

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第14巻 第1号 (通巻第22号)

昭和53年7月 (1978)

目 次

| | | |
|---|------------------|----|
| 1. Error Analysis and Case Studies | 石 井 淳 二 | 1 |
| 2. 往復サイクロイダルカムの滑り率の研究 (第2報) —平板従動節— | 糸 島 寛 典 | 7 |
| 3. 揺動サイクロイダルカムの滑り率の研究 (第2報) —平板従動節— | 糸 島 寛 典 | 19 |
| 4. ディーゼル排気の脈動に関する研究 | 河 口 勇 治 | 31 |
| 5. 線形確率系の定常確率分布の存在について | 藤 田 幸 史 明 石 一 | 41 |
| 6. 省エネルギーを考慮した店舗照明の研究 | 原 田 一 彦 | 49 |
| 7. 1質点系建物の弾塑性応答略算式について | 門 前 勝 明 | 53 |
| 昭和52年度本校数官による他誌発表論文一覧表 | | 63 |

Error Analysis and Case Studies

(英語) 石 井 淳 二

Junji ISHII

It can be argued that too much hope has been placed on the concept of error as a crucial element in second language acquisition studies. The main aim of my present paper, therefore, is to discuss this point and suggest the importance of the development of case studies of individual learners.

1. Introduction

A second language learner is always, except when he has a plateau effect, making progress, whether little or great, in his competence and performance expecting to acquire those of the native hearer-speaker. Theoretically, therefore, instability and transition can be expected and noticed as the characteristics of his language at any particular point in time. The transitional language of this sort is called an “idiosyncratic dialect”¹, “interlanguage”², or “approximative system”³

Because of this instability and approximation, Corder says, “The fact that in most cases we cannot, on the basis of the limited data available to us, provided by the learner at any moment in his learning career, construct a ‘grammar’ of his language is neither here nor there. It in no way invalidates the concept of the transitional dialect as a language, that is, a means of communication however limited. As a language, it will be systematic and, in principle describable, provided we have the means to interpret it, i.e., know the meaning of its sentences.”⁴

Then he regards the learner’s sentences as ‘well-formed’ in terms of the grammar of his own transitional approximative system at a particular moment, even if they are ‘ill-formed’ in the sense that they cannot be described completely in terms of the grammar of his mother tongue or the target language.

Thus, in the field of the study of learner error, main focus has shifted from the teacher-centred view of inputs to the learner-centred view of outcomes.

2. Contrastive Analysis and Error Analysis

Roughly speaking, there are two main types of technique to deal linguistically with learner error, that is, so-called contrastive analysis and error analysis.

Lado gives the following propositions in his *Linguistics Across Cultures*.

- a) In the comparison between native and foreign language lies the key to ease and difficulty in foreign language learning.
- b) The most effective language teaching materials are those that are based upon a scientific description of the language to be learned, carefully compared with a parallel description of the native language of the learner.
- c) The teacher who has made a comparison of the foreign language with the native language of the students will know better what the real learning problems are and can better provide for teaching them.⁵

The contrastive analysis hypothesis of this kind is said to rely on the following assumptions about the process of language learning.

- 1) Language learning is habit formation.
- 2) The learner's old habit of using the mother tongue hinders the learning of a second language according to the differences or similarities between them.

The first assumption is primarily associated with the behavioristic point of view of language learning. The second assumption itself is a part of behavioristic learning theory, deriving from interference theory.

For these reasons, "a slot-in-frame type of technique"⁶ based on a structuralist approach to learner error has been criticised. In this connection, Buren gives a 'notional' view of contrastive analysis. He says, "It should be remembered, however, that although a semantically-based contrastive analysis provides a rich source of speculation about the nature of the learning process, contrastive analysis in itself cannot provide sufficient conditions for a system of grading. There are many factors that a teacher must take into consideration when deciding the order of presentation for language teaching materials, and contrastive analysis does not constitute the sole criterion."⁷

Now methodologically, error analysis has come to take a new and important place in relation to theories of language learning and language teaching.

Stevens says, "Current views about language learning include the following hypotheses : that the individual has a 'built-in syllabus' : a learner-generated sequence of preferred learning, which is independent of the teacher-generated sequence of teaching courses ; that the language-learning capacity of the adult is of the same nature as that of the child ; that the errors committed by the learner reflect at any moment the stage he has reached in his grasp and 'knowledge' of the language ; and that the making of errors is 'a device the learner uses in order to learn'."⁸

Questions will inevitably arise from these hypotheses. First, for example, if the first hypothesis is true, then what significance would the teacher's teaching syllabus have in relation to the individual learner's 'internal syllabus'? Does it suggest that the teacher's teaching syllabus can function only as a source of language data available for the learner's intake? Or does it imply that no systematically organized syllabus is necessary for a second language learner for the reason that a first language learner usually does not need such a syllabus?

Secondly, it seems to me doubtful to think that the acquisition of a first language by the child is of the same nature as that of a second language by the adult. I simply cannot completely disregard the presence of the first language and more or less complete development of cognition of the second language learner. This is because I have a naive feeling that language can best be acquired with the development of cognition. It is necessary to know more about the relationships between language and cognition in the acquisition of the first and second languages respectively.

3. Errors and Mistakes

All learners make mistakes. All native speakers make mistakes, too. However, the latter case cannot be regarded as the result of an imperfect knowledge of the mother tongue. For this reason, Corder⁹ makes a distinction between errors and mistakes. It seems an important logical distinction, but very difficult to operationalize.

Further he distinguishes three categories¹⁰ in language learning as evidenced by the nature and degree of systematicity of error.

- a) The presystematic stage : this is a stage where the learner's errors are quite random, because he is not aware of the existence of a particular system or rule in the target language.
- b) The systematic stage : this is a stage where his errors are regular and systematic. He has discovered and is using a rule of some kind, but the incomplete or wrong one.
- c) The postsystematic stage : the learner produces correct forms but inconsistently. He has learned the rule but fails through lack of attention or lapse of memory to apply it consistently.

Now the following is a dialogue exchanged recently between a native speaker and myself.

Question : "*Do you come from Tokyo, Junji?*"

Answer : "**Yes, I did.*"

Any attempt to analyze this data will have to answer questions¹¹ such as :

- 1) How does an analyst define error?
- 2) What descriptive basis is most appropriate?
- 3) How can he categorise particular errors?

First, any attempt to identify errors seems to be essentially subjective. This weakness will greatly affect the number of errors to be categorised. For the better identification of errors, therefore, we need to collect at least a vast amount of data given by the individual learner.

Secondly, there is no consensus of the best model for grammatical description. And there never will be, probably, so we just have to get on with it as best we can.

Thirdly, the description and categorisation of errors will inevitably cause many problems. For example, some errors may be easy enough to categorise, but a great many errors are quite difficult to categorise. Returning to the dialogue mentioned above, I could not hear the first word of the question and thought that it would be 'Did'. That is why I answered, "*Yes, I did.*" In this connection, suppose that I had answered, "*Yes.*" There would have been no mistake, nor error there in a linguistic sense. However communication would have failed at this stage, because the fact is that I come from Hiroshima, not from Tokyo. Again suppose that the question had been given to me in a written form. Then I hope that I would have succeeded in answering the question without any difficulty. What I have just done is to provide perfect support for the contention that the development of case studies of individual learners, with their full cooperation at the analytical as well as data collection steps, is the only way.

Corder says, "It could well be that we overestimate the pupil's receptive abilities simply because we cannot so readily detect failures in comprehension. In any act of comprehension there is a major component supplied by the situation and the hearer. We may well be reading more understanding into the replies of the learner than is there in his language."¹²

When it comes to explaining error psychologically, it must be much more difficult, even if it is one of the objects in error analysis in order to help the learner to learn.

4. Data for Error Analysis

The errors that we can most easily notice and point out are expressive ones. They are either spoken or written. But it is obvious that receptive errors are also made. Receptive errors cannot be studied directly but indirectly. For example, questions of answer-my-question type or do-as-you-are-told type can be used.

On the other hand, the study of expressive errors gives the direct source of data about the learner's transitional competence in or knowledge of the target language. Thus, error analysis is inevitably limited mainly to the study of expressive performance of the learner.

Corder explains this situation : "The consequence of all this is that we rely rather heavily in our studies of error on production data. This is unfortunate but inevitable ; unfortunate because, ..., there may be reasons for believing that expressive and receptive processes are not mirror images of each other. Furthermore, there is a general belief amongst teachers that a learner's receptive abilities normally exceed his productive abilities, and that *recognition* of an item is easier than its *retrieval* in production. The difficulty of devising means of studying receptive errors has so far prevented us from confirming these general impressions or from establishing the qualitative or quantitative relations between them."¹³

We should take into account the fact that different types of inputs may produce different types of error and that different ways of giving inputs may also produce different outcomes.

However the most important fact, which should not be forgotten, is that perception and production are mutually related to the making of errors. Therefore for a better understanding and study of expressive errors, a better understanding of receptive errors is definitely necessary, though it is very difficult in terms of methodology.

"The listener is," Rivers says, "thus engaged in a continuous process of analysis and synthesis, in which factors of attention and memory are vitally involved. Comprehending a message is not merely attending to a stream of sound and establishing some construction at the whim of the listener : there is a highly complex structured system involved which has an existence apart from this particular listener and speaker and which is known to varying degrees of complexity by both. Nor is comprehension the passive reception of an already structured message. Since the speaker and the listener in a communicative act are different persons whose competence in the language is never identical, it is quite possible for the message perceived to be structured differently from that intended by the speaker."¹⁴

The case of reading comprehension should also be taken into account.

5. Habits and Rules

Modern psychology influenced by generative transformational grammar views the learner as an information processor.

In the acquisition of the mother tongue, the child picks up linguistic data from his outside world in the form of speech and sometimes of writing, classifies them according to grammatical categories, and discovers rules. Then he applies these rules to the production of his utterances. The system that he employs is always changing according as new data are taken in. This may be called an approximative system, interlanguage, or idiosyncratic dialect. However the system of this sort must be different from that of the second language learner, though the degree of their difference is not clear. The child is considered to have a mechanism for analysing input to discover the system of his mother tongue. The most surprising and remarkable fact here is that his input is random and unsystematic. However

every child manages to acquire a system of rules, i.e., grammar of his mother tongue.

Here it is postulated that some innate properties of language are present in the child. This hypothesis is for first language acquisition, but in second language learning by the adult similar hypotheses are developed.

For example, Corder says, "...language learning is not so much a question of acquiring a set of automatic habits, but rather a process of discovering the underlying rules, categories and systems of choice in the language by some sort of processing by the learner of the data of the language presented to him by the teacher."¹⁵

However my personal view is, as Carroll says, that "the learning of second languages requires both the acquisition of knowledge about rules and the formation of the habits described by these rules."¹⁶ Also, "perception is the mechanism that filters the raw material for the information analyzer. Perception itself is codetermined by the environmental stimuli and by the categories the perceiver has learned to use in his commerce with the environment."¹⁷

6. Conclusion

As Buren has pointed out a weakness of contrastive analysis, I should think that the same may be the case with error analysis, that is, error analysis alone cannot provide sufficient information about psychological factors involved in second language acquisition or sufficient conditions for designing a syllabus. We need an overall knowledge about the learner's internal and external factors, which are linguistic, psychological, and sociological, involved in his second language acquisition.

For example, a language teacher needs to know more about the relationships and interaction between teacher and learner and about the strategies that a successful learner employs.

NOTES

1 S. Pit Corder "Idiosyncratic Dialects and Error Analysis," *Error Analysis : Perspectives on Second Language Acquisition*, ed. J.C. Richards (London : Longman, 1974), pp. 158 – 170.

2 L. Selinker "Interlanguage," *ibid.*, pp. 31 – 54.

3 W. Nemser "Approximative Systems of Foreign Language Learners," *ibid.*, pp. 55 – 63.

4 S. Pit Corder "Error Analysis," *The Edinburgh Course in Applied Linguistics : Techniques in Applied Linguistics*, eds. J.P.B. Allen and S. Pit Corder (London : Oxford University Press, 1974), III, 122.

5 P.V. Buren "Contrastive Analysis," *ibid.*, p. 280.

R. Lado, *Linguistics across Cultures* (Ann Arbor : University of Michigan Press, 1957), p. 1.

6 P.V. Buren, *ibid.*, p. 293.

7 *Ibid.*, p. 311.

8 P. Stevens, "Two Ways of Looking at Error-Analysis," (1969), p. 5.

9 S. Pit Corder, *Introducing Applied Linguistics* (Harmondsworth : Penguin, 1973), pp. 256 – 261.

10 *Ibid.*, pp. 268 – 272.

11 P. Stevens, *op. cit.*, p. 4.

12 S. Pit Corder, *op. cit.*, p. 262.

13 *Loc. cit.*

14 W. M. Rivers, *Speaking in Many Tongues* (Rowley : Newbury House, 1972), pp. 95 – 96.

15 S. Pit Corder, *op. cit.*, p. 292.

16 J.B. Carroll, "Current Issues in Psycholinguistics and Second Language Teaching," *TESOL Quarterly*, V, No. 2 (June 1971), 101.

17 M. Anisfeld "Psycholinguistic Perspectives on Language Learning," *Trends in Language Teaching*, ed. A. Valdman (New York : McGraw-Hill, 1966), p. 118.

(Received April 15, 1978)

往復サイクロイダルカムの滑り率の研究 (第2報)

—— 平 板 従 動 節 ——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Specific Sliding of the Cycloidal Cam with the Reciprocating Follower (Report 2) — Flat Plate Follower —

Hironori ITOSHIMA

The specific sliding of the cycloidal cam with the circular arc reciprocating follower has been discussed in report 1.

In this report, the reciprocating follower of the cycloidal cam has a flat plate inclined to the stroke of the follower. The inclined angle, the minimum radius of curvature, the radius of a base circle and the specific sliding of the cam are discussed.

If the inclined angle, the maximum specific sliding of the cam and the rotating angles are specified, the best cam can be designed.

§ 1 緒 言

前報¹⁾においてかたより往復円弧従動節をもつサイクロイダルカムの従動節の運動, 押進め角, 滑り率を解析し, 滑り率を考慮したカムの設計を行った。

本報告においては同様なカムで平板従動節を駆動させた場合の運動と平板従動節が回転しない場合のカムの基礎円半径, 曲率半径, 滑り率を考慮したサイクロイダルカムの設計を行う。解析は前報と同様に回転直角座標を用いる。

§ 2 記 号

| | |
|------------------------------|----------------------|
| θ : カムの回転角 | α : 平板の傾斜角 |
| θ_0 : 行き行程のカムの回転角 | H : 従動節のリフト |
| θ_r : 戻り行程のカムの回転角 | k : 従動節の最低の高さ |
| θ_a : 上昇停止のカムの回転角 | s : 従動節上の接触点の移動距離 |
| R_0 : カムの基礎円の半径 | ω : カムの角速度 |
| t : 基礎円よりのカムの高さ | ρ_T : カムの曲率半径 |
| σ_1 : カムの滑り率 | σ_2 : 従動節の滑り率 |
| h : 従動節の変位 | |
| $dh/d\theta$: 従動節の速度係数 | |
| $d^2h/d\theta^2$: 従動節の加速度係数 | |

§ 3 往復平板従動節をもつサイクロイダルカム

往復平板従動節をもつサイクロイダルカムを図1に示す。カムは O 点を回転中心として反時計回りに回転するものとし、基礎円の半径を R_0 、従動節の傾斜角を α 、平板とカムの接触点を T とす。 O 点を原点とする直角座標 $\xi\eta$ をとり、従動節は η 軸上を運動するものとし、 η 軸と平板の交点を M とす。 MT の長さを s 、基礎円上の運動の始点を A とし、 O 点を原点とする直角座標 xy をカム上に固定し、 x, ξ 軸の交角を θ とし、 $\theta=0^\circ$ のときの始点 A が従動節に接触するものとする。 θ はカムの回転角となる。

カムの基礎円と従動節の平板が接触するときの OM の高さを k とし、カムが θ 回転したときの OM の長さを $h+k$ とすれば、 h は従動節の変位となる。接触点 T におけるカムへの法線と ξ 軸の交点を P とすれば P はカム1と従動節2の瞬間中心 I_{12} で、 $OP=dh/d\theta$ だから、図1から k 、 \overline{TP} 、 s は次式のようになる。

$$k = \frac{R_0}{\sin \alpha}, \quad \overline{TP} = (h+k) \sin \alpha - \frac{dh}{d\theta} \cos \alpha \quad \dots\dots\dots(1), (2)$$

$$s = (h+k) \cos \alpha + \frac{dh}{d\theta} \sin \alpha \quad \dots\dots\dots(3)$$

3.1 押進め角 ϕ

図1において、接触点 T より ξ 軸に垂線 TH を下し、 $\angle PTH = \phi$ とすれば ϕ は従動節の押進め角で

$$\phi = \alpha - 90^\circ \quad \dots\dots\dots(4)$$

となり、 ϕ は一定である。

3.2 接触点の軌跡

図1からカムの接触点の軌跡は接触点 T の $\xi\eta$ 座標であるから、 O 点より平板に垂線 OK を、 PT に垂線 OQ を下せば $\overline{OK} = (h+k) \sin \alpha$ 、 $\overline{OQ} = (dh/d\theta) \sin \alpha$ となり、 $\xi_T = \overline{OH}$ 、 $\eta_T = \overline{TH}$ だから次式が成立する。

$$\xi_T = (h+k) \sin \alpha \cos \alpha + \frac{dh}{d\theta} \sin^2 \alpha \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\eta_T = (h+k) \sin^2 \alpha - \frac{dh}{d\theta} \sin \alpha \cos \alpha \quad \dots\dots\dots(6)$$

3.3 カムの輪郭

図1においてカムの輪郭は T 点の xy 座標 x_T, y_T で表わされる。 ξ_T, η_T を xy 座標に変換すればよい。 T 点より x 軸に垂線 TL を下せば $x_T = \overline{OL}$ 、 $y_T = \overline{TL}$ 、 $\angle LTH = \theta$ となるので次式のようになる。

$$x_T = \eta_T \sin \theta + \xi_T \cos \theta, \quad y_T = \eta_T \cos \theta - \xi_T \sin \theta \quad \dots\dots\dots(7)$$

式(5)、(6)を式(7)に代入すれば次式のようになる。

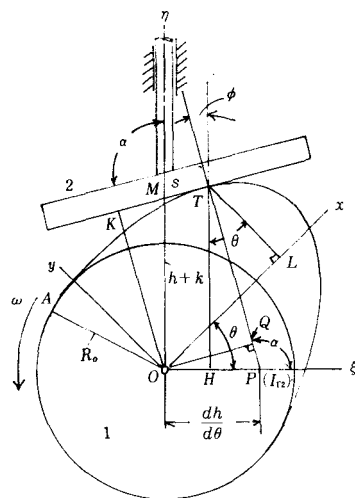


図1 往復平板従動節

$$x_T = \{(h+k) \cos(\alpha-\theta) + \frac{dh}{d\theta} \sin(\alpha-\theta)\} \sin \alpha \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$y_T = \{(h+k) \sin(\alpha-\theta) - \frac{dh}{d\theta} \cos(\alpha-\theta)\} \sin \alpha \quad \dots\dots\dots(9)$$

3. 4 カムの曲率半径

曲率半径を求めるには次の公式を利用する。

$$\rho_T = \frac{\left\{ \left(\frac{dx_T}{d\theta} \right)^2 + \left(\frac{dy_T}{d\theta} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2 y_T}{d\theta^2} \frac{dx_T}{d\theta} - \frac{d^2 x_T}{d\theta^2} \frac{dy_T}{d\theta}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式(8), (9)を θ で微分すれば

$$\frac{dx_T}{d\theta} = \left(h+k + \frac{d^2 h}{d\theta^2} \right) \sin \alpha \sin(\alpha-\theta), \quad \frac{dy_T}{d\theta} = - \left(h+k + \frac{d^2 h}{d\theta^2} \right) \sin \alpha \cos(\alpha-\theta) \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x_T}{d\theta^2} &= \left\{ - \left(h+k + \frac{d^2 h}{d\theta^2} \right) \cos(\alpha-\theta) + \left(\frac{dh}{d\theta} + \frac{d^3 h}{d\theta^3} \right) \sin(\alpha-\theta) \right\} \sin \alpha \\ \frac{d^2 y_T}{d\theta^2} &= - \left\{ \left(h+k + \frac{d^2 h}{d\theta^2} \right) \sin(\alpha-\theta) + \left(\frac{dh}{d\theta} + \frac{d^3 h}{d\theta^3} \right) \cos(\alpha-\theta) \right\} \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(12)$$

となるので式(11), (12)を式(10)に代入すれば

$$\rho_T = \left(h+k + \frac{d^2 h}{d\theta^2} \right) \sin \alpha \quad \dots\dots\dots(13)$$

となる。これは前報²⁾からも明らかである。

3. 5 滑 り 率

往復平板従動節の場合のカムと従動節の滑り率 σ_1 , σ_2 は前報²⁾より次式で示される。

$$\sigma_1 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T}, \quad \sigma_2 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots\dots(14), (15)$$

\overline{TP} , ρ_T は式(2), (13)より, α と従動節の運動が指定されれば決定されるので, σ_1 , σ_2 は求まる。

§ 4 サイクロイダルカムの従動節の運動

図2はサイクロイダルカムのカム線図を示す。リフトを H , 行き行程のカムの回転角を θ_0 , 戻り行程のカムの回転角を θ_r , 上昇時の停止期間のカムの回転角を θ_a とす。サイクロイダルカムは H の距離を半径 $H/2\pi$ のころがり円がころがってできたサイクロイドの投影が従動節の変位 h だから, 従動節の運動は次式のようにになる。ただし前報¹⁾では回転角をラジアンで示したが本報では度で示す。

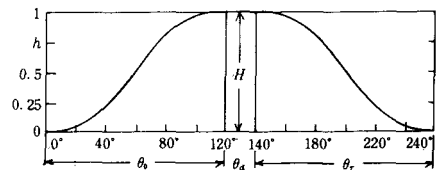


図2 サイクロイダルカムのカム線図

4. 1 行き行程の変位, 速度, 加速度

$$h = H \left(\frac{\theta}{\theta_0} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \right), \quad \frac{dh}{d\theta} = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{H}{\theta_0} \left(1 - \cos \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \right) \quad \dots\dots\dots(16), (17)$$

$$\frac{d^2 h}{d\theta^2} = \frac{(180^\circ)^2}{\pi} \cdot \frac{2H}{\theta_0^2} \sin \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \quad \dots\dots\dots(18)$$

4.2 戻り行程の変位, 速度, 加速度

$$\beta = 360^\circ(\theta - \theta_0 - \theta_a)/\theta_r \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$h = H\left(1 - \frac{\beta}{360^\circ} + \frac{1}{2\pi} \sin \beta\right), \quad \frac{dh}{d\theta} = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{H}{\theta_r} (\cos \beta - 1) \quad \dots\dots\dots(20), (21)$$

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = -\frac{(180^\circ)^2}{\pi} \frac{2H}{\theta_r^2} \sin \beta \quad \dots\dots\dots(22)$$

§5 計 算 例

図3は例えば $H=1$, $\alpha=90^\circ$, $\theta_0=120^\circ$, $\theta_r=150^\circ$, $\theta_a=0^\circ$, $R_0=2$ とした場合式(16)~(22)からカムの回転角 θ を横軸として h , $dh/d\theta$, $d^2h/d\theta^2$ を求めたものである。

図3のデータで式(2), (3), (13)~(15)を用いてカムの曲率半径 ρ_T , 滑り率 σ_1 , σ_2 および s を θ を横軸に求めたものを図4に示す。最小曲率半径 $\rho_{T \min}$ は行き行程では $\theta=88^\circ$ で $\rho_{T \min}=1.5$, 戻り行程では $\theta=162^\circ$ で $\rho_{T \min}=2$ となる。

カムの滑り率 σ_1 の最大値は行き行程では $\theta=88^\circ$ で $\sigma_{1 \max}=2$ となることからほぼ $\rho_{T \min}$ の所で $\sigma_{1 \max}$ を生ずることがわかる。

従動節の滑り率 σ_2 は行程の始めと終りと中間で無限大を生ずる。図5は図3のデータで平板上の接触点 T の位置を示す s と σ_2 の関係を図示したもので, 接触の両端と中央で $\sigma_2=\infty$ となり, 途中は $\sigma_2=2$ でほぼ一様なことを示す。

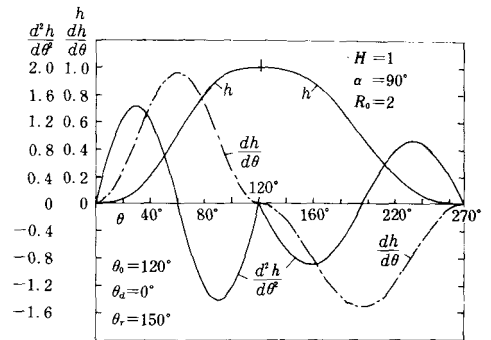


図3 サイクロイダルカムの変位, 速度, 加速度

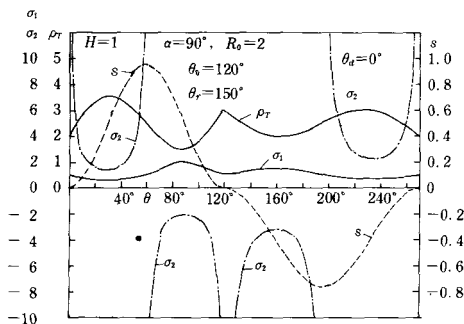


図4 図3のカムの曲率半径と滑り率

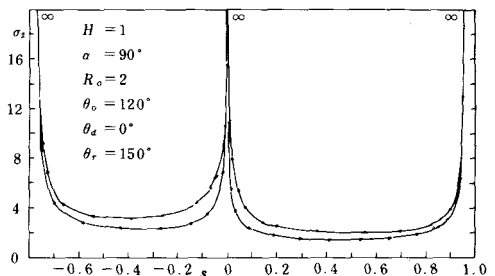


図5 平板従動節上の滑り率 σ_2

§6 最小曲率半径とカムの最大滑り率

図4より θ_0 と θ_r の小さい方の $\rho_{T \min}$ が小さく, $\sigma_{1 \max}$ が大きい値であることがわかるので例えば $H=1$, $\alpha=90^\circ$, $R_0=2$ として $\theta_0=80^\circ \sim 140^\circ$ に変化させた場合の ρ_T と σ_1 の変化を θ について求めたものを図6に示す。

図から明らかなように $\theta_0=80^\circ$ の場合は ρ_T が負となり, 平板従動節の場合はカムが形成されない。 θ_0 が大きくなるに従って $\rho_{T \min}$ は大きくなり, $\theta_0 > 100^\circ$ ならば $\rho_{T \min} > 0.8$ となり, $\sigma_{1 \max} < 3.4$ となる。図から $\rho_{T \min}$ の θ の値は近似的に $\theta \approx 3/4 \theta_0$ となり, またこの点に $\sigma_{1 \max}$ が存在する。 $R_0=2$ の場合は $\theta_0 > 100^\circ$ が望ましい。

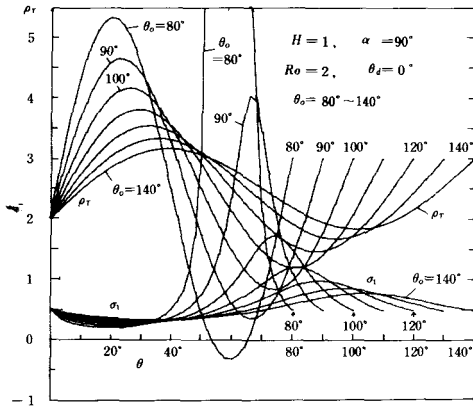
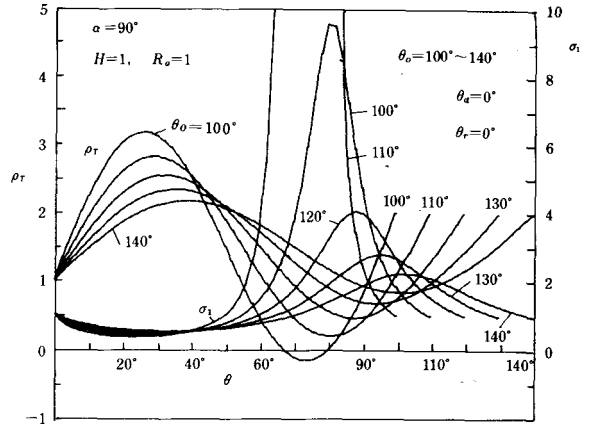
図6 $R_0=2$ の場合の ρ_r と σ_1 図7 $R_0=1$ の場合の ρ_r と σ_1

図7は $H=1, \alpha=90^\circ, R_0=1$ の場合の ρ_r と σ_1 を示したもので、 $\sigma_{1max} < 6$ のためには $\theta_0 > 115^\circ$ となり、この場合も ρ_{rmin} と σ_{1max} の θ はほぼ一致し $\theta \approx 3/4 \theta_0$ となる。このことは式(13)を θ で微分し $d\rho_r/d\theta=0$ とおけば $dh/d\theta + d^3h/d\theta^3 = 0$ となり、式(18)を θ で微分して代入すれば次式が得られる。

$$\cos \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta = \frac{1}{1 - \left(\frac{360^\circ}{\theta_0} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

θ_0 が 360° に比して小さければ $(360^\circ/\theta_0)^2$ は 1 に比して大きな値となるので $\cos(360^\circ\theta/\theta_0) \approx 0$ となり、これから $\theta/\theta_0 \approx 3/4$ が得られる。 θ_0 が大きくなると $\theta/\theta_0 < 3/4$ となる。 $\theta/\theta_0 = 3/4$ として式(13)に代入すれば

$$\rho_r = H \left\{ \frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi} + \frac{R_0}{H \sin \alpha} - \frac{2}{\pi} \left(\frac{180^\circ}{\theta_0} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (24)$$

となり、 R_0 が大きい程 ρ_r が大となる。 $\rho_r=0$ の場合の θ_0 を求めれば式(24)より

$$\rho_r = 0, \quad \theta_0 = 180^\circ \sqrt{\frac{8H \sin \alpha}{(3\pi+2)H \sin \alpha + 4R_0\pi}} \quad \dots\dots\dots (25)$$

となり H, α, R_0 を与えて θ_0 を求めれば表1と図8が得られる。

表1 $\rho_r=0, H=1, \alpha=90^\circ$

| R_0 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 |
|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| θ_0 | 103.9422° | 92.3295° | 84.2033° | 77.7838° | 72.6392° |

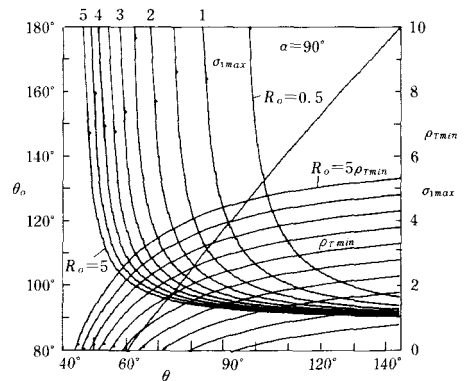
式(23)から ρ_{rmin} の θ が求められるので、

$$y = \cos^{-1} \frac{1}{1 - (360^\circ/\theta_0)^2}, \quad \theta = \frac{\theta_0}{360^\circ} y \quad \dots\dots\dots (26), (27)$$

とおけば ρ_{rmin} と σ_{1max} は次式のようにになる。

$$\rho_{rmin} = R_0 + H \left\{ \frac{y}{360^\circ} - \frac{\sin y}{2\pi} + \frac{(180^\circ)^2}{\pi} \frac{2}{\theta_0^2} \sin y \right\} \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$\overline{TP} = R_0 + H \left(\frac{y}{360^\circ} - \frac{\sin y}{2\pi} \right) \sin \alpha - \frac{180^\circ}{\pi} \frac{H}{\theta_0} (1 - \cos y) \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (29)$$

図8 $\alpha=90^\circ$ の ρ_{rmin} と σ_{1max}

$$\sigma_{1 \max} = \overline{TP} / \rho_T \quad \dots\dots\dots (30)$$

となるので, α , H , θ_0 を指定すれば式(26), (27)より y , θ が求まり, 次に R_0 を指定することにより式(28)~(30)より $\rho_{T \min}$ と $\sigma_{1 \max}$ が求められる。例えば $\alpha=90^\circ$, $\theta_0=120^\circ$ の場合は $\theta=92^\circ$ で $R_0=2$ のときは $\rho_{T \min}=1.5$, $\sigma_{1 \max}=1.9$ となる。 θ_0 が一定の場合は R_0 が大きい程 $\rho_{T \min}$ は大となり, $\sigma_{1 \max}$ は減少するが, R_0 が一定の場合 θ_0 が大きい程 $\rho_{T \min}$ は大となり, $\sigma_{1 \max}$ は減少することができる。 α が図9のように小さければ $\sigma_{1 \max}$ を減少させることができる。 $\alpha=120^\circ$ の場合より $\alpha=60^\circ$ の場合が良好である。

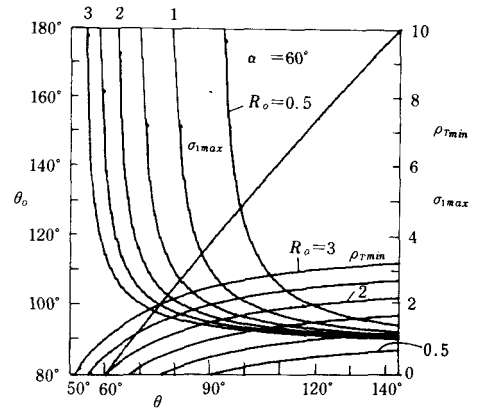


図9 $\alpha=60^\circ$ の $\rho_{T \min}$ と $\sigma_{1 \max}$

6.1 近似最大滑り率の指定

$\sigma_{1 \max}$ を指定して R_0 と θ_0 の関係を求めるために式(26)~(30)を用いることは困難なので $\theta=3/4\theta_0$ の σ_1 を近似的に最大とし, 式(2)と式(13), (14)より

$$(h+k) \sin \alpha - \frac{dh}{d\theta} \cos \alpha = \sigma_1 \left(h + k + \frac{d^2h}{d\theta^2} \right) \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (31)$$

となるので, これに $\theta=3/4\theta_0$ のときの h , $dh/d\theta$, $d^2h/d\theta^2$ を式(16)~(18)より求めて代入し, θ_0 を求めれば次の2次式が求められる, これから吟味して θ_0 が求まる。

$$\pi(\sigma_1 - 1) \left\{ H \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi} \right) + \frac{R_0}{\sin \alpha} \right\} \theta_0^2 + 180^\circ H \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \theta_0 - 180^\circ H \sigma_1 (360^\circ) = 0 \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$\theta_0 = \frac{-\cot \alpha + \sqrt{D}}{\frac{1}{90^\circ}(\sigma_1 - 1) \left\{ \pi \left(\frac{3}{4} + \frac{R_0}{H \sin \alpha} \right) + \frac{1}{2} \right\}} \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$D = \cot^2 \alpha + 8\sigma_1(\sigma_1 - 1) \left\{ \pi \left(\frac{3}{4} + \frac{R_0}{H \sin \alpha} \right) + \frac{1}{2} \right\}$$

図10は $\alpha=90^\circ$, $\theta=3/4\theta_0$ の近似 $\sigma_{1 \max}$ の指定による R_0 と θ_0 の関係を式(33)より, $H=1$ を与えて求めたもので, $\sigma_{1 \max}$ を小さくするためには θ_0 を大きくするか R_0 を大きくせねばならぬ。 $\sigma_{1 \max}=3$ で $R_0=2$ の場合は $\theta_0 \doteq 100^\circ$ となる。 $\rho_T > 0$ のためには $\theta_0 > 84^\circ$ となる。図11は $\alpha=60^\circ$ の場合で $\sigma_{1 \max}=3$, $R_0=2$ の場合は $\theta_0 \doteq 95^\circ$ となる。図12は $\alpha=120^\circ$ の場合で $\theta_0 \doteq 100^\circ$ となり, α が 90° より小さい方が同じ R_0 に対し θ_0 を小さくできる。 $\alpha=60^\circ$ の場合の戻り行程において θ_T を $\alpha=120^\circ$ の θ_0 にする必要がある。

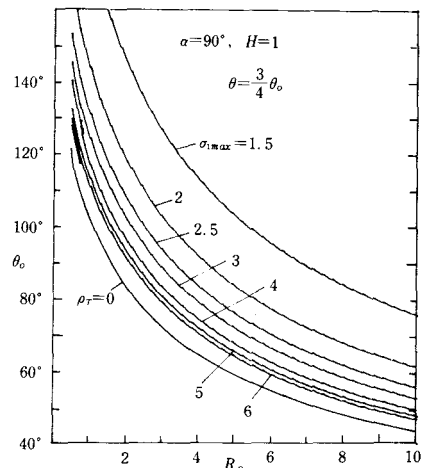


図10 $\alpha=90^\circ$ の各 $\sigma_{1 \max}$ に対する R_0 と θ_0 の関係

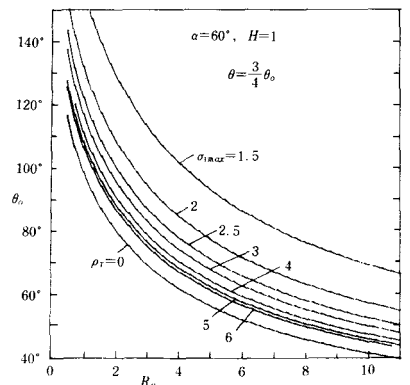


図11 $\alpha=60^\circ$ の各 $\sigma_{1 \max}$ に対する R_0 と θ_0 の関係

6. 2 平板従動節の滑り率無限大の位置

$\sigma_2 = \infty$ となるためには式(15)より $\overline{TP} \neq 0$ から $\rho_T = \overline{TP}$ となるので、式(2), (13)より

$$\left(h+k+\frac{d^2h}{d\theta^2}\right)\sin\alpha = (h+k)\sin\alpha - \frac{dh}{d\theta}\cos\alpha$$

$$\frac{dh}{d\theta}\cos\alpha + \frac{d^2h}{d\theta^2}\sin\alpha = 0 \quad \dots\dots\dots(34)$$

が得られるので、これに式(17), (18)を代入して計算すれば

$$\sin\frac{360^\circ}{\theta_0}\theta = \frac{-2\left(\frac{360^\circ}{\theta_0}\right)\cot\alpha}{\left(\frac{360^\circ}{\theta_0}\right)^2 + \cot\alpha} \quad \dots\dots\dots(35)$$

が得られる。 $\alpha=90^\circ$ の場合の $\sigma_2 = \infty$ となる θ は

$$\sin\frac{360^\circ}{\theta_0}\theta = 0 \text{ から } \theta = 0, \frac{\theta_0}{2}, \theta_0, \frac{3}{2}\theta_0 \quad \dots\dots\dots(36)$$

となり、そのときの s は式(3)より次式のようにになる。

$$s = \left\{ H \left(\frac{\theta}{\theta_0} - \frac{1}{2\pi} \sin\frac{360^\circ}{\theta_0}\theta \right) + \frac{R_0}{\sin\alpha} \right\} \cos\alpha \\ + \frac{180^\circ}{\pi} \frac{H}{\theta_0} \left(1 - \cos\frac{360^\circ}{\theta_0}\theta \right) \sin\alpha \quad \dots\dots\dots(37)$$

§ 7 カムの輪郭

式(7)の x_T, y_T を求めればカムの輪郭は決定されるので、例えば $\alpha=90^\circ, \theta_0=\theta_r=90^\circ, \theta_a=0^\circ, H=1, R_0=1 \sim 2.5$ の場合のカムの輪郭を描かせたものを図13に示す。式(26), (27)でこの場合 ρ_{Tmin} の θ の位置は $\theta=68.45564^\circ$ となり、 ρ_{Tmin} とその位置の σ_1 が求められ表2のようにになる

表2 $H=1, \theta_0=\theta_r=90^\circ, \theta=68.45564^\circ$

| R_0 | 1 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
|---------------|----------|-----------|---------|---------|
| ρ_{Tmin} | -0.62139 | -0.12139 | 0.37861 | 0.87861 |
| σ_1 | -3.08889 | -19.93016 | 7.71099 | 3.89187 |

図13からカムの輪郭は R_0 が大きい程 $\theta \approx 68^\circ$ の所が滑らくなるが、カムが大となるので $R_0=2$ の所がよい。そのときの $\sigma_1 \approx 7.71$ となる。

図14は前記のデータで $\alpha=60^\circ$ の場合を示す。 $R_0=2$ のとき $\rho_T \approx 0.6, \sigma_1 \approx 4.19$ となるので $\alpha=90^\circ$ の場合よりも滑らくなる。

図15は $\alpha=60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, \theta_0=\theta_r=90^\circ, R_0=1.5$ のカムの輪郭を示す。 $\alpha=60^\circ$ の場合が ρ_{Tmin} も σ_{1max} もよい。そしてカムが少し小さくなる。以上のことから滑り率としては $\sigma_1 < 7 \sim 8$ が適当のように思われる。

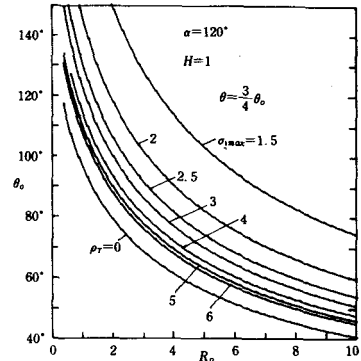


図12 $\alpha=120^\circ$ の各 σ_{1max} に対する R_0 と θ_0 の関係

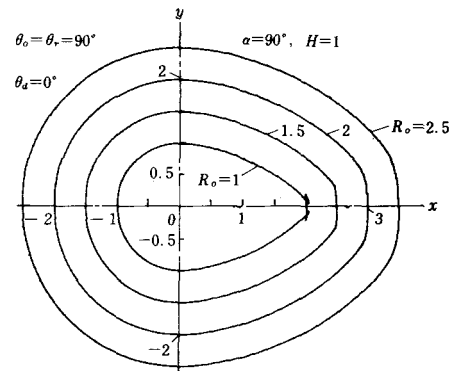


図13 $\alpha=90^\circ, \theta_0=\theta_r=90^\circ$ のカムの輪郭

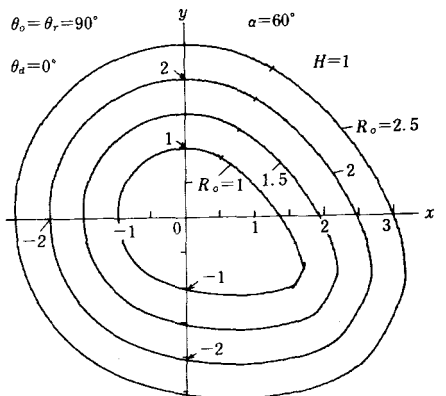


図14 $\alpha=60^\circ, \theta_0=\theta_r=90^\circ$ のカムの輪郭

7.1 カムの先端円の径

同じ R_0 , H でも α によってカムの高さ t が異なるので、図1において $k=R_0/\sin\alpha$, $k+H=(R_0+t)/\sin\alpha$ が得られるので次式が得られる。

$$t = H \sin \alpha, \text{ 先端円の半径} = R_0 + t \\ = R_0 + H \sin \alpha \quad \cdots \cdots (38), (39)$$

よって α が 90° の場合 t , R_0+t が最大で図13, 14を較べれば $\alpha=60^\circ$ の場合が 90° の場合より先端円の半径が小さくなり、そのため $\rho_{r \min}$ が増し、カムの輪郭が滑らかになることがわかる。

7.2 $\theta_0 = 60^\circ$ の場合

$\alpha=90^\circ$ のときは図10より $\rho_r > 0$, $R_0 > 5$ となり、近似 $\sigma_{1 \max} < 6$ のためには $R_0 > 6$ となる。 $\alpha=60^\circ$ のときは往き行程においては図11より $\rho_r > 0$ となるためには $R_0 > 4.4$, 近似 $\sigma_{1 \max} < 6$ のためには $R_0 > 5.2$ となる。

戻り行程においては図12より $\rho_r > 0$ のためには $R_0 > 4.4$, 近似 $\sigma_{1 \max} < 6$ のためには $R_0 > 5.4$ となる。 $\alpha \neq 90^\circ$ で $\theta_0 = \theta_r$ の場合は両行程の $\rho_{r \min}$ は同一であるが $\sigma_{1 \max}$ は異なることに注意する必要がある。

図16には $\theta_0 = 60^\circ$, $R_0 = 3 \sim 6$, $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ の場合の $\theta = 3/4 \theta_0$ の近くのカムの輪郭を示す。

図から $\theta_0 = 60^\circ$ の場合, $\alpha = 90^\circ$ のとき $R_0 \geq 6$ の場合は滑らかであるが $R_0 \leq 5.5$ は悪くなる。 $\alpha = 60^\circ$ では $R_0 \geq 5.5$ が滑らかとなる。 θ_0 が小さい場合は H に対し、カムが非常に大きくなることに注意しなければならない。

§8 カムの選択

8.1 $\theta_0 = \theta_r = 90^\circ$ の場合

$\theta_0 = \theta_r = 90^\circ$ の場合, $H=1$, 近似 $\sigma_{1 \max} = 4$ とすれば図11より $\alpha=60^\circ$ のとき $R_0 \doteq 2$, 図10より $\alpha=90^\circ$ のとき $R_0=2.5$ となる。図17は $\theta_0 = \theta_r = 90^\circ$, $H=1$, $\alpha=90^\circ$, $R_0=2.5$ の場合の ρ_r , s , σ_1 , σ_2 を示す。 $\sigma_{1 \max} \doteq 4$ となる。図18は $\alpha=60^\circ$, $R_0=2$ の場合で往き行程の $\sigma_{1 \max} \doteq 4.3$, 戻り行程での $\sigma_{1 \max} \doteq 5.5$ となるが, $\rho_{r \min}$ は両行程共同じである。図19は $\alpha=120^\circ$, $R_0=2$ の場合で往き行程の $\sigma_{1 \max} \doteq 5.5$, 戻り行程の $\sigma_{1 \max} \doteq 4.3$ となり, $\alpha=60^\circ$ の逆となり, $\rho_{r \min}$ は同一である。

以上のことから $\alpha=60^\circ$ の場合, 往き行

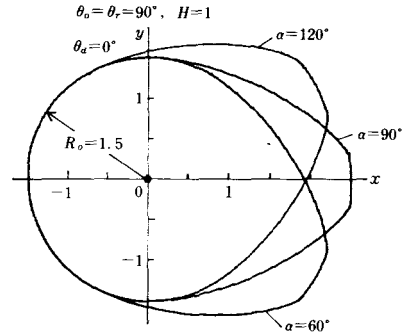


図15 $\alpha=60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$, $\theta_0=\theta_r=90^\circ$, $R_0=1.5$ のカムの輪郭

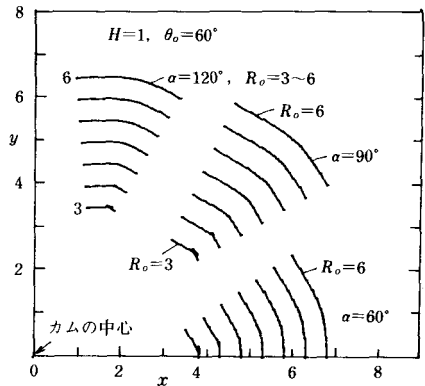


図16 $\theta_0=60^\circ$, $\alpha=60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ のカムの輪郭

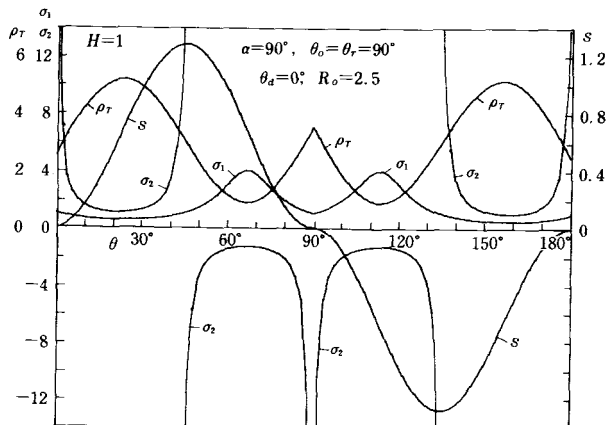


図17 $\theta_0=\theta_r=90^\circ$, $\alpha=90^\circ$, $R_0=2.5$ の ρ_r , s , σ_1 , σ_2

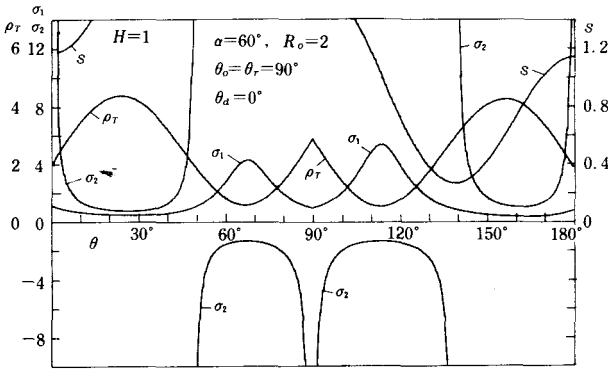


図18 $\theta_0=\theta_r=90^\circ$, $\alpha=60^\circ$,
 $R_0=2$ の ρ_T , s , σ_1 , σ_2

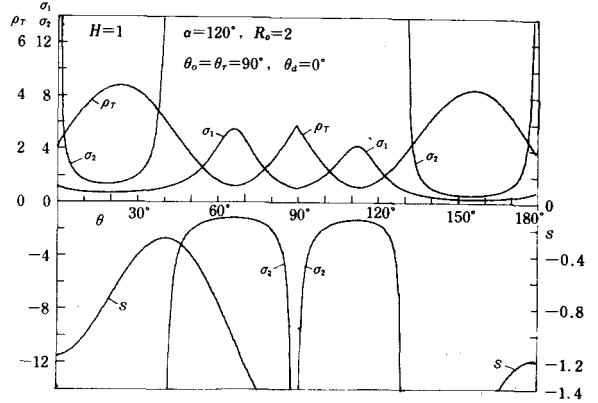


図19 $\theta_0=\theta_r=90^\circ$, $\alpha=120^\circ$, $R_0=2$ の
 ρ_T , s , σ_1 , σ_2

程においては図11, 戻り行程においては図12を参照すれば, $R_0=2$ の場合 $\theta_0=90^\circ$ とするなら往き行程において近似 $\sigma_{1\max} \doteq 4.5$ となり, 戻り行程の $\sigma_{1\max}$ を同一にするためには $\theta_r \doteq 92^\circ$ にする必要がある。もし $\theta_0 > \theta_r$ とするためには $\alpha > 90^\circ$ とする必要がある。

8.2 $\theta_0=\theta_r=60^\circ$ の場合

図16より $\alpha=90^\circ$ の場合 $R_0 > 6$ がカムの輪郭として望ましいが, $R_0=6$ では図10により近似 $\sigma_{1\max} \doteq 6$ となり, $\alpha=60^\circ$ の場合は図16より $R_0 > 5.5$ が望ましく, $R_0=5.5$ とすれば図11より往き行程において近似 $\sigma_{1\max} \doteq 5$, 戻り行程では $\sigma_{1\max} \doteq 5.5$ となり, $\alpha=120^\circ$ の場合はこの逆となる。

§9 従動節上の滑り率

平板従動節上のM点から接触点までの距離 s に対するT点の従動節の滑り率 σ_2 は式(3)と式(13), (15)で求められるので図17のデータで s を横軸に σ_2 を求めたものを図20に示す。図から接触の両端で $\sigma_2 = \infty$ となり, また中央に $\sigma_2 = \infty$ が存在する。

図21, 22は $\alpha=60^\circ$, 120° の図18, 19のデータで s に対する σ_2 を描いたもので, 接触の両端だけでなく, 中間に2ヶ所 $\sigma_2 = \infty$ の所を生ずる。その間隔は α が 90° より大きくなるか, 小さくなる程大きくなる。 $\alpha=60^\circ$ では s の+側のみ, $\alpha=120^\circ$ では一側のみ作用する。

$\alpha=90^\circ$ の場合は平板従動節の中央が大きく摩耗する欠点が生じるので従動節を回転させるのが望ましい。

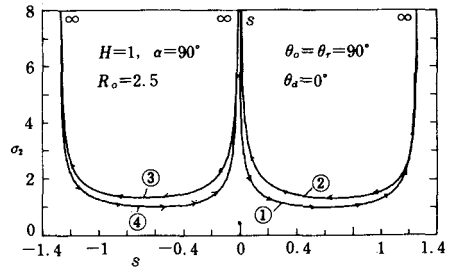


図20 $\alpha=90^\circ$, $\theta_0=\theta_r=90^\circ$ の平板従動節上の σ_2

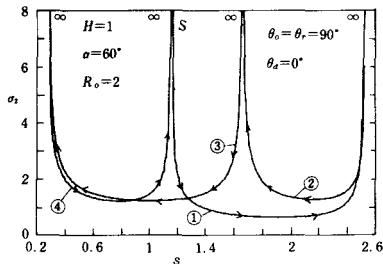


図21 $\alpha=60^\circ$ の場合の σ_2

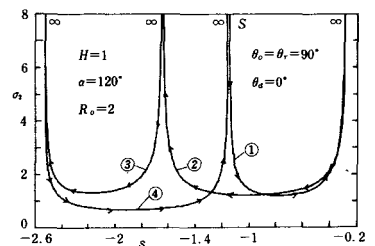


図22 $\alpha=120^\circ$ の場合の σ_2

§10 カムの輪郭と接触点の軌跡

式(7)の x_T , y_T によりカムの輪郭が、式(5),(6)の ξ_T , η_T により接触点の軌跡が求められるので、前述の図3の場合のデータによりカムの輪郭と接触点の軌跡を求めたものを図23に示す。図24は $H=1$, $\theta_0=\theta_r=110^\circ$, $\alpha=90^\circ$, $R_0=1, 1.5, 2$ の場合で $\sigma_{1\max}$ はそれぞれ10, 3.5, 2.4, となり, $\rho_{T\min}$ はそれぞれ0.2, 0.7, 0.95 となるが, 接触点の軌跡は同形同大の楕円となる。

図25は図18, 19のデータのカムの輪郭と接触点の軌跡を示す。

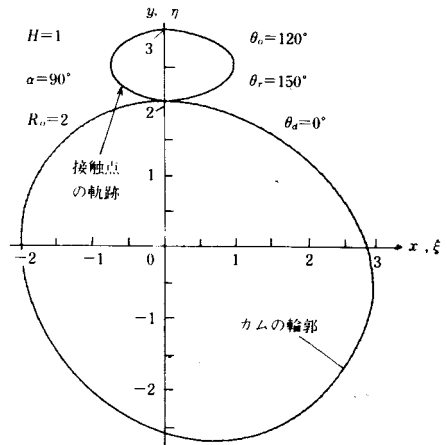


図23 図3のデータのカムの輪郭と接触点の軌跡

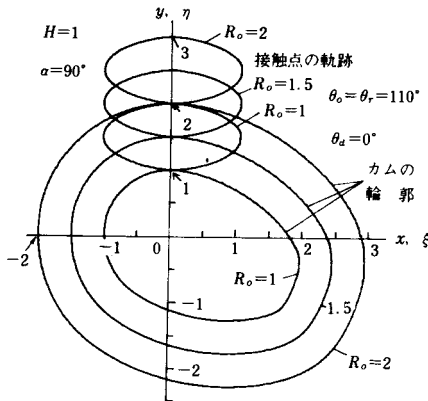


図24 $\alpha=90^\circ$, $\theta_0=\theta_r=110^\circ$, $R_0=1, 1.5, 2$ のカムの輪郭と接触点の軌跡

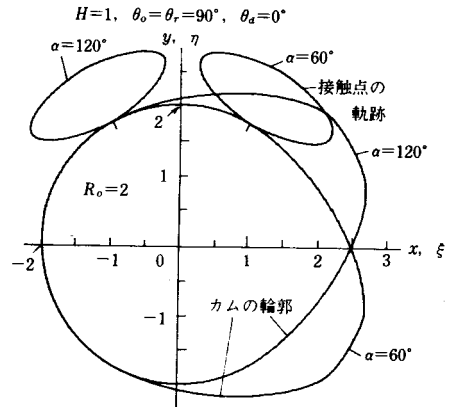


図25 図18, 19のデータによるカムの輪郭と接触点の軌跡

§11 結 論

以上により傾斜した往復平板従動節をもつサイクロイダルカムの滑り率について次の結論が得られた。

- (1) カムの回転角に対し, 行き行程の約 $3/4$ の所に, 戻り行程では約 $1/4$ の所にカムの輪郭の最小曲率半径が存在し, 基礎円半径か, 行程の回転角が余り小さいときは曲率半径が負となり, カムの輪郭は形成されない。
- (2) カムの最大滑り率は最小曲率半径の附近に生じ, その値が8以上になれば輪郭に角を生ずる。
- (3) カムの行きと戻りの回転角が同一であれば, 両行程の最小曲率半径も同一であるが, 従動節の平板が傾斜しているときは両行程のカムの最大滑り率は同一でなく, $\alpha > 90^\circ$ では行き行程の方が高く, $\alpha < 90^\circ$ のときは戻り行程の方が高いから, $\alpha < 90^\circ$ の方が望ましい。
- (4) 傾斜角 $\alpha \neq 90^\circ$ の方が $\alpha = 90^\circ$ の場合よりもカムの最大滑り率が小さい。
- (5) 従動節の滑り率は平板上の接触の両端で無限大となり, $\alpha \neq 90^\circ$ のときは中央の2ヶ所で無限大となり, $\alpha = 90^\circ$ のときはそれが中央で重なるので, 中央の摩擦に問題を生ずる。

文 献

- 1) 糸島寛典：往復サイクロイダルカムの滑り率の研究（第1報），呉高専研究報告，**8**，2，1973
- 2) 糸島寛典：往復等加速度カムの滑り率の研究（第1報），呉高専研究報告，**6**，1，1970

（昭和53年4月15日受付）

揺動サイクロイダルカムの滑り率の研究 (第2報)

—— 平 板 従 動 節 ——

(機械工学科)

糸 島 寛 典

Studies on the Specific Sliding of the Cycloidal Cam with the Oscillating Follower (Report 2)

—— Flat Plate Follower ——

Hironori ITOSHIMA

The pressure angle and the specific sliding of the cycloidal cam with the oscillating follower (circular arc profile) has been discussed.

In this report, the oscillating follower of the cycloidal cam is an offset flat plate. The rotating angle of a cam at each stroke of a follower and the oscillating angle of a follower are specified and then the minimum radius of curvature on a cam profile, the specific sliding of the cam, the pressure angle and the radius of a base circle are examined.

If the maximum specific sliding and the maximum pressure angle are specified, the best cam can be designed.

§ 1 緒 言

前報¹⁾において円弧揺動従動節をもつサイクロイダルカムにおける押進め角と滑り率について論じ、滑り率を考慮したカムの設計を行った。

本報告では揺動従動節が平板の場合についてカムと従動節の滑り率を論ずるが、平板の場合カムの滑り率が高い場合は運動が滑らかに行われず、従動節の滑り率が高い場合にローラで置換えることができない。カムの往きと戻りの両行程の角度により、これらの滑り率が極端に高くなるので、その点を考慮したカムの設計を行う。

§ 2 記 号

θ : カムの回転角

θ_0 : 往き行程のカムの回転角

θ_r : 戻り行程のカムの回転角

θ_d : 頂点の停止期間中のカムの回転角

Ψ : 従動節の揺動角

φ_0 : 従動節の始点の角

φ : 従動節の角変位

φ_1 : 従動節と固定リンクのなす角

d : カムと従動節の軸間距離

f : 従動節のオフセット量

R_0 : カムの基礎円半径軸間距離

ρ_r : カムの曲率半径

ω_1 : カムの角速度

ω_2 : 従動節の角速度

α_2 : 従動節の角加速度

t : カムの高さ

$d\varphi_1/d\theta$: カムの角速度に対する従動節の角速度

σ_1 : カムの滑り率

$d^2\varphi_1/d\theta^2$: カムの角速度の2乗に対する従動節の角加速度

σ_2 : 従動節の滑り率

§ 3 揺動平板従動節に対するカムの理論式

図1に揺動平板従動節をもつカム機構を示す。カム1はAを中心とし反時計回りに回転し、従動節2はBを中心として揺動運動している。

接触点をT, 基礎円半径を R_0 , 軸間距離を d とす。従動節の平板は f だけオフセットしており, 図の位置を+側とす。A点を原点とするカム上に固定された回転 xy 座標とB点を原点とする従動節上に固定された回転 XY 座標をとり, x, Y 軸が AB となす角をそれぞれ θ, φ_1 とし, θ は従動節が運動を始める点で $\theta=0^\circ$ とす。従動節が基礎円に接している場合の Y 軸と AB のなす角を φ_0 とすれば従動節の角変位 φ と φ_0 は次式で表わせる。

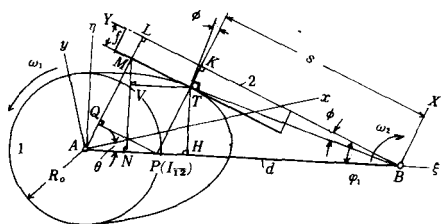


図1 揺動平板従動節のカムの理論

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_0, \quad \varphi_0 = \sin^{-1} \frac{R_0 + f}{d} \quad \dots\dots\dots (1), (2)$$

接触点Tにおけるカムの法線が AB と交わる点Pはカムと従動節の瞬間中心 I_{12} なので前報より次のようになる。

$$AP = d \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta}, \quad BP = \frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta} \quad \dots\dots\dots (3), (4)$$

3. 1 接触点の軌跡 図1においてAを原点とし AB を ξ 軸, それに直角に η 軸をとり, T点の $\xi\eta$ 座標 ξ_T, η_T を求める。A点より従動節に垂線 AML を下し, T, M点より AB にそれぞれ垂線 TH, MN を下し, P点より AM に垂線 PQ を下し, T点より MN に垂線 TV を下せば $\angle AMN = \angle PTH = \angle APQ = \angle MTV = \varphi_1$ となり, $\xi_T = AH = AN + TV, \eta_T = TH = MN - MV$ で, $AM = d \sin \varphi_1 - f$ と式(3)から接触点の軌跡を与える ξ_T, η_T は次式のようにになる。

$$\xi_T = (d \sin \varphi_1 - f) \sin \varphi_1 + d \times \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta} \cos^2 \varphi_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\eta_T = (d \sin \varphi_1 - f) \cos \varphi_1 - d \times \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta} \cos \varphi_1 \sin \varphi_1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

3. 2 カムの輪郭とK曲線 接触点Tの $\xi\eta$ 座標 ξ_T, η_T を xy 座標 x_T, y_T に座標変換すれば, これはカムの輪郭を示し, 次式のようにになる。

$$x_T = \xi_T \cos \theta + \eta_T \sin \theta, \quad y_T = -\xi_T \sin \theta + \eta_T \cos \theta \quad \dots\dots\dots (7), (8)$$

この式に式(5), (6)を代入すれば次式が得られる。

$$x_T = (d \sin \varphi_1 - f) \sin (\theta + \varphi_1) + d \times \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta} \cos \varphi_1 \cos (\theta + \varphi_1) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$y_T = (d \sin \varphi_1 - f) \cos (\theta + \varphi_1) - d \times \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta} \cos \varphi_1 \sin (\theta + \varphi_1) \quad \dots\dots\dots (10)$$

図1においてPTと Y 軸の交点をKとし, Kの xy 座標 x_K, y_K を求めれば, これは円弧従動節のピッチ円に相当するK曲線が得られる。K曲線は $f=0$ の場合だから, 式(9), (10)の $f=0$ とおけば次式のようにになる。

$$x_K = d \sin \varphi_1 \sin (\theta + \varphi_1) + d \times \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta} \cos \varphi_1 \cos (\theta + \varphi_1) \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$y_k = d \sin \varphi_1 \cos (\theta + \varphi_1) - d \times \frac{d\varphi_1/d\theta}{1+d\varphi_1/d\theta} \cos \varphi_1 \sin (\theta + \varphi_1) \quad \dots\dots\dots(12)$$

3. 3 曲率半径と滑り率 揺動平板従動節におけるカムの輪郭の曲率半径は前報¹⁾より次式のようになる。これは式(9), (10)を曲率半径の式に代入して得られる。

$$\rho = \frac{\left[\left(\frac{dx}{d\theta} \right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2x}{d\theta^2} \frac{dy}{d\theta} - \frac{d^2y}{d\theta^2} \frac{dx}{d\theta}}$$

$$\rho_r = d \sin \varphi_1 - f - \frac{d \sin \varphi_1 (d\varphi_1/d\theta)^2}{(1+d\varphi_1/d\theta)^2} + \frac{d \cos \varphi_1 d^2\varphi_1/d\theta^2}{(1+d\varphi_1/d\theta)^3} \quad \dots\dots\dots(13)$$

図1においてPTの長さは式(4)より次式のようになる。

$$\overline{PT} = \frac{d \sin \varphi_1}{1+d\varphi_1/d\theta} - f \quad \dots\dots\dots(14)$$

図1においてBKの長さをsとすれば次式のようになる。

$$s = \frac{d \cos \varphi_1}{1+d\varphi_1/d\theta} \quad \dots\dots\dots(15)$$

カムと従動節の滑り率を σ_1 , σ_2 とすれば前報²⁾より

$$\sigma_1 = \frac{\overline{PT}}{\rho_r}, \quad \sigma_2 = \frac{\overline{PT}}{\rho_r - \overline{PT}} \quad \dots\dots\dots(16), (17)$$

となるので式(13), (14)より滑り率は計算される。式(15)により平板上の σ_2 を表示することができる。

3. 4 押進め角 図1において平板従動節上のT点の運動方向はBTに直角だから、これとカムの法線PTのなす角 ϕ はカムの押進め角となり、これはまた $\angle KBT$ に等しい。故に

$$\tan \phi = \frac{f}{s} \quad \dots\dots\dots(18)$$

が得られ、 $f=0$ のときは常に $\phi=0$ となる。sは式(15)より計算される。fは一定だから s_{min} のとき ϕ_{max} となる。

§ 4 サイクロイダルカムの従動節の運動

前述したものはオフセットの平板従動節をもつ板カムの一般理論であるが、板カムがサイクロイダル曲線の場合は前報¹⁾と同様図2に示すように揺動角を Ψ 、行き行程のカムの回転角を θ_0 、戻り行程のカムの回転角を θ_r 、頂上における停止期間のカムの回転角を θ_a とすれば次式のように従動節の角変位、角速度 $\omega_2 = \omega_1$ 、 $d\varphi_1/d\theta$ 、角加速度 $\alpha_2 = \omega_1^2 d^2\varphi_1/d\theta^2$ が与えられる。ただし θ_0 , θ_r , θ_a は度で示す。

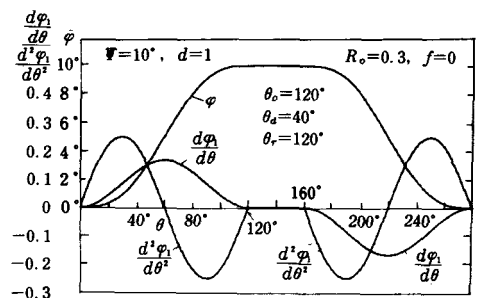


図2 サイクロイダルカムの運動

4. 1 行き行程の角変位、角速度、角加速度

$$\varphi = \Psi \left(\frac{\theta}{\theta_0} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \right), \quad \varphi_1 = \varphi_0 + \varphi \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{\Psi}{\theta_0} \left(1 - \cos \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \right), \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{360^\circ \Psi}{\theta_0^2} \sin \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \quad \dots\dots\dots(20), (21)$$

4. 2 戻り行程の角変位, 角速度, 角加速度

$$\varphi = \Psi \left\{ 1 - \frac{\theta - \theta_0 - \theta_a}{\theta_r} + \frac{1}{2\pi} \sin \frac{360^\circ(\theta - \theta_0 - \theta_a)}{\theta_r} \right\} \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$\varphi_1 = \varphi_0 + \varphi$$

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{\Psi}{\theta_r} \left\{ -1 + \cos \frac{360^\circ(\theta - \theta_0 - \theta_a)}{\theta_r} \right\} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{360^\circ\Psi}{\theta_r^2} \sin \frac{360^\circ(\theta - \theta_0 - \theta_a)}{\theta_r} \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\omega_2 = \omega_1 d\varphi_1/d\theta, \quad \alpha_2 = \omega_1^2 d^2\varphi_1/d\theta^2 \quad \dots\dots\dots(25)$$

以上 Ψ , θ_0 , θ_r , θ_a は度で表示する。

§ 5 計 算 例

例えば $\Psi=10^\circ$, $\theta_0=\theta_r=120^\circ$, $\theta_a=40^\circ$, $d=1$, $R_0=0.3$, $f=0$ の場合の s , ρ_r , σ_1 , σ_2 を式(15), (13), (16), (17)により計算したものを θ に対して示す。図から $\theta_0=\theta_r$ の場合は往き行程より戻り行程においてその $1/4 \sim 1/3$ の所で $\rho_{r \min}$ が生じ、カムの滑り率 σ_1 の最大値を生ずる。

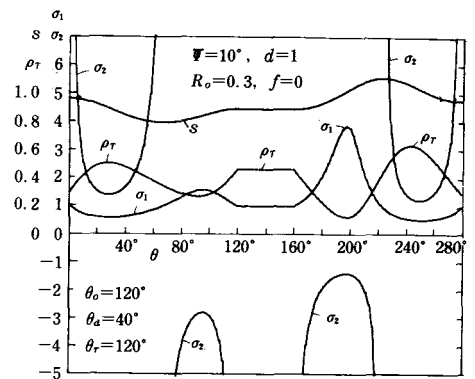


図3 $\Psi=10^\circ$, $R_0=0.3$, $f=0$ の s , ρ_r , σ_1 , σ_2

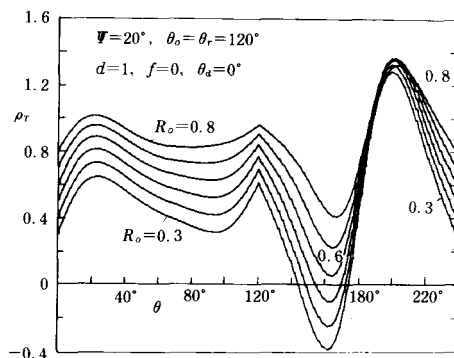
§ 6 ρ_r と σ_1 に対する R_0 の影響

図4 $\Psi=20^\circ$, $f=0$, $R_0=0.3 \sim 0.8$ の ρ_r

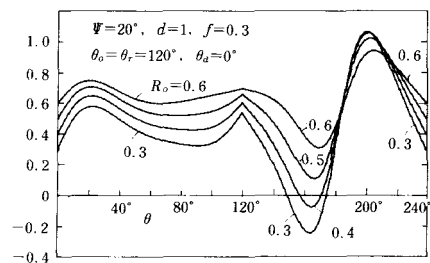


図5 $\Psi=20^\circ$, $f=0.3$, $R_0=0.3 \sim 0.6$ の ρ_r

カムの曲率半径を調べるために $\Psi=20^\circ$, $\theta_0=\theta_r=120^\circ$, $\theta_a=0^\circ$, $f=0$, $d=1$, $R_0=0.3 \sim 0.8$ の場合の ρ_r を θ に対して求めたものを図4に示す。図から ρ_r は戻り行程において大きく変化し、 R_0 が小さいときは負となりカムが形成されなくなる。同じ R_0 でも Ψ が大きくなると ρ_r が負となることがわかる。 $\Psi=20^\circ$ の場合は $R_0 > 0.6$ となる。図5は $f=0.3$ とした場合で $R_0 > 0.5$ の場合が使用できる。これから f を+側に増せば R_0 を小さくすることができる。図4, 5 から R_0 , f の値にほぼ無関係に戻り行程の約 $1/3$ の所で $\rho_{r \min}$ を生ずることがわかる。

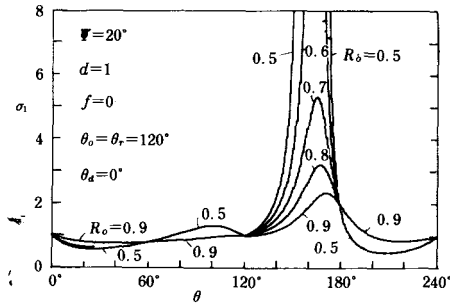
図6 図4の場合のカムの滑り率 σ_1

図6は図4のデータによりカムの滑り率 σ_1 を求めたもので、 $R_0 < 0.6$ の場合は $\sigma_{1 \max}$ が非常に大きくなり $R_0 = 0.7$ のとき $\sigma_{1 \max} \approx 7$ となる。 $\sigma_{1 \max}$ のときの θ は R_0 が増す程幾分増す。

以上により $\theta_0 = \theta_r$ の場合は戻り行程において ρ_T が最小となり、 σ_1 が最大となり、 R_0 が増加するか、 f が増加すれば $\rho_{T \min}$ が増加し、 $\sigma_{1 \max}$ が減少することがわかった。そこで θ_0 と θ_r を変化させ、例えば $\theta_0 = 80^\circ$ 、 $\theta_r = 160^\circ$ の場合の ρ_T と σ_1 の変化をそれぞれ図7, 8に示す。

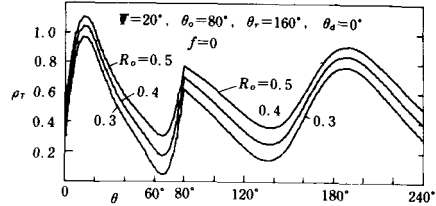
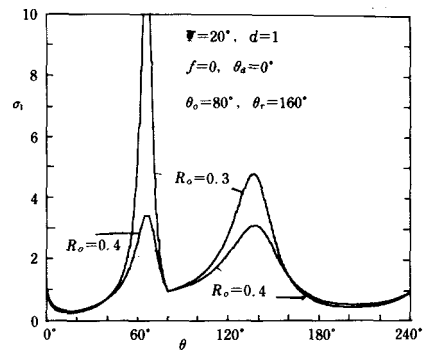
図7 $\Psi=20^\circ$, $\theta_0=80^\circ$, $\theta_r=160^\circ$, $f=0$ の ρ_T 図8 図7の場合の σ_1

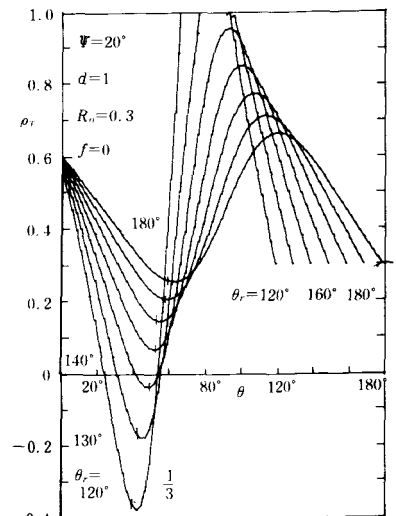
図7から明らかなように $\theta_r = 120^\circ$ を $\theta_r = 160^\circ$ にすれば図4に較べ $R_0 = 0.3, 0.4$ の場合も $\rho_{T \min} > 0$ となり、図8から戻り行程の $\sigma_{1 \max}$ を下げることができたが、往き行程の θ_0 を 120° から 80° にしたため、往き行程の $\rho_{T \min}$ が減少し、図8のように $\sigma_{1 \max}$ が $R_0 = 0.3$ の場合非常に大きな値となった。よって $\rho_{T \min}$, $\sigma_{1 \max}$ において θ_0 , θ_r にそれぞれ最小限の値のあることがわかる。

§7 θ_0 , θ_r の変化による ρ_T

$\rho_{T \min} = 0$ の所で $\sigma_1 = \infty$ となるので、戻り行程で ρ_T が最小となる θ の位置を求めるには ρ_T の式(13)を θ で微分して零とせばよいのであるが、この計算が困難なので、 $\Psi = 20^\circ$, $d = 1$, $f = 0$ とし、 $\theta_r = 120^\circ \sim 180^\circ$ の場合の ρ_T を θ に対し求め、図9は $R_0 = 0.3$ 、図10は $R_0 = 0.4$ の場合を示す。図から θ_r が増せば $\rho_{T \min}$ の値も大きくなるのがわかるが $\rho_{T \min}$ の位置は $R_0 = 0.3$ あるいは 0.4 でも θ が戻り行程の $1/3 \theta_r$ を少し過ぎた所、正確には $16/45 \theta_r$ の所であることがわかる。

往き行程についても同様に $\Psi = 20^\circ$, $f = 0$, $d = 1$, $\theta_0 = 80^\circ \sim 140^\circ$ のときの $R_0 = 0.3$ と 0.4 の場合の ρ_T を図11に示す。図から $\theta \approx 4/5 \theta_0$ の所で ρ_T が最小になることがわかるので、近似最小曲率半径の位置を $\theta = 4/5 \theta_0$ とする。

図12は図9～11を総合して横軸の $\theta_0(\theta_r)$ に対する $\rho_{T \min}$ を求めたもので、両行程で同じ $\rho_{T \min}$ とするには θ_r は θ_0 より約 60° 大でなければならぬことがわかる。よって R_0 が小さいときは θ_r を 150° 以上にとる必要がある。故に揺動平板従動節

図9 $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $f=0$, $R_0=0.3$, 各 θ_r の ρ_T

の場合はカムを図1の場合, 時計回りすなわち内向きに回転させる必要がある。こうすると本論文の戻り行程が往き行程となるので, 従動節はゆっくり変位して早戻りすることとなる。

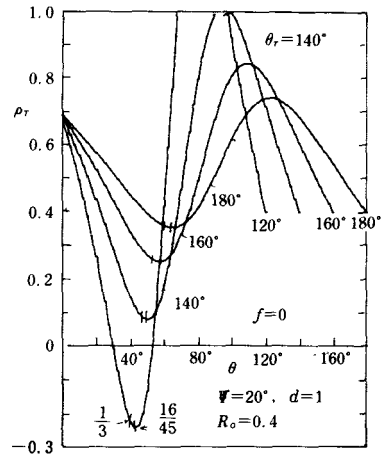


図10 $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $f=0$, $R_o=0.4$, 各 θ_r の ρ_r

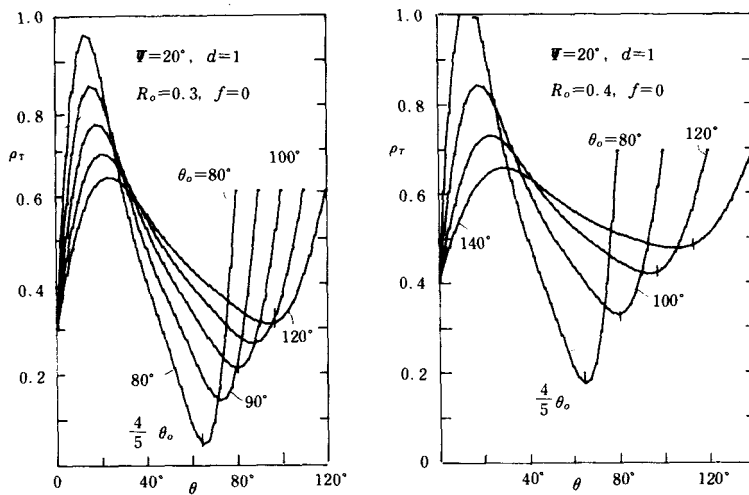


図11 $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $f=0$, $R_o=0.3$ と 0.4 の ρ_r

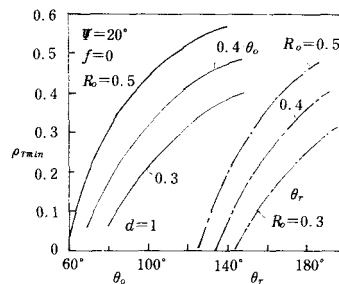


図12 $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $f=0$, $R_o=0.3 \sim 0.5$, 各 θ_o , θ_r に対する $\rho_{r \min}$

§ 8 θ_0, θ_r の変化による $\sigma_{1 \max}$

カムの曲率半径が最小の所でカムの滑り率 σ_1 がほぼ最大となるので、往き行程においては $\theta=4/5 \theta_0$ 、戻り行程では $\theta=\theta_0+\theta_d+1/3 \theta_r$ の所 σ_1 を近似最大滑り率 $\sigma_{1 \max}$ とし、 $\Psi=20^\circ, f=0, d=1, R_0=0.3 \sim 0.9$ の場合の各 θ_0, θ_r に対する $\sigma_{1 \max}$ を求めたものを図13, 14に示す。図から θ_0, θ_r の減少により $\sigma_{1 \max}$ の値が急増すること R_0 が小さい場合は θ_0, θ_r を大きくする必要があることがわかる。

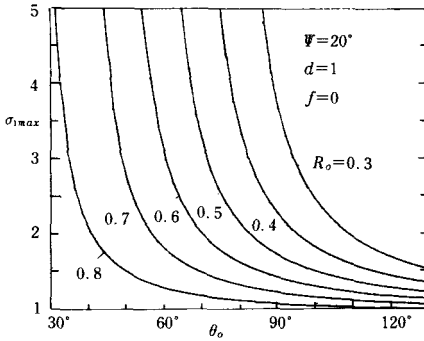


図13 $\Psi=20^\circ, f=0$ 各 R_0 の θ_0 に対する近似 $\sigma_{1 \max}$

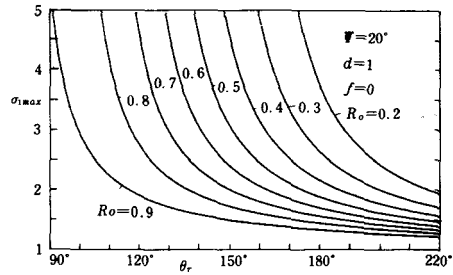


図14 $\Psi=20^\circ, f=0$ 各 R_0 の θ_r に対する近似 $\sigma_{1 \max}$

§ 9 $\sigma_{1 \max}$ 指定したときの θ_0, θ_r

$$\theta = \frac{4\theta_0}{5}, \quad \theta = \theta_0 + \theta_d + \frac{\theta_r}{3} \quad \dots\dots\dots (26), (27)$$

の θ の位置が近似的に $\sigma_{1 \max}$ の位置であるとすれば $\sigma_{1 \max}$ を指定して θ_0, θ_r を求めることができる。

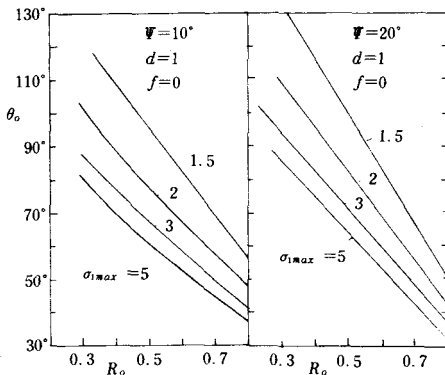


図15 $\sigma_{1 \max}$ を指定したときの R_0 と θ_0 の関係

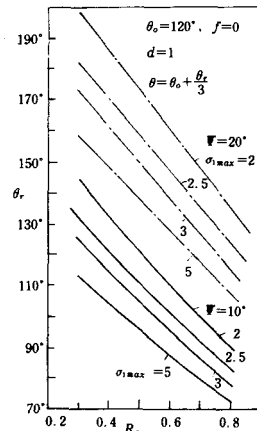


図16 $\sigma_{1 \max}$ を指定したときの R_0 と θ_r の関係

9. 1 往き行程の θ_0 式(26)を式(19)~(21)に代入すれば次式が得られる。

$$\varphi = \Psi \left(\frac{4}{5} - \frac{\sin 288^\circ}{2\pi} \right), \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{\Psi}{\theta_0} (1 - \cos 288^\circ), \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{360^\circ \Psi}{\theta_0^2} \sin 288^\circ \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$\varphi_1 = \varphi + \varphi_0,$$

式(16)に式(13), (14)を代入して整理すれば次式が得られる。

$$\sin \varphi_1 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \left\{ \sigma_{1 \max} \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \sigma_{1 \max} \left(\frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 \right\}$$

$$-\frac{f}{d}\left(1+\frac{d\varphi_1}{d\theta}\right)^3(\sigma_{1\max}-1)+\sigma_{1\max}\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2}\cos\varphi_1=0 \quad \dots\dots\dots(29)$$

この式に式(28)を代入し、 $f=0$ として整理し、吟味すれば次式が得られる。

$$\theta_0 = \frac{-(3\sigma_{1\max}-2)\Psi(1-\cos 288^\circ)+\sqrt{D}}{2(\sigma_{1\max}-1)} \quad \dots\dots\dots(30)$$

$$D = \Psi^2 \sigma_{1\max}^2 (1-\cos 288^\circ)^2 - 4(\sigma_{1\max}-1) \frac{\Psi \sigma_{1\max}}{\tan \varphi_1} \times 360^\circ \sin 288^\circ$$

$$\varphi_1 = \sin^{-1} \frac{R_0}{d} + \Psi \left(\frac{4}{5} - \frac{\sin 288^\circ}{2\pi} \right) \quad \dots\dots\dots(31)$$

Ψ , d , R_0 , $\sigma_{1\max}$ を指定すれば φ_1 , D が求まるので θ_0 が決定される。図15は $\Psi=10^\circ$, 20° , $d=1$, $f=0$, $\sigma_{1\max}=1.5\sim 5$ と $R_0=0.2\sim 0.8$ を指定して θ_0 を求めたもので、 $\sigma_{1\max}$, R_0 が小さい程 θ_0 が大となる。

9.2 戻り行程の θ_r 式(27)を式(19)~(21)に代入すれば次式が得られる。

$$\varphi = \Psi \left(\frac{2}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4\pi} \right), \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = -\frac{3}{2} \frac{\Psi}{\theta_r}, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{180^\circ \sqrt{3}}{\theta_r^2} \frac{\Psi}{\theta_r^2} \quad \dots\dots\dots(32)$$

$$\varphi_1 = \varphi_0 + \varphi = \sin^{-1} \frac{R_0}{d} + \Psi \left(\frac{2}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2\pi} \right) \quad \dots\dots\dots(33)$$

式(32), (33)を式(29)に代入して $f=0$ とおけば θ_r に対し次の2次式が得られる。

$$(\sigma_{1\max}-1)\theta_r^2 - \frac{3}{2}\Psi(3\sigma_{1\max}-2)\theta_r + \frac{9}{4}\Psi^2(2\sigma_{1\max}-1) - \frac{180^\circ \sqrt{3}}{\tan \varphi_1} \Psi \sigma_{1\max} = 0 \quad \dots\dots\dots(34)$$

この式から θ_r を吟味して求めれば次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \theta_r &= \frac{1.5\Psi(3\sigma_{1\max}-2)+\sqrt{D}}{2(\sigma_{1\max}-1)} \\ D &= \frac{9}{4}\Psi^2\sigma_{1\max}^2 + 4(\sigma_{1\max}-1)\sigma_{1\max} \frac{180^\circ \sqrt{3}}{\tan \varphi_1} \Psi \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(35)$$

この式を用いて $\Psi=10^\circ$, 20° , $\sigma_{1\max}=2\sim 5$ の場合の各 R_0 に対する θ_r を求めたものを図16に示す。図から Ψ が大きい程 $\sigma_{1\max}$ と R_0 が小さい程、 θ_r が大きくなることがわかり、逆に R_0 , θ_r から $\sigma_{1\max}$ の近似値がわかる。

§10 オフセット量 f の影響

図17は従動節の平板のオフセット量 f の影響を調べるために、 $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $R_0=0.3$ とし、 $\theta_0=100^\circ$, $\theta_r=180^\circ$ の場合の $f=0.3$, 0 , -0.3 としたときの ρ_r と σ_1 を θ に対して求めたもので、往き行程において f を一側に大きくすれば、 $\rho_{r\min}$ が小となり、 $\sigma_{1\max}$ が増大することがわかる。戻り行程では θ_r を大きくしたため $\rho_{r\min}$, $\sigma_{1\max}$ にも f の大きな影響が現れないが、 f は+側にとった方が有利である。

図18は $\Psi=10^\circ$, 20° , $d=1$, $R_0=0.3$, $f=-0.3\sim 0.4$ の各 θ_0 に対する近似 $\sigma_{1\max}$ を求めたもので、 f を+側に大きくとる程同じ $\sigma_{1\max}$ に対し、 θ_0 を小さくできる。

図19は図18より求めた $\sigma_{1\max}$ の指定による f と θ_0 の関係を $\Psi=10^\circ$, 20° , $d=1$, $R_0=0.3$ の場合に対して求めたものである。

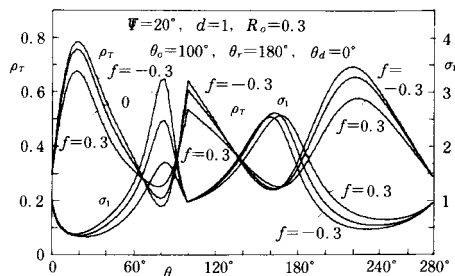
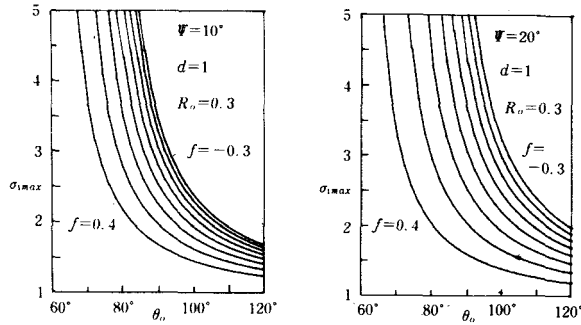
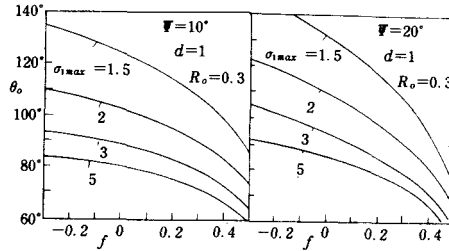


図17 f による ρ_r と σ_1

図18 f の指定による $\sigma_1 \max$ と θ_0 の関係図19 $\sigma_1 \max$ の指定による f と θ_0 の関係§11 $\sigma_1 \max$ と f を指定したときの $\theta_0(\theta_r)$ と R_0 の関係

Ψ , d , $\sigma_1 \max$, f を指定して $\theta_0(\theta_r)$ と R_0 の関係を求めるために式(16)に式(13), (14)を代入して整理すれば

$$\begin{aligned} \sin \varphi_1 \left\{ \sigma_1 \max - \frac{1}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} - \frac{\sigma_1 \max \left(\frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2}{\left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^3} \right\} \\ + \cos \varphi_1 \frac{\sigma_1 \max \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2}}{\left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^3} = (\sigma_1 \max - 1) \frac{f}{d} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (36)$$

が得られ、未定係数法で $A \sin \varphi_1 + B \cos \varphi_1 = C \sin (\varphi_1 + \delta)$ とおけば

$$\tan \delta = \frac{\sigma_1 \max \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2}}{\left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \left\{ \sigma_1 \max \left(1 + 2 \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \right\}} \quad \dots\dots\dots (37)$$

$$C^2 = \frac{\sigma_1 \max^2 \left(\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} \right)^2}{\left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^6} + \frac{\left\{ \sigma_1 \max \left(1 + 2 \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \right\}^2}{\left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^4} \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$\varphi_1 = \sin^{-1} \frac{(\sigma_{1 \max} - 1)f/d}{C} - \delta \dots (39)$$

$$R_0 = d \sin(\varphi_1 - \varphi) - f \dots (40)$$

となるので、近似最大滑り率の位置に往き行程では式(28), 戻り行程では式(32)の φ , $d\varphi_1/d\theta$, $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を式(37), (38)に代入し, δ , C を求め, 式(39), (40)に代入して R_0 を求めることができる。図20は $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $f=0$, $\sigma_{1 \max}=1.5 \sim 8$ の $\theta_0(\theta_r)$ と R_0 の関係を, 図21は $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $\sigma_{1 \max}=5$ と指定し, $f=-0.2 \sim 0.4$ の場合の $\theta_0(\theta_r)$ と R_0 の関係を示す。図20から同一の R_0 , $\sigma_{1 \max}$ にするには θ_r は θ_0 より 70° 以上大きくする必要がある, $\theta_0(\theta_r)$ を大きくする程 R_0 を小さくすなわちカムを小さくできる。 $\sigma_{1 \max}$ を小さくするには R_0 , $\theta_0(\theta_r)$ を大きくせねばならぬ。

図21より f を+側に大きくすれば R_0 , $\theta_0(\theta_r)$ を小さくできるが後述するよに押進め角が大きくなり問題がある。

§12 押 進 め 角

図1に示す押進め角 ϕ は $f=0$ の場合は $\phi=0^\circ$ となるが f が増すにつれ増大する。例えば図22は $\Psi=20^\circ$, $\theta_0=70^\circ$, $\theta_r=140^\circ$, $\theta_d=0^\circ$, $d=1$, $R_0=0.3$ の場合 $f=-0.1 \sim 0.5$ の回転角 θ に対する押進め角 ϕ を求めたもので, θ_0 が θ_r に比し小さいから往き行程の方が ϕ が大きくなり, $\phi_{\max} \div 40^\circ$ とすれば $f < 0.3$ となる。 ϕ_{\max} の値を各 R_0 の θ_0 と f に対して求めたものを表1に示す。 f を負にすれば ϕ は負となる。

表1 $\Psi=20^\circ$, $d=1$, $\theta_0=60^\circ \sim 120^\circ$, ϕ_{\max} の値

| R_0 | $f=0.3$ | 0.2 | 0.1 | -0.1 |
|-------|---------|-------------|------------|---------------|
| 0.6 | 73°~72° | 40°~36° | 18°~15° | -12.5°~-10.5° |
| 0.5 | 52°~48° | 32°~27° | 15°~12° | -11.5°~-9.5° |
| 0.4 | 43°~35° | 27°~22° | 13°~10.5° | -11° ~ -9° |
| 0.3 | 37°~30° | 24°~19.5° | 11°~9° | -10° ~ -8° |
| 0.2 | 34°~29° | 22.5°~18.5° | 10.5°~8.5° | -9.5° ~ -7.5° |

表1から $f=0.3$ の場合 $R_0 \leq 0.3$ となり, $R_0=0.3$ の場合 $\theta_0=60^\circ$ のときは $\phi_{\max}=37^\circ$, $\theta_0=120^\circ$ のとき $\phi_{\max}=30^\circ$ となることを示す。

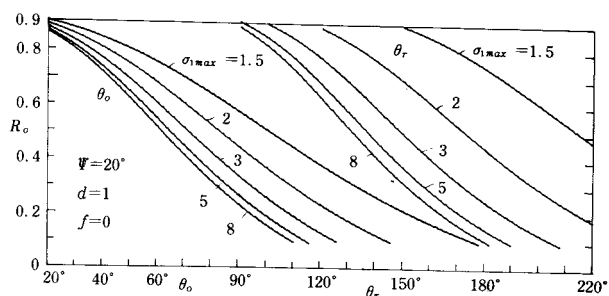


図20 f を指定し各 $\sigma_{1 \max}$ に対する $\theta_0(\theta_r)$ と R_0 の関係

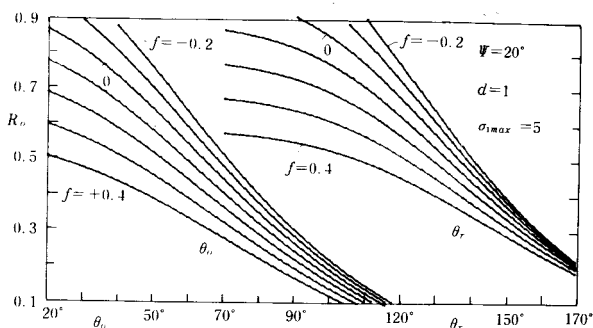


図21 $\sigma_{1 \max}$ を指定し各 f に対する $\theta_0(\theta_r)$ と R_0 の関係

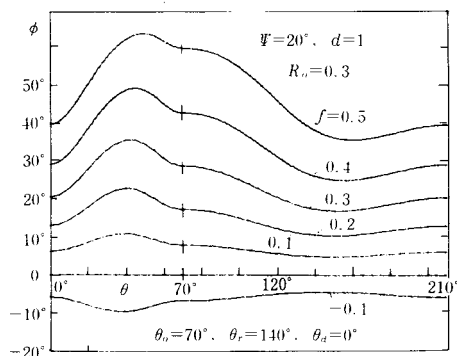


図22 f による押進め角 ϕ の変化

図23は $\Psi=20^\circ$, $R_o=0.3$, $f=0.3$ を指定して $\theta_o=60^\circ$ ~ 180° の ϕ を θ について示す。 θ_o が大きくなる程 ϕ_{max} は減少し、一定値に近づく。

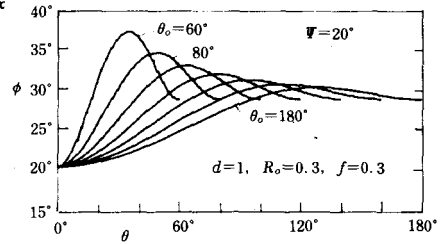


図23 θ_o の変化による ϕ の変化

§ 13 カムの輪郭と滑り率の関係

カムの輪郭は式(9), (10)から x_r , y_r を求めれば得られ、接触点の軌跡は式(5), (6)から ξ_r , η_r を求めれば得られる。例えば $\Psi=20^\circ$, $\theta_o=60^\circ$, $\theta_r=130^\circ$, $\theta_d=0^\circ$, $d=1$, $R_o=0.3$, $f=0$ の場合のカムの輪郭は図24なり、輪郭の途中で曲線が折れ曲って正確なカムはできない。これは ρ_{Tmin} が負となるからで、図25に示すように $R_o=0.4$ とし、 $f=0.3$ と 0.4 の場合の輪郭を求めた。 $f=0.4$ の場合はわりと滑らかであるが、 $f=0.3$ の場合は少し角ばっており、特に戻り行程で角ばっている。そこで ρ_r と σ_1 を調べたら図26が得られた。

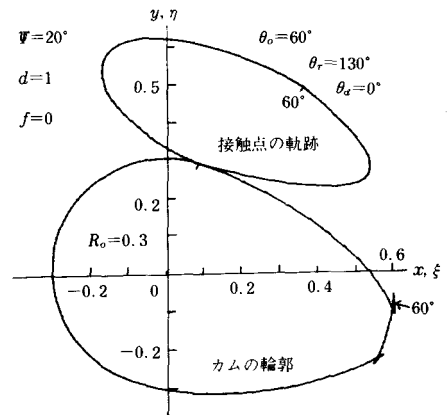


図24 θ_o , θ_r および R_o が小さい場合

図から $f=0.3$ の場合の両行程の $\sigma_{1max}=5$ と 13 , $f=0.4$ の場合は $\sigma_{1max}=2$ と 7 となる。しかし表1より $f=0.3$ のときは $\phi_{max}=43^\circ$, $f=0.4$ のときはそれ以上になるので使用できない。以上のことから揺動平板従動節のサイクロイダルとカムの場合 θ_o , θ_r が小さい場合は非常に設計が困難である。

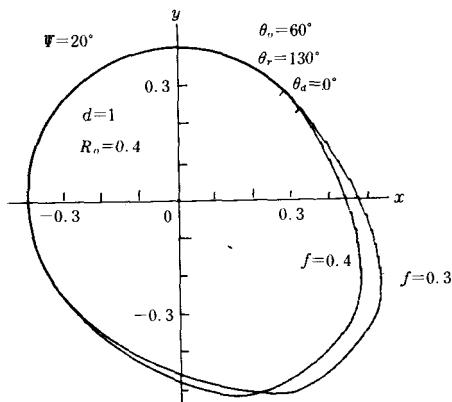


図25 図24の R_o と f を増加した場合

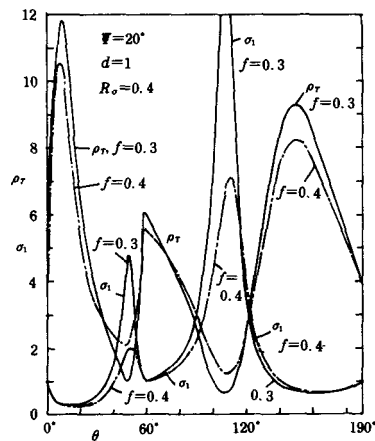


図26 図25の場合の ρ_r と σ_1

図27は $\Psi=20^\circ$, $\theta_o=100^\circ$, $\theta_d=0^\circ$, $\theta_r=180^\circ$, $d=1$, $R_o=0.3$, $f=0.3$ のカムの輪郭と式(11), (12)のK曲線と接触点の軌跡を示し、形も良好で、往きと戻り行程の σ_{1max} は 1.7 と 2.6 となり、 $\phi_{max}=32^\circ$ である。

図28はこのカムの s , ρ_r , σ_1 , σ_2 を示し、図29は従動節の平板上の従動節の滑り率 σ_2 を示す。 σ_{1max} の値は低く、 σ_2 は4ヶ所で無限大となるが、その配置は良好である。

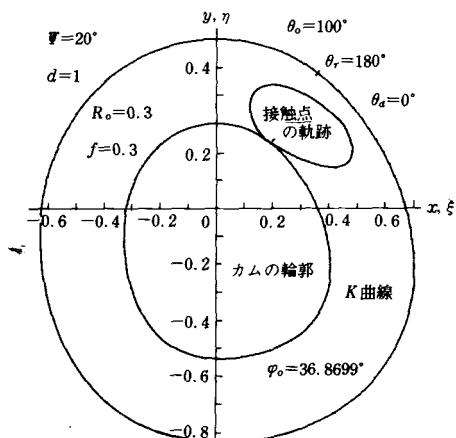
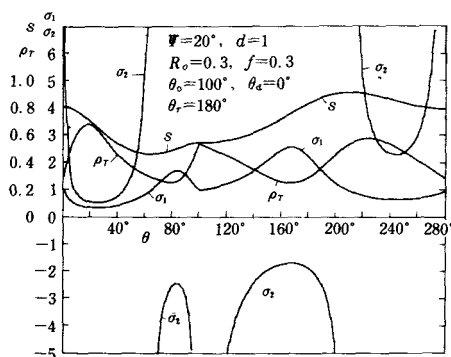
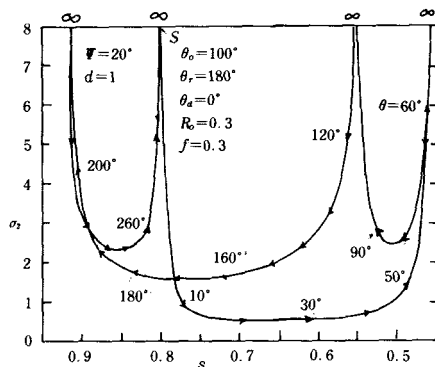


図27 カムの輪郭とK曲線と接触点の軌跡

図28 図27の S , ρ_r , σ_1 , σ_2 図29 図27の平板従動節上の σ_2

§ 14 結 論

以上揺動平板従動節をもつサイクロイダルカムの滑り率、押進め角に重点を置いて解析し、次のような結論が得られた。

- (1) カムの滑り率の高い所ではカムの曲率半径が非常に小さくなり、輪郭に角を生ずるので $\sigma_{1\max} < 5$ が望ましい。
- (2) 両行程におけるカムの滑り率を同一にするためにはカムの回転角の一方を 70° 以上大きくする必要がある、もし行き行程を戻りより大きくするにはカムを従動節側に回転する必要がある。
- (3) カムの小さい方の回転角を 60° 以下にすると押進め角、滑り率の点で設計困難である。
- (4) 従動節のオフセット量 f を+側に大きくすれば $\sigma_{1\max}$ は小さくなり、カムの形は滑らかになるが ϕ_{\max} が大きくなる。
- (5) 基礎円半径を大きくする程 $\sigma_{1\max}$ は小さくなるが ϕ_{\max} が限度 (高速回転の場合 40° 以下) を超える場合があるので注意しなければならぬ。

文 献

- 1) 糸島寛典：揺動サイクロイダルカムの滑り率の研究 (第1報) 呉高専研究報告, 10—1, 1974
- 2) 糸島寛典, 野原稔：単弦運動カムの滑り率の研究 (第1報) 呉高専研究報告, 7—1, 1971

(昭和53年4月15日受付)

ディーゼル排気の脈動に関する研究

(機械工学科) 河 口 勇 治

A Study on the Pulsation of Diesel Exhaust Gas

Yuji KAWAGUCHI

It is not easy to measure accurately the quantity of suction or exhaust gas of the internal combustion engine, because the gas flow is pulsatory. Therefore for the accurate measure it is required to make the gas flow steady, for instance, by means of a surge tank.

As to the suction air we have already reported ¹⁾ that it is possible to measure accurately the flow quantity with the differential pressure type flowmeter, with the surge tank and the valve throttled suitably. On the other hand in order to measure the quantity of the exhaust gas, which is as pulsatory as the suction gas, the nozzle-type flowmeter is not suitable, because the exhaust gas is of high temperature and sooty, and so we have come to think that the hot-wire anemometer will be more suitable. In this paper we have reported the necessary conditions of measuring the exhaust gas flow with the hot-wire anemometer and the result of the experiments.

§ 1 緒 言

機関の吸・排気量を正確に測定することは簡単ではない。これは機関の吸・排気量がサイクル毎には一定であるが、1サイクル中において時間的には常に変化している脈動流であるからであり、これを正確に測定するためにはサージタンクを利用するなどして定常流化させて測定しなければならない。

既報¹⁾では、サージタンクを設置して適当な絞りを与えれば、差圧流量計により正確な吸気量測定が可能なことを報告した。排気も同様に脈動があり、しかも煤を含んでいるうえに温度が高いのでノズルを用いる差圧測定法を適用することは不安であり、熱線風速計で測定する方が妥当と考えられる。本報では熱線風速計を用いてディーゼル排気ガス量を測定する方法を研究し、熱線風速計の測定値に対するサージタンクの必要性、測定場所の影響等につき実験を行なったので、その結果を報告する。

§ 2 実 験 装 置

実験装置の概要を図1に示す。図1において、機関①は吸気管②を介して128lのサージタンク③とつなぎ、③の入口には導管④を接続し、④の先端にはノズル⑥を取付けることができる。⑤は絞り弁である。ノズル背後の圧力はビニールホース⑧を介して水栓マンオメータ⑦によって平均圧力が測定され普通の差圧流量計としての測定値が得られる。更に⑧を開口⑪に接続すれば128lサージタンク内の平均圧力が測定される。

⑨は熱線風速計の検出部で、メータ⑩によって平均風速が測定される。熱線風速計を用いる時はノズル⑥を導管④から取り出すこともできる。又、必要に応じ③を外して④と②を接続すればサージタンクなしの直接流れを測定することもできる。

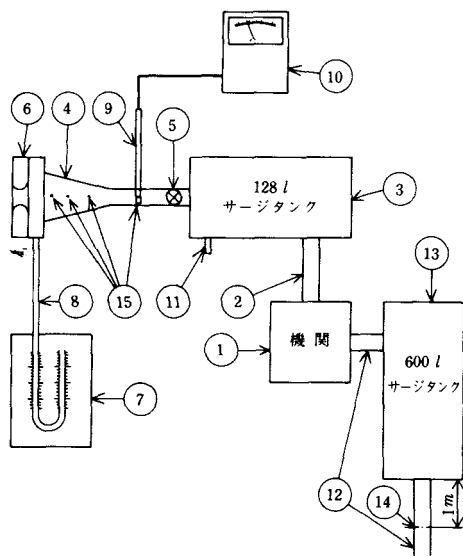


図1 実験装置の概略図

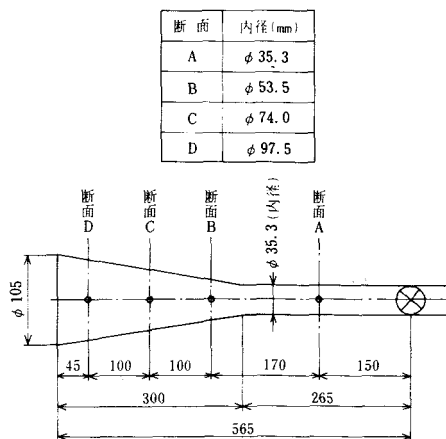


図2 熱線風速計による吸気量測定場所

⑮は熱線風速計による吸気量測定場所であり、その詳細及び導管の主要寸法を図2に示す。⑫は排気管で、途中に600 lサージタンク⑬が入れている。⑭は排気量測定の場合における熱線風速計の流量測定場所であり、排気管内径はφ 52.5 mmである。

§ 3 実験の内容及び考察

実験機関の主要目を表1に示す。

排気ガス測定に熱線風速計を利用するためには、熱線風速計が脈動流に適用できることを確認しなければならない。そこで、熱線風速計を吸気量測定に用いて差圧測定法のデータと比較する。

まず、アイドリング状態で500～1000 r.p.m.の各回転における吸気量を差圧流量計及び熱線風速計を用いて測定し、測定値を比較した。

表1 ディーゼル機関主要目表

| 項 目 | 内 容 |
|------------------------------|----------------|
| 型 式 | 立型4サイクル、水冷式 |
| シリンダ数 | 1 |
| 燃 焼 室 型 式 | 予燃焼室式 |
| 出 力 (PS/r.p.m.) | 10/900～11/1000 |
| 圧 縮 比 | 17.3 |
| 内径×行程 (mm) | φ 120×170 |
| 平均有効圧力 (kg/cm ²) | 5.12～5.20 |

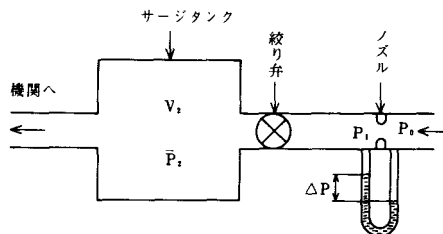
3.1 差圧流量計による測定

差圧流量計の測定系を図3のようにすると、流量は式(1)で表わせる。

$$Q = c \cdot A_n \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta P} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Q : 流量 (m³/sec), c : 流量係数=0.83, A_n : ノズル孔面積 (m²), g : 重力加速度=9.8 m/sec², γ : 空気の比重量 (kg/m³), ΔP : ノズル前後の差圧 (mmAq)

既報¹⁾で、φ 36 ノズル、128 l サージタンクを用いるときには、絞り弁を操作して $P_0 - \bar{P}_2 = 200$ mmAq 程度の圧力降下を与えれば脈動はほとんどなくなって正確に測定できることを確認したので、それを利用して500, 600, 700, 800, 900, 1000 r.p.m.の各回転でアイドリング時の吸気量を測定した。その結果をまとめると表2のとおりである。 η_v は容積効率



P_0 : ノズル前の圧力 P_1 : ノズル直後の圧力
 V_1 : サージタンク容積 \bar{P}_1 : サージタンク内平均

図3 測定系の記号

で、これを図示すると図4になる。図によると高速回転では η_v が若干増加するようである。

表2 差圧流量計による吸気量実測値 (アイドリング)

| 回転数(r.p.m.) | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|
| $\Delta P(\text{mmAq})$ | 3.75 | 5.50 | 7.50 | 10.00 | 13.50 | 16.75 |
| $\sqrt{\Delta P}$ | 1.94 | 2.35 | 2.74 | 3.16 | 3.67 | 4.09 |
| $Q \times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{sec})$ | 6.69 | 8.10 | 9.46 | 10.93 | 12.70 | 14.14 |
| η_v | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.85 | 0.88 | 0.88 |

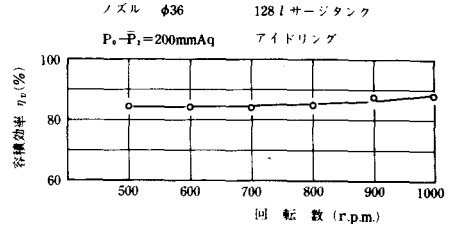


図4 容積効率と回転数との関係 (差圧流量計の場合)

3. 2 熱線風速計による測定

実験に使用した熱線風速計の主要目を表3に示す。図5は熱線風速計の検出部を図示したものである。

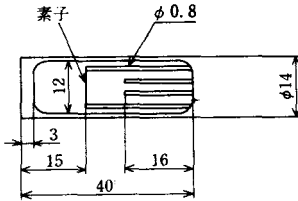


図5 熱線風速計の検出部

熱線風速計を用いた場合の流量は、式(2)より求まる。

$$Q = A_t \cdot v \quad \dots\dots\dots (2)$$

Q : 流量 (m^3/sec), A_t : 測定部における通路面積 (m^2), v : 平均流速 (m/sec)

なお、 A_t は導管内径から求めた面積より熱線風速計検出部の面積を差引いたものを使用した。

3. 2. 1 サージタンクの影響

熱線風速計を用いて、ノズルなしでサージタンクを取付けず導管と吸気管を直接継いだ場合と128 lサージタンクを間に入れた場合について500~1000 r.p.m.でアイドリング時の吸気量を測定し、容積効率として図6に表わした。いずれも測定場所は図2の断面Aで、検出素子の位置は管中心より5 mmずれた所である。ここで検出素子の位置が5 mmずれているのは、熱線風速計を導管に取付ける際導管の外壁に検出部の先端を合わせたためで、風速を測定するにあたっては管中央の場合と比べて殆んど影響はないと思われる。

これによるとサージタンクなしの場合はいずれの回転においても η_v は異常に大きく100%をはるかに越え、図4の差圧流量計の測定値より高く測定される。その誤差は回転数が高くなる程大きくなる。

また128 lサージタンクを取付けた場合の効果は熱

表3 熱線風速計の主要目表

| 項 目 | 内 容 |
|---------|--|
| 測 定 対 象 | 風速・風温 |
| 測 定 範 囲 | 風速2段切換 50 m/s F.S.(フルスケール) 10 m/s F.S.(フルスケール) 風温4段切換 0 ~ 100°C 100 ~ 200°C 200 ~ 300°C 300 ~ 400°C |
| 精 度 | 風速測定の場合 50 m/s RANGE $\pm 5\%$ F.S. 10 m/s RANGE $\pm 10\%$ F.S. 風温測定の場合 \pm (指示値の1% + 1目盛) |

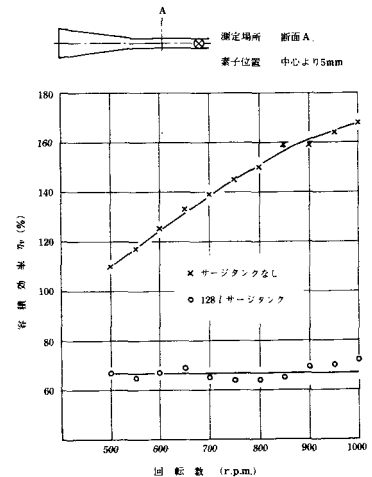


図6 容積効率に及ぼすサージタンクの影響 (熱線風速計の場合)

線風速計に対しても著しく、 η_v は大幅に減少することがわかった。またいずれの回転においても差圧流量計の測定値より低く測定される。その測定値は回転数に対してほぼ一定の値を示す。従って、サージタンクなしの場合に測定値が高くてたのは、脈動が原因で熱線風速計でもサージタンクの必要なのことがわかる。

3. 2. 2 測定場所の影響

次に測定場所の影響を見るため、サージタンクなしで図2のA, B, C, Dの各断面で吸気量を測定した。その結果を図7に示す。素子の位置は断面Aだけ中心より5mmずれた所で、あとは中心である。ノズルは取付けてない。サージタンクを取付けた状態で比較した方が合理的だが、実験の便宜上一応タンクなしで行なった。

図から測定場所が容積効率に影響を及ぼすことがわかる。各断面とも回転数と共に容積効率が上昇する傾向は同じであるが、全体的にA, B, C, Dの順序で容積効率が高く出ている。それは、流量を求めるのに測定点の平均流速が管内全面に一樣に流れているものとして算出してあるが、実際には後述するように(図17参照)管壁に近づくにつれて流速が落ちるため、その比率が上記の順序で高くなるものと推定される。つまり、中心の平均流速を使用すれば実際より η_v が高く測定されるということになる。

3. 2. 3 絞り度の影響

図8は128 lサージタンクを使用し、回転数500 r.p.m.で絞り弁を操作して圧力降下 $P_0 - \bar{P}_2$ を変化させた時の断面Aにおける測定結果である。なお、素子の位置は中心である。

これによれば η_v は $P_0 - \bar{P}_2 = 40 \text{ mmAq}$ で極小値を示すが、更に絞り度を増せばだいに上昇し、 $P_0 - \bar{P}_2 = 120 \text{ mmAq}$ 以上になれば一定値になる。しかも、この値は差圧流量計の値に近づく。即ち、熱線風速計も差圧流量計の場合と同じく、128 lサージタンクを付けるだけでなく、更に適当に絞って脈動を消した状態で使用しなければならないことがわかった。極小値の生ずる原因は不明であるが、以後のデータから考えて点線のような経過をたどるらしい。

3. 2. 4 測定位置の影響

今までの検討により、サージタンク、測定場所及び絞り度等が η_v に影響を与えることがわかったが、この他に導管断面内での測定位置が影響を及ぼすと思われるので、検出素子を管中心及び中心以外の2点に置いた場合につき η_v を測定した。その結果を図9～16に示す。

まず、ノズルを取付けた場合(図9～12)について見ると、各断面とも測定位置によって η_v の値が違ってくる。B, C, D断面とも η_v は中心部に比べて常に管壁側が小さく、管壁に近づくにつれて流速が低下することが明らかである。この中心と管壁の流速の差(η_v の差)はノズルを取付けない場合(後述)に比べて非常に大きい、これはノズルによって流れが乱されているわけでノズルの併

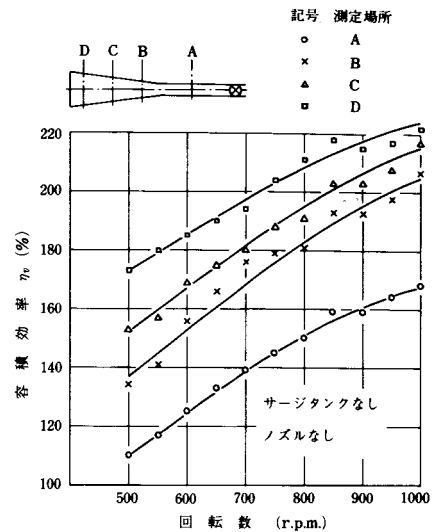


図7 容積効率に及ぼす測定場所の影響

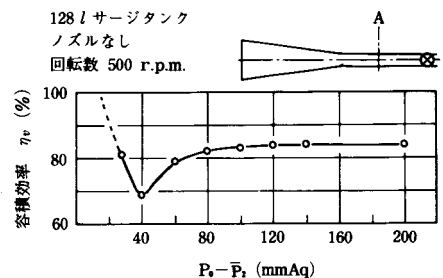


図8 容積効率と絞り度の関係
(絞り度を変えた場合)

用は好ましくないと言える。

また、上記のように常に中心から管壁へ行くにつれて流速が小さくなるということは、中心の測定点の流速だけで計算した η_v は当然実際よりも大きくなる。速度勾配の大なる程 η_v は大となる。このことは図10, 11, 12でよく表われている。

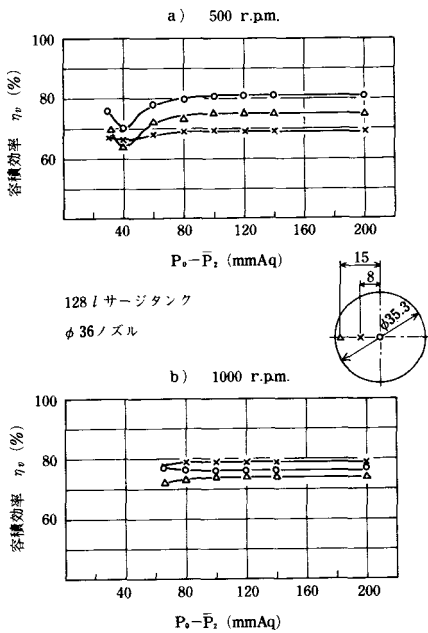


図9 容積効率と測定位置の関係 (断面 A)

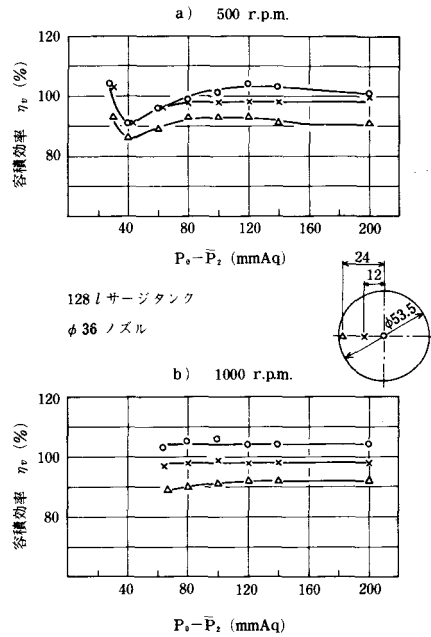


図10 容積効率と測定位置の関係 (断面 B)

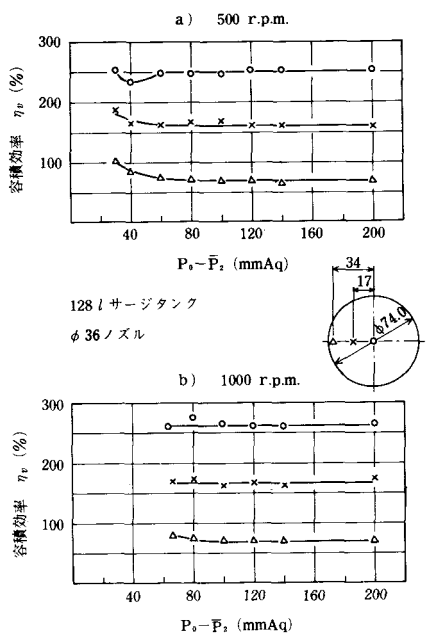


図11 容積効率と測定位置の関係 (断面 C)

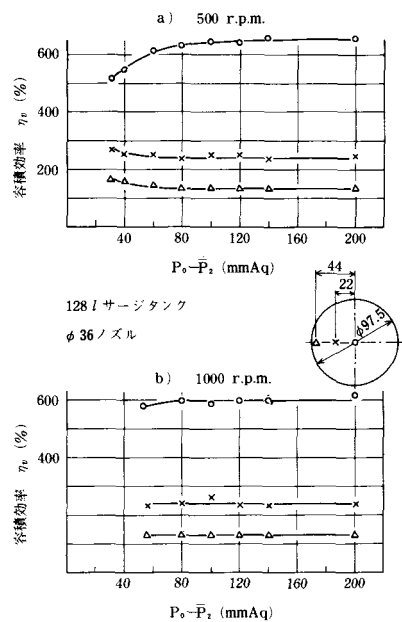


図12 容積効率と測定位置の関係 (断面 D)

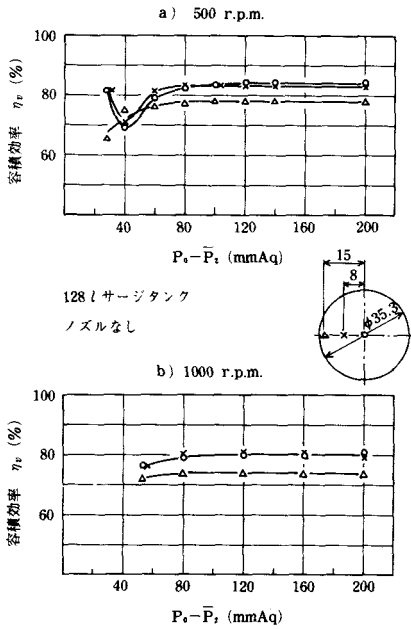


図13 容積効率と測定位置の関係(断面A)

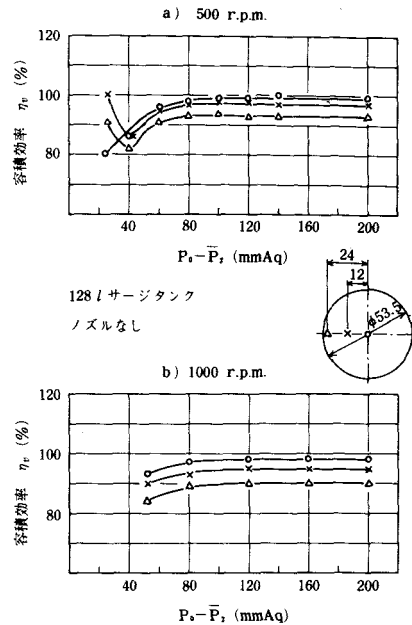


図14 容積効率と測定位置の関係(断面B)

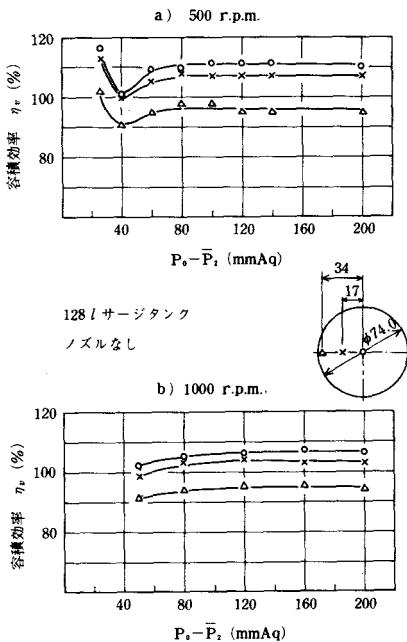


図15 容積効率と測定位置の関係(断面C)

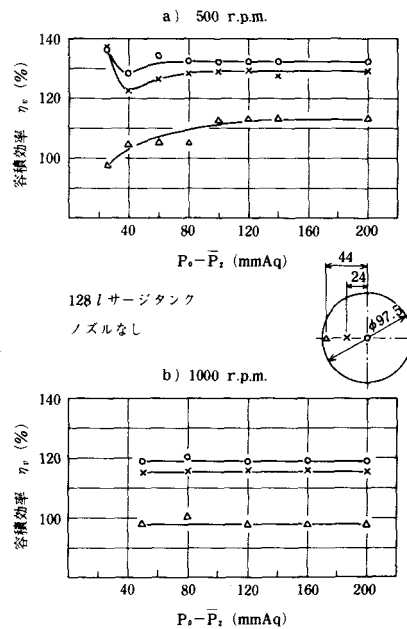


図16 容積効率と測定位置の関係(断面D)

ノズルを取付ない場合(図13~16)は、各断面とも管中心と中間とでの η_v の差ははるかに小さくなり、断面Aにおいては中心から8 mmの範囲内ではほとんど等しい。各断面の η_v の値はA, B, C, Dの順序で大きくなっていく傾向はノズルを取付けた場合と同じであるが、断面Aにおける値が差圧流量計の値に最も近く、吸気量測定に熱線風速計を利用するには断面Aで測定するのが適切である。

図17は断面Aにおいて測定位置を変えて吸気量を測定したものである。測定条件は128 lサージタンク、ノズルなし、500 r.p.m., $P_0 - \bar{P}_2 = 120 \text{ mmAq}$ である。

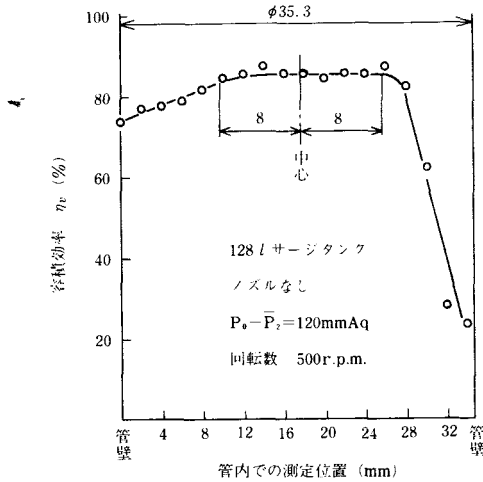


図17 容積効率と測定位置の関係(断面A)

測定場所と絞り弁との距離による影響もあるかも知れないと思われたので、この距離を大きくして測定してみた結果を図19に示す。これによると $P_0 - \bar{P}_2 \geq 80 \text{ mmAq}$ で両者に差はないと言ってよい。

3. 2. 5 熱線風速計と差圧流量計の換算係数

(1) 吸気量測定の場合 (K)

今までの検討で熱線風速計で吸気量を測定する場合は、ノズルを取付けず128 lサージタンクを使用して絞り度 $P_0 - \bar{P}_2 \geq 120 \text{ mmAq}$ で測定場所として断面A、素子の位置は中心という条件なら安定した測定値を得ることができると言えるので、絞り度 $R_0 - \bar{P}_2 = 200 \text{ mmAq}$ で回転数を500~1000 r.p.m.の間でアイドリング時の吸気量を測定した。この測定値を仮に見かけの吸気量と呼ぶことにする。

この熱線風速計で測定した見かけの吸気量を Q_a 、先に表2に示した差圧流量計による吸気量の測定値を真の流量と考え Q_n として、 $K = Q_n / Q_a$ なる換算係数 K を求めた。それらを表4、図20に示す。 K と回転数とはほぼ直線関係にあると見てよい。この K を利用すれば差圧流量計で測定しなくても、熱線風速計で見かけの吸気量を求めれば真の吸気流量がわかる。

(2) 排気量測定の場合 (K')

熱線風速計で排気量を測定するための換算係数を求める。機関をモータリングして、その時の吸気量を差圧流量計で測定し、排気量を熱線風速計で測定した。回転数は500, 600, 700, 800, 900, 1000 r.p.m. で、吸気量測定の場合は $\phi 36$ ノズル、128 lサージタンク、 $P_0 - \bar{P}_2 = 200 \text{ mmAq}$ である。差圧流量計で測定した吸気量を Q_m 、熱線風速計による見かけの排気量を Q_e とすれば、排気量の換算係数は、 $K' = Q_m / Q_e$ として求められる。その結果を表5、図20に示す。 K' も K と同様に回転数と共に直線的

この図より管中心から8 mm 以内の位置で測定すれば η_v はほとんど一定として測定される。なおこの図で、グラフが管中心を軸として左右対称となっていないこと、また管壁で $\eta_v = 0$ にならないのは図18に示すように、素子を差し込む穴を管壁にあけており、素子を一方向から差し込んでいるためである。図18の矢印は素子の移動方向を示しており、実線に示した位置から測定を始め、破線に示す位置で終わった。

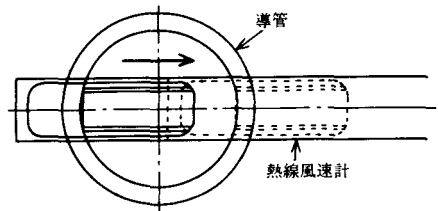


図18 熱線風速計の取付の状態

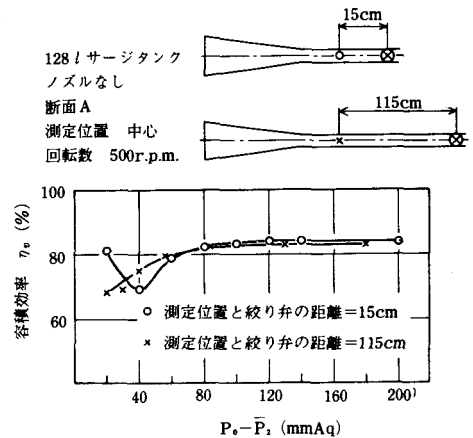


図19 測定位置と絞り弁の距離の影響

に変化することが判る。

(3) 換算係数 K と K' について

以上の結果から、熱線風速計を用いる場合は、吸気量測定の際には測定値に K を乗じ、排気量測定の際には K' を乗ずれば何れも真の流量が算出されることになる。 K と K' の値が一致しないのは、吸入流と押出流の流れ特性の差に基づくものと思われる。なお、表4の η_{vn} と表5の η_{vm} の値が一致しないのは、モータリングとアイドリングの相違によるもので

あろう。アイドリング時は燃焼室の温度が高いため、当然モータリング時よりは η_v の値が小さくなる。

3.3 燃焼ガス量測定への応用

回転数 500 r.p.m. と 1000 r.p.m. で負荷を変えて機関を運転し、その時の排気ガス量を熱線風速計で測定し、先に求めた換算係数 K' を利用して真の排気量を求めた。なお、同時に参考のため差圧流量計を用いて吸気量を測定してみた。その結果を表6、図21に示す。

吸気量は回転数が一定であるならば一定と考えられるが、図によると 500 r.p.m., 1000 r.p.m. とともに出力と共に徐々に減少する。これは出力が高くなる程、シリンダ壁の温度が高くなるためである。

燃焼ガス量は回転数が一定ならば、出力と共に燃料噴射量が多くなる分だけ増加し、また出力と共に燃焼ガス温度は高くなり容積で表わした燃焼ガス量は当然増加すると考えられるが、実際には 500 r.p.m. では減少し、1000 r.p.m. では増加し、その傾向が逆になった。図22に流速測定点での燃焼ガス温度を示すが、このように流速測定点に到達するまでにガスは冷却され、 H_2O 蒸気の一部が凝結したと考えられる。

表4 熱線風速計の換算係数 K (アイドリング)

| 回転数 (r.p.m.) | 差圧流量計 | | | 熱線風速計 | | | K |
|-----------------|----------------------|--|--------------------|---------------|--|--------------------|------|
| | ΔP (mmAq) | Q_n $\times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{sec})$ | η_{vn} (%) | 風速 (m/sec) | Q_a $\times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{sec})$ | η_{va} (%) | |
| 500 | 3.75 | 6.69 | 84 | 8.20 | 6.78 | 85 | 0.99 |
| 600 | 5.50 | 8.10 | 84 | 9.50 | 7.93 | 83 | 1.02 |
| 700 | 7.50 | 9.46 | 84 | 11.30 | 9.31 | 83 | 1.02 |
| 800 | 10.00 | 10.93 | 85 | 12.55 | 10.48 | 82 | 1.04 |
| 900 | 13.50 | 12.70 | 88 | 13.90 | 11.61 | 80 | 1.09 |
| 1000 | 16.75 | 14.14 | 88 | 15.50 | 12.94 | 81 | 1.09 |

表5 熱線風速計の換算係数 K' (モータリング)

| 回転数 (r.p.m.) | 吸気量 | | | 見かけの排気量 | | | K' |
|-----------------|----------------------|--|--------------------|---------------|--|--------------------|------|
| | ΔP (mmAq) | Q_m $\times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{sec})$ | η_{vm} (%) | 風速 (m/sec) | Q_e $\times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{sec})$ | η_{ve} (%) | |
| 500 | 4.50 | 7.11 | 89 | 2.80 | 5.47 | 68 | 1.30 |
| 600 | 6.70 | 8.70 | 91 | 3.22 | 6.29 | 65 | 1.38 |
| 700 | 8.85 | 10.00 | 89 | 3.61 | 7.05 | 63 | 1.42 |
| 800 | 12.20 | 11.77 | 92 | 4.15 | 8.11 | 63 | 1.45 |
| 900 | 15.50 | 13.28 | 92 | 4.50 | 8.79 | 61 | 1.51 |
| 1000 | 18.80 | 14.62 | 91 | 4.90 | 9.57 | 60 | 1.53 |

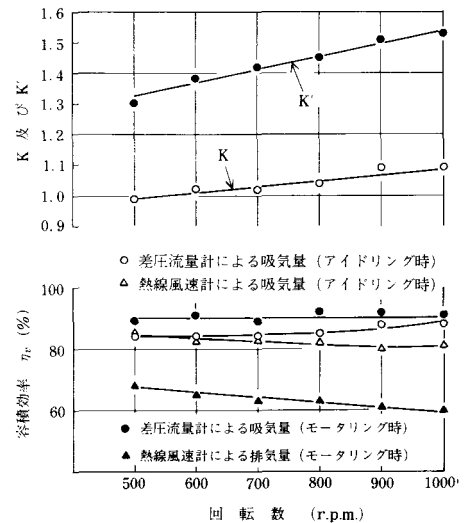


図20 熱線風速計と差圧流量計の換算係数

図22に流速測定点での燃焼ガス温度を示すが、このように流速測定点に到達するまでにガスは冷却され、 H_2O 蒸気の一部が凝結したと考えられる。

表6 吸気量及び燃焼ガス量

| 回転数 (r.p.m.) | 出力 (PS) | 吸気量 | | 排気ガス量 | | |
|-----------------|------------|----------------------|--|---------------|---|---|
| | | ΔP (mmAq) | Q $\times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{sec})$ | 風速 (m/sec) | 見かけの Q_e $\times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{sec})$ | 真の Q_e $\times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{sec})$ |
| 500 | 0 | 4.35 | 7.03 | 2.60 | 5.08 | 6.76 |
| | 1.25 | 4.20 | 6.90 | 2.50 | 4.89 | 6.50 |
| | 2.5 | 4.00 | 6.73 | 2.39 | 4.67 | 6.21 |
| | 3.75 | 3.95 | 6.69 | 2.30 | 4.49 | 5.97 |
| | 5 | 4.00 | 6.73 | 2.25 | 4.40 | 5.85 |
| 1000 | 0 | 18.75 | 14.59 | 4.75 | 9.28 | 14.20 |
| | 2.5 | 18.35 | 14.43 | 5.07 | 9.91 | 15.16 |
| | 5 | 17.60 | 14.12 | 5.20 | 10.18 | 15.58 |
| | 7.5 | 17.25 | 13.99 | 5.40 | 10.55 | 16.14 |
| | 10 | 17.00 | 13.89 | 5.30 | 10.36 | 15.85 |

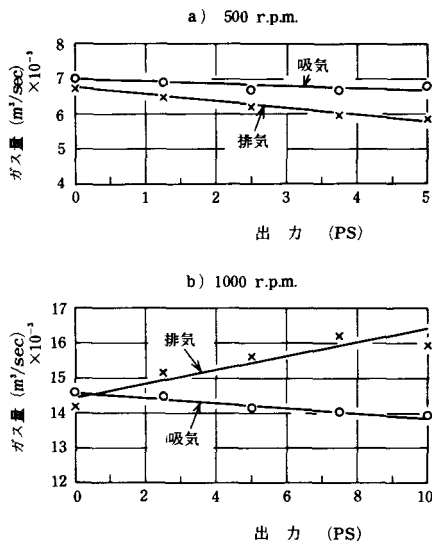


図21 燃焼ガス量と出力との関係

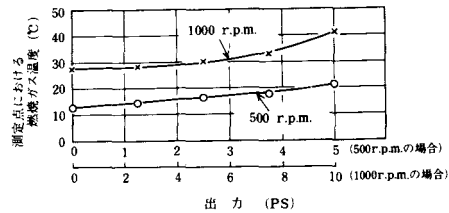
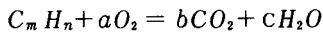


図22 測定点における燃焼ガス温度

使用した燃料 (A 重油) を $C_m H_n$ で表わすと、完全燃焼する時の化学反応式は次のようになる



$$a = m + \frac{n}{4}, \quad b = m, \quad c = \frac{n}{2}$$

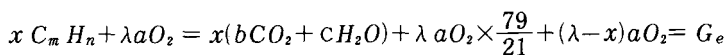
ここで C : 炭素

H : 水素

O : 酸素

a, b, c, m, n : 係数

である。今 x モルの燃料が燃焼したとすると、反応式は



λ : 空気過剰率

G_e : 燃焼ガス量

となり、これを x で微分すると

$$\frac{dG_e}{dx} = m + \frac{n}{2} - (m + \frac{n}{4}) \dots\dots\dots(3)$$

$[CO_2] \quad [H_2O] \quad [O_2]$

となる。(3)式によれば、 H_2O 蒸気が凝結しないなら $dG_e/dx > 0$ となり、 H_2O 蒸気が凝結するときは $dG_e/dx < 0$ となる。従って 500 r.p.m. の場合には H_2O 蒸気の大部分が凝結し、1000 r.p.m. の場合は凝結の割合が少ないと思える。

念のため排気流の脈動状況を調べるため、熱線風速計の風速測定場所の圧力変動を圧力変換器を用いてオシロスコープに描かせた。回転数は 500 r.p.m. であり、その結果を写真 1 に示す。なお横軸はクランク角度であり、ほぼ 1 サイクルの波形である。

これによると運転条件によって小波の発生状況は異なっているが、大波の形状や振幅はほとんど一定と言ってさしつかえない。このようにモータリング時と燃焼時とで、排気流の脈動波形に大きな差はないので、先にモータリング時の換算係数を燃焼実験に利用したことは妥当と思われる。

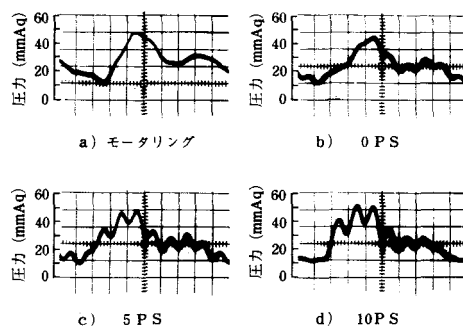


写真1 排気流の圧力波形 (500r.p.m.)

§ 4 結 言

内燃機関の吸・排気量測定に熱線風速計を使用することについて研究した結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 脈動流の測定に熱線風速計を使用する場合も、差圧流量計を使用する場合と同様にサージタンクは必要である。
- (2) 風速測定点とサージタンクの間に絞り弁を入れ、適当な絞り度を与えてやれば定常流化に効果的である。
- (3) 熱線風速計を使用する際には、差圧流量計のノズルを併用してはならない。
- (4) 風速測定場所によって測定値が変わってくるので、適当な場所を選ばなければならない。本実験では直管部が最良で直管部の中央部で測定すれば、安定な測定値が得られた。
- (5) 熱線風速計で測定した結果は差圧流量計によるものと若干異なるが、修正係数を用いれば吸・排気量の測定に使用できる。

参 考 文 献

- 1) 河口勇治, 久保田 勲: 吸気の脈動に関する研究, 呉工業高等専門学校研究報告第13巻1号, 昭和52年9月

(昭和53年4月15日受付)

線形確率系の定常確率分布の存在について

(機械工学科) 藤 田 幸 史
(京 都 大 学) 明 石 一

On Conditions for the Existence of Stationary Probability Distributions of Linear Stochastic Systems

(Dept. Mech. Engrg.) Yoshifumi FUJITA
(Kyoto Univ.) Hajime AKASI

A sufficient condition is shown for the existence of stationary probability distributions of time-invariant linear stochastic systems.

By applying the result, the sufficient condition is obtained for detectability of linear systems with noisy observations. And the sufficient conditions are also obtained for the existence of stationary probability distributions of linear feedback control systems with noise-free and noisy observations.

§ 1 緒 言

雑音による外乱を受ける力学系の研究において、対象とする確率過程が定常確率分布をもつかどうかを知ることは定常確率分布を計算するための仮定として重要である。

定常確率分布の存在については、従来次のような研究がなされている。Wonham¹⁾はKashminskii²⁾の結果を用いて、拡散過程の微分生成作用素が楕円条件を満足する場合の弱確率安定のための十分条件を得た。また、Zakai³⁾は、Feller過程の不変測度の存在に関するBeneš⁴⁾の必要十分条件を用いて必ずしも楕円条件を満足しない微分生成作用素をもつ特別な拡散過程に対しての十分条件を得た。

本論文では、Zakaiの結果の考慮のもとに必ずしも楕円条件を満足しない時間不変線形伊藤型確率微分方程式によって記述される確率系に対する定常確率分布の存在条件を与える。さらに、この定常確率分布の存在条件を用いて、線形確率制御系が線形状態フィードバックにより、定常確率分布をもつための条件を与える。次に、状態観測が不完全な場合を扱い、状態推定誤差に関する定常確率の存在について、可検出を定義し、そのための条件を与える。さらに、可検出な場合に擬似状態フィードバックによって、状態と推定誤差が定常確率分布をもつための条件を与える。

§ 2 線形確率系の定常確率分布の存在条件

本節で扱う確率系は、次の時間不変伊藤型確率微分方程式で記述される。

$$\begin{aligned} dx &= Axdt + Gdw \\ x(0) &= x_0, \quad t \in [0, \infty] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、ここで

x : n 次元状態ベクトル

A : $n \times n$ 次元定数マトリクス

G : $n \times r$ 次元定数マトリクス

$w(t): E\{dw dw'\} = I dt$ なる r 次元 Wiener 過程であり, x_0 と $w(t)$ は互いに独立であるものとする。また, ここで記号' は行列の転置を表わし, I は単位マトリクスである。

この(1)式で表わされる拡散系の微分生成作用素 L は

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (GG')_{ij} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \quad \dots\dots\dots (2)$$

である。ただし, $(GG')_{ij}$ は GG' の i 行 j 列の要素である。

Zakai による定常確率分布の存在条件は次のようなものである。

補題 1 $^3) R$ を $0 < R < \infty$ なる実数とし, $V(x)$ を非負な 2 階連続微分可能な関数とする。このとき, (1)式の解過程 $x(t)$ に対して $x \in D$, $D \triangleq \{x: |x| > R\}$ において $LV(x) \leq -1$, かつ, x の遷移確率関数 $P(t, x, A)$ が, $t > 0$, $x \in R^n$ において R^n 上の Lebesgue 測度と互いに絶対連続であるならば, 解過程 $x(t)$ は, 初期状態 x_0 の分布に依存しない, 一意的な n 次元定常確率分布をもつ。

補題 1 より(1)式の解過程 $x(t)$ に対する定常分布の存在条件を求める。

定理 1 A のすべての固有値が負の実数部をもち, かつ, (A, G) が完全可制御であるとき, (1)式の解過程は, 初期状態 x_0 の分布に依存しない, 一意的な n 次元定常確率分布をもつ。

(証明) $V(x(t)) = x'Px$ とする。ただし, P は正定行列である。このとき

$$L[V(x)] = x'(A'P + PA)x + \frac{1}{2} \sum_{i,j} (GG')_{ij} p_{ij}$$

となる。 A のすべての固有値が負の実数部をもつならば, 正定値な対称行列 P を, 次のような形にとれる。

$$P = \int_0^\infty (e^{A\tau})' (e^{A\tau}) d\tau$$

行列が正定値であることは, 以下のようにしてわかる。

$$\begin{aligned} x'Px &= \int_0^\infty x' (e^{A\tau})' (e^{A\tau}) x d\tau \\ &= \int_0^\infty |e^{A\tau} x|^2 d\tau \end{aligned}$$

また, $A'P + PA$ が負定値となることは, 次のようにしてわかる。

$$\begin{aligned} A'P + PA &= \int_0^\infty [A' (e^{A\tau})' e^{A\tau} + (e^{A\tau})' e^{A\tau} A] d\tau \\ &= \int_0^\infty \left[\left(\frac{d}{d\tau} e^{A\tau} \right)' e^{A\tau} + (e^{A\tau})' \left(\frac{d}{d\tau} e^{A\tau} \right) \right] d\tau \\ &= \left[(e^{A\tau})' e^{A\tau} \right]_0^\infty = -I \end{aligned}$$

したがって,

$$L[V(x)] = -x'Px + \frac{1}{2} \sum_{i,j} (GG')_{ij} p_{ij}$$

となり, $x \in D$, $D \triangleq \{x: |x| > R\}$ において $L[V(x)] \leq -1$ となるような $0 < R < \infty$ が存在する。また(1)式の解は

$$x(t) = e^{At} x_0 + \int_0^t e^{A(t-s)} G dw(s)$$

と表現できることから, $P(t, x, A)$ は平均

$e^{At} x_0$, 分散

$$\int_0^t e^{A(t-s)} GG' e^{A(t-s)} ds \quad \dots\dots\dots (3)$$

をもつ。よって, $P(t, x, A)$ は(3)式が正定値のときにかぎり R^n 上の Lebesgue 測度と互いに絶対連続である。ゆえに, マトリクス対 (A, G) が完全可制御のときにかぎり R^n 上の Lebesgue 測度と互いに絶対連続となり, 補題 1 より(1)式の解過程は, 初期状態 x_0 の分布に依存しない, 一意的な n 次元定常確率分布をもつ。

例 1 次のような白色外乱をうける力学系

$$\ddot{x} + a\dot{x} + bx = \dot{\xi}(t) \quad \dots\dots\dots(4)$$

を考える。ただし、 $\dot{\xi}(t)$ は

$$E\{\dot{\xi}(t)\dot{\xi}(s)\} = \delta(t-s) \quad \dots\dots\dots(5)$$

なる白色雑音である。

$x = x_1$, $\dot{x} = x_2$ とおき、 $z' = [x_1 \ x_2]$ とすると(3)式は

$$dz = Az \, dt + g \, dw \quad \dots\dots\dots(6)$$

と表現できる。ただし、 w は1次元標準 Wiener 過程であり、

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b & -a \end{bmatrix}, \quad g = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

である。 (A, g) の可制御マトリクスは

$$[g, Ag] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -a \end{bmatrix}$$

だから、 $\text{rank}[g, Ag] = 2$ となり (A, g) は完全可制御となる。ゆえに、この例において A の固有値が負の実数部をもてば、初期状態の分布に依存しない2次元定常確率分布をもつ。

§ 3 制御系および観測系の構成と定常分布

3.1 線形状態フィードバックによる定常な制御系の構成

次の確率制御系を考える。

$$\begin{aligned} dx &= Axdt + Budt + Gdw \\ x(0) &= x_0, \quad t \in [0, \infty] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(7)$$

ただし、ここで

x : n 次元状態ベクトル

u : m 次元制御ベクトル

w : 増々々散 $E\{dw \, dw'\} = I \, dt$ なる r 次元 Wiener 過程

A : $n \times n$ 次元定数マトリクス

B : $n \times m$ 次元定数マトリクス

であり、 x_0 と $w(t)$ は互いに独立であるものとする。また、 I は単位マトリクスである。

さて、(7)式で記述される制御系を状態フィードバック $u = -Lx$ により定常分布をもつようにできるかどうかという問題^{5), 6)}を考える。ただし、 L は $m \times n$ 定数マトリクスである。そのために、次の補題を利用する。

補題 2⁷⁾ マトリクス対 (A, B) が完全可制御であることは、適当な $(m \times n)$ マトリクス L により、 $A + BL$ の特性多項式が任意の n 次モニック多項式と一致させることが可能なことと等価である。

この補題 2 より次のことが示される。

定理 2 (7)式により記述される線形制御系において、 (A, B) が完全可制御であり、かつ、 $(A - BL)$ のすべての固有値が負の実数部分を持ち、さらに、 $(A - BL, G)$ を完全可制御にするゲインマトリクス L が存在するものと仮定する。このとき、状態フィードバック $u = -Lx$ により $x(t)$ の n 次元定常確率分布が存在する。しかも、この確率分布は初期分布に依存せず、一意にきまる。

(証明) (A, B) が完全可制御であれば行列 $A - BL$ のすべての固有値が負の実数部をもつように L を選ぶことができることは、補題 2 より明らかである。さらに、このような L に対し $(A - BL, G)$ が完全可制御となるような L が存在すれば、定理 1 より(7)式の制御系は n 次元定常確率分布をもち、

しかも、この分布は初期分布に依存せず、一意にきまる。

例2 次のような制御系を考える。

$$\dot{x} + ax + bx = \xi(t) + u(t) \quad \dots\dots\dots(8)$$

ただし、 $\xi(t)$ は(5)式を満たす白色雑音、 u はスカラー制御変数である。 $x = x_1$, $\dot{x} = x_2$ とおき $z' = [x_1 \ x_2]$ とおくと(8)式は

$$dz = Az \, dt + bu \, dt + g \, dw \quad \dots\dots\dots(9)$$

と表現できる。ただし、 w は1次元標準 Wiener 過程であり、

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b & -a \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad g = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

である。 $a=0$, $b=1$, $l=[1, 1]$ とおくと

$$A - bl = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -1 \end{bmatrix}$$

の特性方程式は $\lambda^2 + \lambda + 2 = 0$ となり、固有値の実数部分は負となる。さらに、この l に対して

$$\text{rank}[g, (A - bl)g] = \text{rank} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = 2$$

となる。したがって、定理2より、(8)式で記述される制御系は、初期状態の分布に依存しない一意的な2次元定常確率分布をもつようにできることがわかる。

3.2 可 検 出

(7)式で記述される制御系の状態 x を直接に測定できることは少く、一般に次のような観測機構(10)を通して間接的に測定することができるにすぎない。

$$\begin{aligned} dy &= Cx \, dt + Dde \\ y(0) &= y_0, \quad t \in [0, \infty] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(10)$$

ただし、(10)式において

y : l 次元観測ベクトル

x : n 次元状態ベクトル

e : 増分々散 $E\{de \, de'\} = Idt$ なる q 次元 Wiener 過程

C : $e \times n$ 次元定数マトリクス

D : $e \times q$ 次元定数マトリクス

であり、また、 w , e は互いに独立と仮定する。

そこで、状態 x を観測値 y より検出できるかどうかという概念として可検出^{5)~7)} を次のように定義する。

〔定義〕状態 x と出力 y によって構成されるその推定値 \hat{x} との推定誤差 $\tilde{x} = x - \hat{x}$ が定常確率分布をもつような推定値 \hat{x} が構成できるとき x は y より可検出であるという。

この定義を用いて次の結果を得る。

定理3 (7)式および(10)式で記述される制御系、観測系に対して、 (A, C) が可観測であり、 $(A - KC)$ のすべての固有値が負の実数部をもち、かつ、 $(A - KC, M)$ が完全可制御となるような K が存在すると仮定する。このとき、 x は y より可検出である。ただし、 M は $MM' = GG' + KDD'K'$ なる $n \times \max(r, q)$ 次元マトリクスである。

(証明) 出力 y によって状態推定値 \hat{x} を次のように構成する。

$$d\hat{x} = A\hat{x} \, dt + Bu \, dt + K[dy - C\hat{x} \, dt] \quad \dots\dots\dots(11)$$

$\tilde{x} = x - \hat{x}$ とおけば(7), (10), (11)式より

$$d\tilde{x} = (A - KC)\tilde{x}dt + Gdw - KDde \quad \dots\dots\dots(12)$$

となる。ここで、 \tilde{w} を $\max(r, q)$ 次元標準 Winer 過程とすると、(12)式より、

$$d\tilde{x} = (A - KC)\tilde{x}dt + M d\tilde{w} \quad \dots\dots\dots(13)$$

が得られる。(A, C)が完全可観測ならば $(A - KC)$ の固有値が、補題2より負の実数部をもつように K を選ぶことができる。この K に対し、 $(A - KC, M)$ が完全可制御ならば定理1より、系(11)が定常確率分布をもつようにすることができる。よって、 x は y より可検出である。

例3 (8)式で記述される制御系を次の(4)式で表わされる観測系によって観測する。

$$dy = Czdt + de \quad \dots\dots\dots(14)$$

ただし、 $C = [1 \ 1]$ 、 e は1次元標準 Wiener 過程、 y はスカラー観測変数、 z は2次元状態ベクトルである。(8)、(14)および(12)より推定誤差 \tilde{x} は

$$d\tilde{x} = (A - kc)\tilde{x}dt + gdw - kde \quad \dots\dots\dots(15)$$

ただし、

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b & -a \end{bmatrix}, \quad g = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

である。ここで、 $a=0$ 、 $b=1$ 、 $k'=[0 \ 1]$ とおくと

$$\text{rank}[C' A' c'] = \text{rank} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = 2$$

となり、 (A, c) は完全可観測となる。

さらに、 $M' = [0 \ \sqrt{2}]$ とおくと

$$\text{rank}[M(A - kc)M] = \text{rank} \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{2} \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} \end{bmatrix} = 2$$

となり、 $(A - KC, M)$ は完全可制御である。よって定理3より x は y より可検出である。

3.3 擬似状態フィードバックによる定常な制御系の構成

観測出力 y より構成された推定値 \hat{x} の線形フィードバック $u = -K\hat{x} = -K(x + \tilde{x})$ によって、(7)式で記述される制御系に対して、 $[x', \hat{x}']$ が定常確率分布をもつようにすることができるかどうかという問題^{5)~7)}を考える。

定理4 (7)および(10)式で記述される制御系、観測系に対して (A, B) が完全可制御で、かつ、 (A, C) が完全可観測であり、 $(A - BL)$ 、および $(A - KC)$ のすべての固有値が負の実数部をもつような K, L に対し、 (\tilde{A}, N) が完全可制御であれば

$$d\tilde{x} = A\tilde{x}dt + Budt + K[dy - C\hat{x}]dt \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$u = -L\hat{x} \quad \dots\dots\dots(17)$$

により、(7)式で記述される制御系の状態と推定誤差は、初期分布に依存しない一意的な $2n$ 次元定常確率分布をもつ。ただし、

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} A - BL & BL \\ 0 & A - KC \end{bmatrix}$$

N は

$$NN' = \begin{bmatrix} GG' & GG' \\ GG' & GG' + KDD'K' \end{bmatrix}$$

なる $2n \times [\max(r, q) + r]$ 次元マトリクスである。

(証明) (17)式を(7)、(16)式に代入すれば

$$dx = Axdt - BL\hat{x}dt + Gdw$$

$$d\hat{x} = A\hat{x}dt - BL\hat{x}dt + K[Cxdt + Dde - C\hat{x}dt]$$

が得られる。 $\tilde{x} = x - \hat{x}$ を用いると、上式はそれぞれ、

$$dx = (A - BL)xdt + BL\tilde{x}dt + Gdw$$

$$d\tilde{x} = (A - KC)\tilde{x}dt - KDde + Gdw$$

と表わされる。すなわち、 $[x' \tilde{x}']$ は

$$d \begin{bmatrix} x \\ \tilde{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A - BL & BL \\ 0 & A - KC \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \tilde{x} \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} Gdw \\ -KDde + Gdw \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(18)$$

を満足する。さて、ここで $v(t)$ を $(r + \max(q, r))$ 次元標準 Wiener 過程とすると $z = [x' \tilde{x}']$ とおくことによって(16)式は

$$dz = \tilde{A}z + Ndv \quad \dots\dots\dots(19)$$

となる。よって、補題2より、 (A, B) が完全可能御、 (A, C) が完全可観測ならば、 \tilde{A} のすべての固有値が負の実数部をもつように L, K を選ぶことができ、その L, K に対し、 (\tilde{A}, N) が完全可制御であれば、定理1より z は、初期分布に依存しない一意的な $2n$ 次元定常確率分布をもつ。

例4 (9)および(14)式で表わされる制御系、観測系を考える。 $a=0, b=1, l=[1 \ 1]$ および $h'=[0 \ 1]$ とおくと

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -2 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \quad NN' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

となることから、

$$N = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

が得られる。このとき $\text{rank}[N, \tilde{A}N, \tilde{A}^2N, \tilde{A}^3N] = 4$ であり、定理4より $[z', \tilde{z}']$ は、4次元定常確率分布をもつことがわかる。

§ 4 結 言

定係数線形確率系に対して、定常確率分布をもつための十分条件を示した。その結果は、安定な定係数線形システムに雑音を加えると定常確率分布をもつであろうという直観と一致するものである。

また、線形状態フィードバックによって定常確率分布をもつようにできるための条件を得た。さらに、可検出のための条件や、線形疑似状態フィードバックによる定常確率分布をもつための条件を示した。その結果、 (A, B) の完全可制御性や、 (A, C) の完全可観測性ととも、雑音の項の係数マトリクスに関する条件が明らかになった。

謝 辞

本研究に有益な助言を受けた、京都大学精密工学教室システム制御研究室研究生浜塚輝雄氏、同博士課程武内良樹氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) W.M. Wonham: Lyapunov Criteria for Weak Stochastic Stability, J.Diff. Eqn.,2,195/207,1966
- 2) R.Z. Kashminskii: Ergodic Properties of Recurrent Diffusion Processes and Stabilization of the Solution to the Cauchy Problem for Parabolic Equations, Th. of Prob. and its Appl.5,1960
- 3) M. Zakai: A Lyapunov Criterion for the Existence of Stationary Probability Distributions for Systems Perturbed by Noise, SIAM.J. Control Vol.7. No.3,1969
- 4) V.E. Beneš : Finite Regular Invariant Measures for Feller Processes, J.Appl. Prob.,5,203/209, 1968
- 5) 古田：線形システム制御理論，昭晃堂，1976
- 6) 伊藤：システム制御理論，昭晃堂，1976
- 7) 須田，児玉：制御工学者のためのマトリクス理論(22)～(24)，システムと制御，1973

(昭和53年4月11日受付)

省エネルギーを考慮した店舗照明の研究

(電気工学科) 原 田 一 彦

A Study of a Store-lighting for an Energy-Saving

Kazuhiko HARADA

In generally, a lighting having been high illuminance and luminance, and also a store-lighting is same. Those are very important for the purpose of giving a strong image to a person who sees it. However, an ineffectual lighting is doing because of the daylight. We should take account of the energy-saving by turning off these lamps.

This study made experiment on the probability of turning off without the lose of display-effect by utilizing of daylight on the store-lighting moreover considered the actual store.

The following result was obtained:

It was possible to save about 15% electric power by turning out parts of lamps if the illuminance of the street side was over about 30,000lx owing to the day-light.

§ 1 緒 言

我が国の照明施設および設備は、目ざましい経済の発展と国民生活の向上により充実した発展をしてきた。これは、新しい光源、器具の開発もさることながら、良質で経済的なエネルギーの供給が大きく寄与していたからである。しかし、石油ショック以来省エネルギーが重要な課題となってきた。ところが、いままでの惰性で無駄な照明がなされている場合があり、ことに昼間における店舗照明にはそれが多くと考えられる。

そこで、本研究は昼間に道路に面したショーウィンドについてディスプレイ効果を減少させないで消灯できる照度を実験で求め、更に、実際にある店舗について検討を加えたものである。

§ 2 照明における省エネルギー対策

店舗照明の役割りは次のように分類できる¹⁾。

- (1) 企業イメージを伝達するための照明
- (2) 店舗の存在を明示するための照明
- (3) 商品評価の場としての照明
- (4) 商品評価を高くみせる照明
- (5) 購買欲を刺激するための照明
- (6) 売場明示や安全のための照明

これら以外に商店街の地域ぐるみの照明が考えられる。

店舗照明の省エネルギー対策の基本原則として、照明システムの分野では無駄を無くし、損失を減少させ、むしろ目的に適合するよう有効的な照明をして店舗の繁栄に寄与し、更にトータルシステム

において省エネルギーの目的を満足させるものでなければならない。

照明システムにおいてエネルギー効率を考慮すべきものとしては、ランプ効率、放電灯の安定器損失、器具効率、部屋の照明率および保守率などがあげられるが、ここでは、店舗照明に関係の深い光源のランプ効率および器具効率について述べる。

2.1 白熱電球

店舗用光源として使用されているものは、白熱電球（ハロゲンランプを含む）とけい光ランプの2種類がほとんどを占めている。

けい光ランプ万能から白熱電球の暖かみのある色温度、高輝度、小形・軽便さ等の特長が見直されてきて、かなりの割合で使用されている。最近の店舗照明を設備W数比率で全般的に比較すると、白熱電球が52%，けい光ランプが48%となっている²⁾。今後も白熱電球が増加する傾向なので、省エネルギー時代からすれば逆行の状態である。

タングステンをフィラメントとする市販の白熱電球の効率は19.6～21.5 lm/Wである。理論的に考えても54 lm/Wが限界であるから大きな期待はできない。しかし、ハロゲンランプでは、タングステンのドーブ剤の分散状態をコントロールして高効率、長寿命にする試み³⁾がなされており、また、ハロゲン化合物、石英にかわる硬質ガラスバルブ、フィラメント端部の腐食の問題等、研究ならびに開発される余地が残されているので、今後これらが改善され、コストも低減されれば、特長を生かした灯具の開発とあいまって店舗照明に多大の貢献をするものと期待できる。

2.2 けい光ランプ

けい光ランプは白熱電球に比べて、効率が3～5倍、寿命も長く、演色性も改善されてきたので、省エネルギーの光源としての条件を備えていると考えられるが、さらに省エネルギー対策は活発に進められている。クリプトン系ガスを封入した省エネルギー形けい光ランプが発表され⁴⁾、約10%の節電が可能である。寿命も電極の構造をステックコイルに改良して長くなったものが市販されている⁵⁾。また、電球の代りに使用できる電球色けい光ランプも発表されている⁶⁾。高演色性のけい光ランプは、従来の製品では効率が低いという欠点があったが、改良されて71 lm/Wのランプが開発されている⁷⁾。さらに、高温用のけい光ランプの開発や点滅による寿命短縮を改良する努力もなされている。

けい光ランプ器具についても省エネルギーの目標のもとに研究が進められている。白色樹脂塗装面を完全拡散面とみなすと、これの無限長樋についての効率は、次式で与えられる⁸⁾。

$$U = \frac{\rho_1 a + F_2 S_1 (1 - \rho_1)}{\rho_1 a + S_1 (1 - \rho_1)}$$

ここに ρ_1 : 表面の反射率

a : 開口寸法

S_1 : 反射面の沿面距離

F_2 : 光源の光出力に対する直射分の比

これから、反射面の開口寸法に比べて反射面の沿面距離が長いほど効率が下がることがわかり、図1⁹⁾に示すように直線で構成された反射面より曲線のほうが効率がよい。図2⁹⁾は、反射面を白色樹脂塗装をした場合と鏡面仕上げの比較であるが、これによれば、けい光ランプのような大きさの光源でも後者の場合はかなりの光の制御ができることがわかる。カバーやルーバーも改善されたものが発売されている。また、換気孔を設けて適温で点灯して効率をよくし、反射笠を汚れにくくし、さらに空調負荷を軽減するための空気通

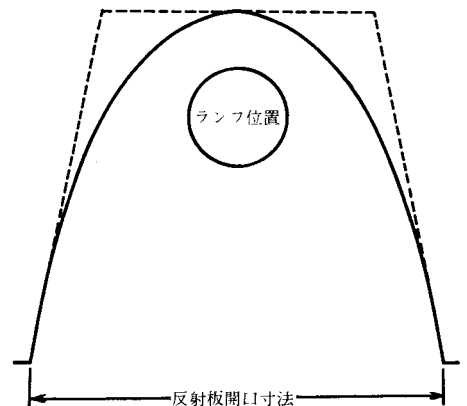


図1 効率のよい反射面形状

路のある器具も市販されている。

2.3 メタルハライドランプ

現在の HID ランプのなかでは、演色性が優秀であり、効率も高圧水銀ランプよりも良くけい光ランプとほぼ同等であるので、省エネルギーの見地からすれば注目すべきランプである。

複合ハロゲン化物の形成による高効率、高演色性の研究が進められ、 $C_eI_3-C_sI$ の複合ハロゲン化物の形成で、800 W のランプで 130 lm/W の効率、 $R_a=67$ 、色温度 5080 K が得られ、また、 $S_nI_2-C_aBr_{r2}$ 系のランプで効率 55 lm/W 、 $R_a=99$ が得られたとの報告がある¹⁰⁾。発光管を湾曲させたり¹¹⁾、形状を改良して効率を向上させる研究もなされている¹²⁾。しかし、メタルハライドランプ用安定器は、始動電圧が高いため大形となり、電力損も大きい。これが普及を妨げる一つの原因となっている。最近、小型化とコストを低減させるため $Ne-Ar$ 、 $Ne-Kr$ などベニングガスを使用して高圧水銀ランプ用安定器で点灯できるランプが開発された¹³⁾。これにより安定器の電力損も低減している。屋内の店舗用光源として使用するには、さらに安定器を小形、軽量化する必要がある。

器具は、電算機を利用して最適設計を求める CAD 設計により効率を 30% 程度向上させたものが市販されているが、屋外用の器具が多い。屋内用の器具もこれから開発されることが期待でき、アーケード、吹抜けの高天井等から使用されるものと思われる。

§ 3 実験および考察

実験用として北の窓側に人形を入れたショーウィンドを置き、人形から 1 m の高さに 100 W のスポット形白熱電球を 2 個取り付け付けた。被験者は、色覚の正常な 20 才の学生 4 名である。上記の電球を 1 灯又は 2 灯点灯した状態で、昼光による照度がどの程度になると電球を点灯している効果が認識できなくなるかを判断させた。その結果、1 灯点灯、2 灯点灯の区別なく約 30,000 lx の照度がその限界であることがわかった。

以上の結果をもとにして、実際の店舗について検討を加えた。この店舗は北向きで、40 W けい光ランプ 20 本、100 W 白熱電球 30 個（その内 10 個はショーウィンドに設備されている）の照明設備である。月平均開店日数を 25 日、開店時刻を午前 10 時、閉店時刻を午後 7 時とすれば、開店時間中、全照明設備を点灯することになると年間の消費電力量は、10,260 kWh である。道路に面したショーウィンドの照度が 30,000 lx を超えるのは、呉地方で年間 1,500 時間と推定される。したがって、ショーウィンド内の 10 個の白熱電球を消灯すれば 1,500 kWh の節約ができ、電力料金を 20 円/kWh とすれば 30,000 円の金額となる。これで約 15% の節電ができ、さらに、けい光ランプを前記の節電形ランプに交換すれば、約 17% の節約が可能となる。南側に面した店舗、2 面が道路に面した店舗では、これ以上の節約ができよう。

しかし、次のような問題点が考えられる。

- (1) 照度が 30,000 lx になったときの点滅装置
- (2) ショーウィンドが道路に直角に配置されているときの点滅方法
- (3) いままでの浪費形ともいえる人間の感覚の惰性

また、省エネルギーを目標とした器具が開発されてはいるが、店舗照明に利用するには若干の問題があり、これらのことについてどのように解決していくかが今後の課題である。

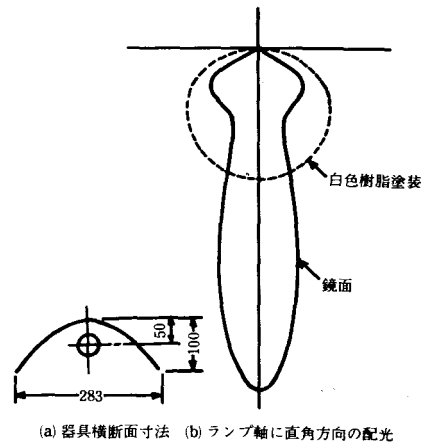


図 2 放物柱面反射面の仕上げによる配光比較

§ 4 結 言

昼間における道路に面した店舗のショーウィンドのディスプレイ照明で白熱電球を中心に節電できる程度について検討したが、研究対象とした小規模の平均的な店舗で約15%可能であることがわかった。しかし、光源および器具、それらの配列、点滅装置、人間の感覚の惰性およびトータルシステムでの空調との関係等で、それぞれ問題が残されている。

終りに、研究に協力していただいた店舗の方、ならびに測定に協力していただいた学生諸君に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 照明学会：店舗照明の実際 3
- 2) 藤村：照学誌 10 VOL. 61 (昭52) 613
- 3) 弓削，神谷：照学誌 4 VOL. 6 (昭和52) 212
- 4) 広田ほか：昭51照明全国大会論文集 10
- 5) 平井ほか：新日本電気技報 10 121
- 6) 伊藤ほか：照学誌 1 VOL. 60 (昭51) 4
- 7) 伊藤ほか：昭51照明全国大会論文集 9
- 8) 照明学会編：照明のデータブック (昭33) 208
- 9) 石井：照学誌 2 VOL. 62 (昭53) 100
- 10) 長野ほか：昭51照明全国大会論文集 15
- 11) F.Koury et al：IES Conference Paper (1974)
- 12) T.Fohl：IES Conference Paper (1974)
- 13) 河野ほか：昭52電気四学会東海支部大会論文集 346

(昭和53年4月15日受付)

1 質点系建物の弾塑性応答略算式について (等価線形化法による場合)

(建築学科) 門 前 勝 明

Approximate Response Prediction of Elasto-plastic Single-degree-of-freedom System Subjected to Earthquake (Equivalent Linear Models)

Katsuaki MONZEN

Based on energy input into a structure and energy of deformation by earthquake, approximate response prediction of elasto-plastic single-degree-of-freedom system from elastic response spectrum is proposed. The results are compared with exact solution of step by step integration procedure and equivalent linear models to determine maximum inelastic response of nonlinear structures for random excitation by T. K. Caughey.

Relation of yield strength of the spring and ductility factor is determined and showed good agreement with the results of which are solved by a Runge-Kutta procedure, as compared with equivalent linearization techniques.

§ 1 緒 言

建築構造物の耐震設計が、しばしば起る中地震で無被害、強地震で降伏前後、最悪の地震に対して終極強度設計を目標にしている以上、地震動による建物の弾塑性挙動を推定することは、耐震設計上重要な問題である。既往の研究によれば、弾塑性応答量を推定する手法は1)線形応答量に基くもの2)等価線形化法によるものの二つに分類できよう。前者の代表的な例として、N.M. Newmark等¹⁾による弾性エネルギー一定、または弾性変位一定と見做して弾性応答量から弾塑性最大変位を推定するものがあり「地震荷重(案)²⁾」にも採用されている。後者の例として、T.K. Caughey^{3),4)}, P.C. Jennings⁵⁾, 柴田明德⁶⁾等の研究がある。著者は既報で1質点系建物について、一成分^{7),8)}および数成分⁹⁾の正弦波によって構成された地震動に対する弾塑性応答量を弾性応答量から推定する略算式について報告した。この報告は、T.K. Caugheyの等価線形化法と著者の略算式の比較について述べようというものである。

§ 2 解 析 方 法

図1に示す無減衰1質点系構造物が任意の地震動をうけた場合、質点の運動方程式は次式で与えられる。

$$m\ddot{x} + KF(x, t) = -m\ddot{y}_0(t) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 m =質点の質量

x = 基礎に対する質点の変位

$KF(x, t)$ = ばねの復元力

$\ddot{y}_0(t)$ = 地震加速度

K = 弾性ばね定数

この報告では、ばねの非線形特性として図2に示す完全弾塑性モデルを使用する。完全弾塑性モデルは鋼構造剛接骨組などで代表される紡鐘型履歴特性を有する構造物に比較的に

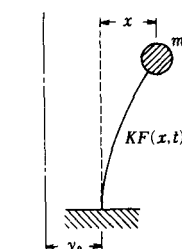


図1 1質点系モデル

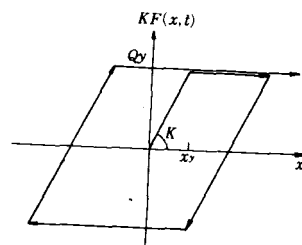


図2 復元力特性

く適合すると言われている。 $\omega_0 = \sqrt{K/m}$ とすれば、(1)式は次のように書き直すことができる。

$$\ddot{x} + \omega_0^2 F(x, t) = -\ddot{y}_0(t) \quad \dots\dots\dots(2)$$

(2)式は、(3)式で表される粘性減衰を有する1質点系の運動方程式

$$\ddot{x} + \beta_{eq} \dot{x} + \omega_{eq}^2 x = -\ddot{y}_0(t) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 β_{eq} = 等価粘性減衰係数

ω_{eq}^2 = 等価剛性

で近似できるものとすれば、 $\ddot{y}_0(t)$ が定常ガウス確率過程の場合、系の定常応答量はCaugheyの等価線形化法^{3),4)}を適用して次のようになる。

(2)式と(3)式の二乗平均誤差最小の条件から、 β_{eq} と ω_{eq}^2 は(4)式と(5)式となる。

$$\begin{aligned} \beta_{eq} &= \omega_0^2 \overline{\dot{x}F(x, t)} / \overline{\dot{x}^2} \\ \omega_{eq}^2 &= \omega_0^2 \overline{x F(x, t)} / \overline{x^2} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4)$$

(3)式の解として近似的に正弦波とすれば、

$$\begin{aligned} x &= R \cos(\omega_{eq} t + \varphi) = R \cos \theta \\ \dot{x} &= -R \omega_{eq} \sin \theta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(5)$$

となる。(5)式より、(4)式は次のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} \beta_{eq} &= \frac{-\omega_0^2 \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{i=-N}^N \frac{1}{2\pi} \int_{i2\pi}^{(i+1)2\pi} R \sin \theta F(R \cos \theta, \theta) d\theta}{\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{i=-N}^N \frac{1}{2\pi} \int_{i2\pi}^{(i+1)2\pi} \omega_{eq} R_i^2 \sin^2 \theta d\theta} \\ \omega_{eq}^2 &= \frac{\omega_0^2 \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{i=-N}^N \frac{1}{2\pi} \int_{i2\pi}^{(i+1)2\pi} R_i \cos \theta F(R \cos \theta, \theta) d\theta}{\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{i=-N}^N \frac{1}{2\pi} \int_{i2\pi}^{(i+1)2\pi} R_i^2 \cos^2 \theta d\theta} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(6)$$

(5)式で R, φ はslowly varying parameterであるから、1サイクル間に著しい変化はしないものとすれば、

$$\frac{1}{2\pi} \int_{i2\pi}^{(i+1)2\pi} R_i \sin \theta F(R \cos \theta, \theta) d\theta \approx S(R_i) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{i2\pi}^{(i+1)2\pi} R_i \cos \theta F(R \cos \theta, \theta) d\theta \approx C(R_i)$$

$$S(R_i) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} R_i \sin \theta F(R_i \cos \theta, \theta) d\theta \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$C(R_i) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} R_i \cos \theta F(R_i \cos \theta, \theta) d\theta$$

となることより、(6)式は次式となる。

$$\beta_{eq} = \frac{-2\omega_0^2}{\omega_{eq}} \left[\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{i=-N}^N S(R_i) \right] \times \left[\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{i=-N}^N R_i^2 \right]^{-1}$$

$$\omega_{eq}^2 = 2\omega_0^2 \left[\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{i=-N}^N C(R_i) \right] \times \left[\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{i=-N}^N R_i^2 \right]^{-1}$$

したがって β_{eq} と ω_{eq}^2 は次式で表わすことができる。

$$\begin{aligned} \beta_{eq} &= \frac{-2\omega_0^2}{\omega_{eq}} \left[\overline{S(R)} / \overline{R^2} \right] \\ \omega_{eq}^2 &= 2\omega_0^2 \left[\overline{C(R)} / \overline{R^2} \right] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (9)$$

エルゴード過程ならば時間平均と集合平均を等置してつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \beta_{eq} &= \frac{-2\omega_0^2}{\omega_{eq}} \left[\langle S(R) \rangle / \langle R^2 \rangle \right] \\ \omega_{eq}^2 &= 2\omega_0^2 \left[\langle C(R) \rangle / \langle R^2 \rangle \right] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (10)$$

1 質点系構造物の地震動に対する応答値は、減衰常数が比較的小さければ狭帯域確率過程、地震動を定常ガウス確率過程と見做せば狭帯域定常確率ガウス過程になると考えられる。狭帯域定常確率ガウス過程の極値分布は Rayleigh 確率密度関数 $p(R)$ で与えることができる¹⁰⁾から次式となる。

$$P(R) = (R / \langle x^2 \rangle) \exp \{ -R^2 / 2 \langle x^2 \rangle \} \quad \dots\dots\dots (11)$$

完全弾塑性モデルの場合 $S(R)$, $C(R)$ は(12)式となる。

$$\begin{aligned} S(R) &= -\frac{R^2}{2\pi} \sin^2 \theta^* & R > x_y \\ &= 0 & R < x_y \\ C(R) &= \frac{R^2}{2\pi} \left(\theta^* - \frac{1}{2} \sin 2\theta^* \right) & R > x_y \\ &= \frac{R^2}{2} & R < x_y \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで、 x_y = 降伏変位

$$\theta^* = 1 - \frac{2x_y}{R}$$

(11)式と(12)式より、 β_{eq} と ω_{eq}^2 は次のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} \beta_{eq} &= \frac{\omega_0^2}{2\omega_{eq} \langle x^2 \rangle^2} \int_{x_y}^{\infty} \frac{R^3}{\pi} \sin^2 \theta^* \exp \{ -R^2 / 2 \langle x^2 \rangle \} dR \\ &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\omega_0^2}{\omega_{eq}} \frac{x_y}{\sqrt{2} \sigma} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_y}{\sqrt{2} \sigma} \right) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\begin{aligned} \omega_{eq}^2 &= \frac{\omega_0^2}{\langle x^2 \rangle^2} \left[\int_0^{x_y} \frac{R^3}{2} \exp \{ -R^2 / 2 \sigma^2 \} dR \right. \\ &\quad \left. + \int_{x_y}^{\infty} \frac{R^3}{2\pi} \left(\theta^* - \frac{1}{2} \sin 2\theta^* \right) \exp \{ -R^2 / 2 \sigma^2 \} dR \right] \\ &= \omega_0^2 - \frac{8\omega_0^2}{\pi} \int_1^{\infty} \{ (\lambda\mu)^{-1} \sqrt{\mu-1} + \sqrt{\mu-1} \mu^{-3} \} \exp \{ -\mu^2 / \lambda \} d\mu \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここで、 $\sigma^2 = \langle x^2 \rangle$

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-x^2} dx = \text{complimentary error function}$$

$$\lambda = 2\sigma^2/x_y^2$$

$$\mu = R/x_y$$

$\ddot{y}_0(t)$ のパワースペクトルを $G(\omega)$ とすれば, 応答変位の二乗平均値は次式で与えられる。

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} \frac{G(\omega)}{(\omega_{eq}^2 - \omega^2)^2 + \beta_{eq}^2 \omega^2} d\omega \quad \dots\dots\dots(15)$$

$\ddot{y}_0(t)$ を(16)式に示すフーリエ級数で近似すれば, 応答変位の二乗平均値は(17)式となる。

$$\ddot{y}_0(t) = \sum_{n=0}^{\infty} Z_n \cos(\omega_n t + \phi_n) \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Z_n^2}{(\omega_{eq}^2 - \omega_n^2)^2 + \beta_{eq}^2 \omega_n^2} \quad \dots\dots\dots(17)$$

従って定常応答量は(13), (14), (15)または(17)式を連立して解けば得られる。

シミュレーション解析に際して地震動をシミュレートする手法は多数提案されているが, 本解析では実際に測定された地震波(EI-Centro 1940 NS)を $\ddot{y}_0(t)$ として使用した。実際の地震波の場合, 少なくとも継続時間中の最初と終わりの部分では不規則性の異なる場合が多く, 必ずしも定常確率過程と見做すことはできないが, G.W. Housner によれば応答量に最も大きな影響を与える主要動部分は定常ガウス確率過程と見做せると報告¹¹⁾されている。

図3はEI-Centro 1940 NS(最大加速度 300 gal)について, 有限フーリエ近似による Z_n と振動数 $f_n = \omega_n / 2\pi$ の関係を示したもので, (17)式の Z_n に使用している。(13), (14), (17)式に示される連立非線形方程式の解法には Newton 法を使用した。計算手法を付録(1)に, フローチャートを付録(2)に示す。

等価線形化法および § 3 で述べる略算式の比較対象として, (2)式のルンゲ・クッタ法による数値積分解を正解と仮定する。

完全弾塑性系の弾性固有

周期 $T_0 = 2\pi/\omega_0$ は 0.2 秒から 2.0 秒までを 0.2 秒きざみ, 2.0 秒から 4.0 秒までを 0.5 秒きざみで変化させ, 系の降伏せん断力 Q_y は線形応答せん断力 Q_e によって適当に変化させている。

§ 3 弾塑性応答の略算式

建物の地震動による非線形応答性状は, バネ系の塑性歪によって吸収されるエネルギー量と深い係わりを持つ¹²⁾。半サイクルを図4の ACD とすれば, 歪エネルギーは BCDE で囲まれた面積で与えられる。半サイクル間の歪エネルギー量の最大値を E_s とすれば, 降伏せん断力係数 q_y (降伏せん断

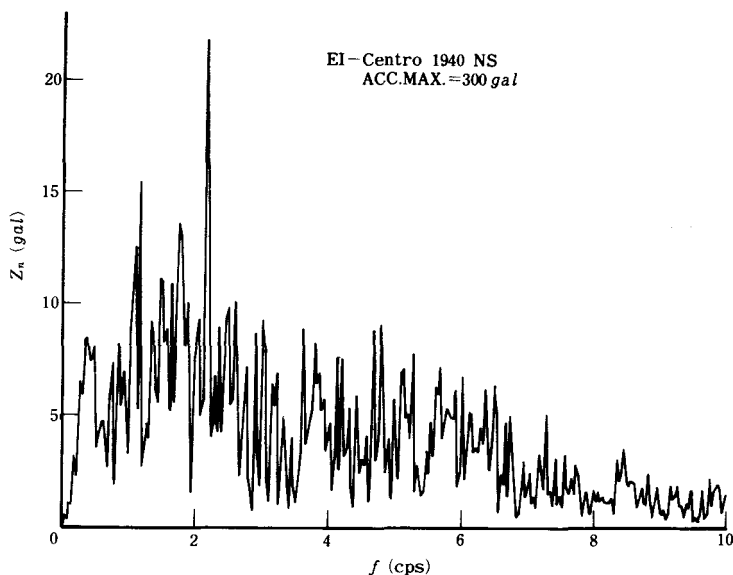


図3 Z_n-f の関係

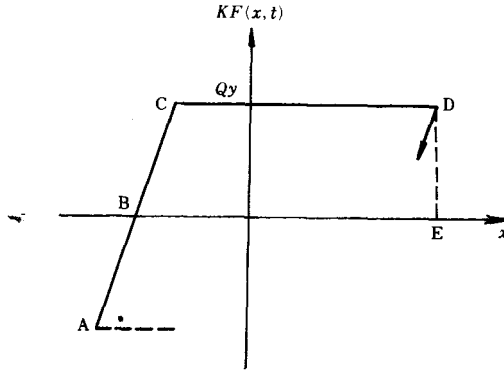
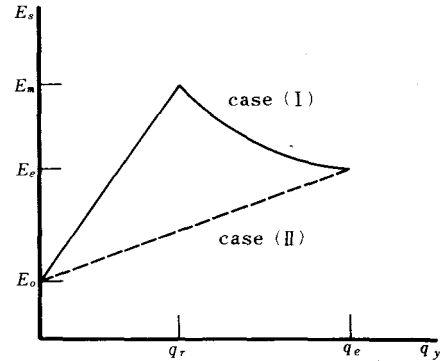


図 4


 図 5 $E_s - q_y$ のモデル化

力 Q_y /自重 mg の変化が E_s に及ぼす影響は地震動, 系の固有周期等によって異なるが, ほぼ図 5 に示すモデル化が可能である。El-Centro 1940 HS の場合, E_s と q_y の関係は T_0 に関係なく図 5 に示す case (II) で表わすことができると考えられ⁹⁾, 完全弾塑性モデルの弾塑性応答量の略算式は次式で表わされる。

$$\mu = \frac{\{(E_e - E_0)q_y + q_e E_0\} \omega_0^2}{g^2 q_y^2 q_e} + 0.5 \quad \dots \dots \dots (18)$$

ここで, $\mu = x_{max}/x_y$

$E_e = \frac{1}{2} x_e^2 \omega_0^2 =$ 弾性ひずみエネルギー量

$E_0 = q_y$ が非常に小さい範囲における半サイクル間の歪エネルギー量の最大値

$x_e =$ 弾性応答変位

J. Penzien¹³⁾によれば, 完全弾塑性モデルの共振状態(地動は正弦波)における等価粘性減衰常数は, $q_y=0$ の場合, 0.5 になると報告されていることより, E_0 は減衰常数 0.5 の弾性応答エネルギー量で近似できるものと仮定する。減衰常数 0.5 の弾性速度応答を $[\dot{x}_e]_{h=0.5}$ とすれば, E_0 は次式で与えられる。

$$E_0 = \frac{1}{2} [\dot{x}_e]_{h=0.5}^2 \quad \dots \dots \dots (19)$$

参考のため, 無減衰速度応答量と $h=0.5$ の速度応答量を図 6 に示す。

§ 4 解析結果とその検討

図 7 は数値積分解(正解)と等価線形化法および略算式の比較を降伏せん断力係数 q_y と ductility factor μ (但し等価線形化法の場合, $\mu = \langle R \rangle / x_y = \sqrt{\pi} \sigma / \sqrt{2} x_y$ とする) の関係で示したものである。図より等価線形化法による応答量は, 一般的に応答をかなり過小評価していることがわかる。この原因として 1) 過渡振動による影響 2) Z_n の評価方法に関する問題 3) 極値分布の設定に関する問題

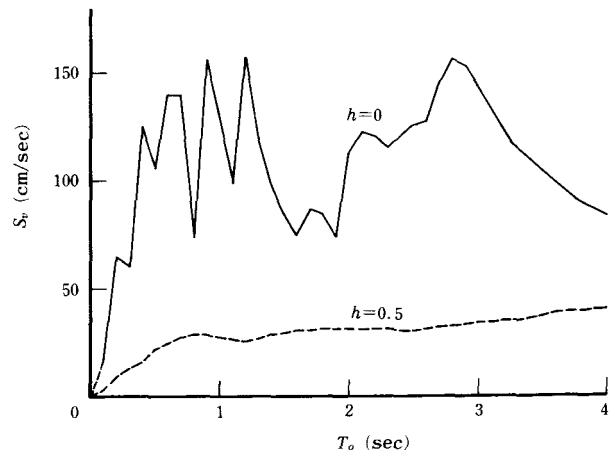


図 6 速度応答スペクトル

4) 入力の非定常性による影響 5) Caughey の等価線形化法による近似限界等が考えられるが, 詳しい検討は機会があれば別の報告で述べたい。

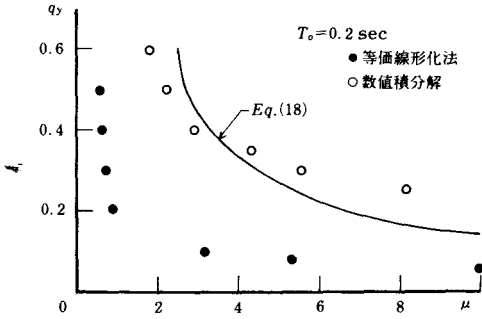


図 7-1

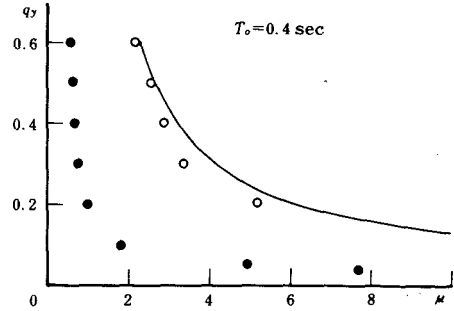


図 7-2

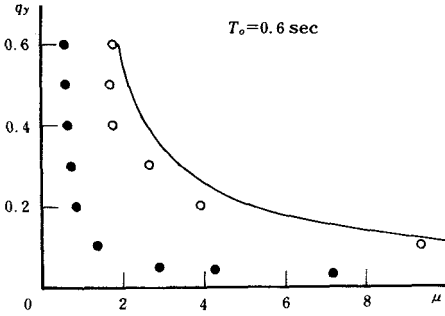


図 7-3

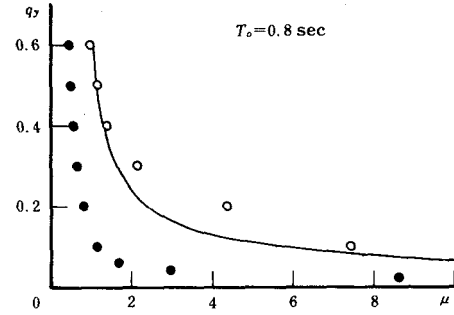


図 7-4

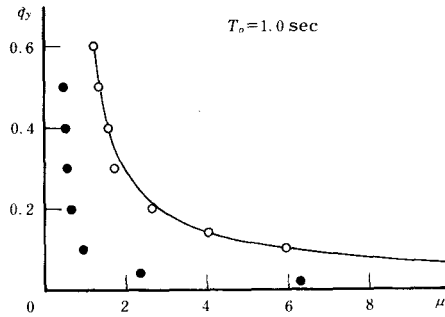


図 7-5

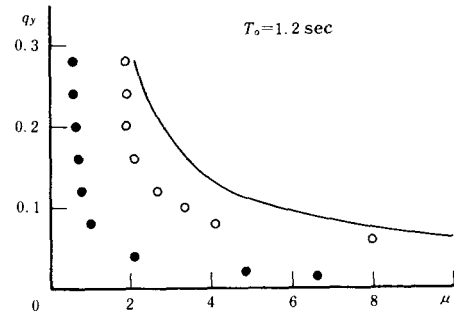


図 7-6

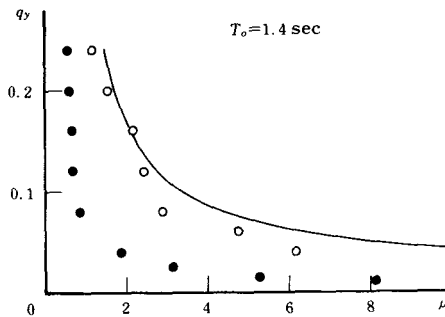


図 7-7

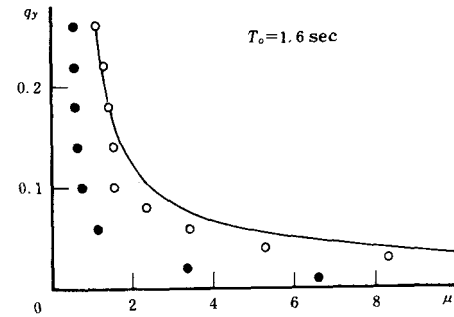


図 7-8

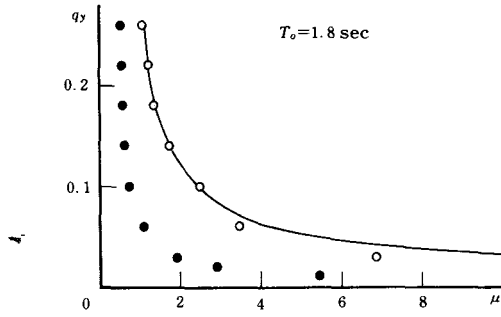


図 7-9

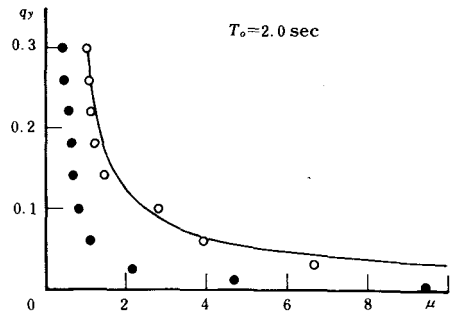


図 7-10

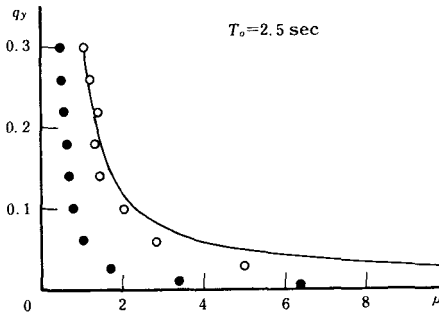


図 7-11

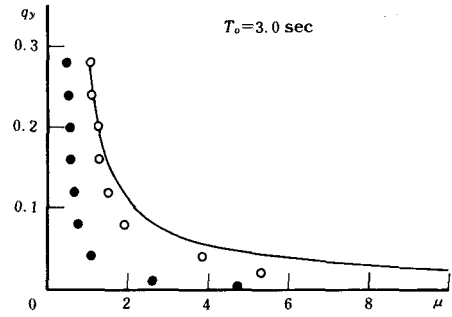


図 7-12

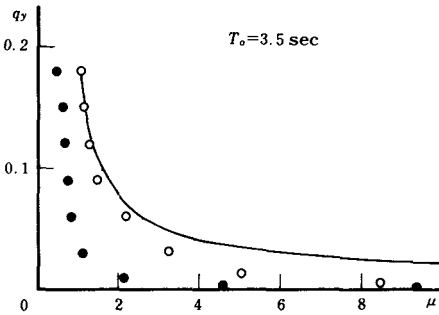


図 7-13

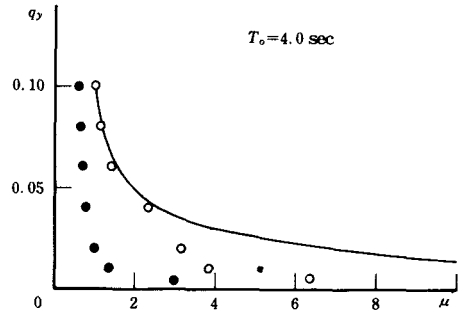


図 7-14

図 7 降伏せん断力係数と ductility factor の関係

著者の略算式は $T_0=0.2$ 秒, 0.8 秒の場合, 応答量を若干過小評価する部分があることがわかる。 $T_0=0.2$ 秒の場合, 正解と略算式の差異は主に E_0 の評価によるものであると考えられる。 $T_0=0.8$ 秒の場合は, 図 6 に示すように弾性応答量が著しく小さくなっている部分に対応し, E_0 の評価について検討が必要であるように思われる。しかし全般的にみて, 略算式は一般の地震動に対しても正解と良く一致していることがわかる。

§ 5 結 論

著者は既報で 1 質点系建物について, 一成分および数成分の正弦波によって構成された地動に対する弾塑性応答量を弾性応答量から推定する略算式について報告した。この報告は, Caughey の等価線形化法による推定と著者の略算式による推定の比較を, 1 質点系完全弾塑性モデルの El Centro

1940 NS による応答を例に検討した。地震動を限定しているので詳しいことは言えないが、著者の略算式は全般的に数値積分解と比較的良好一致するが、Caughey の等価線形化法による弾塑性応答量の推定は、応答を過小評価する傾向があると思われる。

謝 辞

本報告の計算にあたり、呉工業高等専門学校計算機室 FACOM 230-28S を使用した。関係諸氏に感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- 1) Wiegel; Earthquake Engineering, Prentice-Hall, 1970.
- 2) 日本建築学会; 地震荷重と建築構造物の耐震性, 1977.
- 3) T.K. Caughey; Equivalent Linearization Techniques, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 35, No. 11, 1963.
- 4) T.K. Caughey; Random Excitation of a System with Bilinear Hysteresis, Journal of Applied Mechanics, Vol. 27, December, 1960.
- 5) P.C. Jennings; Equivalent Viscous Damping for Yielding Structures, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, No. EM1, February, 1968.
- 6) A. Shibata; Equivalent Linear Models to Determine Maximum Inelastic Response of Nonlinear Structures for Earthquake Motions, Proceedings of the Fourth Japan Earthquake Engineering Symposium, November, 1975.
- 7) 門前勝明; 正弦波地動に対する1質点系建物の弾塑性近似応答式について, 日本建築学会中国支部研究報告集, 昭和52年9月
- 8) 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2, 正弦波による近似応答式), 日本建築学会中国支部研究報告集, 昭和52年9月
- 9) 門前勝明; 正弦波地動に対する1質点系建物の弾塑性応答の略算式について (その2, 数成分波による場合), 日本建築学会中国・九州支部研究報告集第4号, 昭和53年2月
- 10) 星谷勝; 確率論手法による構造解析, 鹿島研究所出版会, 昭和49年5月
- 11) G.W. Housner and P.C. Jennings; Generation of Artificial Earthquakes, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 90, No. EM1, February, 1964.
- 12) 谷 資信, 野村設郎他2名; 鉄筋コンクリート耐震要素の復元力特性 (その3) —復元力特性が動的応答結果に及ぼす影響—, 日本建築学会論文報告集, 第228号, 昭和50年2月
- 13) Joseph Penzien; Dynamic Response of Elasto-plastic Frames, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 86, No. ST7, July, 1960.

付録1) Newton 法による連立非線形方程式の解法

(13), (14), (17)式より,

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{2\omega_0^2 x_y}{\sqrt{\pi} \omega_{eq} \sqrt{2} \sigma} \operatorname{erfc}\left(\frac{x_y}{\sqrt{2} \sigma}\right) - \beta_{eq} \\ v &= \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Z_n^2 \omega_n^2}{(\omega_{eq}^2 - \omega_n^2)^2 + \beta_{eq}^2 \omega_n^2} - \sigma^2 \\ w &= \omega_0^2 - \frac{8 \omega_0^2}{\pi} \int_1^{\infty} \{(\lambda \mu)^{-1} \sqrt{\mu-1} + \sqrt{\mu-1} \mu^{-3}\} \exp\{-\mu^2/\lambda\} d\mu - \omega_{eq}^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A1)$$

(A1) 式を $(\beta_{eq})_n$, $(\sigma^2)_n$, $(\omega_{eq})_n$ 付近で展開すれば,

$$\begin{aligned} u\{(\beta_{eq})_{n+1}, (\sigma^2)_{n+1}, (\omega_{eq}^2)_{n+1}\} &\approx u\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} + \{(\beta_{eq})_{n+1} - (\beta_{eq})_n\} u_{\beta_{eq}}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} \\ &+ \{(\sigma^2)_{n+1} - (\sigma^2)_n\} u_{\sigma^2}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} + \{(\omega_{eq}^2)_{n+1} - (\omega_{eq}^2)_n\} u_{\omega_{eq}^2}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} \\ v\{(\beta_{eq})_{n+1}, (\sigma^2)_{n+1}, (\omega_{eq}^2)_{n+1}\} &\approx v\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} + \{(\beta_{eq})_{n+1} - (\beta_{eq})_n\} v_{\beta_{eq}}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} \\ &+ \{(\sigma^2)_{n+1} - (\sigma^2)_n\} v_{\sigma^2}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} + \{(\omega_{eq}^2)_{n+1} - (\omega_{eq}^2)_n\} v_{\omega_{eq}^2}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} \\ w\{(\beta_{eq})_{n+1}, (\sigma^2)_{n+1}, (\omega_{eq}^2)_{n+1}\} &\approx w\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} + \{(\beta_{eq})_{n+1} - (\beta_{eq})_n\} u_{\beta_{eq}}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} \\ &+ \{(\sigma^2)_{n+1} - (\sigma^2)_n\} w_{\sigma^2}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} + \{(\omega_{eq}^2)_{n+1} - (\omega_{eq}^2)_n\} w_{\omega_{eq}^2}\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\} \end{aligned}$$

ここで, $u_{\beta_{eq}} = \partial u / \partial \beta_{eq}$, $u_{\sigma^2} = \partial u / \partial \sigma^2$, $u_{\omega_{eq}^2} = \partial u / \partial (\omega_{eq}^2)$

$v_{\beta_{eq}} = \partial v / \partial \beta_{eq}$, $v_{\sigma^2} = \partial v / \partial \sigma^2$, $v_{\omega_{eq}^2} = \partial v / \partial (\omega_{eq}^2)$

$w_{\beta_{eq}} = \partial w / \partial \beta_{eq}$, $w_{\sigma^2} = \partial w / \partial \sigma^2$, $w_{\omega_{eq}^2} = \partial w / \partial (\omega_{eq}^2)$

上式の左辺を 0 とおけば,

$$\begin{bmatrix} u_{\beta_{eq}} & u_{\sigma^2} & u_{\omega_{eq}^2} \\ v_{\beta_{eq}} & v_{\sigma^2} & v_{\omega_{eq}^2} \\ w_{\beta_{eq}} & w_{\sigma^2} & w_{\omega_{eq}^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta(\beta_{eq})_n \\ \Delta(\sigma^2)_n \\ \Delta(\omega_{eq}^2)_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -u_n \\ -v_n \\ -w_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots (A2)$$

ここで, $\Delta(\beta_{eq})_n = (\beta_{eq})_{n+1} - (\beta_{eq})_n$

$\Delta(\sigma^2)_n = (\sigma^2)_{n+1} - (\sigma^2)_n$

$\Delta(\omega_{eq}^2)_n = (\omega_{eq}^2)_{n+1} - (\omega_{eq}^2)_n$

$u_n = u\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\}$

$v_n = v\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\}$

$w_n = w\{(\beta_{eq})_n, (\sigma^2)_n, (\omega_{eq}^2)_n\}$

$u_{\beta_{eq}} = -1$

$u_{\sigma^2} = \frac{\omega_0^2 x_y^2}{\pi \omega_{eq} \sigma^4} \exp(-x_y^2/2\sigma^2) - \frac{\omega_0^2 x_y}{\sqrt{2\pi} \omega_{eq} \sigma^3} \operatorname{erfc}(x_y/\sqrt{2} \sigma)$

$u_{\omega_{eq}^2} = -\frac{\omega_0^2 x_y}{\sqrt{2\pi} \sigma \omega_{eq}^3} \operatorname{erfc}(x_y/\sqrt{2} \sigma)$

$v_{\beta_{eq}} = -\beta_{eq} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Z_n^2 \omega_n^2}{\{(\omega_{eq}^2 - \omega_n^2)^2 + \beta_{eq}^2 \omega_n^2\}^2}$

$v_{\sigma^2} = -1$

$v_{\omega_{eq}^2} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{Z_n^2 (\omega_{eq}^2 - \omega_n^2)}{\{(\omega_{eq}^2 - \omega_n^2)^2 + \beta_{eq}^2 \omega_n^2\}^2}$

$$w_{\beta_{eq}} = 0$$

$$w_{\sigma^2} = -\frac{2}{\pi} \frac{\omega_0^2 x_y^4}{\sigma^6} \int_1^\infty \mu \sqrt{\mu-1} \exp(-\mu^2 x_y^2 / 2\sigma^2) d\mu$$

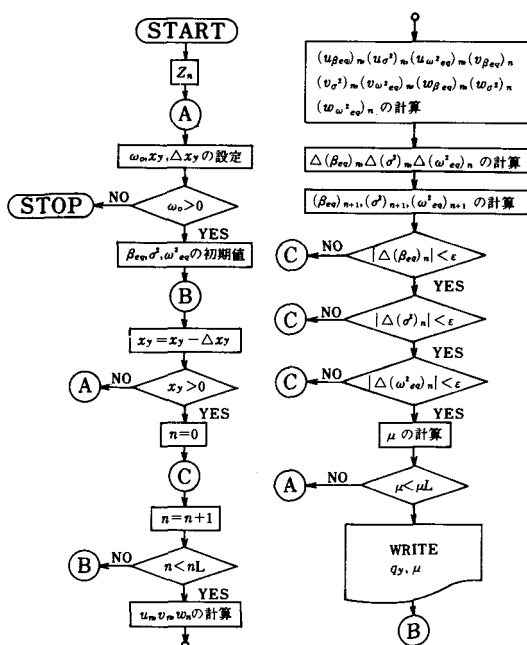
$$(\beta_{eq})_{n+1} = \Delta(\beta_{eq})_n + (\beta_{eq})_n$$

$$(\sigma^2)_{n+1} = \Delta(\sigma^2)_n + (\sigma^2)_n$$

$$(\omega_{eq}^2)_n = \Delta(\omega_{eq}^2)_n + (\omega_{eq}^2)_n$$

となる。 $|\Delta(\beta_{eq})_n|, |\Delta(\sigma^2)_n|, |\Delta(\omega_{eq}^2)_n| > \epsilon$ (許容誤差) ならば $n \rightarrow n+1$ として計算を繰り返せば、(A2) 式は初期値が求める解に十分近い場合解に収束する。

付録 (2)



図A 連立非線形方程式を解くためのフローチャート

(昭和53年4月19日受付)

昭和52年度本校教官による他誌発表論文

| 著 者 名 | 論 文 題 目 | 発 表 誌 名 |
|---|--|---|
| 富田 豊 (徳大工) 添田 喬 (徳大工) 今井 勲 (呉高専) | 観測コストを考慮した確率システムの最適制御のための観測時点位置の決定 | 日本機械学会講演論文集 (No775-2) |
| 笠松 義隆 (広大総合) 檜原 忠幹 上垣内孝彦 | CrTe 単結晶の電気抵抗と熱膨張 | 日本物理学会春の分科会予稿集 (52年 山口) |
| 灘野 宏正 (広大工) 寺内 喜男 | Applicability of Flash Temperature Formula to Spur Gears | Memoirs of the Faculty of Engineering Hiroshima University, Vol. 6, No. 2 (Serial No. 19), 1977. |
| 〃 | Study on the Effect of Surface Roughness and Oil Temperature on Scoring | Memoirs of the Faculty of Engineering Hiroshima University, Vol. 6, No. 2, 1977. |
| 〃 | 平歯車のスコ어링に関する研究 (第3報, スコ어링強度に及ぼす転位係数の影響) | 日本機械学会創立80周年記念北陸信越支部学術講演会, (52年, 長野) |
| 京免 進 (阪大工) 近江 宗一 (阪大工) 碓井 建夫 (阪大工) | 円管内乱流脈動流れの速度分布の解析 (摩擦速度の時間的変化を考慮した場合) | 日本機械学会論文集, 43-375 (昭和52-11), 4109. |
| 野原 稔 (山大工) 日高 照晃 (山大工) 寺内 喜男 (山大工) 大下 純一 (住友重機) | 遊星歯車装置の動特性に関する研究 (第3報, 内歯車の作用線方向の変位) | 日本機械学会講演論文集 43巻368号 (昭52-4) |
| 野原 稔 (山大工) 日高 照晃 (山大工) 寺内 喜男 (山大工) 大下 純一 (住友重機) | Dynamic Behavior of Planetary Gear (3rd Report, Displacement of Ring Gear in Direction of line of Action) | Bulletin of the JSME Vol. 20, No. 150 (1977) P1663~1672 |
| 中前栄八郎 (広大工) 野村 利英 (呉高専) 師井 元継 (広大工) | 2次2分割方式による大容量配電用変圧器について | 電気学会全国大会 (北海道大学) |
| 中前栄八郎 (広大工) 山下 英生 (広大工) 中木 正司 (呉高専) 谷本 茂也 (呉高専) 野村 利英 (呉高専) | 変圧器漏れリアクタンスの一考察 | 電気学会 静止器 磁性材料 合同研究会 (資料番号 TC-77-7 MAG-77-47) |
| 中前栄八郎 (広大工) 山下 英生 (広大工) 中木 正司 (呉高専) 谷本 茂也 (呉高専) 野村 利英 (呉高専) | 変圧器漏れリアクタンス計算に関する一考察 | 電気四学会中国支部大会 (岡山) |
| 広光清次郎 他 | A Statistical Theory Generalized by an Equivalent Model for Non-Stationary Random Noise Process and Its Digital Simulation | Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 25, University of Tokyo Press, edited by Japan National Committee for Theoretical and Applied Mechanics Science Council of Japan. |
| 〃 | A Study for the Effect of Acuity on the Output Distribution of Arbitrary Transducer in Random Noise (Theory and Experiment) | ibid. |
| 広光清次郎 他 | A Trial of a New Formation of the Random Noise Model by Use of Arbitrary Uniformly Almost Periodic Functions | Information and Control, Vol. 33, No. 3. |
| 〃 | Poly-Frequency Spectral Analysis for the Road Traffic Noise Based on the Filtered Poisson Process Model (Theory and Simulation Experiment) | International Federation of Automatic Control (IFAC) Symposium on Environmental Systems Planning, Design and Control, Preprints, at Kyoto. |
| 〃 | 環境騒音システムの多変量状態確率表現とその線形推移に関する統一的一考察 | 電子通信学会論文誌 (A) 60-A巻9号 |

| 著 者 名 | 論 文 題 目 | 発 表 誌 名 |
|--|---|--|
| 広光清次郎 他 | 任意伝搬環境下の道路騒音に対する 普遍的統計処理の方法論の一試み | 日本音響学会誌 33巻12号 |
| 太田 光雄 (広大工) 吉野 信行 他 | 任意騒音環境システムの多変量状態 確率及び線形推移表現と実測騒音へ の適用 | 日本自動制御協会第19会講演論文集 (52年, 京都) |
| 太田 光雄 (広大工) 吉野 信行 他 | 気象条件を含む任意伝播環境下の道 路騒音に対する動的予測法 (理論と 実験) | 電子通信学会 電気音響研究会 (52年, 東北) |
| 太田 光雄 (広大工) 吉野 信行 他 | 階層的に捉えた任意環境騒音システ ムの動的予測法 | 日本自動制御協会 確率シンポジウム論文集 (52年, 京都) |
| 太田 光雄 (広大工) 吉野 信行 他 | 上位レベルにおける騒音振動分布の 予測と α レンジ上端道の簡易評価 法 | 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集 (52年, 東京) |
| 太田 光雄 (広大工) 吉野 信行 他 | 上位レベルにおける騒音振動分布の 予測と簡易評価に関する理論と実験 | 電気四学会中国支部連合大会講演論文集 (52年, 岡山) |
| 今津 信吾 (広大工) 山崎 勉 高松 敏文 進藤 春雄 | 電離波動に関する実験的一考察 | 日本物理学会 1977年春の分科会 (山口) |
| 今津 信吾 (広大工) 山崎 勉 三浦 幸助 高松 敏文 進藤 春雄 | 移動線の伝播機構 | 日本物理学会 第32回年会放電シンポジウム (52年, 東京) |
| 山崎 勉 (広大工) 今津 信吾 高松 敏文 三浦 幸助 | 電離波動に及ぼす気体温度の効果 (冷却) | 電気四学会中国支部連合大会 (52年, 岡山) |
| 久良喜代彦 岡田 清 (京都大学) | コンクリート杭の動的支持力につい て | 土木学会 第32回年次学術講演会概要集 (52年10月, 神戸) |
| 石井 義明 (呉高専) 小堀 慈久 (呉高専) | ハンマー式貫入試験器による マサ土地帯の調査結果 | 土木学会中国四国支部学術講演会概要集 (52年, 広島) |
| 竹村 和夫 阿部 康俱 西谷 庸雄 | 碎石ダストを用いたコンクリートと 川砂コンクリートとの比較について | 第29回土木学会中国四国支部学術講演会 (52年, 広島) |
| 阿部 康俱 竹村 和夫 西谷 庸雄 | 碎石中の軟石がコンクリート強度に 及ぼす影響について | 同上 |
| 竹村 和夫 阿部 康俱 西谷 庸雄 | 細骨材に碎石ダストを用いたコンク リートに対する混和材料の使用法 | セメント技術年報 (31巻) |
| 見沢 繁光 (愛媛大学) 中野 修治 | 鍛造機械基礎振動の事例研究 | 愛媛大学紀要 第三部 工学 (第8巻 第4号) |
| 見沢 繁光 (愛媛大学) 重松 恒美 (徳山高専) 中野 修治 | 純曲げを受ける R C 板の崩壊機構に ついて | 土木学会中国四国支部学術講演会概要集 (52年, 広島) |
| 網干 寿夫 (広大工) 小堀 慈久 (呉高専) | 斜面崩壊と植生に関する基礎的研究 | 第32回土木学会全国大会学術講演会講演概要集 第3部 (52年, 神戸) |
| 佐藤 重夫 (呉高専) 木丈 繁夫 (宮城高専) 定方 啓 (豊田高専) 藤原 勉 (明石高専) 青木 栄 (呉高専) 玉野 実 (有明高専) | 高専における建築教育について (建築部会 報告) | 高専教育 (創刊号) |
| 清 和四士 | 鉄骨柱底の摩擦係数について | 日本建築学会秋季大会学術講演梗概集 (52年, 広島) |
| 西村 光正 松浦 誠 (広大工) | マサ地盤の許容地耐力について その 5 | 日本建築学会中国支部研究報告 (52年 3 月, 広島) |

| 著 者 名 | 論 文 題 目 | 発 表 誌 名 |
|--|---|-------------------------------------|
| 西村 光正 松浦 誠 (広大工) | マサ地盤の許容地耐力について その 6 | 日本建築学会中国支部研究報告 (52年 9 月, 広島) |
| 〃 〃 | 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 (52年10月, 中国) |
| 松浦 (広大工) 芳賀 (米子高専) 尾崎 (広島県) 宗安 (中国地建) 高井 (呉高専) 西村 (呉高専) | 砂地盤上の建物の不同沈下 | 日本建築学会中国支部 基礎地盤委員会編 (52年 2 月, 刊) |
| 〃 | 洪積台地の地盤と基礎 (山陰地区の場合) | 同上 (52年 6 月, 刊) |
| 守田 栄 (航防協) 藤井 健 他 | 広島空港が周辺地域の環境に 及ぼす影響と対策 | 広島空港に関する調査研究報告 昭和52年 9 月刊 |
| 福原 安洋 嶋津 孝之 (広大工) | 鉄筋コンクリート筋違入骨組の研究 (第 5 報) 接合方法, 塑性率について | 日本建築学会学術講演会梗概集 (52年10月, 中国) |
| 正野崎昭二 岩下 恒雄 (名工大) 酒井 直己 (名工大) | 柱脚部に浮き上がりを生じた耐震壁 の力学的性状 (その 1: 平面架構の場合) | 日本建築学会大会学術講演梗概集 (52年, 広島) |
| 岡本 二郎 | 江田島・能美島・倉橋島・鹿島の集落 調査 (その 2 一地形条件から見た耕地利 用及び集落立地について) | 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国) (52年, 広島) |
| 矢野 正和 (広島市役所) 石丸 紀興 (広大工) 武技 正孝 (大之木建設) 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 6, 住居観と住宅政策への要求 について | 日本建築学会中国支部研究報告集 (52年 3 月, 広島) |
| 門前 勝明 | 正弦波地動による構造物へのエネル ギー入力特性について | 日本建築学会中国支部研究報告 昭和52年 3 月 |
| 〃 | 正弦波地動に対する 1 質点系建物の 弾塑性近似応答式について | 日本建築学会中国支部研究報告 昭和52年 9 月 |
| 〃 | 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 2, 正弦波による近似応答式) | 日本建築学会中国支部研究報告 昭和52年 9 月 |

編 集 委 員

| | | | |
|---|---|---|---|
| 久 | 保 | 田 | 勲 |
| 石 | 井 | 淳 | 二 |
| 笠 | 松 | 義 | 隆 |
| 山 | 崎 | | 勉 |
| 中 | 野 | 修 | 治 |
| 門 | 前 | 勝 | 明 |

呉工業高等専門学校
研 究 報 告

第14巻 第1号 (1978)
(通巻 第22号)

昭和 53 年 7 月 印 刷

昭和 53 年 7 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2-11
電話 呉 (0823) 71-9121

印刷所 た く み 印 刷 (株)
〒 733 広島市井の口町1706-3
電 話 (0822) 71-6111

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

| | |
|--|--|
| 1. Error Analysis and Case Studies | Junji ISHII.....1 |
| 2. Studies on the Specific Sliding of the Cycloidal Cam with the Reciprocating Follower (Report 2) —Flat Plate Follower —..... | Hironori ITOSHIMA 7 |
| 3. Studies on the Specific Sliding of the Cycloidal Cam with the Oscillating Follower (Report 2) —Flat Plate Follower —..... | Hironori ITOSHIMA.....19 |
| 4. A Study on the Pulsation of Diesel Exhaust Gas..... | Yuji KAWAGUCHI.....31 |
| 5. On Conditions for the Existence of Stationary Probability Distributions of Linear Stochastic Systems | Yoshifumi FUJITA and Hajime AKASI.....41 |
| 6. A Study of a Store-lighting for an Energy-Saving..... | Kazuhiko HARADA.....49 |
| 7. Approximate Response Prediction of Elasto-plastic Single-degree-of-freedom System Subjected to Earthquake (Equivalent Linear Models)..... | Katsuaki MONZEN.....53 |
| List of Papers Published or Read outside This College by Its Teaching Staff in 1977..... | 63 |