu)\gamma_{mn}}{c(\lambda+2\mu)}B_{mn}\left(\pi\gamma_{mn}-\frac{1}{\sinh\pi\gamma_{mn}}\cosh^2\frac{\pi\gamma_{mn}}{2}\right.$$
$$\left.-\frac{\pi\gamma_{mn}}{\sinh^2\pi\gamma_{mn}}\cosh\frac{\pi\gamma_{mn}}{2}\cosh\frac{3\pi\gamma_{mn}}{2}\right)+\frac{ab}{4}\frac{2\pi^2\mu(\lambda+\mu)\gamma_{mn}}{c(\lambda+2\mu)}B'_{mn}\left(\frac{1}{2}\tanh\frac{\pi\gamma_{mn}}{2}\right.$$
$$\left.+\frac{\pi\gamma_{mn}}{\sinh^2\pi\gamma_{mn}}\sinh\frac{\pi\gamma_{mn}}{2}\sinh\frac{3\pi\gamma_{mn}}{2}-\pi\gamma_{mn}\right)=0 \dots\dots\dots (57)_1$$

(56)₁, (57)₁ から B_{mn}, B'_{mn} を求めると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} B_{mn} &= \frac{4c(\lambda+2\mu)\sinh^2\frac{\pi\gamma_{mn}}{2}\left\{1-(-1)^m\right\}\left\{1-(-1)^n\right\}}{\pi^4\mu(\lambda+\mu)mn\gamma_{mn}(\sinh\pi\gamma_{mn}+\pi\gamma_{mn})}q \\ B'_{mn} &= \frac{4c(\lambda+2\mu)\cosh^2\frac{\pi\gamma_{mn}}{2}\left\{1-(-1)^m\right\}\left\{1-(-1)^n\right\}}{\pi^4\mu(\lambda+\mu)mn\gamma_{mn}(\sinh\pi\gamma_{mn}-\pi\gamma_{mn})}q \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (58)$$

この値を (54) 式の B_{mn}, B'_{mn} へ代入すると任意点のたわみ w が求まる。

§ 5. 計算例

以上に求めた関係式から変位と応力を具体的に計算することができる。以上の各理論に基づいてたわみを計算した結果を表 1 に示す。計算の対象にした板は以下の内容のものである。材質は鋼、形状等は一辺 1 m の正方形、板厚は 5 cm から 50 cm までのもの、たわみを求める点は板の中心 (両対角線の交点)、支持条件は前述した四辺単純支持である。数値計算は全て電子計算機によった。Reissner 理論による解の収束は非常に速くて三項程度で一定値になった。Kirchhoff 理論, Reissner 理論によるた

表 1 たわみの値
(実たわみ量=表の数値× q cm)

理論の 区分 板厚(cm)	Kirchhoff	Reissner	三 次 元 弾 性 論 (板厚の $\frac{1}{2}$ 面の値)
5	1.69×10^{-2}	1.70×10^{-2}	1.71×10^{-2}
10	2.11×10^{-3}	2.16×10^{-3}	2.20×10^{-3}
20	2.64×10^{-4}	2.86×10^{-4}	3.12×10^{-4}
30	7.82×10^{-5}	9.14×10^{-5}	1.10×10^{-4}
40	3.30×10^{-5}	4.19×10^{-5}	5.64×10^{-5}
50	1.69×10^{-5}	2.32×10^{-5}	3.52×10^{-5}

わみは x と y だけの関数であるが、三次元弾性論によるたわみは x と y と z の関数になる。表 1 に示した三次元弾性論によるたわみの値は板厚の $\frac{1}{2}$ の点における値であり、この場合の解の収束速度は全ての板厚について速い。項の数は m と n の積で示されるので、項数をこのようにして計算した場合 300 項位で十分に収束している。 x と y は上の場合と同じにして z だけを変えた場合、例えば $z=0$ として計算すると収束はおそくなっている。

§ 6. あとがき

表 1 からみる限りでは板厚 10cm までは三理論の示す値はほぼ一致している。板厚が 10cm を超えると三理論の値の差は厚さの増大とともに増大している。Kirchhoff, Reissner 両理論を適用して正しい解の求まる板厚の上限に関して確定した結論を出すためには計算の分量、範囲をもっと多くする必要がある。本論における三次元弾性論の解は自重を無視した場合の力の釣合条件式から出発した偏微分方程式の解となっている。板厚 50cm の場合を考えると、自重は $50 \text{ cm}^2/\text{cm}^2 \times 7.8 \text{ g}/\text{cm}^3 = 400 \text{ g}/\text{cm}^2$ となる。 $q = 1 \text{ kg}/\text{cm}^2$ というのは相当大きな荷重と考えられるが、この場合自重の $0.4 \text{ kg}/\text{cm}^2$ という値は大きい値である。自重の近似的取扱い方は自重を分布荷重 q の中へ算入してしまう方法である。このような近似的考え方を採用するなら表 1 の値はいささかも変えないで、板厚の大きい場合には乗数 q の値を自重を加えた分だけ大きくすればよいことになる。しかしこれはあくまでも便法であるから、厳密な取扱い方は次のようなものである。即ち自重を物体力とし力の釣合条件式中に物体力の項を含むようにし、この釣合条件式から変位成分に関する偏微分方程式をつくりこれの解を求める。これについては別の機会に考えてみたい。

参 考 文 献

- 1) S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger: Theory of Plates and Shells (McGRAW-HILL, 1959)
- 2) 1) に同じ。
- 3) S. Nomachi: ON ONE METHOD FOR SOLVING THREE-DIMENSIONAL STRESS BY MEANS OF FINITE FOURIER TRANSFORMATION, Proc. 6 th J. N. C. A. M., 1956.
- 4) 丸上晴朗: 三次元弾性論による板の解析, 呉工業高等専門学校研究報告第 17 巻第 1 号, 1981.
- 5) 森口他 2 名: 数学公式 II, (岩波書店, 1970)

(昭和 57 年 4 月 15 日受付)

爆発エネルギーによる貫入試験とマサ地盤の土性

(建築学科) 西 村 光 正

The Penetration Tests Using Explosive Energy and the Characteristics of Masa-do

Mitsumasa NISHIMURA

The purpose of this paper is to investigate the characteristics of Masa-do derived from weathering of granitic rocks by the penetration tests using explosive energy.

The index properties of Masa-do, such as natural water content, grading, ignition loss, void ratio, unit weight etc. are closely related to weathering and indicated by the penetrated length of a drive-pin by the explosive energy.

The relationships between the penetrated length and the index properties are plotted in the figures.

From these results, we can easily know the condition and characteristics of Masa-do using explosive energy.

§ 1 まえがき

マサ土(風化花崗岩)におけるサウンディングの一法として、爆発エネルギーによる貫入試験があり、試験機が軽量である事と従来の試験では測定出来なかったような場所でも容易、迅速に測定出来る事が特徴とされている¹⁾²⁾。

マサ地盤は風化の程度により性質を異にしており、狭い敷地範囲においてもかなりの変動がある。そのためマサ地盤の基礎設計においては、風化の程度、変動の概要を把握する必要がある、これを怠ったり、判断に妥当性を欠くと、建築物に不同沈下障害等を生ずる事になる。又、マサ地盤の場合、切土等により上載圧が除去されると、その性質が急激に変化する³⁾ので、切土した状態で調査する必要がある。

本報では、コンクリートびょう打銃(ドライビット)を用い、呉市先小倉大空山、佐伯郡五日市町地御前及び平良の造成地盤及び呉市近郊の斜面において貫入試験を行なった。又、そのほぼ同一地点で試料を採取し、得られた土性と貫入試験との相関関係を求め、風化程度と土性の関連について考察を行なった。

§ 2 試験方法

爆発エネルギーによる貫入試験は、ドライビット440型(銃身口径9.5mm, 全身長425mm, 重量4.5kg), 使用ドライブピンは、H-65(頭径9.5mm, 軸径6.0mm, 全長90mm), 使用空包はDR(外径9.5mm, 全長20mm)を用いた。

発射の際のエネルギーは、ドライブピンの装填位置(元込め口からピン後端までの距離 j)を調節し、空包との間隔を変える事によって調節出来る。

試験は、マサ土面を平滑に仕上げ、厚さ4mm鋼製の穴あき鉄板を置き、その穴からピンを打込む。ピンが貫入して出来た穴に測定棒を挿入し、鉄板の上端からピンの後端までの距離を測り、貫入深さ L_D (cm) とする。又、その位置から約10cm程度離れた地点でスウェーデン式サウンディングを行ない、さらに、深さ10cm程度で採取した試料から、含水比、その他の土性を求めている。

§3 予備試験及びピンの装填位置

図-1は、予備試験として、ドライブピンの装填位置 j を種々に変えて、均質体にピンを打込んだ結果を示す。均質体は、モルタル(2.5mm以下の砂、セメント、水の割合は(8:1:2)を灯油カン(断面23cm×23cm×高さ35cm)4個につめ、4日後及び70日後に2個ずつ貫入試験を行なっている。図の如く、 j が大きくなると L_D は小さくなり、 $j - \log L_D$ の関係は、ほぼ直線となる(4日後の試験では、 $j < 5$ cmでは、ドライブピンが供試体を突き抜けたため測定されていない)。又、直線の勾配は、モルタル強度が違っていてもほぼ同程度である。

図-2は、平良の造成地盤及び斜面において、ほぼ同一地点で j の値を変えて貫入試験を行なっ

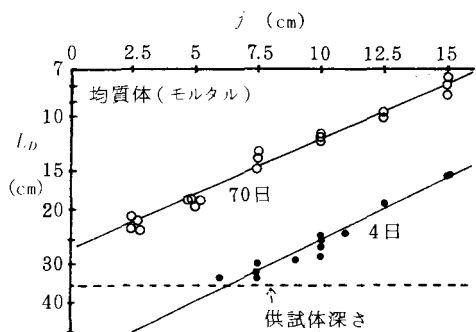


図-1 均質体におけるピン装填位置 j と貫入深さ L_D

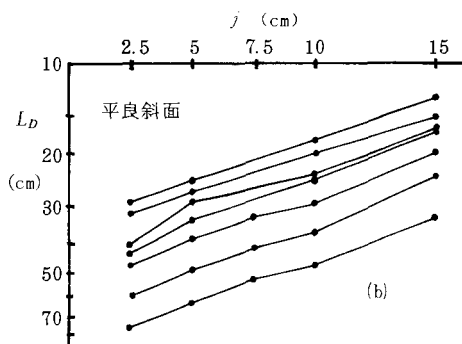
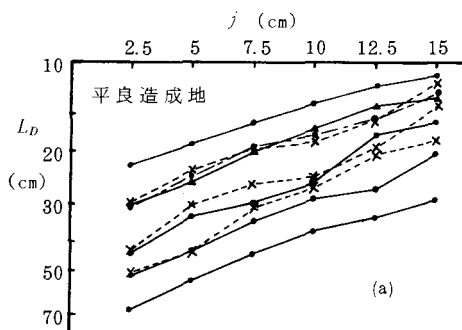


図-2 斜面及び造成地における j と L_D

た結果を示している。 $j - \log L_D$ の関係はややジグザグになるが、図-1とはほぼ同じ傾向となる。しかし、その勾配は均質体(モルタル)に比べてやや小さい。マサ地盤が深さ方向に硬くなっている性質によるものと思われる。図-2の測定結果から、最小二乗法でその勾配を求め、 $j = 2.5$ cmにおける L_D に対して整理したものが、図-3である。斜面における勾配がやや小さい

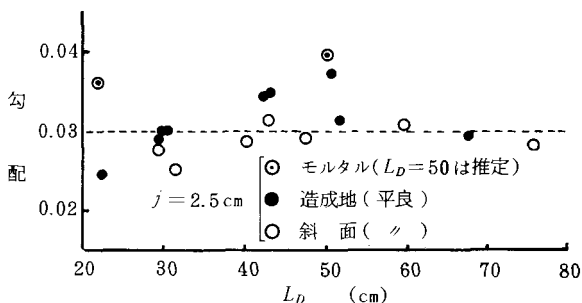


図-3 $j - L_D$ 関係の勾配

が、平均0.08に分布している。

従って、異なる j を用いた場合には、この勾配を用いて、任意の j における L_D に換算出来る。以後の測定値は、最強の発射力となる $j = 2.5 \text{ cm}$ (初速 400 m/sec , 銃口内圧力 4.5 t/cm^2 : 広島ドライビットKK調べ) で行なっている。

§ 4 調査地盤の状態

図-4は、切取造成面における N_{sw} 値の深さ方向の変化を例示したものである。いずれもマサ土面からの深さ d (10~数10cm) が大きくなるにつれて、 N_{sw} 値の対数はほぼ直線的に増加する。この関係は次式で示される。

$$d = -a + b \log N_{sw} \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 d ; 切取造成後のマサ土面からの深さ (cm), a , b ; 係数

図-5は、各試験位置で得られた d と N_{sw} 値との関係から最小二乗法で a , b を求め、両者の関係を示したものである。 b が大きいと a も大きい、 a/b は小さくなる傾向が見られ、これに図-4の傾向も併せて、マサ地盤の N_{sw} 値の深さ方向変化は、模式的に図-6のように、全体として下に凸で、部分的には直線と考えられる。これらの地盤で試験を行なった場合、地盤の深さ方向変化、試料採取の容易さ、爆発エネルギーによる貫入の性質等を考慮して、マサ土面附近の値で代表させる事にする。

§ 5 貫入深さと N_{sw} 値

マサ地盤における基礎設計では、 N 値又は N_{sw} 値をもとに設計が行なわれるので、爆発エネルギーによる貫入深さ L_D と N_{sw} 値との関連を知っておく必要がある。

マサ地盤の造成地において、 $j = 2.5 \text{ cm}$ で L_D を測定した後、ほぼ同一地点で、地表面附近の N_{sw} 値を求めた。

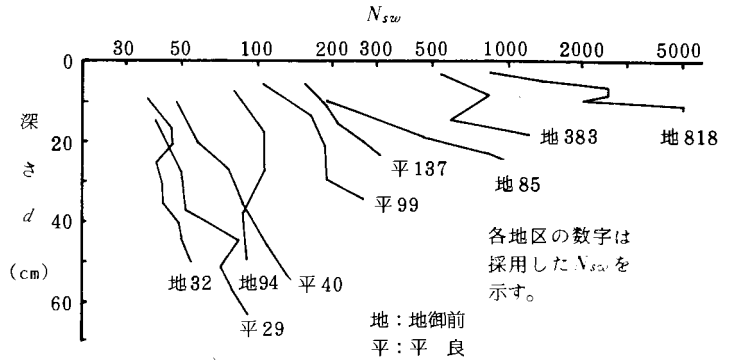


図-4 N_{sw} 値の深さ方向変化

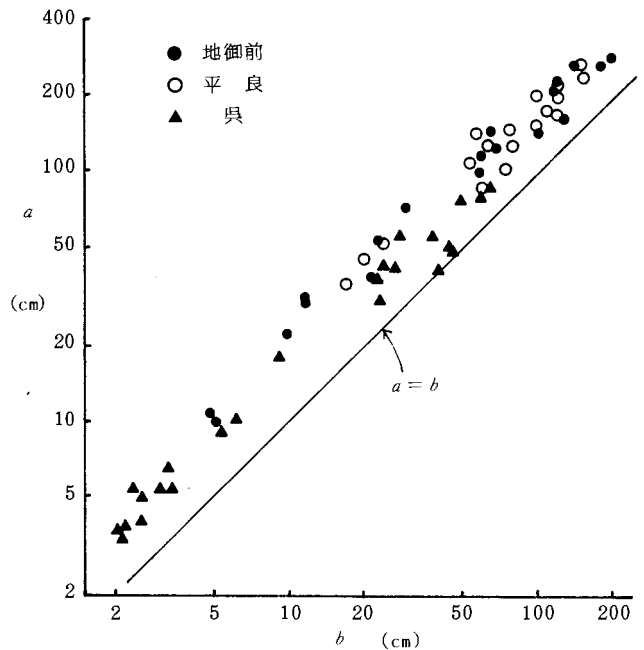


図-5 (1)式で得られる係数 a と b

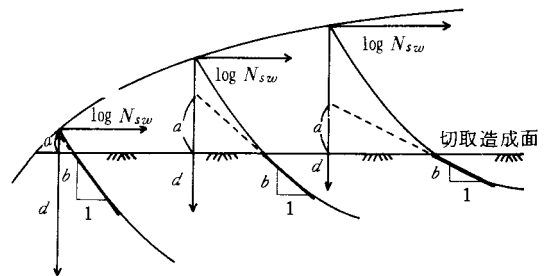
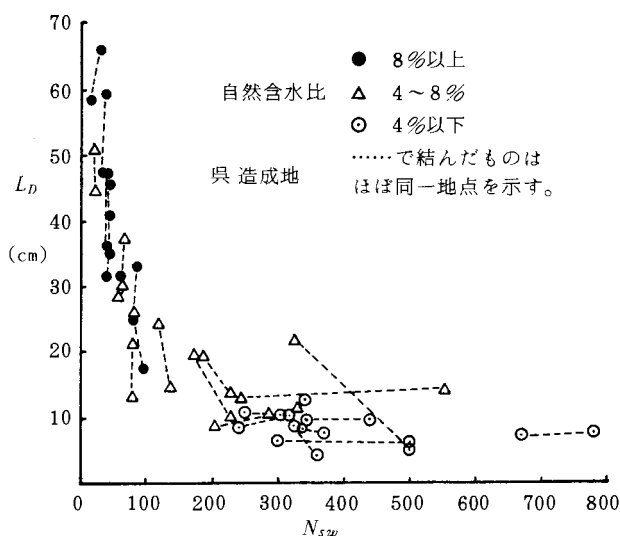
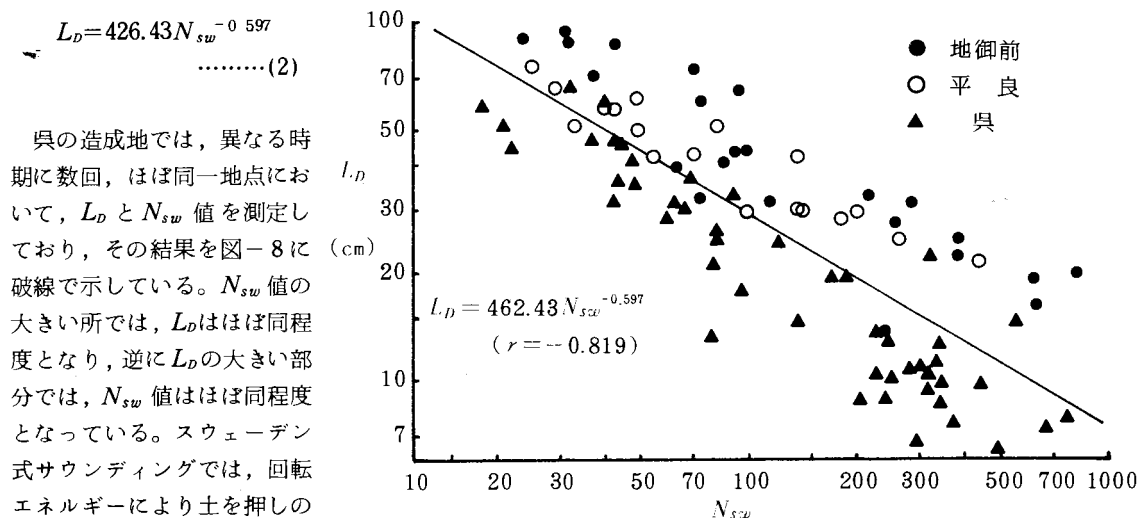


図-6 地盤の硬さの深さ方向変化模式図

図-7は、 L_D と N_{sw} 値の関係を両対数グラフ上に整理したものである。地域差が見られ、 L_D から N_{sw} 値をあらゆるマサ地盤に適用する事はやや乱暴であるが、同一敷地内における相関は見られるので、サウンディングにおける補助的な手段として用いる事は可能である。図中の直線は、全試料についての相関関係(2式)を示しており、呉地区は下側、地御前及び平良は上側に分布している。



§ 6 自然含水比と貫入深さ

図-9は、自然含水比 w_0 と L_D との関係を示している。 L_D の小さい所で w_0 は小さく、 L_D が大きくなるにつれて w_0 も大きくなっている。同一敷地内における w_0 は、測定が同一時期に行なわれたものであれば、降雨及

びそれ以後の気象条件も同じと考えられるので、その地盤の水の含み易さの状態を示しているものと思われる。即ち L_D の大きい風化の進んだ地盤ほど、粒子の細粒化が進んで比表面積が大となり、さらに間隙も大きくなるので保水性は大となる。密度は小さくなるので含水比は大きくなる事になる。

図-10は、前述の、呉の造成地で異なる時期にはば同一地点で測定した w_0 と L_D の測定結果を破線で結んで示している。 L_D の小さい所では、 w_0 は小さいが変化が大きく、 L_D の大きい所で w_0 が大きく変化は小さい。又、 $N_{sw} > 240$ では、 w_0 は2~6%、 L_D は5~13cm程度であり、その分布はほぼ比例的関係にあるようであるが、 $N_{sw} < 240$ の場合、 w_0 は5~10%、 L_D は15~65cm程度となり、 w_0 の増加に比して L_D は急増するような分布形になる。又、同一地点における変化は不規則である。

N_{sw} 値の大きい所では、前述の如く、地盤の硬さに対して貫入エネルギーが小さいので、 L_D は地盤の微妙な変化を読み取らなかった。マサ地盤の強度は、含水比の影響を受けると言われているが、この図にも w_0 による変化は明瞭に現われている。ただ w_0 の変化に比して L_D の変化はあまり大きくないので、 w_0 による影響をそれほど考慮する必要はなさそうである。一方、 N_{sw} 値の小さい所では、 w_0 が地表面下10cm程度までの値であり、 L_D は5~数10cmの範囲であるので、 w_0 と L_D が対応していない事も考えられるが、 w_0 は地表面は

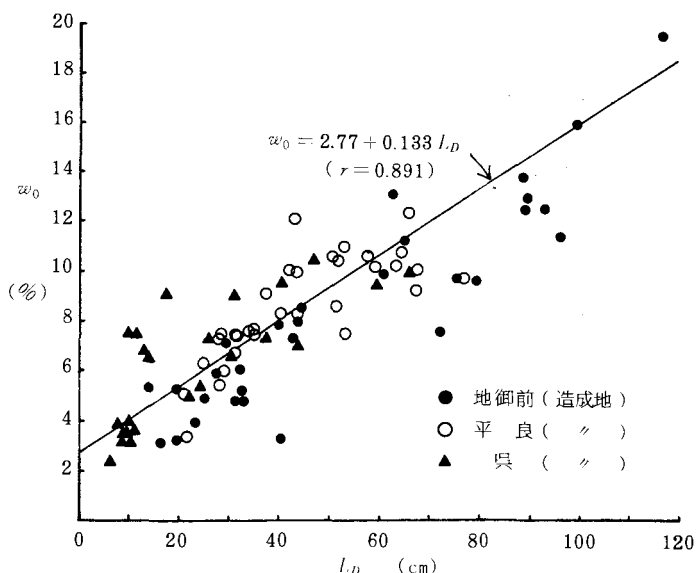


図-9 自然含水比と貫入深さ

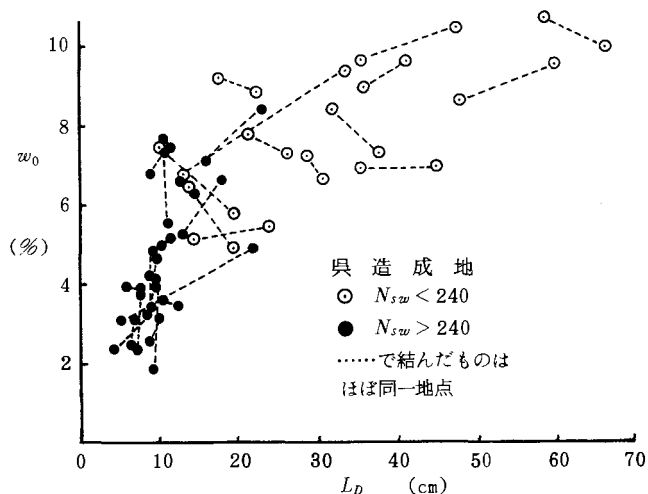


図-10 自然含水比の変化と貫入深さ

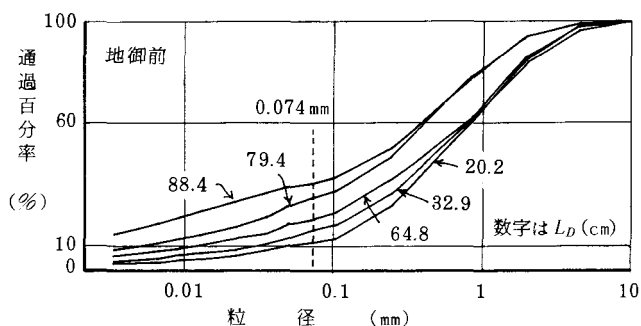


図-11 粒径加積曲線

と大きく、深くなるにつれて順次減少していると考えられるので、地表面の w_0 が増加すると、その深部の w_0 も増加して、マサ地盤の弱化的割合が全体として大きくなるものと思われる。ただ、地表面の w_0 は外的な影響を受け易いので、 w_0 による変化を L_D で読み取る事は難しい。

§ 7 粒度と貫入深さ

風化の程度が顕著に現われるのは、粒度組成である。第Ⅱ風化帯以深は、コボル、ボルダーが主体で観察により容易に判別出来るが、表層及び第Ⅰ風化帯では、肉眼ではマサ状で、同じように観察されても、その粒径は風化の程度によって、レキからシルト、粘土のような広い範囲のものが存在している。

マサ土面附近の試料を採取し、試料の調整を行なった後、粒度試験をJIS A 1204⁽⁴⁾⁽⁵⁾により行なった。

図-11は、粒径加積曲線の1例を、主な L_D について示したものである。 L_D の大きいものは曲線は上部に位置し、0.074mmフルイ通過率 P_{74} 、有効径 D_{60} 、 D_{10} は大きくなる。この傾向は各地区とも共通しており、風化度を指標としたLumb⁽⁶⁾等の傾向とも一致する。即ち、花崗岩は物理的風化により、その構成鉱物である石英、長石、雲母が細粒化され、さらに化学的風化により長石、雲母は粘土化する。これらの風化に伴って粒子結合は弱化し、降雨等による膨潤と細粒分の一部容脱などにより、多孔質な状態になっていると思われる。そのため、風化の著しいマサ地盤ほど L_D は大きくなり、細粒分も多くなるので、粒径加積曲線は上部に位置する事になる。

L_D の大きいものは細粒分が多くなる事から、最小網目である0.074mmフルイを通過する割合 P_{74} (%)と L_D の関係を、図-12に示す。 P_{74} と L_D には、やや地域差が見られるものの、明瞭な相関関係が得られる。最小二乗法により実験式を求めると、次式のようなになる。

$$P_{74} = 5.865 + 0.231 L_D \quad \dots\dots\dots (3)$$

有効径 D_{10} についても L_D について整理出来、

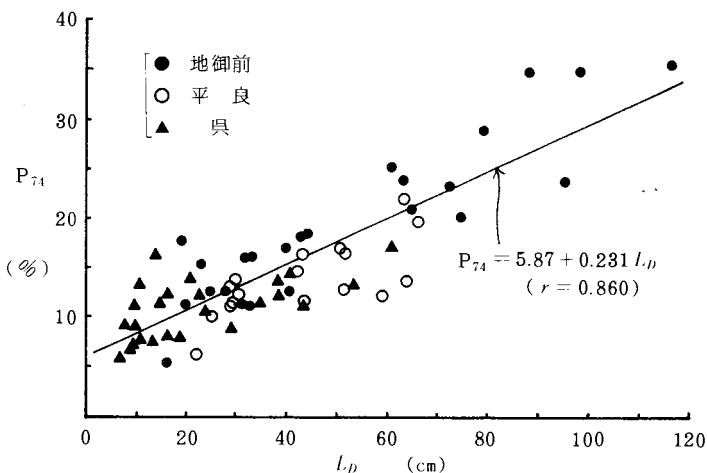


図-12 0.074mmフルイ通過率と貫入深さ

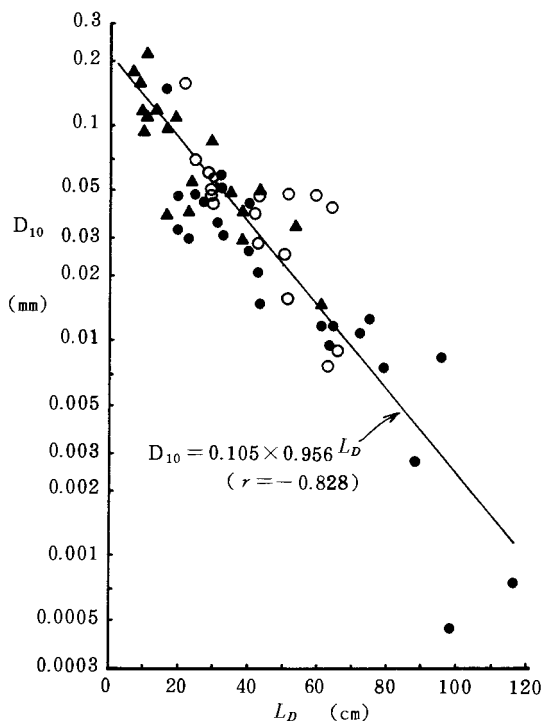


図-13 有効径と貫入深さ

その結果を図-13に示す。

以上の関係より、簡便な爆発エネルギーによる L_D から、ある程度の精度で粒度を推定する事が可能と思われる。

§ 8 強熱減量と貫入深さ

マサ地盤は花崗岩の風化残積土であり、有機物をほとんど含んでいないため、強熱減量 $I.L$ の値は、長石分の二次鉱物化によって生じたモンモリロナイト、カオリナイト等に含まれる結晶水の量に関係している。

マサ土面附近から採取した試料約10gを0.5mm以下まで粉碎した後、110℃で乾燥させた試料をルツボに入れ、電気炉で1000℃にて約30分間保つ事を標準とし、次式により $I.L$ を求めている。

$$I.L(\%) = \frac{110^\circ\text{Cのマサ土の重量} - 1000^\circ\text{Cのマサ土の重量}}{110^\circ\text{Cのマサ土の重量}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

図-14は、 $I.L$ と L_D との関係を示す。 $L_D < 30$ cmでは、 $I.L$ は1～2%に分布するが、 $L_D > 30$ cmでは、 $I.L$ は L_D の増加に対してほぼ比例的に増大する。

新鮮な花崗岩に含まれる(OH)は、0.5%程度とされているので、それ以上の $I.L$ の値は、前述、二次鉱物中に含まれる結晶水の量に相当する。 $I.L$ が大きいうことは、長石分の変質したものが多くなる事で、化学的風化の度合を示すものであり、風化による地盤のゆるみを代表する L_D と密接な関係がある事は、風化の著しい地盤を容易に判定する事を可能にする。

$L_D > 30$ cmにおける $I.L$ と L_D の関係を最小二乗法で求めると、次式の如くなる。

$$I.L(\%) = 0.197 + 0.0427 L_D \quad \dots\dots\dots (5)$$

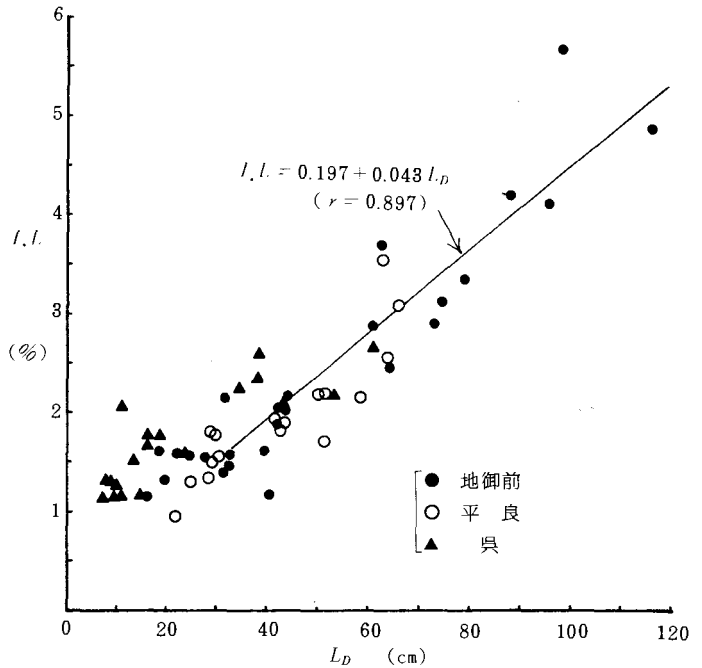


図-14 強熱減量と貫入深さ

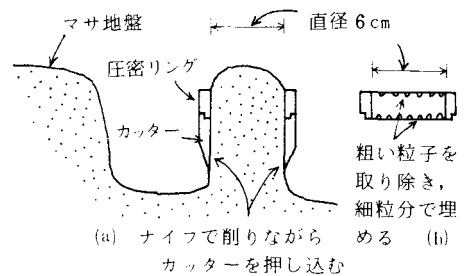


図-15 試料採取と仕上げ

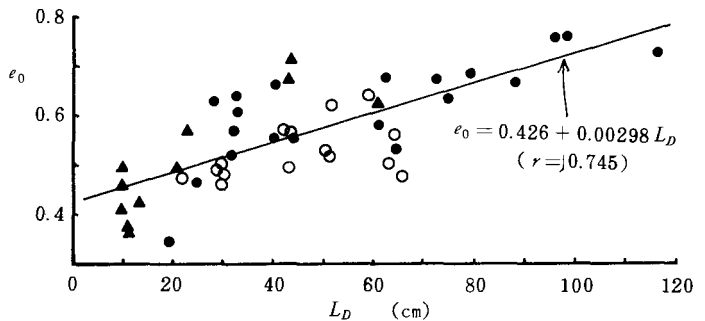


図-16 初期間隙比と貫入深さ

§ 9 初期間隙比、単位体積重量と貫入深さ

マサ地盤の場合、砂質系地盤であるので、乱さない試料の採取が困難であり、初期間隙比 e_0 や湿潤単位体積重量 γ_t 、乾燥単位体積重量 γ_d 等はあまり得られていない。

本試験では次のようにして試料の採取を行なった。圧密試験用リング(直径6 cm, 高さ2 cm)と同径で、高さは2~3倍程度の刃のついた供試体カッターを圧密リングに取り付け、これより少し大き目に掘り出した試料の上から、図-15(a)の如くナイフで削りながら押し込む。この時ねじったり、偏心させたりすると試料のセットがうまく行かないので注意を要する。このようにして採取した試料を圧密リングにセットし、上下面を平滑に仕上げる。この時リングの上下面に納まらない粗粒の粒子は取り除き、あらかじめ準備しておいた細粒分(0.074mmフルイ通過試料)で補充する(図15(b))。この試料を JIS A1217 に準じて拘束圧縮試験を行なったが、この詳細については別稿で述べる。

これらの試験の際に得られた e_0 、 γ_t 、 γ_d は、 L_D と同様、いずれも地盤の締めり方に関係するものである。図-16, 17(a), (b)に、これらの土性と L_D との関係を示す。 L_D の大きくなるほど e_0 は大きくなり、 γ_t 、 γ_d は小さくなる傾向が認められ、風化の進行に伴って多孔質な状態になって行く事がわかる。 γ_t は含水比等との関係もあり、ややちがっている。最小二乗法により実験式を求めると次式の如く

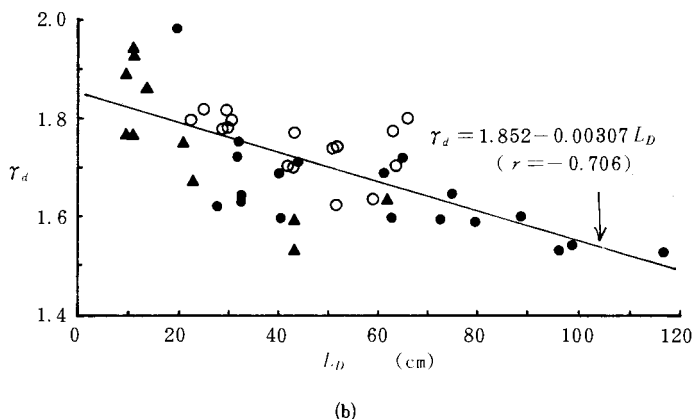
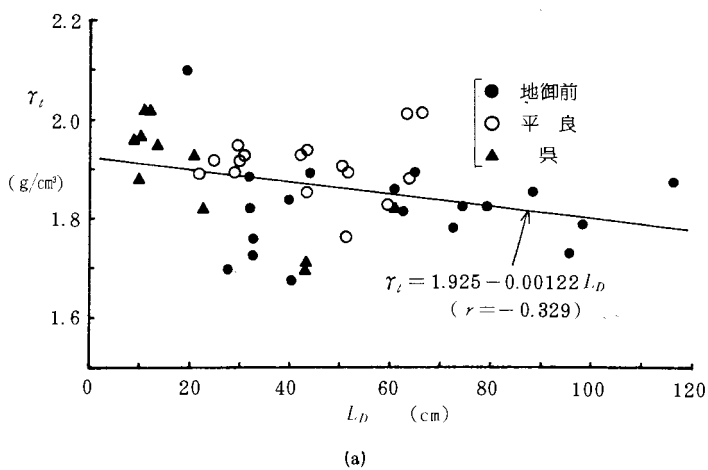


図-17 単位体積重量と貫入深さ

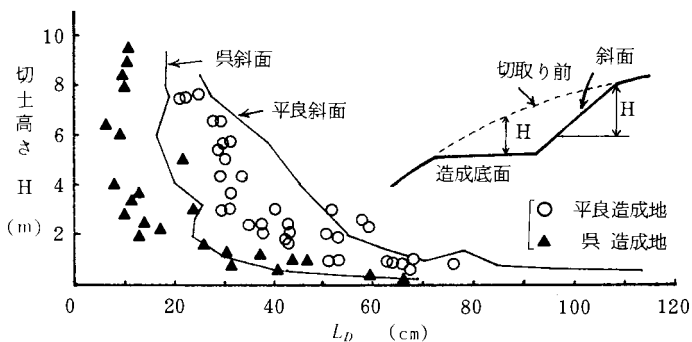


図-18 斜面と造成地における貫入深さ

なる。

$$e_0 = 0.426 + 0.00298 L_D \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\gamma_t = 1.925 - 0.00122 L_D \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\gamma_d = 1.852 - 0.00307 L_D \quad \dots\dots\dots (8)$$

§ 10 造成地盤と斜面における貫入深さの差異

造成された地盤では、いくらかの盛土でおおわれているが、斜面では、風雨にさらされ、細粒分が流出したり、風化の進行が促進されたりして、両者の状態は異なっていると思われる。

図-18は、呉及び平良において、切取斜面に直角方向に打込んだ L_D と切り土高さ H との関係を実線で、造成底面における推定切り土高さ H (地形図から推定)と L_D の関係を○, ×印で示している。 $H < 2\text{ m}$ では、斜面も造成地も風化が進んでいるので、ほぼ同程度の値を示すが、 $H > 2\text{ m}$ では、造成地の L_D は斜面の L_D よりほぼ10 cm程度小さくなっている。 L_D を測定した方向(水平と垂直)が異なっており、マサ地盤では深さ方向に硬くなっているの、風化の進行によるものとは限らないが、両者の L_D の差は明瞭である。特に斜面の方が、 L_D の測定や試料の採取、状態の観察が容易な面もあるので、斜面の状態から造成地の状態を推定する目安となる。

呉市の大空山周辺の斜面で、 L_D の測定と試料の採取を行ない、 w_0 , P_{74} , $I.L$, アルカリイオン濃度 pH の試験を行なった。採取した試料は、 L_D の測定を行なった部分の表面附近のものである。 pH 値は、

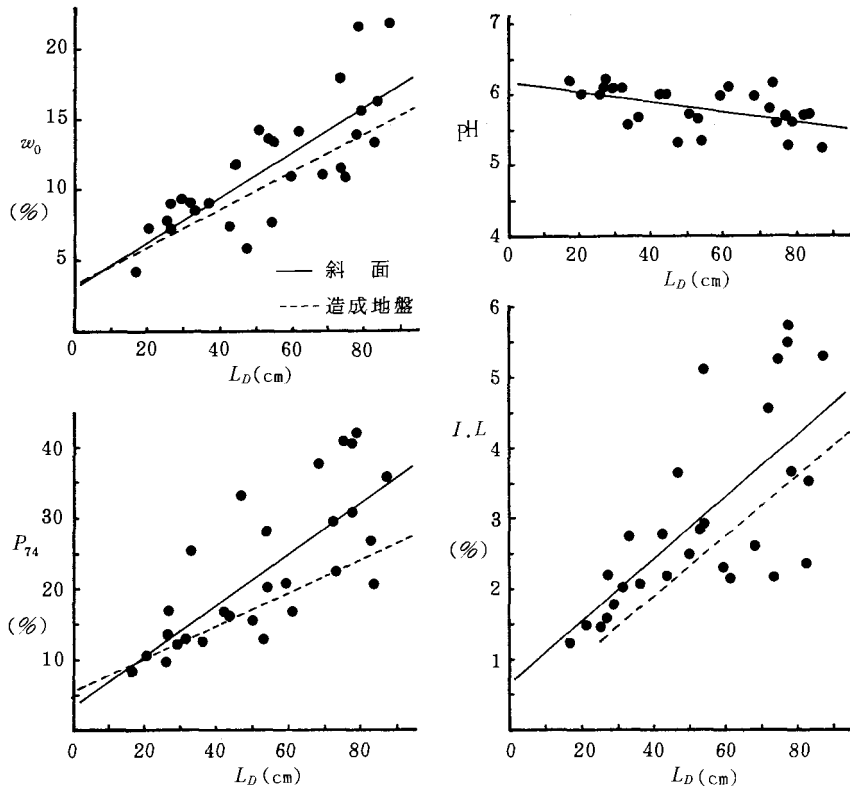


図-19 斜面における土性と貫入深さ

採取試料 2g を 50ml の蒸留水で懸濁させて測定⁷⁾を行なっている(ガラス電極法)。

これらの土性の測定結果を L_d で整理したものを図-19に示す。いずれも L_d と各土性とは、風化の程度と密接に関係している。ただ斜面の試料は露出しているため、造成面の試料よりも風化が進んで土性が変化すると共に、それに伴って生じた細粒分が流出するので、 L_d の大きい部分でちらばりが大きくなっている。又、同じ L_d に対しても、造成面の試料に比べて、斜面の試料は、風化の進んだ状態にある。図中に示した実線は斜面、破線は前述の造成地で得られた結果を最小二乗法で求めて示している。

§11 結 び

爆発エネルギーによる貫入深さ L_d と土性の関係についての測定結果を示したが、いずれも各節で示した如く、密接な関係にある事がわかった。

マサ地盤を建物敷地とする場合、地山という事で十分な調査を行なわなかったり、経済的な理由から数個の簡単な試験を行なうのみで設計が行なわれ、それが数多くの建物に不同沈下による障害を発生させる要因となった。

爆発エネルギーによる試験は、短時間に数多く、手軽に試験出来るので、サウンディングの補足調査として利用すれば、マサ地盤の強度の変動を適確に掴め、十分に目的を達する事が出来る。ただ、斜面の状態から敷地の状態を推定するには、若干の修正が必要であろう。

参 考 文 献

- 1) 松尾・福住：爆発エネルギーを利用した貫入試験とその適用について，土と基礎，第10巻第9号(1962, 11)
- 2) 松尾：マサ土の特性と問題点，土と基礎，第23巻第2号(1975, 2)
- 3) 中井：マサ土の風化について(深層風化)，第18回土質工学シンポジウム，昭和48年9月。
- 4) 特殊土の試験「マサ土」：土質試験法。
- 5) 粒度試験：土質試験法，土質工学会。
- 6) Lumb: The Properties of Decomposed Granite, Geotechnique, Vol. 12, No. 3.
- 7) pH試験：土質試験法，土質工学会。

(昭和57年4月15日受付)

Coupled Room の音のエネルギー分布

(建築学科) 藤 井 健
(") 緒 方 信 一 郎

Distribution of Sound Energy in Coupled Rooms

Takeshi FUJII
Shinichirō OGATA

In the last report, we have studied the sound energy in acoustically coupled rooms and found it is difficult to explain its details by using the average sound energy shown by C.F. Eyring.

This time we plan to discuss the steady state distribution of sound energy in the receiving room coupled to the other room in which a sound source is located. In a steady state, the direct energy from the opening between these two rooms and reflective energy from the wall surfaces must make the total energy at one point in the receiving room. Adopting this idea, we calculate the sound energy in the receiving room and compare these results with the experimental results.

§ 1 緒 言

事務室、工場などの大容積の室内では、内部を部分間仕切で区分したり、人や物の出入りの頻繁な二室間の出入口では、扉を付けないか、付けても開放状態で使用することが多い。単室の音響特性については数多くの研究があり、その諸特性もほぼ明らかにされているが、上記のような二室が一個の開口面を共有するいわゆる Coupled Room の音響特性についての研究は、あまり多くはない。

古くは C. F. Eyring による研究⁽¹⁾、比較的新しいものとして平山らによる一連の報告^{(2)~(5)}があり、彼らは音のエネルギーの減衰過程、すなわち残響特性に焦点を置き、結合された二室それぞれの残響時間を表わす計算式を導出し、実験的にも検討を加えている。また両者とも拡散理論を基本にして、平衡状態における二室内の平均音響エネルギー密度を求めているが、それぞれ異なった結果となっている。

先に筆者はこの点に着目し、理論的、実験的に考察したところ、それぞれの室内の平均エネルギー密度は Eyring の示した式の方が適確に表現されること、またどちらの室に音源を置いても、受音側の室内の平均エネルギー密度は全く同一となるという結論を得た⁽⁶⁾。同時に平均エネルギー密度という表現方法は、完全拡散の室内をしかも巨視的にながめる限りにおいては問題も少ないが、室内の音圧レベル分布のように部分的にながめる場合は、あまりに漠然としていることを感じた。

そこで本報では、受音室の平衡状態における音のエネルギーを、開口部からの直接音と周壁からの反射音のエネルギーを重ね合わせて求め、エネルギー密度分布で表現し、実験結果と比較して報告する。

§ 2 記 号

- V_1, V_2 : ①室および②室の室容積 (m^3)
 α_1, α_2 : 各室の開口面を除いた平均吸音率
 S_1, S_2 : " 表面積 (m^2)
 A_1, A_2 : " 吸音力 (m^2)
 ME_1, ME_2 : 各室の平均音響エネルギー密度 (J/m^3)
 α_{10}, τ_{10} : 開口面の①室から②室へむかう吸音率および透過率
 α_{20}, τ_{20} : 開口面の②室から①室へむかう吸音率および透過率
 E_{s0} : 開口面に①室から入射している音のエネルギー密度 (J/m^2)
 E_d : 受音室内の平均直接音エネルギー密度 (J/m^3)
 E_r : 受音室内の反射音 (間接音) エネルギー密度 (J/m^3)
 l : 開口中心からの距離 (m)
 θ : 開口法線と受音点のなす角 ($^\circ$)
 E_{ld} : 受音室内 (l, θ) 点の直接音エネルギー密度 (J/m^3)
 E_{le} : (l, θ) 点の音響エネルギー密度 (J/m^3)
 S_0 : 開口面積 (m^2)
 W : 音源の出力 (Watt)
 c : 音速 (m/sec)
 t : 時間 (sec)
 SPL_{le} : (l, θ) 点のエネルギー密度レベル (dB)
 PWL : 音源のパワーレベル (dB)

§ 3 受音室内のエネルギー密度分布

3.1) 各室内の平均エネルギー密度

Eyring は、各室内は完全拡散音場とし、開口面で両室の音響エネルギーは不連続であるという仮定のうえで、①室内に一定出力 W (Watt) の音源がある場合、それぞれの室内のエネルギーの変化は次式としている⁽¹⁾。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dME_1}{dt} = \frac{W}{V_1} - \frac{cME_1}{4V_1} (A_1 + S_0\alpha_{10}) + \frac{cME_2S_0\tau_{20}}{4V_1} \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dME_2}{dt} = \frac{cME_1S_0\tau_{10}}{4V_2} - \frac{cME_2}{4V_2} (A_2 + S_0\alpha_{20}) \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (1)'$$

これらより、平衡状態における各室内の平均エネルギー密度を求めると下式となる。

$$\left\{ \begin{array}{l} ME_1 = \frac{m_2 w}{m_1 m_2 - n_1 n_2} \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} ME_2 = \frac{n_2 w}{m_1 m_2 - n_1 n_2} \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (2)'$$

$$\text{ただし, } m_1 = \frac{-c(A_1 + S_0\alpha_{10})}{4V_1}, \quad m_2 = \frac{-c(A_2 + S_0\alpha_{20})}{4V_2}$$

$$n_1 = \frac{cS_0\tau_{20}}{4V_1}, \quad n_2 = \frac{cS_0\tau_{10}}{4V_2}, \quad w = \frac{W}{V_1}$$

3.2) 受音室内の直接音エネルギー密度と反射音エネルギー密度

Eyring は開口面で両室の音響エネルギーは不連続としているが、実際には連続しており、開口面に近い点と離れた点では、それぞれのエネルギーは異なるはずである。そこで受音室内のある点のエネルギー密度を、開口面からの直接音エネルギー密度と反射音エネルギー密度（間接音エネルギー密度）に分離できるものとする次のように考えられる。

周知のごとく、拡散音場である音源室①から開口面に入射するエネルギーは

$$cE_{s0} = \frac{cME_1}{4} \quad \dots\dots\dots (3)$$

である。これが面積 S_0 、 τ_{10} を通り、②室に流入し、②室内で 1 回も反射しない平均直接音エネルギー密度は、②室内の平均自由経路を d_2 とすると

$$\begin{aligned} E_d &= \frac{cME_1}{4} \times S_0 \tau_{10} \times \frac{d_2}{c} \times \frac{1}{V_2} \\ &= \frac{ME_1 S_0 \tau_{10}}{S_2 + S_0} \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

$$\text{ただし, } d_2 = \frac{4V_2}{S_2 + S_0}$$

となる。

反射音エネルギー密度は、平均エネルギー密度から、平均直接音エネルギー密度を除いたものであり、(2)、(4)式より次式となる。

$$E_r = ME_1 \left(\frac{S_0 \tau_{10}}{A_2 + S_0 \alpha_{20}} - \frac{S_0 \tau_{10}}{S_2 + S_0} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

これは受音室内いずれの場所でも均一である。

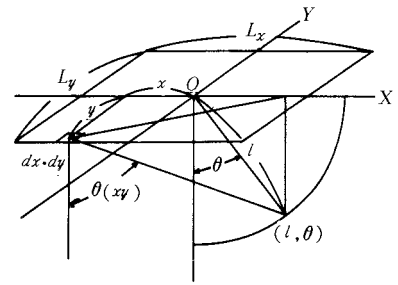


図-1 開口面 ($L_x \times L_y$) と受音点 (l, θ)

3.3) 開口面からの音のエネルギー伝搬

拡散音場の矩形開口面から自由音場へのエネルギーの伝搬特性に関する報告は多く⁽⁷⁾、その指向特性は開口寸法と入射音の波長の関係によって規定される。開口面寸法が波長に比して十分大きな場合は、その放射指向特性は $\cos \theta$ Law で表わされる。

すなわち、図-1 に示される受音点 (l, θ) のエネルギー密度は

$$E_{ld} = E_{s0} \times \frac{1}{\pi} \iint \frac{\cos \theta_{(xy)} dx dy}{x^2 + (y + l \sin \theta)^2 + l^2 \cos^2 \theta} \quad \dots\dots\dots (6)$$

である⁽⁸⁾。

3.4) 受音室内エネルギー密度分布

以上のことから、受音室内 (l, θ) 点のエネルギー密度は、(3)、(5)、(6)式より

$$E_{l\theta} = E_r + E_{ld} = ME_1 \left(\frac{S_0 \tau_{10}}{A_2 + S_0 \alpha_{20}} - \frac{S_0 \tau_{10}}{S_2 + S_0} + \frac{1}{4\pi} \iint \frac{\cos \theta_{(xy)} dx \cdot dy}{x^2 + (y + l \sin \theta)^2 + l^2 \cos^2 \theta} \right) \quad \dots\dots (7)$$

となり、受音室内 (l, θ) 点のレベルは次式となる。

$$SPL_{10} = PWL + 10 \log_{10} \left\{ \frac{m_2}{(m_1 m_2 - n_1 n_2) V_1} \left(\frac{S_0 \tau_{10}}{A_2 + S_0 \alpha_{20}} - \frac{S_0 \tau_{10}}{S_2 + S_6} + \frac{1}{4\pi} \iint \frac{\cos \theta_{(xy)} dx dy}{x^2 + (y + l \sin \theta)^2 + l^2 \cos^2 \theta} \right) \right\}$$
..... (8)

§ 4 実 験

実験に供した Coupled Room は図-2 に示すように、建築学科残響室 (V=125.06m³, S=167.97 m²) の中に間仕切壁 (合板⑦15mm+空気層100mm+石こうボード⑦10mm) を設けて、間仕切壁の中央部に 1m×1m の矩形開口部をもった鉄板(1.8m×1.8m⑦3.2mm)を取り付けたものである。

測定は①室に音源 (図-2 中Ⓜ) を置き、②室内で開口面中心を通る水平面内を80cmピッチ、開口面に平行にマイクロホンを連続走行させ、オクターブバンドレベルをレベルレコーダーに記録し

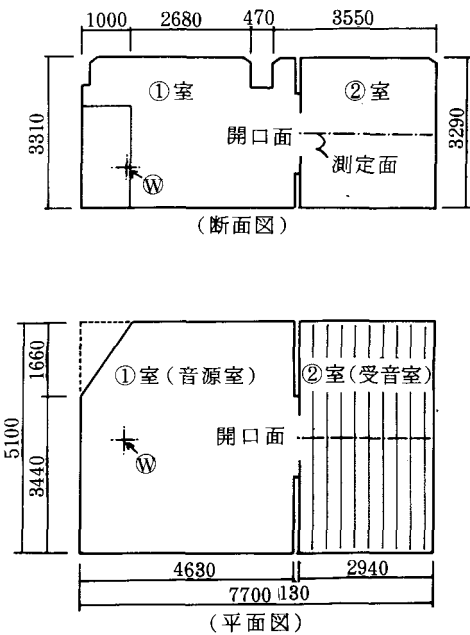


図-2 実験に供した Coupled Room (②室内のラインは測定ライン)

表-1 実験室の諸元

	室容積 (m³)	表面積 (m²)	kHz	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0	備 考
① 室	$V_1=73.47$	$S_1=115.79$	α_1	0.0372	0.0372	0.0454	0.0575	0.0817	0.1582	開口面積 $S_0=1.0$ (m²)
② 室 (受音室)	$V_2=49.31$	$S_2=83.04$	$\alpha_{2,1}$	0.0352	0.0392	0.0522	0.0621	0.0794	0.1549	
			$\alpha_{2,2}$	0.0781	0.1312	0.2423	0.2699	0.3047	0.4294	
音 源 出 力 (Watt)			W	2.549×10^{-4}	8.636×10^{-4}	8.562×10^{-4}	3.762×10^{-4}	1.341×10^{-4}	1.926×10^{-5}	

表-2 測定器一覧 (○印を使用)

	メーカー・型式	バンドレベル, 音源パワー測定	残響時間測定
音 源	基準音源 B & K 4204	○	
	Noise 発生器 B & K 1405		○
	アンプ テクニクス SU-7700Ⅱ		○
	スピーカー テクニクス 1770		○
マイクロホン	1/2 インチ B & K 4133	○	○
プリアンプ	B & K 2619	○	○
計測用アンプ	B & K 2606	○	○
レベルレコーダー	B & K 2305	○	○
フィルター	B & K 1615	○	○

た。この際、マイクロホン位置とレベルレコーダー記録を正確に対応させるために、光電管スイッチにより走行方向30cmピッチで信号を受け、記録紙上にマーキングをしている。

②室内の吸音率を変えた場合のエネルギー密度分布の変化をみるため、②室内にモルトブレン(⑦10mm)10枚を床を除く各壁面と天井面に各2枚ずつ貼り付けた状態と、それらを取り除いた状態について測定を実施した。各室の平均吸音率は、開口面を鉄板で閉鎖した時の残響時間の実測結果から、また音源のパワー(AC 115V入力時)は①室内の平均バンドレベルの実測結果から求めた。これらを表-1に、使用した測定器を表-2に示した。

§ 5 考 察

図-3～図-14に実験結果を示した。図中の・印は(8)式を使い、 $\alpha_{10}=\alpha_{20}=\tau_{10}=\tau_{20}=1.0$ とした時の計算値である。

今回の実験は、 $\frac{1}{2}\sim\frac{1}{4}$ のスケールモデルを想定したもので、間仕切壁に設けた開口寸法は1m×1m、測定したオクターブバンドの中心周波数は0.5kHz～16kHzであり、実際の建物スケールでは、それぞれ2m×2m～4m×4mの実用開口および0.125ないし0.25kHz～4kHzないし8kHzの実用周波数領域に相当する。

拡散音場にある開口面からの音の指向特性は、正方形開口の場合 $kD(k=2\pi f/c, D=\frac{1}{2}\text{辺長})$ がおおむね10以上の範囲で $\cos\theta$ Lawで表わされ、今回の kD の最少値は $f=0.5\text{kHz}$ のときの9.24であり $\cos\theta$ Lawの適用に問題はないものと考えらる。

さて、図-3～図-6および図-9にみられるように、音源室(平均自由経路 $d_1=2.512\text{m}$)と受音室($d_2=2.375\text{m}$)の平均吸音率(α_1 および α_2)がいずれも0.08以下の場合、計算値と実験値はほぼ満足できる対応を示している。またこれらの場合、開口面前方に現われるレベルパターンの山はゆるやかで、計算値も実験値も最高レベルと最低レベルの差は5dB以内に留まっている。

受音室の平均吸音率(α_2)が0.13以上0.3以下、かつ音源室の平均吸音率(α_1)が0.08以下の場合(図-10～図-12)開口面前方のレベルパターンの山はかなり明確に現われ、開口面が離れた点では、計算値に比べ実験値の方が山は高く現われる傾向があるが、その他の大部分の点では、両者はかなりよく一致している。

図-7、図-8、図-13、図-14は音源室の平均吸音率(α_1)が0.08以上かつ受音室のそれが0.3以上の場合であり、開口面中心軸近くで開口から離れた点では、実験値が計算値を2～4dB上回っている。中心軸から離れた点では、逆に計算値が実験値より大きくなる傾向がみられ、最大5dBも大きな値を示している。これは受音室の拡散性の低下以上に音源室の拡散性の低下が、(8)式の適用範囲を縮小させることを意味している。

先に示したように、音源室が完全拡散に近い限り、また特に8kHz($kD=147.8$)～16kHz($kD=295.7$)の領域での開口面の指向特性は、 $\cos\theta$ Lawでまったく問題のないことは確認されている。しかし音源室の平均吸音率(α_1)が0.08以上となることによる拡散性の低下は、受音室に入ってくる直接音エネルギーの反射音エネルギーに対する割合を著しく増大させると同時に、中心軸方向への指向性の増大を引き起こしたものと考えられ、もはや(8)式の適用は困難となっている。

§ 6 結 言

以上の検討から、定性的表現ではあるが次の結果が導出された。

音源室の拡散性が高い場合は、受音室が半拡散(今回の実験では $\alpha_2<0.3$)であっても、受音室内の音圧レベル分布(エネルギー分布)は(8)式で表わすことができる。

音源室の拡散性が低下(今回の実験では $\alpha_1>0.08$)すると、受音室に入ってくる直接音エネルギーの反射音エネルギーに対する割合は著しく増大し、開口面中心軸方向への指向性が増大する傾向が認めら

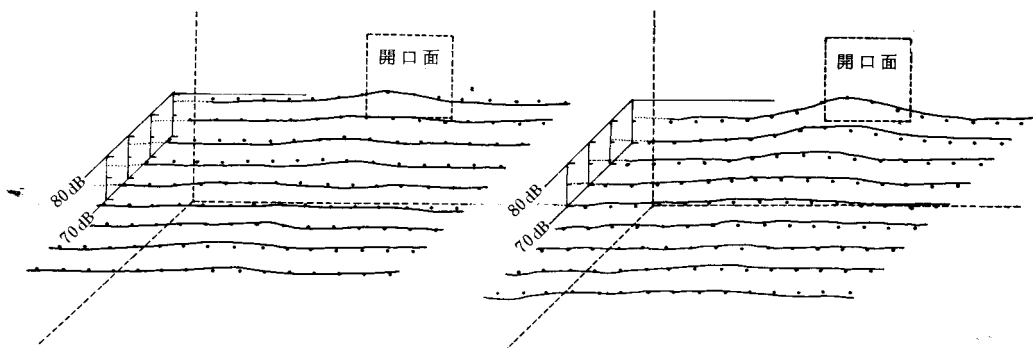


図-3 $SPL(0.5 \text{ kHz}, \alpha_1=0.0372, \alpha_2=0.0352, kD=9.24)$

図-9 $SPL(0.5 \text{ kHz}, \alpha_1=0.0372, \alpha_2=0.0781, kD=9.24)$

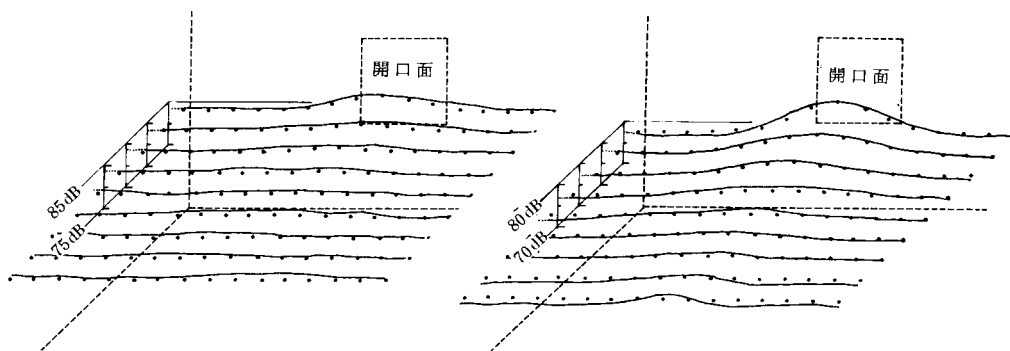


図-4 $SPL(1 \text{ kHz}, \alpha_1=0.0372, \alpha_2=0.0392, kD=18.5)$

図-10 $SPL(1 \text{ kHz}, \alpha_1=0.0372, \alpha_2=0.1312, kD=18.5)$

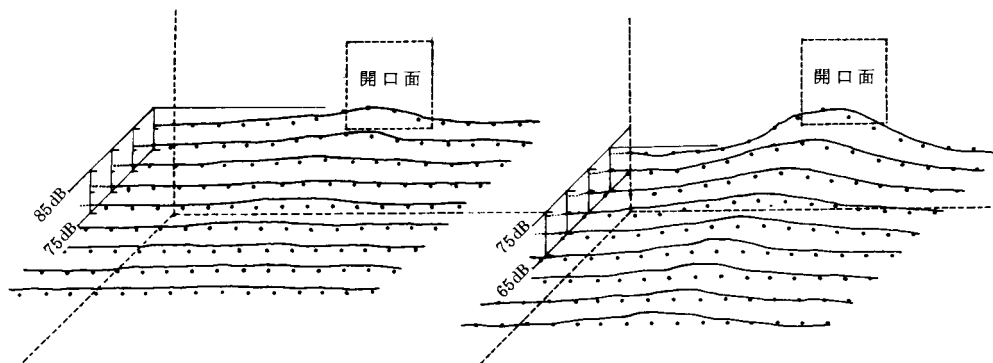


図-5 $SPL(2 \text{ kHz}, \alpha_1=0.0454, \alpha_2=0.0522, kD=37.0)$

図-11 $SPL(2 \text{ kHz}, \alpha_1=0.0454, \alpha_2=0.2423, kD=37.0)$

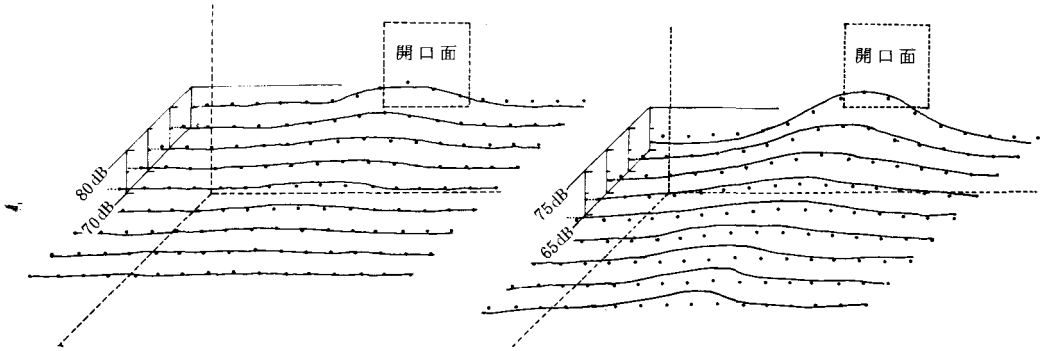


図-6 $SPL(4\text{kHz}, \alpha_1=0.0575, \alpha_2=0.0621, kD=73.9)$

図-12 $SPL(4\text{kHz}, \alpha_1=0.0575, \alpha_2=0.2699, kD=73.9)$

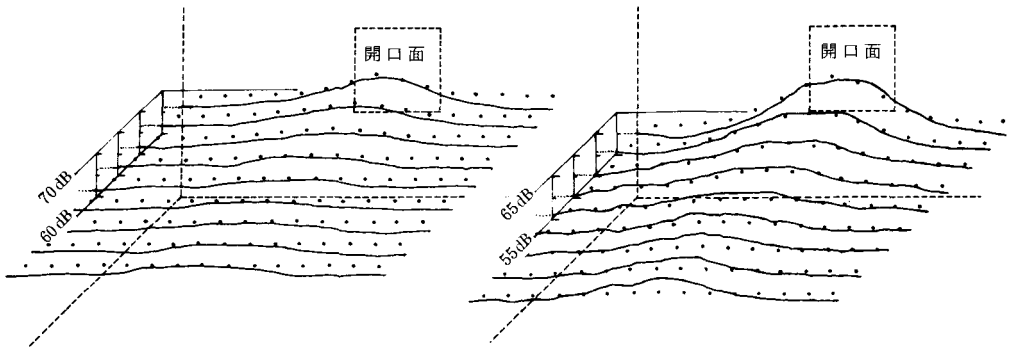


図-7 $SPL(8\text{kHz}, \alpha_1=0.0817, \alpha_2=0.0794, kD=147.8)$

図-13 $SPL(8\text{kHz}, \alpha_1=0.0817, \alpha_2=0.3047, kD=147.8)$

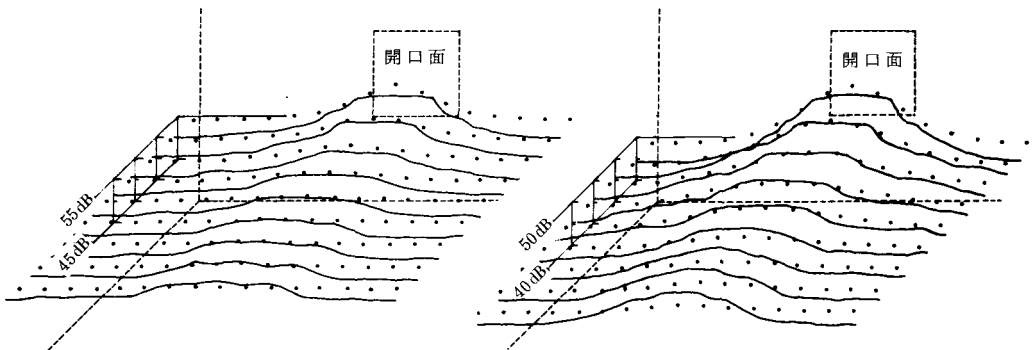


図-8 $SPL(16\text{kHz}, \alpha_1=0.1582, \alpha_2=0.1549, kD=295.7)$

図-14 $SPL(16\text{kHz}, \alpha_1=0.1582, \alpha_2=0.4294, kD=295.7)$

れる。

終りにあたり、実験と計算に協力して頂いた、大東技官、卒研究生井口裕三君、黒田靖君、藤原誠道君に心から感謝したい。

参 考 文 献

- (1) C. F. Eyring : Reverberation Time Measurements in Coupled Rooms, J. A. S. A., Vol. 3, No. 2, 1931, p. 181
- (2) 平山 : Coupled Room の残響時間, 日本建築学会論文報告集, 第60号, 昭和33年10月, p. 37
- (3) 平山他 : Coupled Room の音響に関する研究, 同上, 第69号, 昭和36年10月, p. 65
- (4) 平山 : Coupled Room の残響測定, 日本音響学会講演論文集, 昭和31年11月
- (5) 他に平山らによる研究が4編, 日本音響学会講演論文集に報告されている。
- (6) 藤井・緒方 : Coupled Room の音圧レベルについて, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第5号, 昭和56年3月, p. 97
- (7) たとえば, 田原他 : 拡散音場開口面からの音響放射指向特性, 日本音響学会講演論文集, 昭和49年6月
- (8) 「実務的騒音対策指針」 : 日本建築学会編, p. 58

(昭和57年4月15日受付)

軟弱地盤の常時微動による振動性状

(建築学科)	門	前	勝	明
(長岡技術科学大学)	後	迫		茂
(三原市役所)	檀	上	幸	昌
(大同建設)	山	本	徳	王

Oscillation Behavior of Soft Ground Based on Microtremor

Katsuaki MONZEN
Sigeru USIROSAKO
Yukimasa DANJOH
Norio YAMAMOTO

In order to express the amplitude characteristics of microtremor at soft ground, power spectral density function are computed. The predominant frequencies of the power spectral density function are compared with theoretical amplitude characteristics from the under ground structure, obtained by multiple reflection theory.

§ 1 はじめに

地表面における地震波の特性は、地震の規模、震央距離等により異なるのは当然であるが、同じ地震でも地盤の特性によって著しく異なることが、既往の研究結果および建物の地震被害等から知られている。従って、地盤の振動特性を推定することは、建物の耐震設計上重要な問題である。

地盤の振動特性を推定する方法は、解析によるものと実験によるものに大別できる。解析による方法は、地盤の動的特性等から地盤の振動性状を推定するもので、ボーリング調査等により地盤の性質を十分把握しておく必要がある。実験による方法は、起振器によるもの、孔底爆破試験、常時微動によるものが利用されている。起振器によるものや孔底爆破によるものは、可成り大規模な実験にならざるを得ない欠点がある。一方、常時微動による方法は振動源が不明であるという欠点はあるものの、実用的な方法として広く利用されている。

本報告は常時微動の周波数特性と地盤構造の関係を把握するための第一歩として、既往の研究結果を整理し、軟弱地盤における常時微動を測定してその周波数特性について述べる。さらに重複反射理論による解析結果と比較して、観測結果の妥当性について検討する。

§ 2 既往の研究結果の概要

常時微動を利用した地盤の卓越周期の推定方法は、古くは井上¹⁾、石本²⁾等によって始められ、金井等によってその特性と利用方法が示され^{7)~18)}、現在も簡便な方法として鳥海・大場^{19)~27)}、中島・表^{67)~75)}、多賀^{88)~97)}等をはじめとし広く利用されている。常時微動の特性に関する既往の研究結果を概観して、取り上げられた主な項目を列挙すれば次の様になる。^{1)~104)}

1) 常時微動の(最大)振幅について

- (1) 昼夜(または測定場所の環境条件)による変化^{8),10),11),14),16),28)~31),35),90),94)}
- (2) 季節による変動³⁵⁾
- (3) 気象条件による影響^{30),37),79),82)}
- (4) 地下構造の差異による変化^{16),35),96)}
- (5) 地中深さによる変化^{53),54),94)}
- (6) 振幅と平均周期・卓越周期の関係^{7),10),12),13)}
- (7) 振幅に関する確率密度分布^{30),104)}

2) 常時微動の周期(卓越周期, 最大周期, 平均周期), 周期頻度曲線, 各種スペクトル, 地盤による増幅率について

- (1) 昼夜および24時間変動^{3),5),7),8),9),11),14),16),28),30),31),66),76),78),80),82),90),94),101),102),104)}
- (2) 1週間による変動⁹³⁾
- (3) 季節による変動^{93),94)}
- (4) 気象条件による影響^{1),2),73),79),82),93),96),101),102)}
- (5) 波浪の影響^{82),93)}
- (6) 地下構造との関係^{7),10)~16),46),64),65),84),87),90),96),98)}
- (7) 地表と地下の相違^{1),33),34),94)}
- (8) 平均周期と卓越周期の関係^{9)~13),16)}
- (9) 建物および杭による地盤の振動特性の変化^{3),19),23)~25),27),95)}

3) 常時微動と地震動の特性比較

- (1) 地表と地下による観測から増幅率の比較^{1),94)}
- (2) 卓越周期, 周期頻度曲線およびスペクトルの比較^{3),7),8),9),11),13),14),18),26),31),45)~48),50),51),55),56),57),59),60),61),83),86),100),103)}

4) 常時微動の卓越周期・増幅特性と理論解析との比較

- (1) 実体波の重複反射理論を利用したもの^{18),31),32),38),39),47),48),49),63),77),78),84),87),88),90),92),103)}
- (2) 表面波との比較^{4),6),28),29),32),36),38),62),63),66)~70),79),91),92),97),99)}

5) 周期頻度解析とスペクトル解析との比較^{40),43),48),55),64),67)}6) 剛な建物の固有周期を測定することにより, 建物の振動性状に影響する基礎周辺地盤の剛性を評価する方法について^{20),21),23),24),25)}

観測された波形の種類は, 加速度を測定したもの^{1),26),49),51),83),100),103)} 速度を測定したもの^{40),46),73),78),86),98),100)} 変位(速度を積分して変位に変換したものも含む)を測定したもの^{20),23),24),25),29),30),31),32),42),43),49),51),84),90)~93)} 等種々あるが, 地中観測には加速度計が多く使用され, 地表観測には速度計・変位計が多く利用されている。

これらの研究結果から, 常時微動の特性について次のことが知れる。

- (1) 常時微動の振幅は測定場所の環境条件により日変化し,^{2),11),35),102)} 日中に比べ夜中の方が小さい。^{8),10),14),16),94),101)} また, 季節によっても若干変化する場合もある。³⁵⁾ さらに風速,^{1),80),93),96)} 降雨量³⁰⁾等の気象条件により変動する。使用した地震計の種類でかなり差がある。^{28),30)} 常時微動の振幅と地下構造の関係は, 卓越周期程大きくない。¹⁶⁾
- (2) 常時微動の卓越周期は測定場所の環境条件により日変化する場合^{5),14),45),90)}と, 顕著な差は認められない場合^{8),30),66),90)}がある。同様に周期頻度曲線・スペクトルの形も測定時間・測定日・季節等によって変化する場合^{7),31),46),66),93)}と, ほとんど類似している場合^{7),8),9),80)}がある。これらの変動は周期範囲,^{82),94)} スペクトル形によって異なり, スペクトルの一次的特徴の著しい地盤では, 変動は少ないものと考えられる。⁴⁶⁾

- (3) 常時微動の卓越周期は降雨量,^{101),102)} 風速^{78),79),101),102)}の影響を受ける。長周期にあつては、さらに気圧,^{79),82)} 波浪^{82),93)}に影響される。
- (4) 卓越周期(平均周期)は軟弱層が厚くなるに従って長くなる。^{13),44),65),84)} また、スペクトル形は地盤の振動特性が簡単な場合は1つの鋭いピークを持ち、地盤の振動特性が複雑な場合は2つ以上のピークがあらわれる。厚い軟弱地盤では全体的に平坦となり、^{7),8),9),11),12),14),64)} 地下構造の特性を反映している。^{90),91),96),98),99)}
- (5) 常時微動の卓越周期の分布について、実体波の地盤による振幅特性と良く対応したもの^{47),49),56),77),78),84),87),90),92),103)}と表面波の特性と良く対応したもの^{4),28),29),30),36),62),66)-70),79),82),92),98),99)}と両解析結果を比較することにより、実体波の特性と対応したもの、⁶³⁾表面波の特性と対応したもの、⁶³⁾また実体波としても表面波としても説明がつくもの^{32),38),91)}があり定かではないが複数の種類の波から構成されているものと考えるのが妥当であろう。⁹²⁾
- (6) 地震動の卓越周期と常時微動の卓越周期を比較して両者に類似性を認めたもの^{8),13),14),31),45-48),50),51),55),86),94),100)}と地盤に依って異なる場合がある。^{8),9),14),55),59),60),61)}
- (7) 周期頻度解析とスペクトル解析結果を比較すると、周期頻度曲線では長周期が評価されていない、波の振幅は考慮されていない等の欠点はあるが、両者の特性は概ね相似している。^{40),48),64),67),104)}
- (8) 建物周辺の地盤における微動は地盤特性だけでなく、建物という付加質量の影響を受ける場合がある。^{3),23),24),25)}

§ 3 測定地盤の概要

測定は国鉄安芸阿賀駅(広島・呉線)の南約0.3 kmに位置する呉工業高等専門学校グラウンドで行った。測定地付近は黒瀬川の三角洲に発達した沖積低地である。文献¹⁰⁵⁾によれば、明治32年にすでに図1のA線まで造成されていたものを、昭和38年と39年にかけてさらに造成したもので、造成前は葦のはえた湿地帯であった。昭和38・39年に造成された造成荷重によって昭和57年現在もなお沈下が続いている軟弱な地盤である。ボーリング調査等から、¹⁰⁵⁾ 測定地盤は概略次の5層に大別できる。

- (1) 最上部層 昭和39年当時に造成されたまき土層
- (2) 上部砂層 処々シルト分を多量に含む砂層。全体に小レキを含み各土層の粘度組成にはかなりのバラツキが認められる。
- (3) 上部粘土層 全体的に少量の貝ガラを含む軟弱な海成の粘土層で、昭和38・39年に造成された荷重により昭和57年現在も圧密が進行している。
- (4) 下部砂層 上部粘土層と基盤砂レキ層の中間層で、シルト分を含んだゆるい砂層。
- (5) 基盤レキ層

このうち、最上部層から下部層までが沖積層、下部砂層から基盤レキ層までが洪積層に大別できる。

§ 4 測定方法

常時微動の特性は昼間の交通あるいは工場の振動だけでなく、近くに建つ建物による影響も受ける可能性がある。また観測結果の妥当性を検討するにあたっては、地盤構成がある程度知れている方が望ましい。これ等の点を考慮して、測定地を図2に示す様に選定した。図中には既存ボーリング調査位置も併記されている。

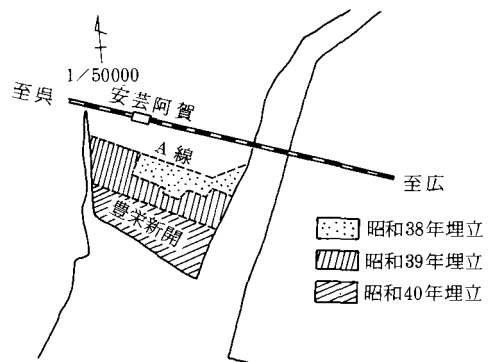


図1 観測地の造成模式図(文献105)による

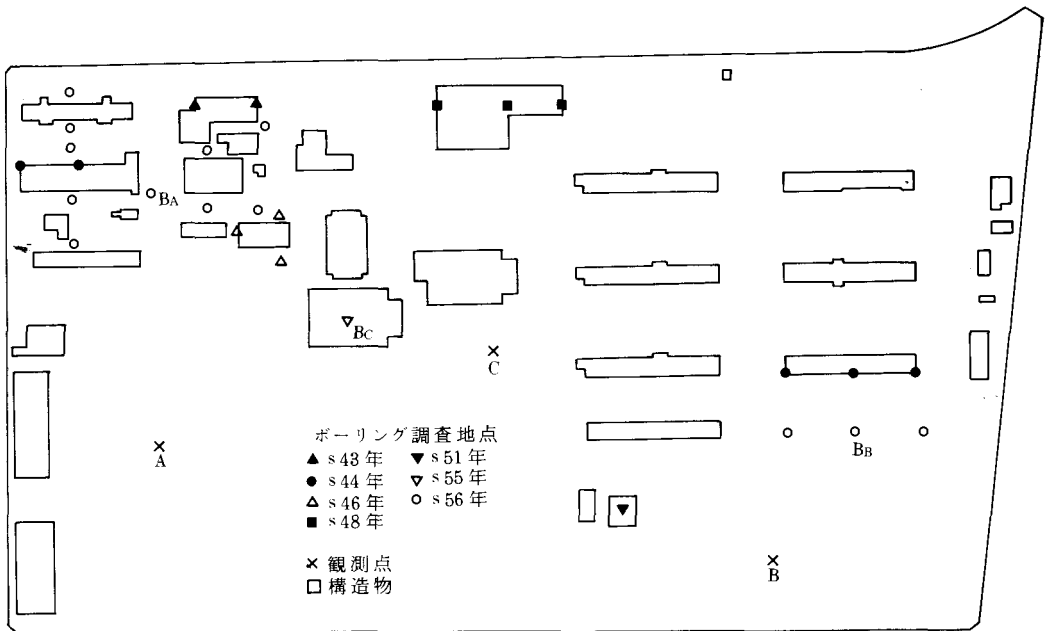


図2 観測地点

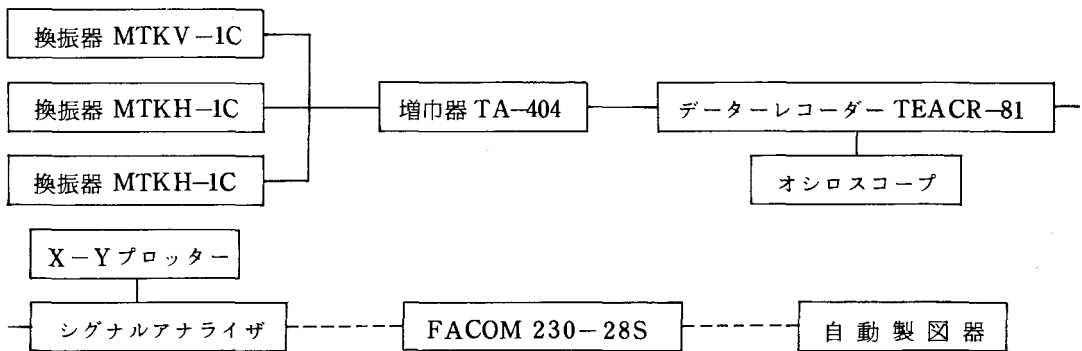


図3 観測・解析系

測定は昭和57年1月と2月に行った。風圧と降雨による影響を避けるため、測定日は風と降雨が無い日を選んだ。

微動の観測・解析系のブロックダイアグラムを図3に示す。換振器の固有周期は1秒で、速度比例型である。換振器と増巾器の総合周波数特性を図4に示した。周期1秒までは概ね平坦な感度を示すと見做せる。

観測に先立ち、使用計器及び解析装置の精度を検討しておく必要がある。まず、シグナルアナライザ

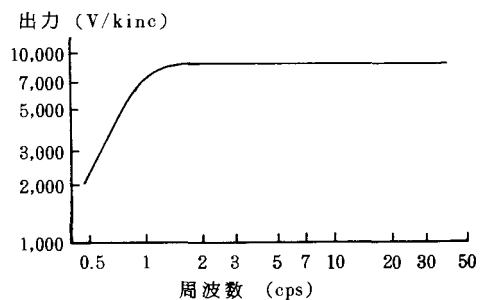


図4 換振器・増巾器の総合周波数特性

の精度について検討した。常時微動の卓越振動数（短周期）は1～10 cps程度と予想されるので、1cpsと10 cpsの正弦波を関数発生器によって発生させ、その正弦波をシグナルアナライザを使用して周波数分析した。この結果から、シグナルアナライザは十分信頼できることを確認した。次にデーターレコーダーの精度について検討した。データーレコーダーの最適テープスピードを知るため、テープスピードの変化に伴い、何の様に周波数特性が変わるかを調べた。1 cpsと10 cpsの正弦波を関数発生器で発生させ、これをデーターレコーダーに記録し、シグナルアナライザによって周波数分析する操作を4種のテープスピード（19.05 cm/sec, 9.50 cm/sec, 4.75 cm/sec, 2.375 cm/secに限定されている）について行った。更にシグナルアナライザによりフーリエ変換（FFTを使用）の分解能も検討するため、前述のデーターレコーダーの最適テープスピードを知るための操作と同じ手順で、サンプル間隔は一定にして、サンプル個数を512個と1024個に変えて解析した。これ等の結果から次のことが知れた。周波数については、1 cpsの場合はテープスピードが遅い方が良い。10 cpsについてはテープスピードによる差は認められない。振幅については1 cps, 10 cpsともテープスピードが速い方が良いようである。このことから、テープスピードが速くなるとピーク周波数に若干の不満が残る、逆にテープスピードが遅くなると振幅に不満が残るという点を考慮して、中間の値（9 cm/sec）を使用することにした。なお、解析個数の差による影響は認められなかったが、有限フーリエ変換の特性から、解析個数が多い方がより正確な値に近づくと思われ、解析個数は1024個とした。

観測時にあってはオシロスコープで入力電圧をモニターして、飽和状態にならないよう注意した。

卓越周期の推定に当っては、周期頻度解析とスペクトル解析が広く利用されているが、種々のスペクトル特性を有する波形のシミュレーション結果に拠れば、周期頻度解析はかなり大雑把な評価しかできないことが知れた。このため、測定波形を概観して比較的定常的な特性を示すと思われる区間約12.5秒

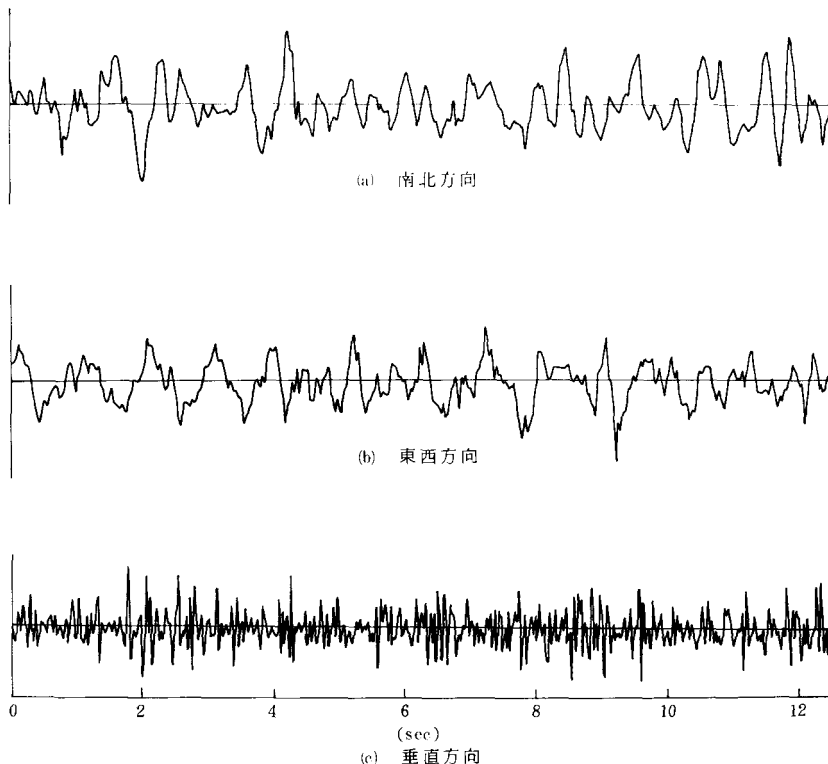


図5 観測波形（C地点，2月21日14時）

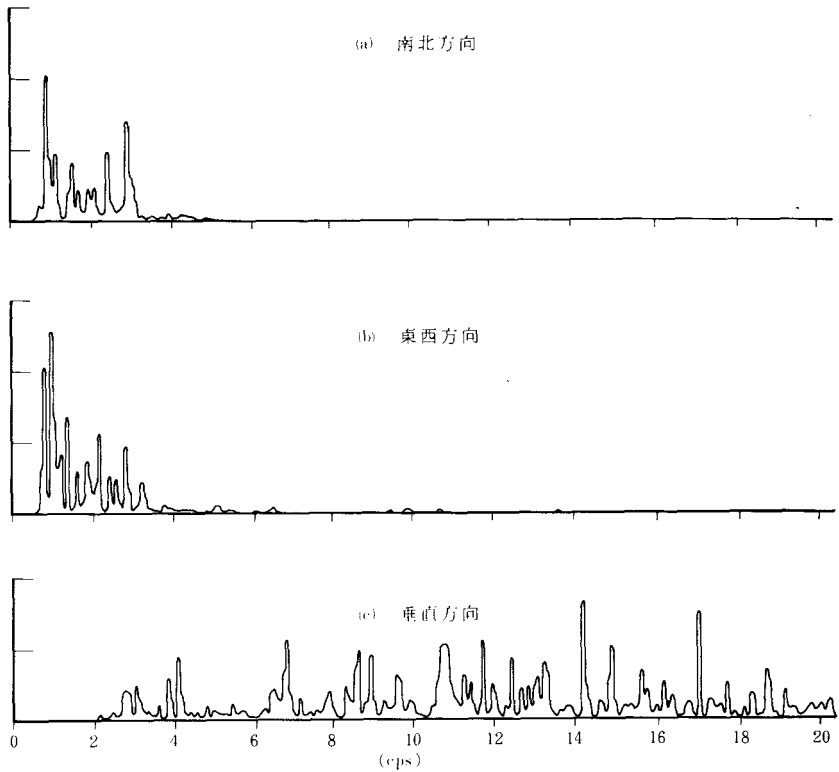


図6 パワースペクトル特性 (C地点, 2月21日 14時)

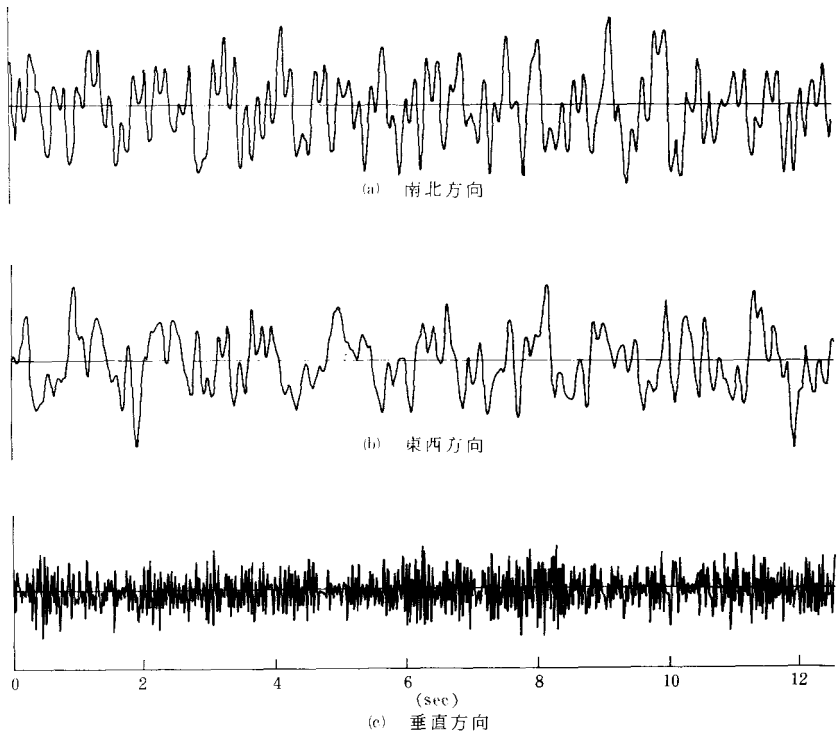


図7 観測波形 (C地点, 2月21日 2時)

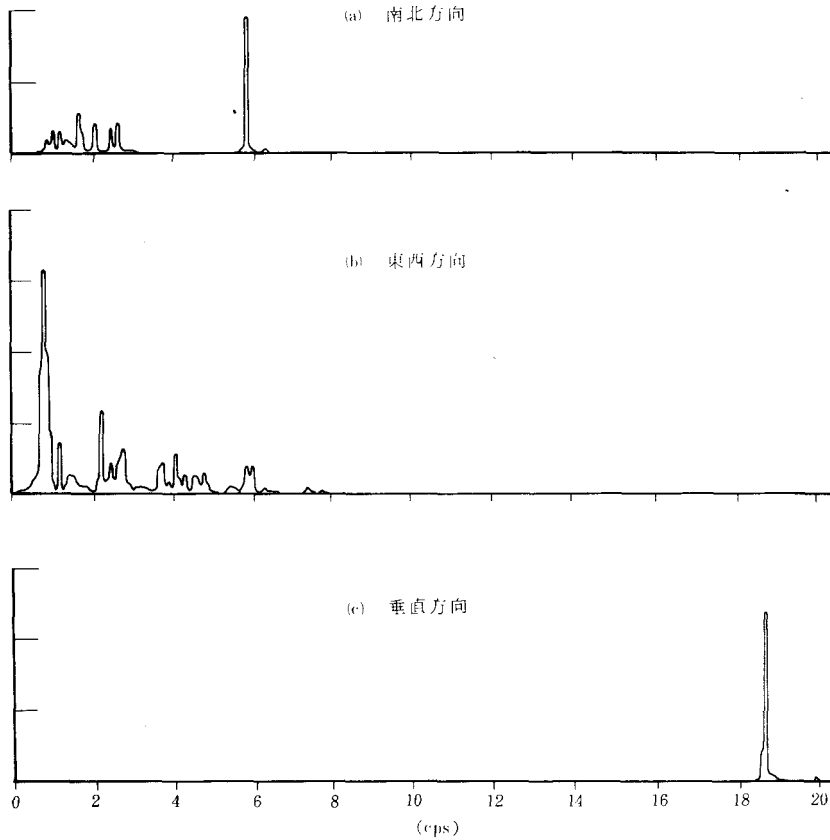
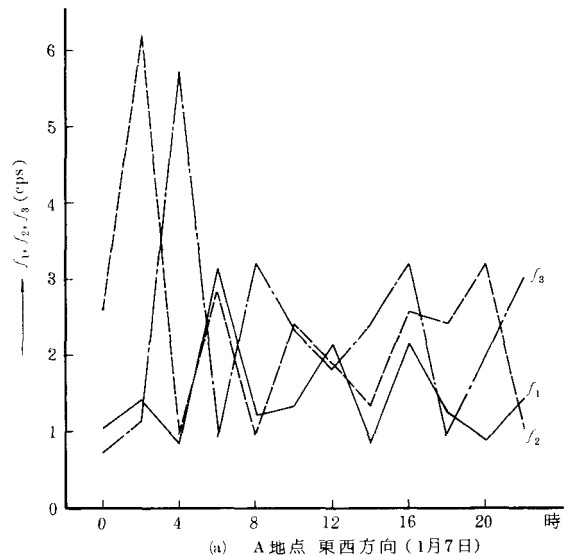


図8 パワースペクトル特性 (C地点, 2月21日 2時)

間を使用して、パワースペクトルを算出した。

§ 4 測定結果とその検討

観測例としてC地点(図2参照)の測定波形とそのパワースペクトルを図5から図8に示す。図5と図6に示す昼間の観測を観測方向について比較すると、水平方向は比較的類似したスペクトル形を示すが、上下方向はほとんど平坦なスペクトル特性を示し、水平方向と垂直方向ではスペクトル形が著しく異なる。同様の比較を図7と図8に示す夜中の観測について見ると、水平方向にあっては南北方向と東西方向ではかなり異なった周波数特性を示すことが知れる。同じ測定方向について、昼間の観測と夜中の観測を比較すると、夜中の観測に昼間の観測にはほとんど現われない短周期成分の卓越が認められる場合がある。特に上下方向にあっては、夜中の観測と



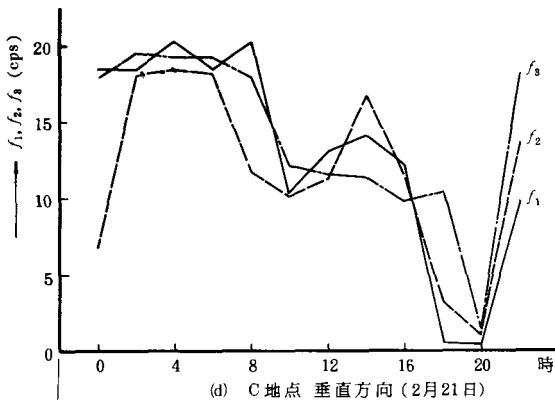
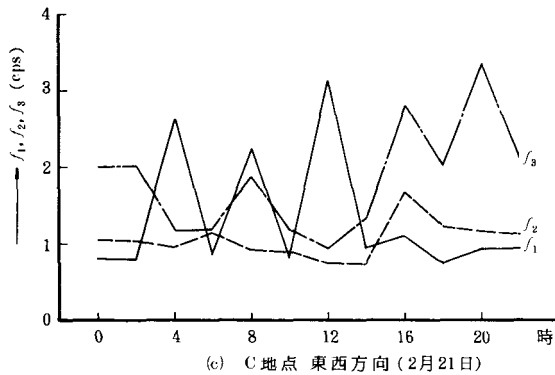
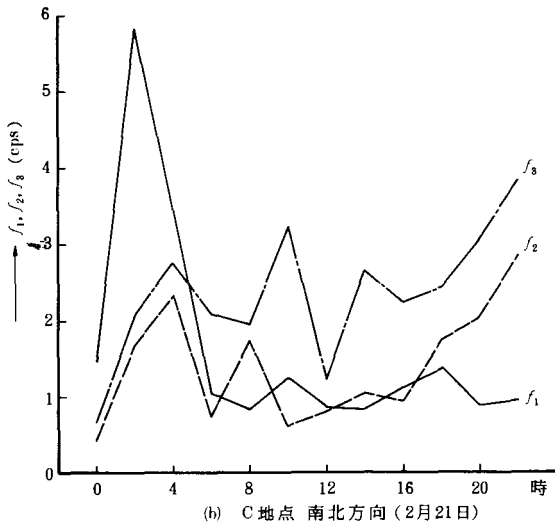


図9 卓越周波数の時間的变化

昼間の観測に類似性は認められない。すなわち、昼間のスペクトルは比較的平坦になるが、夜中のスペクトル形は単峰形となる場合がある。よく指摘されるように、夜中の方が単純なスペクトル形になることは認められる。

スペクトル形は昼夜でかなり変動することが知れたので、特に卓越周期が1日のうちで何の様に变化するかを示したものが図9である。図中に示す f_1, f_2, f_3 は各々パワースペクトルの最大ピーク、2番目に大きなピーク、3番目に大きなピークに対応する周波数である。図から各観測地とも f_1, f_2, f_3 は測定時間によってかなり変動するが、定性的な特徴が認められる。すなわち、水平方向にあっては測定時間に関係なく1 cps前後と2 cps付近、および3 cps付近で第1ピーク、第2ピーク、第3ピークの何れかが卓越する可能性が高いと言える。そこで測定時間に関係なく卓越する周波数付近だけの平均を取れば、A地点の東西方向は1.1 cpsと3.0 cpsで、B地点の南北方向は1.2 cpsと2.2 cps、東西方向では0.9 cpsと2.9 cps、C地点の南北方向では1.0 cpsと2.1 cpsとなる。一方垂直方向では f_1, f_2, f_3 の差異に比較して、測定時間帯による変動が著しいと言える。

§5 地盤の伝達特性

第 N 層(基盤)が無限下方まで続く平行成層地盤(図10参照)の下方から定常調和地動 $C_N e^{i\mu(t+x/N)}$ が入射したときの入射波と地表動の複素伝達関数 $H_M(p)$ は次式で与えられる。¹⁰⁸⁾

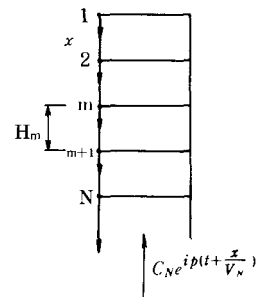


図10 地盤モデル

$$H_M(p) = \frac{2}{A_{11} + A_{12}} \quad (1)$$

ここで、

$$\begin{Bmatrix} A_{11} + A_{12} \\ A_{21} + A_{22} \end{Bmatrix} = [A_{N-1}] [A_{N-2}] \cdots [A_1] \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$$[A_m] = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(1 + \alpha_m) e^{i(\rho H_m / V_m)} & \frac{1}{2}(1 - \alpha_m) e^{-i(\rho H_m / V_m)} \\ \frac{1}{2}(1 - \alpha_m) e^{i(\rho H_m / V_m)} & \frac{1}{2}(1 + \alpha_m) e^{-i(\rho H_m / V_m)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\alpha_m = \rho_m V_m / \rho_{m+1} V_{m+1} \quad (4)$$

ρ_m と V_m は各々 m 層の密度とせん断波速度である。既存のボーリング資料^{105), 106), 107)} から、密度 ρ (表層の砂地盤については不明) と N 値が得られているので、 N 値からせん断波速度 V と砂地盤の ρ を推定する。

既往の研究結果から、 N 値と V の関係について次の実験式が報告されている。^{18), 103), 109)}

$$V = 19 N^{0.61} \quad (5)$$

$$V = 89.8 N^{0.344} \quad (6)$$

$$V = 90.5 N^{0.345} \quad (7)$$

これらの実験式を比較したものが図11である。図中には文献47), 49), 103) による実験・観測結果を比較のため併記した。(6)式と(7)式はほとんど同じのものであり、観測値の傾向と一致すると見做せる。従って、(6)式を基本とし、データーのバラツキを考慮して次式による推定値についても検討した。

$$V = 64.8 N^{0.344} \quad (8)$$

$$V = 79.8 N^{0.344} \quad (9)$$

$$V = 99.8 N^{0.344} \quad (10)$$

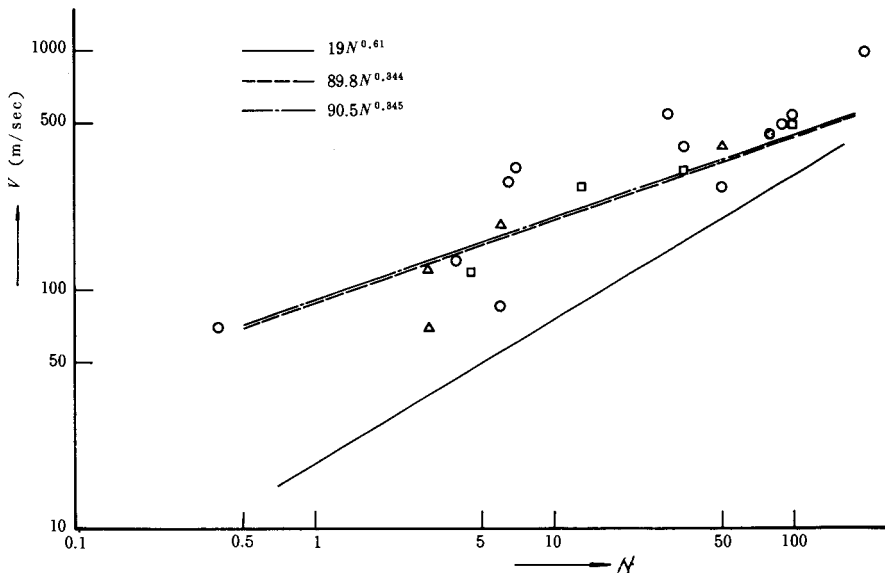


図11 せん断波速度 V と N 値の関係

$$V = 114.8 N^{0.344} \tag{11}$$

砂地盤の密度 ρ は次式を基本とし,

$$\rho = 1.662 + 0.106 \log N_{sw} \tag{12}$$

$$N_{sw} = 12 N$$

データーのバラツキを考慮して概ね上限と下限になる次式による推定値についても検討した。

$$\rho = 1.556 + 0.106 \log N_{sw} \tag{13}$$

$$\rho = 1.762 + 0.106 \log N_{sw} \tag{14}$$

既往のボーリング調査結果を参照し、 N 値が大きい安定した層を基盤として、それより上部は同質地質層で分解した。層の N 値が同質層で異なる場合は、その層内の平均 N 値から V 、 ρ を推定した。推定した V の例を図12に示した。

図13は表層砂地盤の密度 ρ によって周波数伝達特性がどのように変化するかを示したものである。図からわかるように、表層砂地盤の密度の推定誤差による影響はほとんど

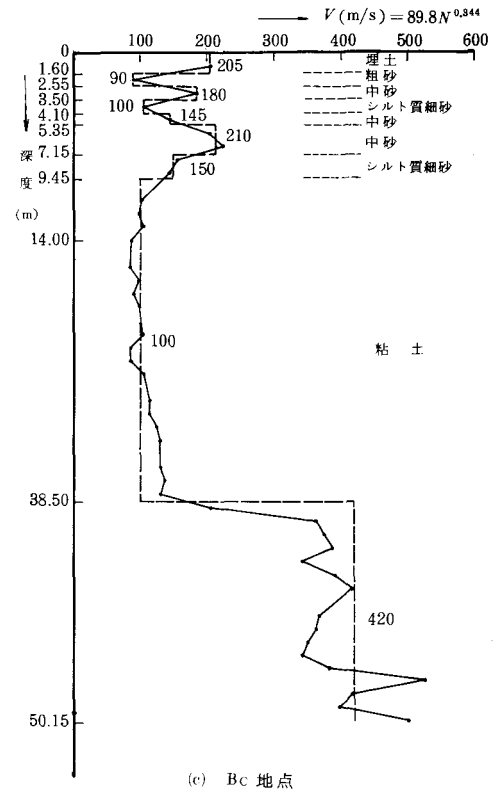
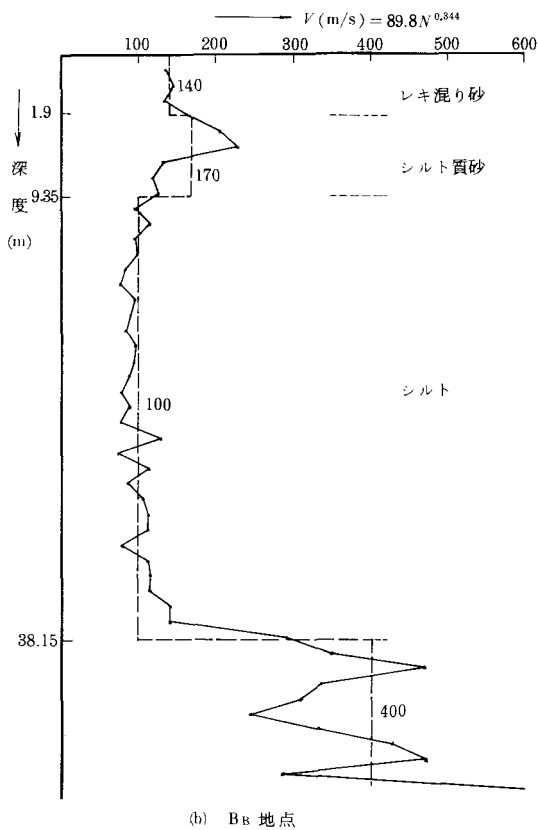
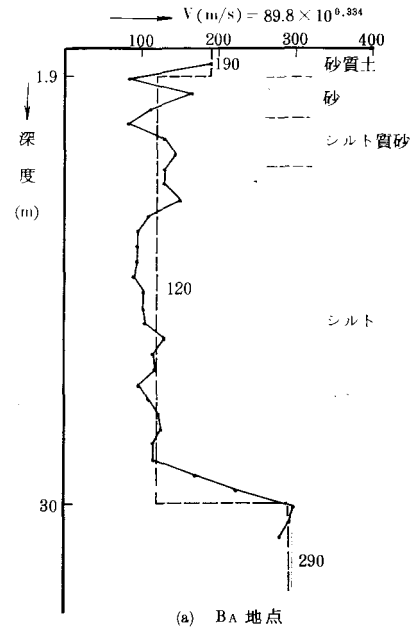


図12 Vの深度分布

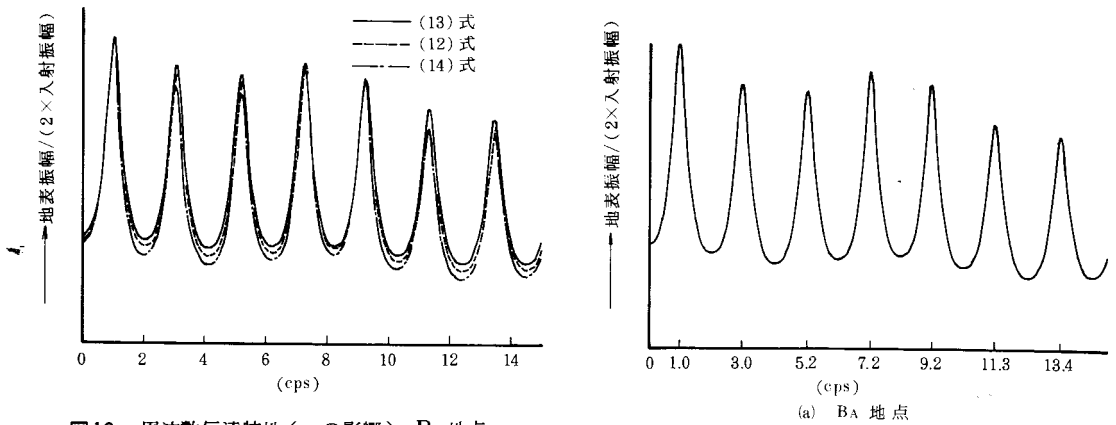


図13 周波数伝達特性 (ρ の影響), B_A 地点

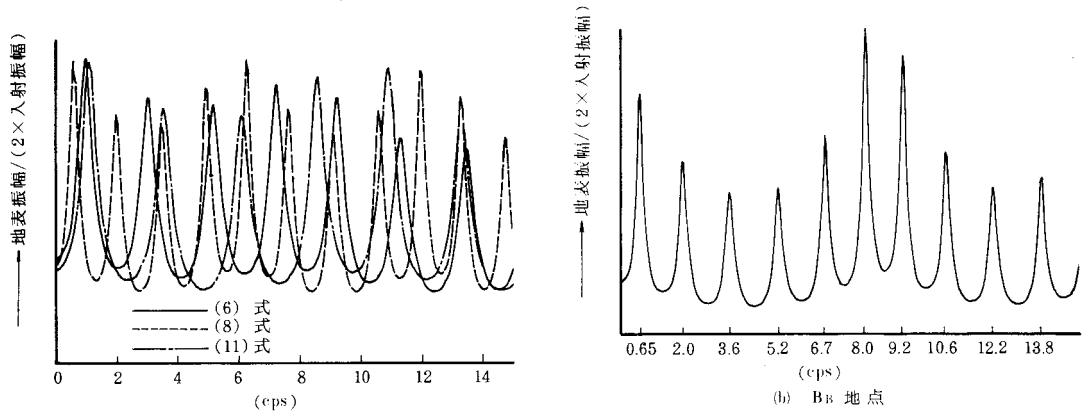


図14 周波数伝達特性 (V の影響), B_A 地点

無視できるようである。

次に図14はせん断波速度 V の変化が周波数伝達特性に及ぼす影響を示す一例である。本図から V の推定誤差による影響は大きく、波動理論を利用して地盤の増幅特性を算出する場合は、せん断波速度の推定が重要であると言える。

一般によく利用されている(6)式を使用して算出した各測定地の増幅特性を図15に示した。これらの特性と § 4 で得られた常時微動の卓越周期を比較して次のことがわかる。

- (1) A地点の常時微動に良く卓越する1.1 cpsと3.0 cpsの卓越周波数は、地盤増幅特性における1次及び2次の卓越周波数と殆んど一致する。
- (2) B地点の南北方向における2.2 cpsの卓越周波数は、地盤増幅特性における2次の卓越周波数に対応する。
- (3) C地点における1 cpsと2 cpsの卓越周期は、地盤増幅特性の1次及び2次の卓越周期に概ね一致する。南北方向の2時の測定にだけ見られる5.84 cpsの卓越周期は、地盤増幅特性においては4次の卓

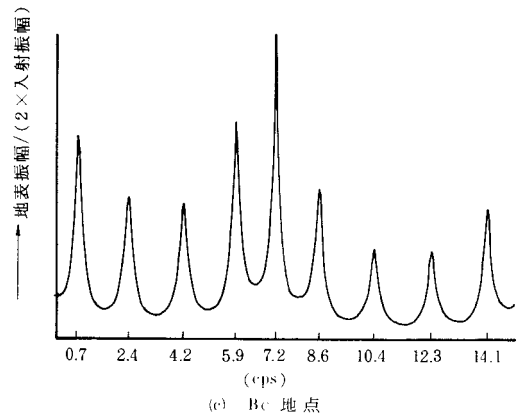


図15 周波数伝達特性

越周期に殆んど一致している。

§ 6 おわりに

建物の耐震設計に関連して、常時微動を利用して地盤の卓越周期を推定する目的で、常時微動の特性について検討したところ次の結果が得られた。

- (1) 常時微動の全体的周波数特性は観測時間によって著しく変動するが、測定時間に関係なくしばしば卓越する周期が認められる場合がある。
- (2) この周期と地盤の増幅特性における卓越周期は比較的良く対応する。
- (3) 常時微動は著しく変動するので、信頼できる資料を得るには、少なくとも数回は観測が必要である。

謝 辞

本研究にあたり建築学科西村光正氏、藤井 建氏、電気工学科広光清次郎氏、吉野信行氏から多くの貴重なご教示をいただいた。ここに深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 井上宇胤：地表と地中との地動の比較，地震研究所集報，12(1934)
- 2) 石本巳四雄：東京地方微動の観測，地震研究所集報，15(1937)
- 3) D. S. Carder and M. H. Gilmore : Ground Vibrations, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 35, 1945
- 4) K. Aki : Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves with Special Reference to Microtremors, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 35(1957)
- 5) 友田好文，安芸敬一：変磁界型微動振動分解器による局部的土地微動の周期分析，地震，5(1952)
- 6) 安芸敬一：2台の地震計の間の相関係数を計算するデカトロン計算器，地震，9巻，昭和31年3月
- 7) K. Kanai, T. Tanaka and K. Osada : Measurement of the Micro-tremor. I., Bulletin of the Earthquake Research Institute, 32(1954)
- 8) 金井 清，田中貞二，長田甲斐男：常時微動の測定結果 第2報(東京都内Ⅲ)，地震研究所集報，35(1957)
- 9) 金井 清，田中貞二，長田甲斐男：同 上 第3報(横浜市内)，地震研究所集報，35(1957)
- 10) 金井 清，那須信治，田中貞二，長田甲斐男：同 上 第4報(庄内地方)，地震研究所集報，35(1957)
- 11) 金井 清，河角 広，田中貞二，長田甲斐男：同 上 第5報(大阪市内)，地震研究所集報，35(1957)
- 12) 金井 清，田中貞二，森下利三，中川恭次：同 上 第6報(一宮市内)，地震研究所集報，35(1957)
- 13) 金井 清，田中貞二，長田甲斐男：同 上 第7報(川崎市内)，地震研究所集報，35(1957)
- 14) K. Kanai and T. Tanaka : On Microtremors. VII, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 39 (1961)
- 15) 金井 清，岩津 潤，中川恭次：一宮の地盤調査と地盤震度図，日本建築学会論文報告集，第54号(大会号)，昭和31年9月
- 16) 金井 清，田中貞二，長田甲斐男：常時微動による構造物耐震上の地盤係数を求める方法の研究，日本建築学会論文報告集，第54号(大会号)，昭和31年9月
- 17) 金井 清：常時微動測定法とその意義，建築雑誌，昭和37年
- 18) 金井 清：地震動の卓越周期について，地震工学国内シンポジウム講演集，1962年11月
- 19) 鳥海 勲，木村栄一：常時微動の測定とスペクトル分析，日本建築学会論文報告集号外，昭和40年9月
- 20) 鳥海 勲：住宅公団アパートの固有振動数集団計測，日本建築学会論文報告集，第116号，昭和40年10月
- 21) 鳥海 勲：住宅公団アパートの固有振動数と地盤との関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和43年10月
- 22) 大場新太郎，鳥海 勲：大阪平野の振動特性に関する研究一固有周期10秒の換振器による微動測定一，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和46年11月

- 23) 大場新太郎, 村井和雄: 中低層建築物の動特性とその周辺地盤の振動性状について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和47年10月
- 24) 大場新太郎: 泉北ニュータウンにおける地盤と公団アパートの微動計測, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 昭和47年6月
- 25) 大場新太郎, 鳥海 勲: 公団アパート建物の建設段階における振動特性の変化について, 日本建築学会論文報告集, 第227号, 昭和50年1月
- 26) 大場新太郎: 大阪平野の震動特性について, 第4回地盤震動シンポジウム, 1976年1月
- 27) 大場新太郎: 常時微動測定による中低層建物の振動特性—地盤条件および基礎形式の相違が固有周期に及ぼす影響—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和53年9月
- 28) 赤松 敬: 微動について, 地震, 第9巻, 昭和31年7月
- 29) 赤松 敬: 微動についてⅡ, 地震, 第11巻, 昭和33年2月
- 30) K. Akamatu: On Microseisms in Frequency Range from 1 c/s to 200 c/s, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 39(1961)
- 31) E. Shima: Modifications of Seismic Waves in Superficial Soil Layers as Verified by Comparative Observations on and beneath the Surface, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 40(1962)
- 32) A. Allam and E. Shima: An Investigation into Nature of Microtremors, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 45(1967)
- 33) 高野 敬, 萩原尊禮: 深井戸地震計による観測(第一報), 地震研究所彙報, 第44号, 1966年
- 34) 高野 敬, 萩原尊禮: 同上(第二報), 地震研究所彙報, 第46号, 1968年
- 35) G. E. Frantti, D. E. Willis and J. T. Wilson: The Spectram of Seismic Noise Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 52, No. 1, 1962
- 36) E. J. Douze: Rayleigh Waves in Short-Period Seismic Noise, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 54, No. 4, 1964
- 37) E. J. Douze: Noise Attenuation in Shallow Holes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 56, No. 3, 1966
- 38) E. J. Douze: Short-Period Seismic Noise, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 57, No. 1, 1967
- 39) I. N. Gupta: Standing-Wave Phenomena in Short-Period Seismic Noise, Geophysics, Vol. XXX, No. 6, 1965
- 40) S. S. Tegian: Microtremor Studies in Adapazari, Turkey, V. W. C. E. E., Vol. 1, 1974
- 41) 松浦 誠: 地盤型と常時微動(I アプローチ), 日本建築学会中国支部研究報告集, 昭和41年度第1回発表会, 昭和41年9月
- 42) 酒井良男, 青木武志, 川治正則: 釧路市に於ける地盤と構造物に対する広尾沖地震の応答に関する調査研究(第2報 構造物の振動実験と常時微動について) 日本建築学会北海道支部研究報告集, 昭和40年3月
- 43) 酒井良男, 青木武志: 地盤の常時振動と地震動についての2~3の観測例, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 昭和40年3月
- 44) 酒井良男, 長能正武: 札幌市に於ける常時微動測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和48年10月
- 45) 渡辺清治, 角田智彦: 松代地方の常時微動と地震動, 日本建築学会論文報告集号外, 昭和41年10月
- 46) 角田智彦: 常時微動と自然地震動の相関性(松代地震その他の計測より), 大林組技術研究所報, No. 1, 昭和41年
- 47) 瀬尾和大, 此上典文, 角田智彦, 渡辺清治, 中川恭次: 東松山地震における基盤入力波の特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和47年10月
- 48) 中川恭次, 渡辺清治, 角田智彦, 瀬尾和大, 此上典文: 東松山地震の強震記録を用いた地震動と地盤の動的特性に関する研究(設計入力波を効果的に与えるための予備的研究), 大林組技術研究所報, No. 6, 昭和47年
- 49) 角田智彦, 瀬尾和大, 此上典文: 設計入力地震波へのアプローチ(その1. 地震調査その他), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和48年10月
- 50) 角田智彦, 瀬尾和大, 此上典文: 同上(その2. 地震観測), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和

48年10月

- 51) 角田智彦: 常時微動と地震動の特性比較, 第2回地盤震動シンポジウム資料集, 1973年11月
- 52) 高宮正一, 川治正則: 札幌市の常時微動測定結果について, 日本建築学会北海道支部第23回研究報告, 昭和42年
- 53) 広野卓蔵, 末広重二, 吉田美佐夫, 小出 馨: 地中地震計によるバックグラウンドノイズの研究(第1報), 気象研究所研究報告, 第19巻, 昭和43年7月
- 54) 広野卓蔵, 末広重二, 吉田美佐夫, 佐藤 馨: 同上(第II報), 気象研究所研究報告, 第20巻, 昭和47年7月
- 55) 田中貞二, 長田甲斐男: 八戸市内の各種地盤上における十勝沖地震の余震および常時微動の観測結果, 地震研究所彙報, 第46号, 1968年
- 56) 斎藤幸雄, 若林嘉津雄, 川村政美, 大沢 胖, 田中貞二: 地震観測などによるポートアイランド地盤のモデル化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和47年10月
- 57) 田中貞二: 常時微動と地震動の周期特性比較, 第2回地盤震動シンポジウム資料集, 1973年11月
- 58) 田中貞二, 吉沢静代: 強震地動に含まれる地盤特性, 第4回日本地震工学シンポジウム講演集, 1975年11月
- 59) 山原 浩: 地盤の周波数特性と選択度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和44年8月
- 60) 山原 浩: 地盤の周波数特性と建物の地震被害, 日本建築学会論文報告集, 第165号, 昭和44年11月
- 61) 山原 浩: 常時微動と地震の特性比較, 第2回地盤震動シンポジウム資料集, 1973年11月
- 62) 野越三雄, 五十嵐 享: 微動の伝播性, 地震, 第2輯第23巻(1970)
- 63) 野越三雄, 五十嵐 享: 微動の振幅特性(その1), 地震, 第2輯第23巻(1970)
- 64) 野越三雄, 西条忠泰, 山下四郎, 乗富一雄: 地盤振動の基礎調査—八郎潟の例(1)—, 秋田大学地研報告, 34, 1966
- 65) 野越三雄, 乗富一雄: 地盤振動の基礎調査(第三報), 秋田大学教育学部研究紀要, 19, 1968
- 66) 本谷義信: 地表の微動について, 北大地物研究報告, 9, 1962
- 67) 中島直吉: 常時微動の解析法に関する研究(2~3の基礎的性質について), 建築研究報告, 第70号
- 68) 中島直吉: 地震工学研修に関する研究(常時微動の振巾特性について), 昭和46年度建築研究所年報
- 69) 表 俊一郎, 中島直吉, 小林直太: 地盤の常時微動と地下構造についての1考察, 物理探鉱, 第25巻第5号, 昭和47年10月
- 70) 中島直吉: 常時微動の解析法(地盤の常時微動と地下構造についての1考察), 昭和47年度建築研究所年報
- 71) 中島直吉: 常時微動の解析法(地下構造と常時微動の関係について), 昭和48年度建築研究所年報
- 72) 中島直吉: 常時微動の解析法(地下構造の単純化について), 昭和49年度建築研究所年報
- 73) 中島直吉: 常時微動の時間的推移, 昭和50年度建築研究所年報
- 74) 中島直吉: 同上, 昭和51年度建築研究所年報
- 75) 中島直吉, 大塚道男: 常時微動の発生機構とその工学的応用, 昭和53年度建築研究所年報
- 76) 村田洋治: 常時微動の解析法(常時微動の工学的利用について), 昭和47年度建築研究所年報
- 77) 鏡味洋史, 小林啓美: 地盤の震動性からみた地区計画(地盤常時微動と建築物周期の分布), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和46年11月
- 78) 太田 裕, 鏡味洋史, 工藤一嘉: 1~5sec微動について—八戸における観測とその工学的意味—, 第4回地震工学シンポジウム講演集, 1975年11月
- 79) 小林啓美, 小林喜久二: 地盤のやや長周期微動にみられる地盤特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和52年10月
- 80) 小林啓美, 光用 薫: 人工的な振動源によって引き起こされる常時微動のやや長周期領域での応用限界, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和52年10月
- 81) 鏡味洋史, 堀田淳: やや長周期微動の耐震工学上の意味とその観測のあり方, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和53年9月
- 82) K. Kobayashi and H. Kobayashi: Nature of Microtremors in Wide Period Range Depends on Ground Characteristics, Proceeding of the Fifth Japan Earthquake Engineering Symposium, 1978, 11

- 83) 竹内盛雄, 古藤田喜久雄, 森岡敬樹: 大手町における地中地震観測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和46年11月
- 84) 那須信治, 竹内盛雄, 森岡敬樹, 山田 真, 高橋一夫: 常時微動測定に基づく埋立て造成地盤の振動性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和53年9月
- 85) 堯天義久, 水畑耕治, 福住忠裕, 汚田高志: 断層・破碎帯近傍地表の常時微動について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和49年10月
- 86) 堯天義久, 水畑耕治, 福住忠裕, 藤本康和: 海洋埋立地盤の振動性状について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和51年10月
- 87) 森井 孝, 水野雅文, 町田重美, 山岡英明: 地盤の常時微動及び表層地盤除去に伴う常時微動の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和48年10月
- 88) 安東 安, 多賀直恒, 木股信男: 名古屋地盤の振動特性一解析と常時微動の実測一, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和49年10月
- 89) 多賀直恒, 宮崎 正: 常時微動計測に依る地盤・構造物の振動特性と推定ダメージ, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和51年10月
- 90) 多賀直恒, 宮崎 正: 濃尾平野の振動特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和52年10月
- 91) 多賀直恒, 宮崎 正, 浅野利二郎: 濃尾平野の振動特性(2)一直交二測線微動計測による卓越周期と地下構成および波動特性一, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和53年9月
- 92) 多賀直恒, 宮崎 正: 濃尾平野の長・短周期特性, 第5回日本地震工学シンポジウム講演集, 1978年11月
- 93) 多賀直恒, 宮崎 正: 濃尾平野の振動特性(3), 一洪積地盤上における定点長期微動計測一, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和54年9月
- 94) 多賀直恒, 浅野利三郎, 小島時和: 地中・地表の地震動観測及び常時微動計測による地盤振動性状(その2. 常時微動計測), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和54年9月
- 95) 多賀直恒, 富樫 豊, 飯場正紀: 常時微動計測による群杭地盤の振動特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和54年9月
- 96) 多賀直恒, 宮崎 正: 濃尾平野の振動特性(4)一地下構造が異なる3サイトでの同時微動観測一, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和55年9月
- 97) 多賀直恒, 富樫 豊: トリパータイト観測による平野の微動の伝播性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和55年9月
- 98) 入倉孝次郎: 雑微動の性質と地盤構造, 第4回日本地震工学シンポジウム講演集, 1975年11月
- 99) K. Irikura and T. Kawanaka: Characteristics of Microtremors in a Ground with Steeply Varing Structure, Proceeding of the Fith Japan Earthquake Engineering Symposium, 1978, 11
- 100) 島 垣: 地震波スペクトルにおける地表層の影響について, 第4回日本地震工学シンポジウム講演集, 1975年11月
- 101) 浜保文雄: 常時微動の多数観測の結果について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和51年10月
- 102) 浜保文雄: 常時微動に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和55年9月
- 103) 玉松健一郎, 芹澤岩治: 中央区勝どきにおける地盤の動的特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和51年10月
- 104) 中村嵩喜男: 野球場におけるスタンドとグラウンドの常時微動測定について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和53年9月
- 105) 上田 宏: 呉工業高等専門学校第2体育館用地地質調査, 昭和55年8月
- 106) 水利工業: 呉工業高等専門学校寄宿舎新営地盤調査, 昭和55年11月
- 107) 復建調査設計: 呉工業高等専門学校地質調査工事報告書, 昭和56年3月
- 108) 柴田明徳: 最新耐震構造解析, 森北出版, 1981年6月
- 109) 土質工学会: 大阪地盤

(昭和57年4月15日受付)

⑤ 晋の韓氏と晋王室とは同姓、宋の楽氏と宋王室とは同姓であることをいう。

〔傳〕 公命以字爲展氏

〔注〕 諸侯之子稱公子、公子之子稱公孫、公孫之子以王父字爲氏、無駭公子展之孫、故爲展氏

(未完)

(昭和五十七年四月十五日受付)

杜預注に「称字者貴之」とある。

①⑨ 仲遂 宣公八年経に「辛巳、有事于大廟、仲遂卒于垂」とあり、杜預注に「称字時君所嘉、無義例」とある。

②⑩ 叔胙 宣公十七年経に「冬、十有一月壬午、公弟叔胙卒」とあり、杜預注に「伝例曰、公母弟也」とある。

②⑪ 杜（預）注 注①⑨参照。

②⑫ 蕩伯姬 僖公二十五年経に「宋蕩伯姬来逆婦」とあり、杜預注に「伯姬魯女、為宋大夫蕩氏妻也」とある。

②⑬ 叔孫氏 莊公三十二年伝に「（公子牙、叔牙）婦及達泉而卒、立叔孫氏」とある。

②⑭ 臧喜伯 臧喜伯は臧氏の始祖の公子彊のことである。隠公五年経・伝に見える。杜預注に「傳、諡也」とある。

②⑮ 臧哀伯 臧哀伯は、公子彊の子の臧孫達のことである。桓公二年伝に見える。

②⑯ 叔孫戴伯 叔孫戴伯は、公子牙の子の公孫茲のことである。僖公四年伝に見える。杜預注に「戴、諡也」とある。

②⑰ 『世本』 本疏引。

②⑱ 劉炫 本疏引。

②⑲ 『世本』 本疏引。

③⑰ 杜（預） 注④参照。

③⑱ 沈（文阿） 本疏引。

〔傳〕 官有世功、則有官族、邑亦如之

〔注〕 謂取其舊官・舊邑之稱以為族、皆稟之時君

〔疏〕 注謂取（時君

正義に曰はく、「舊官」とは晉の士氏の若きを謂ふ。「舊邑」とは韓・魏・趙氏の若し。是れ君の賜に非ざれば則ち族と爲すを得ず。其の官・邑に居ること公命を待たざるを嫌ふが故に（杜預注に）「皆な之を時君に稟く」と云ふ。此れ同姓・異姓皆な然るを謂ふなり。服虔、止だ「異姓」と謂ひ、又た宋の司城・（晉の）韓・魏を引きて證と爲す。韓と司城とは異姓に非らず。司城は又た自ら樂氏と爲して、司城を以て族と爲さざるなり。

① 晉の士氏 士氏は後に范氏となる。『国語』晋語・八に「宣子問於警祐、警祐対曰、昔隰叔子違周難於晋国、生子興為理」とあり、韋昭注に「隰叔、杜伯之子、違避也、宣王殺杜伯、隰叔避害適晋、子興、士蔭之字、理、士官也」とある。

また襄公二十四年伝に「春、穆叔如晋、范宣子（士匄）逆之、問焉曰、古人有言曰死而不朽、何謂也、穆叔未対、宣子曰、昔匄之祖、自虞以上為陶唐氏、在夏為御龍氏、在商為冢韋氏、在周為唐杜氏、晋主夏盟為范氏、其是之謂乎」とある。

② 韓・魏・趙 閔公元年伝に「晋侯作二軍、公將上軍、太子申生將下軍、趙夙御戎畢萬為右、以滅耿、滅霍、滅魏、還為大子城曲沃、賜趙夙耿、賜畢萬魏、以為大夫」とあり、魏のことが見えている。

③ 服虔 本疏引。

④ 司城 宋の樂氏は戴公に出自するが、六世孫の樂喜に至って司城を名のっている。樂氏の世系を示すと左のようになる。

樂父術——碩父沢——夷父須——樂呂——西郷曹——

樂喜——樂祁——樂濶——樂伐
（司城子罕）（司城子梁）（子明）（司城伐）

とあり、『春秋釈例』世族譜第四十五之下の衛國・齊氏の項に「齊子、昭伯子也、齊子無子、戴公以其子惡為之後、齊惡、齊子四世孫」とある。

② 宋の戴惡 昭公八年伝に「九月、楚公子弃疾帥師奉孫吳圍陳、宋戴惡會之」とある。

③ 劉君 劉炫『春秋規過』、本疏引。

④ 華督 桓公二年伝に「宋督攻孔氏、殺孔父而取其妻、公怒、督懼、遂弑殤公、君子以督為有無君之心、而後動於惡、故先書弑其君、會于稷以成宋乱、為賂故立華氏也」とあり、杜預注に「督未死而賜族、督之妄也」とある。

⑤ 『釋例』 『春秋釈例』氏族例第八に見える。

⑥ 鄭の祭仲 桓公十一年経に「宋人執鄭祭仲」とあり、杜預注に「祭氏、仲名也」とある。また「伝」には「初祭封人仲。足有寵於莊公、莊公使為卿、為公娶鄧曼、生昭公、故祭仲之立」とあり、杜預注に「祭鄭地也、陳留長垣東北有祭城、封人守封疆者也、因以所守為氏也」とある。

⑦ 「檀弓」 『礼記』檀弓・上に「幼名、冠字、五十以伯仲、死諡、周道也」とあり、「曲礼」上には「男子二十冠而字」とある。

⑧ 服虔 本疏引。

⑨ 鄭の子人 桓公十四年経に「鄭伯使其弟語來盟」と、「伝」に「鄭子人來尋盟、且修曹之會」とあり、杜預注に「子人即弟語也、其後為子人氏」とある。

⑩ 桓（公）十四年 注⑨参照。

⑪ 慶父に「仲」、叔牙に「叔」をつけている例は、莊公八年伝に「夏、師及齊師圍郕、郕降于齊師、仲慶父請伐齊師」、莊公三十二年伝に「公疾、問後於叔牙、對曰、慶父材、……」

冬、十月己未、共仲使國人舉賊子股于党氏」（杜預注、共仲慶父）とある。

慶父と叔牙は同母弟で莊公とは異母弟であることは、莊公二年経「夏、公子慶父帥師伐於餘丘」の杜預注に「莊公時年十五、則慶父莊公之庶兄也」とあり、莊公三十二年経「秋、七月癸巳、公子牙卒」の杜預注に「牙、慶父同母弟僖叔也」とある。また『春秋釈例』母弟例第四に「叔牙称慶父材、疑是同母弟也」とある。

⑫ 叔肸 叔肸について「孫」をつけた名称はないが、叔肸の子の子叔嬰齊については公孫嬰齊（「経」のみで「伝」には見えない）の名称が見える。

⑬ 臧氏に「孫」をつけた人物に臧孫達、臧孫辰、臧孫許、臧孫紇がいる。

⑭ 成（公）十四年 成公十四年経に「秋、叔孫僑如如齊逆女」とあり、「伝」に「秋、宣伯如齊逆女、称族、尊君命也」とある。

⑮ 僑如 注⑭の「経」に続いて「九月、僑如以夫人婦姜氏至自齊」とあり、「伝」に「九月、僑如以夫人婦姜氏至自齊、舍族、尊夫人也、故君子曰、春秋之称微而顯、志而晦、婉而成章、尽而不汙、懲惡而勸善、非聖人誰能修之」とある。

⑯ 宣（公）元年 宣公元年経に「公子遂如齊逆女、三月、遂以夫人婦姜至自齊」とあり、「伝」に「公子遂如齊逆女、尊君命也、三月、遂以夫人婦姜至自齊、尊夫人也」とある。

⑰ 叔孫得臣 叔孫得臣は魯の桓公の曾孫に当たり、宣公五年に卒した記事があるが、文公元年、三年、十一年経に「叔孫得臣」として見えている。

⑱ 季友 僖公十六年経に「三月壬申、公子季友卒」とあり、

案ずるに、鄭の子人は鄭の厲公の弟なり。桓（公）十四年の「鄭伯、其の弟語をして來たりて盟はしむ」とは、即ち其の人なり。而るに其の後に子人氏と爲りて仲・叔を以て氏と爲さざれば、則ち服（虔）の「公の母弟は長幼を以て氏と爲す」と言ふは、其の事未だ必ずしも然らざるなり。杜（預）以へらく、慶父・叔牙と莊公とは母を異にすれば、自然、仲・叔は母弟の族に非ざるなりと。其の或ひは二十の字を以てし、或ひは長幼の字を以てするは、蓋し時君の命より出づるなり。叔肸に叔を稱して孫を稱せず、而して三桓（孟孫氏・叔孫氏・季孫氏）に皆な孫を稱すれば、俱に長幼の字を氏とするも自づから同じからざるなり。臧氏は孫を稱し、展氏は孫を稱せざれば、俱に二十の字を氏とするも自づから同じからざるなり。然らば則ち孫を稱すると孫を稱せざるとは、蓋し其の家の意に出で、未だ必ずしも君の賜に由らざるなり。

「字を以て族と爲す」とは、公の會孫にして王父の字を以て族と爲すを謂ふなり。諸侯の子は公子と稱し、公子の子は公孫と稱す。公子・公孫は公に繋くるの常言にして、族に非ざるなり。其の或ひは貶責すれば則ち亦た族と同じきなり。成（公）十四年「叔孫僑如、齊に如きて女を逆ふ」の「傳」に曰はく、「族を稱するは君命を尊べばなり」と。「僑如、夫人婦姜氏を以て齊より至る」の「傳」に曰はく、「族を舍つるは夫人を尊べばなり」と。宣（公）元年に「公子遂、齊に如きて女を逆ふ。遂、夫人を以て至る」とあるは、事は僑如と正に同じきなり。其の「傳」に直ちに「君命を尊べばなり」、「夫人を尊べばなり」と云ふのみにて、「族を稱す」、「族を舍つ」と言はず。既に氏族に非ざれば君の賜を待たずして自ら之を稱するなり。

公孫の子に至りては復た「公會孫」と稱するを得ず。無駭の輩如きは直ちに名を以て行ひ、其の死するに及んでや則ち之に族を

賜ひ、其の王父の字を以て族と爲すなり。此の無駭は是れ公の會孫なり。公の會孫なれば必ず須らく族有るべし。故に會孫に據りて文を爲し、王父の字を以てするを言ふのみ。公の會孫は正法にては死後に族を賜はるも、亦た未だ死せずして則ち族有る者有り。則ち叔孫得臣、是れなり。公子・公孫は身に於いては必ず族を賜はるの理無し。

「經」に季友・仲遂・叔肸を書するは、皆な是れ字を以て名に配し、之を連言するなり。故に杜（預）注に並びに「字なり」と云ふ。其の蕩伯姬は公子蕩の妻なるも、公子伯姬と言ふべからざるが故に夫の字に繋けて蕩伯姬と言ふ。蕩は當時の氏に非ざるなり。其の「傳」に「叔孫氏を立つ」と云へば、臧孫伯・臧哀伯・臧孫戴伯の徒は、皆な傳家、後に據りて之を追言するのみ。其の公孟彘は、「世本」に以爲へらく、「靈公の子、字は公孟、名は彘なり」と。季友・仲遂と相似て、俱に字を以て名に配す。劉炫此の旨に達せずして妄りに杜（預）の過を規すは非なり。必ず劉（炫）の解の如くんば、生きながら族を賜はるの文の證は何處に在るや。其の公の會孫・玄孫以外爰及び異姓、新たに升りて卿と爲りて君之に族を賜ふこと有り。蓋し此の卿の字を以て即ち此の族と爲すなり。案ずるに、「世本」に「宋督は是れ戴公の孫、好父説の子なり。華父は是れ督の字なり」と。計るに、督は是れ公孫なるのみ。未だ族を賜はるべからず、應に死後に其の子、乃ち族を賜はるべし。故に杜（預）、「督未だ死せずして族を賜はるは督の妄なり」と云ひ、沈（文阿）も亦た「督の子にして方めて族有るべきのみ」と云ふ。

① 衛の齊惡 昭公元年経に「楚公子圍・齐国弱・宋向戌・衛齊惡・陳公子招・蔡公孫帰生・鄭罕虎・許人・曹人于虢」

⑪ 魯の挾 隠公九年経に「挾卒」とある。

⑫ 鄭の宛 隠公八年経に「鄭伯使宛來歸訪」^①とある。

⑬ 華督 桓公二年伝に「宋督攻孔氏、殺孔父而取其妻、公怒、督懼、遂弑殤公、君子以督為有無君之心、而後動於惡、故先書弑其君、会于稷以成宋乱、為賂、故立華氏也」とある。

⑭ 魯の釐 隠公四年経に「秋、釐師会宋公・陳侯・蔡人・衛人伐鄭」とある。

⑮ 挾 注⑪参照。

⑯ 柔 桓公十一年経に「柔会宋公于夫鐘」とある。

⑰ 溺 莊公三年経に「溺会齊侯伐衛」とある。

⑱ 士會の帑 文公十三年伝に、秦に亡命していた晋の范会（士会）が本国に帰った後のこととして「秦人嵬其帑、其処者為劉氏」とある。

⑲ 伍員の子 哀公十一年伝に「（伍子胥）使於齊、属其子於鮑氏、為王孫氏」とある。

⑳ 『外傳』 『国語』晋語・九に「智宣子將以瑤為後、智果曰、不如宵也、宣子曰宵也恨、……智果別族于太史、為輔氏、及智氏之亡也、唯輔果在」とある。

㉑ 『釋例』 『春秋釈例』氏族例第八に見える。

㉒ 『晉語』 『国語』晋語・四に「黃帝以姬水成、炎帝以姜水成、成而異德、故黃帝為姬、炎帝為姜」とある。

㉓ 「姓を賜ひて姜と曰ふ」 注①参照。

〔傳〕 諸侯以字

〔注〕 諸侯位卑、不得賜姓、故其臣因氏其王父字

〔傳〕 為諡、因為族

〔注〕 或使即先人之諡稱以為族

〔疏〕 諸侯 為族

正義に曰はく、杜（預）の意にては、「諸侯以字——諸侯は字を以てす」とは、先人の字を賜はりて族と為すを言ふなり。「為諡、因為族——諡を為り、因りて以て族と為す」とは、族を賜はるに先人の字を以てすと雖も、或ひは先人の為る所の諡を用ひ、因りて將に族と為さんとするを謂ふ。

諡を以て族と為すものは、衛の齊惡・宋の戴惡の類、是れなり。而るに劉君は乃ち「諡を以て族と為すものは全て一人も無し」と稱し、妄りに杜氏を規すは其の義に非ざるなり。死後に族を賜はるは乃ち是れ正法なり。春秋の世にも亦た非禮有り。生きながら族を賜はるものは華督、是れなり。『釋例』に曰はく、「舊説に以為へらく、『大夫の功德有るものは則ち生きながら族を賜はる』とは、非なり。鄭の祭仲に至つては、祭の封人と為りて後に升りて卿と為り、『經』に『祭仲』と書すれば、以て生きながら族を賜はるとは、『傳』を檢するに既に華氏の文に同じきこと無し。さすれば則ち祭は是れ仲の舊氏なり」と。

「諸侯以字——諸侯は字を以てす」とは、字に二等有り。「檀弓」に曰はく、「幼にして名づけ、冠して字し、五十は伯・仲を以てするは周道なり」と。然らば則ち二十に加冠の字有り、又た伯・仲・叔・季をば長幼の字と為すもの有り。二者は皆な以て氏と為すべし。服虔云ふ、「公の母弟は、則ち長幼を以て氏と為して適統を貴ぶ。伯・仲・叔・季、是れなり。庶公子は、則ち字を配するを以て氏と為して公族を尊ぶ。展氏・臧氏、是れなり」と。

て別たす。百世にして婚姻通ぜざるは、周道然るなり」と。是れ子孫は當に姓を共にすべきを言ふなり。其の上文に「庶姓は上に別れて戚は下に單く」とあり。是れ子孫は當に氏を別つべきを言ふなり。「氏」は猶ほ家のごときなり。「傳」に「子哲氏に盟ふ」^④「庚狗を逐ひて華臣氏に入る」と稱す。此の如きの類は皆な家を謂ひて「氏」と爲すなり。「氏」・「族」は一なり。従ふ所の言の異なるのみ。

『釋例』に曰はく、「別ちて之を稱すれば之を氏と謂ひ、合して之を言へば則ち族と曰ふ」と。『例』に「別」・「合」と言ふは、若へば宋の華元・華喜は皆な戴公より出で、向・魚・鱗・蕩は共に桓公より出づるも、獨り其の人を擧ぐれば則ち華氏・向氏と云ひ、並びに其の宗を指せば則ち戴族・桓族と云ふ。是れ其の「別」・「合」の異なるなり。『史記』に之を「庶姓」と謂ふは、以へらく、始祖を正姓と爲し、高祖を庶姓と爲すにて、亦た氏族の別名なり。

「姓」は則ち之を天子に受け、「族」は則ち之を時君に稟く。天下の廣く兆民の衆ければ、君の賜ふ所に皆な族有るものに非ず。人君の姓を賜ひ族を賜ふは、此の姓・此の族の始祖爲るのみ。其の賜はざるものは各々父の姓族に従ふにて、復た人人賜はるには非ざるなり。『晉語』に「黃帝の子二十五人、其の姓を得るもの十二人」と稱すれば、天子の子すら尚ほ姓を得ず。況んや餘人をや。固より當に其の父に従ふべきのみ。黃帝の子は兄弟姓を異にし、周の子孫は皆な姫を姓とするは、古今、質文代革を同じくせざればなり。周代は文を尙びて、子孫をして相ひ親ましめんと欲するが故に姓を別たしめず。其の姓を賜はるものも亦た少なし。唯だ外姓は媾滿の徒なるのみ。族を賜はるものは、大功徳有りて宜しく世々享祀すべきものにして方始めて之を賜はるなり。大功

徳無く、其の興衰に任ずるものは則ち之を賜はざるなり。之を賜はざるものは、公の同姓は蓋し亦た自ら祖の字を氏とす。其の異姓は則ち舊族の稱すべき有るも、其の祿を世々とせざれば須らく賜はらざるべきなり。

衆仲は、天子の諸侯を封建するを得るを以ての故に「胙土命氏——土を胙いて氏を命ず」と云ふ。諸侯に據りて言ふのみ。其の王朝の大夫にして、封じて國君と爲らざるものも亦た當に王之に族を賜ふべし。何となれば則ち春秋の世に尹氏・武氏の徒有り。明らかに亦た天子之に賜ふと諸侯の臣と義異なる無きなり。此の無駭は是れ卿にして、羽父之が爲めに族を請ふ。蓋し卿爲れば乃ち族を賜ひ、大夫以下は或ひは賜はざるなり。諸侯の臣にては卿をば其の極と爲す。既に極位に登れば理として家を建つべし。若し其の父祖微賤なれば、此の人新たに升りて卿と爲るも、其の位は等倫を絶ち、其の族復た因らざるを以て、故に身未だ賜はらず、族の稱すべき無し。魯の挾・鄭の宛皆な未だ族を賜はらざるが故に單に名を稱するなり。或ひは身、才を以て擧げらるるものは、卿の位に升りて功德猶ほ薄く、未だ家を立つるに足らざれば、則ち卿と爲ると雖も竟に族を賜はらず。羽父、無駭の爲めに族を請ふは、其の皆な時命に由るにて、例として之を得るに非ざるを知るなり。華督生きたが華氏を立つるは、其の得ざるを恐慮するが故に早に之を求めしを知るなり。此れに由りて言へば、明らかに竟に族無きもの有り。魯の翬・挾・柔・溺、名は「經」に見ゆるも而も其の後聞く無し。是れ或ひは族を得ざるなり。其の士會の帑の秦に處るものは劉氏と爲り、伍員の子は齊に在りて王孫氏と爲る。『外傳』に稱す、「知果、知伯の將に滅びんとするを知り、自ら其の族を別ちて輔氏と爲る」と。此の如きの類は皆な是れ身自ら之を爲すにて、復た君の賜に非ず。『釋例』

〔傳〕 無駭卒、羽父請讐與族、公問族於衆仲、衆仲對曰、天子建德

〔注〕 立有德以爲諸侯

〔傳〕 因生以賜姓

〔注〕 因其所由生以賜姓、謂若舜由媯汭、故陳爲媯姓

〔疏〕 注因其媯姓

正義に曰はく、「陳世家」に云ふ、「陳の胡公滿は虞帝舜の後なり。昔、舜庶人爲りし時に媯汭に居る。其の後因りて氏姓と爲し、媯氏を姓とす。武王、殷に克ちて媯滿を得、之を陳に封ず」と。是れ舜は媯汭に由るが故に陳をば媯姓と爲すなり。案ずるに、『世本』に「帝舜は姚姓なり」と。哀（公）元年傳に「虞思、少康に妻すに二姚を以てす」と稱すれば、是れ舜より以下猶ほ姚を姓とするなり。昭（公）八年傳に曰はく、「胡公に及ぶまで淫ならず。故に周之に姓を賜ふ」と。是れ胡公始めて媯を姓とするのみ。『史記』以て胡公の前に已に媯を姓とすと爲すは、非なり。

① 「陳世家」 『史記』陳世家に「陳胡公滿者虞帝舜之後

也、昔舜爲庶人時、堯妻之二女、居于媯汭、其後因爲氏姓、姓媯氏、舜已崩、伝禹天下而舜子商均爲封国、夏后之時、或失或統、至于周武王克殷紂、乃復求舜後、得媯滿封之於陳、以奉帝舜祀、是爲胡公」とある。

② 「世本」 本疏引。

③ 哀（公）元年傳 哀公元年伝に「昔有過澆殺斟灌、以伐

斟鄩、滅夏后相、后縉方娠、逃出自竇、歸于有仍、生少康焉、爲仍牧正、恭澆能戒之、澆使椒求之、逃奔有虞、爲之庖正、以除其害、虞思於是妻之以二姚而邑諸綸、有田一成、有衆一旅」とある。

④ 昭（公）八年傳 昭公八年伝に「陳顓頊之族也、歲在鶉

火、是以卒滅、陳將如之、今在析木之津、猶將復田、且陳氏得政于齊而後陳卒亡、自壽至于瞽瞍無違命、舜重之以明德、實德於遂、遂世守之、及胡公不淫、故周賜之姓、使祀虞帝、臣聞盛德必百世祀、虞之世數未也、繼守將在齊、其兆既存矣」とある。

〔傳〕 昨之土而命之氏

〔注〕 報之以土、而命氏曰陳

〔疏〕 注報之 曰陳

正義に曰はく、「昨」の訓は報なり。有德の人には必ず美報有り。（杜預注に）「之に報いるに土を以てす」とは、之に報いるに國を以てし、名づけて以て之を氏と爲すを謂ふ。諸侯の氏は則ち國名、是れなり。『周語』に「帝、禹の德を嘉みし、姓を賜ひて姒と曰ひ、氏を有夏と曰ふ。四岳に國を昨ひ、姓を賜ひて姒と曰ひ、氏を有夏と曰ふ。四岳に國を昨ひ、姓を賜ひて姒と曰ひ、氏を有呂と曰ふ」と曰ふも、亦た姓を賜ひて媯と曰ひ、氏を命じて陳と曰ふと、其の事同じきなり。

「姓」は生なり。此れを以て祖と爲し、之をして相ひ生ぜしめ、下りて百姓に及ぶと雖も而も此の姓は改まらざるなり。「族」は屬なり。其の子孫と共に相ひ連屬す。其の傍支別屬すれば則ち各自氏を立つ。『禮記』大傳に曰はく、「之に繋くるに姓を以てし

言葉として「君辱既寡大夫圍、謂圍將使豐氏撫有而室、圍布几筵告於莊・共之廟而來、若野賜之、是委君既於草莽也、是寡大夫不得列於諸卿也」とある。

〔傳〕齊人卒平宋・衛于鄭、秋、會于溫、盟于瓦屋、以釋東門之役、禮也

〔注〕會溫不書、不以告也、定國息民、故曰禮也、平宋・衛二國忿鄭之謀、鄭不與盟、故不書

〔傳〕八月丙戌、鄭伯以齊人朝王、禮也

〔注〕言鄭伯不以虢公得政而背王、故禮之、齊稱人、略從國辭、上有七月庚午、下有九月辛卯、則八月不得有丙戌

〔疏〕注言鄭一丙戌

正義に曰はく、庚午の後十六日にして丙戌有り。二十一日にして辛卯有り。（「經」に）七月に庚午有り、九月に辛卯有れば、其の間に一月を容れず。是れ八月に丙戌有るを得ざるなり。更に遙か一周すれば則ち丙戌は庚午を去ること七十七日にして、八月も亦た丙戌有るを得ず。是れ明らかに丙戌は日の誤り爲り。『長麻』もて推すに、「七月丁卯は朔」なれば、四日は庚午、二十日に至りて丙戌なり。「九月丙寅は朔」なれば、二十六日は辛卯、其の月二十一日は是れ丙戌なり。「八月は小（の月）、丁酉は朔」なれば、十日は丙午、二十日は丙辰、二日は戊戌、十四日は庚戌、二十六日は壬戌なり。未だ「丙」・「戌」の二字孰れか誤り爲るかを知らざるなり。直ちに「日の誤り」と云はずして上下を検す

るは、「傳」の明文に因るが故に之を顯言す。他皆な此れに放へ。

①『長麻』 『春秋釈例』經伝長歷第四十五之一に見える。

干支表

10 癸酉	9 壬申	8 辛未	⑦ 庚午	6 己巳	5 戊辰	4 丁卯	3 丙寅	2 乙丑	1 甲子
20 癸未	19 壬午	18 辛巳	17 庚辰	16 己卯	15 戊寅	14 丁丑	13 丙子	12 乙亥	11 甲戌
30 癸巳	29 壬辰	②⑧ 辛卯	27 庚寅	26 己丑	25 戊子	24 丁亥	②③ 丙戌	22 乙酉	21 甲申
40 癸卯	39 壬寅	38 辛丑	37 庚子	36 己亥	35 戊戌	34 丁酉	33 丙申	32 乙未	31 甲午
50 癸丑	49 壬子	48 辛亥	47 庚戌	46 己酉	45 戊申	44 丁未	43 丙午	42 乙巳	41 甲辰
60 癸亥	59 壬戌	58 辛酉	57 庚申	56 己未	55 戊午	54 丁巳	53 丙辰	52 乙卯	51 甲寅

〔傳〕公及莒人盟于浮來、以成紀好也

〔注〕二年、紀・莒盟于密、爲魯故、今公尋之故曰以成紀好

〔傳〕冬、齊侯使來告成三國

〔注〕齊侯冬來告、稱秋和三國

〔傳〕公使衆仲對曰、君釋三國之圖以鳩其民、君之惠也、寡君聞命矣、敢不承受君之明德

〔注〕鳩、集也

〔傳〕 四月甲辰、鄭父子忽如陳逆婦嬀、辛亥、以嬀氏歸、甲寅、入于鄭、陳鍼子送女、先配而後祖、鍼子曰、是不爲夫婦、誣其祖矣、非禮也、何以能育

〔注〕 鍼子陳大夫、禮逆婦必先告祖廟而後行、故楚公子圍稱告莊・共之廟、鄭忽先逆婦而後告廟、故曰先配而後祖

〔疏〕 注鍼子——後祖

正義に曰はく、「先配後祖——先づ配して後に祖す」には異説有ること多し。^①賈逵以へらく、「配は夫婦を成すこと爲り。禮齊ひて未だ配せず、三月廟見して然る後に配す」と。案ずるに、「昏禮」に「親迎の夜、衽席相ひ連なる」と。是れ士禮は三月を待たざるなり。^③禹は塗山に娶り、四日に即ち去りて啓の生まること有り。亦た三月ならずして乃ち配すれば、是れ賈（逵）の謬なり。

^④鄭衆以へらく、「配は牢食を同じくすること爲り。先づ食して後に祖を祭る。敬神の心無きが故に『其の祖を誣ふ』と曰ふなり」と。案ずるに、「昏禮」に「婦既に門に入れば即ち同牢之饌を設く」と。其の間に祭祀の事無ければ、先づ祭りて乃ち食するなり。禮に此の文無し。是れ鄭（衆）の妄なり。

^⑥鄭玄以へらく、「祖は較（拔）道の祭爲り。先づ配匹を爲して後に道を祖す。言ふところは、未だ去らずして配を行ふなり」と。案ずるに、「傳」に既に「鄭に入る」と言ひ、乃ち「先づ配して後に祖す」と云へば、寧くんぞ是れ未だ去らざるの事なるや。若し未だ去らずして先づ配すれば、則ち鍼子は陳に至りて之を誣るにて、何ぞ須らく「送女——女を送る」と云ふべけんや。

此の三説は皆な滯る。故に杜（預）は楚の公子圍の廟に告ぐる

の事を引きて、「鄭忽は先づ婦を逆へて後に祖に告ぐ。故に『先づ配して後に祖す』と曰ふ」と言ふ。此の時、忽の父見在す。計るに、廟に告ぐると否とは當に是れ莊公の事なるべし。而るに忽を誣るは、楚の公子圍も亦た人臣なるも、而も自ら几筵を布きて莊（王）・共（王）の廟に告げ、君の命を棄くと言はざれば、逆ふる者は父の命を受くと雖も當に自ら廟に告ぐべきを知るなり。且つ忽は先づ配匹を爲して後に祖に告ぐ。其の祖に告ぐるを見て方始めて之を誣れば、忽の自ら祖に告ぐるを知るなり。

或ひは、鄭伯、忽の爲めに妻を娶るに、先づ逆へて後に廟に告げ、鍼子見て之を誣るなるべし。公子圍の廟に告ぐるは權を専らにして自由にするのみ。正に非ざるなり。

① 賈逵 本疏引。

② 「昏禮」 『儀礼』士昏礼にその詳細が見える。

③ 禹 『尚書』虞書・益稷に「予創若時、娶于塗山、辛壬

癸甲、啓呱呱而泣、予弗子」とあり、また『史記』夏本紀にも「禹曰、予辛壬娶塗山、癸甲生啓、予不子、以故能成水土工」とある。

④ 鄭衆 本疏引。

⑤ 「昏禮」 注②に同じ。

⑥ 鄭玄 『鄭志』春秋志、本疏引。『礼記』曾子問の「曾子問曰、取女有吉日而女死、如之何……」の正義に「又隱八年、鄭公子忽先配而後祖、鄭以『祖爲祖道之祭、応先爲祖道、然後配合』、今乃先爲配合而後乃爲祖道之祭、如鄭此言、是皆当夕成昏也、……」とある。

⑦ 楚の公子圍 昭公元年伝に、楚の令尹公子圍が鄭の公孫段の家に娶る記事があるが、鄭の処遇を不満とした公子圍の

の東都は猶ほ鄭の祊の田のごときなり。鄭は京師に近ければ朝宿を假る無く、魯は泰山に近ければ須らく湯沐すべからず。各々其の一を受く。衛は道路並びに遠きを以ての故に兩つながら皆な之有り。『禮記』王制に曰はく、「方伯は天子に朝する爲めに皆な湯沐の邑有り。天子の縣内に於いてす」と。然らば則ち朝宿の邑も亦た湯沐と名づく。但だ京師に向かふは主として王に朝するが爲めなり。王の巡守に従ふは主として助祭の爲めなり。祭には必ず沐浴すれば、事に隨ひて名を立つ。朝宿・湯沐も亦た之を互言するのみ。

⑤『異義』に「『左氏』説にては、諸侯に大功徳有れば乃ち朝宿・湯沐の邑有り。『公羊』説に以爲へらく、諸侯には皆な朝宿・湯沐の邑有り」と。許慎は『公羊』を以て非と爲せば、則ち杜（預）の意も亦た許慎に従ふなり。『公羊傳』に曰はく、「此れ魯の朝宿の邑なり。さすれば則ち曷爲ぞ之を許の田と謂ふや。周の田を取るを諱みてなり。周の田を取るを諱めば則ち曷爲ぞ之を許の田と謂ふや。之を許に繋くるなり。曷爲ぞ之を許に繋くるや。許に近ければなり」と。杜（預）、「許に近きの田」と言ふは、是れ『公羊』を用ひて説を爲す。杜（預）は『公羊』の「傳」に依る。邑は實に許に近きが故に許を以て名と爲す。

⑦劉君、更に馮る所無くして直ちに「別に許の邑有り。邑には自づから許と名づく。許國に近きに由りて始めて名づけて許と爲すには非ざるなり」と云ひて、以て杜氏を規すは其の義に非ざるなり。

- ①『詩』魯頌 『毛詩』魯頌・閟宮に「天錫純嘏、眉寿保魯、居常与許、復周公之宇、魯侯燕喜、令妻寿母」とある。
- ②『公羊傳』 『公羊傳』桓公五年に「其言以璧假之何、

易之也、易之則其言假之何、易之也、易之則其言假之何、爲恭也、曷爲爲恭、有天子存則諸侯不得專地也、許田者何、魯朝宿之邑也、諸侯時朝乎天子、天子之郊諸侯皆有朝宿之邑焉、此魯朝宿之邑也、則曷爲謂之許田、諱取周田也、諱周田則曷爲謂之許田、繫之許也、曷爲繫之許、近許也、比邑也、其称田何、田多邑少称田、邑多田少称邑」とある。

- ③定（公）四年 定公四年伝に、衛の祝佗が衛侯に周の封建の事情を語った言葉が記されているが、衛國の封建の様相が次のように「分康叔以大路少典策、韋伐旃、大呂、殷民七族、陶氏・施氏・繁氏・錡氏・樊氏・饑氏・終蔡氏、封畛土略、自武父以南、及圃田之北竟、取於有閭之土、以共王職、取於相土之東都、以会王之東蒐、聘季授土、陶叔授民、命以康誥、而封於殷虛、皆啓以商政、疆以周索」とある。
- ④『禮記』王制 『礼記』王制に「方伯爲朝天子、皆有湯沐之邑、視元士」とある。

- ⑤『異義』 許慎の『五經異義』をいう。『礼記』王制の正義に引く『異義』には「公羊説、諸侯朝天子、天子之郊皆有朝宿之邑、從泰山之下皆有湯沐之邑、左氏説、諸侯有功德於王者、京師有朝宿之邑、泰山有湯沐之邑、魯周公之後、鄭宣王母弟、此皆有湯沐之邑、其餘則否」とある。

- ⑥『公羊傳』 注②参照。
- ⑦劉君 劉炫。本疏引。

〔傳〕夏、虢公・忌父始作卿士于周

〔注〕周人於此遂界之政

則ち實を言ひて以て之を明らかにす。二名俱に存するが若きものは、「傳」は則ち「經」に錯きて以て之を見ず。此に「犬丘」と「垂」との兩名存するが故に「傳」は實を言はず。『釋例』に曰はく、「一地にして二名、當時並存するが若きは則ち直ちに兩文互見す。黑壤・犬丘・時來の屬、是れなり」と。猶ほ卿大夫の名氏互見するがときは、例に非ざるなり。

① 『釋例』 『春秋釋例』土地名第四十四之一に見える。

② 黑壤 文公十七年伝「晋侯蒐于黄父」の杜預注に「一名

黑壤、晋地也」とあり、宣公七年伝「晋人止公于会、盟于黄父」の杜預注に「黄父即黑壤」とある。

③ 犬丘 本年に見える。

④ 時來 隱公十一年経「夏、公会鄭伯于時來」の杜預注に

「時來、邾地也」とあり、「伝」には「夏、公会鄭伯于邾、謀伐許也」とある。

〔傳〕 鄭伯請釋泰山之祀而祀周公、以泰山之祔易許田、三月、鄭伯使宛來歸祔、不祀泰山也

〔注〕 成公營王城、有遷都之志、故賜周公許田、以爲魯國朝宿之邑、後世因而立周公別廟焉、鄭桓公周宣王之母弟、封鄭有助祭泰山、湯沐之邑在祔、鄭以天子不能復巡狩、故欲以祔易許田、各從本國所近之宜、恐魯以周公別廟爲疑、故云已廢泰山之祀、而欲爲魯祀周公、孫辭以有求也、許田、近許之田

〔疏〕 注成王ノ之田

正義に曰はく、成王、邑を洛に營み、以て居土の中と爲す。貢

賦の路均しく、將に洛邑に於いて朝を受けんとす。許の田は王城に近し。故に周公に許の田を賜ひて以て魯國の朝宿の邑と爲す。

① 『詩』魯頌に「常と許とに居り。周公の字を復す」と曰へば、是れ周公、許の田を得るなり。『公羊傳』に「許の田とは何ぞ。魯の朝宿の邑なり」と曰へば、是れ許の田は魯の朝宿の邑爲り。鄭、許の田に易へて周公を祀るを求めんと（魯に）請ふ。故に後世因りて許の田の中に在りて周公の別廟を立つるを知るなり。鄭の桓公は周の宣王の母弟なるを以ての故に、泰山の下に於いて亦た祔の田を受けて以て湯沐の邑と爲す。祔邑の内にも亦た鄭の先君の別廟有り。此の時、周室既に衰へて王は巡守せず。鄭は、天子復た巡守せざれば則ち泰山の祀は既に廢れて祔の用ふる所無きを以て、故に祔を以て許に易へんと欲す。許の田は鄭に近く、祔の田は魯に近し。各々本國の近き所の宜しきに從ふなり。魯は許の田を以て周公の祀を奉ずるに、其の田を易ふれば則ち其の祀を廢す。（杜預注に）「魯の、周公の別廟を以て疑を爲すを（鄭は）恐る」とは、將に許さざらんとするを慮る。（杜預注に）「已に泰山の祀を廢して魯の爲めに周公を祀らんと欲す」と云ふは、鄭は許の田を得るも周公の祀は絶たざるを言ふなり。（杜預注に）「已に泰山の祀を廢す」と云ふは、天子復た巡守せず、鄭家已に此の泰山の祭祀を助祭するの事を廢するを謂ふ。祭祀する所無きが故に魯の爲めに周公を祀らんと欲す。其の實、廢し來たること已に久し。今始めて「已に廢す」と云ふは、魯の爲めに周公を祀らんと欲するが故に「已に廢す」と云ふのみ。方便、遜辭にして以て魯に求むるなり。

③ 定（公）四年に、祝佗、康叔の分物を受くるを言ひて、「有閭の土を取りて以て王職に共し、相土の東都を取りて以て王の東蒐に會す」と云ふ。有閭の土は猶ほ魯の許の田のごときなり。相土

を得ず。温は是れ周地なれば、瓦屋も亦た周地なるを知るなり。

① 『外傳』鄭語 『国語』鄭語に「秦景・襄於是乎取周土、晋文侯於是乎定天子、齊莊・僖於是乎小伯、楚蚡冒於是乎始啓濮」とある。

〔經〕 八月、葬蔡宣公

〔注〕 無傳、三月而葬速

〔經〕 九月辛卯、公及莒人盟于浮來

〔注〕 莒人微者、不嫌敵公侯、故直稱公、例在僖二十九年、浮來紀邑、東莞縣北有邠鄉、邠鄉西有公來山、號曰邠來間

〔疏〕 注莒人來間

正義に曰はく、僖(公)二十九年に、公は王子虎及び諸侯の卿に會して翟泉に盟ふも、公を没して言はず、卿を貶して人と稱し、直ちに「會某人・某人——某人・某人に會す」と言ふ。〔傳〕に曰はく、「卿書せざるは之を罪するなり。禮に在りては卿は公・侯に會せず。伯・子・男に會するは可なり」と。

此に莒人は乃ち公・侯に對し會するが故に之を解す。莒は是れ小國なれば卿は當に人と稱すべく、貶辭に非ざるなり。微者は能く公・侯に敵するに嫌ひあらず。故に直ちに公を稱するなり。

① 僖(公)二十九年 僖公二十九年經に「夏、六月、會王人・晋人・宋人・齊人・陳人・蔡人・秦人盟于翟泉」とあり、

「伝」に「夏、公会王子虎・晋狐偃・宋公孫固・齐国婦父・陳轅濤塗・秦小子憖盟于翟泉、尋踐土之盟且謀伐鄭也、卿不書、罪之也、在礼、卿不会公侯、会伯子男可也」とある。

② 「傳」 注①参照。

〔經〕 螟

〔注〕 無傳、爲災

〔經〕 冬、十有二月、無駭卒

〔注〕 公不與小斂、故不書日、卒而後賜族、故不書氏

〔傳〕 八年、春、齊侯將平宋・衛

〔注〕 平宋・衛於鄭

〔傳〕 有會期、宋公以幣請於衛、請先相見

〔注〕 宋敬齊命

〔傳〕 衛侯許之、故遇于犬丘

〔注〕 犬丘垂地、地有兩名

〔疏〕 注犬丘 兩名

正義に曰はく、地に兩名有りて新舊改易するものは、「傳」は

子歸生、君を弑す」は、歸生に罪無きに嫌ひあり、及び宣（公）五年の「高固來たりて叔姫を逆ふ」は、偏られて昏を成すに嫌ひあり。故に「傳」因りて以て之を明らかにす、是れなり。（杜預注に）「亦た或ひは丘明の得る所の記注、本末皆な備はる能はざるなり」と云ふは、但だ杜（預）又た自ら疑ひて以爲へらく、諸例は皆な應に始事に從ひて發すべきも後に在りて發するは、記注の周公の舊凡は始事に繋けずして後事に繋くるを以て、丘明、「傳」を作るに記注の繋くる所に因りて遂に以て之を發するならんと。杜（預）の此の言の如くんば、則ち周公の舊凡は記注の文に於いて諸事に散在し、丘明、「傳」を作るに記注の文に因りて例を發するが故に或ひは先んじ、或ひは後るなり。

① 元年 隠公元年經に「九月、及宋人盟于宿」とある。

② 荀偃 襄公十八年伝に「中行献子（荀偃）将伐齊、……

晋侯伐齊、将濟河、献子以朱絲繫玉二穀而禱曰、齊環怙恃其險、負其衆庶、……」とある。

③ 僖（公）二十三年傳例 僖公二十三年伝に「凡諸侯同盟、死則赴以名、礼也、赴以名則亦書之、不然則否、辟不敏也」とある。

④ 衛冀隆 後魏の人。同時代の、杜預注を固守する秦道靜に對して、服虔注を奉じて論難した。現在その著書は亡んで伝わらないが、輯本として『漢魏遺書鈔』（『難杜』）、『玉函山房輯佚書』（『春秋伝駁』賈思同撰）に輯録されている。

⑤ 『尚書』武成 『尚書』周書・武成に「告于皇天后土所過名山大川曰、惟有道会孫、周王発、将有大正于商」とある。

⑥ 七年 隠公七年經に「滕侯卒」とあり、「伝」に「滕侯卒、不書名、未同盟也、凡諸侯同盟、於是称名」とある。

⑦ 桓（公）二年 桓公二年經に「冬、公至自唐」とあり、「伝」に「冬、公至自唐、告于廟、凡公行、告于宗廟、反行飲至、舍爵策勲焉、礼也」とある。

⑧ 宣（公）四年 宣公四年經に「夏、六月乙酉、鄭公子歸生弑其君夷」とあり、「伝」に「凡弑君称君、君無道也、称臣、臣之罪也」とある。

⑨ 僖（公）二十六年 僖公二十六年伝に「凡師能左右之曰以」とある。

⑩ 宣（公）四年 注⑧参照。

⑪ 宣（公）五年 宣公五年經に「冬、齊高固及子叔姬來」とあり、「伝」に「秋、九月、齊高固來逆女、自為也、故書曰逆叔姬、卿自逆也」とあり、杜預注に「不於莊二十七年発例者、嫌見逼而成昏、因明之」と述べている。

〔經〕 秋、七月庚午、宋公・齊侯・衛侯盟于瓦屋

〔注〕 齊侯尊宋、使主會、故宋公序齊上、瓦屋周地

〔疏〕 注齊侯、周地

正義に曰はく、『春秋』の例にては、國は大小を以て序を爲す。①『外傳』鄭語に云ふ、「齊の莊・僖、是に於いてか小伯たり」と此の齊侯は即ち僖公なり。此の「盟」は宋・衛を平ぐるなり。齊は會主爲れば、則ち宜しく上に在るべし。今、宋、齊の上に在るが故に特に之を解す。宋は齊侯を敬して衛と先づ遇ふに由るが故に、齊侯は宋を尊んで會主たらしむるなり。

瓦屋既に闕く。是れ周地なるを知るは、以へらく、其の（本年「傳」に）「温に會し、瓦屋に盟ふ」とあれば、會盟に相ひ遠き

以て（魯の）襄公に赴ぐ。「傳」に「同盟の故なり」と曰へば、則ち其の父と盟へば名を以て其の子に赴ぐるを得。故に疑ふらくは、蔡と（魯の）惠（公）と盟ふが故に名を以て隱（公）に赴ぐるなり。同盟して名を稱すれば則ち兩君相ひ知る。君既に之を知れば則ち國內皆な知る。故に彼の父の薨ずと雖も名を以て彼の子に赴ぐるを得るは、此の名の嘗て彼の父と對稱せしを以ての故なり。若し父と彼と盟はざれば、彼の君在りと雖も此の子の其の名を以て赴ぐるを得ざるは、此の名の未だ彼の君と對稱せざるを以ての故なり。

① 「傳」 襄公六年伝に「六年、春、杞桓公卒、始赴以名、同盟故也」とある。

〔經〕 辛亥、宿男卒

〔注〕 無傳、元年、宋・魯大夫盟于宿、宿與盟也、晉荀偃禱河、稱齊・晉君名、然後自稱名、知雖大夫出盟、亦當先稱己君之名以啓神明、故薨皆從身盟之例、當告以名也、傳例曰、赴以名則亦書之、不然則否、辟不敏也、今宿赴不以名、故亦不書名、諸例或發於始事、或發於後者、因宜有所異同、亦或丘明所得記注、本末不能皆備故

〔疏〕 注元年 備故

正義に曰はく、例に於いては、盟ふに國地を以てすれば則ち地主之に與る。元年の「宿に盟ふ」は、宿、盟に與るを知るなり。魯・宋俱に是れ微人なれば、宿の君必ず親ら之に與らず。宿も亦た大夫、盟ふなり。

「盟」・「禱」は異なると雖も俱に是れ神に告ぐ。荀偃の禱るや、先づ君名を稱すれば、大夫の聚盟にも亦た各々君名を稱するを知る。臣の盟に既に君名を稱すれば、則ち君の薨に名を以て赴ぐるを得。宿の君の卒するや、宜しく名を以て魯に赴ぐべきなり。今、宿男に名いはざるは自ら名を以て赴げざるにて、法として得ざるには非ざるなり。故に僖（公）二十三年傳例を引きて以て之を明らかにす。言ふところは、其の赴ぐるに名を以てせざれば、（名を）知ると雖も亦た書するを得ざるなり。諸君の親ら盟はず、而るに名を以て魯に赴ぐるは、（杜預）注に云ふ、「大夫、某に盟ふ」と。義皆な此に出づ。

④ 衛冀隆、杜（預）を難じて云ふ、「周人は諱を以て神に事ふれば、臣子何ぞ君の名を以て神に告ぐるを得んや。又た、荀偃の河に禱るは一時の事なるのみ。正禮に非ざるなり。何ぞ大夫の盟に先づ君名を稱するを知るを得んや」と。杜（預）必ず此の解を爲すは、「諱を以て神に事ふ」とは、神の名を諱みて以て其の神に事ふるを謂ふ。祖を祭りて祖を諱むの類の若し。山川の神は諸侯より尊し。故に「尙書」武成に名山・大川に告げて、「有道なる周王發」と云へば、則ち荀偃の河に禱るに自ら君名を稱するは、理に於いて何ぞ怪しまんや。

杜（預）、「諸例或ひは始事に發し、或ひは後に發す」と云ふは、若へば七年「滕公卒す」の「傳」に「凡そ諸侯同盟すれば、是に於いて名を稱す」と曰ひ、及び桓（公）二年に「公、唐より至る。凡そ公行けば宗廟に告ぐ」とあるは、是れ「或ひは始事に發す」なり。宣（公）四年に「凡そ君を弑するに君を稱す」、及び僖（公）二十六年に「凡そ師能く之を左右するを『以』と曰ふ」とあるは、是れ「或ひは後に發す」なり。（杜預注に）「宜しく異同する所有るべきに因る」と云ふは、宣（公）四年の「鄭の公

〔注〕 入其國觀其政治、故摠言之也、皆爲桓五年・六年陳亂、蔡人殺陳佗傳

〔傳〕 鄭公子忽在王所、故陳侯請妻之

〔注〕 以忽爲王寵故

〔傳〕 鄭伯許之、乃成昏

〔注〕 爲鄭忽失齊昏援以至出奔傳

〔經〕 八年、春、宋公・衛侯遇于垂

〔注〕 垂衛地、濟陰句陽縣東北有垂亭

〔經〕 三月、鄭伯使宛來歸昉

〔注〕 宛鄭大夫、不書氏未賜族、昉鄭祀泰山之邑、在瑯邪費縣東南

〔疏〕 注宛鄭——東南

正義に曰はく、内卿貶すれば則ち族を去り、外卿貶すれば則ち人を稱す。外に族を去るの理無し。今、宛に族無く、「傳」に譏る文無きが故に「未賜族——未だ族を賜はらず」なるを知るなり。「傳」に「鄭、泰山の祀を釋^すて來たりて昉を歸らしむ」と言へば、昉は是れ鄭の泰山を祀る邑なるを知るなり。鄭は桓公の故を

以て邑を泰山の下に受く。天子、泰山を祭れば（鄭は）必ず從ひ往きて祭を助け、湯沐に共せしむ。故に「公羊」は之を「湯沐の邑」と謂ふ。既に此の邑有り、因りて別廟を立つ。劉炫云ふ、「泰山を祀るの邑と言ふは、泰山の旁に此の邑有りて、邑内に鄭の宗廟の祀有るを謂ふなり。蓋し桓・武の神を祀りしならん」と。

① 「公羊」 「公羊伝」隱公八年に「宛者何、鄭之微者也、邴者何、鄭湯沐之邑也、宋公以幣請於衛、請先相見、衛侯許之、故遇于大丘」とある。

② 劉炫 本疏引。

〔經〕 庚寅、我入昉

〔注〕 桓元年、乃卒易昉田、知此入昉、未肯受而有之

〔經〕 夏、六月己亥、蔡侯考父卒

〔注〕 無傳、襄六年傳曰、杞桓公卒、始赴以名、同盟故也、諸侯同盟稱名者、非唯見在位二君也、嘗與其父同盟、則亦以名赴其子、亦所以繼好也、蔡未與隱盟、蓋春秋前與惠公盟、故赴以名

〔疏〕 注襄六——以名

正義に曰はく、同盟すれば名を赴ぐるは、自づから成例有り。而るに（杜預注に）杞の桓公を引くは、蔡は春秋より以來未だ魯と盟はず、惠公と同盟せしと疑ふが故に杞の桓（公）を引きて例と爲すなり。杞の桓（公）と（魯の）成公と同盟し、而して名を

如し」とは、晉の時、諸州の年終に、會計の吏を遣はして物を天子に獻じ、因りて物を以て公府・卿寺に詣らしむるが如く然り。漢より以來、三公の居る所之を府と謂ひ、九卿の居る所之を寺と謂ふ。『風俗通』に曰はく、「府は聚なり。公卿の牧守は府なり。道德の聚まる所なり。藏府・私府は財貨の聚まる所なり。寺は司なり。庭に法度有り。今、官の止まる所を皆な寺と曰ふ」と。『釋名』に曰はく、「寺は嗣なり。事を治むるもの、其の内に相ひ嗣續するなり」と。

① 『風俗通』 本疏引の一句は現行本には見当たらない。

なお『風俗通』の佚文は『経籍佚文』・『抱經堂叢書』・『叢書集成』・『全上古三代秦漢三國六朝文』等に輯録されている。

② 『釋名』 『釈名』釈宮室に「寺嗣也、治事者嗣統於其内也」とある。

〔傳〕 冬、王使凡伯來聘、還戎伐之于楚丘以歸

〔注〕 傳言凡伯所以見伐

〔傳〕 陳及鄭平

〔注〕 六年鄭侵陳、大獲、今乃平

〔傳〕 十二月、陳五父如鄭洧盟

〔注〕 洧臨也

〔傳〕 壬申、及鄭伯盟、歃如忘

〔注〕 志不在於歃血也

〔疏〕 歃如忘

正義に曰はく、「歃」とは口に血を含むを謂ふ。血を歃る時に當たりて物を遺忘するに似たるが如く然り。故に（杜預）注に「志は血を歃るに在らざるなり」と云ふ。服虔云ふ、「如は而なり。歃るに臨みて其の盟載の辭を忘るるなり。精ならざるを言ふなり」と。盟載の辭は簡策に在り。祝史讀みて以て神に告ぐれば、歃るもの自ら之を誦するに非ず。何ぞ載辭を忘ると言はんや。且つ忘るると否とは心に在り。五父終に自ら己の忘るるを言はざれば、洧伯安んぞ其の忘るるを知りて之を譏らんや。

① 服虔 本疏引。

② 臨 同治十三年湖南書局注疏本、雖字を臨字に作る。

〔傳〕 洧伯曰、五父必不免、不賴盟矣

〔注〕 洧伯、鄭洧駕

〔傳〕 鄭良佐如陳洧盟

〔注〕 良佐、鄭大夫

〔傳〕 辛巳、及陳侯盟、亦知陳之將亂也

れば則ち赴ぐるに名を以てするは、禮なり」と曰ふ。直「名を赴ぐ」を是れ「禮なり」と言ひ、「好みを繼ぐ」を是れ「禮なり」とは言はず。「好みを繼ぎ民を息はしむ」は是れ禮の大意にして、禮の實には非ず。明らかに是れ丘明此れを言ひて以て「名を繼ぐ」の意を解するなり。彼（僖公二十三年傳）に「禮なり」と云ひ、此に「之を禮經と謂ふ」と云ふは、其の事は一なり。此の「名を赴ぐ」を謂ひて禮の常法と爲すと言ひ、丘明の意は、周公之を然謂ふと言ふなり。「之を禮經と謂ふ」は、此の一事を指すと雖も、諸々の「凡」を發するものは盡く然らざるは莫し。此は例の初め爲るが故に特に之を言ふのみ。

〔疏〕注此言（放此

正義に曰はく、凡例は是れ周公の制する所なれば、其の來たるも亦た出づる所無し。「傳」に「之を禮經と謂ふ」を以てすれば、則ち是れ先聖之を謂ふにて、丘明自ら之を謂ふには非ざるなり。史の策に書するや必ず舊法有り。一代の大典は周公の制する所なるが故に、凡例も亦た是れ周公の制する所なるを知るなり。（杜預注に）「此に凡例と言ふ」とは則ち（「傳」の）「之を禮經と謂ふ」を云ひ、「凡例」と言はざるは則ち（杜預注に）「策に書せず」と云ふ。此れを以てすれば、明らかに所謂「禮經」は皆な策に書すべし。「傳」の首より此に至りて始めて凡例を開く。故に特に此の二句を顯らかにす。二句とは、「之を禮經と謂ふ」是の一句と、「策に書せず」とを二句と爲すなり。然らば則ち九年の「凡そ雨ふること、三日より以往を霖と爲す」をば、以て始めと爲さずして遠く十一年を取りて、（杜預注に）「始めて凡例を開く」と云ふは、以へらく、九年は唯だ當國の雨雪の事を記す史策の舊文のみにして、是れ國家の大事を赴告する例に非ざればなり。

① 僖（公）二十三年 僖公二十三年經の「冬、十有一月、杞子卒」の「伝」に「凡諸侯同盟、死則赴以名、礼也、赴以名則亦書之、不然則否、辟不敏也」とある。

② 九年 隱公九年伝に「春、王三月癸酉、大雨霖以震、書始也、庚辰大雨雪亦之、書時失也、凡雨自三日以往為霖」とある。

③ 十一年 隱公十一年伝に「凡諸侯有命、告則書、不然則否、師出臧否亦如之、雖及滅國、滅不告敗、勝不告克、不書于策」とある。

〔傳〕夏、城中丘、書不時也、齊侯使夷仲年來聘、結艾之盟也

〔注〕艾盟在六年

〔傳〕秋、宋及鄭平、七月庚申、盟于宿、公伐邾爲宋討也

〔注〕公拒宋而更與鄭平、欲以鄭爲援、今鄭復與宋盟、故懼而伐邾、欲以求宋、故曰爲宋討

〔傳〕初戎朝于周、發幣于公卿、凡伯弗賓

〔注〕朝而發幣於公卿、如今計獻詣公府・卿寺

〔疏〕注朝而（卿寺

正義に曰はく、天子に朝するに、國に有する所を獻ずるも亦た財幣を公卿の府寺より發陳す。（杜預注に）「如今——今の（

③ 昭(公)十三年に「晉人、季孫意如を執へて、以て歸る」とあり。若し「以歸」、是れ「執」なれば、何ぞ須らく別に「執」の文を起すべけんや。明らかに直ちに「以歸」と言ふは「執」に非ざるなり。定(公)④四年「沈子嘉を以て歸る」の「經」に「之を殺す」と云ひ、哀(公)⑤七年「邾子益を以て來たり」の「傳」に「諸を負瑕に囚ふ」と云ふが如きに至っては、既に「囚」「殺」の文有り。容に或ひは是れ「執」なるべし。若し直ちに「以歸」と言ひて囚殺の事無きものは、則ち「執」に非ざるものなり。『春秋』には文同じく事異なる有り。此れ即ち其の類なり。劉君、沈子⑥邾子を引きて、「以歸」とは皆な執なり」と云ひて以て杜氏を規すは、其の義に非ざるなり。

① 傳例 莊公二十九年伝に「凡師有鍾鼓曰伐、無曰侵、輕曰襲」とある。

② 『穀梁傳』 『隱公七年に「以歸、猶愈乎執」とある。

③ 昭(公)十三年 昭公十三年経に「晉人執季孫意如以歸」とある。

④ 定(公)四年 定公四年経に「夏、四月庚辰、蔡公孫姓帥師滅沈、以沈子嘉以歸、殺之」とある。

⑤ 哀(公)七年 哀公七年経に「秋、公伐邾、八月己酉、入邾、以邾子益來」とあり、「伝」に「以邾氏益來、献于亳社、囚諸負瑕、負瑕故有釋」とある。

⑥ 劉君 劉炫。本疏引。

⑦ 沈子 注④参照。

⑧ 邾子 注⑤参照。

〔傳〕 七年、春、滕侯卒、不書名、未同盟也、凡諸侯同盟、於是稱名、故薨則赴以名

〔注〕 盟以名告神、故薨亦以名告同盟

〔傳〕 告終、稱嗣也、以繼好息民

〔注〕 告亡者之終、稱嗣位之主、嗣位之主當奉而不忘、故曰繼好、好同則和親、故曰息民

〔傳〕 謂之禮經

〔注〕 此言凡例乃周公所制禮經也、十一年不告之例、又曰不書於策、明禮經皆當書於策、仲尼脩春秋、皆承策爲經、丘明之傳、博衆記、故始開凡例、特顯此二句、他皆放此

〔疏〕 凡諸禮經

正義に曰はく、「諸侯」とは公・侯・伯・子・男の五等の摠號、「侯」の訓は「君」なり。五等の主、爵命は小異なりと雖も而も俱に是れ國君なり。故に「諸侯」と摠稱するなり。

諸々の「凡」を發するは、皆な周公の垂法、史書の舊章なり。丘明、舊語を采合して以て史例を發明すれば、意は是れ舊典と雖も而も辭は丘明より出で、全て舊語を寫せるには非ず。(「傳」の)「同盟すれば名を稱し、薨すれば則ち赴ぐるに名を以てす」とは、是れ周公の舊典なり。其の「終を告げ嗣を稱す」より以下は乃ち是れ「赴」の意を解するにて、舊語には非ざるなり。① 僖(公)二十三年に又た例を發して、「凡そ諸侯同盟すれば、死す

てし、琮は錦を以てし、琥は繡を以てし、璜は黼を以てす」と。
 鄭玄注云ふ、「二王の後、天子を享する圭は馬を以てし、后を享する璋は皮を以てす。其餘の諸侯は、天子を享する璧は帛を以てし、后を享する琮は錦を以てす。子男は、大國の君を享する琥は繡を以てし、大國の夫人を享する璜は黼を以てす」と。是れ玉帛の文なり。

① 「聘禮」 『儀礼』聘礼・聘享の「経」に「賓襲執圭、

擯者入告、出辞玉、納賓、賓入門左、介皆入門左、北面西上、三揖、至于階、三讓、公升二等、賓升西楹西東面、擯者退中庭、賓致命、公左還北鄉、擯者進、公当楣再拜、賓三退、負序、公側襲受玉于中堂、与東楹之間、擯者退、負東塾而立、賓降、介逆出、賓出、公側授宰玉、楊降立、擯者出請、賓楊奉束帛加璧享、擯者入告、出許」とある。

② 鄭玄 『儀礼』聘礼・受命遂行の「経」に「受享束帛加璧、受夫人之聘璋、享玄纁、束帛加琮、皆如初」とあり、鄭玄注に「享献也、既聘又献、所以厚恩惠也」とある。

③ 「玉人」 『周礼』考工記・玉人に「琢圭璋八寸、璧琮八寸、以兆聘」とあり、鄭玄注に「琮、文飾也、兆、視也、聘、問也、衆来曰兆、特来曰聘、聘礼曰、凡四器有、唯其所宝以聘可也」とある。

④ 注 今本鄭玄注にはこの文無し。孫詒讓『周礼正義』に「案左伝隠六年孔疏引此注云、八寸者、抛上公之臣、今本注無此文、疑孔約小行人注義釈之、凡聘享之玉、各降其瑞一等、上公命圭九寸、故使臣聘王用瑋圭八寸」とある。

⑤ 鄭玄 『周礼』秋官・小行人に「合六幣、圭以馬、璋以皮、璧以帛、琮以錦、琥以繡、璜以黼、此六物者以和諸侯之

好故」とあり、鄭玄注に「合、同也、六幣所以享也、五等諸侯享天子用璧、享后用琮、其大各如其瑞、皆有庭実、以馬若皮、皮、虎豹皮也、用圭璋者、二王之後也、二王後尊、故享用圭璋而特之、礼器曰、圭璋特義亦通於此、其於諸侯亦用璧琮耳、子男於諸侯、則享用琥璜、下其瑞也、凡二王後、諸侯相享之玉、大小各降其瑞一等、及卿大夫親聘亦如之」とある。

⑥ 「小行人」 注⑤参照。
 ⑦ 鄭玄 注⑤参照。

〔經〕 秋、公伐邾

冬、天王使凡伯來聘

〔注〕 凡伯、周卿士、凡、國、伯、爵也、汲郡共縣東南有凡城

〔經〕 戎伐凡伯于楚丘、以歸

〔注〕 戎鳴鍾鼓以伐天子之使、見夷狄強䟽、不書凡伯敗者、單使無衆非戰陳也、但言以歸、非執也、楚丘衛地、在濟陰城武縣西南

〔疏〕 注戎鳴 西南

正義に曰はく、傳例に「鍾鼓有るを伐と曰ふ」とあり。此に既に「伐」と言へば、其の鍾鼓を鳴らすを知るなり。杜（預）の意は、「以歸——以て歸る」と言ふは、彼の己に隨ふのみにて、因執の辭に非ざるを以て、故に「但だ『以歸』と言ふは執に非ず」と云ふなり。杜（預）、必ず「以歸」は「執」に非ざるを知るは、『穀梁傳』に云ふ、「以歸とは猶ほ執はるるに愈れり」と。又た

書す。魯女、他國の卿に嫁すれば皆な之を書す。夫人の婢の尊は卿と同じければ、其の書するは固より是れ常例なり。賈(達)①云ふ、「之を書するは、紀の、叔姫を貴ぶを刺るなり」と。「傳」に其の事無ければ是れ妄説なり。

① 賈(達) 本疏引。

〔經〕 滕侯卒

〔注〕 傳例曰、不書名、未同盟也、滕國在沛國公丘縣東南

〔疏〕 滕侯卒

正義に曰はく、『譜』①に云ふ、「滕は姬姓。文王の子たる錯叔繡の後なり。武王之を封じて滕に居らしむ。今の沛郡公丘縣、是れなり。叔繡より宣公に至るまで十七世にして乃ち『春秋』に見ゆ。隱公以下『春秋』の後六世にして齊之を滅ぼす」と。『世本』②に云ふ、「齊の景公、滕を亡ぼす」と。案ずるに、齊の景公の卒は滕の隱(公)の前に在り。『世本』③は「隱公の後に仍ほ六世君と爲る有り」と言ひ、而も「齊の景(公)、滕を亡ぼす」と云ふ、謬爲ること何ぞ甚だしき。服虔の昭(公)四年の注にも亦た「齊の景(公)、滕を亡ぼす」と云ふ。是れ考校せずして之を謬言するなり。『地理志』⑤に云ふ、「沛郡公丘縣は故の滕國なり。周の文王の子たる錯叔繡の封ぜられし所なり。三十一世にして齊の滅ぼす所と爲る」と。

① 『譜』 『春秋釈例』世族譜第四十五之下に見える。

② ③ 『世本』 本疏引。

④ 服虔 本疏引。

⑤ 「地理志」 『漢書』地理志の沛郡公丘縣の条に「公丘、侯國、故滕國、周懿王子錯叔繡所封、三十一世、為齊所滅」とあり、顏師古注に「左氏伝云、鄆・雍・曹・滕、文之昭也、系本亦云、錯叔繡文王子、而此志云、懿王子、未詳其義耳」とある。

〔經〕 夏、城中丘

〔注〕 城例在莊二十九年、中丘在琅邪臨沂縣東北

〔經〕 齊侯使其弟年來聘

〔注〕 諸聘皆使卿執玉帛以相存問、例在襄元年

〔疏〕 注諸聘 元年

正義に曰はく、「聘禮」①に「使者は圭を執りて以て命を致す。束帛に璧を以て享を致す」とあり。鄭玄云ふ、「享は獻なり。既に聘し又た獻するは恩惠を厚くする所以なり」と。是れ玉帛を取りて以て相ひ存問するなり。『玉人』③の職に云ふ、「琿圭璋・璧琿は八寸、以て親聘す」と。注に云ふ、「八寸とは上公の臣に據る」と。案ずるに、「聘禮」の圭は以て君に聘し、璋は以て夫人に聘す。既に聘を行ふの後、璧は以て君を享し、琿は以て夫人を享す。又た鄭玄は「小行人」⑤に注して、「卿大夫をして親聘せしむ」と云ふ。其の君の瑞より降すること一等なれば、則ち侯伯の臣の圭・璋・璧・琿は皆な六寸、子男の臣は皆な四寸なり。又た「小行人」⑥に云ふ、「圭は馬を以てし、璋は皮を以てし、璧は帛を以

〔傳〕鄭伯如周、始朝桓王也

〔注〕桓王即位、周・鄭交惡、至是乃朝、故曰始

〔傳〕王不禮焉、周桓公言於王曰、我周之東遷、晉・鄭焉依

〔注〕周桓公、周公黑肩也、周采地、扶風雍縣東北有周城、幽王爲
犬戎所殺、平王東徙、晉文侯・鄭武公左右王室、故曰晉・鄭
焉依

〔疏〕注周桓、焉依

正義に曰はく、桓公は是れ周公黑肩なり。事は桓（公）十八年
傳に見ゆるなり。幽王、申の女を娶りて后と爲し、大子宜臼を生
む。後に褒姒を得て之を嬖し、子伯服を生む。申后を廢して大子
を逐ひ、褒姒を以て后と爲し、伯服をば大子と爲す。宜臼、申に
奔る。申侯乃ち犬戎と共に幽王を攻め、幽王を驪山の下に殺す。
是に於いて諸侯乃ち申侯と共に宜臼を立つ。是れ平王爲り。西都
の戎に偪らるるを以て、晉の文侯・鄭の武公、平王を夾輔して洛
邑に東遷す。〔毛詩〕・〔尚書〕・〔國語〕・〔史記〕に皆な略
ぼ其の事有り。

① 桓（公）十八年傳 桓公十八年伝に「周公欲弑莊王、而
立王子克、辛伯告王、遂与王殺周公黑肩、王子克奔燕」とあ
る。

② 『毛詩』 『毛詩』小序に「刺幽王」と記された篇は
「小雅」節南山之什・谷風之什・甫田之什・魚藻之什、「大
雅」蕩之什等に多く見えている。

③ 『尚書』 『尚書』周書・文侯之命等を指す。

④ 『國語』 『國語』周語上には周の東遷の模様が述べら
れており、「周語」中には「凡我周之東遷、晉・鄭是依」の
語が見え、また「晉語」四には「晉・鄭兄弟也、吾先君武公
与晋文侯戮力一心、股肱周室、夾輔平王、平王勞而德之、而
賜之盟質曰世相起也」とある。

⑤ 『史記』 『史記』周本紀を中心として、諸「世家」に
見える。

〔傳〕善鄭以勸來者、猶懼不訖

〔注〕訖至也

〔傳〕況不禮焉、鄭不來矣

〔注〕爲桓五年諸侯從王伐鄭傳

〔經〕七年、春、王三月、叔姬歸于紀

〔注〕無傳、叔姬伯姬之娣也、至是歸者、待年於父母國、不與嫡俱
行、故書

〔疏〕注叔姬、故書

正義に曰はく、女、他國に嫁するに皆な姪娣と適と俱に行くこ
と有れば、則ち尊ぶ所は適に在りて、適を書して姪娣を書せず。
叔姬は年を待つ女なり。年満ちて持に行くが故に其の「歸」を

統ぶべきが故に別に「五月」を言ふ。他皆な此れに放へ。

〔傳〕陳侯不許、五父諫曰、親仁善鄰、國寶也、君其許鄭

〔注〕五父、陳公子佗

〔傳〕陳侯曰、宋・衛實難

〔注〕可畏難也

〔傳〕鄭何能爲、遂不許、君子曰、善不可失、惡不可長、其陳桓公之謂乎、長惡不悛、從自及也

〔注〕悛止也、從隨也

〔傳〕雖欲救之、其將能乎、商書曰、惡之易也、如火之燎于原、不可鄉邇

〔注〕商書盤庚、言惡易長、如火焚原野、不可鄉近

〔傳〕其猶可撲滅

〔注〕言不可撲滅

〔傳〕周任有言

〔注〕周任、周大夫

〔傳〕曰、爲國家者、見惡如農夫之務去草焉、芟夷蕪崇之、絕其本根、勿使能殖、則善者信矣

〔注〕芟刈也、夷殺也、蕪積也、崇聚也

〔傳〕秋、宋人取長葛、冬、京師來告饑、公爲之請糴於宋・衛・齊・鄭、禮也

〔注〕告饑不以王命、故傳言京師、而不書於經也、雖非王命、而公共以稱命、己國不足、旁請鄰國、故曰禮也、傳見隱之賢

〔疏〕注告饑之賢

正義に曰はく、王の使(者)の魯に至れば皆な應に「經」に書すべし。此に獨り書せざるが故に之を解す。人情を以て之を恕するに、自ら粟を輸さざるを得ずして空しく他人に告ぐ。故に(杜預注に)「己が國に足らざれば、旁鄰國に請ふ。故に禮なりと曰ふ」を知るなり。①定(公)五年の「粟を蔡に歸る」は尙ほ「經」に書し、此に書せざるは、魯は往歲に螟災あるが故に己が國饑困して輸す所多からず、宋・鄭、粟を輸すも復た魯に告げざるを以ての故に皆な書せず。此の事は「經」無くして發す。故に(杜預注は)「『傳』の意は、隱(公)の賢を見ず」と解す。諸々の「經」無きの「傳」は皆な意に見す所有り。悉く皆な此れに放へ。

① 定(公)五年 定公五年經に「夏、歸粟于蔡」とある。

めて唐叔を封じ、懷氏一姓の九族及び是の先代の五官の長の子孫を以て之に賜ひしを謂ふ。（杜預注に）「五官の長」と言ふは、殷時に於いて五行の官の長と爲るを謂ふ。今、唐叔を褒寵するが故に其の家族を以て之に賜ふのみ。今、（「傳」に）「頃父の子の嘉父」と云ふは、頃父は舊職位に居りて名號章顯なるも、嘉父は新たに大夫と爲りて未だ甚だしくは著見ならざるを以て、故に之を父に繫く。諸々の父に繫けて文を爲すは、義は皆な此れに同じきなり。

① 唐叔 唐叔については、定公五年伝に詳細である。

〔傳〕 納諸鄆、晉人謂之鄆侯

〔注〕 鄆、晉別邑、諸地名疑者、皆言有以示不審、闕者不復起其闕、他皆放此、前年桓王立此侯之子於翼、故不得復入翼、別居鄆

〔疏〕 注諸地、放此

正義に曰はく、杜（預）、「復た其の闕を記さず」と言ふは、但だ「某邑」と言ふのみにして、下に「闕」と云はざるを謂ふ。若へば、（此の）鄆には直ちに「晉の別邑」と云ひ、及び「翼侯隨に奔る」の（杜預）注に「隨は晉の地」と云ひ、「鄭人、衛の牧を侵す」の（杜預）注に「牧は衛の邑」と云ふ。此の如きの類は皆な「闕」と言はず、是れなり。若し何國の地なるかを知らざれば則ち「闕」と言ふ。若へば、③「虞公、共池に出奔す」、④「公孫嬰齊、狸脈に卒す」には、並びに（杜預）注に「闕」と云ふ、是れなり。亦た某國の地なるを知ると雖も（杜預）注に亦た「闕」と云ふもの有り。則ち隱（公）十一年の蘇忿生の十二邑に「陘」

に注して「闕」と云ふは、餘邑は皆な所在を知るも、唯だ此れのみ獨り闕くるを以てなり。

① 翼侯 隱公五年伝の「翼侯奔隨」の杜預注に「隨晉地」とある。

② 鄭人 隱公五年伝の「四月、鄭人侵衛牧」の杜預注に「牧衛邑」とある。

③ 虞公 桓公十年伝の「虞公出奔共池」の杜預注に「共池地名、欠也」とある。

④ 公孫嬰齊 成公十七年経の「公孫嬰齊卒狸脈」の杜預注に「狸脈地欠」とある。

⑤ 隱（公）十一年 隱公十一年伝に「王取鄭・劉・蔣・鄆之田于鄭、而與鄭人蘇忿生之田、溫・原・緄・樊・隰・鄆・向・盟・州・陘・隕・懷」とあり、杜預は「陘」については「欠」と注するのみである。

〔傳〕 夏、盟于艾、始平于齊也

〔注〕 春秋前、魯與齊不平、今乃棄惡結好、故言始平于齊

〔傳〕 五月庚申、鄭伯侵陳、大獲、往歲鄭伯請成于陳

〔注〕 成猶平也

〔疏〕 五月庚申

正義に曰はく、案ずるに、「陘」の「艾に盟ふ」も亦た五月に在り、「傳」は略して月を言はず。庚申の日は須らく月以て之を

り。何故に此に於いて獨り鄭のみを惡むを爲さん。故に杜（預）一は以爲へらく、「上に鄭を伐ちて長葛を圍むこと有れば、則ち長葛は鄭の邑なること知るべし。故に鄭を言はざるなり」と。既に（杜預注に）「秋取る」と言ひ、取ること實に秋に在るも、其の「經」文に冬に在るに因り、遂に（杜預注に）「冬、備へ無きに乘ず」と言ふ。襄（公）十三年の傳例に曰はく、「凡そ「取」と書するは易きを言ふなり」と。此れ其の備へ無きに乘じて之を取るを知るなり。杜（預）、長葛の鄭に繋げざるは、「大都是以て名通ず」には非ざるを知るは、前年に「鄭を伐ちて長葛を圍む」と云ひ、長葛の文をば鄭に繋ぐるを以ての故なり。劉炫、「大都是名を通ず」を以て杜氏を規すは非なり。

① 八年傳 隱公八年伝に「冬、齊侯使來告成三国」と述べているのは、「經」に「秋、七月庚午、宋公・齊侯・衛侯盟于瓦屋」とあることを言う。

② 賈（逵）・服（虔） 本疏引。

③ 襄（公）十三年 襄公十三年伝に「凡書取言易也、用大師焉曰滅、弗地曰入」とある。

④ 前年 隱公五年経に「宋人伐鄭、圍長葛」とある。

⑤ 劉炫 本疏引。

〔傳〕 六年、春、鄭人來渝平、更成也

〔注〕 渝變也、公之爲公子、戰於狐壤、爲鄭所執、逃歸怨鄭、鄭伐宋、公欲救宋、宋使者失辭、公怒而止、忿宋則欲厚鄭、鄭因此而來、故經書渝平、傳曰更成

〔疏〕 傳・注渝變、更成

正義に曰はく、「渝は變なり」とは「釋言」の文なり。「變へて平らぐ」とは、前惡を變更して復た和好を爲すなり。「變」は即ち「更」の義、「成」は則ち「平」の訓なり。故に「傳」に「渝平——渝へて平らぐ」を解して、之を「更成——更へて成らぐ」と謂ふ。狐壤より以來鄭と和せず、今日復た和するが故に「更成」と曰ふ。更めて狐壤以前の好みを復するを言ふなり。服虔云ふ、「公、鄭の獲ふる所と爲り、釋されて平を結ばず。是に於いて更に約束を爲して以て之を結ぶ。故に「渝平」と曰ふ」と。「傳」を案ずるに、公、尹氏に賂ひて之と逃げ歸れば、鄭の釋す所に非ず。安んぞ釋されて平を結ぶを得んや。

① 「釋言」 『爾雅』釈言に「渝變也」とある。

② 狐壤 隱公十一年伝に「公之爲公子也、与鄭人戰于狐壤止焉、鄭人囚諸尹氏、賂尹氏而禱於其主鍾巫、遂与尹氏帰而立其主」とある。

③ 服虔 本疏引。

④ 「傳」 注②参照。

〔傳〕 翼九宗五正頃父之子嘉父、逆晉侯于隨

〔注〕 翼、晉舊都也、唐叔始封、受懷姓九宗、職官五正、遂世爲晉強家、五正、五官之長、九宗、一姓爲九族也、頃父之子嘉父、晉大夫

〔疏〕 注翼晉、大夫

正義に曰はく、（杜預注の）「唐叔の始めて封ぜらるるや、懷姓の九宗・職官の五正を受く」とは、周の成王、唐を滅ばして始

の下に乃ち「叔還、鄭に如きて盟に洩（のそ）む」と云ふ。平らぐの後に乃ち盟へば、「平」とは「盟」に非ざるを知るなり。

① 宣（公）十五年 宣公十五年經に「夏、五月、宋人及楚人平」とあり、「伝」に「盟曰、我無爾詐、爾無我虞」とある。

② 昭（公）七年 昭公七年經に「春、王正月、暨齊平」とあり、「伝」に「春、王正月、暨齊平、齊求之也、……二月戊午、盟于濡上」とある。

③ 定（公）十年 定公十年經に「春、王三月、及齊平」とある。

④ 定（公）十一年 定公十一年經に「冬、及鄭平、叔還如鄭洩盟」とある。

〔經〕 夏、五月辛酉、公會齊侯盟于艾

〔注〕 泰山牟縣東南有艾山

〔經〕 秋、七月

〔注〕 雖無事而書首月、具四時以成歲、他皆放此

〔疏〕 注雖無一放此

正義に曰はく、『公羊傳』に曰はく、「此れ事無し。何を以て書するや。春秋に事無きと雖も首の時過ぐれば則ち書す。首の時過ぐれば則ち何を以て書するや。『春秋』の編年、四時具はりて然る後に年を爲す」と。此の（杜預）注は『公羊』を用ひて説を

爲す。『釋例』に曰はく、「年の四時、或ひは事無しと雖も必ず空しく首月を書するは、以て時の變はるを紀し、以て歷數を明らかにするなり」と。

① 『公羊傳』 『公羊伝』隱公六年に「此無事、何以書、春秋雖無事、首時過則書、首時過則何以書、春秋編年、四時具然後爲年」とある。

② 『釋例』 『春秋釋例』終篇第四十六に見える。

〔經〕 冬、宋人取長葛

〔注〕 秋取、冬乃告也、上有伐鄭圍長葛、長葛鄭邑可知、故不言鄭也、前年冬圍不克而還、今冬乘長葛無備而取之、言易也

〔疏〕 注秋取一易也

正義に曰はく、「經」には「冬」を書し、「傳」には「秋」と言ふ。丘明、「傳」を爲るに例として虚しく「經」文を擧げず。獨り「秋」を以て此の事を言へば、明らかに是れ秋を以て取り、冬に始めて「取る」と告げ言ふのみ。故に之を冬に書す。若し其の使（者）、冬を以て至り、「秋取る」と告げ言へば、「（經）には」亦た當に秋に追書すべし。八年傳に曰はく、「冬、齊侯、來たりて三國を成らざるを告げしむ」と。秋に成らざる、冬に告ぐれば、之を（「經」には）秋に書す。明らかに此（本年）は「冬取る」を以て告ぐるが故に冬に書するなり。

② 賈（逵）・服（虔）以爲へらく、「長葛の鄭に繫げざるは、其の邑、其の色を撫有する能はざるを刺るなり」と。凡そ邑、他國の取る所と爲るものは、皆な之を撫有する能はざるな

〔傳〕冬、十二月辛巳、威僖伯卒、公曰、叔父有憾於寡人

〔注〕諸侯稱同姓大夫、長曰伯父、少曰叔父、有憾、憾諫觀魚不聽

〔疏〕注諸侯不聽

正義に曰はく『詩』伐木篇の「毛傳」に曰はく、「天子、同姓の諸侯を謂ひ、諸侯、同姓の大夫を謂ふに皆な父と曰ふ。異姓には則ち舅と曰ふ」と。「觀禮」に天子の諸侯を呼ぶ稱を載せて曰はく、「同姓の大國には則ち伯父と曰ひ、其の異姓には則ち伯舅と曰ふ。同姓の小邦には則ち叔父と曰ひ、其の異姓には則ち叔舅と曰ふ」と。然らば則ち諸侯の國には大小の異有り、大夫には地の大小無ければ、明らかに年の長少を以て異と爲すなり。莊(公)十四年傳に「鄭の厲公、原繁を謂ひて伯父と爲す」と稱し、『禮記』祭統に「衛の莊公、孔悝を呼んで叔舅と爲す」と稱す。諸侯は異姓の大夫を呼んで伯舅と爲し、同姓の大夫を叔父と爲すは、則ち文無しと雖も、明らかに亦た然るなり。

僖伯は、孝公の子にして惠公の弟なり。惠公立つこと四十六年にして薨すれば、則ち子威は此の時、年は幼少に非ず。呼んで叔父と曰ふは、是れ隱公の親叔父なり。此の(杜預)注は自づから臣の大法を言ふのみ。

① 『詩』『毛詩』小雅・鹿鳴之什の伐木の「既有肥羜、

以速諸父」の毛伝に「羜、未成羊也、天子謂同姓諸侯、諸侯謂同姓大夫、皆曰諸父、異姓則稱舅、国君友其賢臣、大夫士友其宗族之仁者」とある。

② 「觀禮」『儀礼』觀礼に「同姓大國則曰伯父、其異姓

則曰伯舅、同姓小邦則曰叔父、其異姓小邦則曰叔舅」とある。

③ 莊(公)十四年傳 莊公十四年伝に「厲公入、遂殺傅瑕、

使謂原繁曰、傅瑕貳、周有常刑、既伏其罪矣、納我而無二心者、吾皆許之、上大夫之事、吾願与伯古圖之、且寡人出、伯父無裏言、入又不念寡人、寡人憾焉」とある。

④ 『禮記』『礼記』祭統に「故衛孔悝之鼎銘曰、六月丁亥、公仮于大廟、公曰、叔舅乃祖莊叔、左右成公」とある。

〔傳〕寡人弗敢忘、葬之加一等

〔注〕加命服之等

〔傳〕宋人伐鄭、圍長葛、以報入郕之役也

〔經〕六年、春、鄭人來渝平

〔注〕和而不盟曰平

〔疏〕注和而不盟曰平

正義に曰はく、宣(公)十五年「宋人、楚人と平らぐ」の「傳」に其の盟辭を載せ、昭(公)七年「燕、齊と平らぐ」の「傳」に「濡上に盟ふ」と稱すれば、「平」には皆な盟有るに似たり。而るに(杜預注に)「盟はず」と云ふは、「平」とは實に解怨和好の辭にして、盟を要するには非ざるなり。彼は自づから既に平らぐの後に、別に盟を爲すのみ。此と定(公)十年の「齊と平らぐ」とは皆な「傳」に盟の事無く、定(公)十一年の「鄭と平らぐ」

き無し。此れよりの後、八佾を僭用するを書せざれば、他廟には僭して改めざるを知る。故に杜（預）は自づから其の證を明らかにす。其の後に季氏、八佾を庭に舞はしむれば、唯だ仲子の廟に在りてのみ六を用ふるを知るなり。

① 襄（公）十二年傳

襄公十二年伝に「臨於周廟、礼也、凡諸侯之喪、異姓臨外、同姓臨於宗廟、同宗於祖廟、同族於禰廟、是故魯為諸姬、臨於周廟、為邢・凡・蔣・茅・胙・祭、臨於周公之廟」とある。

② 『禮記』祭統

『礼記』祭統に「昔者周公旦、有勲勞於天下、周公既没、成王・康王追念周公之所以勲勞者、而欲尊魯、故賜之以重祭外祭則郊社、是也、内祭則大嘗禘、是也、夫大嘗禘、升歌清廟、下而管象、朱干・玉戚以舞大武、八佾以舞夏、此天子之樂也、康周公、故以賜魯也、子孫纂之、至于今不廢、所以明周公之德、而又以重其國也」とある。

③ 「明堂位」

『礼記』明堂位に「是以封周公於曲阜、地方七百里、革車千乘、命魯公、世世祀周公、以天子之礼樂」とある。

④ 何休

『公羊伝』隱公五年に「初獻六羽何以書、譏、何譏、譏始僭諸公也」とあり、何休解詁に「僭齊也、下倣上之辞也」とある。

⑤ 昭（公）二十五年『公羊傳』

『公羊伝』昭公二十五年に「唁公者何、昭公將弑季氏、告子家駒曰、季氏為無道、僭干公室、久矣、吾欲弑之、何如、子家駒曰、諸侯僭于天子、大夫僭于諸侯、久矣、昭公曰、吾何僭矣哉、子家駒曰、設兩觀、乘大路、朱干・玉戚以舞大夏、八佾以舞大武、此皆天子之礼也」とある。

⑥ 季氏 『論語』八佾に「孔子謂季氏、八佾舞於庭、是可忍也、孰不可忍也」とある。

〔傳〕 宋人取邾田、邾人告於鄭曰、謂君釋憾於宋、敝邑為道

〔注〕 釋四年再見伐之恨

〔傳〕 鄭人以王師會之

〔注〕 王師不書、不以告也

〔傳〕 伐宋入其郛、以報東門之役

〔注〕 郭郭也、東門役在四年

〔傳〕 宋人使來告命

〔注〕 告命策書

〔傳〕 公聞其入郛、將救之、問於使者曰、師何及、對曰、未及國

〔注〕 怱公知而故問、責窮辭

〔傳〕 公怒乃止、辭使者曰、君命寡人、同恤社稷之難、今問諸使者、

曰師未及國、非寡人之所敢知也

〔注〕 為七年公伐邾傳

道行、故樂用笙、離主夏至、陽始下、陰又成物、故聖王法承天、以法授衣服制度、所以明礼義顯貴賤、明燭其德、卒之以度、則女功有差、男行有礼、故樂用絃、坤主立秋、陽氣方入、陰氣用事、昆蟲首亢欲蟄、故聖王法之、授宮室度量、又章制有宜、大小有法、貴賤有差、上下有順、故樂用磬、兌主秋分、天地万物人功皆以定、故聖王法承天、以定爵祿、爵祿者不過其能、官為君、商為臣、商章也、言臣章明君之功德、尊卑有位、位有物、物有宜、功成者爵賞、功敗者刑罰、故樂用鍾、乾主立冬、陰陽終而復始、万物死而復蘇、故聖王法承天、以制刑法、誅一動千、殺一感万、使死者不恨、生者不怨、故樂用柷梧」とある。

⑨ 「蟋蟀」の詩 『毛詩』唐風・蟋蟀に「蟋蟀在堂、歲事其莫、今我不樂、日月其除、無已大康、職思其居、好樂無荒、良士瞿瞿、蟋蟀在堂、歲事其逝、今我不樂、日月其邁、無已大康、職思其外、好樂無荒、良士蹶蹶、蟋蟀在堂、役車其休、今我不樂、日月其慆、無已大康、職思其憂、好樂無荒、良士休休」とある。

⑩ 舜 『孔子家語』弁樂解第三十五に「昔者舜彈五絃之琴、造南風之詩、其詩曰、南風之薰兮、可以解吾民之慍兮、南風之時兮、可以阜吾民之財兮」とある。

〔傳〕 故自八以下

〔注〕 唯天子得盡物數、故以八爲列、諸侯則不敢用八

〔傳〕 公從之、於是初獻六羽、始用六佾也

〔注〕 魯唯文王・周公廟得用八、而他公遂因仍僭用之、今隱公特立此婦人之廟、詳問衆仲、因明大典、故傳亦因言始用六佾、其後季氏舞八佾於庭、知惟在仲子廟用六

〔疏〕 注魯唯（用六）

正義に曰はく、襄（公）十二年傳に曰はく、「魯は諸姫の爲めに周の廟に臨む」と。是れ魯は文王の廟を立つるなり。文王は天子なれば自然に八を用ふ。『禮記』祭統に曰はく、「昔は、周公旦天下に勲勞有り。成公・康王、之に賜ふに重祭を以てす。朱干・玉戚以て大武を舞はし、八佾以て大夏を舞はすは、此れ天子の樂なり。周公を康む。故に以て魯に賜ふ」と。『明堂位』に曰はく、「魯公に命じて世世公を祀るに天子の禮樂を以てせしむ」と。是れ周公の廟には八を用ふるなり。（本年）『傳』に「始めて六佾を用ふ」と曰へば、則ち以前は八を用ふるを知るなり。何休云ふ、「僭は齊なり。下の上に倣ふの辭なり」と。魯の僭倣は必ず因る所有り。故に其の僭の由る所に本づく。文王・周公の廟は八佾を用ふるに由り、他公の廟にても遂に因りて仍は僭へて之を用ふるを言ふなり。今、隱公は衆仲に詳問す。衆仲、因りて大典を明らかにし、公は其の言に従ひ、仲子の廟に於いて初めて六羽を獻ず。故に「傳」も亦た因りて「始めて六佾を用ふ」と言ふ。仲子の廟に六佾を用ふれば、他公は則ち仍は八を用ふるを謂ふなり。襄（公）・昭（公）の時に至つて、魯は猶ほ皆な亦た八を用ふ。故に昭（公）二十五年『公羊傳』に稱す、「昭公、子家駒に謂ひて曰はく、『吾れ何を僭するや』。荅へて曰はく、『朱干・玉戚以て大夏を舞ひ、八佾以て大武を舞ふ。是れ皆な天子の禮なり』」と。是れ昭公の時、僭して八を用ふるなり。此は減じて正禮に従ひ、尙ほ「經」に書す。更に非禮に僭するが若きは、書せざるべ

⑤ 二名なり。昭（公）十八年傳に曰はく、「是れを融風と謂ふ」と。
 ⑥ 是れ其れ調と融とは同じきなり。沈氏云ふ、「案ずるに、『樂緯』
 に云ふ、『坎は冬至を主り、樂には管を用ふ。艮は立春を主り、
 樂には埴を用ふ。震は春分を主り、樂には鼓を用ふ。巽は立夏を
 主り、樂には笙を用ふ。離は夏至を主り、樂には絃を用ふ。坤は
 立秋を主り、樂には磬を用ふ。兌は秋分を主り、樂には鍾を用ふ。
 乾は立冬を主り、樂には祝散を用ふ』と。此れ八方の音には既に
 二説有るも未だ孰れか是なるを知らず。故に兩つながら存する
 なり。（沈氏は）更に樂を制するの本、音を節し風を行ふの意を
 説きて以へらく、「八音の器は宜しく八方の風に播くべし。人々を
 して手を用ひて以て之を舞ひ、足を用ひて以て之を踏ましめ、其
 の體制を節して荒淫せざらしめ、人情を次序して蘊結せざらしむ
 るなり。『蟋蟀』の詩に曰はく、『已太康しむこと無かれ、職と
 して其の居を思へ』と。是れ其の制を節するなり。舜は南風を歌
 つて曰はく、『南風の時なるや、以て吾人の財を阜にすべし。南
 風の薫ずるや、以て吾人の慍を解くべし』と。是れ其の情を序す
 るなり」と。

- ① 『周禮』 『周礼』春官・大師に「大師掌六律・六同、
 以合陰陽之声、陽声、黄鍾・大蕤・姑洗・蕤賓・夷則・無射、
 陰声、大呂・應鍾・南呂・函鍾・小呂・夾鍾、皆文之以五声、
 宮・商・角・徵・羽、皆播之以八音、金・石・土・革・絲・
 木・匏・竹」とあり、鄭玄注に「金鍾鎛也、石磬也、土埴也、
 革鼓鼗也、絲琴瑟也、木祝散也、匏笙也、竹管簫也」とある。
- ② 鄭玄 注①参照。
- ③ 服虔 本疏引。
- ④ 『易緯通卦驗』 本疏引。ちなみに『太平御覽』卷第九
 ・風の部に「『易通卦驗』曰、冬至広莫風至、誅有罪、断大

刑、立春条風至、赦小罪、出稽留、春分明庶風至、正封疆、
 修田疇、立夏清明風至、出幣帛、礼諸侯、夏至景風至、弁大
 將、封有功、立秋涼風至、報土功、祀四鄉、秋分閭闔風至、
 解懸垂、琴瑟不張、立冬不周風至、修宮室、完辺城、八風以
 時、則陰陽變化道成、万物得以育生、王当順八風、行八政、
 当八卦也」とある。

⑤ 同治十三年湖南書局刊本『春秋左伝注疏』は一名を二名に
 作る。

⑥ 昭（公）十八年傳 昭公十八年伝に「夏、五月、火始昏
 見、丙子風、梓慎曰、是謂融風、火之始也、七日其火作乎」
 とある。

⑦ 沈（氏） 沈文阿。本疏引。

⑧ 『樂緯』 『五經大義』第十四論雜配の第二論配声音に
 「『樂緯汁図微篇』云、坎主冬至、宮者君之象、人有君、然
 後万物成、氣有黄鍾之宮、然後万物調、所以始正天下也、能
 与天地同儀、神明合德者、則七始八始、各得其宜、而天子穆
 穆、四方取始、故樂用管、艮主立春、陽氣始出、言雷動百里、
 聖人授民田、亦不過百畝、此天地之分、黄鍾之度、九而調八
 音、故聖人以九頃、成八家、上農夫食九口、中者七口、下者
 五口、是為富者不足以奢、貧者無飢餓之憂、三年余一年之蓄、
 九年余三年之蓄、此黄鍾之所成、以消息之和、故樂用埴、震
 主春分、天地陰陽分均、故聖王法承天、以立五均、五均者亦
 律、調五声之均也、音至衆也、声不過五、物至蕃也、均不過
 五、為富者慮貪、強者不侵弱、智者不詐愚、市無二価、万物
 同均、四時当得、公家有餘、恩及天下、与天地同德、故樂用
 鼓、巽主立夏、言万物長短各有差、故聖王法承天、以法授事
 焉、尊卑各有差、於土則義讓有礼、君臣有差、上下皆次、治

以てす』とあるは、二佾の樂爲り。上より下に及ぶまで行は皆な八人なるを知る」と。斯れ然らざるなり。彼（襄公十一年）の「傳」に「晉侯、樂の半を減じて以て魏絳に賜ふ」と見ゆるは、「歌鐘二肆」に因りて遂に「女樂二八」を下（文）の「樂を半にす」の張本と爲すを言ふのみ。二八を以て二佾と爲すに非ず。若し二八は即ち是れ二佾なれば、鄭人は豈に二佾の樂を以て晉侯に賂はんや。晉侯は豈に一佾の樂を以て魏絳に賜はんや。

① 何休 『公羊伝』隱公五年に「初者何、始也、六羽者何、舞也、初獻六羽何以書、譏、何譏爾、譏始僭諸公也、六羽之爲僭奈何、天子八佾、諸公六、諸侯四」とあり、何休解詁に「佾者列也、八人爲列、八八六十四人、法八風、六人爲列、六六三十六人、法六律、四人爲列、四四十六人、法四時」とある。

② 服虔 本疏引。

③ 襄（公）十一年 襄公十一年伝に「鄭人賂晉侯、以師愷・師觸・師鐸・広車・軌車・淳十五乘甲兵備、凡兵車百乘、歌鐘二肆、及其鐃磬・女樂二人、晉侯以樂之半、賜魏絳」とある。

〔傳〕 大夫四

〔注〕 四四十六人

〔傳〕 士二

〔注〕 二二十四人、士有功、賜用樂

〔傳〕 夫舞所以節八音而行八風

〔注〕 八音、金・石・絲・竹・匏・土・革・木也、八風、八方之風也、以八音之器、播八方之風、手之舞之、足之踏之、節其制、而序其情

〔疏〕 夫舞 八風

正義に曰はく、舞は樂の主爲り。音は舞の節を逐ひ、八音皆な奏でられて舞曲之に齊ふ。故に舞は八音を節する所以なり。八方の風氣は寒暑同じからず。樂は能く陰陽を調へ節氣を和らぐ。八方の風氣は舞に由りて行る。故に舞は八風を行ふ所以なり。

〔疏〕 注八音 其情

正義に曰はく、八音を金・石・土・革・絲・木・匏・竹と爲すは、『周禮』大師職の文なり。鄭玄云ふ、「金は鍾鎛なり。石は磬なり。土は埴なり。革は鼓鼗なり。絲は琴瑟なり。木は柷敔なり。匏は笙なり。竹は管簫なり」と。（杜預注の）「八風は八方の風なり」とは、服虔以爲へらく、「八卦の風、乾の音は石にして其の風は不周なり。坎の音は革にして其の風は廣莫なり。艮の音は匏にして其の風は融なり。震の音は竹にして其の風は明庶なり。巽の音は木にして其の風は清明なり。離の音は絲にして其の風は景なり。坤の音は土にして其の風は涼なり。兌の音は金にして其の風は閭闔なり」と。『易緯通卦驗』に云ふ、「立春に調の風至り、春分に明庶の風至り、立夏に清明の風至り、夏至に景の風至り、立秋に涼の風至り、秋分に閭闔の風至り、立冬に不周の風至り、冬至に廣莫の風至る」と。風の體は一なり。天氣を逐ひ八節に隨ひて之が爲めに名を立つるのみ。調と融とは一風にして

第十八」とある。

② 文（公）十二年 文公十二年経に「春、王正月、邾伯来奔」とあり、「伝」に「春、邾伯卒、邾人立君、太子以夫鍾与邾封来奔、公以諸侯、逆之、非礼也、故書曰邾伯来奔、不書地、尊諸侯也」とある。

〔傳〕 九月、考仲子之宮、將萬焉

〔注〕 萬、舞也

〔疏〕 注萬舞也

正義に曰はく、案ずるに、『公羊傳』に曰はく、「萬とは何ぞ。千舞なり。簫とは何ぞ。羽舞なり」と。さすれば則ち萬と羽とは同じからず。今、（本年）「傳」に「將に萬せんとす。羽數を衆仲に問ふ」と云ふ。是れ萬と羽とは一者爲り。萬・羽の異は自づから是れ『公羊』の説なり。今、杜（預）直ちに「萬は舞なり」と云へば、則ち萬は是れ舞の大名なり。何休云ふ、「仲子の廟には唯だ羽舞有るのみにて千舞無き所以は、婦人には武事無く、獨り文樂を奏するのみ」と。劉炫云ふ、「『公羊傳』に『萬とは云云、簫とは云云』と曰へば、羽は文爲り、萬は武爲り。武は則ち左に朱千を執り右に玉威を乗る。文は則ち左に簫を執り右に翟を乗る。此の（本年）『傳』の『將に萬せんとす羽を問ふ』は、即ち萬と羽は同じものに似たり。以へらく、此の時に當たり萬と羽とは俱に作すも、但だ將に萬せんとして羽數を問ふにて、羽は即ち萬なりと謂ふに非ざるなり。『經』に直ちに羽と書すれば、與に『傳』之を互見するのみ」と。

① 『公羊傳』 『公羊伝』宣公八年に「釋者何、祭之明日也、万者何、千舞也、簫者何、簫舞也」とある。

② 何休 『公羊伝』隱公五年「……僭天子、不可言也」の何休解詁に「言僭、則千舞在其中、明婦人無武事、独奏文樂」とある。

③ 劉炫 本疏引。

④ 『公羊傳』 注①参照。

〔傳〕 公問羽數於衆仲

〔注〕 問執羽人數

〔傳〕 對曰、天子用八

〔注〕 八八六十四人

〔傳〕 諸侯用六

〔注〕 六六三十六人

〔疏〕 注六六三十六人

正義に曰はく、何休の説は此（杜預）の如きなり。服虔以へらく、「六を用ふとは六八四十八爲り。大夫は四とは、四八三十二爲り。士は二とは、二八十六爲り」と。杜（預）は以へらく、舞勢は宜しく方なるべく、行列既に減ずれば即ち行ごとに人數も亦た宜しく減ずべし、と。故に何（休）の説に同じきなり。或ひと以へらく、「襄（公）十一年に『鄭人、晉侯に賂ふに女樂二八を

衛牧者、於下事宜得月以明事之先後、故不復備舉經文、三年君氏卒、其義亦同、他皆倣此

〔傳〕 以報東門之役

〔注〕 東門役在四年

〔傳〕 衛人以燕師伐鄭

〔注〕 南燕國、今東郡燕縣

〔疏〕 注南燕、燕縣

正義に曰はく、燕に二國有り。一は北燕と稱す。故に此の(杜預)注に「南燕」と言ひて以て之を別つなり。『世本』^①に「燕國は姁姓なり」とあり。「地理志」に「東郡の燕縣は南燕國。姁姓なり。黃帝の後なり」とあり。小國にして世家無ければ、其の君の號諡を知らず。唯だ莊(公)二十(年)に燕の仲父、「傳」に見ゆるのみ。

① 『世本』 本疏引。

② 「地理志」 『漢書』地理志・上の東郡の部に「南燕、南燕國、姁姓、黃帝後」とある。

③ 莊(公)二十 莊公二十年伝に「春、鄭伯和王室不尅、執燕仲父」とある。

〔傳〕 鄭祭足・原繁・洩駕、以三軍軍其前、使曼伯與子元、潛軍軍其後、燕人畏鄭三軍、而不虞制人

〔注〕 北制、鄭邑、今河南成皋縣也、一名虎牢

〔傳〕 六月、鄭二公子以制人、敗燕師于北制

〔注〕 二公子、曼伯・子元也

〔傳〕 君子曰、不備不虞、不可以師、曲沃叛王、秋、王命虢公伐曲沃、而立哀侯于翼

〔注〕 春、翼侯奔隨、故立其子光

〔傳〕 衛之亂也、邾人侵衛、故衛師入邾

〔注〕 邾、國也、東平剛父縣西南有邾鄉

〔疏〕 注邾國、邾鄉

正義に曰はく、『史記』管蔡世家に「邾の武叔は文王の子にして武王の母弟なり」と稱するも後世見ゆる所無し。既に世家無ければ、其の君の號諡を知らず。唯だ文(公)十二年に「邾の太子朱儒、魯に奔る。書して邾伯來奔すと曰ふ」とあり。「經」・「傳」に見ゆれば則ち邾國は伯爵なり。

① 『史記』 『史記』管蔡世家に「武王同母兄弟十人、母

曰太姒、文王正妃也、其長子曰伯邑考、次曰武王發、次曰管叔鮮、次曰周公旦、次曰蔡叔度、次曰曹叔振鐸、次曰成叔武、次曰霍叔處、次曰康叔封、次曰冉季載、冉季載最少、同母昆

〔注〕矢亦陳也、棠、魯地竟、故曰遠地^①

〔疏〕注矢亦陳也

正義に曰はく、『釋詁』に云ふ、「矢は陳なり」と。

① 魯地竟、『春秋經伝集解』（四部叢刊）、『春秋左伝注疏』（同治十三年湖南書局）にては「棠、實他竟、故曰遠地」に作る。

② 『釋詁』『爾雅』釈詁に「矢・雉・引・延・順・薦・劉・繹・尸・族、陳也」とある。

〔傳〕曲沃莊伯以鄭人・邢人伐翼

〔注〕曲沃、晉別封、成師之邑、在河東聞喜縣、莊伯、成師子也、翼、晉舊都、在平陽絳邑縣東、邢國在廣平襄國縣

〔疏〕注曲沃、國縣

正義に曰はく、晉國は侯爵。『譜』^①に云ふ、「姬姓。武王の子の唐叔虞の後なり。成王、唐を滅ぼして之を封ず。今の太原の晉陽縣、是れなり。燹父、之を改めて晉と曰ふ。燹父の孫の成侯、徙りて曲沃に都す。今の河東の聞喜縣、是れなり。穆侯、徙りて絳に都す。鄂侯の二年は魯の隠公の元年なり。定公三十年は獲麟の歲なり。出公の八年にして『春秋』の「傳」終はるなり。出公は十七年にして卒す。出公より以下、五世八十二年にして、韓・趙・魏、晉を滅ぼすなり」と。

② 『地理志』に云ふ、「河東の聞喜縣は故の曲沃なり。武帝の元鼎六年、行過して名を改む」と。應劭曰はく、「武帝、此に於い

て南越の破れしを聞き、改めて聞喜と曰ふ」と。^④「志」に又た曰はく、「趙國の襄國縣は故の刑國なり」と。然らば則ち漢に於いては趙國に屬し、晉に於いては廣平に屬するなり。

① 『譜』『春秋釈例』世族譜第四十五之下の晉國の部に見える。

② 「地理志」『漢書』地理志・上の河東郡の部に「聞喜、故曲沃、晉武公自晉陽徙此、武帝元鼎六年行過、更名」とあり、顔師古注に「應劭曰、今曲沃也、秦改為左邑、武帝於此、聞南越破、改曰聞喜」とある。

③ 應劭 注②参照。

④ 「志」『漢書』地理志・下の趙國の部に「襄國故刑國、西山渠水所出、東北至任入潞、又有蓼水・馮水、皆東至朝平入潞」とある。

〔傳〕王使尹氏・武氏助之、翼侯奔隨

〔注〕尹氏・武氏、皆周世族大夫也、晉内相攻伐不告亂、故不書、傳具其事、爲後晉事張本、曲沃及翼本未見桓二年、隨晉地

〔傳〕夏、葬衛桓公、衛亂、是以緩

〔注〕有州吁之亂、十四月乃葬、傳明其非慢也

〔傳〕四月、鄭人侵衛牧

〔注〕牧衛邑、經書夏四月葬衛桓公、今傳直夏而更以四月附鄭人侵

親^{ちうか}らする所に非ざるなり」と云ふ。「雜猥」とは諸々の雜猥して碎^くずるを謂ふなり。「資」とは器の資財、此れを待ちて備はるを謂ふ。器の用ふる所及び盛る所、皆な是れなり。『穀梁傳』に「禮に、尊は小事に親します、卑は大功を尸^{かまど}らず。魚は卑者の事なり。公之を觀るは正に非らず」と曰ふは、此れと同じきなり。若し然らば、「月令」に「季冬。漁師に命じて始めて漁せしむ。天子親^{みづか}ら往く。魚を嘗め、先づ寢廟に薦む」とあり。彼の禮にては、天子は親^{みづか}ら往く。此に公を譏るは、彼「月令」は時に魚の絜美なるを以て之を取り、以て宗廟に薦むるは、特に其の事を重んずるなり。天子親^{みづか}ら行くは、意は鬼神に敬事するに在りて、以て戲樂を爲すを欲するに非ず。隱公の魚を觀るの志は遊樂に在り。故に之を譏るなり。

① 『穀梁傳』 本年の『穀梁傳』に「五年、春、公觀魚于棠、伝曰、常事曰視、非常曰觀、礼尊不親小事、卑不尸大功、魚卑者之事也、公觀之、非正也」とある。

② 「月令」 『礼記』月令の季冬の月に「是月也、命漁師、始漁、天子親往、乃嘗魚、薦寢廟」とあり、鄭玄注に「天子必親往視漁、明漁非常事重之也、此時魚絜美」とある。

〔傳〕 公曰、吾將略地焉

〔注〕 孫辭以略地、略摠攝巡行之名、傳曰、東略之不知、西則否矣

〔疏〕 注孫辭、否矣

正義に曰はく、僖^①(公)九年傳に「東略するは知らず、西は則ち否^②らず」と曰ひ、又た十六年傳に「鄆を謀り、且つ東略するな

り」と曰ふ。「略」とは巡行の名なり。(「傳」の)「公曰はく、吾れ將に地を略せんとす」とは、邊境を按行せんと欲するを言ふ、是れ孫辭なり。若し國境の内ならば、應に公の遠遊を譏るべからず。(後「傳」に)「且つ遠地を言ふ」とあれば、明らかに是れ他竟なり。

③ 『釋例』に曰はく、「舊説にては、棠は魯の地なり。『傳』の公の辭に『地を略せんと欲す』とあるに據れば、則ち魯の竟に非ざるなり」と。『釋例』土地名にては棠は魯の部内に在り、「本は宋の地なり」と言ふ。蓋し宋と魯の界上ならん。

① 僖(公)九年傳 僖公九年伝に「秋、齊侯盟諸侯于葵丘、曰凡我同盟之人、既盟之後、言歸于好、宰孔先婦、遇晉侯曰、可無会也、齊侯不務德、而勤遠略、故北伐山戎、南伐楚、西為此会也、東略之不知、西則否矣、其在乱乎、君務靖乱、無勤於行」とある。

② 十六年傳 僖公十六年伝に「十二月、会于淮、謀鄭且東略也」とある。

③ 『釋例』 『春秋釋例』蒐狩例第十七に見える。

④ 『釋例』 『春秋釋例』土地名第四十四之一の魯地の部に見える。

〔傳〕 遂往陳魚而觀之

〔注〕 陳設張也、公大設捕魚之備而觀之

〔傳〕 僖伯稱疾不從、書曰公矢魚于棠、非禮也、且言遠地也

も亦た然り。法の器に非ざれば公は亦た擧げず。「登」は訓じて「升」となす。服虔以へらく、「上（不登於俎）の登を升と爲し、下（不登於器）の登を成と爲す」と。二登は異訓を容れず。且つ「器に成さず」と云ふは不辭爲り。又た器は、此の物を以て飾と爲せば、寧ろ復た之を待ちて乃ち成らんや。『周禮』數人に「凡そ祭祀には、其の魚の鼈を共す」とあり。『特牲・少牢の祭祀の禮には皆な魚有りて俎の實と爲る。肉、俎に登せば、公は則ち之を射る。而るに魚を觀るを以て非禮と爲すは、此（の「傳」）に「俎に登せず」と言ふは、妄りに出でて遊獵し、鳥獸を取ると雖も、元より祭祀の爲めにせざるを謂ふ。（「傳」の「器に登せず」も亦た盤遊し、元より材を取りて以て器物を飾る爲めにせざるを謂ふ。今、公、魚を觀るは乃ち是れ遊戲なり。故に以て之を非とす。然らば、登俎・登器の物は君の親らする所と雖も、庶羞・雜物・細小の倫に至つては、祭祀の爲めにすと雖も、亦た公は射ず。『禮』にては、水土の品・籩豆の物、苟も薦むべきものは、咸な在らざる莫し。豈に皆な公之を親らせんや。劉炫云ふ、「此れ田獵の時を言ふ。小鳥・小獸ならば則ち公は射ず。事を講じて田すと雖も、尙ほ小物を射ず。況んや魚は事を講ずるに非ざれば、宜しく輒ち擧ぐべからず。登俎の物は皆な公の親ら射る所なるを謂はず。祭祀の水土云々も同じきなり」と。

- ① 『説文』 『説文解字』に「革、獸皮治去其毛曰革、革更也、象古文革之形、凡革之屬皆從革」とある。
- ② 『周禮』 『周礼』天官・掌皮に「掌秋斂皮、冬斂革、春獻之、遂以式法、頒皮革于百工、共其龜毛為旌、以待邦事、歲終則會其財賈」とある。

③ 服虔 本疏引。

④ 『周禮』 『周礼』天官・數人に「掌以時獻為梁、春獻王鮪、弁魚物、魚鼈、以共王膳羞、凡祭祀・賓客・喪紀共其魚之鼈、凡獻者、掌其政令、凡獻征、入于玉府」とあり、鄭玄注に「鼈、乾也」とある。

⑤ 特牲・少牢の祭祀の禮 『儀礼』の「特牲饋食礼」・「少牢饋食礼」を参照。

⑥ 禮 『礼記』郊特牲に「鼎俎奇、而籩豆偶、陰陽之義也、籩豆之實水土之品也、不敢用褻味、而貴多品、所以交於神明之義也……籩豆之薦水土之品也、不敢用常褻味、而貴多品、所以交於神明之義也、非食味之道也、先王之薦可食也、而不可嗜也」とあり、同じく「祭統」に「凡天之所生、地之所長、苟可薦者、莫不咸在、示尽物也、外則尽物、内則尽志、此祭之心也」とある。

⑦ 劉炫 本疏引。

〔傳〕 則公不射、古之制也、若夫山林川澤之實、器用之資・阜隸之事・官司之守、非君所及也

〔注〕 士臣阜、阜臣興、興臣隸、言取此雜猥之物、以資器備、是小臣有司之職、非諸侯之所親也

〔疏〕 若夫 及也

正義に曰はく、「山林の實」は材木・樵薪の類を謂ひ、「川澤の實」は淩茨・魚蟹の屬を謂ふ。此れ皆な器用の資須する所、賤人の守掌する所にして、人君の宜しく之に親及すべき所に非ざるなり。此れ、意は魚を觀るを諫むと雖も而も小事を廣言す。故に（杜預）注に「此の雜猥の物を取り、以て器の備に資す。諸侯の

也、師都、遂大夫也、鄉遂、鄉大夫也、或載旛或載物、衆屬軍吏、無所將也、郊謂鄉遂之州長與正以下也、野謂公邑大夫、載旂者、以其將義卒也、百官、鄉大夫也、載旗者、以其屬衛王也、凡旌旗有軍衆者画異物、無者帛而已」とある。

⑤ 鄭玄 注④参照。

⑥ 「司馬」の職の文 注④参照。

⑦ 「司常」の職 『周礼』春官・司常に「掌九旗之物名、各有属、以待国事、日月為常、交龍為旂、通帛為旌、雜帛為物、熊虎為旗、鳥隼為旟、龜蛇為旐、全羽為旖、析羽為旛、及国之大閱、贊司馬頒旗物、王建大常、諸侯建旂、孤卿建旌、大夫士建物、師都建旗、州里建旗、縣鄙建旐、道車載旐、旂車載旌」とある。

⑧ 鄭玄 『周礼』夏官・大司馬の「中冬、教大閱」の鄭玄注に「凡頒旗物、以出軍之旗則如秋、以尊卑之常則如冬、司常佐司馬時也、大閱備軍礼、而旌旗不如出軍之時、空辟実」とある。

⑨ 服虔 本疏引。

⑩ 「司馬」の職 注④参照。

⑪ 「大司馬」の職 注④参照。

⑫ 「巾車」 注①参照。

⑬ 大白以下 注①参照。

〔傳〕明貴賤、辨等列

〔注〕等列、行伍

〔傳〕順少長

〔注〕出則少者在前、還則在後、所謂順也

〔傳〕習威儀也、鳥獸之肉、不登於俎

〔注〕俎、祭宗廟器

〔傳〕皮革・齒牙・骨角・毛羽、不登於器

〔注〕謂以飾法度之器

〔疏〕鳥獸 於器

正義に曰はく、『説文』に云ふ、「革は、獸皮其の毛を治去し、之を革更するなり」と。然らば則ち毛有るを皮と爲し、毛を去るを革と爲す。『周禮』掌皮に「秋は皮を斂め、冬は革を斂む」とあり。其の小異なるを以ての故に時を別ちて之を斂むるなり。文を散ずれば則ち皮・革通するなり。

頤の上の大齒、之を謂ひて牙と爲す。鳥翼の長毛、之を謂ひて羽と爲す。齒牙・毛羽は各々自づから小異なるが故に之を歷言するなり。俎に登すとは、俎に升して以て祭に共するを謂ふ。器に登すとは、器に在りて以て飾と爲すを謂ふ。諸々の器の飾に此の材を用ふるもの有り。

〔疏〕注俎祭宗廟器

正義に曰はく、饗燕の饌には俎を用ひざるは莫し。獨り（杜預注に）「宗廟の器」と言ふは、明らかに田獵して禽を取るは、主として祭祀の爲めにす。若し止だ燕食に共するのみなれば則ち公は亦た爲さず。下（の杜預）注に「法度之器」と云ふは、其の義

〔注〕車服旌旗

〔疏〕注車服旌旗

正義に曰はく、『周禮』巾車の職に「革路には大白を建て、以て戎に即く。木路には大麾を建て、以て田す」と曰ひ、「司服」の職に「凡そ兵事には韋弁服、凡そ甸には冠弁服」と曰ひ、鄭玄は「甸は田獵なり」と云ふ。計るに、田獵には當に木路に乗りて冠弁を服すべし。但だ三年にして治兵するは、乃ち習兵の大禮にして、宜しく田車に乗り田服を服すべからず。天子は蓋し革路に乗り韋弁を服すなり。軍に在りては君臣、服を同じくす。公卿より以下も蓋し亦た兵車に乗り兵服を服するなり。其の旌旗は則ち尊卑、建つるを異にす。治兵の禮は旗物を辨ずる爲めに、必ず大白・大麾を建てず。「大司馬」の職に曰ふ、「中秋に治兵を教ふ。旗物の用を辨ず。王は大常を載つ。諸侯は旂を載つ。軍吏は旗を載つ。師都は旌を載つ。郷遂は物を載つ。郊野は旂を載つ。百官は旗を載つ。遂に以て彌田す」と。鄭玄云ふ、「軍吏は諸軍師なり。師都は遂大夫なり。郷遂は郷大夫なり。或ひは旗を載て或ひは物を載つ。衆は軍吏に屬して將ゐる所無し。郊は郷遂の州長・縣正より以下を謂ふなり。野は公邑の大夫を謂ふなり。旂を載つる者は、其の義卒を將ゐるを以てなり。百官は郷大夫なり。旗を載つる者は、其の屬を以て王を衛ればなり。凡そ旌旗、軍象有る者は、異物を畫き、無き者は帛のみ」と。然らば則ち治兵の旌旗は、當に「司馬」の職の文の如くなるべきなり。

案ずるに、「司常」の職に云ふ、「國の大閭に及んで、司馬に贊けて旗物を頒つ。王は大常を建て、諸侯は旂を建て、孤卿は旌を建て、大夫士は物を建つ。師都は旗を建て、州里は旗を建て、

縣鄙は旂を建て、道車は遂を載て、旂車は旂を載つ」と。計るに、大閭・治兵は俱に是れ戰を教へて旌旗の物を建つる所同じからざるは、鄭玄云ふ、「凡そ旗物を頒つに出軍の旗を以てするは則ち秋の如くし、尊卑の常を以てするは則ち冬の如くす。大閭には軍禮を備へて、旌旗は出軍の時の如くならざるは、空しく實を辟く」と。然らば則ち、大閭に建つる所は尊卑の常、治兵に建つる所は出軍の禮なり。此の「三年の治兵」と「秋に治兵を教ふ」とは、其の名既に同じければ、建つるものは當に異ならざるべし。故に服虔此れを解するも亦た「司馬」の職の文を引く。明らかに是れ旌旗の建つる所は、秋に旗物を辨ずるの法を用ふ。案ずるに、「大司馬」の職に「治兵を教ふ。王は大常を載つ」とあり、「巾車」に「大麾を以て田す」と云ひ、又た「大白以て戎に即く」と云ふ所以は、先儒以爲へらく、王の田には、春夏は則ち大麾、秋冬は則ち大常。旌旗の用ふる所治兵の如しと雖も、然れども王、若し親ら軍するときは則ち大白を建つるなり、と。

① 『周禮』 「周礼」春官・巾車に「革路、竜勒条纓五就、建大白、以即戎、以封四衛、木路、前樊鵠纓、建大麾、以田、以封蕃國」とある。

② 「司服」の職 「周礼」春官・司服に「凡兵事韋弁服、毳朝則皮弁服、凡甸冠弁服」とあり、鄭玄注に「甸、田獵」とある。

③ 鄭玄 注②参照。

④ 「大司馬」の職 「周礼」夏官・大司馬に「中秋、教治兵、如振旅之陳、弁旗物之用、王載大常、諸侯載旂、軍吏載旗、師都載旌、郷遂載物、郊野載旂、百官載旗、各書其事、与其号焉、其他皆如振旅」とあり、鄭玄注に「軍吏、諸軍帥

羊伝』に「祠兵者何、出曰祠兵、入曰振旅、其礼一也、皆習戰也、何言乎祠兵、為久也、曷為為久、吾將以甲午之日然後祠兵於是」とある。何休解詁に「礼兵不徒使、故将出兵、必祠於近郊、陳兵習戰、殺牲饗士卒」とある。

⑦ 何休 注⑤参照。

⑧ (何)休 注⑤参照。

⑨ 鄭玄『詩箋』 『毛詩』小雅・南有嘉魚・采芣の「振旅闐闐」の条の「箋」に「春秋伝」曰、出曰治兵、入曰振旅、其礼一也」とある。

⑩ 『周禮』 『周礼』夏官・大司馬に「中春教振旅、……中秋教治兵……」とある。

〔傳〕 歸而飲至、以數軍實

〔注〕 飲於廟、以數車徒器械及所獲也

〔疏〕 注飲於^①獲也

正義に曰はく、桓(公)二年傳例に「凡そ公の行、宗廟に告ぐ。行より反れば飲至す」と曰ふ。彼の飲至は廟に在れば、此に飲至と言ふも亦た廟に飲するを知るなり。軍の資實には唯だ車徒・器械有るのみ。獵すれば則ち獲る所有り。「詩序」に「車攻は、宣王の車馬を脩め、器械を備へ、田獵に因りて車徒を選ぶを美す」とあり。故に(「傳」の)「軍實を數ふ」とは、車徒・器械及び獲る所を數ふるを知るなり。「說文」に云ふ、「械は器の總名なり」と。虞喜云ふ、「器械は鎧・甲・兜・鍪なり」と。宣(公)十二年傳に「楚國、百として軍實を討じて之を申敬せざる無し」と言ひ、襄(公)二十四年傳に「齊、社して軍實を蒐し、客をし

て之を觀せしむ」と曰ふ。^⑦二注に並びに「軍器」と云ひて、(此の注の如く)「車徒及び獲る所」と言はざるは、彼は獵事無きが故に言はざるなり。

① 桓(公)二年傳例 桓公二年伝に「冬、公至自唐、告于廟也、凡公行、告于宗廟、反行飲至、舍爵策勲焉、礼也」とある。

② 「詩序」 『毛詩』小雅・南有嘉魚之什・車攻の序に「車攻、宣王復古也、宣王能内修政事、外攘夷狄、復文武之竟土、修車馬、備器械、復會諸侯於東都、因田獵、而選車徒焉」とある。

③ 「說文」 『說文解字』に「械、器之總名也」とある。

④ 虞喜 晋の餘兆の人。「志林新書」を撰す。完本は亡んで伝わらないが、『玉函山房輯佚書』子編・儒家類に輯録されている。「太平御覽」卷三百六十五に「虞喜志林曰、宋祭酒云、可以扞禦者為械、謂鎧・甲・兜・鍪也」とある。

⑤ 宣(公)十二年傳 宣公十二年伝に「欒武子曰、楚自克庸以来、其君無日不討国人而訓之、于民生之不易、禍至之無日、戒懼之不可以怠、在軍、無日不討軍実而申敬之、于勝之不可保、紂之百克而卒無後……」とあり、杜預注に「軍実、軍器也」とある。

⑥ 襄(公)二十四年傳 襄公二十四年伝に「齊人社蒐軍実、使客觀之」とあり、杜預注に「祭社因閱數軍器、以示遠啓疆也」とある。

⑦ 二注 注⑤⑥参照。

〔傳〕 昭文章

・『漢字堂叢書』等に輯録されている。

〔傳〕 皆於農隙以講事也

〔注〕 各隨時事之間

〔疏〕 注各隨時事之間

正義に曰はく、隙の訓は間なり。四仲（仲春・仲夏・仲秋・仲冬）の月、自づからは常期あり。其の（仲に当たる）月の中に就きて間日を簡選するなり。則ち農月と雖も、必ず間時有り。故に（杜預注に）「時事の間に随ふ」と曰ふなり。仲冬は農の最も隙なるが故に大いに禮を備ふるなり。

〔傳〕 三年而治兵、入而振旅

〔注〕 雖四時講武、猶復三年而大習、出曰治兵、始治其事、入曰振旅、治兵禮畢、整衆而還、振整也、旅衆也

〔疏〕 注雖四衆也

正義に曰はく、毎年四時に武を講ずと雖も、猶は復た三年にして一たび大いに習するは、猶は四時に常に祀り、三年にして復た禘祭を爲すが如し。意は相ひ類するなり。（杜預注に）「出づるに治兵と曰ふ」は、其の初めて出でて、始めて其の事を治むるを以てなり。（杜預注に）「入るに振旅と曰ふ」は、治兵の禮畢はり衆を整へて還るを以てなり。振・訊は、是れ整理の義なり。故に「振」を整と爲すなり。「旅は衆なり」とは、「釋詁」の文なり。治兵・振旅の坐作・進退は、其の禮皆な同じきなり。異なる

所は唯だ長幼と先後とのみ。「釋天」に云ふ、「出づるを治兵と爲すは、威武を尙ぶなり。入るを振旅と爲すは、尊卑を反するなり」と。孫炎曰はく、「出づるに則ち幼賤前に在るは、勇力を貴べばなり。入るに則ち尊老前に在るは、常法を復めばなり」と。莊（公）八年『穀梁傳』に曰はく、「出づるに治兵と曰ふは、戰を習はするなり」と。『公羊傳』に曰はく、「出づるに治兵と曰ひ、入るに振旅と曰ふも、其の禮は一なり、皆な戰を習はするなり」と。是れ其の禮は同じきなり。何休「公羊」は、「出づるを祠兵と曰ふ」と爲し、（何）休云ふ、「牲を殺して士卒を饗す」と。鄭玄『詩箋』に「公羊」を引くも亦た「治兵」に作れば、是れ其の見る所の本異なればなり。此の治兵と振旅も亦た四時に之を教ふ。但だ三年の大習に於いて其の文を詳らかにするのみ。『周禮』の「春に振旅を教ふ」・「秋に治兵を教ふ」とは、四時に民に教ふること各々其の宜しきを以てす。春には即ち兵を止め衆を收め、農に専心せしむるなり。秋には即ち甲を繕ひ兵を厲ぎ、將に不軌を威せんとす。故に其の文を異にするのみ。

① 『爾雅』釈言に「振、訊也」とある。

② 「釋詁」 『爾雅』釈詁・下に「黎・庶・烝・多・醜・師・旅、衆也」とある。

③ 「釋天」 『爾雅』釈天に「振旅闐闐、出爲治兵、尚威武也、入爲振旅、反尊卑也」とある。

④ 孫炎 『爾雅孫氏注』本疏引。

⑤ 莊（公）八年『穀梁傳』 莊公八年経に「甲午、治兵」とあり、『穀梁伝』に「出曰治兵、習戰也、入曰振旅、習戰也、……」とある。

⑥ 『公羊傳』 莊公八年経に「甲午、祠兵」とあり、『公

諸侯執賁鼓、軍將執晉鼓、師帥執提、旅帥執鼙、卒長執鏡、兩司馬執鐃、公司馬執鐃、以教座作進退疾徐疏數之節、遂以蒐田、有司表貉、誓民、鼓遂圍禁、火葬、獻禽以祭社（鄭注——春田為蒐、有司大司徒——）、中夏教芟舍、如振旅之陳、群吏撰車徒、誦書契、弁号名之用、帥以門名、俱鄙各以其名、家以号名、鄉以州名、野以邑名、百家各象其事、以弁軍之夜事、其他皆如振旅、遂以苗田、如蒐之法、車弊、獻禽以享酌（鄭注——夏田為苗、挾取不孕任者、若治苗去不秀實者——）、中秋教治兵、如振旅之陳、弁旗物之用、王載大常、諸侯載旂、軍吏載旗、師都載旛、鄉遂載物、郊野載旂、百官載旗、各書其事与其号焉、其他皆如振旅、遂以獮田、如蒐田之法、羅弊、致禽以祀社（鄭注——秋田為獮、獮殺也——）、中冬教大閱、前期群吏、戒衆庶、修戰法、虞人萊所田之野為表、百步則一、為三表、又五十步為一表、田之日、司馬建旗于後表之中、群吏以旗物鼓鐃鐃鏡、各帥其民而致、賈明、弊旗、誅後至者、乃陳車徒、如戰之陳、皆坐、群吏聽誓于陳前、斬牲、以左右徇陳、曰、不用命者斬之、中軍以鼙令鼓、鼓人皆三鼓、司馬振鐃、群吏作旗、車徒皆作鼓行、鳴鐃、車徒皆行、及表乃止、三鼓攬鐃、群吏弊旗、車徒皆坐、又三鼓、振鐃作旗、車徒皆作鼓進、鳴鐃、車驟徒趨、及表乃止、坐作如初、乃鼓、車馳徒走、及表乃止、鼓戒三闕、車三發、徒三刺、乃鼓、退、鳴鐃且卻、及表乃止、坐作如初、遂以狩田、以旌為左右和之門、群吏各帥其車徒、以叙和出、左右陳車徒、有司平之、旗居卒間、以分地前後、有屯百步、有司巡其前後、陰野人為主、易野車為主（鄭注——冬田為狩、言狩取之、無所挾也——）とある。

③ 鄭玄 注②参照。

- ④ 孫炎 本疏引。
- ⑤ 桓（公）四年「公羊傳」 「公羊伝」桓公四年に「春正月、公狩于郎、狩者何、田狩也、春日蒐、秋日蒐、冬曰狩」とある。
- ⑥ 「穀梁傳」 「穀梁伝」桓公四年に「春正月、公狩于郎、四時之田、皆為宗廟之事也、春日田、夏日蒐、秋日蒐、冬曰狩」とある。
- ⑦ 「春秋三伝」・「周礼」・「爾雅」との異同を表にすると次のようである。

	春	夏	秋	冬
周礼	蒐	苗	獮	狩
爾雅	蒐	苗	獮	狩
左伝	蒐	苗	獮	狩
公羊伝	苗		蒐	狩
穀梁伝	田	苗	蒐	狩

- ⑧ 阮元校勘記に「案困学紀聞云、章帝会諸儒於白虎觀、正義謂明帝誤」とある。
- ⑨ 「白虎通」 現行本「白虎通徳論」に本疏引の文は見当たらない。なお「白虎通」の佚文については、たとえば「劉申叔先生遺書」所収の「白虎通義補遺」を参照。

- ⑩ 「穀梁」の文 注⑥参照。
- ⑪ 「周禮」 注②参照。
- ⑫ 「左傳」 本年伝参照。
- ⑬ 「爾雅」 注①参照。
- ⑭ 蔡邕の「月令章句」 「月令章句」の完本は亡んで伝わらないが、輯本として「漢魏遺書鈔」・「玉函山房輯佚書」

⑥ 成（公）十三年傳 成公十三年伝に「劉子曰、吾聞之、民受天地之中以生、所謂命也、是以有動作礼義威儀之則、以定命也、能者養之以福、不能者敗以取禍、是故君子勸礼、小人尽力、勤礼莫如致敬、尽力莫如敦篤、敬在養神、篤在守業、國之大事在祀与戎、祀有執膳、戎有受賑、神之大節也、今成子情、棄其命矣、其不反乎」とある。

⑦ 劉炫 本疏引。

〔傳〕 故春蒐、夏苗、秋獮、冬狩

〔注〕 蒐、索擇取子孕者、苗、爲苗除害也、獮殺也、以教爲名、順秋氣也、狩圍守也、冬物畢成、獲則取之、無所擇也

〔疏〕 注蒐索一擇也

正義に曰はく、『爾雅』釋天の四時の獵の名は此と同じく、説く者は皆な此の（『爾雅』）の注の如し。故に杜（預）は依りて之を用ふ。『周禮』大司馬の職に「中春には振旅を教へ、遂に以て蒐田す。中夏には芟舎を教へ、遂に以て苗田す。中秋には治兵を教へ、遂に以て獮田す。中冬には大閱を教へ、遂に以て狩田す」とあり。其の名も亦た此と同じ。鄭玄、「苗田」を解すること此（杜預注）と小異にして、『周禮』注に「孕任せざるものを擇び取ること、苗を治めて秀實せざるものを去るが若し」と言ふ。孫炎も亦た然り。桓（公）四年『公羊傳』に曰はく、「春に苗と曰ひ、秋に蒐と曰ひ、冬に狩と曰ふ」と。三名、既に『（周）禮』と異なり。又た復た夏時に田せず。『穀梁傳』に曰はく、「四時の田は皆な宗廟の爲めの事なり。春に田と曰ひ、夏に苗と曰ひ、秋に蒐と曰ひ、冬に狩と曰ふ」と。皆な『（周）禮』と異なるは、

良に微言既に絶へ、曲辨妄生するに由る。丘明は聖師に親愛するが故に獨り『（周）禮』と合す。

漢代に古學行はれず、明帝、諸學士を集めて『白虎通義』を作る。『穀梁』の文に因つて之が爲めに説を生じて曰はく、「王者と諸侯の田獵する所以は何ぞ。苗の爲めに害を除き、上は以て宗廟に共し、下は以て士衆を簡集せんとすればなり。春に之を田と謂ふは何ぞ。春は歳の本なれば、本名を擧げて之を言ふなり。夏に之を苗と謂ふは何ぞ。其の懷妊するものを擇べはなり。秋に之を蒐と謂ふは何ぞ。肥ゆるものを蒐索すればなり。冬に之を狩と謂ふは何ぞ。地を守りて之を取ればなり。四時の田、惣名を田と爲すは何ぞ。田の爲めに害を除かんとすればなり」と。案ずるに、苗は懷妊の名に非ざれば、何ぞ「懷妊するものを擇び去る」と云はんや。秋に獸は盡く皆な瘦ざれば、何ぞ「蒐索して肥ゆるを取る」と云はんや。『通義』と名づくとも雖も、義は通ぜざるなり。故に先儒は皆な『周禮』・『左傳』・『爾雅』の文に依つて之が説を爲す。其の名も亦た意有り。復た春の獵と雖も、獲すれば則ち之を取るにて、孕まざるを擇び取ること能はず。夏の獵には取る所多きこと無く、苗の爲めに害を除くこと能はず。時の異なるに因るが爲めにして文を變ずるのみ。之を獵と謂ふは、蔡邕の『月令章句』に云ふ、「獵とは捷く取るの名なり」と。

① 『爾雅』 『爾雅』釈天に「春獮爲蒐、夏獮爲苗、秋獮爲獮、冬獮爲狩」とあり、郭璞注に「搜索、取不任者、爲苗稼除害、順殺氣也、得獸取之、無所損」とある。

② 『周禮』 『周礼』夏官・大司馬に「中春教振旅、司馬以旗致民、平列陳、如戰之陳、并鼓鐸鐃之用、王執路鼓、

り。「器」とは、車馬・兵甲、軍國に用ふる所の物を謂ふなり。

凡て此の諸物は、之を捕ふるも以て兵事を講習するに足らず、其の材は以て器用に充備するに足らず。此の如きものは則ち人君親ら擧げず。其の意の言ふところは、獵の坐作・進退は以て戰陳を教ふべく、獸の齒牙・皮革は以て器用を充たすに足れば、人君は以て之を觀るべし。魚を捕ふるは以て戰陳を教ふるに足らず、鱗甲は以て器用と爲すに足らざれば、人君は宜しく之を觀るべからず。人君以下云云も同じきなり。今、若し人君の行ふ所、其の軌を得ざれば擧動は順ならず、器服其の物に當たらざれば上下に章無し。是の如くんば則ち之を荒亂の政と謂ふなり。亂政數々行はるるは、國家の禍敗する所以なり。其の意の言ふところは、魚は事を講ずるに非ざれば、是れ「不軌」なり。材の充用せざれば、是れ「不物」なり。今、君の魚を觀るは、是れ亂國の政にして禍敗の本爲り。故に公をして行かしむるを用ひざるなり。事、軌量に度るは、正に時に順ひて狩獵して以て戎事を教習するを謂ふなり。材、物采を章らかにするは、正に其の皮革を取りて以て器物を脩造するを謂ふなり。下(の「傳」)に云ふ、「四時に田獵し、治兵し、振旅し、以て威儀を習ふ」とは、此の「講事」を覆ふなり。(「傳」の)「肉は俎に登せず、材は器に登せざれば則ち公は射す」とは、此の「章物」を覆ふなり。別に(「傳」の)「川澤の實は君の及ぶ所に非ず」と言ふは、魚を觀るべからざるを指言す。辭に首引有れば、自づから相ひ配成するなり」と。

〔疏〕注感傳(與戎)

正義に曰はく、僖伯、名は彊、字は子感。『世本』に云ふ、「孝公の子なり」と。即ち此(年)の冬に「公子彊卒す」と書す、是れなり。⑤「諡法」に「小心畏忌を僖と曰ふ」と。是れ「僖」を諡と爲すなり。

諸侯の子は公子と稱し、公子の子は公孫と稱す。公孫の子は諸侯を祖とするを得ざれば、乃ち王父(祖父)の字を以て氏と爲す。計るに、僖伯の孫にして始めて威を以て氏と爲すを得。今、僖伯の上に於いて已に威を加ふるは、蓋し僖伯は是れ威氏の祖なるを以て、傳家之を追言すればなり。

⑥成(公)十三年傳に「國の大事は祀と戎とに在り」と曰ふが故に大事は祀と戎なるを知るなり。必ず祀を兼ねるを知るは、下(「傳」)に「鳥獸の肉は俎に登せず」と云ふを以ての故なり。劉炫云ふ、「田獵は止だ戎を教ふるのみ。而るに祀を言ふは、獵狩は主として祭祀を以てす。故に祀を并せて之を言ふなり。下(の杜預)注に「俎は宗廟を祭るの器なり」と云ふは、此の意を示すなり」と。

〔疏〕注言器(所起)

正義に曰はく、車馬・旌旗・衣服・刀劍、皆な法度有らざるは無し。器用・衆物、法度に入らざるは、之を廣言するなり。器は法に當たらず、其の物に非ざるを用ふれば、則ち「不軌」・「不物」と爲る。政、君に在らざれば則ち亂敗の起る所なり。

①「説文」『説文解字』に「漁、搏魚也、从魚水、漁象文漁爪魚」とある。

②「天官」『周礼』天官・甸人に「掌以時數為梁、春獻王鮪、辨魚物、為鱣、以共王膳羞、凡祭祀賓客喪紀、共其魚之鱣、凡數者掌其政令、凡數征入于玉府」とある。

③劉炫 本疏引。

④「世本」 本疏引。

⑤「諡法」『逸周書』諡法解に「有伐而還曰釐、質淵受諫曰釐、慈惠受親曰釐」とある。

遣はし會に往かしむれば、須らく君命を書すべきが故なるのみ。

① 「檀弓」下 『礼記』檀弓・下に「君於大夫、將葬弔於宮、及出命引之」とある。

〔經〕 宋人伐鄭、圍長葛

〔注〕 潁川長社縣有長葛城

〔傳〕 五年、春、公將如棠觀魚者、臧僖伯諫曰、凡物不足以講大事

〔注〕 臧僖伯、公子彊也、僖諡也、大事、祀與戎

〔傳〕 其材不足以備器用、則君不舉焉

〔注〕 材謂皮革・齒牙・骨角・毛羽也、器用軍國之器

〔傳〕 君將納民於軌物者也、故講事以度軌量、謂之軌、取材、以章物、采謂之物、不軌不物、謂之亂政、亂政亟行、所以敗也

〔注〕 言器用衆物不入法度、則爲不軌不物、亂敗之所起

〔疏〕 觀魚者

正義に曰はく、『説文』に云ふ、「魚は魚を捕ふるなり」と。
然らば則ち魚を捕ふる、之を魚と謂ふなり。「天官」に「獸人は時を以て敷て梁を爲ることを掌る。凡そ敷者は其の政令を掌る」と。是れ、魚を捕ふるを謂ひて魚と爲すなり。「魚者」は猶ほ

「獵者」と言ふがごときなり。

〔疏〕 臧僖伯 敗也

正義に曰はく、（「傳」の）「凡そ物、以て大事を講ずるに足らず」とは、物は事物・旌旗・車服の屬を謂ふ。若し其の戰・祭・祀等の大事を教ふる故の爲めに布設し陳列すれば、則ち可なり。其の細碎にして盤遊するが如きは、其の物を陳ぬと雖も以て大事を講習するに足るに堪へず、止だ大事の爲めならずして此の物を陳ぬるを謂ふ。故に（「傳」に）「以て大事を講ずるに足らず」と云ふなり。（「傳」の）「其の材、以て器用に備ふるに足らず」とは、材は皮革・齒牙の屬を謂ふ。若し其の器用を飾る故の爲めに狩獵して材を取れば、則ち可なり。其の遊宴・戲樂に因るが如きは、得る所の材は以て器用を備飾するに足るに堪へず、止だ器用の爲めならずして此の材を取るを謂ふ。故に（「傳」に）「以て器用に備ふるに足らず」と云ふなり。人君は一國の主にして民の上に在り。當に己れを直にして之を行ふに法を以てし、民を勵めて之を善に納るべし。故に（「傳」に）「人君は將に民を軌・物に納れんとするものなり」と云ふ。當に軌を爲り物を爲つて民を其の中に納るべきを言ふなり。既に民の軌・物に歸するを言ひ、更に軌・物の名を解く。故に大事を講習して以て軌法・度量に準度する、之を謂ひて「軌」と爲す。軌量に準度すとは、即ち習戰・治兵・祭祀の屬を謂ふ、是れなり。鳥獸の材を取りて以て物色・采飾を章明する、之を謂ひて「物」と爲す。物の采を章明すとは、即ち材を取りて以て軍國の器を飾る、是れなり。

③ 劉炫云ふ、「魚を捕ふると獸を獵するとは、其の事相ひ類す。此の諫の大意は、人君は獸を獵するを觀るべきも、魚を捕ふるを觀るべからざるを言ふ。『凡物』とは、諸物・鳥獸・魚鼈の類を廣言するなり。『材』とは、有する所の皮革・毛羽の類を謂ふな

② 注①参照。

③ 『傳』 僖公二十八年伝に「楚子入居于申、使申叔去穀、使子玉去宋」とある。

〔經〕 螟

〔注〕 無傳、蟲食苗心者、爲災、故書

〔疏〕 注蟲食ノ故書

正義に曰はく、「釋蟲」に云ふ、「苗心を食するは螟、葉を食するは蠋、節を食するは賊、根を食するは蠹なり」と。舍人曰はく、「苗心を食するものは螟と名づく。冥冥然として知り難きを言ふなり」と。李巡曰はく、「禾心を食するを螟と爲す。其の蠹の冥冥として知り難きを言ふなり。禾葉を食するもの、其の假貸の厭くこと無きを言ふが故に蠋と曰ふなり。其の節を食するものは、其の貪狼なるを言ふが故に賊と曰ふ。其の根を食するものは、其の萬民の財貨を税取するを言ふが故に蠹と曰ふ」と。孫炎曰はく、「皆な政の貪にして致す所、因りて以て名と爲す」と。郭璞曰はく、「蟲の禾を啖食する所在を分別するの名のみ」と。李巡・孫炎は政致を以て名と爲し、舍人・郭璞は食處を以て名と爲す。陸機の『疏』に云ふ、「舊説にては、螟・蠋・蠹・賊は一種の蟲なり、^⑧寇・賊・蠹・亢」と言ふが如く、内外に之を言ふのみ。故に『鍵爲文學』に『此の四種の蟲は皆な蝗なり。實に同じからざるが故に分別して之を釋す』と曰ふ」と。然らば則ち螟は蟲を以て名づくるに非ず、苗を食する處を以て名と爲すのみ。

① 「釋蟲」 『爾雅』釈蟲に「食苗心螟、食葉蠋、食節賊、

食根蠹」とあり、郭璞注に「分別蟲啖食禾所在之名耳、皆見詩」とある。

② 舍人 本疏引。

③ 李巡 本疏並びに『爾雅』疏引。

④ 孫炎 本疏引。

⑤ 郭璞 注①参照。

⑥ 陸機の『疏』 『毛詩草木鳥獸魚疏』、本疏引。

⑦ 舊説 『毛詩』小雅・甫田之什の大田に「去其螟蠹、及其蠹賊、無害我田穡」とあり、毛伝に「食心曰螟、食葉曰蠹、食根曰蠹、食節曰賊」とある。

⑧ 寇・賊・蠹・亢 『尚書』舜典に「帝曰、皐陶、蜚夷猾夏、寇賊姦宄、汝作士」とあり、孔伝に「群行攻却曰寇、殺人曰賊、在外曰姦、在内曰宄、言無教所致」とある。

⑨ 鍵爲文學 『爾雅鍵爲文學注』舍人注のこと。本疏引。

〔經〕 冬、十有二月辛巳、公子彊卒

〔注〕 大夫書卒、不書葬、葬者臣子之事、非公家所及

〔疏〕 注大夫ノ所及

正義に曰はく、「檀弓」下に云ふ、「君、大夫に於いては將に葬らんとて宮に弔す」と。君親ら之を弔して而も書せざるは、喪を弔し疾を問ふは人道の常なり。假りに得失有るも褒貶するに足らず。此の如きの小事は例として皆な葬を書せず。若し國家の營む所なれば則ち亦た書せざるべからず。大夫の喪は皆な君子自ら爲すにて、公家の及ぶ所に非ず。事は國に關せざれば、以て葬を書するを得る無きなり。他國の君に葬を書するは、使(者)を

- ⑥ 武宮 成公六年経に「二月辛巳、立武宮」とある。
- ⑦ 煬宮 定公元年経に「立煬宮」とある。
- ⑧ 『禮』雜記・下 『礼記』雜記・下に「成廟則釁之、其礼、祝・宗人・宰夫・雍人、皆爵弁純衣、雍人拭羊、宗人視之、宰夫北面于碑南東上、雍人举羊升屋自中、中屋南面剖羊、血流于前乃降、門・夾室皆用鷄、先門而後夾室、其鉅皆於屋下、割鷄、門当門、夾室中室、有司皆鄉室而立、門則有司当門北面、既事宗人告事畢、乃皆退、反命于君曰、釁某廟事畢、反命于寢、君南鄉于門内朝服、既反命乃退、路寢成則考之而不釁、釁屋者、交神明之道也（鄭注——言路寢者、生人所居不釁者、不神之也、考之者、設盛食以落之、檀弓曰、晋献文子成室、諸大夫發焉、是也）凡宗廟之器、其名者、成則釁之以豶豚」とある。
- ⑨ 「雜記」注 注⑧参照。
- ⑩ 「雜記」 注⑧参照。
- ⑪ 『公羊傳』 『公羊伝』隠公五年に「考官者何、考猶入室也、始祭仲子也、桓末君則曷為祭仲子、隱為桓立、故為桓祭其母也、然則何言爾、成公意也」とある。
- ⑫ 服虔 本疏引。
- ⑬ 蘇氏 蘇寛。本疏引。
- ⑭ 桓宮・僖宮 哀公三年経に「五月辛卯、桓宮・僖宮災」とある。
- ⑮ 周公には大廟と稱す 文公十三年経の「大（『公羊』大作世）室屋壞」の『公羊伝』に「世室者何、魯公之廟也、周公称大廟、魯公称世室、群公称宮」とあり、また『穀梁伝』にも「大室猶世室也、周公曰大廟、伯禽曰大室、群公曰宮」とある。

- ⑯ 文（公）十三年 注⑮参照。
- ⑰ 大宮の椽 桓公十四年伝に「以大宮之椽帰為蘆門之椽」とある。

⑱ 同宗は宗廟に於いてす 襄公十二年伝に「凡諸侯之喪、異姓臨於外、同姓於宗廟、同宗於祖廟、同族於禰廟」とある。

〔經〕 邾人・鄭人伐宋

〔注〕 邾主兵、故序鄭上

〔疏〕 注邾主（鄭上

正義に曰はく、天下に道有れば諸侯は征伐を専行するを得ず。春秋の時には征伐を専行し、其の王命を稟けざるを以ての故に兵を主るを以て首と爲す。小國と雖も兵を主れば即ち大國の上に序す。「伐」は其の國の善惡の歸する所に由るを見さんと欲する故なり。大夫と雖も主と爲れば國君は之に従ひ、亦た主兵の上に序す。僖（公）二十七年の「楚人・陳侯・鄭伯・許男、宋を圍む」の注に云ふ、「『傳』に『楚子、子玉をして宋を去らしむ』と言ひ、（僖公二十七年）『經』に『人』と書するは、志を得ざるを恥じ、微者を以て告ぐればなり。猶ほ諸侯の上に序するは、楚、兵を主るが故なり」と。是れ微人、兵を主るも亦た國君の上に序するは史策の常法なり。

- ① 僖（公）二十七年 僖公二十七年経に「冬、楚人・陳侯・蔡侯・鄭伯・許男圍宋」とあり、杜預注に「伝言楚子玉去宋、經書人者、恥不得志、以微者告也、猶序諸侯之上、楚主兵故也」とある。

からざるなり。

⑧『禮』雜記・下に云ふ、「廟を成せば則ち之に饗る」、「路寢成れば則ち之を考して饗らざ」と。以へらく、廟には則ち當に「饗」べく、寢には則ち當に「考」すべし。此に廟に「考」と言ふは、「考」は是れ成就の義なり。廟なるものは鬼神の居る所、祭祀して以て之を成す。寢は則ち生ける人の宅る所、飲食して以て之を成す。⑨『雜記』注に「路寢は生人の居る所。饗らざるは、之を神にせざるなり。之を考すとは、盛食を設けて以て之を落(成)するなり」と云ふ、是れなり。廟成りて之に饗るは、尊びて之を神にするなり。蓋し木主の未だ入らざる前に已に饗禮を行ふなり。

案ずるに、⑩『雜記』の饗廟の禮に云ふ、「祝・宗人・宰夫・雍人、皆な爵弁純衣す。雍人は羊を拭ふ。宗人は之を視る。宰夫は碑の南に北面して東上す。雍人は羊を擧げ、屋に升ること中よりす。屋を中にして南面し、羊を封ず。血、前に流る。乃ち降る。門・夾室には皆な雞を用ふ。門を先にして夾室を後にす。其の餌するは皆な屋下に於いてす。雞を割くは、門は門に當たり、夾室は室に中す。有司皆な室に郷ひて立つ。門は則ち有司門に當たりて北面す。事を既へ、宗人は事の畢はるを告げ、乃ち皆な退く」と。是れ饗廟の禮なり。此に「考官獻羽——宮を考し、羽を獻ず」と言ふは、自づから(木)主已に廟に入れば則ち祭りて以て之を成すと爲すには、饗禮に非ざれば、彼と異なるなり。故に『公羊傳』に曰はく、「宮を考すとは何ぞ。考とは猶ほ室に入るるがごときなり。始めて仲子を祭るなり」と。是れ「祭」を謂ひて「考」と爲すなり。服虔云ふ、「宮廟初めて成りて之を祭るを名づけて考と爲す。將に仲子の(木)主を納れんとす。故に考成して以て其の五祀の神を至し、以て之を堅にす」と。其の意は、「考」は

即ち是れ「饗」なるを謂ふなり。案ずるに、「雜記」の饗廟の禮には止だ雞・羊あるのみにして、既に樂を用ひず。何ぞ羽を獻ずるに由らん。(服虔)「將に仲子の(木)主を納れんとす」と言へば、則ち是れ仍ほ未だ宮に入らず。然らば則ち樂を作し羽を獻ずるは、何神を敬事せん。仲子の宮を考すは、唯だ當に仲子を祭るべきのみ。又た安んぞ五祀の神を致すを得んや。

⑬蘇氏云ふ、「夫人の宮と稱せざるは、桓宮・僖宮に公を言はざれば、則ち仲子も例として夫人の宮と稱すべからざるなり。廟と稱せずして宮と言ふは、「經」例に於いて、周公には大廟と稱し、羣公には宮と稱す。故に仲子は例に依りて宮と稱するなり」と。若し然らば、案ずるに、⑭文(公)十三年に「大室の屋壞る」とありて、大廟を室と稱するは、大廟の室の屋壞るを謂ふのみ。「傳」文の若きは則ち大廟に或ひは宮と稱す。即ち「大宮の椽」、是れなり。羣公も或ひは廟と稱す。即ち「同宗は祖廟に於いてし、同族は禰廟に於いてす」、是れなり。

①「釋詁」『爾雅』釈詁・下に「功・績・質・登・平・明・考・就、成也」とある。

②宣(公)十五年 宣公十五年經に「初稅畝」とあり、杜預注に「公田之法、十取其一、今又履其余畝、復十取其一、故哀公曰、二吾猶不足、遂以為常、故曰初」とある。

③杜(預) 注②参照。

④禮『公羊傳』莊公十九年に「諸侯壹聘九女、諸侯不再娶」とある。

⑤二年十二月 隱公二年經に「十有二月乙卯、夫人子氏薨」とある。

遠地也」とある。

〔經〕 夏、四月、葬衛桓公、秋、衛人師入郕

〔注〕 將卑師衆、但稱師、此史之常也

〔經〕 九月、考仲子之宮、初獻六羽

〔注〕 成仲子宮、安其主而祭之、惠公以仲子手文娶之、欲以爲夫人、諸侯無二嫡、蓋隱公成父之志、爲別立宮也、公問羽數、故書羽、婦人無諡、因姓以名宮

〔疏〕 九月、六羽

正義に曰はく、三年の内、木主は特に腹に祀る。宮廟初めて成れば木主は其の中に遷入し、祭を設けて以て神を安んずるなり。祭れば則ち樂有るが故に初めて六羽を獻ず。「初」は始なり。往前には八を用ひ、今は乃ち六を用ふるなり。「獻」とは奏なり。聲樂を奏進して以て神を娛しむるなり。「六羽」とは、六行の人羽を兼りて舞ふを謂ふなり。

〔疏〕 注成仲子名宮

正義に曰はく、「考は成なり」とは、^①「釋詁」の文なり。「初獻六羽」——初めて六羽を獻ず」と言ふは、^②「初」始めて獻ずるを謂ふにて、後に在りて恒に用ふるには非ず。知るは、案ずるに、^③宣（公）十五年に「初めて畝に税す」とあり。杜（預）云ふ、「遂に以て常と爲す。故に初と云ふ」と。杜（預）、此（本年）に於いて「初」の義を解せざれば、明らかに彼（宣公十五年）とは同じからず。故に「春秋」の「經」には文同じく事異なるもの有り。

此の如きの類、是れなり。（杜預）注は、「祭」の文の見えざるを以ての故に之を辨じて「仲子の宮を成し、其の主を安んじて之を祭る」と云ふ。其の「獻羽」と連文するを以て、「考」とは祭りて以て之を成すを謂ふにて、始めて宮を築きて成るを謂ふには非ざるを知るなり。

又た宮を立つるの意を解す。惠公は、仲子の手に夫人の文有るを以て、因りて即ち之を娶る。以て夫人と爲さずと雖も、以て夫人と爲さんと欲するの意有り。^④禮にては、諸侯は再びは娶らず。法に於いては二適無し。孟子は惠公の廟に入るも、仲子には享祭の所無し。蓋し隱公は父の志を成し、爲めに別に宮を立てしならん。仲子は二年十二月を以て薨ずれば、四年十二月は已に再期なり。喪畢れば即ち應に廟に入るべし。此に至りて始めて宮を成すは、仲子に廟を立つるは本より正法に非ず、喪服既に終はりて將に吉祭を爲さんとするも（木）主の祭處無く、始めて議して之を立つるが故に晚成するなり。

「傳」には「始めて六佾を用ふ」と云ふ。（「經」に）「佾」を書せずして「羽」を書するは、公、羽數を問ひしを以ての故に「羽」を書するなり。

婦人は法として當に諡すべからず。仲子に諡無きが故に姓に因りて以て宮に名づくるなり。

宮を立つれば必ず策に書し、羽は則ち當に書すべき所に非ざるも、其の復た正なるを善みするが故に之を書す。（本年）「傳」に衆仲の對を載せて、「公之に従ふ」と言ふ、是れ其の善みするの意なり。「六羽」を書するが爲めの故に「考宮——宮を考す」を言ひ、其の「考」に因りて以て「獻羽——羽を獻ず」を言ふなり。若し「羽」の爲めにせざれば、當に「仲子の宮を立つ」と云ふべし。^⑤武宮・煬宮を立つるが如く然り。須らく「考」と言ふべし。

春秋正義 註 (五)

(國語) 枡本 紘二

The Japanese Translation and Annotation of

Chung-qui Zheng-yi (春秋正義) Part 5

Hiroji MASUMOTO

This paper is part 5 of the Japanese translation and annotation of *Chung-qui Zheng-yi* (春秋正義).
Part 5 contains the 5th, 6th, 7th, and 8th year of duke Yin (隠公).

〔經〕 五年、春、公矢魚于棠

〔注〕 書陳魚、以示非禮也、書棠、譏遠地也、今高平方與縣北有武唐亭、魯侯觀魚臺

〔疏〕 注書陳——魚臺

正義に曰はく、「陳魚——魚を陳ぬ」とは、獸獵の類にして、魚を捕ふるの人をして魚を取るの備を陳設し、其の魚を取るを觀て以て戲樂と爲すを謂ふにて、既に魚を取り得て之を陳列するを

謂ふには非ざるなり。其の實は魚を觀、而るに「陳魚」と書するは、國君の爵位は尊重にして、蒐狩の大事に非ざれば則ち當に親行すべからず。公、故に魚を陳ぬしめて其の捕獲するを觀れば、其の陳ぬるを譏るを主とす。故に(杜預注に)「陳魚と書すは、以て禮に非ざるを示すなり」と。①「傳」に「禮に非ざるなり。且つ遠地を言ふ」と曰ふ。故に(杜預注の)「棠を寫するは遠地なるを譏る」を知るなり。

①「傳」 隠公五年伝に「書曰公矢魚于棠、非礼也、且言

昭和56年度（1月～12月）本校教官による他誌発表論文

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
田邊 達雄	ジョウゼフ・コンラッドの幼少年期	広島商船高等専門学校紀要第4号
笠松 義隆 檜原 忠幹（広島大） 上垣内孝彦（ 〃 ）	鉄中不純物核のNMRの圧力依存性	日本物理学会・応用物理学会中国四国支部例会講演予稿集 (1981 広島市)
笠松 義隆 檜原 忠幹（広島大） 上垣内孝彦（ 〃 ）	強磁性遷移金属中不純物核の内部磁場の圧力依存性	日本物理学会秋の分科会講演予稿集 (1981 新潟)
灘野 宏正 寺内 喜男（広大工）	四球試験における表面温度上昇について	日本機械学会論文集（C編）47巻 423号（昭56-11），p. 1502～1508.
灘野 宏正 野原 稔 寺内 喜男（広大工）	平歯車の動荷重や騒音に及ぼす歯形修整の影響について	日本機械学会講演論文集（No 810-4）， （昭56-4） 第58期通常総会（東京），p. 79～86.
灘野 宏正 寺内 喜男（広大工）	四球試験におけるりん添加剤の摩擦特性に及ぼす影響	日本潤滑学会昭和56年度広島大会 （昭56-10），p. 109～112.
灘野 宏正 寺内 喜男（広大工） 中本 幸義（オカネツ工業）	鉛快削鋼歯車の負荷能力に関する研究	日本機械学会講演論文集（No 815-2）， （昭56-11） 松山地方講演会，p. 230～237.
京免 進 近江 宗一（阪大） 碓井 建夫（ 〃 ）	Numerical Analysis of Pressure and Velocity Distributions for a Pulsating Turbulent Flow in a Circular Tube Containing a Slightly Compressible Fluid	Bulletin of the JSME, Vol. 24, No. 187, January 1981.
京免 進 近江 宗一（阪大） 碓井 建夫（ 〃 ）	圧縮性をわずかに考慮した円管内周期変動流れの数値解析	日本機械学会論文集，B編，47巻， 424号（昭56-12）.
河野 正来 桑原 改造（広大工）	アルミナおよび炭化チタニウムスパッタ膜の摩擦摩耗特性	日本潤滑学会広島大会研究発表会予稿集 (56年 広島)
赤尾不二雄 近江 宗一（阪大） 井口 学（ 〃 ） 田中 滋（阪大院）	正方形管内脈動流れの速度分布に関する研究	日本機械学会講演論文集 No 810-8， p. 16. (松山)
赤尾不二雄 近江 宗一（阪大） 井口 学（ 〃 ）	乱れの発生を伴う長方形管内振動流れの層流域における速度分布	日本機械学会講演論文集 No 810-15， p. 50. (博多)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表場所
野村 利英 山下 英生 (広大工) 中前栄八郎 (〃) 大谷 邦弘 (中国電) 松崎 誠 (機製造)	大容量配電用変圧器の経済比較について	昭和56年電気学会全国大会 (東京)
山下 英生 (広大工) 中木 正司 (電々公社) 野村 利英 中前栄八郎 (広大工)	単相変圧器漏れリアクタンス計算法の改良	電気学会論文誌 (Vol. 101-B, No. 4, 1981)
中前栄八郎 (広大工) 山下 英生 (〃) 野村 利英 大谷 邦弘 (中国電機) 製 造	2次巻線2分割方式による大容量配電用変圧器のコンパクト化とその特性	電気学会論文誌・電力技術研究会資料 (PE-81-28)
廣光清次郎 太田 光雄 (広大工) 山口 静馬 (〃)	入力帯域幅と騒音計の時定数が L_{eq} 評価量に及ぼす効果	日韓合同音響学術発表会論文集 p. 155 (ソウル)
吉野 信行 山口 静馬 (広大工) 他	入力騒音の非定常性が騒音計の出力分布に及ぼす効果について (理論とシミュレーション)	日本音響学会講演論文集 (東京 56年)
N. Yoshino M. Ohta (Hiroshima Univ.)	Two Simplified Procedures for Statistical Noise Evaluation of Sound Insulation System Single Wall and Double Wall	INTER-NOISE'81 (1981, Amsterdam)
吉野 信行 太田 光雄 (広大工) 他	乗法モデル型任意不規則過程の確率理論と非定常交通騒音予測への一適用	日本音響学会講演論文集 (九州 56年)
吉野 信行 太田 光雄 (広大工) 他	L_{eq} 評価における騒音計の時定数と標本数間の等価関係Ⅱ. 実験的考察	電気四学会中国支部連合大会講演論文集 (鳥取 56年)
山崎 勉 藤井 雅治 (愛媛大工) 野田 省三 (広大工) 三浦 幸助 (〃) 今津 信吾 (〃)	磁界中電離波動の運動論的解析	電気学会プラズマ研究会 (名古屋, EP-81-5)
山崎 勉	ホロー陰極放電における電子エネルギー分布関数	日本物理学会1981年秋の分科会予稿集 (新潟, 4aNT-5)
久良喜代彦	Timoshenko 梁の差分解法について	土木学会中国四国支部学術講演会概要集 (岡山) (昭和56年5月)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
久良喜代彦	レジンモルタル梁の動的特性	土木学会第36回年次学術講演会講演概要集 (広島)(昭和56年10月)
西谷 庸雄	膨張コンクリートの圧縮強度について	第33回土木学会中国四国支部学術講演会概要集 (56年, 岡山)
小堀 慈久 網干 寿夫(広大工)	斜面災害要因研究におけるMSSデータの利用について	第1回マサ土研究会(文部省計画研究準備会) (広島)
小堀 慈久 網干 寿夫(広大工)	MSSデータによる地盤災害分析の研究	第33回土木学会中国四国支部学術講演会一般講演概要集 (岡山)
小堀 慈久 網干 寿夫(広大工)	Remote Sensing 法による地盤災害の要因分類の研究	第36回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集 第Ⅲ部 (広島)
見澤 繁光(愛大工) 中野 修治 久保 文夫(二神組)	横方向変位を考慮した鉄筋コンクリート板一梁の終局荷重について	愛媛大学紀要 第三部 工学 第9巻 第4号
見澤 繁光(愛大工) 中野 修治	フランジ部が引張りを受けるT型梁に関する実験的研究	土木学会中国四国支部学術講演会概要集 (56年, 岡山)
中野 修治 見澤 繁光(愛大工)	負の曲げを受けるT形梁に関する実験的研究	土木学会年次学術講演会講演概要集 第5部 (56年, 広島)
清 和四士	鉄骨柱底の摩擦係数について 第2報 (測定装置の試作及び予備実験)	日本建築学会大会学術講演梗概集 (昭和56年度大会・九州)
松浦 誠(広大工) 西村 光正	平板載荷試験におけるクリープ変形の考察	日本建築学会中国九州支部研究報告第5号 昭和56年3月
松浦 誠(広大工) 芳賀 保夫(米子高専) 西村 光正 尾崎 和夫(広島県) 宗安 道泰(中国地建)	杭基礎設計の諸問題	日本建築学会中国支部基礎地盤委員会編 (昭和56年4月刊)
松浦 誠(広大工) 芳賀 保夫(米子高専) 西村 光正 尾崎 和夫(広島県) 宗安 道泰(中国地建)	鳥取県地盤図	日本建築学会中国支部基礎地盤委員会編 (昭和56年6月刊)
藤井 健 緒方信一郎	Coupled Room の音圧レベルについて	日本建築学会中国・九州支部研究報告第5号 昭和56年3月
門前 勝明	建物の応答に及ぼす地震動の特性	日本建築学会中国支部研究報告集(第9巻1号)

編 集 委 員

久	保	田	勲
白	川	洋	二
岡	中	正	三
奥	本	宏	三
竹	村	和	夫
西	村	光	正

呉工業高等専門学校
研 究 報 告

第18巻 第1号 (1982)
(通巻 第30号)

昭和57年8月印刷
昭和57年8月発行

編集者
発行者

呉工業高等専門学校

〒737 呉市阿賀南2丁目2-11
電話 呉(0823) 71-9121

印刷所

たくみ印刷株式会社

〒733 広島市西区井口明神2丁目
電 話 (082) 278-2111

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

Vol. 18, No. 1 (Consecutive No. 30)
August, 57th Year of Showa (1982)

1. Studies on the Connective Cam by using the Involute Curve for the 4th, 5th Curve of the Cam Profile (1st Report) --- Sine Curve and Hyperbolic Connective Cam ---	Hironori ITOSHIMA	1
2. Studies on the Connective Logarithmic Spiral Cam (1st Report) --- Reciprocating Follower ---	Hironori ITOSHIMA	15
3. Elastic Deformation of Floating Hoop Retaining Planet Gears	Hiromasa NADANO	37
4. Stress Distribution in Gear Teeth due to Finite Element Method using Method of Automatic Division of Teeth	Minoru NOHARA	47
5. Studies of the Fluorescent Lamps Lighting and Fatigue	Kazuhiko HARADA	55
6. An Analysis on the Actual Conditions of Computer Room at KURE Technical College (2nd Report)	Shigeki MURAKAMI Masayoshi MACHIDA	59
7. Surface Flashover Voltage in Compressed SF ₆ —Air mixture Gases	Masaki WAKAMIYA	65
8. Surface Flashover Voltage in the Air and the Compressed Air	Masaaki WAKAMIYA	71
9. Experimental Study on the Hollow-Cathode Discharge I	Tsutomu YAMAZAKI	79
10. Transverse Impact of a Long Striker on a Beam	Kiyohiko KURŌ	87
11. Some Influence on the Measurement of the Permeability Coefficient Under the Variable Head	Yoshiharu ISHII	97
12. A Study on the Bending of Plates by Means of the Theory of Three Dimensional Elasticity	Seirō MARUGAMI	103
13. The Penetration Tests Using Explosive Energy and the Characteristics of Masa-do	Mitsumasa NISHIMURA	119
14. Distribution of Sound Energy in Coupled Rooms	Takeshi FUJII Shinichirō OGATA	129
15. Oscillation Behavior of Soft Ground Based on Microtremor	Katsuaki MONZEN Sigeru USHIROSAKO Yukimasa DANJOH Norio YAMAMOTO	137
16. The Japanese Translation and Annotation of <i>Chung-qiū Zheng-yi</i> (春秋正義) Part 5	Hiroji MASUMOTO	202
List of Papers Published or Read outside This College by Its Teaching Staff in 1981.		203