

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第12巻 第1号 (通巻第18号)

昭和51年10月 (1976)

目 次

1. Aural Comprehension Test —結果と考察	熊川良治	1
2. Social Concern and Mysticism in <i>The Grapes of Wrath</i>	下村登	9
3. 超塑性 Zn—Al 合金の圧接について	大山下根隆章夫	27
4. 揺動正楕円カムの研究 (第2報) —平板従動節—	糸島寛典	33
5. 往復偏心正楕円カムの研究 (第1報) —円弧従動節—	糸島寛典	45
6. 非線形フィードバック要素をもつゼロ・メモリ型非定常 システムの任意不規則応答分布に関する一統計理論	広光清次郎 太田光雄	57
7. TVによる輝度測定と輝度パターンの作成	原田一彦	65
8. 鉄筋コンクリート床版の研究	丸上晴朗 荒木田耕宏 原田	71
9. コンクリートくいの打撃引張応力に関する実験的研究	久良喜代彦	79
10. 鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究 (第1報) 骨組の剛性, 耐力, 変形に関して	福原安洋	89

Aural Comprehension Test — 結果と考察

(英 語) 熊 川 良 治

Some Observations on the Results of “Aural Comprehension Test”

Ryoji KUMAGAWA

An “Aural Comprehension Test” developed by the Sony Language Laboratory was given to second year students at Kure Technical College and the analysis of the test results shows that the students have trouble with (1) negative constructions, (2) tense and aspects of predicative verbs, (3) vocabulary, (4) idiomatic constructions, (5) distinction of contrastive features, (6) unstressed syllables and words. It was also found that the correlation between their reading ability and their aural comprehensive ability was unexpectedly low, its coefficient being a mere 0.31.

1 は じ め に

本校では、AAC型の語学演習装置を利用し、第一学年および第二学年の学生全員に、英語を聞き取る訓練を実施している。その成果は一つの教材を終了するごとに、自作のテストを用いて評価するように努めているが、これらのテストでは出題が必然的に既習事項に限定され、教材に制約されない、英語を聞き取る客観的な力を測定する方法として不十分であると考えられる。そこで、英語を聞いて理解する一般的能力を測定・評価する一つの試みとして、Sony Language Laboratory の Aural Comprehension Test を実施した。このテストを実施した主要なねらいは、本校学生の英語を聞き取る能力の実態把握にあることはもちろんであるが、そのほかに結果の考察をとおして学習指導上の指針を得ることを期待した。さらに、英語を聞いて理解する能力の特殊性、テストの限界等についても考察をしたいと考えた。

2 テストの実施時期

昭和50年12月上旬

3 テストの対象

本校第二学年 X工学科 38名, Y工学科 41名, Z工学科 37名, 合計 116名

本校には、このほかに1学科があるが、都合により、テストの対象は上記の3学科とした。これらの三つの学科の間には、第二学年前期を終了した段階で、わずかに学力差を生じている。すなわち、LLを除いた英語の学科別平均点は、X工学科65.2, Y工学科68.1, Z工学科64.0となっており、Y工学科がやや優れていることが認められる。

4 テストの構成および実施方法

使用したテストは、前述した Sony Language Laboratory 教育研究室が作成し、市販している

Aural Comprehension Test (以下 A C テストと略称する) である。このテストは、50問からなる多肢選択法による客観テストである。被検者は、各問の英文を聞いて、その英文の意味を表わす絵を、与えられた A, B, C 三つの絵の中から選択し、解答用紙の該当記号を○で囲むようになっている。問6を例にあげると、英文 They are listening to him. に対して、A 三人の子供が一人の男の人の話を聞いている、B 二人の子供が一人の女のの人に話しかけている、C 二人の子供が一人の女の人の話を聞いている、三つの絵が設けてあり、問題の英文の意味を表わすものとして、被検者は A を選択するようになっている。各人の手もとには、50問に対して上述のような三つずつの絵のかいてあるチャートが置かれてあり、英文を聞きながら解答するようになっている。問題文は一回読まれるだけで、第1問から第50問終了するまでの所要時間は約8分、1問あたりの平均解答時間は約9.5秒である。この9秒余りの間に問題の英文を聞き取り、その内容を三つの絵にあたって照合し、その一つを選び、解答用紙の該当記号に○をつけることになるので、被検者はかなり忙しい。英語を聞いてほとんど直解できないと解答できないくらいである。

このテストはこのように英語を聞きながら直解する能力を検査することをねらいとして構成されているが、今回は、無答や偶然による解答をできるだけ避けるとともに、多少考えて解答できるように、時間を十分与えることにした。すなわち、各自のブースコードにテスト開始とともに録音をとらせ、テスト終了まで30分の時間を与えた。この結果、学生は解答に自信のない問題については反復して聴取することができ、無答や時間に追われた苦しまぎれの解答をある程度回避することができたものと考えられる。結果の考察を行うには、偶然性をできるだけ排除しておくことが望ましいと考えたのである。

5 テスト問題および結果

(1) 学科別平均点および各種相関係数

	X工学科	Y工学科	Z工学科	総 合
Aural Comprehension Test の得点平均	76.3	76.5	71.5	74.9
前期末成績と A C テストの相関係数	0.36	0.18	0.38	0.31
前期末成績と L L テストの相関係数	0.60	0.29	0.53	0.50
L L テストと A C テストの相関係数	0.57	0.67	0.55	0.61

A C テストは1問2点とし、100点満点に換算した。前期末成績とは、前期終了の段階におけるリーダーおよび文法の検定教科書に関する試験のことであり、この成績には L L における学習の評価は含まれていない。また、L L テストとあるのは、この A C テストの実施時点までに、L L の授業で実施してきた自作のヒヤリング・テスト9回分のことである。

今回 A C テストを実施したのを機会に、A C テストと前期末の学力成績、前期末の学力成績と L L テストの相関係数をそれぞれ計算した。さらには、A C テストと L L テストとの相関係数も参考のため計算した。

(2) テスト問題および選択肢別反応者数

次表は、英語の問題文と被検者 116 名の選択肢別反応者数である。

問	題	文	正答	A	B	C	無答
1	I can't reach it.		B	5	97	13	1
2	It is very cold in the room.		C	0	1	115	0
3	She is running after the man.		A	116	0	0	0
4	They are walking through a shower.		C	26	25	64	1
5	You see many apples under the table.		C	18	0	98	0
6	They are listening to him.		A	111	3	1	1
7	The car is parked near the gate.		C	1	9	106	0
8	Neither Tom nor Bessie is at home.		A	30	27	59	0
9	He usually has his breakfast at 7 : 15.		B	14	84	18	0
10	There are lots of airplanes in the hanger.		C	1	3	109	3
11	He is lying on his back.		A	67	45	4	0
12	They are going up a hill at night.		A	104	11	1	0
13	The movie is over and people are going home.		A	115	1	0	0
14	The man is standing and has his hat off.		B	15	97	4	0
15	The two women were just leaving the building.		C	9	1	105	1
16	The man is fat and short, but the woman is tall and skinny.		C	2	0	114	0
17	He is going to church on a sunny day.		B	5	111	0	0
18	This man isn't as fat as that man.		A	89	19	8	0
19	Nineteen and six would make this number.		B	97	18	0	1
20	The man walking along the street is my father.		A	114	1	1	0
21	There is a triangle without any number.		C	19	25	72	0
22	They are talking to each other.		B	6	109	1	0
23	The man is standing against the wall.		A	87	25	4	0
24	It looks like rain.		C	3	65	48	0
25	They are taking care of the flowers.		A	90	1	25	0
26	The secretary entered the office and is walking toward her desk.		C	0	10	104	2
27	He has just turned off the light.		B	3	104	7	2
28	If you take one from thirty, you will get this number.		B	6	65	44	1
29	We always have breakfast together at 7 : 45.		C	24	1	90	1
30	A dog came running to her.		A	113	1	2	0
31	All are tall men and they are sitting on the chairs.		C	2	1	113	0
32	Three men are in the picture and the man in the middle has his hat on.		B	0	114	2	0
33	He is going to take a bath.		A	96	0	20	0
34	My brother hasn't found his ball yet.		C	8	11	97	0
35	He doesn't like to have many pictures in the room.		A	70	8	38	0
36	She gave Bob an apple.		B	44	70	2	0
37	He has a television set and a few radios.		A	103	12	1	0
38	The child put her hand up.		B	30	44	38	4
39	He is pouring water from a bottle into a glass.		C	6	3	106	1
40	There is a long pencil on each side of the short one.		B	34	69	13	0

41	He is sitting on the chair with his legs on the desk.	A	104	1	10	1
42	None of the children are boys.	C	10	67	37	2
43	Although the telephone is ringing, nobody tries to answer it.	B	1	104	10	1
44	I told you to bring me a book, not two.	C	7	47	60	2
45	The giant was knocked out by the small man.	B	29	85	2	0
46	The lady helped the old man get out of the car.	A	100	9	6	1
47	One of these numbers cannot be divided by three.	A	98	13	5	0
48	He is having his shoes shined.	C	47	40	27	2
49	He is too busy to play golf.	B	74	39	0	3
50	The man is putting his tie on, while the woman is watching him do it.	C	18	11	85	2

6 結果の考察

(1) 平均点および各種の相関関係について

3学科の総平均74.9は比較する基準がないので、全体としての成績の優劣は判定しがたいが、おおむね良好といえることができるであろう。学科別平均点では、前期終了の段階で見られた学力差の順位が、そのままACテストに持ち込まれているけれども、X工学科とY工学科との間には有意の差なくなっていることに注目したい。

次に前期末成績とACテストとの相関を調べた。これは英語を読解する能力と英語を聞き取る能力とはどのような関係にあるのか、換言すれば、英語の読解力に優れている者は英語の聴解力においても優れているのか、二つの能力の間の関係を探る手がかりを得たいと考えたからである。常識的には、英語の読解力に優れている者は英語を聞き取る能力においても優れていると考えられる。しかしながら、今回のテストに関する限り、両者の間の相関は意外にも低く、総合で係数0.31が示すとおり、ある程度の相関関係は認められるが、あまり強いものではなかった。特にY工学科は、他の2学科とは際立った相違を示し、相関係数0.18が示すとおり、二つの能力の間には相関がほとんど認められなかったのである。なぜY工学科のみがこのような特異な現象を示したのか明らかでない。

今回のテストでこのように相関が低く現われた原因の一つは、ACテストの問題が比較的平易であったことをあげることができよう。すなわち、問題文を文法構造の観点から眺めると、全50問中、複文構造 (complex sentence) を持つ問題文はわずかに二つ (Nos. 28, 43) しかない。その他は単文 (simple sentence) もしくは単文を2個等位接続詞で連結した重文 (compound sentence) であって、いずれも基本的な構文に平易な内容を盛ったものばかりである。さらに、実施にあたって十分な時間を与えたこともあって、問題の英文が学力低位者のいわば射程内にあり、学力上位者とほとんど対等に問題に取り組むことができたためと推定される。この推定を裏付けるものとして、前期末成績が53点の者がACテストでは最高に近い92点をとったのをはじめ、54の者が82、45の者が80、56の者が89、37の者が76というように前期末成績で低位にあってもACテストで好成績をあげた者が相当数いることをあげることができる。このように問題文が平易であったことが相関係数の低く現われることになった一因と考えられるが、一方では、英語を読解する能力と英語を聞きながら理解していく能力とは本質的に相関関係のあまり強くない能力なのではないかという疑念を残す。

LLの授業で自作のヒヤリング・テストを継続的に実施し、このACテスト実施時点までに9回行ってきたことは先に述べた。この9回分のLLテストと前期末成績との相関を参考までに算出した。その結果、相関係数が総合で0.50となり、前期末の成績とLLテストとの間にははっきりした相関が認められた。これはテストを自作するので、学生の学習状況を常に“feedback”しながらテストを作成することができ、そのために比較的的確に学生の力を反映することになったからであると考えられる。さらに

また、一回きりのACテストと違い、LLテストは回数を重ねて実施しているので、各回のテストの持つ測定誤差が相殺され、おおむね妥当な結果が得られるようになったからであると考えることができる。こうした傾向の中にあって、Y工学科のみは特異な様相を示し、前期末成績とLLテストとの相関はわずかに高くはなっているが、ACテストとの相関の場合と同様、依然として低い。0.29という数値が示すとおり、相関はするけれども、きわめて弱いと見なければならぬ。Y工学科がどうしてこのような特異な現象を示すかは、よくわからない。

次に今回のACテストによる成績とLLテストによる成績との相関関係を併せて調べた。その結果、表中の数値が示すように、両者の間には非常に高い相関のあることがわかった。このことから、自作LLテストにより英語聴取力を評価しても、ACテストを用いて評価しても、ほぼ類似の結果が得られると推定され、両テストがおおむね妥当であると判断することができる。

(2) 誤答とその傾向について

誤答の分析は問題別に行わないで、比較的多く見られた誤答を傾向別に考察することにする。

ア 否定構文に対して不慣れである

最も目立ったのは問8と問42である。問8では誤答者が正答者の約3倍、問42にいたっては実に10倍に達した。これらの問の統語上の特徴は、共に主語が否定されていることである。問8では主語が相関接続詞 *neither~nor~* で否定され、問42では不定代名詞 *none* が主語に用いられている。主語の否定は日英で発想の異なる表現法の一つで、従来から学習上の困難点とされていたところであるが、この程度の英文であれば、読んで理解できないとは考えられない。したがって、耳で聞いて直ちに理解できないのは、この種の構文に対する習熟の不足と考えることができよう。

問44においては、誤答者がほぼ半数に達した。問題文 *I told you to bring me a book, not two.* は会話文としてはごく日常的な表現である。*not two* は指示に反して2冊の書物を持って来ている場面を前提とした表現であるが、誤答者の多くはそれに気付かないで、*not two=one* と単純に考えた感想を述べている。

問1の *I can't reach it.* では *can't* を *can* と聞き違えた者が13名あった。英米人は、*can* の母音が [ə] と聞こえるか、[æ] と聞こえるかによって肯定・否定を識別するといわれている。普段から肯定の *can* は正しく弱形の [kən] または [kn] を用いて発音し、強形 [æ] の用いられる *can't* とははっきり対比させて指導してあれば、正しく解答できたものと思われる。

その他、否定表現を扱ったものでは、問18の同等の比較の否定 *This man isn't as fat as that man.* と、問35の *He doesn't like to have many pictures in the room.* とに誤答が多い。前者は中学校第一学年で学習する構文で、習熟度が高いはずであるにもかかわらず、計27名の者が誤答した。また、後者も平易な表現であるのに、38名の者が「部屋に絵が無い」と理解し、誤答している。

このテストで扱われている否定表現は、基本的な構造の文ばかりで、特に難解なものはない。したがって、これらを読み取るのであれば、かなり高い正答率を期待することができるものと思われる。しかしながら、音声言語にあっては、線状に進行する音声を遡及して理解することはできないので、結局は英文の語順に即して直解していくのに必要な高度の習熟が不足していたものと解するほかはないように思われる。

イ 述部動詞の時制や相に対して注意が不足している

問9 *He usually has his breakfast at 7:15.* と問29 *We always have breakfast together at 7:45.* とは、述部の構造が同一である。すなわち、両方の文において、「日ごろの習慣」を表わす現在時制の動詞が、頻度の副詞 *usually, always* を伴って、使用されている。共に平易な表現であるが、問9においては14名が、問29においては24名が、それぞれ食事をし終えたところの絵を選んでいいる。その多くは、「過去だと思った」「*has (have)* は完了だと思った」とあとで述べているとおり、不注意としか考

えられない誤りを犯している。また、不注意による誤りとししか考えられないいま一つの理由は、問9と問29を共に誤った者は5名しかなく、同一人が一貫してこの誤りを犯すというよりも、散発的・偶然的にこの誤りを犯す傾向が伺えるからである。

問36 *She gave Bob an apple.* では、44名が、少女が Bob にリンゴを与えようとしている絵に反応した。誤答者の多くは「あげようとしている」と考え、また、動詞が過去形になっていることに「気付かなかった」と言っている。さらに、この44名の誤答者のうち、問9に誤答した者は7名、問29に誤答した者は13名、問9および問29の両方に誤答した者は0名で、ここでもこれらの誤答者が一貫して時制を誤っているのではないことを示している。

問33の *He is going to take a bath.* では、20名がひとりの男性が入浴中の絵に反応した。そのほとんどは、going を単純に進行形と受け取り、「風呂に入っている」と理解しているのである。be going to～ が未来の助動詞に相当する働きを持つことについては、かなり徹底した指導を受けているはずであるのに、-ing とといえば単純に進行形と即断してしまうところに問題がある。

ウ 語や句についての知識が不足している

問4の *They are walking through a shower.* においては、shower が「にわか雨」であることが分からず、26名の者が散水車が散水している絵を選択している。shower が「にわか雨」であると分かっていたれば、少くとも雨の降っている絵BもしくはCを選んでいただはずである。また、問24の *It looks like rain.* においては、65名の者が雨が降っている絵を選んでいる。誤答者の感想のうち代表的なものは、「look like とは聞こえた。だが意味が分からなかった。降っているのが見えるという意味だと思った」である。look like～ が「～になりそうだ」という意味の句であることを理解していないのである。さらに、問25の *They are taking care of the flowers.* では、25名が、子供たちが花を摘んでいる絵に反応している。take care of～ が「～の世話をする」という意味の句であるということは知っているはずであるが、句として把握する以前に take 一語に反応し、「取る」と解した結果と考えることができる。総じて、聞き取りに成功した少数の語をつないで、何とかつじつまを合わせようとする傾向がある。

前置詞を含む句の意味が分からないための誤答がある。問11では *lie on his back* を45名がうつぶせになることだと思い、問23では *stand against the wall* を25名が「壁に向かって立つ」ことであると考えた。これらの句は、知識としてあらかじめ知っていないと正しく解答できない性質のものであるから、広義の語いの問題と考えることができよう。

問28では、*take one from thirty* を「30に1を加える」ことであると考え、44名が誤答した。問40の *There is a long pencil on each side of the short one.* は他の問題に比べてやや長文である。この問題では、34名の者が位置関係を逆に受け取り、「長い鉛筆の両側に短い鉛筆がある」と理解している。これは聞き取りに成功した主だった語句、「長い鉛筆」「両側に」「短い鉛筆」がそのままの順で、この誤答のような日本語の語順になるからではないかと考えることができよう。しかし、根本的には、on each side of～ を正しく聞き取り、かつその意味と用法を理解していなかったところに最大の問題があることはいうまでもない。

エ 既習の公式的な構文でも、聞いたのでは分からない

問48 *He is having his shoes shined.* は、教室で反復して指導を受けている「have+目的語+過去分詞」の構文であるが、正答者は27名に過ぎなかった。さらに、誤答がA、Bの両選択肢にはほぼ均等に分散したことも注意すべきことである。Aに反応した者は、is having という進行形に惑わされ、*He is shining his shoes.* と同義に解釈している。また、Bに反応した者は、having と shined とで完了形を構成すると解し、きれいに磨かれた靴を眺めている絵を選んでいる。

問49の *He is too busy to play golf.* では、74名が、ひとりの男がゴルフを楽しんでいる絵に反応し、誤答している。too～to～ の文型は、so～that～cannot～ の形への書き換えなどとともに反復取

り上げられるのでおなじみのものであるが、誤答者は「ゴルフをして忙しい」と解しているのである。これらの結果は、公式にまでして徹底を図った構文でも、実践的知識や能力として定着していないことをよく示しているように思われる。

オ 対立的特徴をうまく識別できない

最も典型的な例は問4である。They are walking in the shower. において、walking を working と聞き違い、25名の者が誤答した。walking と working は最小対比 (Minimal contrast) をなし、対立母音を正確に識別できることが、この問題では決定的である。アの否定の項で取り上げた can と can't も広義の対比をなし、その識別が文の正確な理解と関係することは、すでに見てきたとおりである。

この項で特に指摘したいのは、数字である。問9においては、fifteen と fifty、問19では ninety と nineteen、問28では thirty と thirteen を取り違えた者がそれぞれ相当数いる。-ty と -teen の区別がつかないための誤りである。-teen で終わる語において、-teen にはっきりした強勢を置くか、リズムの関係で強勢を先行する音節に移動しても、-teen を [-ti:n] とはっきり発音して、-ty と区別する習慣がまだ身についていないことを物語っている。

カ 強勢を置かれない語が聞き取れない

問5 You see many apples under the table. では、文強勢は apples と table との2語にあり、残余の語は弱く、早く発音される。その結果、under the table を on the table と聞き誤り、18人が誤答している。問38 The child put her hand up. では、強勢の無い人称代名詞 her が正答の決め手となっており、これが正しく聞き取れたのは44名、約38パーセントの者に過ぎない。なお、この問題で注目すべきことは、38人の者が二人の子供がそれぞれ両手を挙げている絵を選択していることである。これは、child/children, hand/hands のような基礎的な数についても、瞬間的に的確に対応することが、この段階にある学生にとってもなお困難であることを示しているように思われる。

問45の The giant was knocked out by the small man. では、態と、態との関連で動作の及ぶ方向の把握とが、出題のねらいであると考えられる。しかしこの問題においても、強勢をもたない助動詞 was および前置詞 by は聞き漏らされ、文強勢があり、それ故に“prominent”である“the giant”, “knocked out”, “the small man”のみがはっきり意識されて、“the giant”を行為者、“the small man”を行為の対象と理解している。このように能動態の文と同義に解した者がほぼ4分の1、29名に達した。通常強勢をもたないこれらの機能語も文構成の上から重要な役割をになっているので、これらを的確に捉えて文を正しく理解できるようにしていくことが、今後の指導上の大きな課題の一つである。

7 む す び

hearing という活動は音声を媒体とし、reading という活動は文字を媒体とする。英語を聞いて理解するということは、媒体である音声を聞いてその意味が理解できるということであり、英語を読んで理解するということは、媒体である文字を読んで理解できるということである。共に理解という受容的 (receptive) な能力であるから、常識的には親近性があると考えられるが、今回のテスト結果に関する限り、両者の相関は期待に反してあまり強いものではなかった。そのことはまた、reading をとおして語や句、collocation や idiom、さらには文の構造等について知的に理解させ、若干の訓練をしたくらいでは、その能力は容易に hearing の能力として転移しないことを示しているようである。もとより読むことにより養われた知識は有用であり、反復練習によるその習熟が英語を聞き取る能力に相応の寄与をするであろうが、それにも増して hearing には hearing 自身の体系による組織的な練習を必要とする独自の領域があるように思われる。

文字として視覚でとらえれば間違ふことのない見慣れた語句や平易な構文が、音声だけがたよりの

hearing でしばしば誤って受け止められるのは、結局音声という媒体のもつ特性のためであると考えられよう。音声言語には聞き手に主導権の無いスピードがある。リズムがある。明瞭に発音される強い音節と、押しつぶされ、聞き取りにくい弱い音節とが交錯する。まとまった語群、しばしば一つの文全体がひと息に音の連続として発話され、書きことばの分かち書きのような弁別できる境目が無い。さらに音声は一回きりであり、線状に進行するために遡及して理解することが許されない。音声言語のこれらの特性は、それを克服するための特別な訓練を要求するものであり、それを克服し得てはじめて自由に英語を聴取できるようになるであろう。読解力を養うためには幅広く読むことが必要であるように、英語を聞き取る能力を育成するためにも、大量に、できるだけ体系的に、かつ段階的に、音声に親んでいくことが必要であるように思われる。誤答の考察で指摘した諸点は、そのような指導を実践する際のいわば留意点のいくつかを提供してくれたものと信ずるのである。

(昭和51年5月1日受付)

Social Concern and Mysticism in *The Grapes of Wrath*

(アメリカ文学) 下 村 登

Noboru SHIMOMURA

In the previous issue of the *MEMOIRS* (Vol. 9, No. 1) I reported on mysticism in *To a God Unknown*. There, in order to pursue the main theme of the novel, I studied the relation between the two categories—Christian and pagan—into which so many references and allusions to mysticism are classified. In this paper, on the other hand, in order to clarify what makes this novel, as it were, immortal, I have investigated the relation between social concern and mysticism, as a series of my research of Steinbeck's mysticism.

I. Introduction

This is the novel which reveals the strongest social concern of all Steinbeck's. Because of this novel he is sometimes taken for a socialist by the hasty reader. His concern and sympathy, which was once shown on the weaker, eccentric or oppressed in the lowest social stratum in *The Pastures of Heaven* (1932) and *Tortilla Flat* (1935), is now directed to poor migrant farm laborers in *In Dubious Battle* (1936), *Of Mice and Men* (1937) and *The Grapes of Wrath* (1939). In *In Dubious Battle*, he tries to objectively observe the movement of the two conflicting groups, great land-owners and migrant farm laborers, in the midst of strikes, which were rampant in and around the Salinas Valley. And in *The Grapes of Wrath* his social concern once and for all gets so high-voltaged that he predicts the advent of some social reform.

And at the same time, there are a large number of references, allusions and parallels to Christianity (whether pro or con) and some kind of mysticism, generally considered to be quite opposite to the above social concern. For instance, Jim Casy deserts Christianity; Uncle John is obsessed with the sense of sin; Tom Joad succeeds Jim Casy in terms of some kind of mysticism. Furthermore, there are some direct quotations from the Bible, such as "Two are better than one, because they have a good reward for their labor..."¹ (Ecclesiastes 4: 9-12). At first these references, allusions and quotations look random and chaotic, because some of them are for Christianity and the others against it.

In this paper, as for social concern, we investigate first of all the social background of this novel, next the relationship between his non-teleological thinking and social concern and then the development of social concern in the novel. On the other hand, as for mysticism, we study the references, allusions and parallels to and quotations from the Bible, next anti-Christianity negating the above and then something like the Emersonian transcendentalism

going beyond Christianity. After through the above-mentioned process, we finally come to investigate the correlation between social concern and mysticism. Social concern and mysticism—quite opposite-looking at first glance; by studying the correlation between the two, we might be able to find a clue wherewith we can tell what distinguishes this novel from other proletarian novels in the 1930's, what makes this novel, as it were, immortal.

II. Social Concern

a. Social Background

In the fall of 1929, the boom in industry and commerce, which all the nation had been enjoying except farmers, was suddenly blown out simultaneously with the heavy fall of stock prices. Triggered by the panic, there sprang up many social problems: the bankruptcy of a large number of banks, railway companies, private firms and factories, the increase of distress on farmers already tortured enough and the decrease of opportunity for employment of all the salaried people such as engineers, teachers and so on. These phenomena took place all over the states from New York to California. As a result, the number of the unemployed was estimated in 1933 at approximately 12 million (one fourth of the nation). The fear of bankruptcy and starvation fell down on the huts of tenants and sharecroppers as well as on the urban flats of industrial laborers and the busy quarters of big cities.² President Franklin D. Roosevelt who was sworn in amidst the unprecedented depression advocated 'New Deal,' wherewith to help farmers out of distress, calling to the 'forgotten men.' He courageously launched forth on the policy of relief and recovery. In fact there were put into force several acts, such as Agricultural Loan Act whose objective was to enable farmers to get back their mortgaged land, offering loan with a lower interest-rate and Agricultural Adjustment Act whose objective to keep up the produce prices by leading farmers to voluntary production control. Also plans for public construction were carried out to increase the opportunity for employment, while on the other hand plans for relief were actively launched out.³

However, there were still a tremendous number of sharecroppers in the lowest stratum who could not be saved by the nets of policies. For instance, as for AAA, which was considered to be remarkably effective, its object was limited to great land owners, because medium- and small-size farmers could not afford to decrease the acreage under cultivation. On the contrary, owing to the aftermath of production control, sharecroppers were either shut out from work, or forced to succumb to a lower pay. Furthermore, on account of both the introduction of tractors to save man-power and the attack by the dust storm since 1934, a large number of small-size farmers and sharecroppers were driven to California out of Oklahoma, Texas, Kansas and so on. The number of those migrant farm laborers amounted to some 221,000, only one fourth of whom managed to get a job. The rest moved to and fro, desperately looking for job, literally starving. Of course, as mentioned above, there was the system of relief. But many of them could not be eligible for it, because of too short a period of stay at one place.⁴

Confirming the description of dust storm by Steinbeck, Ivan Ray Tannehill, assistant chief of the Forecast Division of the U.S. Weather Bureau remarks:

The desert seemed to be spreading into the Plains. By 1935 topsoil was blowing in tremendous quantities. At intervals there were winds of high velocity with spiraling masses of powdery dust. As time went on the dust, which was coarse in the beginning, was blown again and again and became exceedingly fine. Dust drifted into feed stacks and covered the pastures. In some places, livestock died from starvation and suffocation. Wet blankets were placed over doors and windows. People covered their faces with wet cloths. . . . Ranch homes were deserted. Drifts piled up and stopped trains and automobiles. Planes were grounded. Driving sand removed paint from automobiles and pitted windshields. During some of the storms, artificial light was needed at noon. Business was suspended. In some cases it was so dark from dust that pedestrians collided in the streets. These conditions occurred at intervals for several years. (*CGW*, p. 7)

He adds that the ensuing damage by locusts during the five years' dust storm period from 1934 to 1938 reached \$300 million. The above information tells us how severely farming people were distressed because of the damage by the Dust Bowl conditions following the Depression.⁵

In spite of the desperate efforts by the government, it was not until the immediate approach of the war that they managed to escape the above plight. In short, they were not saved by the nets of policies, but by the mounting war-time boom.⁶

b. Non-Teleological Thinking and Social Concern

In *Dubious Battle*⁷, which was published three years before this novel, is one of the experiments of his favorite idea 'Non-Teleological Thinking.' This is an attempt to see a phenomenon as a whole objectively without personal prejudice, without giving any evaluation or criticism. He is said to have acquired this idea from his close friend Edward F. Ricketts, a marine biologist. His moral attitude in the novel could be summarized in the following remark by Doc Burton :

'...I want to see the whole picture—as nearly as I can. I don't want to put on the blinders of "good" and "bad", and limit my vision. If I used the term "good" on a thing I'd lose my licence to inspect it, because there might be bad in it. Don't you see? I want to be able to look at the whole thing.' (*IDB*, p. 115)

In this idea, he regards the movement of striking farm laborers as that of group men, as that of one big organic living thing.

'...I want to watch these group-men, for they seem to me to be a new individual, not at all like single men. A man in a group isn't himself at all; he's a cell in an organism that isn't like him any more than the cells in your body are like you. I want to watch the group, and see what it's like.... Yes, it might be worth while to know more about group-man, to know his nature, his ends, his desires. They are not the same as ours....'

(IDB, pp. 116—117)

Here we can see his detached attitude of observing the activities of communists-led striking farm laborers infuriated by hunger and maltreatment, putting aside the evaluation of "good" or "bad." On the other hand, in *The Grapes of Wrath* he casts away the composure and shows his profoundest sympathy with the labores, while on the other hand his most vehement wrath against the great land owners. What caused him to change his moral attitude? Actually, in the fall of 1937, he witnessed the miserable life of migrants along Route 66 from Oklahoma to California, driving his own car himself. He reports in "Epilogue: Spring 1938" in *Their Blood Is Strong*.

It is a beautiful spring. There has been no war in California, no plague, no bombing of open towns and roads, no shelling of cities. It is a beautiful year. And thousands of families are starving in California. In the county seats the coroners are filling in "malnutrition" in the spaces left for "causes of death." For some reason, a coroner shrinks from writing "starvation" when a thin child is dead in a tent. For it's in the tents you see along the roads and in the shacks built from dump heap materials that the hunger is, and it isn't malnutrition. It is starvation. (CGW, p. 88)

Notwithstanding the counter-charges directed at Steinbeck for this novel from many quarters, what he witnessed was many starving children and adults. He finishes the article by adding the following remark:

Next year the hunger will come again, and the year after that, and so on, until we come out of this coma and realize that our agriculture for all its great produce is a failure. If you buy a farm horse and feed him only when you work him, the horse will die. No one complains at the necessity of feeding the horse when he is not working. But we complain about feeding the men and women who work our lands. Is it possible that this state so stupid, so vicious and so greedy that it cannot feed and clothe the men and women who help to make it the richest area in the

world? Must the hunger become anger and the
anger fury before anything will be done?

(CGW, p. 92)

He insists on the need of urgent help, citing the analogy of a farm horse, and criticizing the great land owners for their folly. This report is beautifully materialized into an impassioned passage of *The Grapes of Wrath*.

There is a crime here that goes beyond denunciation. There is a sorrow here that weeping cannot symbolize. There is a failure here that topples all our successs. . . . And children dying of pellagra must die because a profit cannot be taken from an orange. And coroners must fill in the certificates—died of malnutrition—because the food must rot, must be forced to rot. . . . ; and in the eyes of the people there is the failure ; and in the eyes of the hungry there is a growing wrath. In the souls of the people the grapes of wrath are filling and growing, growing heavy for the vintage.

(GW, p. 477)

The warm side of Steinbeck who has much concern and sympathy toward the weaker suddenly appears on the surface against the cool side in non-teleological thinking that was revealed in the preceding novel. He believes in an 'underlying pattern' and he negates the implication of mysticism in the idea.⁸ Against his will, however, he is naturally to come to imagine of some thing like Providence that sets the pattern in motion either behind it or in it. This is the very thing that is to be modified as 'mystic.' Besides, as is revealed in the course of this study of the novel, his idea of 'big-soul' which seems to come from non-teleological thinking is very near to the Emersonian 'over-soul.' So, considered from this view-point the relation between social concern and non-teleological thinking is also near to that between social concern and mysticism. Later in the novel we find that both of the two are rather well-balanced with each other. Thus, his social concern almost ranks shoulder to shoulder with his non-teleological thinking. For example, the above impassioned passage goes in parallel with the following cool passage from non-teleological thinking.

"Ever'thing we do—seems to me is aimed
right at goin' on. Seems that way to me.
Even gettin' hungry—even bein' sick ; some die,
but the rest is tougher. Jus' try to live the
day, jus' the day." (GW, pp. 577-8)

Of course, this passage is meant to emphasize the imperishability of the people, and at the same time it smacks of the theory of natural selection. But in *Sea of Cortez* (1941) which was published not long after this novel, he has had his social concern somehow cooled off all at once and comes back to non-teleological thinking. He might be shrinking from the unexpectedly wide and serious repercussions and reactions caused by this novel. Here he coldly writes of the problem of unemployment as an operation of natural selection :

During the depression there were, and still are, not only destitute but thriftless and uncared families, and we have often heard it said that the country had to support them because they were shiftless and negligent. If they would only perk up and be somebody everything would be all right. . . . This view may be correct as far as it goes, but we wonder what would happen to those with whom the shiftless would exchange places in the large pattern—those whose jobs would be usurped, since at that time there was work for only about seventy percent of the total employable population, leaving the remainder as government wards.⁹

The above remark is not strange, seeing that a few pages later in the same essay he says, 'Non-teleological ideas derive through "is" thinking, associated with natural selection as Darwin seems to have understood it' (*SC*, p. 135).

It seems that for him sociological ideology or political system did not matter so much. He just felt so sorry for the starving migrants and so much hated the great land owners for their folly and injustice that he called out for the need of urgent relief, hoping a life can live on without being hampered or smothered. So, when such wretched conditions decreased or disappeared, his social concern naturally did the same in response, though he never seems to have lost his sympathy toward the weaker.

c. Development of Social Concern

We are going to study the development of the main characters' social concern in this novel. For that purpose, it is essential to investigate that of the author's social concern at the same time because herein he himself shows a strong, crude feeling against the social injustice.

Those sharecroppers, who have lost their crop because of the dust storm, are pressed to go away from their land by banks and finance companies, holder of their mortgaged land, by reason that the land can produce no profit any longer. He speaks of banks and finance companies as 'monsters' through the mouth of the owner man :

If a bank or a finance company owned the land, the owner man said, The Bank—or the Company—needs—wants—insists—must have—as though the Bank or the Company were a monster, with thought and feeling, which had ensnared them. These last would take no responsibility for the banks or the companies because they were men and slaves, while the banks were machines and masters all at the same time. (*GW*, pp. 42-43)

Banks and finance companies are monsters, but even they will die without profit as well as all living creatures without food, or will be eaten up by larger monsters. Thus, monsters

get fewer in number and larger in size. This is the very essence of capitalism. Besides, the tractor driver's remark, "...the bank gets orders from the east. . . ." (*GW*, p. 52), indicates that those farming states were rather like the colonies of the Eastern capitalists in those days. Casy calls them die-hard "Gila monsters," whose "poison is drippin' an' drippin' into the hole he's made with his teeth" (*GW*, p. 175). Grampa actually dies the moment he is taken away from home. The rage against the cold-blooded monsters gets larger and larger. To protect themselves from the poisonous monsters, the weaker must solidify themselves. Thus, there first comes the rage and then the sense of relationship. This can be seen in the following dialogues between the Wilsons and the Joads helping each other by lending the tent for the dying Grampa and fixing the broken car in turn.

"We're beholden to you," said pa.
 "There's no beholden in a time of dying," said
 Wilson, and Sairy echoed him, "Never no beholden."
 Al said, "I'll fix your car—me an' Tom." And
 Al looked proud that he could return the family
 obligation. (*GW*, p. 190)

Ma said, "You won't be no burden. Each'll
 help each, an' we'll all git to California.
 Sairy Wilson he'ped lay Grampa out," and
 she stopped. The relationship was plain.
 (*GW*, p. 202)

Great land owners in the Western states are nervous about the government policies and the forming of unions, and they fear and hate the migrant laborers, because they know the new comers are fierce.

The two men squatting in a ditch, the little
 fire, the side-meat stewing in a single pot, the
 silent, stone-eyed women ; behind, the children
 listening with their souls to words their minds
 do not understand. The night draws down. The
 baby has a cold. Here, take this blanket. It's
 wool. It was my mother's blanket—take it for
 the baby. This is the thing to bomb. This is
 the beginning—from "I" to "we." (*GW*, p. 206)

Muscles aching to work, minds aching to create beyond the single need—this is man, this shows 'Manself.' But now, no land, no money, no work. There is no means left other than solidarity for the migrant laborers.

The works of the roots of the vines, of the
 trees, must be destroyed to keep up the price,
 and this is the saddest, bitterest thing of
 all. Carloads of oranges dumped on the
 ground. . . . There is a crime here that goes
 beyond denunciation. There is a sorrow here
 that weeping cannot symbolize. There is a
 failure here that topples all our success.
 The fertile earth, the straight tree rows,

the sturdy trunks, and the ripe fruit. And
 children dying of pellagra must die because
 a profit cannot be taken from an orange.
 And coroners must fill in the certificates
 —died of malnutrition—because the food must
 rot, must be forced to rot.
 The people come with nets to fish for
 potatoes in the river, and the guards hold
 them back ; they come in rattling cars to get
 the dumped oranges, but the kerosene is sprayed.
 And they stand still and watch the potatoes
 float by, listen to the screaming pigs being killed
 in a ditch and covered with quicklime, watch
 the mountains of oranges slop down to a putre-
 fying ooze ; and in the eyes of the people
 there is the failure ; and in the eyes of the
 hungry there is a growing wrath. In the souls
 of the people the grapes of wrath are filling
 and growing heavy, growing heavy for the
 vintage. (GW, pp. 476-477)

This is a passage corresponding to that of "Epilogue ; Spring 1938" mentioned in the preceding chapter. Against the beauty and fertility of the spring in California, on one hand there are many starving migrant laborers and children, while on the other hand great land owners are limiting the acreage under cultivation and dumping produce on the ground, in order to keep up the price. There is no greater crime than this. This chapter (25) begins with 'The spring is beautiful in California,' and as it goes on in the prose style, its tone gets more and more tense. At last it becomes something like verse. In the quotation, about the beginning, the phrase 'Tere is ...' is repeated, about the middle [f] sound and the word 'must' are repeated and then about the end 'growing.' And finally this chapter ends with 'growing heavy for the vintage' at the climax of his wrath against the social injustice.

From the very wrath arise the main characters' deep sympathy and sense of relationship amidst the adversities. This sense of relationship is established between the Joods and the Wilsons, among the migrant laborers in the government camp and between the Joads and the Wainwrights.

Ma fanned the air slowly with her cardboard.
 "You been frien'ly," she said. "We thank you."
 The stout woman smiled, "No need to thank.
Ever'body's in the same wagon. S'pose we was
 down. You'd a give us a han'."
 "Yes," Ma said, "we would."
 "Or anybody."
 "Or anybody. Use' ta the fambly was fust.
 It ain't so now. It's anybody. Worse off we
 get. the more we got to do."

(GW, p. 606 ; italics mine)

'Ever'body's in the same wagon.' is very significant. Of course here 'the same wagon' means an actual wagon, and at the same time can be construed as meaning our society. So,

this sentence seems to stress the sense of relationship among the weaker. Finally through this sense of relationship, Ma tells her daughter Rose of Sharon to give her milk to a starving old man in the barn.

Viewed in this light, social concern—first the rage against the social injustice and then the sense of relationship—finally develops into the sublimest act of life-feeding.

III. Mysticism

a. Christianity

The title of this novel *The Grapes of Wrath* itself hints at 'the great winepress, of the wrath of God' (Revelation 14 : 19), as Peter Lisca points out. There are thirty chapters in the novel, but in fact it can be divided into three parts : drought (chapters 1—10), journey (11—18) and sojourn in California (19—30). These seem to correspond to oppression in Egypt, exodus and settlement in Canaan, respectively. Besides, 'Joad,' the name of the family, seems to mean 'Judah'; accordingly the exile of the Joads from the South corresponds to the exodus of the Israelites. Also, the names of the main characters have much to do with the Bible ; Jim Casy (Jesus Christ), Tom (Thomas, one of the 12 disciples ; but most probably from Tom Collins, a director of a mobile-camp unit), Rose of Sharon ("I[Christ] am the rose of Sharon..." [Canticles 2 : 1]), Noah and Uncle John (John the Baptist). Next, the following are some examples direct from the Bible :

(Grandpa is buried together with a note from the Bible.)

Blessed is he whose transgression is forgiven,
whose sin is covered. (Psalms 32 : 1 ; *GW*, p. 195)

(Immediately before Jim Casy is clubbed to death
by one of the deputy sheriffs, he utters to them.)

You fellas don' know what you're doin'.
(Luke 23 : 34 ; *GW*, p. 527)

(Tom remembers Casy's remark from the Bible,
when he realizes "now a fella ain't no good
alone.")

'Two are better than one, because they have a
good reward for their labor. For if they fall,
the one will lif' up his fellow, but woe to him
that is alone when he falleth, for he hath not
another to help him up.'
(Ecclesiastes 4 : 9—12 ; *GW*, p. 570)

Then, the following show their similarity to the Bible in terms of prose style.

In the towns, on the edges of the towns,
in fields, in vacant lots,
the used-car yards, the wreckers' yards,
the garages with blazoned signs—
Used Cars, Good Used Cars.
Cheap transportation, three trailers
.....

(*GW*, p. 83)

The tractors had lights shining,
 for there is no day and night for a tractor
 and the disks turn the earth in the darkness
 and they glitter in the daylight.
 And when a horse stops work and goes into the barn
 there is a life and vitality left.

(*GW*, p. 157)

Besides the above, there are numberless examples of direct quotations from the Bible as well as parallels and similarities to it. Therefore, it might be safe to say that Steinbeck used the Bible as the basis of this novel.

b. Anti-Christianity

As mentioned above, this novel is predominantly Christian in tone. And at the same time we notice an anti-Christian coloring. For instance, the once ardent preacher confesses :

"I was a preacher," said the man seriously.
 "Reverend Jim Casy—was a Burning Busher.
 Used to howl out the name of Jesus to glory.
 And used to get an irrigation ditch so squirmen'
 full of repented sinners half of 'em like
 to drowned. But not no more," he sighed. "Just
 Jim Casy now. Ain't got the call no more. . . ."

(*GW*, p. 27)

This is Casy's declaration of his deserting Christianity. And he adds, "... Got a lot of sinful ideas—but they seem kinda sensible." This added remark seems to betray not only his giving-up of the religion, but his anti-Christianity, for he is neglecting one of the most essential principles in Christianity. Casy goes on to negate the religion.

An' I says, 'Don't you love Jesus?' Well, I
 thought an' thought, an' finally I says, 'No, I
 don't know nobody name' Jesus. I know a bunch of stories,
 but I only love people. An' sometimes I love 'em fit
 to bust, an' I want to make 'em happy, so I
 been preachin' somepin I thought would make
 'em happy.'

(*GW*, p. 32)

He confesses that he loves Jesus no longer, but loves people instead. And further he elaborates on his view of sin.

Before I knowed it, I was sayin' out loud,
 'The hell with it! There ain't no sin and
 there ain't no virtue. There's just stuff
 people do. It's all part of the same thing.
 And some of the things folks do is nice,
 and some ain't nice, but that's as far as
 any man got a right to say.'

(*GW*, pp. 31—32)

He completely disregards the concept of sin and gives up the criterion of judgement of 'good' or 'evil.' Instead he substitutes the concept of 'nice' or 'ain't nice' for them, saying 'There's just stuff people do.' This seems to show the author's belief under the circumstances that 'virtue' or 'vice' is only the phenomenon of the activities of man's life-force.

And then he gives a piece of advice to Uncle John who is always obsessed with the sense of sin that he has left his wife alone to die.

"You think it was a sin to let my wife die like that?" "Well," said Casy, "for anybody else it was a mistake, but if you think it was a sin—then it's a sin. A fella builds his own sins right up from the groun'." (GW, p. 306)

The following quotations show other characters' reaction to Uncle John who troubles them all with the mention of the 'sin.'

Ma : Ma turned from the fire. "Don' go tellin', John," she said. "Tell 'em to God. Don' go burdenin' other people with your sins. That ain't decent."
"They're a-eatin' on me," said John.
"Well, don' tell 'em. Go down the river an' stick your head under an' whisper 'em in the stream." (GW, p. 365)

Tom : "Go ri' 'long. I ain't no good. I ain't no good. Jus' a-draggin' my sins, a-dirtyin' ever'body."
"You got no more sin'n anybody else." (GW, p. 377)

Pa : Uncle John shook his head over his plate. "Don't look like we're a-gonna get shet of this here. I bet it's my sin."
"Oh, shut up!" Pa cried. "We ain't got the time for your sin now. . . ." (GW, p. 535)

Finally pa resolutely turns down John's sissy remark of 'sin' in the midst of the family's crisis.

The basic principles of Christianity—irrespective of any sect, Catholic or Protestant—are as follows¹⁰ :

- (1) God's absolute sovereignty—God is really the absolute sovereign who is boundlessly wise, mighty, affectionate and just.
- (2) Jesus Christ's divinity—Christ is God's only child.
- (3) Original sin—man is incomplete, fallible and apt to commit crimes.
- (4) Redemption—man can be saved by believing in the effect of Christ's redeeming death.
- (5) The guidance by the Holy Bible—the Bible is the words revealed by God.

First Casy negates (1) and (2) and then, negating (3), he declares that he has a sinful ideas and that he regards them sensible. As long as he negates (1) and (2), it means that he also disregards (4) and (5). This is the total negation of Christianity.

As mentioned above, most of the Joad family-members disregard Uncle John's mention of 'sin.' Furthermore, in the government camp Ma chases the Pharisee-like old woman, Sandra,

swinging a stick, who tortures Rose of Sharon, though Ma does not negate her being a Christian. The above seems to show the negation of Christianity, or rather anti-Christianity by the main characters.

c. Transcended Christianity or Transcendentalism

Casy says he has come to realize that the essence of Christianity should be 'love,' and yet not 'love' toward God or Christ but 'love' toward men and women :

"I figgered about the Holy Sperit and the Jesus road. I figgered, 'Why do we got to hang it on God or Jesus? Maybe,' I figgered, 'maybe it's all men an' all women we love ; maybe that's the Holy Sperit—the human sperit—the whole shebang. Maybe all men got one big soul ever'body's a part of.' Now I sat there thinkin' it, an' all of a sudden—I knew it. I knew it so deep down that it was true, and I still know it." (GW, pp. 32—33)

All men and women have the 'human sperit'—the very 'Holy Sperit,' and accordingly they are as holy as God. Besides, each of them shares part of 'one big soul.' This is the world of mysticism where Christianity is transcended, and seems almost equal to the Emersonian 'Oversoul' mentioned in *Sea of Cortez* (p. 150). The following are the passages quoted from Emerson's "The Over-Soul."¹¹

The Supreme Critic on the errors of the past and the present, and the only prophet of that which must be, is that great nature in which we rest as the earth lies in the soft arms of the atmosphere ; that Unity, that Over-Soul, within which every man's particular being is contained and made one with all other ; that common heart of which all sincere conversation is the worship, to which all right action is submission ; that overpowering reality which confutes our tricks and talents, and constrains every one to pass for what he is, and to speak from his character and not from his tongue, and which evermore tends to pass into our thought and hand and become wisdom and virtue and power and beauty. We live in succession, in division, in parts, in particles. Meantime within man is the soul of the whole ; the wise silence ; the univerasl beauty, to which every part and particle is equally related ; the eternal One.
(pp. 268—269)

A man is the facade of a temple wherein all wisdom and all good abide. What we commonly call man, the eating, drinking, planting, counting man, does not, as we know him, repre-

sent himself, but misrepresents himself. Him
 we do not respect, but the soul, whose organ
 he is, would he let it appear through his
 action, would make our knees bend.

(pp. 270—271)

The above passages almost go in parallel with the foregoing remark of Casy's. But a further scrutiny reveals that there is some difference in the view of a common man between the two great authors. Emerson respects, not a common man, but the soul when shown through his action. On the other hand, Steinbeck makes Casy remark, "...an' I'm gonna be near to folks. I ain't gonna try to teach 'em nothin'. I'm gonna try to learn. . . . Gonna cuss an' swear an' hear the poetry of folks talkin'. All that's holy, ..." (GW, p. 128), and "... Heard a fella tell a poem one time, an' he says 'All that lives is holy.' Got to thinkin', an' purty soon it means more than the words says. . . ." (GW, pp. 196—7). In short, Emerson regards the soul of a common man as holy, while on the other hand Steinbeck thinks of the life of a common man as such. Even Steinbeck, however, does not acknowledge the holiness in the capitalists and their followers, calling them 'monster' (GW, p. 45) and 'slaves' (GW, p. 43), respectively.

This difference in the view of a common man seems to arise from that of their surroundings. Steinbeck has been witnessing the migrants' plight, especially the starving conditions. His urgent problem is how to save the life of those starving migrants from the poisonous capitalism. It is natural that his view should be far more sympathetic with a common man.

This kind of mysticism also seems equal to the fifth and last of what Warren French calls Steinbeck's 'five layers,' that is, 'pure-consciousness.'¹²

To conclude the article concerning mysticism, all the references and allusions to Christianity, whether pro or con, could be attributed to this final mystic goal: transcendentalism. This kind of mysticism deploys together with the vehement social concern, intertwining itself with the latter and enriching the novel with the moving, vital life-force.

IV. Correlation between Social Concern and Mysticism

Steinbeck's vehement indignation against the social injustice of capitalism reaches its climax in Chapter Twenty-five, as already mentioned in II.c. Development of Social Concern. There he even predicts the advent of a social reform. And at the same time he maintains that there is nothing left for people to combat the social injustice with but their solidarity, in order to keep up the last drop of humanity and human dignity in the midst of the most miserable living conditions caused and poisoned by the overwhelming capitalism. It is those main characters including Tom as a central figure that struggle to embody the author's purport. It is also significant that Jim Casy is included in the company. The author, who tried to find a new figure of Christ in the West in *To a God Unknown*, here again tries to create another new figure of Christ out of Jim Casy. This new figure is that of Christ in the depression in the 1930's, and that for the wretched migrating farm laborers being dispossessed by both the raging dust storm and the poisoning capitalism. Owing to the presence of Casy, a sort of mysticism is added to this otherwise merely sociological novel: there is caused to exist

the correlation between social concern and mysticism. Casy gives a sort of grace to the Joods :

"I ain't sayin' I'm like Jesus," the preacher went on. "But I got tired like Him, an' I got mixed up like Him, an' I went into the wilderness like Him, without no campin' stuff. Nighttime I'd lay on my back an' look up at the stars ; morning I'd set an' watch the sun come up ; midday I'd look out from a hill at the rollin' dry country ; evenin' I'd foller the sun down. Sometimes I'd pray like I always done. On'y I couldn't figure what I was prayin' to or for. There was the hills, an' there was me, an' we wasn't separate no more. We was one thing. An' that one thing was holy." (GW, p. 110)

Casy comes to a revelation after the troubled wander in the wilderness like Christ. He realizes the holiness of oneness of man and nature, which is scarcely different from the Emersonian 'Over-Soul.'

"An' I got thinkin', on'y it wasn't thinkin', it was deeper down than thinkin'. I got thinkin' how we was holy when we was one thing, an' mankin' was holy when it was one thing. An' it on'y got unholy when one mis'able little fella got the bit in his teeth an' run off his own way, kickin' an' draggin' an' fightin'. Fella like that bust the holiness. But when they're all workin' together, not one fella for another fella, but one fella kind of harnessed to the whole shebang—that's right, that's holy. An' then I got thinkin' I don't even know what I mean by holy." (GW, p. 110)

He further goes on to regard the oneness—solidarity and cooperation—of people as holy. Here we can see the embryo of the correlation between social concern and mysticism. He declares he will pray for the dead no longer, but for the living people who do not know which direction to take, because 'All that lives is holy' (GW, p. 196). He makes up his mind to learn something by living together with the dispossessed people he regards as holy. He accompanies the Joods. For the purpose of saving Tom from the crisis, he volunteers to be put in jail. Later, when he appears again before Tom as an active strike leader, he confesses :

"Here's me, been a-goin' into the wilderness like Jesus to try find out somepin. Almost got her sometimes, too. But it's in the jail house I really got her." (GW, p. 521)

For the first time, while in jail, he is awakened to the true social concern, not in the idea but in the real life : something in life or the truth of the world.

For instance :

- (1) "Well, they was nice fellas, ya see.
What made 'em bad was they needed stuff.
An' I begin to see, then. It's need that makes
all the trouble. . . ." (GW, p. 521)
- (2) The lesson on the importance of speaking up
together or cooperation of people in the
sour beans problem. (GW, p. 521)
- (3) "... 'Anyways, you do what you can. An',
he says, 'the on'y thing you got to look at
is that ever' time they's a little step fo'ward, she
may slip back a little, but she never slips clear back.
You can prove that,' he says, 'an' that makes the whole
thing right. An' that means they wasn't no waste
even if it seemed like they was.'" (GW, p. 525)

Soon after giving the above lessons to Tom, Casy is clubbed to death by one of the deputy sheriffs. But he leaves the Christ-like remark "You don't know what you're-a doin'" (GW, p. 527 ; cf. Luke 23 : 34, 'Father, forgive them ; they do not know what they are doing.'). We might be allowed to say Casy has sacrificed himself to save the starving people as the new Christ in the depression of 1930's. Tom is greatly influenced by Casy and though unable to understand Casy's remark fully he succeeds Casy in terms of Casy's lessons. Tom, who has now been so enlightened sociologically as to remark "...I been a-wonderin' why we can't do that all over. Throw out the cops that ain't our people. All work together for our own thing—all farm our own lan'" (GW, p. 571), tries to comfort the troubled Ma, saying :

"Well, maybe like Casy says, a fella ain't
got a soul of his own, but on'y a piece of a
big one—an' then—"

"Then what, Tom ?"

"Then it don' matter. 'Then I'll be all
aroun' in the dark. I'll be ever'where—
wherever you look. Wherever they's a fight
so hungry people can eat, I'll be there.
Wherever they's a cop beatin' up a guy, I'll
be there. If Casy knowed, why, I'll be in
the way guys yell when they're mad an'—
I'll be in the way kids laugh when they're
hungry an' they know supper's ready. An'
when our folks eat the stuff they raise an'
live in the houses they build—why, I'll be
there. See ? God, I'm talkin' like Casy.
Comes of thinkin' about him so much. Seems
like I can see him sometimes." (GW, p. 572)

The remarks, 'a fella ain't got a soul of his own, but on'y a piece of a big one—' and 'Then I'll be all around in the dark.' are of mysticism, while the remark, 'Wherever they's a fight so hungry people can eat, I'll be there.' is of social concern and at the same time a mixture of social concern and mysticism. The subsequent remarks are nearly the same.

Anyway, this is the climactic correlating remark of social concern and mysticism, which reveals Tom's resolution to follow his moral mentor Casy, the sociological Christ-figure, as a strike-leader.

After Tom's departure, the whole responsibility and burden of the dissolving family falls not upon pa but upon Ma. Frustrated with the wretched conditions in California, Pa complains, "Comin' a long time—no work, no crops. . . . Seems like our life's over and done" (GW, p. 577). Replying to Pa, Ma says :

"No, it ain't," Ma smiled. "It ain't, Pa. An' that's one more thing a woman knows. I noticed that. Man, he lives in jerks—baby born an' a man dies, an' that's a jerk—gets a farm an' loses his farm, an' that's a jerk. Woman, it's all one flow, like a stream, little eddies, little waterfalls, but the river, it goes right on. Woman looks at it like that. We ain't gonna die out. people is goin' on—changin' a little, maybe, but goin' right on." (GW, p. 577)

Ma explains her knowledge of the imperishability and eternity of people acquired through her own intuition.

The stout woman smiled. "No need to thank. Ever'body's in the same wagon. S'pose we was down. You'd a give us a han'." "Yes," Ma said, "We would." "Or anybody." "Or anybody. Use' ta be the fambly was fust. It ain't so now. It's anybody. Worse off we get, the more we got to do." (GW, p. 606)

The above dialogue in the same wagon in the heavy rain shows Ma's firm realization of the true social concern : the importance of solidarity of people.

To escape from the flood, Ma leads Rose of Sharon to a barn on the higher ground. When she finds a starving old man lying there,

She looked at Rose of Sharon huddled in the comfort. Ma's eyes passed Rose of Sharon's eyes, and then came back to them. And the two women looked deep into each other. The girl's breath came short and gasping.

She said "Yes."

Ma smiled. "I knowed you would. I knowed !" She looked down at her hands, tight-locked in her lap. . . . Rose of Sharon loosened one side of the blanket and bared her breast. "You got to," she said. She squirmed closer and pulled his head close. "There !" she said. "There." Her hand moved behind his head and supported it. Her fingers moved gently in his hair. She looked up and across the

barn, and her lips came together and smiled
mysteriously. (GW, pp. 618—9 ; italics mine)

In order to save the old man, Ma needs milk. But she has no money or milk. What is left for her as the last means is... Rose of Sharon hitherto considered to be the morally weakest obeys Ma's high-handed implicit demand. The very last word of this novel 'mysteriously' seems to show the perfect satisfaction of the woman who has awakened to motherhood—giving birth to and bringing up a life. In this very moving, though quite controversial, scene of Rose of Sharon's direct act of saving the starving old man from death, is the climactic form of correlation between social concern and mysticism embodied.

V. Conclusion

What is the reason why this novel seems popular regardless of the age and the nation? What makes this novel, as it were, immortal and universal seems to be the above-mentioned mysticism coupled with the social concern. In other words, the amalgamation of the two, social concern and mysticism, highly advocates humanism. On one hand, the wrath against the social injustice that steps over the boundary of the concept of non-teleological thinking has developed into the advocacy of solidarity of the weaker in society : on the other hand, Christianity is finally transcended into the Emersonian Over-Soul. The advocacy of solidarity of the weaker coming out of social concern and the mysticism of 'Ove-Soul' transcending Christianity are closely intertwined, as it were, into one tenacious rope in the novel. The two, well-intertwined like a rope, highly praise the vital force of life.

In short, the mysticism Casy has realized in the wilderness is solidified by his experiences in the crude social realities in the jail where he is put for Tom. This same solidified mystic-social lesson is handed down from Casy to Tom. After Tom's departure, it is handed down to Ma. Ma realizes the eternity of life and the imperishability of people through her own intuition. Finally, this lesson, the amalgamation of social concern and mysticism, is fulfilled when Rose of Sharon so far considered to be the weakest in social concern gives her own milk (life) to the starving old man.

"Biology and myth provide the two poles of Steinbeck's world," as Joseph Fontenrose puts it.¹³ And yet, Steinbeck's mysticism seems to be based on the wonders of both life and the cosmos. In a sense biology and mysticism are both sides of one and the same thing. So, it is quite natural that Steinbeck should have declared war against the poisonous power of capitalism that is suffocating the activities of life. In order to cope with the poisonous capitalism, he maintains, an individual life 'I' should be united into 'we'—*manself*. Therefore, this is not merely a story of the movement of the Okies, but the story of *manself*'s struggle for existence, that is, the hymn to the vital life-force of *manself*.

NOTES

¹ John Steinbeck, *The Grapes of Wrath : Text and Criticism*, ed. by Peter Lisca (New York : The Viking Press, 1972)—hereafter cited as *GW*—p. 570

² Shigeharu MATSUMOTO, trans., *The Beards' New Basic History of the United States*, 1960 by Charles A. Beard and Mary R. Beard (Tokyo : Iwanami-shoten, 1964), p. 440.

³ Yasaka TAKAKI, ed., *Genten Amerika shi : A Documentary History of the American People* (Tokyo : Iwanami-shoten, 1968) —hereafter cited as *DHAP*—Vol. V, pp. 88—95.

⁴ Warren French, ed., "John Steinbeck : Their Blood Is Strong," *A Companion to "The Grapes of Wrath"* (Clifton New Jersey : Augustus M. Kelley, 1972) —hereafter cited as *CGW*—pp. 53—92.

⁵ *CGW*, pp. 5—8.

⁶ *DHAP*, pp. 98—100.

⁷ (London : Heinemann, 1970) —hereafter cited as *IDB*.

⁸ J. Steinbeck, *Sea of Cortez* (New York : The Viking Press, 1941) —hereafter cited as *SC*—p. 149.

⁹ *Ibid.*, p. 132.

¹⁰ Motoshi KARITA, tras., *American Literature and Christian Doctrine* by Randail Stewart (Tokyo : Hokuseido, 1963), p. 14—15.

¹¹ Ralph Waldo Emerson, "The Over-Soul," *Essays : First Series*, in *The Complete Works of Ralph Waldo Emerson* (New York : AMS Press, 1968) Vol. II.

¹² Tetsumaru HAYASHI, ed., *Study Guide to Steinbeck* (New Jersey : The Scarecrow Press, 1974), p. 41.

¹³ Joseph Fontenrose, *John Steinbeck : An Introduction and Interpretation* (New York : Holt, Rinehart and Winstons, Inc., 1963), p. 139.

(昭和51年5月1日受付)

超塑性 Zn-Al 合金の圧接について

(機械工学科) 大 下 隆 章

(機械工学科) 山 根 光 夫

On the Pressure Welding of Superplastic Zn-Al Alloy

Takaaki OSHITA and Mituo YAMANE

The influence of working conditions on the pressure welding of superplastic Zn-Al alloy was investigated. The results obtained were as follows.

- (1) The minimum pressure required for the pressure welding was 1.3~2.0 times the flowing stress of the material at the working temperature.
- (2) The tensile strength of the pressure-welded material increases with the working temperature, but it decreases with the working pressure.
- (3) The separation resistance of the material at the pressure-welded part increases with the working temperature and the working pressure.

§ 1 緒 言

超塑性材料の塑性加工については、近年かなり多くの研究がなされ、すでに実用段階に入ろうとしているが、同材の圧接についての報告は見当たらない。超塑性材料は流動応力が極めて小さく、伸び率が異常に大きいので、同材の圧接は他の金属と異なる問題を提起することが予想される。著者らはこれらの諸点を明らかにする目的で、圧接圧力、圧接温度を種々に組合わせて圧接実験を行い、これらの作業因子が圧接におよぼす影響を調べた。

§ 2 試料および実験方法

供試材は市販の 78%Zn-22%Al 合金の板材(厚さ 3 mm)およびこれと同一組成の鋳造材を使用した。鋳造材は前報⁽¹⁾と同様に電気炉で溶製後 720°C で金型に鑄込んだものである。板材からは 12×25mm の試料を切り出し、これを 380°C で 1 時間加熱後水焼入れまたは空中冷却して(前者を焼入材、後者を焼鈍材と呼びそれぞれ W.Q.P. および A.C.P. で表わす)、圧接後の引張試験および圧接部の分離抵抗力の測定に供した。鋳造材は図 1 の工程に従って加工および熱処理をして焼入材と焼鈍材(以後前者を W.Q.B., 後者を A.C.B. で表わす)を準備し、圧接後の剪断試験および硬度測定に供した。いずれの素材から切り出したものも光学顕微鏡観察では微細な粒状組織であるが、焼鈍材は微細組織の中に部分的に層状組織を含んでおり、焼入材の強度は焼鈍材のそれよりも小さい。

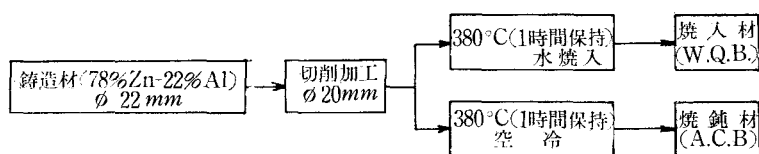


図 1 試料の製作過程

圧接は図2に示す圧接装置を用いて行った。加圧のためのポンチは電気炉を兼たコンテナ中に置かれ、下ポンチ中に挿入された熱電対と自動温度調節器によって所定の圧接温度に制御した。試料の接合部をスクレーパ切削後アセトンで清浄して試料を上下のポンチの間に置き、試料が所定の温度に加熱されるのを待って、万能試験機で加圧力とポンチの移動量の関係線図を自記させながら加圧した。加圧に際しては圧接圧力および圧接温度を変化して種々の組合わせで実験した。

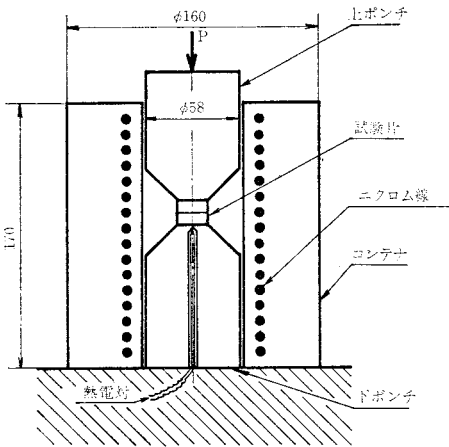


図2 圧接装置

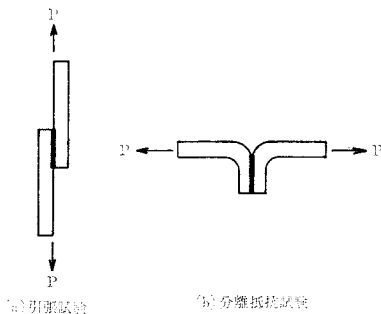


図3 試験方法

§3 実験結果とその考察

3.1. 圧接可能圧力

まず、供試材の圧接可能な圧力を決定するために、2枚のW.Q.P.材を種々の温度で、圧接圧力を変化して10分間加圧し、圧接部の肉眼的観察によって圧接可能圧力を定めた。その結果を表1の星取表に示す。

表1 圧接可能圧力

○ 圧接良好 × 圧接不良 △ 圧接不十分								
圧力 加圧 温度(°C)	1	2	4	5	6	10	15	20
100	×	×	×	×	×	×	○	○
150	×	×	×	○	○	○	○	○
200	×	△	△	○	○	○	○	○
250	×	△	△	○	○	○	○	○

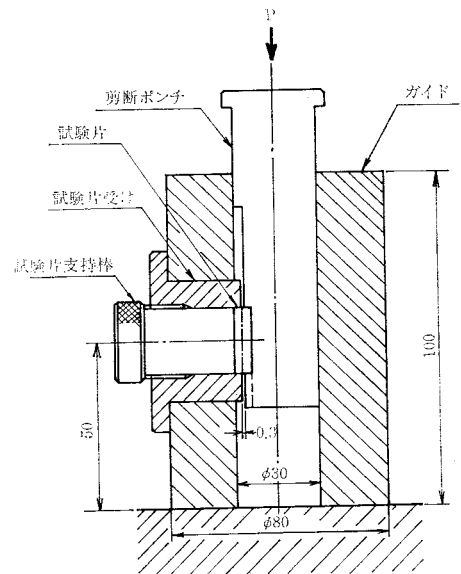


図4 剪断試験装置

表中の△印は肉眼的観察では圧接良好と判断したが、後述の分離抵抗力の試験で圧接不十分と判断されたものである。

表1の結果を供試材と同一組成の直径15mm、高さ30mmの円柱を、圧縮試験(試験速度0.1mm/sec)して得られた圧縮降伏強さ⁽²⁾とともに図示すれば図5のようになる。

これによると、圧接可能な最小圧力は供試材の圧縮降伏力の1.3~2倍の範囲にあり圧接温度の上昇とともに減少していることがわかる。また圧接不十分な△印の圧力範囲では圧接される板材の表面に凹凸があるために、凸部が変形して

部分的な接合がなされたと思われる。

圧接中の加圧力と変形の様子を知るために供試材の組合わせを変えて室温で圧縮試験を行った。その結果を図 6 に示す。これによると焼入材および焼鈍材はともに単体 ($\phi 20 \times 22.5 \text{ mm}$) で圧縮するときよりも、2 個の試料を重ねて (2 個を重ねた高さは 22.5 mm) 圧縮する方が同一圧縮率に対する圧縮応力が大きい。

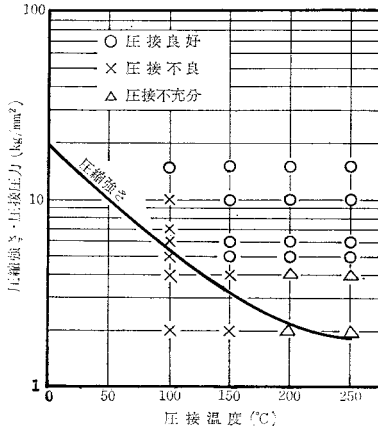


図 5 供試材の圧縮強さと圧接圧力の関係

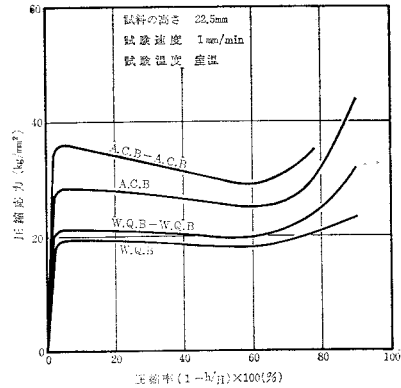


図 6 接合材の圧縮応力と圧縮率の関係

本実験で行った圧縮試験時の材料の変形は図 7 に示すように試料の中央部が膨れるが、単一材よりも試料を重ねて圧縮するときの方が凸部の曲率半径が大きい。このことは接合面における凹凸のために摩擦抵抗を生じ、接合面近傍の材料の横方向への流動が困難となり、試料を重ねて圧縮するときの圧縮応力が単一材のときのそれよりも増加する。この結果、前述のように圧接可能圧力は供試材の圧縮降伏強さよりも大きくなるものと考えられる。

また図 6 によれば、すべての場合に圧縮率 60% 近くまで圧縮応力は減少している。加工による強度の減少については、粒界に沿って多数の Void や Cavity の発生によるとの説⁽⁹⁾もあるが、本実験では確認していない。圧縮率が 60% 以上になると圧縮応力は急増しているがこれは材料自体の性質の変化によるものではなく、材料が横方向に移動が困難となったためと思われる。

3.2. 圧接後の引張強さ

圧接後の引張強さは圧接部の良否を検討する資料ではないが、圧接された製品の良否を決定する重要な事項であるので、圧接圧力および圧接温度を種々に組合わせて W.Q.P. 材同志を圧接(加圧時間 10 分)し、これを室温で引張試験した。その結果を図 8 に示す。これによると圧接圧力が大きいほど圧接後の

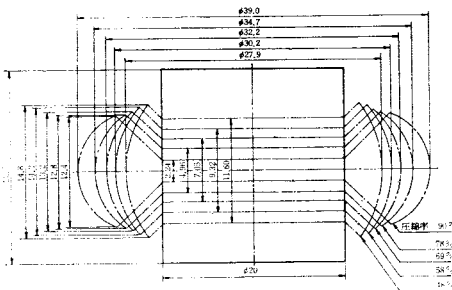


図 7 圧縮中の試料の変形過程

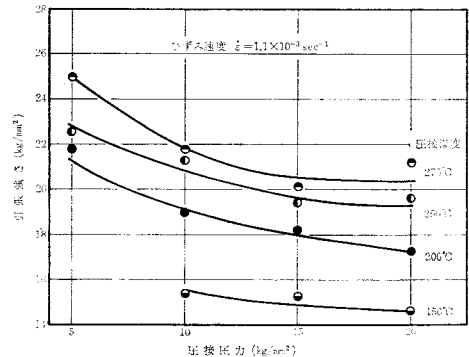
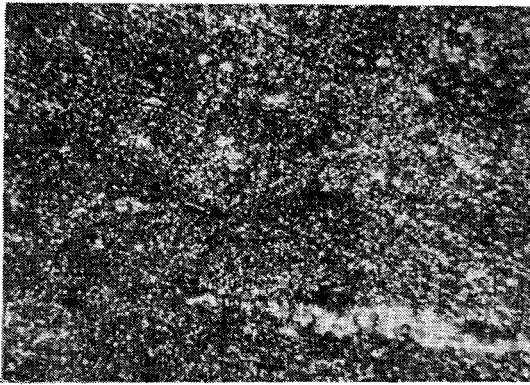
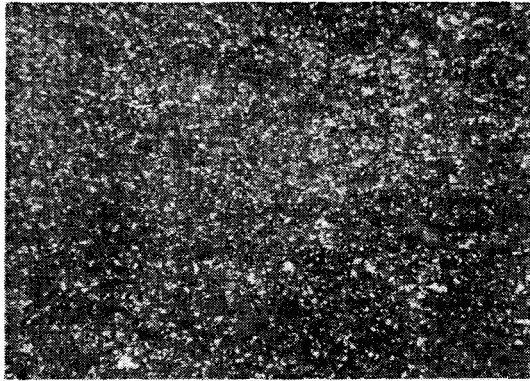


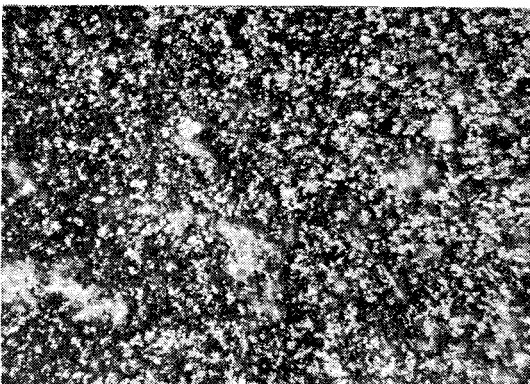
図 8 圧接後の引張強さと圧接圧力および圧接温度の関係



圧接温度：室温 (×500)



圧接温度：200°C (×500)



圧接温度：250°C (×500)

写真1. 圧接後の顕微鏡組織
(圧縮率 79%)

引張強さは減少している。しかし前報⁽¹⁾に報告した押し出し加工では押し出し製品の引張強さは加工温度の上昇によって増加しており本実験の場合と異っている。このことは圧接作業では加工中の素材は加圧力の方向と直角な面においてひろがるのでこの時期に Void や Cavity の発生が考えられるが、押し出し加工では加工素材は押し出し力だけでなくコンテナやダイによって横方向からも力を受けた状態になるので、前記の欠陥の発生が抑制されるためと考えれば理解できる。

いずれの圧接圧力のときも圧接温度が高いほど圧接後の引張強さは大きい。これは圧接温度の上昇によって加工中に組織の成長が助長されるためと考えられる。写真1は圧接後の顕微鏡組織であるが250°Cで圧接したものが特に粗大組織になっていることがわかる。

圧接後の材料は加工中の組織の粗大化によって超塑性を失う可能性がある。このことを検討するため、圧接温度、圧接圧力をそれぞれ250°Cおよび 10kg/mm^2 に一定として10分間加圧(W.Q.P.とW.Q.P.)したものについて流動応力(σ)を求め、その結果の供試材(W.Q.P.)の流動応力とともに図9に示す。これによると、圧接後の材料の流動応力とひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の間には $\sigma = k\dot{\epsilon}^m$ の関係が成立するが、 m 値が0.236から0.118に減少しておりかなり超塑性を失っていることがわかる。

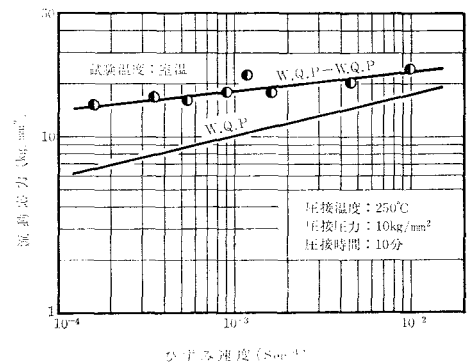


図9 圧接後の流動応力とひずみ速度の関係

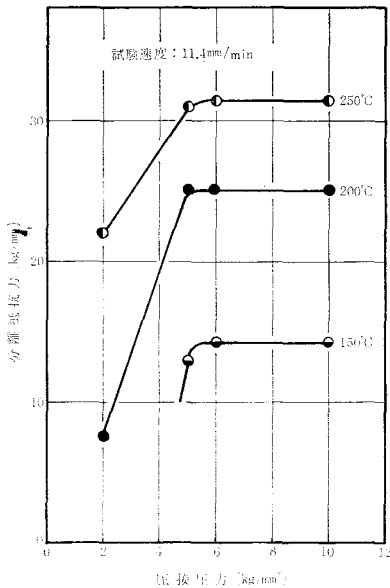


図10 圧接温度および圧接圧力と分離抵抗力の関係

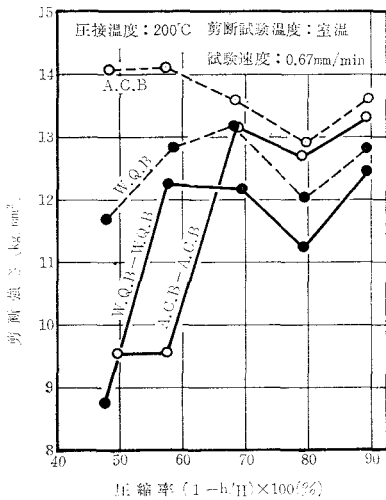


図11 圧接後の剪断強さと圧縮率の関係

ど認め得なかった。このような完全圧接の温度および圧接圧力は図5に示した○印の範囲であった。しかし供試材は極めて微細な組織であるので、さらに圧接部の状態を検討するために W.Q.B. 材と A.C.B. 材を室温から300°Cの各温度で圧接して圧接部の硬度分布を測定した。その結果を図13に示す。これによると、圧接温度が室温および100°Cの場合に W.Q.B. 材も A.C.B. 材ともに圧接部に近い場所で硬度の低下がみられる。これは圧接温度が比較的低温であったため、素材の塑性流動が少なく欠陥発生のために軟化したと考えられる。また、圧接部の0.6~0.8mmの範囲内の硬度は直線的に変化していることがわかる。圧接温度が200°C

3.3. 分離抵抗力

圧接部の強度を明確に知るために、図3(b)に示した方法で単位長さの圧接部を分離するため必要な力を測定し、これを分離抵抗力とした。圧接温度および圧接圧力を種々に組合わせて10分間圧接したときの分離抵抗力を図10に示す。

同図において圧接圧力が2 kg/mm²の場合には分離抵抗力が極めて小さい値になっており、圧接圧力が不足して圧接不良であったことになる。これを前述の表1および図5において△印で示した。また圧接圧力が6 kg/mm²以上になると圧接部の強度が大きく圧接部以外の部分から破断した。この結果圧接に必要な圧力は5~6 kg/mm²であることがわかる。また圧接温度が高い程分離抵抗力が大きくなっているが、これは圧接時に素材の変形が容易で Void などの欠陥の発生が少なくなるとともに、結晶粒の成長によって接合部および素材の強度が増加したものである。

3.4. 圧接後の剪断強さ

圧接の良否判定の基礎資料を得るために、製品の高さを4.5 mmに一定にしたときの圧縮率が種々に変化するように試験片の圧接前の高さを決定して、これを200°Cで圧接したものについて、室温で圧接部の剪断試験を行った。その結果を図11に示す。これによると W.Q.B. 材同志の圧接には圧縮率を60%以上に、また A.C.B. 材同志の圧接時のそれは70%以上にすることが必要である。いずれの材料を圧接する場合にも圧縮率が80%で剪断強さが一時的に減少しているが、その理由は明らかでない。

W.Q.B. 材同志および A.C.B. 材同志を圧接したときの継手効率 η （圧接部の剪断応力を同じ圧縮率の単一圧縮材のそれと除して百分率で表わした）と圧縮率の関係を図12に示す。これによるといずれの材料を圧接した場合も圧縮率が70%以上で η は90%以上になっており、十分に圧接できたことがわかる。

3.5. 圧接部の組織と硬度分布

圧接部の光学顕微鏡観察（×500）では、圧接部の組織は母材の他の部分のそれと全く同様で差異は殆んど認め得なかった。このような完全圧接の温度および圧接圧力は図5に示した○印の範囲であった。しかし供試材は極めて微細な組織であるので、さらに圧接部の状態を検討するために W.Q.B. 材と A.C.B. 材を室温から300°Cの各温度で圧接して圧接部の硬度分布を測定した。その結果を図13に示す。これによると、圧接温度が室温および100°Cの場合に W.Q.B. 材も A.C.B. 材ともに圧接部に近い場所で硬度の低下がみられる。これは圧接温度が比較的低温であったため、素材の塑性流動が少なく欠陥発生のために軟化したと考えられる。また、圧接部の0.6~0.8mmの範囲内の硬度は直線的に変化していることがわかる。圧接温度が200°C

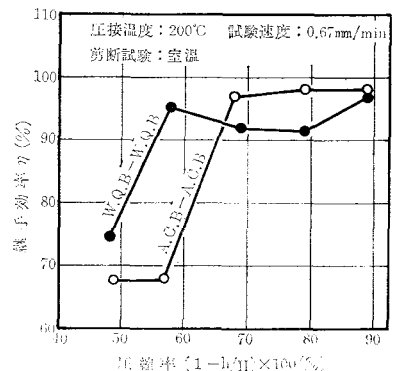


図12 圧接後の継手効率と圧縮率の関係

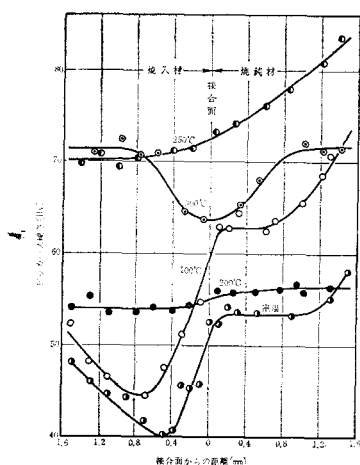


図13 圧接部の硬度分布

および250°Cの場合は圧接部の硬度分布は連続的に変化しているが、これは圧接温度が高く素材の流動が容易であったことを示している。またW.Q.B.材の硬度がかなり高くなっているが、これは加圧中に組織の成長がなされたためと考えられ、特に250°Cで極めて高い硬度数になったことは、圧接温度が変態温度に近く組織の成長が容易であったためであろう。圧接温度が300°Cの場合は、この温度がすでに変態温度を越えており、さらに圧接後に製品を取りはずすまでの時間を考慮すれば、275°Cの共析変態点を極めてゆるやかに通過するので、層状組織の発達が容易で全般的に硬度が増加したものと思われる。また、接合面の近傍で硬度分布にU字形の変化がみられるが、これはこの部分で最もよく素材の流動がなされたことを意味している。

§ 4 結 言

共析組成の Zn-Al 合金を 380°C で1時間加熱後、水焼入れまたは空中冷却して、焼入材および焼鈍材をつくり、これらを種々の条件下で圧接して、加工条件が圧接作業におよぼす影響を調べ次の結果を得た。

- (1) 圧接に必要な最小圧力は圧接温度によって異なり、その温度における供試材の圧縮強さの 1.3～2倍である。
- (2) 圧接後の母材の強度は加工温度の上昇によって増加するが、圧接圧力の増加によって減少する。
- (3) 圧接部の分離抵抗力は、圧接温度の上昇および圧接圧力の増加によって増加する。

文 献

- (1) 大下・武井：日本金属学会誌，35 (1971)，1120.
- (2) 大下・武井・山根：日本金属学会誌，39 (1975)，98.
- (3) 本橋・柴田：軽金属，23 (1973)，549.

(昭和51年4月30日受付)

揺動正楕円カムの研究(第2報)

—平板従動節—

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Elliptical Profile Cam with an Oscillating Follower (Report 2)

—Flat Plate Follower—

Hironori ITOSHIMA

The flat plate follower is oscillating on the elliptical profile of the cam and the pivot of the cam is chosen in the center of the ellipse. The elliptical curve is expressed in xy coordinates on the cam.

The angular motion of the oscillating follower is analysed. The oscillating angle, the pressure angle, the angular acceleration and the specific sliding are examined.

If the center distance, the oscillating angle, the ratio of the angular accelerations at the starting point and the end point are specified and if the specific sliding of the cam at the end point is specified, then each size of the cam and the offset of the flat plate follower can be obtained. In this way the best cam can be designed.

§ 1 緒 言

前報¹⁾においてカムの輪郭が楕円で、その回転中心が楕円の中心にあり、円弧あるいはローラをもって揺動する円弧従動節の運動と揺動角、押進め角、角加速度、滑り率等を論じ、それらの最大値を指定して、カムの設計を行った。

本報告においては円弧の代りに平板を有する揺動平板従動節の場合の従動節の運動を解析し、前報と同様、揺動角、角加速度、滑り率等を論じ、それらの最大値を指定して、カムの長径、短径および従動節のオフセット量を求め、この種のカムの運動学的に最良なものの設計を行う。

§ 2 記 号

a : 楕円の長半径	d : 軸間距離
b : 楕円の短半径	f : 平板のオフセット量
ψ : 従動節の揺動角	δ : AT が y 軸となす角
φ : 従動節の角変位	R_T : カムの中心から接触点迄の半径
φ_0 : 従動節の最小角変位	ρ_T : 楕円の曲率半径
φ_1 : 従動節と AB の交角	β : 楕円の接線と長軸の交角
θ : カムの回転角	ϕ : 押進め角
θ_0 : 行き行程のカムの回転角	ϕ_c : 始点の押進め角
θ_r : 戻り行程のカムの回転角	μ : 摩擦係数

ω_1 : カムの角速度 σ_1 : カムの滑り率 ω_2 : 従動節の角速度 σ_2 : 従動節の滑り率 $d\varphi_1/d\theta$: 従動節の角速度 $= \omega_1 d\varphi_1/d\theta$ $d^2\varphi_1/d\theta^2$: 従動節の角加速度 $= \omega_1^2 d^2\varphi_1/d\theta^2$

§ 3 揺動平板従動節の運動

図1に示すように長短半径がそれぞれ a , b の楕円カム1がその中心 A を軸心として反時計回りに回転し、揺動平板従動節2が f だけオフセットして、 A より d の距離にある B 点を軸心として揺動する。

A 点を原点とし、 AB を ξ 軸、これに直角に η 軸をとる。楕円の長径を x 軸、短径を y 軸とする回転座標をカムにとり、 x 軸と ξ 軸のなす角を θ とすれば、 θ はカムの回転角となる。次に B 点を原点とし、図のように X , Y の回転座標をとり、 Y 軸と ξ 軸のなす角を φ_1 とすれば、 φ_1 は従動節の角変位である。カムと従動節の接触点を T とし、 AT の長さを R_T 、 AT が η 軸となす角を δ とす。

接触点 T におけるカムの法線が AB と交わる点を P とすれば P は瞬間中心 I_{12} となるので $AP \times d\theta/dt = BP \times d\varphi_1/dt$ となり、 $AP + BP = d$ から次式が得られる。

$$AP = d \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta}, \quad BP = \frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta} \quad \dots\dots\dots (1)$$

図1において前報¹⁾では AT と η 軸の交角 δ をパラメーターとして従動節の運動を論じたが、平板従動節においては解析が容易なので $\theta + \varphi_1$ をパラメーターとして計算を進める。

接触点 T の x y 座標を x_T , y_T とすればカムは楕円だから次式が成立する。

$$\left(\frac{x_T}{a}\right)^2 + \left(\frac{y_T}{b}\right)^2 = 1, \quad b^2 x_T^2 + a^2 y_T^2 = a^2 b^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

次に T 点の ξ η 座標を ξ_T , η_T とすれば、 x_T , y_T は次式で表わされる。

$$x_T = \xi_T \cos \theta + \eta_T \sin \theta, \quad y_T = -\xi_T \sin \theta + \eta_T \cos \theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

T 点より AB への垂線を TJ とし、 TJ と Y 軸の交点を K とし、従動節のオフセット量を f とすれば、 $TK = f/\cos \varphi_1$ から

$$\eta_T = (d - \xi_T) \tan \varphi_1 + \frac{f}{\cos \varphi_1} = \frac{(d - \xi_T) \sin \varphi_1 + f}{\cos \varphi_1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

が得られるので式(3), (4)を式(2)に代入すれば ξ_T , η_T は次式のように求められる。

$$\begin{aligned} \xi_T &= \frac{(d \sin \varphi_1 + f) \{a^2 \cos \theta \sin(\theta + \varphi_1) - b^2 \sin \theta \cos(\theta + \varphi_1)\}}{a^2 \sin^2(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos^2(\theta + \varphi_1)} \\ \eta_T &= \frac{(d \sin \varphi_1 + f) \{a^2 \sin \theta \sin(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos \theta \cos(\theta + \varphi_1)\}}{a^2 \sin^2(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos^2(\theta + \varphi_1)} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式(5)の ξ_T , η_T を式(3)に代入して、 x_T , y_T を求めれば次式が得られる。

$$x_T = \frac{a^2 \sin(\theta + \varphi_1)(d \sin \varphi_1 + f)}{a^2 \sin^2(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos^2(\theta + \varphi_1)}, \quad y_T = \frac{b^2 \cos(\theta + \varphi_1)(d \sin \varphi_1 + f)}{a^2 \sin^2(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos^2(\theta + \varphi_1)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式(6)を式(2)に代入すれば

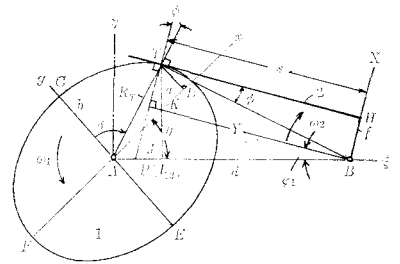


図1 平板従動節の揺動正楕円カム

$$\sin \varphi_1 = -\frac{1}{d}(\sqrt{a^2 \sin^2(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos^2(\theta + \varphi_1)} - f) \dots \dots \dots (7)$$

が得られる。この式から $\theta + \varphi_1$ をパラメーターとして任意に与えれば φ_1 が求まるので、それからカムの回転角 θ を求めることができる。よって角 θ に対する従動節の角速度 $d\varphi_1/dt = \omega_1 \cdot d\varphi_1/d\theta$ 、角加速度 $d^2\varphi_1/dt^2 = \omega_1^2 \cdot d^2\varphi_1/d\theta^2$ なので式(7)を θ で微分すれば次式が得られる。

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{(a^2 - b^2) \sin(\theta + \varphi_1) \cos(\theta + \varphi_1)}{d \cos \varphi_1 (d \sin \varphi_1 + f) - (a^2 - b^2) \sin(\theta + \varphi_1) \cos(\theta + \varphi_1)} \dots \dots \dots (8)$$

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{(a^2 - b^2) \{ \cos^2(\theta + \varphi_1) - \sin^2(\theta + \varphi_1) \} \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - d \{ d \cos^2 \varphi_1 - \sin \varphi_1 (d \sin \varphi_1 + f) \} \left(\frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2}{d \cos \varphi_1 (d \sin \varphi_1 + f) - (a^2 - b^2) \sin(\theta + \varphi_1) \cos(\theta + \varphi_1)} \dots \dots \dots (9)$$

式(8)より従動節の角速度、式(9)より角加速度が求められる。

3. 1 従動節の揺動角と始点と終点の角加速度

図1において y 軸と楕円の交点 C 、 E 、 x 軸と楕円の交点を D 、 F とすれば、従動節が C 点で接触する場合が往き行程の始点で、 D 点で接触する場合が終点となる。

始点における φ_1 を φ_0 とすれば、そのときの $\theta = -\varphi_0$ となり、 φ_0 は式(7)より次式のようにになる。

$$\theta + \varphi_1 = 0, \quad \theta = -\varphi_0, \quad \varphi_0 = \sin^{-1} \frac{b-f}{d}, \quad b = d \sin \varphi_0 + f \dots \dots \dots (10)$$

また式(8)、(9)より次式が得られる。

$$\text{始点, } \theta + \varphi_1 = 0, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = 0, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{a^2 - b^2}{b\sqrt{d^2 - (b-f)^2}} \dots \dots \dots (11)$$

終点 D においては $\theta + \varphi_1 = 90^\circ$ となり、そのときは $\varphi_1 = \varphi_0 + \Psi$ (Ψ は揺動角) となるので、式(7)より

$$\varphi_0 + \Psi = \sin^{-1}(a-f)/d, \quad \theta = 90^\circ - (\varphi_0 + \Psi) \dots \dots \dots (12)$$

$$\Psi = \sin^{-1} \frac{a-f}{d} - \sin^{-1} \frac{b-f}{d} \dots \dots \dots (13)$$

となる。よって終点の角速度と角加速度は式(8)、(9)より次式が得られる。

$$\text{終点, } \theta + \varphi_1 = 90^\circ, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = 0, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{a^2 - b^2}{a\sqrt{d^2 - (a-f)^2}} \dots \dots \dots (14)$$

3. 2 従動節の往きと戻り行程のカムの回転角

従動節の往きと戻り行程のカムの回転角を θ_o 、 θ_r とすれば、往き行程の始点 C における θ を θ_c とし、終点 D を θ_D 、戻り行程の終点 E を θ_E とすれば

$$\left. \begin{aligned} \theta_o = \theta_D - \theta_c &= (90^\circ - \varphi_0 - \Psi) - (-\varphi_0) = 90^\circ - \Psi \\ \theta_r = \theta_E - \theta_D &= \theta_c + 180^\circ - \theta_D = 90^\circ + \Psi \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

となり、 θ_o 、 θ_r は式(13)で示す従動節の揺動角 Ψ によって定まる。いま $\Psi = 30^\circ$ とすれば、 $\theta_o = 60^\circ$ 、 $\theta_r = 120^\circ$ となり、 $\Psi = 45^\circ$ とすれば $\theta_o = 45^\circ$ 、 $\theta_r = 135^\circ$ となり、 θ_o と θ_r の比を2倍、3倍にすることができる。早戻り運動をさせるには図1のカムの回転方向を逆にして、揺動角 Ψ を大きな値とすればよい。

3. 3 計 算 例

いま例えば $a = 30\text{mm}$ 、 $b = 20\text{mm}$ 、 $d = 50\text{mm}$ 、 $f = 5\text{mm}$ の長さを与えて $\theta + \varphi_0 = 0 \sim 180^\circ$ に対する式(13)、

(15), (10)より ψ , φ_0 , θ_0 , θ_r を求め, 従動節の運動は $\theta + \varphi_1$ をパラメーターとして, 式(7)より φ_1 を求めれば θ が求まり, 式(8), (9)より $d\varphi_1/d\theta$, $d^2\varphi_1/d\theta^2$ が求められる。図2は横軸にカムの回転角 θ をとって, これらの値を示したものである。揺動角 $\psi = 12.542^\circ$ で比較的小さいので角加速度曲線 $d^2\varphi_1/d\theta^2$ は θ_r に比べて θ_0 が小さいため行き行程で単弦運動, 戻り行程でほぼ直線的すなわち等2次角加速度的となり, 運動は滑らかである。これから平板従動節の正楕円カムでは図1のカムの場合にカムの回転方向を逆にしたら早戻り運動を従動節に与えることができる。

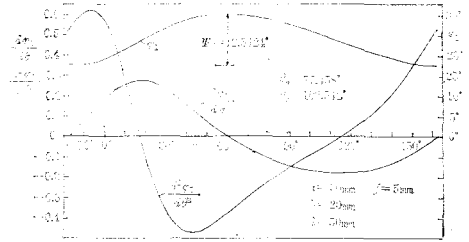


図2 揺動正楕円カムの運動の例

§ 4 押進め角と滑り率

4.1 押進め角 図1において接点 T における法線 PT と従動節上の T 点の運動方向すなわち T 点における BT への垂線のなす角 ϕ は押進め角となり, T より X 軸への垂線を TH とし, $TH=s$ とすれば $\angle BTH = \phi$ とすれば ϕ は次式で求められる。

$$\tan \phi = \frac{f}{s}, \quad s = BP \cos \varphi_1 = \frac{d \cos \varphi_1}{1 + d\varphi_1/d\theta} \quad (16), (17)$$

始点 C の押進め角を ϕ_c とすれば $\varphi_1 = \varphi_0$ となり, 次式で求められる。

$$s = \sqrt{d^2 - (b-f)^2}, \quad \phi_c = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{d^2 - (b-f)^2}} \quad (18), (19)$$

4.2 滑り率 カムと従動節の滑り率をそれぞれ σ_1 , σ_2 とすれば前報¹⁾により次式で与えられる。

$$\sigma_1 = \frac{PT}{\rho_T}, \quad \sigma_2 = \frac{PT}{\rho_T - PT} \quad (20)$$

ρ_T は楕円カムの曲率半径であって, θ を曲線のパラメーターとすれば前報¹⁾より

$$\rho_T = \frac{\left\{ \left(\frac{dx_T}{d\theta} \right)^2 + \left(\frac{dy_T}{d\theta} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2 x_T}{d\theta^2} \cdot \frac{dy_T}{d\theta} - \frac{dx_T}{d\theta} \cdot \frac{d^2 y_T}{d\theta^2}} \quad (21)$$

で与えられるので, 式(6)に式(7)を代入すれば x_T , y_T はそれぞれ次式で示される。

$$x_T = \frac{a^2 \sin(\theta + \varphi_1)}{\sqrt{a^2 \sin^2(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos^2(\theta + \varphi_1)}}, \quad y_T = \frac{b^2 \cos(\theta + \varphi_1)}{\sqrt{a^2 \sin^2(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos^2(\theta + \varphi_1)}} \quad (22)$$

これらの式は $\theta + \varphi_1$ が変数であるので式(21)の θ の代りに $\theta + \varphi_1$ をパラメーターとして式(22)を $\theta + \varphi_1$ で微分して式(21)に代入して整理すれば

$$\rho_T = \frac{a^2 b^2}{\{a^2 \sin^2(\theta + \varphi_1) + b^2 \cos^2(\theta + \varphi_1)\}^{\frac{3}{2}}} \quad (23)$$

が得られる。また図1から PT の長さは

$$PT = \frac{d \sin \varphi_1}{1 + d\varphi_1/d\theta} + f \quad (24)$$

となるので, 式(23), (24)より ρ_T , PT を求め式(20)に代入すれば滑り率 σ_1 , σ_2 を求めることができる。

4.3 計 算 例

図2のデータで式(17), (16)で押進め角 ϕ を求めて θ を横軸としたものを図3に示す。 $\theta=10^\circ$ 附近で僅かに大となるが $\phi<10^\circ$ である。

次に滑り率 σ_1, σ_2 を式(24), (23), (20)より求めたものを図3に示す。カムの最大滑り率は $\theta+\varphi_1=90^\circ$ すなわちカムのD点を 10° 程すぎた所に生じ、 $\sigma_{1max} \div 2.295$ となり、従動節の滑り率は両行程の途中で無限大となる。図4はこの場合 s を横軸とし、すなわち従動節上の各点における滑り率 σ_2 を縦軸に示したもので、接触の両端において $\sigma_2=\infty$ となるが、従動節上の滑り率はほぼ一定である。

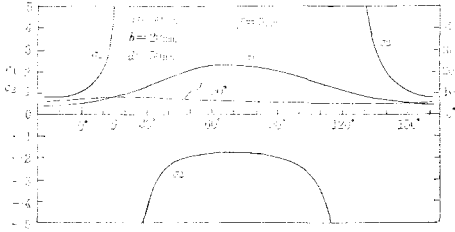


図3 押進め角と滑り率

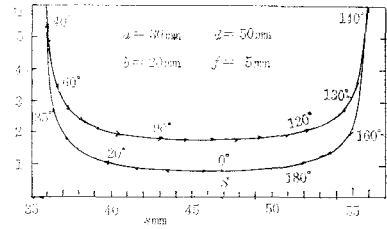


図4 従動節上の滑り率 σ_2

§ 5 従動節の揺動角の指定

この種のカムの角加速度等を論ずる場合揺動角が異なれば当然最大角加速度は異なるので、揺動角 Ψ を指定してカムの各部の寸法を決定したい。

揺動角 Ψ は式(13)より次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Psi &= \sin^{-1} \frac{a-f}{d} - \sin^{-1} \frac{b-f}{d} \\ &= \sin^{-1} \left[\frac{a-f}{d} \sqrt{1 - \left(\frac{b-f}{d} \right)^2} - \frac{b-f}{d} \sqrt{1 - \left(\frac{a-f}{d} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

この式を変形して $b-f$ を求めれば次式が得られる。

$$b-f = (a-f) \cos \Psi - \sqrt{d^2 - (a-f)^2} \sin \Psi \dots\dots\dots (26)$$

図5はこの式より $\Psi=10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ と $d=1$ を指定し、 $a-f=0.7 \sim 0.95$ の場合の $b-f$ の値を示したものである。

§ 6 往き行程の始点と終点が等角加速度の場合

図2により往き行程における正負の最大角加速度において一方を小さくすると他方が大きくなるので、その絶対値をほぼ等しくした方がよい。しかしその最大角加速度の位置を求めることが困難なので、始点と終点の角加速度を等しくすれば、正負の最大角加速度はほぼ等しくなる。

往き行程の始点と終点の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ は式(11), (14)で示されるので、その絶対値と等しくすれば次式が得られる。

$$\frac{a^2 - b^2}{b\sqrt{d^2 - (b-f)^2}} = \frac{a^2 - b^2}{a\sqrt{d^2 - (a-f)^2}}, \quad b = a \sqrt{\frac{d^2 - (a-f)^2}{d^2 - (b-f)^2}} \dots\dots\dots (27), (28)$$

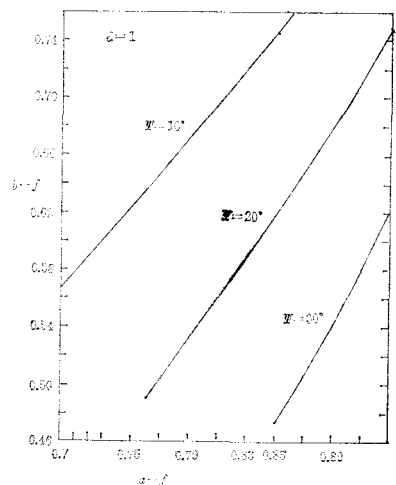


図5 揺動角の指定による $a-f$ と $b-f$ の関係

しかるに $a-b=(a-f)-(b-f)$ であるので、これを上式に代入して a, b を求めれば次式が得られる。

$$a = \frac{\{(a-f)-(b-f)\} \sqrt{d^2-(b-f)^2}}{\sqrt{d^2-(b-f)^2} - \sqrt{d^2-(a-f)^2}} \quad (29)$$

$$b = \frac{\{(a-f)-(b-f)\} \sqrt{d^2-(a-f)^2}}{\sqrt{d^2-(b-f)^2} - \sqrt{d^2-(a-f)^2}} \quad (30)$$

$$f = a - (a-f) = b - (b-f) \quad (31)$$

よって $d, \Psi, a-f$ を指定すれば式(26)から $b-f$ が求められ、それらの値を式(29), (30)に代入すれば a, b が求められ、式(30)より f が求められる。例えば $d=1, \Psi=20^\circ, a-f=0.80, 0.84, 0.88$ の場合を表1と図6に示す。

表1 $d=1, \Psi=20^\circ$ 等角加速度

$a-f$	0.80	0.84	0.88
$b-f$	0.5465420	0.6037663	0.6644789
a	0.8939570	0.7397285	0.5914091
b	0.6404991	0.5034949	0.3758880
f	0.0939571	-0.1002715	-0.2885909
$d^2\varphi_1/d\theta^2$	± 0.7250911	± 0.7317281	± 0.7421506

図6は $\Psi=10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ の各場合において前記の方法で $a-f$ を任意にとり $b-f$ を求め、それから a, b, f と式(11)から $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を求め、それを a を横軸、 $b, f, d^2\varphi_1/d\theta^2$ を縦軸に求めたもので、図から a の増加と共に b と f は増加するが、角加速度の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ はほぼ一定で、僅かに減少する。カムの大きさを小にするためには a を小さくすれば b も小さくなるが f が負の値となる。よって f が負の場合の方がカムが小となって都合がよい。

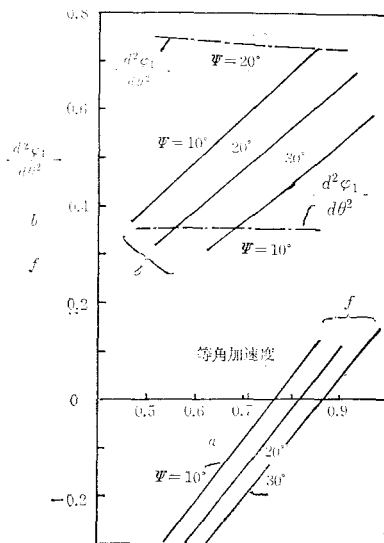


図6 等角加速度の場合の Ψ の指定による a, b, f と $d^2\varphi_1/d\theta^2$

6.1 オフセット量 f の指定

$f=0$ とすれば計算が簡単になり、式(27), (26)から次式が得られる。

$$a^2 + b^2 = d^2, \quad b = a \cos \Psi - b \sin \Psi \quad (32), (33)$$

式(33)を式(32)に代入して a, b を求めれば

$$a = \frac{d(1 + \sin \Psi)}{\sqrt{2(1 + \sin \Psi)}}, \quad b = \frac{d \cos \Psi}{\sqrt{2(1 + \sin \Psi)}} \quad (34)$$

が得られ、この場合の始点の角加速度は

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{(1 + \sin \Psi)^2 - \cos^2 \Psi}{(1 + \sin \Psi) \cos \Psi} \quad (35)$$

となるので、 $\Psi=10^\circ \sim 30^\circ$ の場合を表2と図7に示す。

図7より Ψ の増加と共に始点の角加速度は増加し、 a は増し、 b は減少する。

Ψ と f を任意に指定して a, b を求めるには図6より求められるが厳密な値が求ま

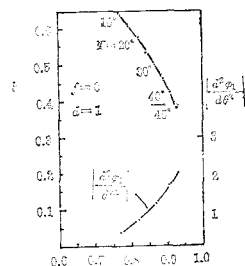


図7 等角加速度で $f=0$ の場合の各 Ψ に対する a, b と $d^2\varphi_1/d\theta^2$

表2 $d=1, f=0$, 等角加速度

Ψ	10°	20°	30°
a	0.7660444	0.8191520	0.8660254
b	0.6427876	0.5735764	0.5
$d^2\varphi_1/d\theta^2$	0.3526540	0.7279405	1.1547005

らないので、式(26)からの b を式(28)に代入して a を求める場合 a の高次の式となるので電算機により Ψ , f を指定して a を任意に与えて式(11), (14)の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ の絶対値を等しくなるように a , b を求めたものを表3と図8に示す。

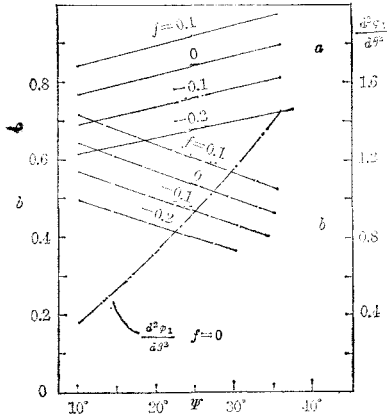


図8 等角加速度で f を指定した場合の各 Ψ に対する a , b と $d^2\varphi_1/d\theta^2$

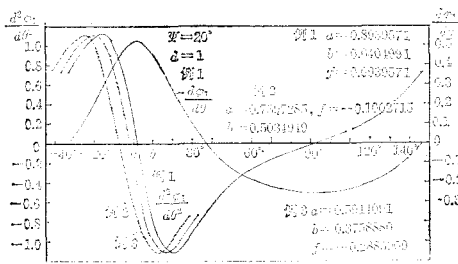


図9 Ψ を指定した場合の $d^2\varphi_1/d\theta^2$

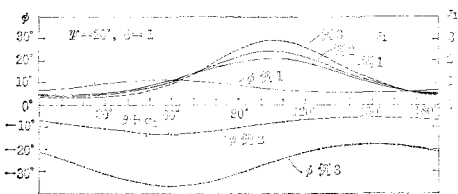


図10 $\Psi = 20^\circ$ の ϕ と σ_1

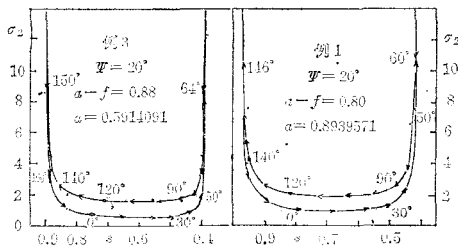


図11 平板従動節上の σ_2

表3 $d=1$ 等角加速度

Ψ	f	a	b	$d^2\varphi_1/d\theta^2$
10°	0.1	0.8435639	0.7161552	0.3523055
20°	0.1	0.8987821	0.6448435	0.7249265
30°	0.1	0.9478307	0.5691095	1.1430435
10°	-0.1	0.6891784	0.5705407	0.3530863
20°	-0.1	0.7399430	0.5036828	0.7317164
30°	-0.1	0.7843972	0.4325430	1.1695685

6.2 計算例

図9は表1に示す $\Psi = 20^\circ$, $d=1$ の場合の $a-f=0.8$ の a , b , f のデータでカムの回転角 θ に対する $d\varphi_1/d\theta$ と $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を式(7)~(9)より求めたものを示し、更に表1の $a-f=0.84$, 0.88 の場合の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を示す。図から最大角加速度は始点のそれより大となるが、 $a-f$ の値により余り変化しないことがわかる。最大角加速度のみについて言えばカムを小さくするためには $a-f$ が大きい程よい。

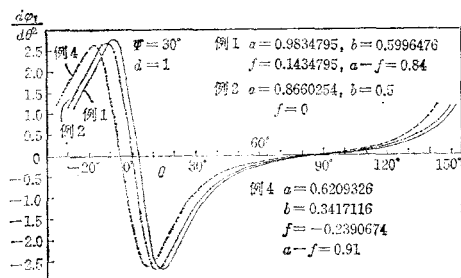
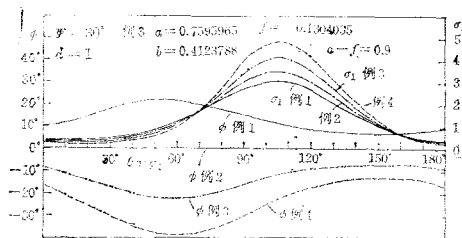
図10は表1の同じデータで押進め角とカムの滑り率 σ_1 を式(16), (20)を求め、 $\theta + \varphi_1$ を横軸にして示したものであるが $a-f$ を大にすると f が大となり、最大押進め角が大きくなるだけでなく、滑り率 σ_1 の最大値も大となるので $f=0 \sim 0.1$ の間がよい。表2より $f=0$ の場合は常に $\phi=0$ であるが、 $a=0.829$, $b=0.574$ となるので、軸間距離 d を短かくしてカムを大にしないようにしなければならぬ。軸間距離が長い場合には f を負にして a , b を小とする必要がある。

図11は表1のデータの従動節上の各点の σ_2 を示す。接触の両端で $\sigma_2=\infty$ となるが、中間ではほぼ一様である。

図12は $\Psi=30^\circ$, $d=1$ の場合の $a-f=0.84$, 0.866 , 0.89 の場合の角加速度線図で図中に a , b , f の値が示されている。最大角加速度に余り変化がない。

図13はこの場合の ϕ と σ_1 で $a-f$ が大きいと a は小となるが最大押進め角が大きくなりすぎる。 $a-f$ を小とすると a が大きくなりカムが大となるので軸間距離を短くせねばならぬ。この種のカムは f を零か正の側に僅かに大きくして軸間距離を小さくする必要がある。

離を短くせねばならぬ。この種のカムは f を零か正の側に僅かに大きくして軸間距離を小さくする必要がある。

図12 $\Psi = 30^\circ$ の角加速度線図図13 $\Psi = 30^\circ$ の ϕ と σ_1

§ 7 最大滑り率の指定

$\Psi = 20^\circ, 30^\circ$ の滑り率を示す図10, 13において $\theta + \varphi_1 = 90^\circ$ すなわち長軸の端D点をすぎた所で σ_1 が最大になることがわかり、カムの σ_{1max} が大きすぎる場合最大押進め角が問題となるので、D点のカムの滑り率 σ_1 を指定する。

D点では $\theta + \varphi_1 = 90^\circ$, $d\varphi_1/d\theta = 0$ だから式(24)より $PT = d \sin(\Psi + \varphi_0) + f$, 式(12)より $\sin(\Psi + \varphi_0) = (a - f)/d$, $PT = a$, D点の曲率半径 $\rho_r = b^2/a$ だから式(20)の第1式より

$$\sigma_1 = a^2/b^2, \quad a^2 = b^2 \sigma_1 \quad (36)$$

が得られる。 $f = 0$ の場合は式(34)より次式が得られる。

$$f = 0, \quad \sigma_1 = \frac{(1 + \sin \Psi)^2}{\cos^2 \Psi} \quad (37)$$

表4 $f = 0$, 等角加速度のD点の σ_1

Ψ	10°	20°	30°	45°	60°
σ_1	1.4203	2.0396	3.0000	5.8284	13.9282

$\Psi = 10^\circ \sim 60^\circ$ についてD点の σ_1 を求めたものを表4に示す。 σ_{1max} は勿論この値よりも大となる。 Ψ が増加すればD点の σ_1 が急増することがわかる。

往き行程の始点と終点の角加速度の等しい場合に、D点の σ_1 と Ψ を指定して、 a, b, f を求めるには式(29), (30)を式(36)に代入すれば

$$\sigma_1 = \frac{d^2 - (b - f)^2}{d^2 - (a - f)^2} \quad (38)$$

となるので、この式の $(b - f)$ に式(26)を代入すれば

$$(a - f)^4 \{ (\sigma_1 - 1)^2 + 4\sigma_1 \sin^2 \Psi \} - 2(a - f)^2 \{ (\sigma_1 - 1)^2 + (3\sigma_1 - 1) \sin^2 \Psi \} + \{ (\sigma_1 - 1) + \sin^2 \Psi \}^2 d^4 = 0 \quad (39)$$

となり $(a - f)^2$ の2次式となるので、吟味の結果次式が得られる。

$$(a - f)^2 = d^2 \frac{(\sigma_1 - 1)^2 + (3\sigma_1 - 1) \sin^2 \Psi - 2 \sin^2 \Psi \cos \Psi \sqrt{\sigma_1}}{(\sigma_1 - 1)^2 + 4\sigma_1 \sin^2 \Psi} \quad (40)$$

この式から Ψ とD点の σ_1 を指定すれば $a - f$ が求められるので、式(26)に代入して $b - f$ を求め、式(29)~(31)より a, b, f が求められる。

7.1 往き行程の始点と終点の押進め角

往き行程の始点と終点C, Dにおいて、それぞれ $\varphi_1 = \varphi_0$, $\varphi_0 + \Psi$, $d\varphi_1/d\theta = 0$ だから、その点の押進め角を ϕ_c, ϕ_d とすれば式(16), (17)と式(10), (12)より

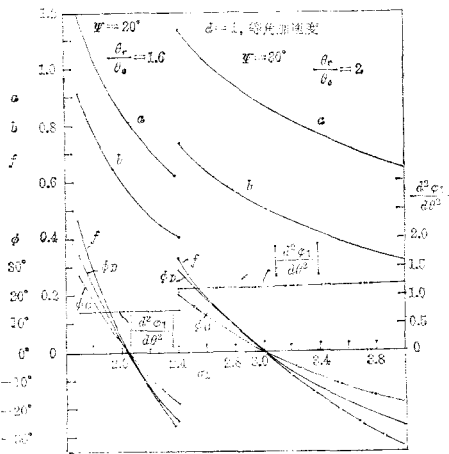


図14 $\psi=20^\circ, 30^\circ$ のD点の各 σ_1 に対する a, b, f, ϕ

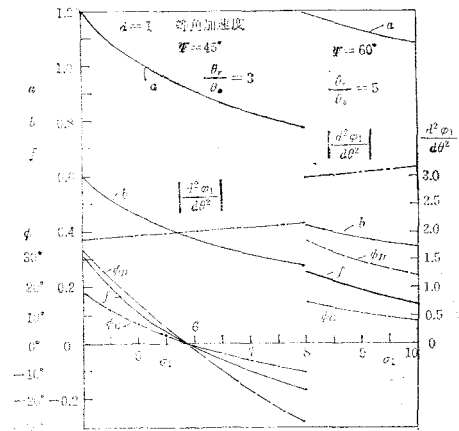


図15 $\psi=45^\circ, 60^\circ$ のD点の各 σ_1 に対する a, b, f, ϕ

$$\phi_c = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{d^2 - (b-f)^2}}, \quad \phi_D = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{d^2 - (a-f)^2}} \quad (41), (42)$$

となり、式(11)、(14)より始点と終点の角加速度が求められる。

7.2 計算例

往き行程の終点Dのカムの滑り率 $\sigma_1=4\sim 10$ を指定し、 $d=1$, $\psi=20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ を指定した場合式(40)より $a-f$ 、式(26)より $b-f$ 、式(29)～(31)より a, b, f を求め、式(41)、(42)より ϕ_c, ϕ_D を、式(11)、(14)より等角加速度の $d^2\phi_1/d\theta^2$ を求めたもの図14、15に示す。

図から σ_1 (D点)が増加する程 a, b, f は減少するが、カムを小さくするために a を減少すると σ_1 が増加する。逆に σ_1 を小さくすると押進め角が増加するので $\phi_{max} < 30^\circ$ の最適の σ_1 が存在する。

§ 8 早戻りカム機構

従動節の揺動角 ψ を大きくとれば式(15)から θ_o と θ_r の比が大となる。これを利用して従動節の早戻り機構ができる。ただしカムを図1において逆転させるすなわち右回りにさせる必要がある。

8.1 計算例 (1)

図16は $\psi=45^\circ$, $\theta_o=45^\circ$, $\theta_r=135^\circ$ の場合で $\sigma_1=4.5, 5.0, 5.8284$ (表4 $f=0$) の場合の始点と終点の等角加速度 $d^2\phi_1/d\theta^2$, ϕ , σ_1 を θ を横軸として計算したもので最大角加速度は余り変らないが、押進め角 ϕ と σ_1 がかなり変化する。 a, b, f のデータを図中に示す。 $\phi_{max} < 30^\circ$ とするためには $\sigma_1 > 5.0$ が望ましいが例えば $\sigma_1=5.8284$ の場合は $f=0$ で $\phi=0$ となるが $\sigma_{1max} \div 7.5$ となるので $\sigma_1=5$ の場合が最適となる。図17はこの場合の従動節の σ_2 を平板上の位置 s に対して求めたもので、接触の両端では無限大となるが途中はほぼ一定な小さな値となる。 $\psi=45^\circ$, $\sigma_1=5$ の場

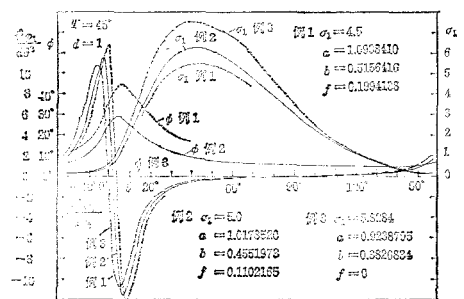


図16 等角加速度で $\psi=45^\circ$ の $\phi, d^2\phi_1/d\theta^2, \sigma_1$

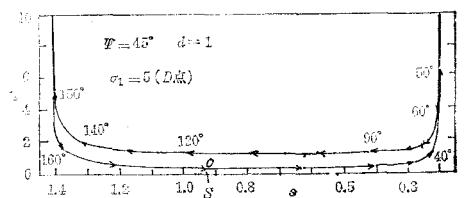


図17 図16の $\sigma_1=5$ の平板上の σ_2

合 $a=1.017852$ となって $d=1$ より大となるので、その接触状態を図18に示す。カムの大きくさせぬためには d を小さくすればよい。図からこの機構は使用できる。

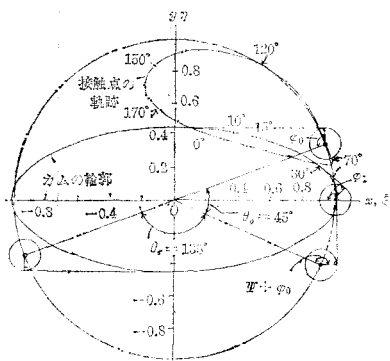


図18 図16の $\sigma_1=5$ のカムの輪郭と接触点の軌跡

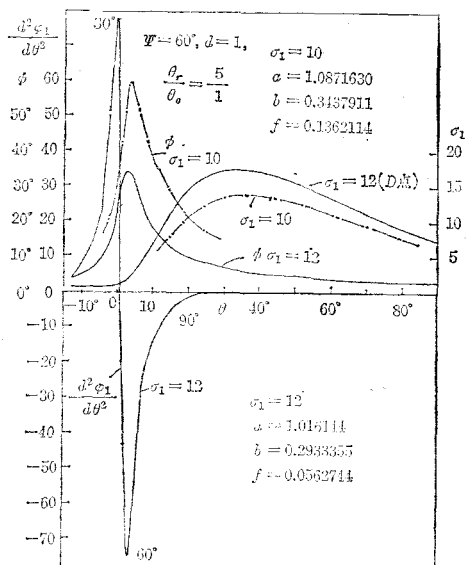


図19 等角加速度で $\psi=60^\circ$ の ϕ , $d^2\phi_1/d\theta^2$, σ_1

8.2 計算例(2)

$\psi=60^\circ$, $\theta_o=30^\circ$, $\theta_r=150^\circ$, $\theta_o:\theta_r=1:5$, $d=1$ の場合は図15から D 点の σ_1 はかなり大であり、押進め角も大である。 σ_1 を犠牲にして、 $\sigma_1=10, 12$ の場合の a, b, f を求めたものを図19に示す。それにより $d^2\phi_1/d\theta^2$, ϕ , σ_1 を θ を横軸にして図示した結果押進め角 ϕ から $\sigma_1=12$ の方がよい。図20は $\psi=60^\circ$, $\sigma_1=12$ (D 点) の場合のカムの接触状態を示す。これも使用できそうである。

§9 カムの輪郭と接触点の軌跡

式(6)と式(5)によりカムの輪郭と接触点の軌跡を求めることができる。図21は図9, 10の $\psi=20^\circ$ の $a-f=0.8$ 例1の場合、図22は図12, 13の $\psi=30^\circ$ の $a-f=0.84$ 例1の場合の

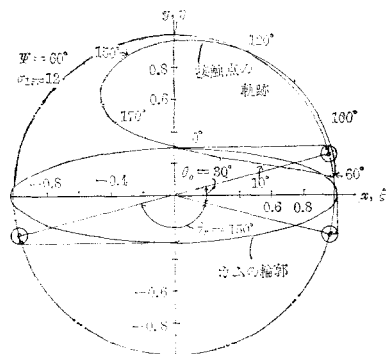


図20 等角加速度で $\psi=60^\circ$, $\sigma_1=12$ のカムの輪郭と接触点の軌跡

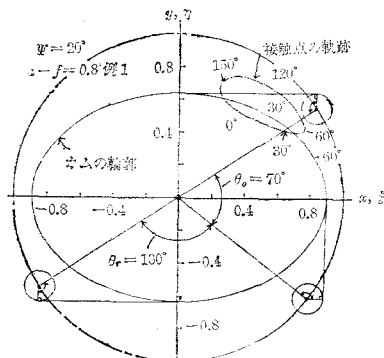


図21 図9, 10の例1のカムの輪郭と接触点の軌跡

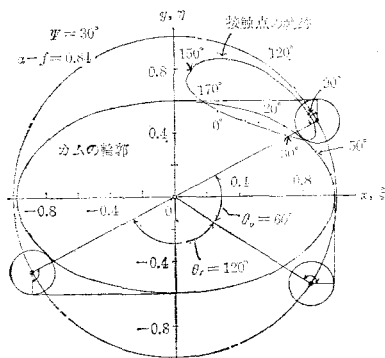


図22 図12, 13の例1のカムの輪郭と接触点の軌跡

カムの輪郭と接触点の軌跡を示す。いずれも良好で使用できる。

§ 10 結 論

平板揺動従動節をもつ輪郭が楕円のカムについて次の結論が得られた。(1) 揺動角を指定すればカムの往きと戻りの回転角は指定され、揺動角が大きいと早戻り機構が得られる。(2) 往き行程の始点と終点の角加速度を等しくとれば正負の最大角加速度もほぼ等しくなる。(3) 従動節オフセット量は+側にとった方が、カムの最大滑り率を低くすることができる。(4) カムの長軸の端のカムの滑り率と揺動角と等角加速度を指定すればカムの各寸法が計算され、最良のカムを設計することができる。

文 献

- 1) 糸島寛典：揺動正楕円カムの研究（第1報）—円弧従動節—，呉高専研究報告，11—1（1975）

（昭和51年4月10日受付）

往復偏心正楕円カムの研究 (第1報)

——円弧従動節——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Eccentric Elliptical Profile Cam with a Reciprocating Follower (Report 1)

——Circular Arc Follower——

Hironori ITOSHIMA

The profile of the cam is an ellipse and the pivot of the cam is offset from the center of the ellipse. The reciprocating follower is a roller or a circular arc mushroom follower and is offset from the pivot of the cam. The curve of the cam is expressed in xy coordinates.

The motion (displacement, velocity and acceleration) of the reciprocating follower is analysed. The pressure angle, the offset and the specific sliding are examined.

If the lift of the follower, the pressure angle at the starting point are specified and if the sum of the semi-major axis of the ellipse and the radius of the follower are specified, then the eccentricity of the cam and the offset of the follower are decided.

If the ratio of the accelerations of the follower at the starting point and the end point is specified, then the axes of the ellipse and the radius of the follower can be obtained. Consequently the best cam can be designed.

§ 1 緒 言

前報¹⁾において往復従動節の円弧(ローラ)の中心がカムの楕円上を動くすなわちピッチ曲線が楕円の場合のカムの解析と設計を行った。

本報告においてはピッチ曲線が楕円でなくて輪郭が楕円のカムを長軸上に偏心して回転させるかたより円弧従動節の運動および最大加速度, 最大押進め角, 最大滑り率等を調べ次にそれらを指定して最良のカムの設計を行う。

§ 2 記 号

a : 楕円カムの長軸の半径

b : 楕円カムの短軸の半径

c : カムの偏心量

δ : 楕円の長軸と接触点のなす角

θ : カムの回転角

θ_0 : 行き行程のカムの回転角

θ_r : 戻り行程のカムの回転角

$dh/d\theta$: 従動節の速度 $= \omega dh/d\theta$

e : 従動節のかたより量

r : 従動節の円弧半径

H : 従動節のリフト

R_T : 中心から接触点迄の距離

ϕ : 押進め角

k : 従動節の最下点の高さ

μ : 摩擦係数

ω : カムの角速度

$d^2h/d\theta^2$: 従動節の加速度 $= \omega^2 d^2h/d\theta^2$
 ρ_T : 楕円上の点の曲率半径

 σ_1 : カムの滑り率

 σ_2 : 従動節の滑り率

§ 3 偏心楕円カムの機構

往復偏心正楕円カム機構は図1に示すように楕円の輪郭をもつカムの長軸上に中心0から c だけ偏心した A 点を中心に反時計回りに回転するものとし、長径と短径の半分をそれぞれ a , b とし、 A を原点とし長軸を x 軸、それに直角に y 軸をカム上にとる。次に A を原点とし、従動節の行程線に平行に η 軸を取り、それに直角に ξ 軸をとる。 η 軸と行程線は e だけかたよっている。従動節の円弧(ローラ)の中心を M とし、 M を原点として行程線を Y 軸、それに直角に X 軸をとる。 x 軸と ξ 軸の交点を θ とすれば、 θ はカムの回転角となる。長軸と短軸がカムとの交点を B , D と C , E とす。 r_M は従動節の ξ 軸よりの高さとなる。

いま従動節の円弧(ローラ)と楕円カムの接触点を T とし、 $\angle BAT = \delta$, $AT = R_T$ とし、 T 点の x y 座標を x_T , y_T とすれば楕円の性質から次式が成立する。

$$\left(\frac{x_T - c}{a}\right)^2 + \left(\frac{y_T}{b}\right)^2 = 1, \quad b^2(x_T - c)^2 + a^2 y_T^2 = a^2 b^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$x_T = -R_T \cos \delta, \quad y_T = R_T \sin \delta \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(2)を式(1)に代入して R_T を求めれば次式が得られる。

$$R_T = b \frac{aE - bc \cos \delta}{A}, \quad A = a^2 \sin^2 \delta + b^2 \cos^2 \delta, \quad E = \sqrt{A - c^2 \sin^2 \delta} \quad \dots\dots\dots (3), (4), (5)$$

前報¹⁾によりカムの偏心量 c が小さすぎると図1においてカムの回転につれて η_M が逆に減少するすなわち δ が0から増加するに対して R_T が逆に減少することがおきるので、往き行程の始点 B の曲率半径を $\rho_B = b^2/a$ とすれば次式が成立する。

$$c \geq a - \rho_B = (a^2 - b^2)/a \quad \dots\dots\dots (6)$$

次に接触点 T における接線と x 軸の交角を β とすれば $\tan \beta = dy_T/dx_T$ であるので式(1)を x_T で微分すれば次式より β が得られる。

$$\tan \beta = \frac{dy_T}{dx_T} = -\frac{b^2(x_T - c)}{a^2 y_T} \quad \dots\dots\dots (7)$$

次に円弧の中心 M の ξ η 座標 ξ_M , η_M を求めれば図1, 2から

$$\left. \begin{aligned} \xi_M &= e = x_T \cos \theta - y_T \sin \theta - r \sin(\theta + \beta) \\ \eta_M &= x_T \sin \theta + y_T \cos \theta + r \cos(\theta + \beta) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

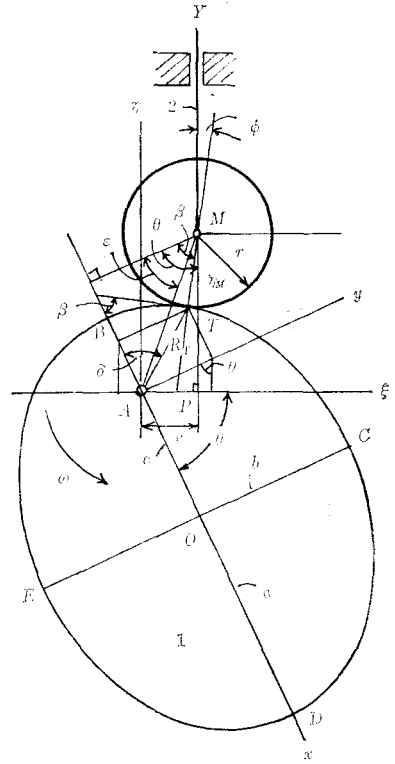


図1 偏心正楕円カム ($\delta < 90^\circ$)

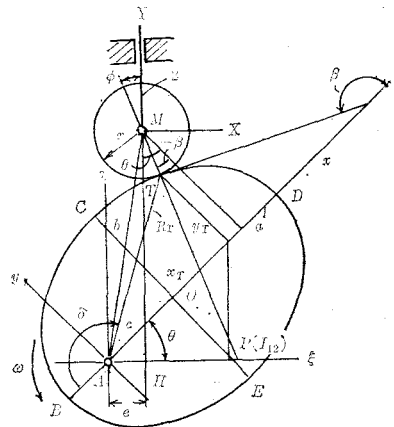


図2 偏心正楕円カム ($\delta > 90^\circ$)

得られる。この式(8)の第1式から未定係数法により θ を求めれば次式が得られる。

$$\theta = -\varepsilon - \sin^{-1} \frac{e}{B}, \quad \varepsilon = \tan^{-1} \frac{-x_T + r \sin \beta}{y_T + r \cos \beta}, \quad B = \sqrt{(-x_T + r \sin \beta)^2 + (y_T + r \cos \beta)^2} \quad (9), (10), (11)$$

これから δ が与えられれば式(2)より x_T, y_T , 式(7)より β , 式(10), (11)より ε, B が求まるので式(9)より θ が求まる。

3.1 カムの回転角

往き行程の始点 B でのカムの回転角を θ_B とすれば, B 点では $\delta=0$, $R_T=a-c$, $x_T=-(a-c)$, $y_T=0$, $\beta=90^\circ$, $\varepsilon=90^\circ$, $B=-(a-c)-r=-a+c-r$ から

$$\theta_B = -90^\circ - \sin^{-1} \frac{e}{a-c+r} \quad (12)$$

往き行程の終点 D のカムの回転角を θ_D とすれば $\delta=180^\circ$, $R_T=a+c$, $x_T=a+c$, $y_T=0$, $\beta=-90^\circ$, $\varepsilon=-90^\circ$, $B=a+c+r$ から

$$\theta_D = 90^\circ - \sin^{-1} \frac{e}{a+c+r} \quad (13)$$

往き行程と戻り行程のカムの回転角を θ_o, θ_r とすれば次式となる。

$$\theta_o = \theta_D - \theta_B = 180^\circ - \sin^{-1} \frac{e}{a+c+r} + \sin^{-1} \frac{e}{a-c+r} \quad (14)$$

$$\theta_r = 360^\circ - \theta_o = 180^\circ + \sin^{-1} \frac{e}{a+c+r} - \sin^{-1} \frac{e}{a-c+r} \quad (15)$$

3.2 従動節の変位

カム上の B 点が円弧と接するとき従動節は最低の位置にくるので, ξ 軸からの高さを k とすれば

$$k = \sqrt{(a-c+r)^2 - e^2} \quad (16)$$

となるので, 従動節の変位 h は式(8)より次式で与えられる。

$$h = \eta_M - k = x_T \sin \theta + y_T \cos \theta + r \cos(\theta + \beta) - \sqrt{(a-c+r)^2 - e^2} \quad (17)$$

3.3 従動節の速度

従動節の速度 $v = dh/dt = \omega \cdot dh/d\theta$ から式(17)を θ で微分すればよいが, それには $dR_T/d\theta$, $dx_T/d\theta$, $dy_T/d\theta$, $d\beta/d\theta$ を求める必要がある。 $dR_T/d\theta$ を求めるには式(3)~(5)を θ で微分して

$$\frac{dR_T}{d\theta} = C \frac{d\delta}{d\theta}, \quad C = \sin \delta \frac{E \{ b^2 c + 2(a^2 - b^2)x_T \} + ab(a^2 - c^2 - b^2) \cos \delta}{AE} \quad (18)$$

$dx_T/d\theta$, $dy_T/d\theta$ は式(2)を θ で微分して式(18)を代入すれば次式が得られる。

$$\frac{dx_T}{d\theta} = M \frac{d\delta}{d\theta}, \quad M = -C \cos \delta + y_T \quad (19)$$

$$\frac{dy_T}{d\theta} = N \frac{d\delta}{d\theta}, \quad N = C \sin \delta - x_T \quad (20)$$

$d\beta/d\theta$ は式(7)を θ で微分し, 式(19), (20)より次式のようになる。

$$\frac{d\beta}{d\theta} = D \frac{d\delta}{d\theta}, \quad D = -a^2 b^2 \frac{y_T M + (c - x_T) N}{a^4 y_T^2 + b^4 (c - x_T)^2} \quad (21), (22)$$

式(18)~(21)はいずれも $d\delta/d\theta$ を含むので、これを求めるには式(8)を θ で微分し、式(19)、(20)、(2)を代入して計算すれば次式が得られる。

$$\frac{d\delta}{d\theta} = \frac{R_T \sin(\delta - \theta) + r \cos(\theta + \beta)}{M \cos \theta - N \sin \theta - r D \cos(\theta + \beta)} \quad (23)$$

よって $dh/d\theta$ は式(17)を θ で微分し、式(8)を用いれば次式のようになる。

$$\frac{dh}{d\theta} = \{M \sin \theta + N \cos \theta - r D \sin(\theta + \beta)\} \frac{d\delta}{d\theta} + e \quad (24)$$

3.4 従動節の加速度

加速度 $a = d^2h/dt^2 = \omega^2 d^2h/d\theta^2$ だから、加速度は式(24)を θ で微分すれば求まるが、それには $dA/d\theta$, $dC/d\theta$, $dM/d\theta$, $dN/d\theta$, $dD/d\theta$, $d^2\delta/d\theta^2$ を求めておく必要がある。

$$\text{式(4)より } \frac{dA}{d\theta} = 2(a^2 - b^2) \sin \delta \cos \delta \frac{d\delta}{d\theta} \quad (25)$$

$$\text{式(18)より } \frac{dC}{d\theta} = K \frac{d\delta}{d\theta} \quad (26)$$

$$K = \frac{1}{A^2 E^2} \left\{ \left[\frac{(a^2 - b^2 - c^2) \sin^2 \delta \cos \delta}{E} \{b^2 c + 2(a^2 - b^2) x_T\} + E \{b^2 c \cos \delta + 2(a^2 - b^2)(M \sin \delta + x_T \cos \delta)\} + ab(a^2 - b^2 - c^2)(\cos^2 \delta - \sin^2 \delta) \right] AE - \frac{\sin^2 \delta \cos \delta}{E} \times \right. \\ \left. \{2(a^2 - b^2)E^2 + A(a^2 - b^2 - c^2)\} [E \{b^2 c + 2(a^2 - b^2) x_T\} + ab(a^2 - b^2 - c^2) \cos \delta] \right\} \quad (27)$$

式(19)、(20)より次式が得られる。

$$\frac{dM}{d\theta} = -\frac{dC}{d\theta} \cos \delta + (2C \sin \delta - x_T) \frac{d\delta}{d\theta} \quad (28)$$

$$\frac{dN}{d\theta} = \frac{dC}{d\theta} \sin \delta + (2C \cos \delta - y_T) \frac{d\delta}{d\theta} \quad (29)$$

次に $dD/d\theta$ は式(22)を θ で微分して計算すれば次式となる。

$$\frac{dD}{d\theta} = \frac{-a^2 b^2}{\{a^4 y_T^2 + b^4 (c - x_T)^2\}^2} \left\{ \left\{ \frac{dM}{d\theta} y_T + \frac{dN}{d\theta} (c - x_T) \right\} \times \right. \\ \left. \{a^4 y_T^2 + b^4 (c - x_T)^2\} - 2 \{a^4 y_T N - b^4 (c - x_T) M\} \frac{d\delta}{d\theta} \{y_T M + (c - x_T) N\} \right\} \quad (30)$$

$d^2\delta/d\theta^2$ は式(23)を θ で微分して次式を得る。

$$\frac{d^2\delta}{d\theta^2} = \frac{\frac{dR_T}{d\theta} \sin(\delta - \theta) + R_T \cos(\delta - \theta) \left(\frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right) - r \sin(\theta + \beta) \left(1 + \frac{d\beta}{d\theta} \right)}{M \cos \theta - N \sin \theta - r D \cos(\theta + \beta)} \\ - \frac{\{R_T \sin(\delta - \theta) + r \cos(\theta + \beta)\} \left\{ \frac{dM}{d\theta} \cos \theta - M \sin \theta - \frac{dN}{d\theta} \sin \theta - N \cos \theta - r \left\{ \frac{dD}{d\theta} \cos(\theta + \beta) - D \sin(\theta + \beta) \left(1 + \frac{d\beta}{d\theta} \right) \right\} \right\}}{\{M \cos \theta - N \sin \theta - r D \cos(\theta + \beta)\}^2} \quad (31)$$

従動節の加速度は式(24)を θ で微分して次式のように得られる。

$$\begin{aligned} \frac{d^2 h}{d\theta^2} = & \left[\left(\frac{dM}{d\theta} - N \right) \sin\theta + \left(\frac{dN}{d\theta} + M \right) \cos\theta - r \left(\frac{dD}{d\theta} \sin(\theta + \beta) \right) \right. \\ & \left. + D \cos(\theta + \beta) \left(1 + \frac{d\beta}{d\theta} \right) \right] \frac{d\delta}{d\theta} + \{ M \sin\theta + N \cos\theta - r D \sin(\theta + \beta) \} \frac{d^2 \delta}{d\theta^2} \dots\dots\dots (32) \end{aligned}$$

3. 5 従動節のリフト

従動節のリフト H はカムの D 点が従動節の円弧と接触する場合で次式のように求められる。

$$\eta_{Max} = \sqrt{(a+c+r)^2 - e^2} \dots\dots\dots (33)$$

$$H = \eta_{Max} - k = \sqrt{(a+c+r)^2 - e^2} - \sqrt{(a-c+r)^2 - e^2} \dots\dots\dots (34)$$

$$e=0 \text{ の場合, } H=2c, \quad c = \frac{H}{2} \dots\dots\dots (35)$$

$e \neq 0$ の場合, 式(34)を変形すれば次式となり, H を指定して c を求めることができる。

$$c = \frac{H \sqrt{4(a+r)^2 - H^2 - 4e^2}}{2 \sqrt{4(a+r)^2 - H^2}} \dots\dots\dots (36)$$

3. 6 往き行程の始点と終点の加速度

往き行程の始点 B において $\delta=0$ なので式(12), (17)から $h=0$, 式(24)から $dh/d\theta=0$ となり, 式(25)~(32)の複雑な計算の後に

$$\delta=0, \quad \frac{d^2 h}{d\theta^2} = \frac{(-a^2 + b^2 + ac)(a-c+r)^2}{(b^2 + ar) \sqrt{(a-c+r)^2 - e^2}} \dots\dots\dots (37)$$

が得られ, 終点においては $\delta=180^\circ$ から $dh/d\theta=0$ となり, 前と同様に次式ようになる。

$$\delta=180^\circ, \quad \frac{d^2 h}{d\theta^2} = - \frac{(a^2 - b^2 + ac)(a+c+r)^2}{(b^2 + ar) \sqrt{(a+c+r)^2 - e^2}} \dots\dots\dots (38)$$

3. 7 計 算 例

例えば楕円カムの $a=30\text{mm}$, $b=20\text{mm}$, $c=20\text{mm}$, $e=5\text{mm}$, $r=30\text{mm}$ のデータを指定したとき, 式(6)より $c \geq 16.667\text{mm}$ となるので偏心量はよい。式(9), (17), (24), (32)により θ , h , $dh/d\theta$, $d^2 h/d\theta^2$ を求めて, θ を横軸とし他の値を縦軸に図3は示されている。次に H , θ_0 , θ_r , θ_B , θ_D は式(34), (14), (15), (12), (13)より求められ図中に示されている。

図3から戻り行程のカムの回転角が往きのそれより小さく $H \div 2c$ でスタートは滑らかに上昇するが最高点を少し過ぎた所で加速度がかなり大となる。

§ 4 押進め角と滑り率

4. 1 押 進 め 角

図1, 2において MT と Y 軸のなす角を ϕ とすれば ϕ は押進め角である。図2と式(7), (9)から

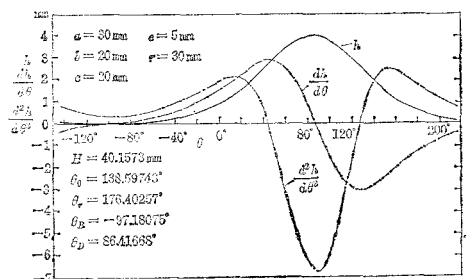


図3 従動節の運動

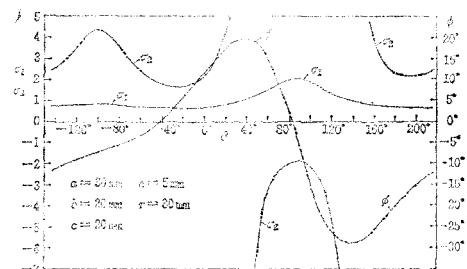


図4 押進め角と滑り率

$$\phi = \theta + \beta = -\varepsilon - \sin^{-1} \frac{e}{B} - \tan^{-1} \frac{b^2(c-x_T)}{a^2 y_T} \quad \dots\dots\dots (39)$$

あるいは図2において MT と ε 軸の交点を P とすれば $AP = dh/d\theta$ から

$$\phi = \tan^{-1} \frac{dh/d\theta - e}{\eta_M} \quad \dots\dots\dots (40)$$

が得られる。 $dh/d\theta$, η_M はそれぞれ式(24), (8)から求められる。

4.2 始点と終点の押進め角

往き行程の始点と終点は B , D だから, その押進め角を ϕ_B , ϕ_D とすれば, 始点においては $\delta = 0^\circ$, $dh/d\theta = 0$, $\eta_M = k = \sqrt{(a-c+r)^2 - e^2}$ から

$$\delta = 0^\circ, \quad \phi_B = \tan^{-1} \frac{-e}{\sqrt{(a-c+r)^2 - e^2}} \quad \dots\dots\dots (41)$$

となり, 終点では $\delta = 180^\circ$, $dh/d\theta = 0$, $\eta_{Mmax} = \sqrt{(a+c+r)^2 - e^2}$ から次式のようになる。

$$\delta = 180^\circ, \quad \phi_D = \tan^{-1} \frac{-e}{\sqrt{(a+c+r)^2 - e^2}} \quad \dots\dots\dots (42)$$

いま始点の押進め角 ϕ_B の tangent を $-\mu$ とすれば

$$\tan(-\phi_B) = \frac{e}{\sqrt{(a-c+r)^2 - e^2}} = \mu \quad \dots\dots\dots (43)$$

となり, これを変形すれば

$$e = \frac{\mu(a-c+r)}{\sqrt{1+\mu^2}} \quad \dots\dots\dots (44)$$

となるので, μ , a , c , r を指定すれば e が求まる。

4.3 滑 り 率

従動節がローラでなくきのこ型の場合, カムと従動節の滑り率をそれぞれ σ_1 , σ_2 とすれば前報¹⁾ より次式が得られる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \frac{\overline{TP}}{r + \overline{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots\dots (45), (46)$$

ここで \overline{TP} は図1, 2から次式のように与えられる。

$$\overline{TP} = \sqrt{\eta_M^2 + \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2} - r \quad \dots\dots\dots (47)$$

θ をパラメーターとする曲線の曲率半径は

$$\rho_T = \frac{\left\{ \left(\frac{dx_T}{d\theta} \right)^2 + \left(\frac{dy_T}{d\theta} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2 x_T}{d\theta^2} \frac{dy_T}{d\theta} - \frac{dy_T}{d\theta} \frac{d^2 x_T}{d\theta^2}} \quad \dots\dots\dots (48)$$

だから, これに式(19), (20)およびその微分を代入すれば

$$\rho_T = - \frac{(M^2 + N^2)^{\frac{3}{2}}}{N \frac{dM}{d\theta} - M \frac{dN}{d\theta}} \times \frac{d\delta}{d\theta} = \frac{(C^2 + R_T^2)^{\frac{3}{2}}}{R_T^2 - KR_T + 2C^2} \quad \dots\dots\dots (49)$$

$$\text{ただし} \quad K = (dC/d\theta)/(d\delta/d\theta) \quad \dots\dots\dots (27), (50)$$

が得られる。よって式(47), (49)を式(45), (46)に代入すれば σ_1 , σ_2 が求められる。

4.4 計算例

図3のデータで式より ϕ , σ_1 , σ_2 を求めたものを図4に示す。 ϕ は行程の途中で最大となる。往き行程の始点の ϕ_B を一側に大きくすれば往き行程の ϕ_{max} は減少するが、それには式(41)から e を大きくとればよい。その結果戻り行程側の ϕ_{max} が大になる恐れがある。図の場合往き行程の $\phi_{max} \div 20^\circ$, 戻り行程の $\phi_{max} \div -29^\circ$ なので十分使用できる。

カムの滑り率 σ_1 は往き行程の終点を過ぎた所つまり戻り行程の始めの所で最大となる。図の場合 $\sigma_{1max} \div 2$ なのでこれが5以下ならよい。従動節の σ_2 は両行程の途中で無限大となる。

4.5 戻り行程の始点の滑り率 σ_1 の指定

戻り行程の始点 D において $\rho_T = b^2/a$, $TP = a+c$ だから σ_1 は式(45)から

$$\sigma_1 = \frac{b^2/a+r}{b^2/a} \frac{a+c}{r+a+c} = \frac{b^2+ar}{b^2} \frac{a+c}{a+c+r} \quad (51)$$

となるので、これから r を求めれば

$$r = \frac{b^2(a+c)(\sigma_1-1)}{a(a+c)-b^2\sigma_1} \quad (52)$$

となり、 D 点の $\sigma_1 (\delta=180^\circ)$ を指定し、 a, b, c が指定されれば r を求めることができる。

§5 リフトの指定

従動節の加速度を論ずるにはそのリフトを一定とした方がよいので、リフト H を指定して楕円の偏心率 e を求める。式(34), (36)から

$$2c\sqrt{4(a+r)^2-H^2} = H\sqrt{4(a+r)^2-H^2-4e^2}$$

が得られるので、右辺の e に式(44)を代入して整理すれば c に関する2次式となる。

$$4\{4(a+r)^2(1+\mu^2)-H^2\}c^2-8\mu^2H^2(a+r)c-H^2\{4(a+r)^2-H^2(1+\mu^2)\}=0 \quad (53)$$

この式から c を求め吟味すれば次式となる。

$$c = H \times \frac{2\mu^2H(a+r) + \sqrt{1+\mu^2}\{4(a+r)^2-H^2\}}{2\{4(a+r)^2(1+\mu^2)-H^2\}} \quad (54)$$

この式は $H, \mu, a+r$ を指定すれば c が求められ、さらに式(44)で e が決定される。

例えば $H=1, \mu=0.1, a+r=1 \sim 10$ 指定をして、 c, e を求めさらに式(42)より ϕ_D を求めたものを $a+r$ について図5に示す。 c は殆んど一定だが e は直線的に増加し、 ϕ_D は双曲線的になる。

次に往き行程の終点 D のカムの滑り率 σ_1 を指定した場合式(51)より

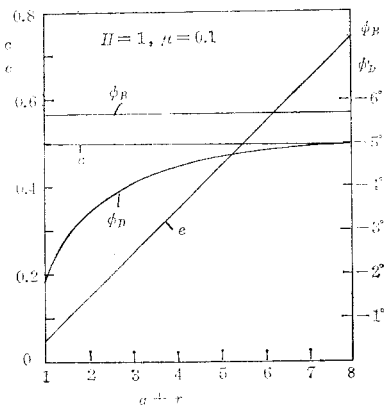


図5 $H, \mu, a+r$ を指定して c, e, ϕ_D の値

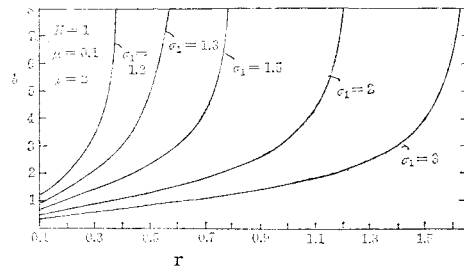


図6 $H, \mu, a, \sigma_1(D)$ を r を指定した b の値

$$b^2 = \frac{ar(a+c)}{(a+c)(\sigma_1-1)-r\sigma_1} \quad (55)$$

となるので、この式から r と σ_1 を指定することにより b が得られる。例えば $H=1$, $\mu=0.1$, D 点の $\sigma_1=1.2 \sim 3$, $a=2$ を指定し $r=0.1 \sim 1.7$ と変化させた場合の b の値を図6に示す。 r に対して b が急変することがわかる。

§ 6 行き行程の始点と終点の加速度を等しくする場合

行き行程の始点と終点の加速度は一方を小さくすれば他方が大きな値となるので、両方の加速度の絶対値を等しくして、できるだけ最大加速度を小さくする。式(37), (38)から

$$\frac{(-a^2+b^2+ac)(a-c+r)^2}{(b^2+ar)\sqrt{(a-c+r)^2-e^2}} = \frac{(a^2-b^2+ac)(a+c+r)^2}{(b^2+ar)\sqrt{(a+c+r)^2-e^2}} \quad (56)$$

と置いて、この式から b を求めれば

$$b^2 = a(a+P) \quad (57)$$

$$P = c \times \frac{(a+c+r)^2\sqrt{(a-c+r)^2-e^2} - (a-c+r)\sqrt{(a+c+r)^2-e^2}}{(a+c+r)^2\sqrt{(a-c+r)^2-e^2} + (a-c+r)\sqrt{(a+c+r)^2-e^2}} \quad (58)$$

が得られる。故に前節より H , μ , $a+r$ が指定されたとき, c , e が求まるので, $a+c+r$, $a-c+r$ が求められるから, 式(58)より P が求められる。

式(52)より D 点の σ_1 が指定されれば r が求まるから,

$$(a+r)-a = \frac{b^2(a+c)(\sigma_1-1)}{a(a+c)-b^2\sigma}$$

が得られ、これに式(57)の b を代入して a について整理すれば次式が得られる。

$$a = \frac{Pc(\sigma_1-1) - (a+r)(c-P\sigma_1)}{(a+r)(1-\sigma_1) - c\sigma_1 + P} \quad (59)$$

この式から σ_1 が指定されれば a が求められる。 a が求まれば式(57)より b が求められる。よって H , μ , $a+r$, $\sigma_1(D$ 点)を指定すれば等加速度の場合 c , e , a , r , b が求められるのでカムの諸元が決定される。表1, 2と図7, 8はこのようにして $H=1$, $\mu=0.1$, $\sigma_1=1.2, 1.5$, $a+r=2 \sim 7$ の場合の a , b , c , e , r と $d^2h/d\theta^2$ を求めたものである。図7, 8から $a+r$ の増加と共に a , b , e , r は増加するが c は殆んど変らぬ。等加速度の場合常に $b > a$ であり, また $a-c > 0$ でな

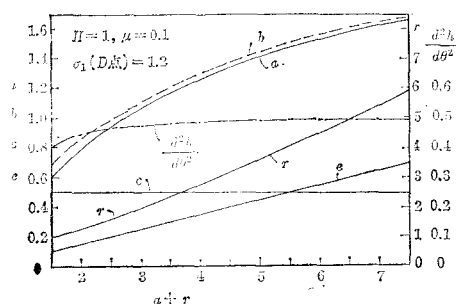


図7 $H=1$, $\mu=0.1$, $\sigma_1(D$ 点) $=1.2$, 各 $a+r$ に対する $a, b, c, e, r, d^2h/d\theta^2$

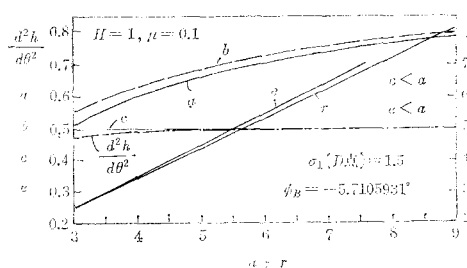


図8 $H=1$, $\mu=0.1$, $\sigma_1=1.5$ 各 $a+r$ に対する $a, b, c, e, r, d^2h/d\theta^2$

表1 $H=1$, $\mu=0.1$, $\sigma_1=1.2(D$ 点) 等加速度

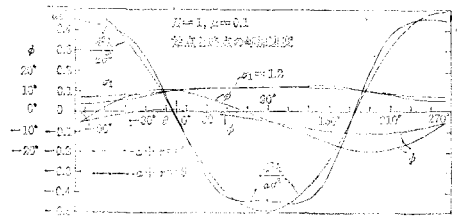
$a+r$	a	b	c	e	r	$ d^2h/d\theta^2 $
2	0.7868728	0.8463785	0.4985097	0.1494039	1.2131272	0.4420116
3	1.0672429	1.1075578	0.4982263	0.2489358	1.9327571	0.4734414
4	1.2654092	1.2958121	0.4980690	0.3484552	2.7345908	0.4849084
5	1.4142651	1.4386494	0.4979688	0.4979688	3.5857349	0.4902982

表2 $H=1, \mu=0.1, \sigma_1=1.5$ (D点) 等加速度

$a+r$	a	b	c	e	r	$ d^2h/d\theta^2 $
4	0.5986571	0.6286727	0.4980690	0.3484552	3.4013429	0.4849084
5	0.6594228	0.6835750	0.4979688	0.4479688	4.3405772	0.4902982
6	0.7038776	0.7240719	0.4978995	0.5474795	5.2961224	0.4932472
7	0.7378646	0.7552112	0.4978487	0.6469882	6.2621354	0.4950324

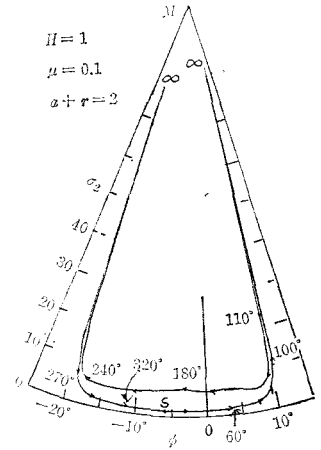
ければならぬ。始点、終点の加速度は $a+r>3$ の場合殆んど変化しない。

図9は表1の $a+r=2, 5$ の場合の加速度 $d^2h/d\theta^2$ と押進め角 ϕ とカムの滑り率 σ_1 を求

図9 $H=1, \mu=0.1, a+r=2.5$ 等加速度の $\phi, \sigma_1, d^2h/d\theta^2$

めたもので、 $a+r=5$ の場合は $a+r=2$ の場合よりカムの半径 a が約2倍の大きさであるが、 $d^2h/d\theta^2$ について言えば $a+r=2$ の方がよく、 ϕ について言えば $a+r=5$ の方がよいが、 $a+r=2$ の場合+側約10°、-側約20°で30°以下なのでよい。滑り率 σ_1 は殆んど変らぬので総合的に $a+r=2$ の方がよい。

図10は図9の場合の従動節の滑り率 σ_2 を従動節の円弧上に示したもので、接触の両端で ∞ となるが途中はいづれも最大5程度で均一なことがわかる。

図10 図9の $a+r=2$ の場合の円弧上の σ_2

§7 往き行程の始点の加速度が零の場合

往き行程の始点 $\delta=0$ の場合式(37)より $d^2h/d\theta^2=0$ から

$$b = \sqrt{a(a-c)} \quad (60)$$

が得られ、終点の加速度の $d^2h/d\theta^2$ は式(38)より

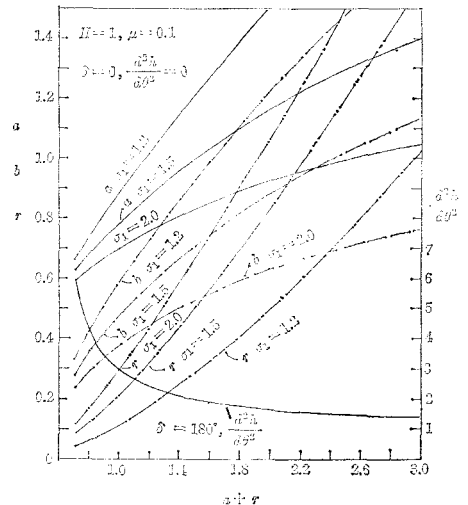
$$\delta=180^\circ, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = -\frac{2c(a+c+r)^2}{(a-c+r)\sqrt{(a+c+r)^2-e^2}} \quad (61)$$

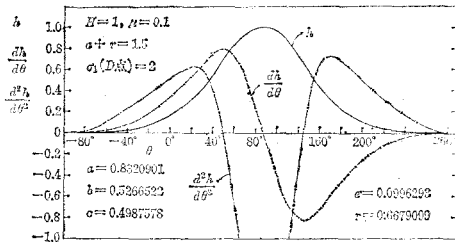
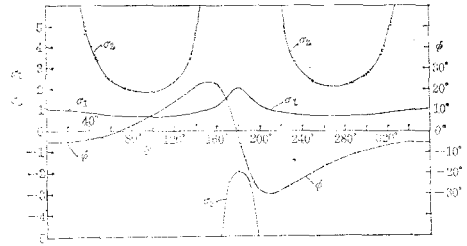
となる。終点Dの σ_1 を与えて r を求めるには式(52)より

$$r = \frac{b^2(a+c)(\sigma_1-1)}{a(a+c)-b^2\sigma_1} = (a+r)-a \quad (52)$$

だから、これに式(60)を代入して整理すれば $a+r$ について次式のように a が求められる。

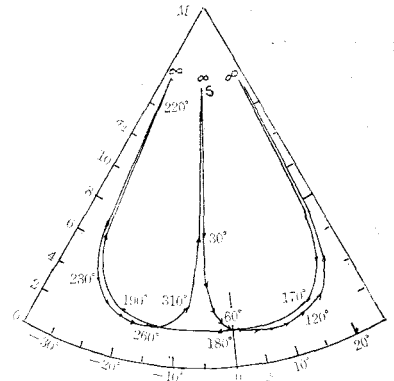
$$a = \frac{c\{c(\sigma_1-1) + (\sigma_1+1)(a+r)\}}{(\sigma_1-1)(a+r) + c(\sigma_1+1)} \quad (62)$$

図11 $H=1, \mu=0.1$, 各 σ_1 の各 $a+r$ に対する a, b, r の値

図12 始点の $d^2h/d\theta^2=0$ の従動節の運動図13 図12の場合の ϕ, σ_1, σ_2

よって $H, \mu, \sigma_1(D点), a+r$ が指定されれば式(54)より c が、式(43)より e が、式(62)より a が求められ、式(60)より b が求められるので式(61)より $D点$ の $d^2h/d\theta^2$ が求められる。

図11は $H=1, \mu=0.1, \sigma_1=1.2, 1.5, 2.0$ の場合の $a+r=0.7\sim 3.0$ の a, b, r と $D点$ の $d^2h/d\theta^2$ を求めたもので、 $d^2h/d\theta^2$ は $a+r$ が 1.5 以上の場合はほぼ 2 となる。 σ_1 が小さい程 a, b の値が大となるので、 $a+r=1.5, \sigma_1=2$ とすれば $a=0.8320901, b=0.5266522, c=0.4987578, e=0.0996293, r=0.6679099, d^2h/d\theta^2=-1.9937965$ となる。図12, 13はこのデータで $h, dh/d\theta, d^2h/d\theta^2$ と ϕ, σ_1, σ_2 を求めたもので、図14は従動節上に σ_2 を示したものである。中央においても無限大を生ずる。

図14 図12の従動節上の σ_2

§ 8 往き行程の終点の加速度が零の場合

終点 $\delta=180^\circ$ の場合式(38)より $d^2h/d\theta^2=0$ から

$$b = \sqrt{a(a+c)} \quad (63)$$

が得られ、この場合の始点の $d^2h/d\theta^2$ は式(37)より

$$\delta=0^\circ, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{2c(a-c+r)^2}{(a+c+r)\sqrt{(a-c+r)^2-e^2}} \quad (64)$$

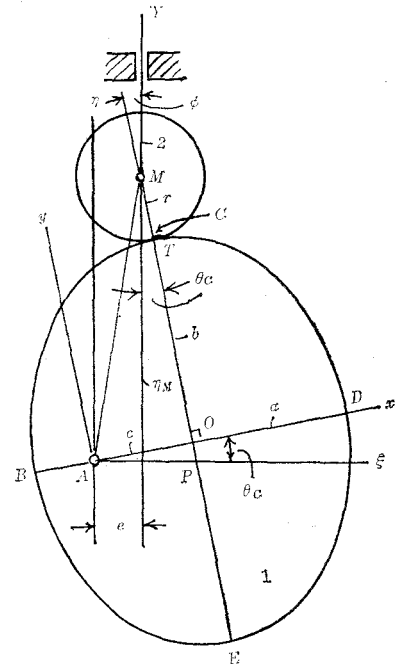
となる。式(52)の b に式(63)を代入すれば $r=a+c$ から $\sigma_1=1$ となり、あるいは式(51)からも $D点$ は $\sigma_1=1$ で任意に指定できない。式(63)から常に $b>a$ なので、 $D点$ よりむしろ図1の $C点$ か $E点$ の方が尖がる。

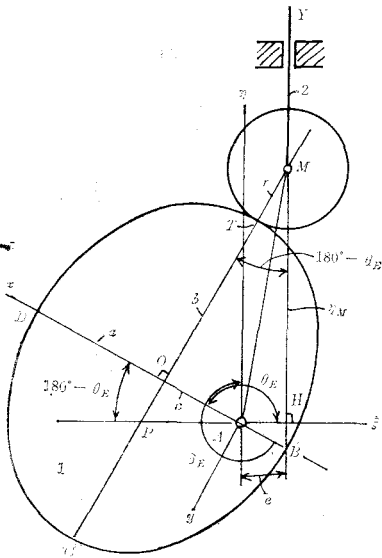
8.1 $C点$ の滑り率 σ_1

図15は $C点$ における接触を示し、これより $\overline{TP}, \eta_M, \theta_C$ を求めれば

$$\overline{TP} = \frac{\eta_M}{\cos\theta_C} - r, \quad \eta_M = \sqrt{(b+r)^2 + c^2 - e^2},$$

$$\cos\theta_C = \frac{\eta_M(b+r) + ce}{(b+r)^2 + c^2} \quad (65), (66), (67)$$

図15 $C点$ の滑り率 σ_1

図16 E点の滑り率 σ_1

となるので、これらの式を式(45)に代入すればC点の滑り率 σ_1 は次式のようにになる。

$$\sigma_1(C点) = \frac{a^2 + br}{a^2} \times \frac{\sqrt{(b+r)^2 + c^2 - e^2} \{(b+r)^2 + c^2\} - rce}{\sqrt{(b+r)^2 + c^2 - e^2} \{(b+r)^2 + c^2\}} \quad \dots\dots\dots (68)$$

8.2 E点の滑り率 σ_1

図16はE点の接触を示す。これより \overline{TP} , η_M , θ_E を求めれば次式のようにになる。

$$\overline{TP} = \frac{\eta_M}{\cos(180^\circ - \theta_E)} - r, \quad \eta_M = \sqrt{(b+r)^2 + c^2 - e^2},$$

$$\cos(180^\circ - \theta_E) = \frac{\eta_M(b+r) - ce}{(b+r)^2 + c^2}$$

$$\dots\dots\dots (69), (70), (71)$$

これらの式を式(45)に代入すればE点の滑り率は次式のようにになる。

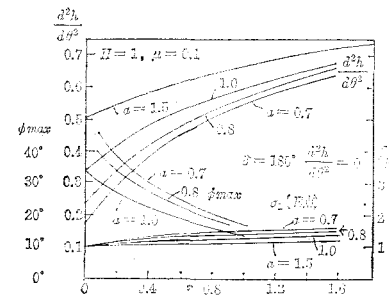
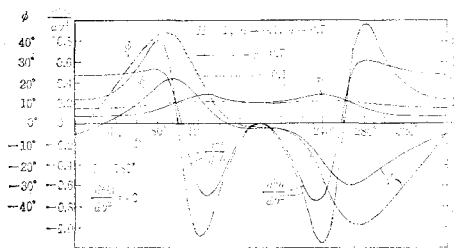
$$\sigma_1(E点) = \frac{a^2 + br}{a^2} \times \frac{\sqrt{(b+r)^2 + c^2 - e^2} \{(b+r)^2 + c^2\} + rce}{\sqrt{(b+r)^2 + c^2 - e^2} \{(b+r)^2 + c^2\}} \quad \dots\dots\dots (72)$$

式(68), (72)を比較すれば分母は同じで、分子の+からE点の σ_1 の方が大きな値となることがわかる。

よって H, μ, a を指定し、 r を指定すれば式(54)より c が求まり、式(63)より b が求まり、式(64)より $d^2h/d\theta^2$ と式(72)よりE点の σ_1 が求まる。

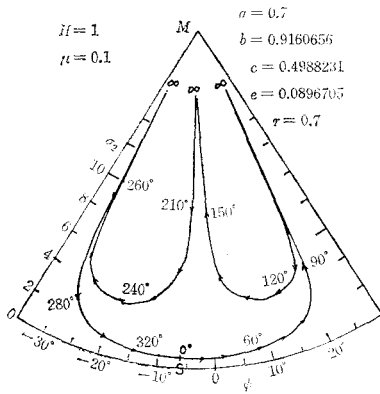
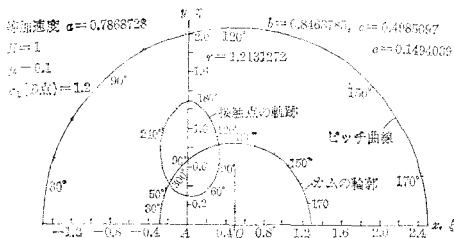
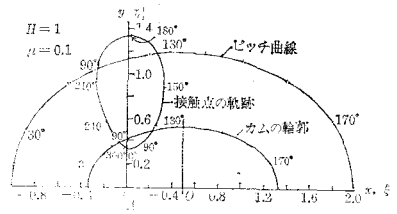
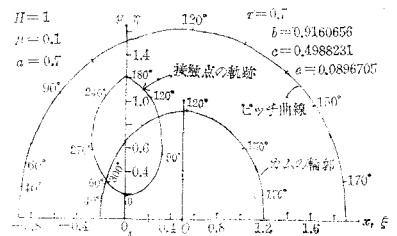
図17は $H=1, \mu=0.1, a=0.7 \sim 1.5, r=0 \sim 2.0$ の場合のE点の σ_1 と $d^2h/d\theta^2$ の変化を示す。 a の値が大きい程 σ_1 は低く、 $d^2h/d\theta^2$ は大きくなるが、 r に対して σ_1 は余り変わらず、 $d^2h/d\theta^2$ がかなり変化するので a が小さい方がよい。

図18は $r=0.1$ と 0.7 の場合の $d^2h/d\theta^2$ と σ_1 と ϕ を各 δ に対して示す。これから r が小さいときは ϕ_{max} が非常に大きくなることがわかる。そこで各 a に対し電算機によって ϕ_{max} を求めたものを図17に示す。これから r を大にするか、 a を大きくすれば ϕ_{max} が小となる

図17 $\delta=180^\circ, d^2h/d\theta^2=0$ の σ_1 と始点の $d^2h/d\theta^2$ 図18 $r=0.7$ と 0.1 の $\phi, \sigma_1, d^2h/d\theta^2$

ることがわかる。カムを小とするため $a=0.7$ を選べば $\phi_{max} < 30^\circ$ のためには $r > 0.4$ とすればよいことがわかる。

図18は $a=0.7, r=0.1, 0.7$ の場合で、 $r=0.7$ の場合は始点の $d^2h/d\theta^2$ も $\delta=0^\circ \sim 60^\circ$ の間は一定で一側の最大値は小さく、 $\phi_{max} \div 22^\circ, \sigma_{1max} \div 1.41$ で良好である。図19は $r=0.7$ の場合の σ_2 を従動節の円弧上に示したものである。接触の途中と両端で ∞ となる。

図19 図18の $r = 0.7$ の従動節上の σ_2 図20 図9の $a + r = 2$ のカムの輪郭,
ピッチ曲線, 接触点の軌跡図21 図12のカムの輪郭, ピッチ曲線,
接触点の軌跡図22 図18の $r = 0.7$ のカムの輪郭,
ピッチ曲線, 接触点の軌跡

§ 9 カムの輪郭と接触点の軌跡

カムの輪郭は式(2)~(5)により x_T, y_T を求めればよい。

ピッチ曲線は図2よりM点の x, y 座標から次式で示される。

$$x_M = x_T - r \sin \beta, \quad y_M = y_T + r \cos \beta \quad (73)$$

$$\text{ただし, 式(7)より} \quad \beta = \tan^{-1} b^2 (c - x_T) / a^2 y_T \quad (7)$$

接触点の軌跡は接触点Tの ξ, η 座標を求めればよい。図1, 2より

$$\xi_T = x_T \cos \theta - y_T \sin \theta, \quad \eta_T = x_T \sin \theta + y_T \cos \theta \quad (74)$$

ただし θ は式(9), (10), (11)から求められる。

図20, 21, 22はそれぞれ行き行程の始点と終点の加速度が等しい場合と始点のそれが零の場合と終点のそれが零の場合の最良のカムの場合の輪郭, ピッチ曲線と接触点の軌跡を示す。いずれも良好である。

§ 10 結 論

カムの輪郭が偏心楕円で円弧の往復従動節のカム機構において次の結論が得られた。

(1) カム機構の諸寸法が指定されれば従動節の変位, 速度, 加速度, 押進め角, 滑り率が解析される。(2) 行き行程の始点の押進め角と従動節のリフトとカムの長半径+円弧半径を指定すればカムの偏心量と従動節のかたより量は求まる。(3) 始点と終点の加速度を等しく, 終点のカムの滑り率を指定すれば長半径が求まり, 短半径と円弧半径が決定される。(4) 始点と終点の加速度をそれぞれ零にした場合もカムの滑り率を指定してカムの諸寸法を決定することができる。

以上の研究にあたり本校の学生, 有満智, 縄田忠雄両君の協力を得た。

文 献

- 1) 糸島寛典: 往復偏心楕円カムの研究—円弧従動節—, 呉高専研究報告11—1 (1976) 1

(昭和51年4月10日受付)

非線形フィードバック要素をもつゼロ・メモリ型非定常 システムの任意不規則応答分布に関する一統計理論

(電気工学科) 広 光 清 次 郎
(広島大学) 太 田 光 雄

A Statistical Theory of the Output Probability to a Zero-Memory Time-Variant System with a Non-Linear Feedback Element and an Arbitrarily Distributed Random Excitation

(Dept. Elect. Engrg.) Seijiro HIROMITSU
(Hiroshima Univ.) Mitsuo OHTA

A unified theory of the statistical treatment for the output probability distribution is introduced in the case when a general class of random process of the arbitrary distribution type is passed through a time-variant system of zero-memory (memoryless) type with a non-linear feedback element, using a statistical Lagrange's series expansion method.

For the purpose of finding the effect of a non-linearity of the feedback element on the output probability distribution, the explicit expressions of probability density and distribution functions are derived in the general form of non-orthogonal expansion series reflecting the effect of forward linear element into the first term.

§ 1 緒 言

公知のごとく、統計的システム解析において、同じ数学的手法の導入でも、研究対象の内的構成に整合のとれた数学的手法ほど、研究対象に深くメスを入れうることはいうまでもない。

本論文はこのような見地から、通常假定されるような、ガウス分布型に限定しない任意分布型の一般不規則信号波が、特に任意特性の非線形要素をフィードバック径路にもち、しかもシステム・パラメータが時間とともに不規則に変動する非定常・非線形のゼロ・メモリ型システムに印加された場合、その出力確率分布に対する新たな統計処理方法を与えたものである。すなわち、題意の閉ループ型非線形システムの非定常応答確率分布に着目し、前向き径路には線形要素が、フィードバック径路には非線形要素が位置するといったシステムの具体的構成に整合のとれた Lagrange 級数¹⁾にもとづく展開型確率的手法を新たに導入して、その出力確率密度および累積確率分布関数に関する一般表示を理論的立場から見出している。

§ 2 解析上の指針

任意サンブル値間の任意の相関をもち、しかも任意の分布形状を示す一般不規則信号波が、線形または非線形のシステムを通過した場合、その出力確率分布に関するいくつかの普遍的統計処理方法が、筆者らによって発表されている^{2)~6)}。すなわち、定常不規則入力をもつ任意システムの出力応答解析にお

いて、統計的 Hermite (出力振幅が正負の領域にわたる場合)⁷⁾, または、統計的 Laguerre (出力振幅が正のみの領域に限定される場合)^{8), 9)} 直交級数展開型の普遍的な表現形態の枠組みをまず与え、不規則入力およびシステム自体がもつ個性的特徴が出力分布へ及ぼす影響は、第2項以下の各展開項の係数の内に階層的な姿で反映させている。しかし、これらの統計的手法では、システムが開ループであるか閉ループであるかに特に注目せず、系全体がもつ総体的なシステム特性にもとづいて、極めて一般的な姿で導出したものであり、したがって、特殊な姿としての研究、たとえば、フィードバック機能の存在が出力分布形状に及ぼす影響を浮き彫りにして研究する目的に対しては、いくらかの不整合を残す傾向にあった。すなわち、その展開型分布表示の普遍性は、どちらかといえば、直交展開可能といった一般的な姿での数学的保証に支えられたもので、表現形態の枠組みを特に個々の入力形態やシステムの具体的構造に直接結び付いた姿で与えたものではなかった。

もし、閉ループシステムに対してこそますます有効となる確率的手法を新たに見出そうとするのであれば、閉ループシステムが基本的属性としてもつフィードバック機能を浮き彫りにし、これの有無による出力応答の統計的性質に関する変化にこそ考察の焦点を置き具体的解析を進めねばなるまい。さらに、白色雑入力をもつ閉ループ型非線形システムの出力分布に関する研究としては、Fokker-Planck 方程式^{10), 11)} にもとづくものもあることはよく知られているが、この手法を適用するにはシステムに線形メモリー部分の存在することが不可欠であり、システムがゼロ・メモリー型の場合は全く無力となる。非線形システムにおける非線形機能の本質は、時間効果より振幅効果としてのゼロ・メモリー機能に着目してこそより浮き彫りになるのである。非線形フィードバック機能を問題とする本研究においては、その第1段階の研究として、まずこのゼロ・メモリー型の非線形システムのみを考察の焦点を置くこととした。

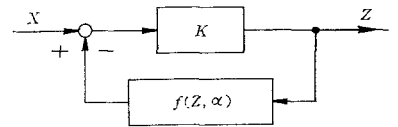


図1 非線形フィードバック要素をもつゼロ・メモリー時変型システム

§ 3 問題の記述

今、図1に示すゼロ・メモリー型フィードバックシステムに着目する。ここに前向き径路中に含まれる非線形要素のパラメータ $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l$ は任意の変動形態で揺らいでよいものとする。このゼロ・メモリー型非定常・非線形フィードバックシステムに任意の定常不規則入力 X が印加された場合、その出力 Z は容易に次のごとく表示される。

$$\begin{aligned} Z &= K(X - f(Z; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l)) \\ &= \xi - Kf(Z, \alpha), \quad (\xi = KX) \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、パラメータは $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l)$ のごとくベクトル表示した。問題の中心は、非線形フィードバック機能によるシステムの出力応答 Z の確率密度関数 $P(Z)$ に対する影響を、前向き線形ゲイン要素のみによる出力分布との関係において具体的に調べることである。

フィードバック要素の有無にもとづく出力分布を分解表現するため、その触媒的作用をなす任意関数 $\varphi(Z)$ を導入し¹²⁾、その期待値：

$$I = \langle \varphi(Z) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(Z) P(Z) dZ \quad (2)$$

に注目する。ただし、任意関数 $\varphi(Z)$ はそれ自身およびその逐次導関数が $Z \rightarrow \pm\infty$ において0、すなわち、

$$\varphi^{(i)}(Z) \Big|_{Z \rightarrow \pm\infty} \rightarrow 0, \quad (i=0, 1, 2, \dots) \quad (3)$$

の性質をもつものを考える。このような関数は、連続関数の極限として次々に定義されるものであるから、いわゆる Baire 関数類、すなわち Borel 可測関数類に属する¹³⁾。また(2)式の積分は有限確定値をとるものとする。

(2)式右辺の出力 Z に関する平均を Z の変動原因となる ξ (すなわち、不規則入力 X) や不規則に変動するシステム・パラメータ K および α に関する平均で置き替えると次式となる。

$$\begin{aligned} I &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(Z) P(\xi, K, \alpha) d\xi dX d\alpha \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(Z) P_{\xi}(\xi | K, \alpha) d\xi \right] P(K, \alpha) dK d\alpha \\ &= \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(Z) P_{\xi}(\xi | K, \alpha) d\xi \right\rangle_{K, \alpha} \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 $\langle \cdot \rangle_{K, \alpha}$ は時変システム・パラメータ K, α についての平均操作を意味し、 K と α の変動は互いに任意の相関を持ってもよい。

(2), (4)式は、 X, K および α の各統計的性質を知って出力 Z の確率密度関数 $P(Z)$ を求める一種の積分方程式を構成している。

§ 4 Lagrange 展開定理

次に我々は、(4)式の $\varphi(Z)$ を分解して、適当な方法で再構成することを考える。通常、このような目的には、基本的に Taylor 展開がしばしば利用され、特別な目的として、例えば、N. Wiener は非線形系において Hermite 多項式、線形系に対して因果律から Laguerre 多項式による展開を利用することを示唆した¹⁴⁾。

今 $\varphi(\cdot)$ の構造を規定する(1)式を見れば、右辺の内にも再び Z が現われており、これは上記のいくつの場合と基本的に異質である。すなわち、次の複素関数論における Lagrange の展開定理が重要となる^{11), 15)}。

Theorem

x を囲む領域 C 上および中で、 $F(z), f(z)$ は正則であるとし、 C 上のすべての z について

$$|af(z)| < |z - x|$$

がみたされを a をとる。

$$z = x + af(z) \quad (5)$$

なる方程式を z の方程式とみなすと、 C 内で1つの根をもつ。 C 内およびその上で正則な z のいかなる関数 $F(z)$ も a のべき級数として

$$F(z) = F(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a^n}{n!} \frac{d^{n-1}}{dx^{n-1}} [F'(x) \{f(x)\}^n] \quad (6)$$

の形に展開することができる (Lagrange の級数)。

この定理は、いわゆる Teixeira の定理¹⁵⁾の特別な形であり、その証明は公知である。しかし、筆者らは、任意の Baire 関数類を導入することにより、複素関数論によらない別の形の証明が可能なることを示すことができた。それは基本的に L. Schwartz の超関数の理論と関係しており、多変数形の定理

に拡張が容易である。証明を以下に示す。

Proof

次の性質をもつ任意の Baire 関数類 $\phi(z)$ を導入しよう。

$$\lim_{z \rightarrow \pm\infty} \frac{d\phi^i(z)}{dz^i} = 0, \quad (i=0,1,2,\dots) \quad (7)$$

この ϕ は (2) 式で導入した φ と基本的に同一である。 $\phi(z)$ に対し次の積分を考える。

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) dF(z) \quad (8)$$

x と z の間には (5) 式の関係があるから、(8) 式は次のように書ける。

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(z - af(z)) F'(z) dz$$

上式は z に関して定積分であるから、積分変数を z のかわりに x で表記できて、

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x - af(x)) F'(x) dx \quad (9)$$

と書き改めることができる。 $\phi(\cdot)$ を x のまわりに Taylor 展開すると次式を得る。

$$S = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} a^n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^n}{dx^n} \phi(x) \cdot [f(x)]^n F'(x) dx \quad (10)$$

上式において x に関して 1 回部分積分を施すと、

$$\begin{aligned} S = & \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} a^n \left[\frac{d^{n-1} \phi(x)}{dx^{n-1}} [f(x)]^n F'(x) \right]_{-\infty}^{\infty} \\ & + (-1) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{n-1} \phi(x)}{dx^{n-1}} \cdot \frac{d}{dx} [f(x)]^n F'(x) dx \end{aligned} \quad (11)$$

となるが、ここで ϕ に関する (7) 式の性質を考慮すると、(11) 式 [] 内の第 1 項は 0 となる。同様手順を合計 n 回繰り返すと、結局、次の表示を得る。

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{a^n}{n!} \frac{d^n}{dx^n} [f(x)]^n F'(x) \right] dx \quad (12)$$

一方、(8) 式は、

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) \frac{dF(z)}{dx} dx \quad (13)$$

とみなすこともできる。上式と (12) 式が任意関数 ϕ のもとで相等しくならねばならぬから、次の関係式が得られる。

$$\frac{dF(z)}{dx} = \frac{dF(x)}{dx} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a^n}{n!} \frac{d^n}{dx^n} [f(x)]^n F'(x) \quad (14)$$

上式の両辺を x で積分すると、 C を積分定数として、 $F(z)$ の級数展開表示が次のごとく導かれる。

$$F(z) = F(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a^n}{n!} \frac{d^{n-1}}{dx^{n-1}} [(f(x))^n F'(x)] + C \quad (15)$$

今、 $a=0$ とおけば、 $F(z) = F(x + af(z)) \Big|_{a=0} = F(x)$ であるから、 $C=0$ である。すなわち、定理が証明された。

なお、証明において級数の収束性に関する議論は一切抜きにした。証明過程の(9)式において Taylor 展開を用いたので、それに従うと考えられる。

§ 5 $P(Z)$ の確率陽表示

(2)式と(4)式を等置して得られる積分方程式を解くため、(4)式の $\langle \cdot \rangle$ 内における定積分項に着目し、(1)式を代入して $\varphi(\cdot)$ を特に Lagrange 展開するものとする。すなわち、

$$\begin{aligned} J &= \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\xi - Kf(Z, \alpha)) P_{\xi}(\xi | K, \alpha) d\xi \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{n-1}}{d\xi^{n-1}} [(Kf(\xi, \alpha))^n \frac{d}{d\xi} \varphi(\xi)] \\ &\quad \cdot P_{\xi}(\xi | K, \alpha) d\xi \end{aligned} \quad (16)$$

となる。 $(d/d\xi)^{n-1} [\cdot]$ に着目して(16)式を $(n-1)$ 回部分積分し、その都度(3)式の条件を考慮すれば、次の表示が導びかれる。

$$\begin{aligned} J &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \left\{ \frac{d^{n-2}}{d\xi^{n-2}} \left[(Kf(\xi, \alpha))^n \cdot \frac{d}{d\xi} \varphi(\xi) \right] P_{\xi}(\xi | K, \alpha) \right\} \Big|_{-\infty}^{\infty} \\ &\quad - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{n-2}}{d\xi^{n-2}} \left[(Kf(\xi, \alpha))^n \cdot \frac{d}{d\xi} \varphi(\xi) \right] \cdot \frac{d}{d\xi} P_{\xi}(\xi | K, \alpha) d\xi \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{n!} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^{n-2}}{d\xi^{n-2}} \left[(Kf(\xi, \alpha))^n \cdot \frac{d}{d\xi} \varphi(\xi) \right] \cdot \frac{d}{d\xi} P_{\xi}(\xi | K, \alpha) d\xi \\ &= \dots\dots \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d}{d\xi} \varphi(\xi) \cdot (Kf(\xi, \alpha))^n \cdot \frac{d^{n-1}}{d\xi^{n-1}} P_{\xi}(\xi | K, \alpha) d\xi \end{aligned} \quad (17)$$

今度は $d\varphi/d\xi$ の方に着目して、(17)式を ξ について 1 回部分積分し、(3)式の条件を再び考慮すれば容易に次式を得る。

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\xi) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{d}{d\xi} \left[(Kf(\xi, \alpha))^n \cdot \frac{d^{n-1}}{d\xi^{n-1}} P_{\xi}(\xi | K, \alpha) \right] d\xi \quad (18)$$

上式は定積分表示であることから、積分変数を ξ から Z に置換してもよく、これを(4)式に代入し、さらに $\langle \cdot \rangle_{K, \alpha}$ の平均操作にともなう積分と Z に関する積分の順序を変更した後、(2)式と等置すれば、結局、次の関係を導出することができる。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(Z) \cdot [P(Z) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{d}{dZ} \langle (Kf(Z, \alpha))^n \cdot \frac{d^{n-1}}{dZ^{n-1}} P_{\xi}(Z | K, \alpha) \rangle_{K, \alpha}] dZ = 0 \quad (19)$$

$\varphi(Z)$ は $Z \rightarrow \pm\infty$ 以外は全く任意の関数であり、したがって積分方程式(2), (4)式の解 $P(Z)$ は次の展開型表示で与えられることがわかる。

$$P(Z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{d}{dZ} \langle \{Kf(Z, \alpha)\}^n \cdot \frac{d^{n-1}}{dZ^{n-1}} P_{\xi}(Z|K, \alpha) \rangle_{K, \alpha} \quad (20)$$

実際の立場からはもちろん ξ の確率密度よりはシステムへの不規則入力 X に関する確率密度 $P_X(\cdot)$ が与えられる。すなわち、確率の保測変換から得られる関数：

$$P_{\xi}(\xi|K, \alpha) = P_X\left(-\frac{\xi}{K} | K, \alpha\right) \cdot \frac{1}{|K|} \quad (21)$$

を(20)式に代入して次のごとく表示しなおすことができる。

$$P(Z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{d}{dZ} \left\langle \frac{K^n}{|K|} \cdot \{f(Z, \alpha)\}^n \cdot \frac{d^{n-1}}{dZ^{n-1}} P_X\left(\frac{Z}{K} | K, \alpha\right) \right\rangle_{K, \alpha} \quad (22)$$

§ 6 表現の普遍化とフィードバック効果の陽表示

表現の普遍化をねらって、(22)式の表示を無次元化する。このような無次元化は、もちろん、表現の普遍化以外に分布曲線を実際に描く上で次のような表現上の簡便さをもたらす。すなわち、出力分布曲線 $P(Z)$ の全体がほぼ $\mu \pm A\sigma$ ($\mu = \langle Z \rangle$, $\sigma^2 = \langle (Z - \mu)^2 \rangle$) 内に存在するとき、座標軸 $Y = (Z - \mu)/\sigma$ を選ぶことにより、分布曲線の全体を、表現として有効な座標軸の中央部分 (Y が $[-A, A]$ 内) に位置させることができる。Gauss 分布における 3σ 法 の精神から、非 Gauss 型といえども、 A として4ないし5の値を採用して十分な見通しがあらかじめ立つであろう。

無次元化量 $Y = (Z - \mu)/\sigma$ (μ, σ は一般に任意定数でよい) を導入すれば、

$$\begin{aligned} P(Y) &= |\sigma| \left\langle \frac{1}{|K|} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K} | K, \alpha\right) \right\rangle_{K, \alpha} \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{|\sigma|}{\sigma^n} \cdot \frac{d}{dY} \left\langle \frac{K^n}{|K|} \{f(\sigma Y + \mu, \alpha)\}^n \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot \frac{d^{n-1}}{dY^{n-1}} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K} | K, \alpha\right) \right\rangle_{K, \alpha} \end{aligned} \quad (23)$$

なる展開型確率密度関数が導出される。ここに上式中に現われる $P_X(\cdot)$ は、本来、 K および α が一定とみなされる局所的定常時で不規則入力 $X(t)$ 自身がもつ分布形 $P_X(X|K, \alpha)$ において、 X の位置に単に $(\sigma Y + \mu)/K$ を代入したものである点、特に留意を要する。

工学的にしばしば重要なのは、確率密度表示よりもむしろ次の累積分布表示の方である。

$$\begin{aligned} Q(Y) &= \int_{-\infty}^Y P(Y) dY \\ &= |\sigma| \int_{-\infty}^Y \left\langle \frac{1}{|K|} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K} | K, \alpha\right) \right\rangle_{K, \alpha} dY \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{|\sigma|}{\sigma^n} \left\langle \frac{K^n}{|K|} \{f(\sigma Y + \mu, \alpha)\}^n \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot \frac{d^{n-1}}{dY^{n-1}} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K} | K, \alpha\right) \right\rangle_{K, \alpha} \end{aligned} \quad (24)$$

さて、通常の時変型システムにおいては、入力の不規則変動システムのパラメータ変動とは互いに独

立であり、この場合、 Y に関する確率密度および累積分布表示は(23)、(24)式から直ちに次のごとく与えられる。

$$P(Y) = |\sigma| < \frac{1}{|K|} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K}\right) >_K \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{|\sigma|}{\sigma^n} \cdot \frac{d}{dY} < \frac{K^n}{|K|} \{f(\sigma Y + \mu, \alpha)\}^n \cdot \frac{d^{n-1}}{dY^{n-1}} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K}\right) >_{K,a} \quad (25)$$

$$Q(Y) = |\sigma| \int_{-\infty}^Y < \frac{1}{|K|} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K}\right) >_K dY \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{|\sigma|}{\sigma^n} < \frac{K^n}{|K|} \{f(\sigma Y + \mu, \alpha)\}^n \cdot \frac{d^{n-1}}{dY^{n-1}} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K}\right) >_{K,a} \quad (26)$$

(23)～(26)式における展開初項は、図1でフィードバック径路を除去したときの前向き経過のみの伝達にもとづく出力応答分布が位置しており、システムとしてフィードバック機能を付加させたことにもとづく影響は、第2項以下の各展開項の内に逐次階層的な姿で具体的に反映されているのである。したがって、出力分布形状に関して、閉ループ出力分布特性からの変化として特にフィードバック効果を浮き彫りにして論ずるときは、 $Q(Y)$ 自身より次の表示：

$$\varepsilon(Y) = Q(Y) - ((24)式または(26)式右辺の展開初項)$$

に着目する方が有効であろう。

システムのパラメータが時間とともに変動しない場合の確率密度関数 $P(Y)$ や累積分布関数 $Q(Y)$ 表示は、(25)、(26)式で平均記号 $< \cdot >$ をすべて除去した次のごとき表示となることはいうまでもない。

$$P(Y) = \frac{|\sigma|}{|K|} \cdot P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K}\right) \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{|\sigma|}{|K|} \cdot \frac{K^n}{\sigma^n} \cdot \frac{d}{dY} \left[\{f(\sigma Y + \mu, \alpha)\}^n \cdot \frac{d^{n-1}}{dY^{n-1}} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K}\right) \right] \quad (27)$$

$$Q(Y) = \frac{|\sigma|}{|K|} \int_{-\infty}^Y P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K}\right) dY \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{|\sigma|}{|K|} \cdot \frac{K^n}{\sigma^n} \cdot \{f(\sigma Y + \mu, \alpha)\}^n \cdot \frac{d^{n-1}}{dY^{n-1}} P_X\left(\frac{\sigma Y + \mu}{K}\right) \quad (28)$$

§ 7 結 言

本論文は必ずしも Gauss 分布型に限定しない任意分布型の一般不規則信号波が、特に任意特性の非線形要素をフィードバック径路にもち、しかもシステム・パラメータが時間とともに任意の形態で不規則に揺らぐ非定常・非線形のゼロ・メモリ型システムに印加された場合、その出力確率分布に対する新たな統計処理方法を理論的立場から与えたものである。非線形フィードバック径路の存在が出力確率分布に与える影響を浮き彫りにして調べるために、統計的 Lagrange 展開型手法が新たに導入され、その結果、前向き線形要素のみによる出力確率分布を初項に位置させ、第2項以下の各展開項の内にフィードバックの影響を逐次階層的に反映させた、確率密度および累積分布関数の一般表示を導出することができた。

本理論の正当性は様々なモデルケースについて既にデジタル・シミュレーションにより確認済みであるが、それについては本研究に続く実験の部で詳論する予定である。

謝 辞

本研究に多大の援助をいただいた、広島電機大学西村正文氏、日本電信電話公社沢田哲雄氏、広島大学工学部沖田豪氏および同山口静馬氏に深謝の意を表す。また、第5回統計学的制御理論シンポジウム¹⁷⁾、第24回応用力学連合講演会¹⁸⁾における討論は筆者らに有益な示唆を与えたことを付記して関係各位に感謝する。

参 考 文 献

- 1) E.T. Whittaker and G.N. Watson : A Course of Modern Analysis (Cambridge Univ. Press, London, 1935) 132.
- 2) M. Ohta and M. Nakagami : *Proceedings of the 7th Japan National Congress for Applied Mechanics* (1957) 317.
- 3) M. Ohta : *Memoirs of the College of Science, University of Kyoto, Series A, XXX* (1962) 11.
- 4) M. Ohta and T. Koizumi : *IEEE Trans. Information Theory*, IT-14, 4 (1968) 595.
- 5) 太田・山口・広光・沖田 : 電子通信学会電気音響研究会資料, EA-73-19 (1973).
- 6) 太田・広光・西村 : 日本自動制御協会学術講演会論文集, (1976) 187.
- 7) M. Ohta and S. Hiromitsu : *Theoretical and Applied Mechanics*, 23 (1975) 479 (edited by I. Tani, Science Council of Japan, Univ. of Tokyo Press).
- 8) M. Ohta, T. Okita, S. Yamaguchi and S. Hiromitsu : *Journal of Sound and Vibration*, 36 (3) (1974) 329.
- 9) S. Hiromitsu, M. Ohta and S. Yamaguchi : *Proceeding of 1975 International Congress on Noise Control Engineering*, Sendai (1975) 41.
- 10) D. Middleton : An Introduction to Statistical Communication Theory (McGraw-Hill, New York, 1960) Chap. 10.
- 11) 榎木・砂原 : 統計学的手法による自動制御理論 (オーム社, 東京, 1967) 第17章.
- 12) 広光・太田 : 呉工業高等専門学校研究報告, 11, 1 (1975) 85.
- 13) 高木 : 解析概論 (岩波書店, 東京, 1961, 第3版) 434.
- 14) N. Wiener : Nonlinear Problems in Random Theory (Technology Press and John Wiley and Sons, New York, 1958)
- 15) 末岡 : 級数および直交関係数系 (コロナ社, 東京, 1957) 103.
- 16) L. シュワルツ : 超関数の理論 (岩波書店, 東京, 1971, 岩村他訳).
- 17) 太田・広光・西村 : 第5回統計学的制御理論シンポジウム論文集 (1973) 63.
- 18) 太田・広光・西村 : 第24回応用力学連合講演会論文集 (1974) 97.

(昭和51年5月21日受付)

TVによる輝度測定と輝度パターンの作成

(電気工学科) 原 田 一 彦

Measurements of Luminance and Representation of the Luminance Pattern by TV system

Kazuhiko HARADA

Luminance measurements and the luminance distribution in the visual field are important elements of representing the characteristics of lighted environments.

In this paper, the author has studied measurements of luminance and representation of the luminance pattern from the TV screen which the object was reflected by using the luminance photometer and the X-Y recorder. The object was the manikin's face under incandescent lamps lighting. And the luminance was 10~130 cd/m². The characteristic between the luminance of the object and the luminance on the TV screen was not out of proportion in 70~90 cd/m² by our system. Therefore, the results were not correct than by photographic photometry ones.

§ 1 結 言

以前に、普通に仕上げた写真から輝度を測定し、その値を利用して輝度パターンを作成することを発表したが¹⁾、今回は、テレビカメラ、ビデオコーダおよびモニターテレビを使用して輝度を測定し、その結果から輝度パターンを作画することを試みた。ITVによる輝度分布撮像装置は既に発表されているが²⁾、これはモニターテレビの画面上に対象の輝度レベルに応じて、白～灰～黒と階段的に濃度の異なる輝度パターン画像が得られるようになったものである。これに対し、本実験は、モニターテレビの画面を直接に輝度計で測定し、その値を前回と同様X-Yレコーダに記録させ、等輝度曲線表示による輝度パターンを作成したものである。

§ 2 テレビ画面の輝度

テレビの系統輝度変換特性は、図1のようにカメラ映像増幅器、変調器、復調器、RF増幅器を通して受像管にいたるまであらゆる入力—出力曲線から成り立っている³⁾。

これらの補助特性の一つが曲線であるとすれば、系の中のその伝送装置によって輝度ひずみがでる。このとき、他の伝送装置に反対方向にこれを補正する装置があれば、曲線は直線に補正されることになる。実際に、白黒テレビではこうした補正法が行われている。したがって、実験ではテレビカメラの絞り、モニターテレビの輝度およびコントラストを調節して、被写体輝度—テレビ画面輝度の特性を直線となるようにすることとなる。

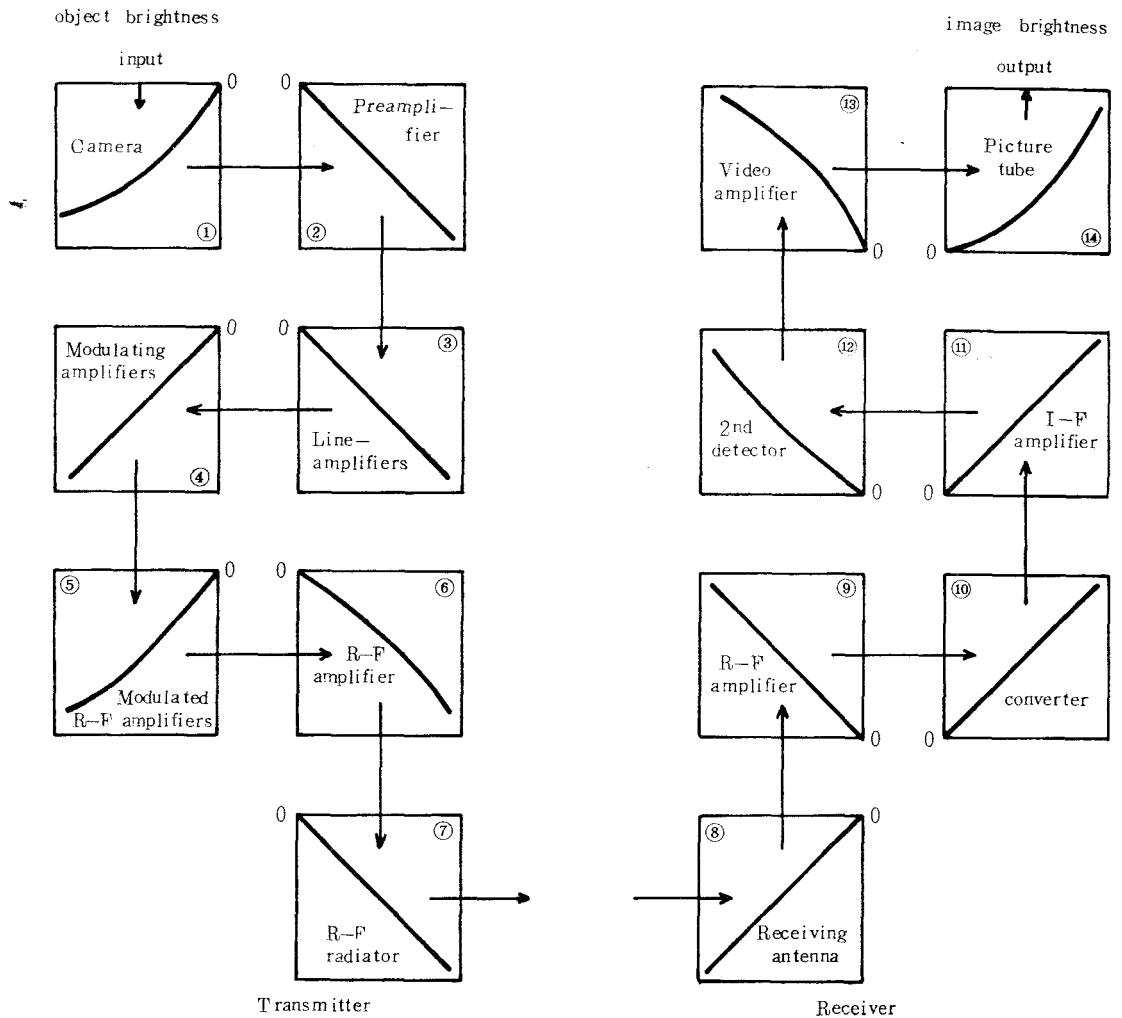


図 1 テレビジョン系統のおもな伝送装置の補助変換特性

§ 3 輝度の写真測光法とテレビカメラ方式の比較

輝度測定の対象物を写真に撮り、そのネガやポジから輝度を測定する方法は次のような特長がある⁴⁾。

- (1) ネガまたはポジそのものが完全等輝度ダイアグラムと考えられるから詳細な分析ができる。
- (2) 瞬時に記録ができ、しかも多くの点の測定を必要としない。
- (3) ほとんどの作業が現場を離れて実験室でできる。
- (4) ネガやポジの資料は保存ができ、再使用ができる。

これらの特長は、テレビカメラ方式の場合も同様に備えている。しかし、前者は暗室作業を必要とし、その処理の仕方資料としての内容が大きく左右される欠点がある。これに比べて後者は、ほとんど電気的な操作によるのでこのようなことはなく、また、ただちに資料が得られ、テレビの画面に写し出すことができるので便利である。しかし、装置が大がかりとなり、また、電気的な部分が多いだけに精度、感度、安定度などが問題となる。

§ 4 実験と考察

実験に使用したテレビ装置はソニー製品で、ビデオカメラ（テレビカメラ）DVC2400、同カメラアダプタCMA-2、ビデオコーダCV-2100、モニターテレビN12-1で、それに東芝輝度計BM-1BとX-Yレコーダ（松下通信機、VP-6424A）で測定および記録をした。

測定の補写体は、写真に示すような数個の60W スポット電球と100W フラッド電球で照明されたマネキンの顔で、輝度は $130\text{cd/m}^2 \sim 10\text{cd/m}^2$ の範囲である。今回は、このように人工光源下の被写体で、狭い輝度範囲内で実験を行った。

補写体の輝度とブラウン管画面輝度との特性を求めるのに、テレビカメラのレンズの絞りは被写体の照度によって調節することが必要であるが、この実験条件下では11に絞るのが最適であることを見出した。

モニターテレビの輝度とコントラストの調整は、つまみの全回転角を20等分して、あらゆる場合の被写体輝度—テレビ画面輝度の特性を測定し、図2および図3に示すような結果が、得られたものの中で最良の部類であった。なお、この特性測定用被写体としては、段階的に露光時間を変えた14種の写真用印画紙を現像した白～灰～黒色のテストピースを準備し、マネキンと同一照明下で測定をした。



写真 被写体のマネキン

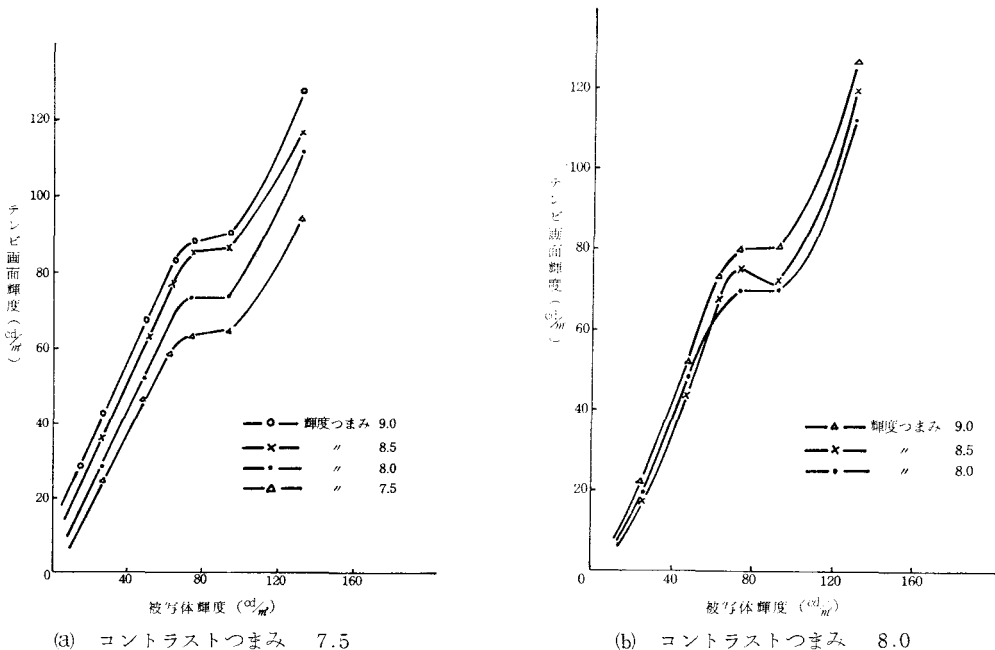


図 2 モニターTVのコントラストつまみを一定にし、輝度つまみを
変化したときの被写体輝度とテレビ画面輝度の関係

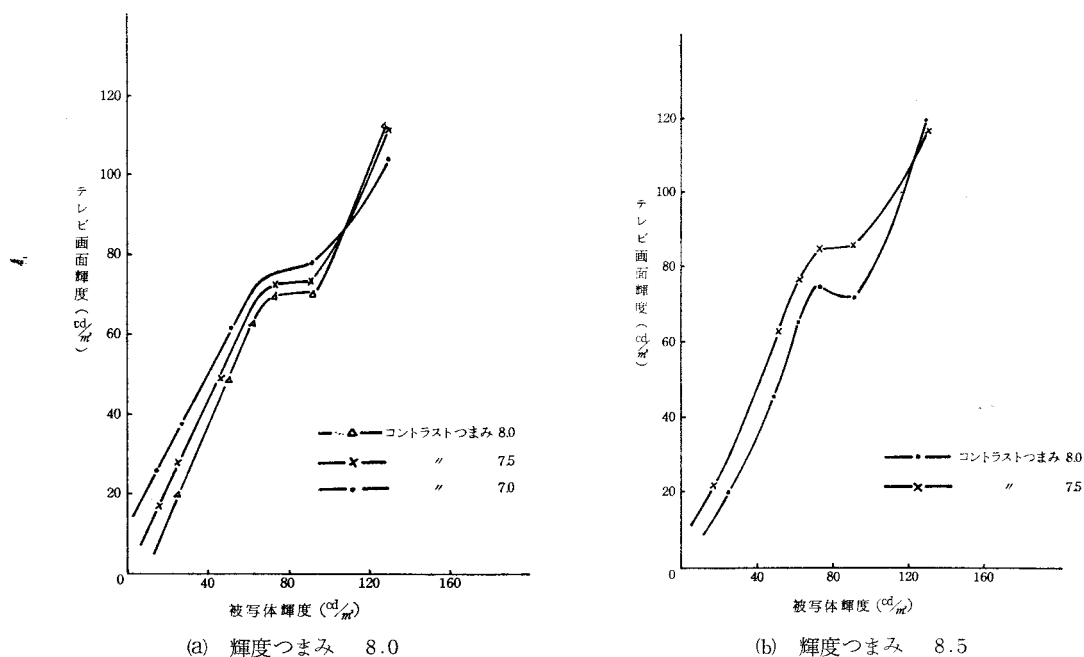


図 3 モニターTVの輝度つまみを一定にし、コントラストつまみを
変化させたときの被写体輝度と画面輝度の関係



図 4 被写体の輝度を直接輝度計で測定して
作成した輝度パターン

図 4 は、被写体となったマネキンの顔を輝度計で実測した輝度値から求めた輝度パターンで、これが基準となるものである。実験から得られた結果から良好なものを選んだのが図 5 で、パターンの 3 者の差異はあまり大きくない。(a) の場合 (輝度つまみ 8.0, コントラストつまみ 7.5) は、輝度値がわずかがず高く、(b) では (輝度つまみ 7.5, コントラストつまみ 7.5), 輝度変化は穏やかとなるが、

いずれの場合も $70\text{cd}/\text{m}^2 \sim 90\text{cd}/\text{m}^2$ 附近でひずみを生じ、これを無くするよう努力したが成功しなかった。

輝度計をブラウン管に対して平行に走査させるのと、その測定値を X-Y レコーダに記録させるのを同調させるため、輝度計をレール上の台車に乗せ直流モーターで駆動させた。速度はモーターに加える電圧で調節して、完全に X-Y レコーダのペンの速度と同調させ、また、一定速度で駆動させるのに、レールに合成ゴム製の接触輪を滑らせることで目的を達することができた。できる限り精密な測定とするため、一回の走査時間は 3 分の低速とし、さらに、輝度計とモニターテレビ間を最短距離の 1 m にし、 0.5° の最も狭い視野で測定をした。

上下の移動は、テレビを移動したり輝度計を移動させる方法も試行したが、最終的には三脚に取付けている雲台を利用してテレビカメラを 1 cm ずつ降下させる方法を採用した。一つの画面で 17 cm 移動させたので、画面全体の記録に 50 分以上を要した。

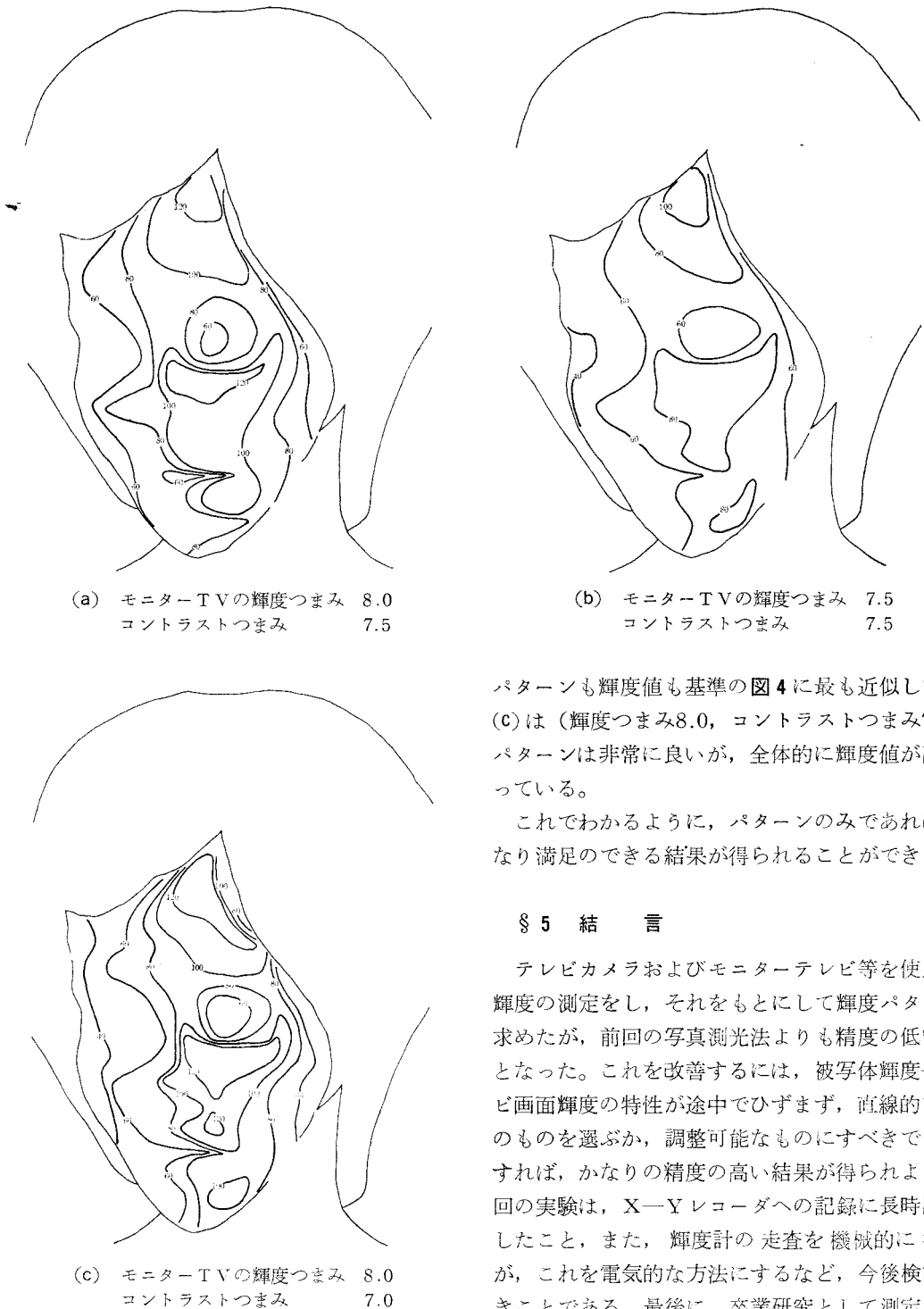


図 5 モニターTVの画面から輝度を測定して作成した輝度パターン

パターンも輝度値も基準の図4に最も近似している。(c)は(輝度つまみ8.0, コントラストつまみ7.0), パターンは非常に良いが, 全体的に輝度値が高くなっている。

これでわかるように, パターンのみであれば, かなり満足のできる結果が得られることができる。

§ 5 結 言

テレビカメラおよびモニターテレビ等を使用して輝度の測定をし, それをもとにして輝度パターンを求めたが, 前回の写真測光法よりも精度の低い結果となった。これを改善するには, 被写体輝度—テレビ画面輝度の特性が途中でひずまず, 直線的な特性のものを選ぶか, 調整可能なものにすべきで, そうすれば, かなりの精度の高い結果が得られよう。今回の実験は, X—Yレコーダへの記録に長時間を要したこと, また, 輝度計の走査を機械的に行ったが, これを電気的な方法にするなど, 今後検討すべきことである。最後に, 卒業研究として測定に協力していただいた本校電気工学科8期生原井, 福岡, 松浦君に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 原田：呉高専研究報告 第11巻 第2号 (1976)
- 2) 藤井他：I T V式輝度分布撮影装置とその応用例 照学誌 54—9 (1970)
- 3) DONALD G. FINK：テレビジョン工学 (上巻)
- 4) I. Lewin & W. B. Bell：Luminance Measurement by Photographic Photometry, ILL. Engng. 63—11 (1968)

(昭和51年4月12日受付)

鉄筋コンクリート床版の研究

(土 木 工 学 科) 丸 上 晴 朗
 (水利工業株式会社) 荒 木 宏
 (八千代エンジニアリング株式会社) 原 田 耕 司

A Study on the Reinforced Concrete Slabs

Seiro MARUGAMI
 Hiroshi ARAKI
 Koji HARADA

Bending moments of tow-way reinforced concrete slabs of highway bridges under T-loads are calculated. Main aim of this study is to get the maximum values of bending moments M_x and M_y . The maximum values obtained here are larger than those shown in The Specifications of Highway Bridges by several percents. The difference between the former and the latter is mainly due to variety of the way of charging T-loads.

§ 1 ま え が き

道路橋の床版には鋼橋、コンクリート橋を問わず鉄筋コンクリート床版（RCスラブ）が広く用いられている。従来はRCスラブの厚さをできるだけ薄くして死荷重を軽減し橋梁の経済性の向上を計る設計法がとられていたが、RCスラブが破損する例が多くみられ関係者の関心を集めた。このようなこともあって道路橋のRCスラブの設計方法が1971年に改められた。この内容は道路橋示方書に示されている。この現行示方書ではRCスラブを等方性版とみなしスラブを支えている桁は不等沈下（たわみ）を生じないものとしてスラブの解析を行い、その結果を設計曲げモーメントとして与えている。しかしこの示方書に則ってRCスラブの配筋を行うと配筋量などの違いから結果としてRCスラブは直交異方性を示す。またRCスラブを支えている桁の不等沈下も避け得ないことである。これらのことを考えた研究に前田・松井、成岡・佐藤の報告^{1)~3)}などがある。RCスラブを直交異方性版と考える考え方は決して新しいものではない。50年以上も昔に M. T. Huber がこの方面の研究を行っている。RCスラブを等方性版とみなして計算するか、直交異方性版とみなして計算するかによって計算応力には相当の差異が生ずる。直交異方性版とみなして計算した場合においても版の曲げ剛性の比 (D_y/D_x) の評価の仕方によって版の応力には相当の差が生じる⁴⁾。もっとも前田・松井の研究によれば示方書通りの配筋を行った場合にはスラブ厚さによらず版の曲げ剛性の比 (D_y/D_x) は大体一定値 0.60になるが⁵⁾、直交異方性版の曲げ曲面を定める偏微分方程式中に含まれるねじり剛性の項については現在でもその評価が十分正確になされていないのである^{6), 7)}。ここがひとつのネックだと思われる。次にRCスラブは普通連続版になっていて単なるスラブの作用だけでなく主桁の上フランジとしての作用もしていることは周知のところである。特に単純橋においては上フランジ部分は常に曲げ圧縮を受けている。つまりこのような場合において橋軸に直角方向のRCスラブの断面を考えると桁の上フランジとしては圧縮力を受け、スラブとしては引張力を受けていることになるがこの圧縮力と引張力を合成したらスラブの応力はどうな

るか興味のあるところである。前田・松井の研究ではRCスラブの桁の上フランジとしての効果は一切考えずに単なるスラブとしての効果のみから引張側断面のコンクリートを無効として D_y を計算しているが、桁の上フランジとしての効果も合せて考えると D_y の値は前田・松井の求めたものとはかなり差のあるものになることも考えられる。これがRCスラブを直交異方性版として取扱うときの第二のネックである。以上二つの理由を考えるならば現時点においてはRCスラブを等方性版とみて研究してみることも必要なことであろう。このような見地から本文はRCスラブを等方性版とみて T 荷重によってスラブに生じる最大曲げモーメントの研究をしたものである。最大曲げモーメントを求めるにあたっては著者が先に発表した報告⁸⁾の事実注意到しながら計算をすすめた。支持桁の不等沈下(たわみ)によるスラブ応力については本文は考慮していない。連続版の最大曲げモーメントを求めることが最終的な目標であるが本文の内容は第一段階ともいべき単純版の最大曲げモーメントを求めるにとどまった。

§ 2 分布荷重を受ける単純版の曲げモーメント^{9),10)}

等方性版の鉛直荷重によるたわみ曲面は次の偏微分方程式(1)で表現される。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1)において w は x, y の関数でたわみ曲面を示し $q(x, y)$ は任意点 (x, y) における分布荷重の大きさであり D は版の曲げ剛性である。版の形状、荷重状態、版を支持する条件を考えて(1)を境界値問題として解き w を求める。 w が求まると x 軸に直角な断面に作用する曲げモーメント M_x , y 軸に直角な断面に作用する曲げモーメント M_y は次の(2)式で求める。 ν は版のポアソン比である。

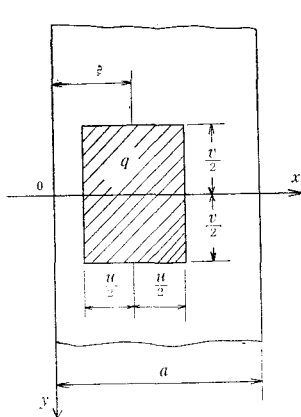


図 1

$$\left. \begin{aligned} M_x &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ M_y &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

図1に示すように単純支持RCスラブを長方形とし長さを無限大と考えて分布荷重によって版に生じる曲げモーメントを求める。

x 軸方向(支間方向)に主鉄筋を配し y 軸方向に配力鉄筋を配し車両進行方向は y 軸方向とする。図1のようにただひとつの等分布荷重が斜線で示す長方形領域に作用するときの曲げモーメントは以下の式で表わされる。(詳細は文献[9]のp.149~156)

$y \geq v/2$ の領域上の任意点における M_x, M_y は(3)式のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \frac{qa}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \sin \frac{m\pi\xi}{a} \sin \frac{m\pi u}{2a} \sin \frac{m\pi x}{a} \\ &\quad \left\{ \left\{ \frac{2a}{m\pi} + (1-\nu) \left(y - \frac{v}{2} \right) \right\} e^{-\frac{m\pi(2y-v)}{2a}} - \left\{ \frac{2a}{m\pi} + (1-\nu) \left(y + \frac{v}{2} \right) \right\} e^{-\frac{m\pi(2y+v)}{2a}} \right\} \\ M_y &= \frac{qa}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \sin \frac{m\pi\xi}{a} \sin \frac{m\pi u}{2a} \sin \frac{m\pi x}{a} \\ &\quad \left\{ \left\{ \frac{2\nu a}{m\pi} - (1-\nu) \left(y - \frac{v}{2} \right) \right\} e^{-\frac{m\pi(2y-v)}{2a}} - \left\{ \frac{2\nu a}{m\pi} - (1-\nu) \left(y + \frac{v}{2} \right) \right\} e^{-\frac{m\pi(2y+v)}{2a}} \right\} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

x 軸上の任意点における M_x , M_y は(4)式のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \frac{4qa^2}{\pi^3} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^3} \sin \frac{m\pi\xi}{a} \sin \frac{m\pi u}{2a} \sin \frac{m\pi x}{a} \left[1 - \left\{ 1 + (1-\nu) \frac{m\pi v}{4a} \right\} e^{-\frac{m\pi v}{2a}} \right] \\ M_y &= \frac{4qa^2}{\pi^3} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^3} \sin \frac{m\pi\xi}{a} \sin \frac{m\pi u}{2a} \sin \frac{m\pi x}{a} \left[\nu - \left\{ \nu - (1-\nu) \frac{m\pi v}{4a} \right\} e^{-\frac{m\pi v}{2a}} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

§ 3 T 荷重を受ける R C スラブの最大曲げモーメントを求める方法と計算結果

T 荷重は図 2 に示すような大型自動車荷重である。載荷については橋軸方向は一輪とし幅員方向 (x 軸方向) にはスラブ支間長に応じて可能なだけ載荷するものとする。(3)式又は(4)式によって一輪一輪による M_x , M_y を求めてこれを載荷全輪につき合計すれば T 荷重による曲げモーメントになる。載荷状態、曲げモーメントを求めるべき位置が無数にあるなかから最大曲げモーメントを与える載荷状態及び平面 (スラブ) 上の点の座標を理論的に正確に求めることは不可能であるので多数の計算をくり返して近似的に最大曲げモーメントを求めるようにした。計算の対象にした支間長は 2 m, 3 m, 4 m, 5 m である。本文で採用した方法を支間が 2 m のときについて略述する。図 3 から図 8 に示すように 6 通りの載荷状態

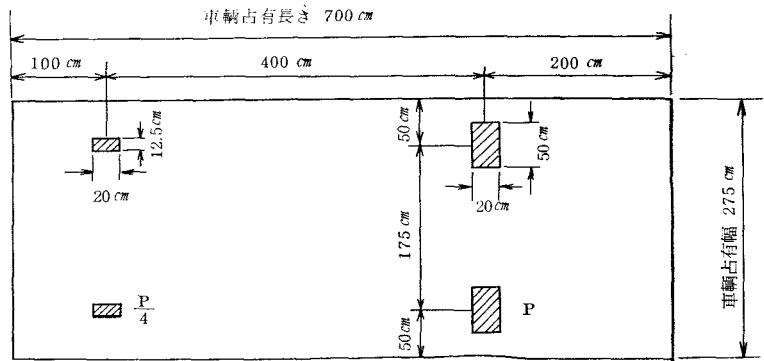


図 2 T 荷 重 (P は後輪荷重)

モーメントを求めるべき位置が無数にあるなかから最大曲げモーメントを与える載荷状態及び平面 (スラブ) 上の点の座標を理論的に正確に求めることは不可能であるので多数の計算をくり返して近似的に最大曲げモーメントを求めるようにした。計算の対象にした支間長は 2 m, 3 m, 4 m, 5 m である。本文で採用した方法を支間が 2 m のときについて略述する。図 3 から図 8 に示すように 6 通りの載荷状態

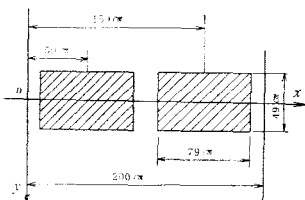


図 3 載 荷 状 態 その 1

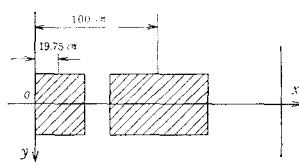


図 5 載 荷 状 態 その 3

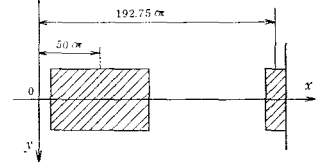


図 7 載 荷 状 態 その 5

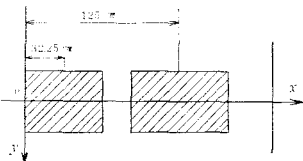


図 4 載 荷 状 態 その 2

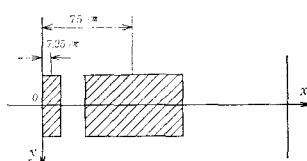


図 6 載 荷 状 態 その 4

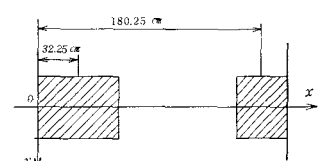


図 8 載 荷 状 態 その 6

を考えた。これらは車輪を機械的に 25 cm ずつ移動させたものである。図 3 から図 8 の各々の場合について x 軸上で 20 cm 間隔に M_x , M_y を計算する。この計算結果を表 1 に示す。この結果から最大曲げモーメントを生ずるのは図 4 の載荷状態のときであることが分る。第 2 段階としてはこの図 4 の載荷状態を基準にして 12.5 cm ずつ荷重載荷位置をずらせる。つまり図 9, 図 10, 図 11 の 三つの載荷状態を考える。この状態で今度は x 軸上で 10 cm 間隔に M_x , M_y を計算する。この結果を支間中央近くについて表 2 に示

表 1

スラブの支間 200cm, ν : ポアソン比												
載荷状態	その 1		その 2		その 3		その 4		その 5		その 6	
x (cm) \ ν	0.14	0.16	0.14	0.16	0.14	0.16	0.14	0.16	0.14	0.16	0.14	0.16
M_x/P の 値												
20	0.141	0.143	0.166	0.169	0.206	0.208	0.162	0.163	0.126	0.127	0.145	0.147
40	0.227	0.228	0.246	0.251	0.242	0.246	0.212	0.213	0.195	0.197	0.199	0.204
60	0.269	0.273	0.266	0.269	0.255	0.258	0.255	0.258	0.219	0.222	0.188	0.190
80	0.276	0.280	0.260	0.263	0.291	0.295	0.263	0.267	0.202	0.205	0.134	0.137
100	0.255	0.258	0.294	0.298	0.292	0.296	0.237	0.241	0.141	0.144	0.111	0.114
120	0.276	0.280	0.294	0.298	0.263	0.267	0.166	0.168	0.104	0.107	0.107	0.109
140	0.269	0.273	0.260	0.263	0.190	0.191	0.105	0.107	0.086	0.101	0.120	0.122
160	0.227	0.228	0.187	0.188	0.107	0.111	0.064	0.065	0.083	0.083	0.170	0.172
180	0.141	0.143	0.082	0.083	0.051	0.051	0.030	0.032	0.109	0.109	0.173	0.174
M_y/P の 値												
20	0.094	0.096	0.105	0.109	0.119	0.123	0.100	0.102	0.080	0.082	0.084	0.087
40	0.161	0.166	0.172	0.177	0.173	0.177	0.151	0.155	0.132	0.136	0.129	0.133
60	0.201	0.205	0.201	0.208	0.201	0.205	0.186	0.190	0.154	0.158	0.133	0.137
80	0.216	0.220	0.215	0.219	0.222	0.227	0.194	0.198	0.148	0.151	0.115	0.116
100	0.213	0.219	0.227	0.233	0.222	0.227	0.177	0.181	0.120	0.123	0.101	0.104
120	0.216	0.220	0.223	0.227	0.198	0.204	0.137	0.140	0.096	0.097	0.098	0.098
140	0.201	0.205	0.194	0.198	0.151	0.154	0.094	0.097	0.079	0.079	0.102	0.104
160	0.161	0.166	0.138	0.141	0.096	0.097	0.060	0.061	0.066	0.069	0.111	0.114
180	0.094	0.096	0.066	0.069	0.046	0.033	0.029	0.030	0.058	0.060	0.089	0.093

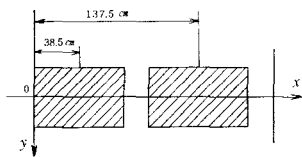


図9 載荷状態 その7

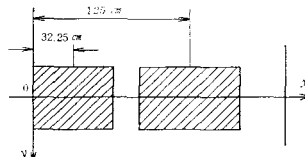


図10 載荷状態 その8

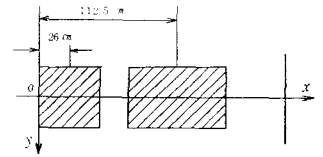


図11 載荷状態 その9

す。これから図11の載荷状態が最大値を与えていることが分る。第3段階としてこの図11の状態では x 軸上で 2 cm 間隔に M_x , M_y を計算する。この結果を表3に示す。この表に示される最大値をもって求める最大曲げモーメントとした。以上は支間長 2 m の場合について述べたが他の場合についてもこれと同様に考えた。ただ支間長が長くなるにつれて載荷される輪荷重の数が増えるので少し手数がかかる。支間が 3 m, 4 m, 5 m の場合について最終的な結果のみを図12, 図13, 図14と表4, 表5, 表6に示す。これらを取りまとめた最大値を生ずる x 座標値と最大値を表7に示す。示方書の計算値は道路橋示方書

・同解説の174ページのグラフから読みとった値である。

§ 4 計算結果の考察

スラブの断面力を薄板理論で求める場合には、輪荷重が舗装・スラブを通じて広く分散するものとするのは適切でないと言われている¹⁴⁾が、本文においては現行示方書の計算方針と全く同様に輪荷重は舗装・スラブを通じて45°の角度で分散するものとした。その他の計算上の仮定事項や計算条件は大体示方書の採用している方針に合わせるようにしたが、全く同一条件ではないので著者の計算値と示方書の計算値を直に比較対照することはできないけれども、条件の差などを考えながら著者の計算値と示方書の計算値について考える。計算の対象としたスラブの厚さは示方書の規定に合せて(4ℓ+11)cmとした、このスラブ厚は示方書の計算において採用しているスラブ厚よりも少し厚い。即ち支間2m, 3m, 4mにおいてそれぞれ2cm, 3cm, 4cmずつ厚い。示方書は支間5mの場合の計算はしていないが外国の規定では6mまでの値を与えている例もあるので5mまで計

表 2

スラブの支間 200cm, ν : ポアソン比						
載荷状態	その 7		その 8		その 9	
x (cm) \ ν	0.14	0.16	0.14	0.16	0.14	0.16
M_x/P の 値						
70	0.2631	0.2686	0.2548	0.2575	0.2603	0.2645
80	0.2534	0.2562	0.2603	0.2631	0.2838	0.2880
90	0.2534	0.2575	0.2811	0.2852	0.2963	0.3005
100	0.2700	0.2742	0.2935	0.2977	0.3005	0.3046
110	0.2852	0.2894	0.2977	0.3018	0.2977	0.3005
120	0.2880	0.2922	0.2935	0.2977	0.2852	0.2894
130	0.2825	0.2866	0.2797	0.2838	0.2658	0.2686
M_y/P の 値						
70	0.2049	0.2091	0.2077	0.2118	0.2105	0.2160
80	0.2077	0.2118	0.2146	0.2188	0.2215	0.2257
90	0.2118	0.2160	0.2229	0.2271	0.2271	0.2326
100	0.2160	0.2215	0.2271	0.2326	0.2285	0.2354
110	0.2215	0.2257	0.2285	0.2326	0.2257	0.2312
120	0.2188	0.2243	0.2229	0.2271	0.2160	0.2202
130	0.2132	0.2188	0.2105	0.2160	0.1994	0.2049

表 3

スラブの支間 200cm ν : ポアソン比		$x=90$ cm	92	94	96	98	100	102	104	106	108
M_x/P の値	$\nu=0.14$	0.2966	0.2981	0.2992	0.3000	0.3006	0.3006	0.3005	0.2999	0.2992	0.2981
	$\nu=0.16$	0.3005	0.3020	0.3031	0.3039	0.3043	0.3045	0.3043	0.3038	0.3030	0.3020
M_y/P の値	$\nu=0.14$	0.2281	0.2289	0.2294	0.2297	0.2298	0.2297	0.2293	0.2287	0.2279	0.2269
	$\nu=0.16$	0.2336	0.2343	0.2350	0.2351	0.2352	0.2351	0.2348	0.2341	0.2333	0.2323

算した。

スラブの厚さが厚くなると荷重分散幅が大きくなる。分散幅が大きくなると曲げモーメントの値は小さくなる。詳しい報告はないが文献(2)によれば舗装厚さ5cmを無視すれば曲げモーメントは約10%大き目になると言われているから荷重分散幅に対する舗装とスラブの差を考えて計算された曲げモーメントの値を考えてみると、床版厚さが2cm, 3cm, 4cmずつ厚くなるにつれて曲げモーメントはそれぞれ約2, 3, 4%ずつ減少しているとみられる。

次はスラブのポアソン比の問題であるが、示方書では $\frac{1}{6}$ としている。著者はポアソン比0.14, 0.16の二通りの場合について計算したがこの場合の計算結果の違いより考えてみれば、ポアソン比を0.16とし

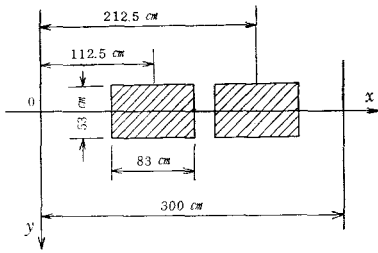


図 12

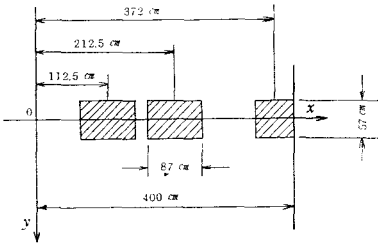


図 13

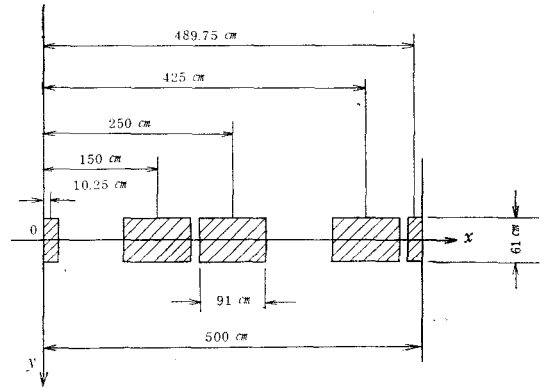


図 14

表 4

スラブの支間 300cm		x = 122cm	124	126	128	130	132	134	136	138	140	142	144	146	148	150
ν : ポアソン比																
M_x/P の値	ν = 0.14	0.3855	0.3870	0.3884	0.3894	0.3901	0.3905	0.3906	0.3905	0.3901	0.3895	—	—	—	—	—
	ν = 0.16	0.3909	0.3923	0.3936	0.3948	0.3956	0.3960	0.3960	0.3959	0.3956	0.3949	—	—	—	—	—
M_y/P の値	ν = 0.14	—	—	—	—	—	0.3176	0.3183	0.3189	0.3193	0.3194	0.3197	0.3194	0.3193	0.3189	0.3184
	ν = 0.16	—	—	—	—	—	0.3246	0.3255	0.3259	0.3263	0.3266	0.3267	0.3266	0.3262	0.3259	0.3252

表 5

スラブの支間 400cm		x = 180cm	182	184	186	188	190	192	194	196	198	200
ν : ポアソン比												
M_x/P の値	ν = 0.14	—	0.4769	0.4781	0.4791	0.4798	0.4805	0.4810	0.4811	0.4811	0.4809	0.4806
	ν = 0.16	—	0.4837	0.4851	0.4859	0.4866	0.4874	0.4879	0.4881	0.4881	0.4877	0.4873
M_y/P の値	ν = 0.14	0.4029	0.4034	0.4038	0.4043	0.4044	0.4043	0.4043	0.4041	0.4037	0.4033	—
	ν = 0.16	0.4115	0.4119	0.4125	0.4128	0.4130	0.4130	0.4130	0.4129	0.4126	0.4121	—

表 6

スラブの支間 500cm		x = 220cm	222	224	226	228	230	232	234	236	238	240
ν : ポアソン比												
M_x/P の値	ν = 0.14	—	0.5714	0.5719	0.5723	0.5727	0.5730	0.5730	0.5731	0.5729	0.5725	0.5719
	ν = 0.16	—	0.5798	0.5805	0.5808	0.5810	0.5813	0.5813	0.5815	0.5812	0.5808	0.5802
M_y/P の値	ν = 0.14	0.4919	0.4921	0.4925	0.4928	0.4928	0.4927	0.4925	0.4924	0.4920	0.4917	—
	ν = 0.16	0.5021	0.5025	0.5029	0.5030	0.5030	0.5030	0.5029	0.5026	0.5024	0.5020	—

表 7

ス ラ ブ の 支 間 長 (cm)			200	300	400	500
M_x/P	原点からの距離 x (cm)		100	134	194	234
	著者の計算値 (A)	$\nu = 0.14$	0.3006	0.3906	0.4811	0.5731
		$\nu = 0.16$	0.3045	0.3960	0.4881	0.5815
	示方書の計算値(B)		$\nu = 1/6$	0.278	0.385	0.490
	(A) と (B) の 差 (%)		9.5	2.9	- 0.4	- 1.9
M_y/P	原点からの距離 x (cm)		98	142	188	228
	著者の計算値 (C)	$\nu = 0.14$	0.2298	0.3197	0.4044	0.4928
		$\nu = 0.16$	0.2352	0.3267	0.4130	0.5030
	示方書の計算値(D)		$\nu = 1/6$	0.212	0.305	0.395
	(C) と (D) の 差 (%)		10.9	7.1	4.6	4.4

て計算しても $1/6$ として計算しても結果にはほとんど差はないと考えられる。

次は前輪の影響であるがこれはスラブの支間によっても違いのあるところである。(3) 式から分るように支間が大きくなると影響がでる。支間が 1 m , 2 m の計算例¹²⁾によると前輪が後輪位置の曲げモーメントに及ぼす影響は全くない。支間 4 m の場合の計算例¹³⁾によると $3 \sim 4\%$ 影響を与えていることが分る。本文の計算では前輪の影響を含めていないので、支間 3 m , 4 m , 5 m の場合につい

ては少し小さ目の値になっている。以上は示方書と著者の計算の仮定上の差にもとづく計算結果の違いである。

終りに T 荷重の組合せ方と載荷方法、最大曲げモーメントを生ずる位置について考える。載荷すべき T 荷重の組合せ方とそれぞれの具体的載荷位置には無数の場合があり又曲げモーメントを計算すべき x 軸上の点も無数にあるので、支間が長くなった場合については本文で取り上げた程度の載荷状態だけではなお十分ではないかもしれない。著者の計算結果と示方書の計算値を対比して著しく差のある点は支間 2 m における場合の M_x , M_y である。この場合においては M_x , M_y ともに大体支間中央で最大値を示しているにもかかわらず示方書の計算値がスラブ厚の差を考えれば実質 10% 以上も小さい値を示している。これは示方書で採用した T 荷重の載荷状態が不適当であったことを示すものと考えられる。支間 3 m , 4 m , 5 m のいずれの場合にも最大曲げモーメントの生ずる点は支間の中央から少し離れている。そして M_x の最大値と M_y の最大値を生じる点は一致しているとは言えない。この研究では M_x に最大値を与える載荷状態と M_y に最大値を与える載荷状態は同一であるとみなしたが、厳密なことを要求するならば同一載荷状態ではないかもしれない。なお RC スラブのポアソン比は慣用的には $1/6$ を採用しているが¹⁴⁾、コンクリートの応力度・圧縮強度などによってポアソン比はかなりの範囲で変化するからさらにポアソン比が $0.18 \sim 0.25$ の場合についても計算してみる必要がある^{9), 15)}。

現実の交通状況を更に細かく観測・分析して T 荷重自体の妥当性と現行の載荷法の妥当性を再検討してみることも重要なことではないかと思われる¹⁶⁾。

§ 5 あ と が き

引続き検討してみるべき事項としてはより広範囲に及ぶ(現行の載荷条件のもとにおいて) T 荷重の具体的載荷方法、スラブのポアソン比の影響などがある、根本的問題はスラブを連続版として M_x , M_y を求めることである。また直交異方性版とみて研究をつづけることも大切である。

本文の計算結果と示方書の計算値を直接比較対照することはできないが表 7 で明らかのように多少の差がある。この差はスラブ支間長が大きくなると減少しているがスラブ厚の差、前輪荷重の影響を含めると支間長によって生じる差はなくなるものと考えられる。 M_x において大体 10% 前後の差(示方書の計算値が 10% 危険側の値をとっている)を示し、 M_y においてはこの差は少し大きくなり最大で 15% くらいに達するのではないかと推測している。この差の正確な数値については示方書と計算条件を全て同

一にして、載荷状態などは今以上に細分して結果を明らかにしたい。

なお舗装厚さは示方書の場合と同じの5 cmとし衝撃についても示方書における計算の場合と同一の衝撃公式を用いて計算した。表1から表7に示す値は全て衝撃を含む値である。

参 考 文 献

- 1) 前田・松井：鉄筋コンクリート床板に関する二、三の考察（その3），土木学会学術講演概要集第1部，28（1973），321—22
- 2) 前田・松井・小島：道路橋RC床版のモーメント式に関する2，3の考察，土木学会学術講演概要集第1部，29（1974），157—158
- 3) 佐藤・成岡：支持桁のたわみを考慮した鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の曲げモーメントについて，土木学会論文報告集，175（1970），1—13
- 4) 丸上晴朗：床版応力の解析上の問題点，呉高専研究報告，11，1（1975），113—114
- 5) 前田・松井：鉄筋コンクリート床板に関する二、三の考察，土木学会関西支部年次講演会概要（1971），V，17，1
- 6) 長谷川・秋山・西野：片面で補剛された板の解析，土木学会論文報告集，240（1975），24
- 7) 小松・橋：鋼橋の理論と計算，（山海堂，1965），99—100
- 8) 丸上晴朗：平板の曲げモーメントの計算，呉高専研究報告，10，1（1974），90—91
- 9) S.P. Timoshenko and S.W. Kreiger：Theory of Plates and Shells, (McGRAW-HILL, New York, 1959), Chap. 5
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，（日本道路協会，1973），171—3
- 11) 倉田・園田・堀川：道路橋床版の輪荷重点下の応力の評価，土木学会学術講演概要集第1部，30（1975），213—5
- 12) 石崎和美：平板の応力解析（未発表），1974
- 13) 中村達男：平板の応力解析（未発表），1975
- 14) （例えば）土木学会：昭和49年度版コンクリート標準示方書，（土木学会，1974），23
- 15) 横道英雄：コンクリート橋，（技報堂，1972），44—5
- 16) 國広哲男：土木施工，12，12（1971），191

（昭和51年5月11日受付）

コンクリートくいの打撃引張応力に関する実験的研究

(土木工学科) 久 良 喜 代 彦

Experimental Study on the Driving Tensile Stress on the Concrete Pile

Kiyohiko Kurō

An experimental study on stress waves produced by the longitudinal impact on mortar columns used as the models of concrete piles was made. The strain waves and the displacement velocity waves at the defined points of the column were observed with a dual beam synchroscope.

The influence of the cushion placed between striker and column on the driving stress, the mechanism of the generation of driving tensile stress, and the internal friction of concrete piles were studied, based on the test data obtained by the experiment. Furthermore, the adaptability of the Smith's method for the evaluation of the driving tensile stress was examined.

§ 1 ま え が き

コンクリートくいを軟弱地盤の厚い層の中に打込むような場合には、打撃応力波はくい先端で引張波として反射する。このためにくいに引張破壊の生ずる恐れがある。

Smith のくい打ち解析法¹⁾は打撃応力の発生・伝ばの状況およびくいの挙動を最も忠実に追跡することが出来るが、引張応力については実際に発生するものよりも高めの値が得られるという批判²⁾がなされている。

本研究はコンクリートくいの模型としてのモルタル角柱に縦衝撃を加え、その際に発生する応力波形を観測し、それを基にして、クッションの打撃応力におよぼす影響、引張応力の発生状況およびコンクリートの内部摩擦について調査し、引張応力推定に関する Smith の解法の適要性について検討を加えようとするものである。

§ 2 Smith の解法の概要

Smith はくい打ち解析法として

$$\frac{W}{g} \cdot \frac{\partial^2 D}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K \cdot \frac{\partial D}{\partial x} \right) = -R \quad (2.1)$$

W : 重量, D : 変位置, R : 外部抵抗, K : ばね定数

を直接解くかわりに、これと同値の関係にある次の方程式群 (2.2)~(2.5) を解く数値解析法を開発した。

まずハンマー、クッション、くい、地盤の系列を 図2.1 に示すように重量をばねで連ねた形に表現する。

一方、衝撃が作用した時間を短い時間間隔 ΔT に分割する。この時、系列の任意の部分 m の時間間隔

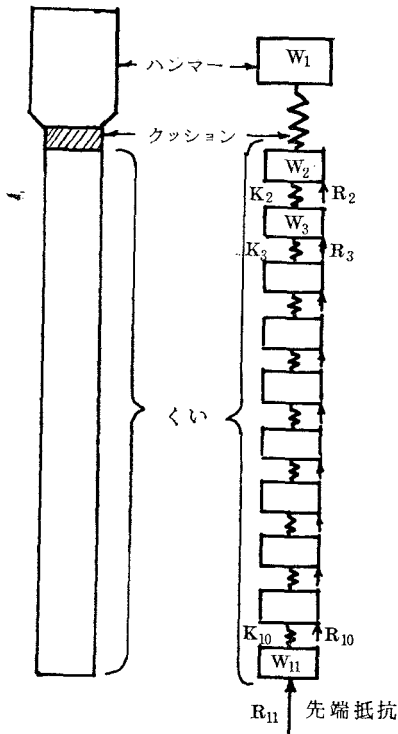


図2・1 計算目的のためのくいの表現方法

ΔT の間の挙動は次の方程式群で表わされる。

$$D_m(t) = D_m(t-1) + V_m(t-1) \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

$$C_m(t) = D_m(t) - D_{m+1}(t) \quad (2.3)$$

$$F_m(t) = K_m \cdot C_m(t) \quad (2.4)$$

$$V_m(t) = V_m(t-1) + (F_{m-1}(t) - F_m(t) - R_m(t)) \cdot \Delta T \cdot g / W_m \quad (2.5)$$

ここに、

$C_m(t)$: 時刻 t におけるばね m の圧縮量 (cm)

$D_m(t)$: " " " 重量 m の変位量 (cm)

$F_m(t)$: " " " ばね m のばね力 (kg)

K_m : ばね m のばね定数 (kg/cm)

ΔT : 時間間隔の長さ

$V_m(t)$: 時刻 t における重量 m の速度 (cm/sec)

$R_m(t)$: " " " 重量 m に作用する地盤抵抗 (kg)

初期条件として衝撃速度 $V_1(0)$ を与え、系列の各部分 m 毎に上記の基本方程式を上から順に解いて行く、これらの演算を各時間間隔毎に反覆繰り返すことにより、系列各部の変位 $D_m(t)$ 、力 $F_m(t)$ 、速度 $V_m(t)$ を求めることが出来る。

クッション、くい、地盤の非弾性的性質に対しては、上記の基本方程式の中の (2.4) 式に付加条件、又は補足が加えられる。

まず、クッションばねに生ずる力 $F_1(t)$ については (2.4) 式のかわりに次式を用いる。

$$C_1(t) \geq C_{1max} \quad \text{ならば}$$

$$F_1(t) = K_1 \cdot C_1(t)$$

$$C_{1max} = C_1(t)$$

$$C_1(t) < C_{1max} \quad \text{ならば}$$

$$F_1(t) = K_1 \cdot \{C_{1max} - (C_1(t)) / e_1^2\}$$

ここに、 e_1 : クッションの反撓係数

C_{1max} はその初期値を 0 とする。

地盤抵抗 $R_m(t)$ は次式で表わす。

$$R_m(t) = K_m'(D_m(t) - D_m'(t)) \cdot (1 + J_m \cdot V_m(t)) \quad (2.7)$$

ここに

K_m' : 地盤抵抗を表わすばね力のばね定数 (kg/cm)

D_m' : 重量 m 位置の地盤の塑性変位量 (cm)

J_m : " " " の減衰係数 (sec/cm)

くいコンクリートの内部摩擦については後述する。

§ 3 コンクリートくいの内部摩擦

(1) 打撃応力の減衰について

コンクリートの内部摩擦による打撃応力の減衰については余りよくわかっていないが、くい打ちの際、くい頭に伝達される高歪圧縮波はくい頭近傍で急速に（比較的短距離の間に）減衰するが³⁾、それ以後はくい先端に到るまでの間にはほとんど減衰しないものと思われる^{4),5)}。しかし、水平に吊したヒューム管についての衝撃実験⁶⁾では管を伝ばする応力波は管先端で反射する際にかなりの減衰を示している。これらのことから、コンクリートの内部摩擦は引張応力の推定上問題になるものと思われる。

(2) 内部摩擦を表わす力学的モデル

a. Smith の減衰モデル Smith はコンクリートの内部摩擦を考慮する必要がある場合には、(2.5)式の $F_m(t) = K_m \cdot C_m(t)$, $m \geq 2$ のかわりに Voigt 型のモデル(図3.1(a))より導かれる次式を用いることを推奨している。

$$\begin{aligned} F_m(t) &= K_m \cdot C_m(t) + B \cdot K_m \cdot (C_m(t) \\ &\quad - C_m(t-1)) / \Delta T \\ K_m &= A_m \cdot E_m / l_m \end{aligned} \quad (3.1)$$

ここに B : 内部摩擦係数 (sec)

A_m , E_m , l_m : くい要素 m の断面積 (cm^2), 弾性係数 (kg/cm^2), 分割長 (cm)

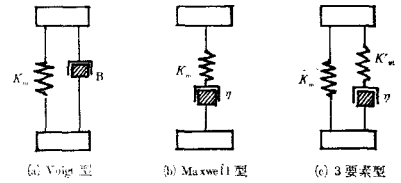


図3.1 内部摩擦を表わす力学的モデル

$$\text{図3.1(a) のダッシュボットの粘性係数を } \eta \text{ とすると, } B = \eta / K_m \quad (3.2)$$

の関係がある。Smith は B の値として $B = 0.0000167 \text{ sec}$ の値を用いることを推奨¹⁾している。Samson 等⁶⁾は $B = 0.000133 \text{ sec}$ を用いていると妥当な結果が得られるとしている。

波動理論に⁷⁾よると、内部摩擦係数 B は対数減衰率 Δ を用いて次式で表わされる。

$$B = \frac{\Delta}{2\pi^2 f}, \quad f : \text{振動数 (1/sec)} \quad (3.3)$$

くい打ち時における応力波の立上がり時間を $t = 5 \text{ ms}$, 対数減衰率を $\Delta = 0.05$ とすると、

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \times 0.005} = 50 \text{ sec}^{-1} \text{ として } B = 0.00005 \text{ sec となる。}$$

b. Maxwell 型モデル この型のモデル(図3.1(b))から導かれる方程式は次の通りである。

$$F_m(t) = \frac{F_m(t-1) + K_m \cdot (C_m(t) - C_m(t-1))}{K_m \cdot \Delta T / \eta + 1.0} \quad (3.4)$$

η : ダッシュボットの粘性係数 ($\text{kg} \cdot \text{sec/cm}$)

c. 3要素型のモデル⁸⁾ この型のモデル(図3.1(c))から次式が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} F_m'(t) &= \frac{F_m'(t-1) + K_m' \cdot (C_m(t) - C_m(t-1))}{K_m' \cdot \Delta T / \eta + 1.0} \\ F_m(t) &= K_m \cdot C_m(t) + F_m'(t) \\ K_m &= A_m \cdot E_m / l_m, \quad K_m' = A_m \cdot E_m' / l_m \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

ここに

$F_m'(t)$: 時刻 t におけるばね K_m に生ずる力 (kg)

K_m, K_m' : それぞればね K_m, K_m' のばね定数 (kg/cm)

E_m, E_m' : それぞればね K_m, K_m' に対応する弾性係数 (kg/cm^2)

Lowery⁸⁾ 等はいくコンクリートの動弾性係数および静弾性係数をそれぞれ E_D, E_S とするとき

$$E_m = E_S, E_m' = E_D - E_S \quad (3.6)$$

としてゐる。

d. その他の場合 くいコンクリートの力—変位特性を 図 3.2(a), (b) のように仮定することによっても内部摩擦を表わすことが出来る。図中で e_1 は反撥係数を表わす。

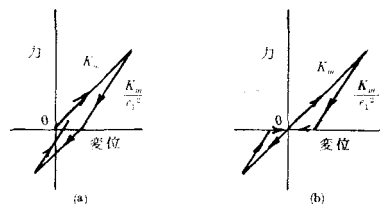


図3.2 内部摩擦を表わす力—変位特性

§ 4 実験の概要

衝撃装置の概要を図4.1に示す。くい模型は $5 \times 5 \times 100cm$ のモルタル角柱で軸方向鉄筋として $\phi 3mm$ のもの4本を用い、同径の帯鉄筋を $10cm$ 間隔に配置した。弾性係数 $3 \times 10^5 kg/cm^2$ 、単位重量 $0.0023 kg/cm^3$ である。柱頭から $10cm, 70cm$ のところ(断面 A, B)に共和ゲージ K30A1 を貼布した。又、断面 A のところへ直線速度変換器 101~001 のピックアップを取りつけた。角柱の上に置くクッションとしては松、かし、ナイロンの3種類のものを用いたが、その特性を表4.1に示す。ただし、計算には静的弾性係数を用いた。 $\phi 10cm \times 20cm$ のコンクリート型枠に乾燥砂をつめたものを基礎地盤とした。重錘は $2.418kg$ と $4.357kg$ の2通りのものを用い、落高 $10cm$ 又は $40cm$ で自由落下させて角柱に打撃を加えた。その時に得られた応力波形をシンクロスコープ D S 5015 で観測した。

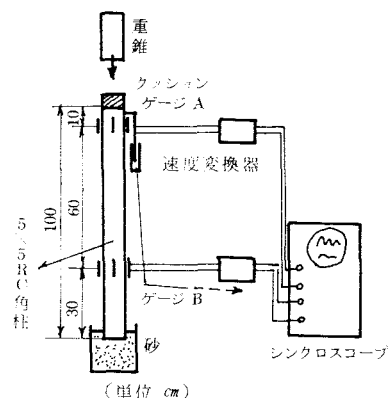


図4.1 衝撃実験装置

§ 5 実験結果と理論解との比較検討

前節で述べた実験に Smith の解法を適用した。その場合に用いた諸定数は次の通りである。

角柱分割数; $n=10$

時間間隔の長さ; $\Delta T = 0.000005 \text{ sec}$

ハンマー重量; $W_1 = 2.418, 4.375 kg$

くい各部重量; $W_2 = W_3 = \dots = W_{11} = \gamma \cdot A_p \cdot l_p$

$$= 0.0024 \times 25 \times 10 = 0.6 kg$$

クッションのばね定数; $K_1 = A_c \cdot E_c / l_c = 25 \times E_c / 10$,

ただし E_c は静的弾性係数

くい各部のばね定数; $K_2 = K_3 = \dots = K_{10} = A_p \cdot E_p / l_p$

$$= 25 \times 300000 / 10 = 750000 kg/cm$$

先端地盤極限抵抗; $R_{up} = 600 kg$

許容弾性変位量; $Q = 0.25 cm$

表4.1 使用クッションの特性

材料	面積 (cm^2)	厚さ (cm)	弾性係数 (kg/cm^2)	
			静的	動的
まつ	25	4※	1900	2200
かし	25	4※	4300	4400
ナイロン	25	2	8100	3800

※ 横目 $2cm$ 厚 2 枚合板

先端地盤のばね定数； $K_{11}' = R_{up}/Q = 2400 \text{ kg/cm}$

〃 〃 の減衰係数； $J = 0.005 \text{ sec/cm}$

落高； $h = 10, 40 \text{ cm}$

衝撃速度； $V_1 = \sqrt{2gh} = 140, 280 \text{ cm/sec}$

クッションの反撓係数； $e_1 = 0.5$

くいコンクリートの内部摩擦の取扱については後述する。

実験結果と理論解とを比較した結果は次の通りである。

(1) 断面Aの最大圧縮応力 σ_{Amax}

σ_{Amax} の実測値と理論解とを比較すると、表5・1 のようになる。これを見るとクッションが硬いほど理論解が実測値を上まわる度合は大きくなっている。これはクッションと応力との間に空隙が存在する一方、打撃力が小さいために、クッションが硬いほど打撃時にこの空隙が埋まりにくくそのために応力の伝達が悪くなるためと考えられる。

表5・1 σ_{Amax} および σ_{Bmin} の実測値と理論解

落 高 (cm)	重 錐 重量 (kg)	クッション	σ_{Amax} (kg/cm ²)		σ_{Bmin} (kg/cm ²)		
			実 測 値	理 論 解	実 測 値	理 論 解	
				B = 0.0		B = 0.0	B = 10 ⁻⁴
10	2.418	まつ	14.4	22.7	0.0	-6.3	-4.3
		かし	21.3	34.9	-1.3	-12.8	-10.8
	3.457	まつ	22.1	27.3	0.0	-3.1	-1.4
		かし	24.4	41.6	0.0	-10.1	-7.0
40	2.418	まつ	43.3	45.5	-3.2	-11.0	-7.0
		かし	47.1	69.9	-14.4	-23.9	-19.9
		ナイロン	50.8	113.0	-22.5	-82.7	-67.3
	3.457	まつ	53.3	54.6	0.0	-2.7	0.0
		かし	65.9	83.2	-3.8	-16.7	-10.7
		ナイロン	80.0	133.6	-20.0	-60.9	-51.5

(2) クッションの動的弾性係数

ハンマーから地盤に到るくい打ちの系列から重錐およびクッションを取り除き、柱頭に断面Aの実測応力 $\sigma_A(t)$ と角柱断面積 A_p との積 $F(t) = \sigma_A(t) \cdot A_p$ を作用させて、この場合のハンマーおよびくいの挙動を上述の波動理論を用いて解き、クッションの圧縮量の時間的な変化を求める。上述の $F(t)$ とクッションの圧縮量からクッションの動的応力—歪み曲線が得られる。この曲線から割線係数として求められる弾性係数をここでは動的弾性係数と呼ぶことにする。図5・1 に動的応力—歪み曲線の1例を示す。

図中の打撃効率 e はクッションと角柱間の不連続面における打撃エネルギーの損失を考慮に入れたものである。打撃効率 e の取り方で応力—歪み曲線の形状は変化するが動的弾性係数はほぼ一定と見なされる。かようにして得られた動的弾性係数を静的弾性係数と比較すると表5・1 のようになる。これを見るとクッションが硬い場合には動的弾性係数

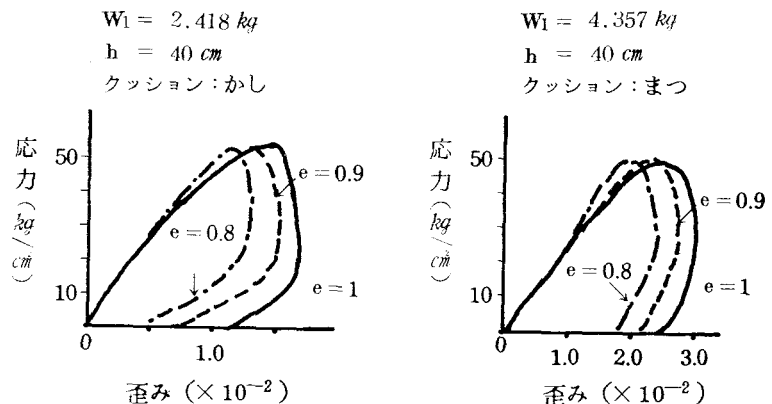


図5・1 クッションの動的応力—歪み曲線

の値は相対的に低下している。これは(1)で述べた理由によるもので、動的弾性係数はクッションの動的性質のみならずクッションと角柱との接触状況によって変動することになる。

(3) 断面Bの最小引張応力

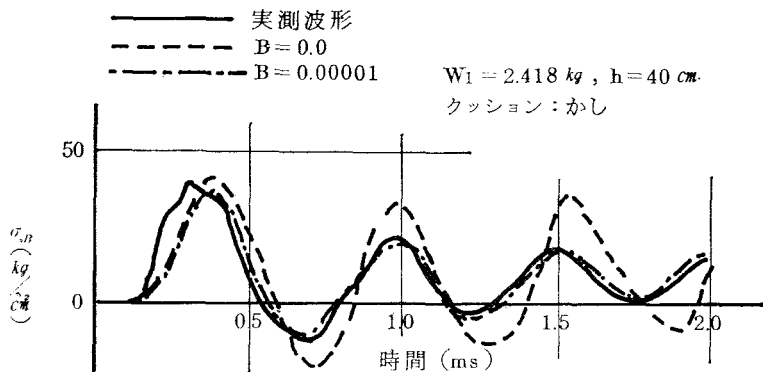
断面Bの最小引張応力 σ_{Bmin} の実測値と理論解を表5・1に併記する。 σ_{Bmin} の計算には Smith の減衰モデルによる (3・1) 式を用い、内部摩擦係数は $B=0$ および 0.00001 の2通りとした。なお、 σ_{Amax} の値は $B=0$ の場合と $B=0.00001$ の場合とでは差はなかった。

表5・1をみると、 σ_{Bmin} の理論解としては内部摩擦を考慮した場合の方が実測値に近い結果が得られている。しかしその場合でもなお理論解は絶対値において一般に実測値より大きな値を示している。その理由は σ_{Amax} の理論解がすでに実測値を上まわっていることにあってと思われる。

しかし、 σ_{Bmin} の実測値および理論解はともに次のような場合にその絶対値が小さくなっている。

- i クッションが軟い場合
- ii 重錐が重い場合
- iii 落高が小さい場合

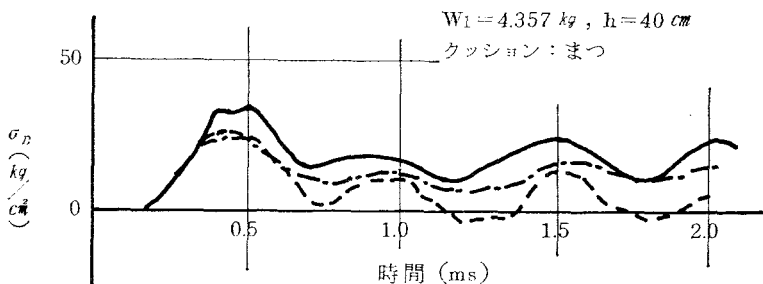
これらの事はいずれもくい打ちの場合に常に言われていることであり、Smithの解法は引張応力推定に関して打撃条件の変化に対応することが出来るものと考えられる。



(4) 減衰モデルの検討

上述の柱頭に

$F(t) = \sigma_A(t) \cdot A_D$ を作用させる方法で得られた理論波形を実測波形と比較することにより § 3 で述べた内部摩擦を表わす各種の減衰モデルについて検討する。



a. Smithの減衰モデルについて 重錐重量 $W_1 = 2.418 \text{ kg}$, 落高 $h = 40 \text{ cm}$, クッション: かし 4 cm 厚の場合について、Smithの減衰モデルより得られる(3・1)式を用い、内部摩擦係数 B の値を種々にかえて σ_{Bmin}

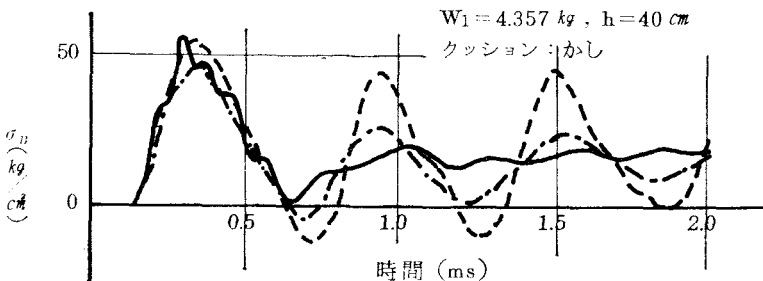


図5・2 σ_B の実測波形と理論波形との比較

の値を求めると表5・2のようになる。これを見ると、 B の値が大きくなるにつれて σ_{Bmin} の絶対値の理論値は小さくなっており、 $B = 0.00001 \text{ sec}$ の時に σ_{Bmin} の実測値 -13 kg/cm^2 に最も近くなっている。

種々の打撃条件の下における σ_B の実測応力波形と理論応力波形を比較すると図5・2のようになり $B =$

0.00001 sec のときに理論波形は実測波形に最も近い結果が得られる。

b. Maxwell 型のモデルについて 図3・1の(b)で $K_m = A_m \cdot E_m / l_m$ については $E_m = E_s = 300000 \text{ kg/cm}^2$ とし、粘性係数 η の値を変化させると η が小さくなるほど減衰の度合は著しくなり $\eta = 500 \text{ kg} \cdot \text{sec/cm}$ のとき σ_{Bmin} の値、および σ_B の理論的応力波形はともに実測値および実測波形に最も近いものが得られる。しかし、後述するようにこの場合の理論的力—変位曲線は変位が著しく大きくなり実際とは合わない。

c. 3要素型のモデルについて (3・5)式で $E_m = E_s = 300000 \text{ kg/cm}^2$ とし、 E_m' および η の値を種々にかえて、 σ_{Bmin} の理論解を求めると表5・3のようになる。これを見ると、 E_m' の値が大きくなるほど $|\sigma_{Bmin}|$ は小になり、一方 η については $\eta = 10 \text{ kg/sec/cm}$ のとき $|\sigma_{Bmin}|$ は最小になる。

Smith のモデルにおける内部摩擦係数の最適値 $B = 0.00001 \text{ sec}$ に対応する粘性係数 η は(3・2)式より

$$\eta = B \cdot K_m = B \cdot A_m \cdot E_m / l_m = 0.00001 \times 3 \times 10^5 / 10 = 7.5 \text{ kg} \cdot \text{sec/cm}$$

となる。これは上記の3要素型モデルにおける η の最適値 $10 \text{ kg} \cdot \text{sec/cm}$ におおよそ対応している。

d. 図3・2(a)および(b)の力—変位曲線を用いる場合 いずれの場合にも反撓係数 e_1 を小さくするほど $|\sigma_{Bmin}|$ は小さくなり図3・2(a)の場合には $e_1 = 0.8$ 、図3・2(b)の場合は $e_1 = 0.9$ のときに理論波形は実測波形に近づくが、適合性はあまり良くない。 e_1 を小さくすると理論波形の進行が速くなる。

各々の場合の理論的力—変位曲線は図5・3のようになる。この中で(b)の Ma-

xwell 型のモデルを用いた場合および(d)の力—変位曲線を図3・2(a)のように仮定した場合の理論的力—変位曲線は変位が大きすぎるように思われる。しかし、他のモデルの場合についても力—変位曲線が実験的に得られていないのでその妥当性の検討は今後の研究にまたねばならない。

表5・2 Smith のモデル σ_{Bmin} の理論解

内部摩擦係数 B (sec)	断面Bの最小引張応力 σ_{Bmin} (kg/cm ²)
0.0	-22.9
0.000005	-17.5
0.00001	-13.7
0.00002	-7.9
0.00005	+1.0

表5・3 3要素型モデルによる σ_{Bmin} の理論解

粘性係数 η (kg·sec/cm)	σ_{Bmin} の理論値 (kg/cm ²)		
	E_m' (kg/cm ²)		
	2×10^4	5×10^4	10^5
0.1	-22.6	-22.6	-22.6
1.0	-21.8	-21.6	-21.5
10.0	-20.1	-16.8	-14.6
100.0	-21.2	-19.0	-14.8
1000.0	-21.6	-19.9	-16.9

$W_1 = 2.418 \text{ kg}$

$h = 40 \text{ cm}$

クッション：かし

$E_m = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

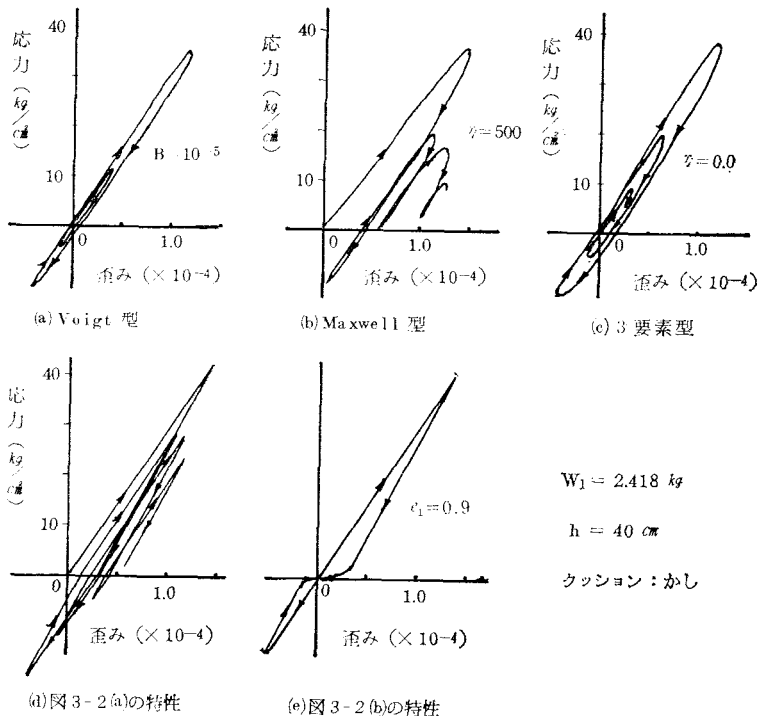


図5・3 理論的応力—変位曲線

上記の各モデルの中では Smith のモデルが簡単で扱いやすくしかも適合性が最も良好である。3要素型のモデルは煩雑な割合には適合性は左程よくない。

Smith のモデルにおける内部摩擦係数 B は本実験では $B=0.00001 \text{ sec}$ 程度が妥当であったが、実際のくい打ちの場合には $B=0.0001 \text{ sec}$ 程度が妥当と思われる。この両者の相違は次式で示されるように応力波立上り時間 t_1 の差異によるものと思われる。

(3.3)式より

$$B = \frac{J}{2\pi^2 \cdot f} = \frac{J \cdot T}{2\pi^2} = \frac{J \cdot 4t_1}{2\pi^2} = \frac{2 \cdot J}{\pi^2} \cdot t_1$$

実際のくい打ちの場合の応力波の立上り時間は $t_1=3 \sim 5 \text{ ms}$ 程度で本実験の場合の $t_1=0.3 \sim 0.4 \text{ ms}$ の10倍程度になっている。対数減衰率 J の値はあまり変わらないと考えられるので、実際のくい打ちの場合の B の値は本実験の場合の約10倍程度になるものと思われる。

(5) 速度波形

速度変換器によって得られる断面 A の変位速度 V_A の波形と柱頭に

$F(t) = \sigma_A(t) \cdot A_p$ を作用させる方法で得られる理論的速度波形とを比較すると図5.4 のようになる。

速度変換器の追跡性については今後さらに検討したい。

§ 6 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。

i クッションが軟い場合には、Smith の解法に用

いるクッションの弾性係数として静的弾性係数を用いることが出来る。

ii クッションが硬い場合にはクッションとコンクリートの間の不連続面における打撃エネルギーの損失はかなり大きい。

iii Smith の解法は引張応力の発生状況を忠実に追跡することが出来るが、引張応力の理論解は絶対値において実測値よりも一般に大きな値が得られる。この理由の一つは普通くい頭最大応力の理論解が

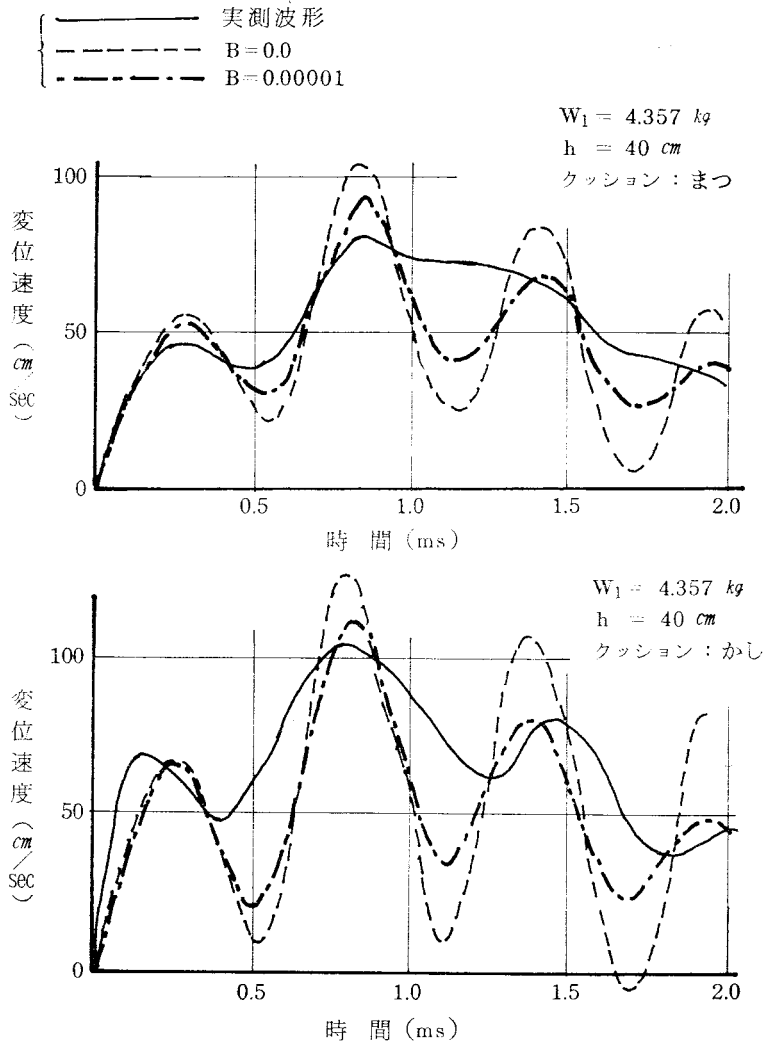


図5.4 実測速度波形と理論速度波形

すでに実測値よりも上まわって得られることである。

なお、引張応力の計算にはコンクリートの内部摩擦を考慮する必要がある。

iv 内部摩擦を表わすには Shith の減衰モデルが簡単でかつ適用性が良好である。

その際、内部摩擦係数 B は実際のくい打ちの場合には $B = 0.0001 \text{ sec}$ 程度として良いものと思われる。

v くいコンクリートの打撃時の力—変位曲線および変位速度—時間曲線（速度波形）については今後更に検討したい。

最後に終始御指導を頂いた京都大学工学部岡田 清教授に厚く感謝の意を表する。

計算には九州大学大型計算機および呉高専電子計算機を使用した。

参 考 文 献

- 1) A.E.L. Smith: "Pile Driving Analysis by the Wave Equation," ASCE, Aug. 1960
- 2) D.H. Lee: "Discussion of Theoretical and Practical Discussion of the Design, Testing and Use of Pretensioned prestressed Concrete Piling", by G.C. Strobel and John Herald.", PCI, Vol. 6, No. 3, September, 1961
- 3) 岡田 清・久良喜代彦・児島孝之: "コンクリート棒内を伝播する高歪圧縮波の減衰について", 土木学会第26回年次学術講演会集, 1971
- 4) 小野拓章・藤原幸実・中山紀男: "実物大くい供試体の打撃試験装置", セメント・コンクリート, No. 285, 1970
- 5) 岡田 清・久良喜代彦・児島孝之: "コンクリート管の打撃応力", 土木学会第25回年次学術講演会集, 1970
- 6) C.H. Samson, T.J. Hirsch, L.L. Lowery: "Computer Study of Dynamic Behavior of Piling", ASCE, ST4, Aug. 1963
- 7) H. Kolsky, "Stress Waves in Solids", Dover Publications, Inc., p. 101
- 8) L.L. Lowery, T.J. Hirsch, C.H. Samson: "Pile Driving Analysis-Simulation of Hammers, Piles, and Soil", Texas Transportation Institute, Aug. 1967

(昭和51年4月12日受付)

鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究 (第1報)骨組の剛性, 耐力, 変形に関して

(建築学科) 福 原 安 洋

Experimental Study on Reinforced Concrete Braced Frames (Report 1) On Stiffness, Strength and Ductility

Yasuhiro FUKUHARA

Eight specimens of one-storied and one-spanned reinforced concrete braced frames with one-tenth scale, were tested, subjected to alternating repeated horizontal loads at the top beam level with constant axial load at the tops of the columns. These tests were intended for obtaining some basic data on earthquake resistance capacities of reinforced concrete truss frames.

This report intends to show and discuss, stiffness, strength and ductility of reinforced concrete braced frames.

§ 1 緒 言

建築構造における耐震要素として, 鉄コンクリート構造物では, 壁板を用いるのが普通である。しかしながら, 壁板はその閉鎖性のため, 開口部を制限し, また, 建物を計画する上でも, 導線などの障害となっている。

これらの壁板の欠点を補う耐震要素として筆者らは, 鉄筋コンクリート筋違を考え, 実験研究を行ってきた^{1)~9)}。その結果, 主筋の引張降伏破壊形の筋違入骨組の耐震性を確かめることができた。

今回は, 筋違の主筋量を多くし, 筋違部材が圧縮破壊する場合を想定した試験体4コを作成し, 合せて接合部の配筋を有効に行う方法として, ボルト型, カセット型の2種類の配筋を試みた。また, 主筋の代りにプレート組立の鉄骨鉄筋コンクリート形式のものを2コ, さらに耐震要素としての比較のため耐震壁およびラーメンのものをそれぞれ1コずつ作成した。以上計8個の試験体による実験を行った。

§ 2 実 験 概 要

2.1 試 験 体

試験体は図2および表1に示すように, 1層1スパンの骨組を2コを対称にした1/10の模型で, 柱およびはりにある部材断面は2種類からな

表1 試験体一覧表

	柱, はり断面		筋 違 断 面		柱頭軸力	接 合 部
	b × D	鉄 筋 (P%)	b × D ^{mm}	鉄 筋 (P%)	(kg/cm ²)	配 筋 型
BHp-I	10×10 ^{cm}	4-9φ (2.08)	7×7	4-9φ (4.16)	40	ボルト型
BHp-II	10×10	4-9φ (2.08)	7×7	4-9φ (4.16)	40	ガセット型
BHp-SRC	10×10	4-4φ 2PL3.2 (2.54)	7×7	2PL3.2 (5.12)	40	鉄骨鉄筋型
BH-I	7×7	4-9φ (4.16)	7×7	4-9φ (4.16)	40	ボルト型
BH-II	7×7	4-9φ (4.16)	7×7	4-9φ (4.16)	0	ガセット型
BH-SRC	7×7	2PL-3.2(5.12)	7×7	2PL3.2 (5.12)	0	鉄骨鉄筋型
W	10×10	4-9φ (2.08)	tw=25 2-2φ@25		40	普 通
R	10×10	4-9φ (2.08)			40	普 通

り、配筋方法はボルト型、ガセット型、鉄骨鉄筋型の3種類の計6コの筋違入骨組を作成した。なお、使用した材料は表2に示す。

2.2 実験方法

実験方法は、図2に示すように柱頭鉛直軸力として、40 kg/cm²を水平ジャッキにより加え、万能試験機により正負交番繰り返し载荷を行った。荷重の繰り返しは、柱部材角が1/600の点で2回、1/200の点で2回、1/60の点で2回行い、終局耐力に至るまで行った。

測定は、各節点の変位をダイヤルゲージにより測定し、主筋の歪をワイヤーストレインゲージを用いて、各試験体とも6～14カ所で測定した。

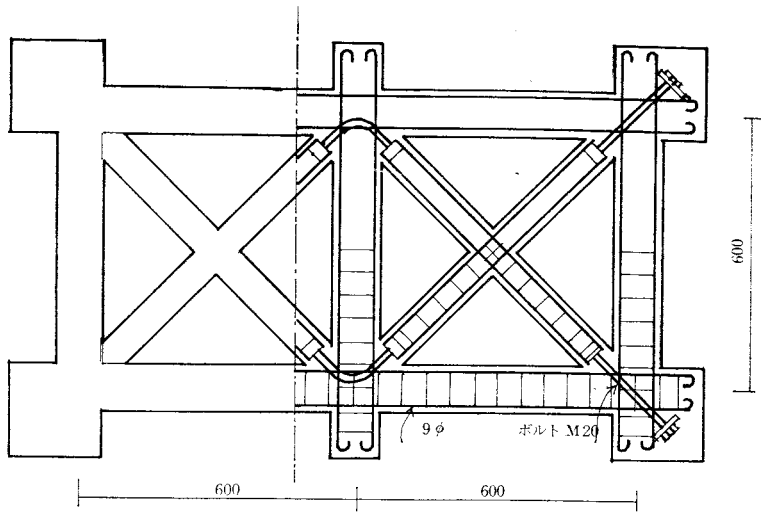
2.3 実験経過および実験結果

荷重—たわみ曲線を図4～11に、また結表表を表2に示すが、初期剛性は $1.6 \sim 2.2 \times 10^2 t/cm^2$ を示し、引張部材に引張ひびわれ発生後この剛性は1/2～1/3に低下し、柱部材角が $2 \sim 3 \times 10^{-3}$ 附近で降伏耐力に至る。

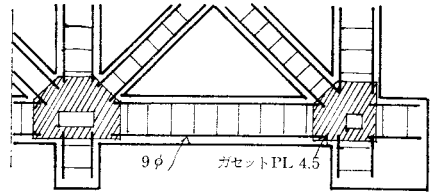
そして柱部材角が1/200～1/100で最大耐力を示し、圧縮筋違部材の降伏、圧潰を生じ終局耐力に至った。

なお、BH-I は柱頭部の加力点の応力集中により、局部破壊したため降伏耐力まで至らなかった。

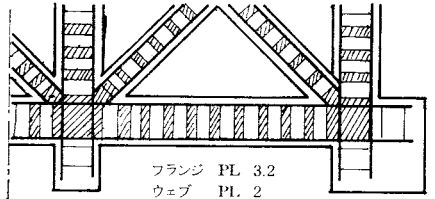
また、ひびわれおよび破壊の状況を図12に示す。



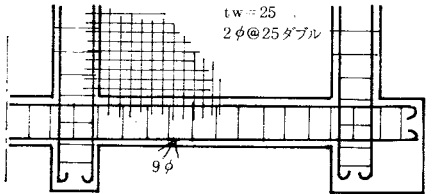
節点ボルト型



節点ガセットプレート型



鉄骨鉄筋型



壁

図1 試験体形状および配筋図

表2 材 料 表

鉄 筋				コンクリート				
	断面積	σ_s (kg/cm ²)	σ_{max} (kg/cm ²)	W/C	スランプ	Fe	E	最大骨材
9 φ	0.52	3.96	5.06	%	cm	kg/cm ³	kg/cm ² × 10 ⁶	mm
4 φ	0.132	2.90	4.54					
2 φ	0.035	2.02	2.74					
				75	19.8	221	1.79	5

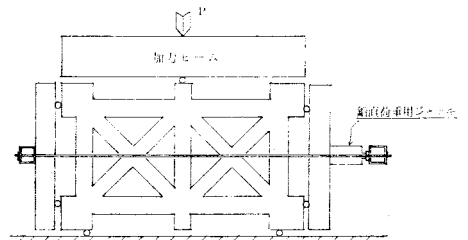


図2 実験方法

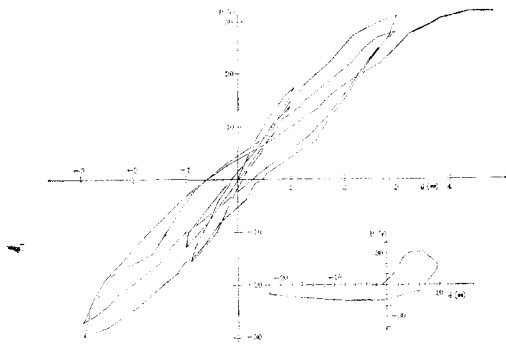


図4 荷重—たわみ曲線 (BH_p-I)

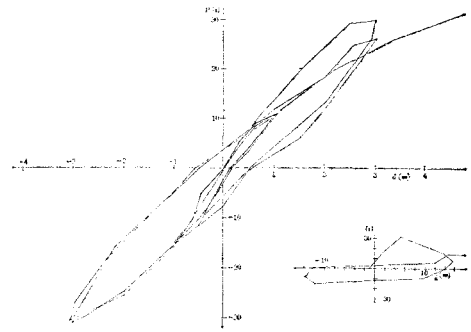


図5 荷重—たわみ曲線 (BH_p-II)

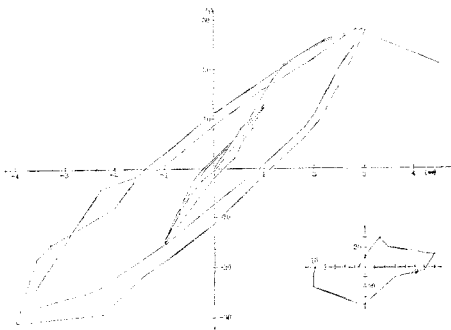


図6 荷重—たわみ曲線 (BH_p-SRC)

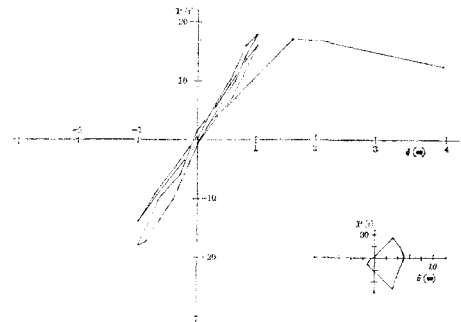


図7 荷重—たわみ曲線 (BH-I)

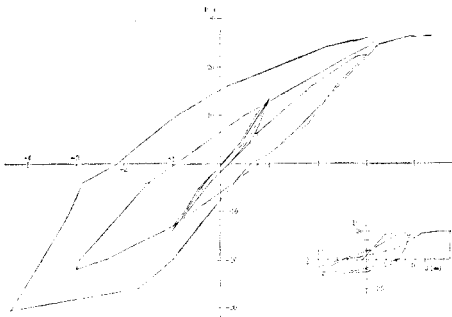


図8 荷重—たわみ曲線 (BH-II)

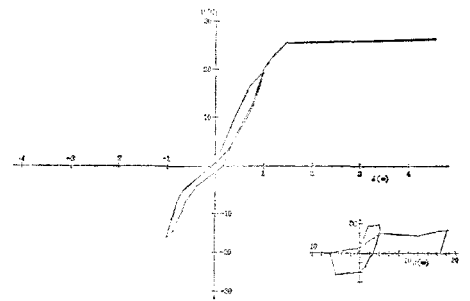


図9 荷重—たわみ曲線 (BH-SRC)

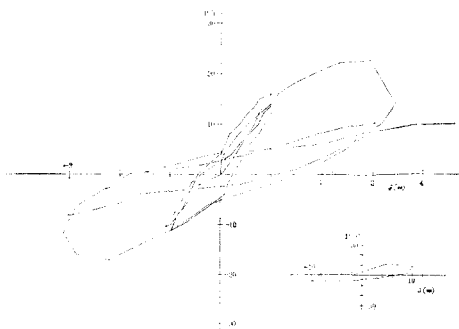


図10 荷重—たわみ曲線 (W)

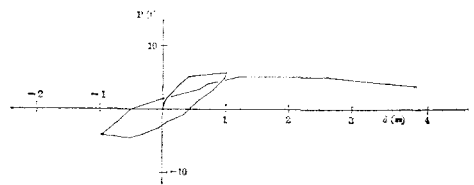


図11 荷重—たわみ曲線 (R)

表 3 結 果 表

試験体	弾性変性		ひびわれ荷重		ひびわれ時の柱部材角		降伏荷重		降伏時の柱部材角		最大荷重	最大荷重時柱部材角
	実験	計算	実験	計算	実験	計算	実験	計算	実験	計算	実験	実験
BHp-I	2.0×10^2	2.00×10^2	12.0	8.05	1.0×10^{-3}	0.81×10^{-3}	30.5	34.3	3.8×10^{-2}	3.9×10^{-2}	32.2	9.8×10^{-3}
BHp-II	1.9	2.06	10.0	8.05	1.0	0.81	30.0	34.3	3.6	3.7	31.0	9.8
BHp-SRC	2.0	2.34	8.0	8.5	1.0	0.62	30.0	32.4	4.0	3.4	31.0	5.2
BH-I	1.9	1.8	4.0	7.3	0.3	0.32	(18.0)	34.3	(1.1)	3.3	—	—
BH-II	2.1	1.8	4.0	5.2	0.3	0.38	26.0	30.0	4.5	4.3	27.8	9.3
BH-SRC	2.1	2.08	6.0	8.3	0.3	0.65	25.0	25.2	3.7	3.2	26.0	6.5
W	3.0	2.72	6.0	7.5	1.0	0.47	18.0	14.0	2.2	1.7	22.5	4.3
R	0.25	0.29	2.0	1.4	1.3	0.8	5.0	4.4	5.8	4.2	5.7	12.5

§ 3 検討および考察

3.1 計算値に関して

計算値としては、

- (1) 節点をピンと仮定しトラス構造とした場合 (仮想仕事法による)
- (2) 節点を剛とし、曲げ変形を考慮した場合 (たわみ角法による)

の2通りを用いた。

また、降伏耐力は、引張部材の主筋の降伏か、または、圧縮部材のコンクリートが圧縮強度に至り、骨組が降伏状態になる場合としている。図13に、2次応力による耐力低下を考慮した BH_p-I の荷重—たわみ曲線の計算値を示すが、実験値によく合っていることがわかる。

なお、表3の計算値は節点をピンとした場合の値である。

3.2 剛 性

図14に示すように、ひびわれ前では筋違入骨組の剛性は $2 \times 10^2 t/cm$ 前後であり、耐震壁に較べると1/15程度を示すが、ひびわれ発生後では $0.7 \sim 0.8 \times 10^2 t/cm$ と、ひびわれ前に比べると1/2~1/3の大きさを示すことがわかる。そして、節点ピンとした場合の計算値にほぼ一致していることがわかる。

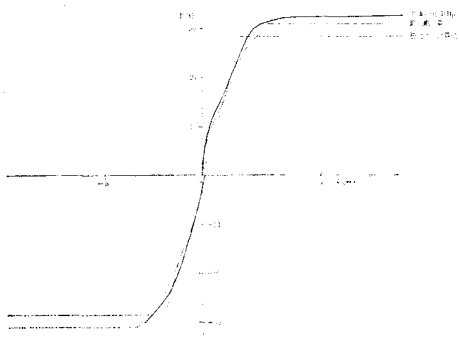


図13 荷重—たわみ関係計算値との比較

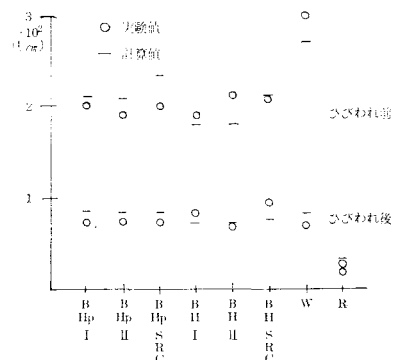


図14 剛 性

3.3 耐 力

筋違入骨組の降伏耐力は、引張部材の主筋の降伏と圧縮部材のコンクリートの圧潰によって決まる。すなわち、1層1スパン骨組においては図15に示すように、主筋量の小さい場合の(a)と、主筋量が多い場合の(b)、(b')の降伏形が考えられる。今回の場合、 $BH-SRC$ は(a)であり、その他は(b)の場合である。

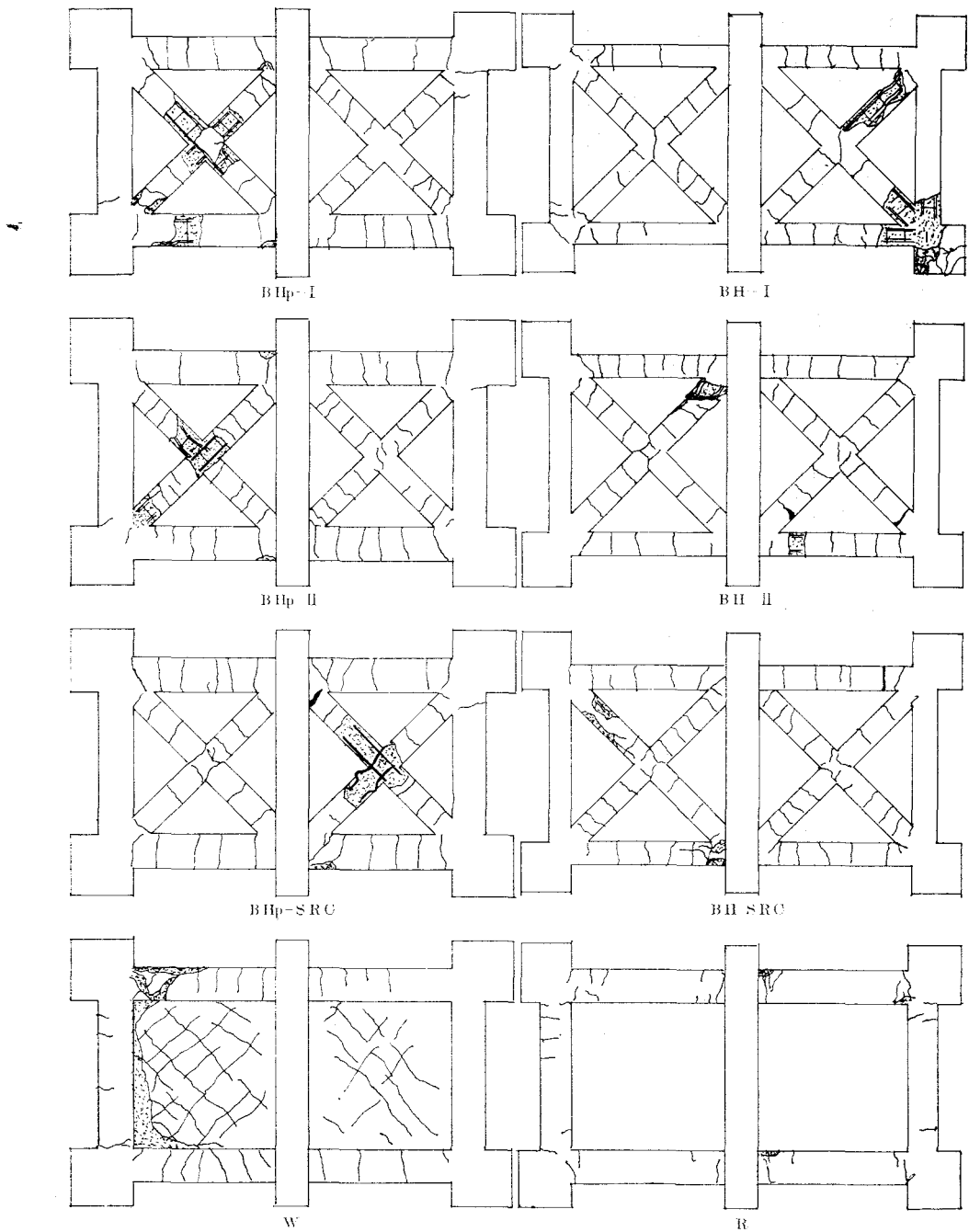


図 12 ひびわれおよび破壊の状況

計算値と実験値との比較を図16に示すが、(b)の降伏形のは計算値の方が上回っていることがわかる。これは、2次応力である曲げ応力による圧縮材の耐力低下を考慮していないためである。

実験結果より、この低下の度合を逆算してみると、約20～25%であった。

そして圧縮部材の降伏は、韌性に乏しく最大耐力までの耐力上昇も小さいことがわかる。なお、BH-I は加力点の応力集中により破壊を生じ、耐震壁は壁板の座屈現象を生じ終局に至った。

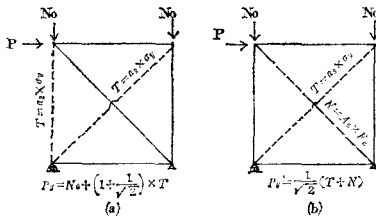


図15 骨組の降伏耐力

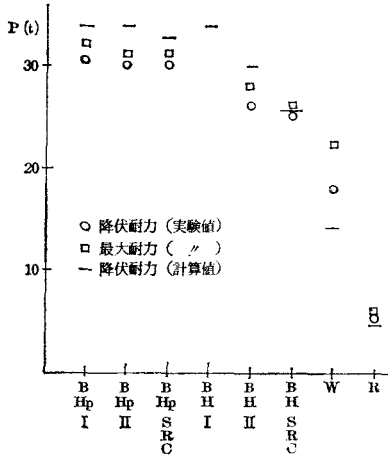


図16 耐力

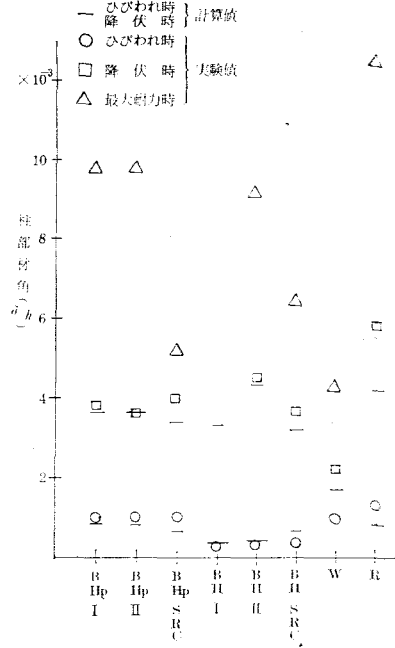


図17 柱部材角

3.4 骨組のたわみ

柱部材角を図17に示すが、ひびわれ発生時および降伏耐力時では、節点ピンとした計節値とほぼ一致しており、ひびわれ発生時において BH_p のものは $1/1000$ 程度、 BH のものは $1/350$ 程度を示した。また降伏時では $1/250$ 程度を示した。

さらに、最大荷重時では BH_p-I の $1/100$ と較べると、 SRC のものは小変形を示している。

3.5 耐震壁、ラーメンとの比較

耐震壁およびラーメンと、筋違入骨組を比較してみると、図14に示すように剛性に関しては筋違入骨組は、耐震壁に対し初期では $1/1.5$ であるが、ひびわれ発生後はほぼ同じ大きさを示した。又、ラーメンに対しては $6 \sim 8$ 倍の大きさを示している。

耐力に関しては、耐震壁の 1.5 倍、ラーメンの $7 \sim 9$ 倍の大きさであり、筋違入骨組の耐震性を明らかにしている。

一方、降伏耐力および最大耐力時の変形は図17から明らかなように、耐震壁が今回のように座屈現象で破壊したため、小さい部材角を示したのであるが、筋違入骨組は圧縮部材の破壊形式であるにもかかわらず、十分な変形能力を示していることがわかる。

3.6 接合部の配筋

接合部の配筋の複雑化を避けるため今回はボルト型とガセット型の2種類を取りあげてみたが、いずれも接合部は全くの損傷がなく、十分効果を示したといえる。

特にボルト型は、施工的にも配筋方法として有利であると考えられる。

§ 4 結 言

今回は実験の概要と，特に剛性，耐力に関して述べたが，筋違入骨組は耐震要素として緒言で述べたような，建築計画上の有利さのみならず，剛性，耐力，変形能力においても耐震性に劣らない性能を有することが言える。

しかしながら，配筋等の施工上の問題の解決はさらに工夫が必要であり，接合部の応力状態と合せてさらに研究が必要である。また，部材の応力および破壊に関しても詳しく研究し把握する必要があるが，これらに関しては次回に報告する予定である。

最後に，本研究に対し御指導いただいた広島大学嶋津博士に深謝いたします。

文 献

- 1) 嶋津・福原：鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究（第1報），広島大学工学部研究報告16巻1号（昭和42年）
- 2) 同（第2報），同 16巻2号（昭和43年）
- 3) 嶋津・福原：鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究（第1報），建築学会大会梗概集（42年度）内
- 4) 同（第2報），建築学会中国支部研究報告（昭和43年）
- 5) 同（第3報），同（昭和43年度）
- 6) 嶋津・福原：鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究（第1報），（第2報），建築学会中国九州支部研究報告（昭和45年）
- 7) 同（第3報），（第4報），建築学会全国大会梗概集（昭和45年）
- 8) 福原：鉄筋コンクリート筋違入骨組の動的実験，建築学会全国大会梗概集（昭和46年）
- 9) 嶋津・福原：鉄筋コンクリート筋違入骨組と耐震壁との比較研究，建築学会中国支部研究報告（昭和47年度）

（昭和51年4月12日受付）

昭和50年度中本校教官による他誌発表論文

著 者	題 目	発 表 誌	発 表 場 所
大林 潤	「建礼門院右京大夫の思い出」		昭和50年度広島大学 国語国文学会秋季大会
山岡俊比古	新しい言語観，学習観の中における パタンプラクティスの位置	中国地区英語教育学会研究 紀要 No. 6, 1976	
堀 武夫	水交社記事にみられる 2・3 の体育 記事	広島県体育史研究会報告	
大下 隆章 (広 大 工) 武井 英雄 山根 光夫	超塑性 Zn-Al 合金の開放型盛り上 げ加工	日本金属学会誌 39, (1975) 98.	
大下 隆章 (広 大 工) 武井 英雄	超塑性 Zn-Al 合金のころがり摩耗	塑性と加工 16, (1975) 963.	
武井 英雄 (広 大 工) 大下 隆章 中佐啓次郎 (広 大 工)	超塑性 Zn-Al 合金の型鍛造	塑性と加工 16, (1975) 969.	
久保田 勲	ディーゼル排気カーボン粒子の大き さと運転条件との関係について	日本機械学会講演論文集 No.758-2	日本機械学会熊本地 方講演会 (昭和50年 5 月)
野原 稔 他 2 名	遊星歯車装置の動特性に関する研究 (内歯車の作用線方向の変形量)	日本機械学会関西支部 第 233 回講演会 講演論文集 (昭和50年 6 月 10 日)	
灘野 宏正 他 2 名	スコ어링に関する基礎的研究 (第 2 報 動力循環式歯車試験機に よる実験結果)	日本機械学会論文集 41 巻, 343 号 (1975) p. 994~1002	
〃	Basic Studies on Scoring of Spur Gears (2nd. Report)	Bulletin of the JSME, Vol. 18, No. 125 (1975), p. 1315~1324	
〃	スコ어링におよぼす表面あらさ および油温の影響について	潤滑, 20 巻, 11 号 (1975) p. 791~798	
沖田 豪 (広 大 工) 太田 光雄 (広 大 工) 山口 静馬 (広 大 工) 吉野 信行	変係数線形系の一同定法	広島大学工学部研究報告 第23巻第2冊	
太田 光雄 (広 大 工) 山口 静馬 (広 大 工) 西村 正文 (広島電機大) 吉野 信行	不規則騒音の最小実測標本数選定に 関する順序統計量を用いた系統的 一考察	日本音響学会講演論文集 昭和50年 5 月 国立教育会館	
太田 光雄 (広 大 工) 西村 正文 (広島電機大) 広光清次郎 吉野 信行	線形システムに関する統一的な展開 型ベイズ推定	計測自動制御学会講演論 文集 昭和50年 8 月 愛知工業大学	
太田 光雄 (広 大 工) 山口 静馬 (広 大 工) 沖田 豪 (広 大 工) 吉野 信行	任意騒音環境システムの規制と推定 に関する統計的一試み(理論と実験)	日本音響学会講演論文集 昭和50年10月 山形大学	
太田 光雄 (広 大 工) 西村 正文 (広島電機大) 吉野 信行 広光清次郎	量子化レベルで短期から長期騒音レ ベル分布を予測する一試み (理論と 実験)	電気四学会中国支部連合大 会講演論文集 昭和50年11月 鳥取大学	

太田 光雄 (広 大 工) 山口 静馬 (広 大 工) 広光清次郎 (広 大 工) 畠山 一達 (広 大 工)	道路新設に伴う市街地騒音レベル分布の予測理論とシミュレーション実験	日本音響学会誌 31巻2号 (1975) p. 72—80	
太田 光雄 (広 大 工) 広光清次郎 (広 大 工) 山口 静馬 (広 大 工) 畠山 一達 (広 大 工)	An Effect of Additional Noise of the Level Distribution of Composite Noise.	日本音響学会誌 31巻2号 (1975) p. 89—91	
太田 光雄 (広 大 工) 広光清次郎	The Unified Expressions of Multivariate Joint Probability Density Function Used for the Analysis of Stochastic Systems and Their Digital Simulation.	<i>Theoretical and Applied Mechanics</i> , Vol. 23 , (1975) p. 477—494, Univ. of Tokyo Press.	
広光清次郎 太田 光雄 (広 大 工) 山口 静馬 (広 大 工)	A Prediction Problem on the Level Statistics of Road Traffic Noise with the Flow of Various Types of Vehicles on a Multi-Lane Road (Theory and Simulation Experiment).	<i>Proc. 1975 International Conference on Noise Control Engineering</i> (1975) p. 41—44, at Sendai.	
久良喜代彦	コンクリートくいの内部摩擦に関する実験的研究	土木学会 第30回年次学術講演会 講演概要集 第5部 昭和50年10月	
〃	打撃応力及び動的支持力について試験結果と理論値との比較	ボール・バイル協会 高強度バイル研究会 昭和50年7月	
〃	Smith 解法による 打撃応力 および動的支持力の推定	ボール・バイル協会 高強度バイル研究会 昭和50年10月	
石井 義明 小堀 慈久	物理・力学特性からみた休山(呉市)の風化の状況	昭和50年度土木学会 中国四国支部学術講演会 概要集 昭和50年5月	
石井 義明	割れ目を有する岩盤斜面におけるロックボルトの効果 (標型実験)	〃 〃	
河野 清 (徳 大 工) 竹村 和夫	ポリマーセメントモルタルの2・3の性質について	セメント技術年報 XXIX (1975)	
竹村 和夫 阿部 康 西谷 庸雄	低水セメント比コンクリートの強度に及ぼす配合の影響	第27回土木学会中国四国支部学術講演会 概要集 (1975.5)	
竹村 和夫 阿部 康 西谷 庸雄	粗骨材の最大寸法の影響に関する一考察	第30回土木学会年次学術講演会 概要集 第5部 (1975.10)	
石丸 紀興 (広 大 工) 富岡 康文 (広 大 工) 岡本 二郎	地域開発における立退き問題の研究 その1 地域開発計画と立退き要請の状況 その2 立退きを迫る過程と立退き過程 その3 先住者の論理とその検討	日本建築学会大会学術講演 便概集	昭和50年10月 東京
石丸 紀興 (広 大 工) 矢野 正和 (広島市役所) 武枝 正孝 (広 大 工) 富岡 康文 (広 大 工) 岡本 二郎	広島地区における住宅問題の考察 その1～その4	日本建築学会中国支部研究 報告集	昭和51年3月 広島
K.A. MULHOLLAND T. FUJII	introduction à l'analyse statistique énergétique	revue d' acoustique Vol. 8, N° 33—1975 Page 4	

門前 勝明	減力時の剛性低下が地震応答性状に及ぼす影響について (その1 正弦波による応答解析)	日本建築学会中国支部研究報告集	昭和51年3月 広島
松浦・芳賀・西村	マサ地盤上の建物の不同沈下	土と基礎 Vol.23 No.3	
松浦・尾崎・芳賀 三木・高井・西村	地盤沈下と杭基礎の設計	日本建築学会中国支部編 昭和50年10月	
松浦・芳賀・西村	風化花崗岩(マサ土)上の基礎の沈下 その1 平板載荷試験結果 その2 圧密試験結果及び結論	第12回自然災害科学総合シンポジウム	昭和50年10月 埼玉
松浦・芳賀・西村	マサ地盤の圧縮性について	日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)	昭和50年10月 東京
松浦・西村	マサ地盤の許容地耐力について (その2), (その3)	日本建築学会中国支部研究報告	昭和51年3月 広島
福原・嶋津 他 4 名	ダブルスパイラルフープ柱の実験的研究 (その4), (その5), (その6), (その7)	日本建築学会大会講演梗概集	昭和50年10月 東京

編 集 委 員

糸	島	寛	典
下	村		登
茶	木	正	吉
広	光	清 次	郎
竹	村	和	夫
門	前	勝	明

呉工業高等専門学校
研究報告

第12巻 第1号 (1976)
(通巻 第18号)

昭和 51 年 10 月 印 刷
昭和 51 年 10 月 発 行

編集兼
発行者 呉工業高等専門学校
〒 737 呉市阿賀南2丁目2ノ11
電話呉 (0823) 71-9121

印刷所 柳 盛 社 印 刷 所
〒 730 広島市東白島 8-23
電 話 (21) 2148・2149

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

-
1. Some Observations on the Results of "Aural Comprehension Test"
..... Ryoji KUMAGAWA..... 1
 2. Social Concern and Mysticism in *The Grapes of Wrath*
..... Noboru SHIMOMURA..... 9
 3. On the Pressure Welding of Superplastic Zn—Al Alloy
.....Takaaki OSHITA and Mituo YAMANE.....27
 4. Studies on the Elliptical Profile Cam with an Oscillating Follower
(Report 2) —Flat Plate Follower— Hironori ITOSHIMA.....33
 5. Studies on the Eccentric Elliptical Profile Cam with a Reciprocating Follower
(Report 1) —Circular Arc Follower— Hironori ITOSHIMA.....45
 6. A Statistical Theory of the Output Probability
to a Zero-Memory Time-Variant System with a Non-Linear Feedback Element
and an Arbitrarily Distributed Random Excitation
..... Seijiro HIROMITSU and Mitsuo OHTA.....57
 7. Measurements of Luminance and Representation
of the Luminance Pattern by TV system Kazuhiko HARADA.....65
 8. A Study on the Reinforced Concrete Slabs
..... Seiro MARUGAMI, Hiroshi ARAKI and Koji HARADA.....71
 9. Experimental Study on the Driving Tensile Stress on the Concrete Pile
.....Kiyohiko KURŌ.....79
 10. Experimental Study on Reinforced Concrete Braced Frames
(Report 1) On Stiffness, Strength and Ductility Yasuhiro FUKUHARA.....89