

呉工業高等専門学校

# 研 究 報 告

第14巻 第2号 (通巻第23号)

昭和54年2月 (1979)

## 目 次

1. Halliday's Hypothesis as to the Three Functions of Language .....	石 井 淳 二.....	1
2. The Applied Linguist and Recent Work in the Psychology of Language .....	石 井 淳 二.....	5
3. 外国語学習の過程と教育的意義 .....	山 岡 俊比古.....	13
4. 揺動正放物線カムの研究 (第2報) —平板従動節— .....	糸 島 寛 典.....	27
5. 往復正放物線カムの研究 (第2報) —平板従動節— .....	糸 島 寛 典.....	43
6. 食料品店用全般照明用光源について .....	原 田 一 彦.....	55
7. 地盤の粘性変形に関する理論的研究 —2次元粘弾性解析— .....	小 堀 慈 久 網 干 寿 夫.....	59
8. 事例研究 —見学旅行— .....	清 緒 方 和四士 緒 方 信一郎.....	71
9. 地盤—建物系の振動性状に関する基礎的研究 (せん断質点系モデルによる解析) ...	門 前 勝 明 前 久 慎 治.....	79

## Halliday's Hypothesis as to the Three Functions of Language

(言語学) 石 井 淳 二

Junji ISHII

M. A. K. Halliday approaches language from a functional point of view. In other words, he sees language sociolinguistically, not psycholinguistically. He asks why language is as it is and not in some other way. His answer to the question is this: Because it reflects the demands that the speaker makes on it, the functions it has to serve as a means of social communication. Thus the aim of this paper is to make a brief comment on the hypothesis that language structure is determined by the three functions which language serves.

Halliday distinguishes three major language functions. The first one is that: "Language serves for the expression of 'content': that is, of the speaker's experience of the real world, including the inner world of his own consciousness. We may call this the *ideational* function ... In serving this function, language also gives structure to experience, and helps to determine our way of looking at things so that it requires some intellectual effort to see them in any other way than that which our language suggests to us."<sup>1</sup>

Now then how is this ideational function reflected in linguistic structure? Halliday thinks of the transitivity system as explaining types of process where participant and circumstantial roles are involved. Transitivity means the grammar of processes, that is, as he puts it, "the set of options whereby the speaker expresses the whole range of types of process that are recognized in the semantic system of the language — the process type itself, in English material process, mental process, verbal process, relational process and their subcategories and the participant roles that enter into these processes."<sup>2</sup>

For example, a sentence like:

(1) Tom bought a book at the shop

is said to have a process, represented by the verb, two participant roles, an actor (Tom) and a goal (a book), and a circumstantial role place (at the shop). The circumstantial functions such as time, place and manner seem peripheral to the nature of the process itself in comparison with the participant functions. However this feature is not always the case. In addition to the roles mentioned above, Halliday also distinguishes participant roles like 'resultant', 'beneficiary', 'recipient', 'instrument' and 'force'.

The second function is called the interpersonal function. "Language serves to establish and maintain social relations...Through this function, which we may refer to as *interpersonal*, social groups are delimited, and the individual is identified and reinforced, since by enabling him to interact with others language also serves in the expression and development of his

own personality.”<sup>3</sup> This function is manifested by the grammatical category of mood.

Thus in a sentence like:

(2) Did Tom buy a book at the shop?

the propositional content of this sentence is the same as that of (1). Although (1) and (2) are similar in their exemplification of options in the transitivity system, they differ in the sense that (1) realizes the declarative in the mood system, while (2) exemplifies the interrogative. (2) involves interpersonal activity.

The three options in the mood system, that is, declarative, interrogative and imperative, can be said to relate to the three major communicative functions: stating, asking and ordering.

Halliday's definition of the third function is as follows: "Language has to provide for making links with itself and with features of the situation in which it is used. We may call this the *textual* function."<sup>4</sup> By this function Halliday means the way in which the propositional and modal elements are arranged in such a way as to make sense as the organization of discourse. As he puts it, "The basic unit of language in use is not a word or a sentence but a 'text'; and the 'textual' component in language is the set of options by means of which a speaker or writer is enabled to create texts — to use language in a way that is relevant to the context."<sup>5</sup>

Halliday distinguishes six sets of options which form the part of language structure which reflects the textual function, and which he calls *theme*. They are information, thematization, identification, predication, substitution, and reference, of which the first three are most important. The first set of options is realized by phonological features of information. Any text in spoken English is organized into what may be called information units which are marked by tone groups. One information unit is realized as one tone group. In the unmarked option one information unit is one clause.

Thus the following clause is unmarked.

(3) // John saw the play yesterday //

The following clauses, however, are marked.

(4) // John // saw the play yesterday //

(5) // John // saw the play // yesterday //

Moreover, according to Halliday, the information can extend beyond clause boundaries, as in the next example:

(6) // John // saw the play yesterday and is seeing it again today //

Within each information unit, the system of information focus involves the choice of a certain element or elements as points of prominence within the message which are provided with the tonic. Thus the system of information focus specifies the structure of the tone group and decides the number and location of the tonic components. Each point of information focus is realized as a tonic component.

What is focal is new information in the sense that the speaker presents it as not recoverable from the previous discourse. The remainder is given. In a majority of examples in English the tonic falls on the last accented syllable in the tone group, but the information focus can be marked by the tonic falling elsewhere. Thus in the following examples, the underlined elements carry the tonic and are therefore represented as new information.

- (7) // John saw the *play* yesterday // (not the movie)  
 (8) // *John* saw the play yesterday // (Mary didn't)  
 (9) // John saw the play *yesterday* // (not the day before)  
 (10) // John *saw* the play yesterday // (He didn't direct it)

The second set of options, that is, thematization, organizes a sentence as a message with regard to what has preceded it in the discourse. Thematization is related to the internal structure of the message as a separate piece of information and not to the external links that relate a particular message with others. As Halliday puts it, "The information systems, in other words, specify a structural unit and structure it in such a way as to relate it to the preceding discourse: whereas thematization takes a unit of sentence structure, the clause, and structures it in a way that is independent of what has gone before. This structuring is into two parts, a theme and a rheme, and is realized simply by the sequence of elements: the theme is assigned initial position in the clause, and all that follows is the rheme."<sup>6</sup>

Which element in the clause would be the unmarked theme depends on the mood of the clause. Thus in sentences like:

- (11) John saw the play yesterday  
 (12) Yesterday John saw the play  
 (13) The play John saw yesterday

the themes are 'John', 'yesterday' and 'the play' respectively.

In these cases the theme is what is being talked about, in other words, the point of departure for the clause as a message.

Now the third set of options is what Halliday calls identification. Identification is the option whereby any clause may be organized into a cleft sentence with equative form. The equative clause has the form 'X is equal to Y'. Thus the following is an example of identifying clauses:

- (14) The leader is John.

The selection of the feature identification assigns to the clause a structure in terms of two functions: the function of a thing to be identified and that of an identifier.

For example, in a sentence like:

- (15) Who is the leader?

'who' is the identifier, while in the above example (14), 'John' is the identifier. In identifying clauses it is always the nominalization which is to be identified, and this may or may not be thematized. According to Halliday, there is only one identified and one identifier, so that in any clause only one nominalization is derivable from this system. Thus a clause like:

(16) // The sun was shining on the sea //  
 can be analyzed structurally as follows.<sup>7</sup>

// the sun was shining on the SEA //			
ideational	actor affected	process	circumstantial locative
interpersonal	modal	propositional	
textual		theme	rheme
		given	new
		agent	predicator adjunct

After all, Halliday approaches the description of language structure by asking himself what functions language is required to fulfil. His concern is not simply to describe the system of the language in its own terms but also to link this system with the way in which it is used in communication.

According to Campbell and Wales<sup>8</sup>, knowing a language involves not only the ability to compose correct sentences but also the ability to use them appropriately in acts of communication. It is true to say that the definition of communicative competence is very difficult, but in this respect Halliday's theory seems to have a weakness. As Allen and Widdowson put it: "What Halliday provides is a systematic account of the options which are available to the users of a language for the creation of texts. He does not provide the conditions whereby the selection of one option is appropriate while the selection of another is not, and in this respect, although his grammar is based on functional notions it cannot be said to be a complete account of communicative competence."<sup>9</sup>

There is also another weakness in his theory. As Halliday himself admits, he is not very certain regarding the location of the boundary between semantics and grammar, though he recognizes a semantic level.

In conclusion, however, "Using children's texts as examples, he tries to show how the systemic options represented in the text reflect the semiotic properties of the situation as expressed in this way. It remains to be seen how far such an attempt can be successful; but Halliday is surely right in claiming it as an important goal of linguistic and sociolinguistic studies"<sup>10</sup>

## NOTES

1 M. A. K. Halliday, "Language Structure and Language Function," *New Horizons in Linguistics*, ed. J. Lyons (Harmondsworth: Penguin Books, 1970), p. 143.

2 H. Parret, *Discussing Language* (The Hague: Mouton, 1974), p. 10.

3 M. A. K. Halliday, *loc. cit.*

4 *Loc. cit.*

5 *Ibid.*, pp. 160-161.

6 M. A. K. Halliday, "Notes on Transitivity and Theme in English, Part 2," *Journal of Linguistics* 3, 212.

7 See G. R. Kress, *Halliday: System and Function in Language* (London: Oxford University Press, 1976), p. 24.

8 See R. Campbell and R. Wales, "The Study of Language Acquisition," *New Horizons in Linguistics*, ed. J. Lyons (Harmondsworth: Penguin Books, 1970), p. 247.

9 J. P. B. Allen and H. G. Widdowson, "Grammar and Language Teaching," *The Edinburgh Course in Applied Linguistics*, Vol. 2, eds. J. P. B. Allen and S. Pit Corder (London: Oxford University Press, 1975), p. 89.

10 G. R. Kress, *op. cit.*, p. xxi.

# The Applied Linguist and Recent Work in the Psychology of Language

(言語心理学) 石 井 淳 二

Junji ISHII

The applied linguist finds it most important and necessary to try and find as many implications as possible of recent findings in the psychology of language, since his main task is to decide what, when, how much, and how to teach. The main purpose of this study is, therefore, to try to make it clear what the applied linguist can learn from recent work in the psychology of language. Here the term "applied linguist" is used in a very narrow sense to mean "the second/foreign language teacher."

## 1. Introduction

Every child is said to be able to master the extremely complicated system of his mother tongue in an astonishingly short time (perhaps in four or five years), unless he has any vital defects, physically or mentally. However when it comes to the matter of mastering a second/foreign language, the situation is different. After infancy most learners seem to have far more difficulty.

It might be useful here to draw a general distinction between first language acquisition and second/foreign language learning. The former takes place when a child is very young, acquiring many other sensory and motor skills and much other knowledge about his external world. On the other hand, the latter usually begins later when first language acquisition and use have already been established and when many other processes of maturation, particularly mental ones, are more or less complete.

According to Corder, "The principal concern of the psychology of language is to give an account of the psychological processes that go on when people produce or understand utterances, that is, the investigation of language performance. But one of the ways of investigating this is to try and understand how people acquire such an ability. This is the study of language acquisition."<sup>1</sup> Then its principal concern is with language performance and language acquisition.

## 2. Theories of Language Acquisition and Learning

### i) the empiricist/neo-behaviourist's view

Skinner regards psychology as a behavioural science, not as the science of the mind. He insists that language should be studied in terms of what can be physically observed, measured, and experimentally dealt with. Therefore he avoids using such terms as language,

rules, meanings, ideas, mind, etc. His view of language, that is, verbal behaviour, is well illustrated in his foreword to *Verbal Behavior*.

"The basic processes and relations which give verbal behavior its special characteristics are now fairly well understood. Much of the experimental work responsible for this advance has been carried out on other species, but the results have proved to be surprisingly free of species restrictions. Recent work has shown that the methods can be extended to human behavior without serious modification. Quite apart from the possibility of extrapolating specific experimental findings, the formulation provides a fruitful new approach to human behavior in general, and enables us to deal more effectively with that subdivision called verbal."<sup>2</sup>

Here he claims that the fundamental processes and relations of animal and human behaviour are the same. However this view cannot account for, for example, one of the major differences between human language and animal communication system, that is, the fact that human language can be transmitted across generations through the processes of learning and teaching.

Osgood holds that the meanings of perceived objects, events, sentences, and words are derived from behaviour. For example, he maintains that the meanings of words are derivable through conditioning. He does not separate language from cognition but regards them as the same. The idea of learning/teaching based on behaviourism has generally had a great effect on the learning/teaching of a second/foreign language, especially on the audiolingual method.

#### ii) the empiricist/mentalists' view

According to empiricists, such as Bever and Piaget, ideas are derivable from experience with the use of certain inherited functional invariants. Schemata or cognitive structures are produced through this intellectual functioning. But they postulate purely abstract and mental ideas. As to the relationship between language and cognition, they are a little different. Bever thinks that language is dependent on general cognition. On the other hand, Piaget believes that cognition is not dependent on language for development, though he does not deny the importance of language in cognitive development. He regards language as a second line of organization taking place in parallel with the four stages that he gives, that is, sensori-motor, pre-operational, concrete operational, and formal operational stages.

According to Bruce and Oates, "Piaget is saying that language performance reflects central cognitive competences that are acquired through experience with objects and actions, not through verbal interaction. Piaget proposes that the stages, and the order of stages are a psychological invariant; that all individuals, regardless of their particular experiences, progress similarly through this pattern. Thus he is proposing certain 'universals', in much the same way that Chomsky argues for innate language-specific universals."<sup>3</sup> This view is very suggestive and applicable to language learning/teaching.

#### iii) the rationalist/mentalists' view

Chomsky's position is well explained in his view of language. "Language is not a 'habit structure.' Ordinary linguistic behavior characteristically involves innovation, formation of new sentences and new patterns in accordance with rules of great abstractness and intricacy. This is true both of the speaker, who constructs new utterances appropriate to the occasion, and of the hearer who must analyze and interpret these novel structures. There are no

known principles of association or reinforcement, and no known sense of 'generalization' that can begin to account for this characteristic 'creative' aspect of normal language use."<sup>4</sup>

Chomsky postulates an abstract language acquisition device. Ideas are purely abstract and mental. He believes that a human being possesses and can develop a linguistic ability quite free from control of general cognition. He holds that language is a system of rules functioning as a means of expressing and understanding thought. Hence he makes a fundamental distinction between competence and performance. "Competence" is "the speaker-hearer's knowledge of his language," whereas "performance" is "the actual use of language in concrete situations."<sup>5</sup> Naturally a theory of performance involves the processes of perception and production. Linguistic knowledge interacts with rules and conditions for the use of it. Rules are related to the use of such linguistic knowledge, while conditions to memory limitations, distractions, shifts of attention and interest, etc. Concerning production, cognitive processes produce a thought. The thought in turn is uttered in actual performance. The process of perception is the other way round. Chomsky says that a native speaker has internalized such linguistic knowledge. In this sense, the knowledge is a psychological, mental reality which underlies his actual performance.

A contrastive summary of several basic characteristics of these theoretical positions may be illustrated as follows:

Table 1

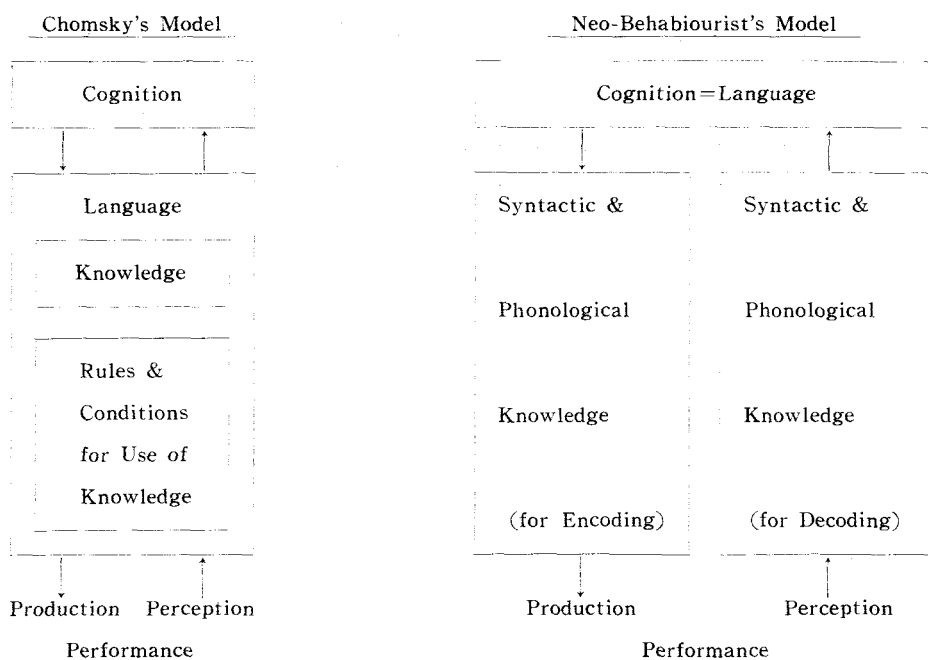
Characteristics of Some Psychological Theories<sup>6</sup> [the second characteristic is the writer's addition] :

Characteristics		Theorists		
		e.g. Chomsky	Bever	Skinner
Philosophical Orientation	Rationalist	v		
	Empiricist		v	v
Psychological Orientation	Mentalist/Cognitivist	v	v	
	Behaviourist			v
Basis of Knowledge	Innate Ideas	v		
	Experience		v	
	Physical Response			v
Operations to Yield Ideas	Matching	v		
	Strategies		v	
	Association			v
Nature of Ideas	Abstract	v	v	
	Response Elementarism			v
Nature of Language	Generative	v	v	
	Markovian			v

Language and Cognition	Language Independent	v		
	Language Dependent		v	
	Language Equals Cognition			v
Language Knowledge and Use	Distinction Utilized	v	v	
	Distinction Not Utilized			v

According to Chomsky and the neo-behaviourist, the relation of language, performance, and cognition will be represented as follows<sup>7</sup>:

Figure 2



### 3. Rational/Cognitive Linguistic Theory and Language Performance

Provided that a human being has basic innate ideas of language, the features of his grammar must be universally the same. First of all, all the sentences that the grammar generates must be grammatically correct. Secondly, the number of the rules of the grammar must be finite. Thirdly, the grammar must not limit the length of sentences. Logically, these four are said to be the minimum conditions that the grammar must meet. A grammar of any human language satisfies these conditions, whereas animal communication systems cannot meet the third condition. Therefore it might well be that behavioural linguistic theory can account only for the vocalizations of animals.

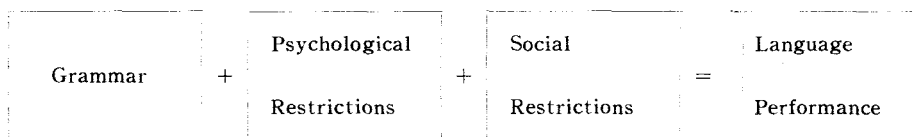
These conditions can be interpreted as follows in terms of a native speaker-hearer who has acquired and is using the grammar of his mother tongue. Firstly, he can generate only grammatical sentences as long as he has internalized knowledge of the grammar. Secondly,

his knowledge of the grammar is finite. Thirdly, he can produce an infinite number of novel sentences according to his knowledge of the grammar. Fourthly, the length of sentences which he generates has nothing to do with grammaticality. So far there has been given no counterevidence of or addition to these conditions. It means, for this reason, that the nature of second/foreign language learning as well as of first language acquisition and use should be taken account of in the light of these conditions.

These are a logical answer to the question as to what features grammar will have if there is any grammar at all. However, it is necessary, at this point, to consider the above conditions in contrast with actual performance. Even if a man knows the grammar of his language, it does not mean that he can always generate grammatical utterances, and that he can generate infinitely long sentences. In reality, we are repeating idiomatic, fixed expressions and phrases, for example, greetings every day. The Japanese say, "*Omaewa machigatteiru!*" (You are wrong!). This expression is perfectly grammatical and acceptable. But in a normal situation a junior cannot use it to his seniors.

"A record of natural speech will show numerous false starts, deviations from rules, changes of plan in mid-course and so on."<sup>8</sup> However the grammar is not imperfect. The fact is that our linguistic activities are restricted physically and socially. There is a limit to human memory, attention, and energy. In addition, a man cannot help being conscious of his social human relations, which reflects and restricts his speech. The suitability or acceptability of utterances should be considered in terms of three dimensions. First, there are grammatically acceptable sentences, which are not psychologically or socially acceptable. Let me give a Japanese example here. "*Watakushiwa ichiroga jiroga shitteirukotoo shitteirukotoo shitteiru.*" The following are also used in everyday life. "Goodbye." "Good morning/afternoon/evening/night." "He is sort of angry." However, are these expressions grammatically correct? They are socially acceptable, whether or not they are grammatically correct. Conversely, a sentence like "*Orewa haraga hetta.*" (I am hungry.) is socially restricted in use, since the Japanese "*ore*" (I) is used exclusively by male adults. As long as man is a psychological and social being, he is always restricted in the use of language, psychologically and socially. With these constraints taken into consideration, modern linguistic theory regards human language performance as follows:

Figure 3



#### 4. Cognitive Code-Learning Theory and Foreign Language Learning

The following might be the main principles that the cognitive code-learning theory stresses.

- i) Language learning does not start from scratch, but is based on innate grammatical ideas.
- ii) Language learning is essentially to discover grammar.

- iii) A human child has an ability to discover grammar from his linguistic data, however degenerate they are because of the psychological and social restrictions involved.
- iv) A human being is able to create an infinite number of novel sentences by the use of the grammar which he has discovered.

Here again, main emphasis is placed on innate ideas, the existence of grammar, the discovery of it, and its creativeness. A young child acquires his native language with a uniform speed, which has almost nothing to do with his intelligence or social, educational environment. The cognitivist asserts that only the cognitive code-learning theory can account for this fact. What is crucial for a child here is linguistic environment.

If rich linguistic environment is a necessary condition for the acquisition of language with a comparable speed, foreign language learning cannot or probably is not so difficult. In actual fact, whatever language community a child lives in, he learns to speak the language as well as his native language. However, this ability for language acquisition is said to become weak when a child reaches a certain age. According to Lenneberg, "After puberty, the ability for self organization and adjustment to the psychological demands of verbal behavior quickly declines. The brain behaves as if it had become set in its ways and primary, basic language skills not acquired by that time, except for articulation, usually remain deficient for life."<sup>9</sup>

Diller says as follows in this connection: "But the maturation of the brain is not the adult's disadvantage! The adult can reason more effectively than the child, and this fact allows him to learn foreign languages faster than children can. The child might possibly be superior in learning to pronounce, but both in vocabulary and grammar (the ability to say things), the adult is a superior learner."<sup>10</sup>

At any event, it is true that people learn foreign languages in later life than the so-called critical period. What really matters is the degree of a learner's difficulty in discovering new rules on the basis of innate ideas and abstracting rules from disorderly, degenerate linguistic data. Therefore the most important roles that the language teacher can and should play seem to be, firstly, to prepare materials in such a way that a learner can discover a system of rules by himself, that is, the 'grammar' of the target language, and, secondly, to make sure whether he has discovered it and is engaging in creative linguistic activities. Bruner<sup>11</sup> says in this connection that the discovery methods of education, which stress the importance of discovery and creative activities on the part of the learner, will generate more motivation, interest, and better understanding and result in longer retention and better transfer.

The following are the chief criticisms against the audiolingual habit theory based on behavioural psychology and traditional structural linguistics.

- i) Since the situation in which the adult learner learns a foreign language is fundamentally different from that of the child acquiring his native language, he does not need to stick to the natural order, that is, listening, speaking, reading, and writing.
- ii) The learning theory of conditioning based on experiments with animals is not applicable to human learning.
- iii) Habit-formation, analogy, and generalization based on S-R conditioning cannot account for the creative aspect of human language.
- iv) Rote learning is not effective for longer retention in memory.

v). Because of too much emphasis on automaticity, meaningfulness is neglected. In this connection Stevick says, "In a language learning situation, Oller (1971) has demonstrated that sentences are easier to learn if the student meets them in a meaningful context. One reason for this may be that the meaningful context permits more complex processing."<sup>12</sup> Moreover, just as Diller argues, meaningful practice can begin on the first day of class. Diller says, "Thus learning a living language involves learning to think in that language. Meaningful practice rather than drill is the only way this can come about."<sup>13</sup>

vi) Too much successive introduction of new patterns makes the learner's assimilation difficult. It places a heavy burden on his short-term memory and brings about learning prohibition because of saturation.

Language is a three-level system involving sound, form, and meaning simultaneously. As for the learning of sound and vocabulary, it seems that the audiolingual habit theory is more effective. However in order to learn the grammar, the cognitive code-learning theory seems to be more suitable for the learner.

## 5. Conclusion

According to Carroll, "The learning of second languages requires both the acquisition of knowledge about rules and the formation of the habits described by these rules. Language teaching procedures can be improved by application of psychological knowledge concerning the learning of language habits."<sup>14</sup> Thus he proposes what he calls "a cognitive habit-formation theory." Psychologically, a language learner is regarded as an information processor. It might well be that behaviourism and cognitivism are not mutually exclusive but can be complementary in language learning. If this view is true, foreign language learning can be possible through two types of channel, that is, the channel of S-R conditioning and that of cognitive learning.

Then it is necessary and important to make effective use of these two channels according to language learning factors. Here a few of these factors are illustrated.

### i) stages of cognitive development

Before the age of puberty, pattern drilling may be effective in foreign language learning. However with the full development of the learner's cognitions, cognitive learning will be better and more dominant.

### ii) levels of linguistic complexity

It is well known that the human short-term memory span is "seven plus or minus two" units. Learning long sentences which require complex processing will give much burden on the learner's short-term memory, and his assimilation is difficult. In learning sentences including complex transformations or embedded sentences, analytic explanation will be effective to the learner's better understanding of them.

### iii) degrees of verbal ability

Cognitive learning is effective for students with a high verbal ability, while audiolingual habit learning for those with a low verbal ability.<sup>15</sup>

My conclusion is, as Carroll says, that: "In language teaching, as in other kinds of instruction, probably the critical factor in success is in managing the learning procedures of

the student in such a way that at any given stage of learning the student is learning just what he needs to learn, being given the appropriate strategy for that learning to take place, and being properly reinforced in that learning."<sup>16</sup>

## NOTES

- 1 S. Pit Corder, *Introducing Applied Linguistics* (Harmondsworth : Penguin, 1973), p. 107.
- 2 B. F. Skinner, *Verbal Behavior* (New York : Appleton-Century-Crofts, 1957), pp. 2-3.
- 3 D. Bruce and J. Oates, "Language Acquisition : Language and Cognition," *Generative Linguistics Language Acquisition : Language and Cognition*, eds. D. Stringer, D. Bruce and J. Oates (Bletchley, Buckinghamshire : Open University Press, 1973), p. 92.
- 4 N. Chomsky, "Linguistic Theory," *Language Teaching : Broader Contexts*, ed. R. G. Mead, Jr., Report of Northeast Conference on the Teaching of Foreign Languages (New York : MLA Materials Center, 1966), p. 44.
- 5 N. Chomsky, *Aspects of the Theory of Syntax* (Cambridge, Massachusetts : The M. I. T. Press, 1965), p. 3.
- 6 D. D. Steinberg, "Overview," *Semantics*, eds. D. D. Steinberg and L. A. Jakobovits (London : Cambridge University Press, 1971), p. 490.
- 7 *Ibid.*, p. 492.
- 8 N. Chomsky, *op. cit.*, p. 4.
- 9 E. H. Lenneberg, *Biological Foundations of Language* (New York : John Wiley, 1967), p. 158.
- 10 K. C. Diller, *Generative Grammar, Structural Linguistics, and Language Teaching* (Rowley, Massachusetts : Newbury House, 1971), pp. 30-31.
- 11 See J. S. Bruner, *The Process of Education* (New York : Random House, 1960).
- 12 E. W. Stevick, *Memory, Meaning and Method* (Rowley, Massachusetts : Newbury House, 1976), p. 30.
- 13 K. C. Diller, *op. cit.*, p. 34.
- 14 J. B. Carroll, "Current Issues in Psycholinguistics and Second Language Teaching," *TESOL Quarterly*, V, No. 2 (June 1971), 101.
- 15 See K. Chastain, "A Methodological Study Comparing the Audiolingual Habit Theory and the Cognitive Code-Learning Theory—A Continuation," *MLJ*, LIX, No. 4 (1970), 257-266.
- 16 J. B. Carroll, *op. cit.*, 113.

(Received October 15, 1978)

## 外国語学習の過程と教育的意義

(英語教育) 山 岡 俊 比 古

### Essential Processes of Foreign Language Learning and the Educational Value

Toshihiko YAMAOKA

Recently much controversy has been made on the educational value of teaching English as a foreign language in Japan. This paper tries to give an answer to this question by presenting the essential processes of foreign language learning and exploring the possible educational value in each stage of the processes. Analysis is made on both the linguistic and the cultural aspects of foreign language learning. It is concluded that both aspects of foreign language learning can have educational value at any stage of the learning processes and that what is needed is not discussion on the value involved but efforts to realize them in classroom activities.

#### 1. はじめに

現在、我国における外国語としての英語教育に対して多くの論議が集中している。比較的長期にわたる学習期間を持つにもかかわらず、ほとんど実効を伴っていないことを指摘する論や、そのことからひいては英語学習そのものが義務教育の対象にはなり得ないものではないかとする指摘がなされている(平泉：1974)。これに対する反論もみられる(渡辺：1974)。

しかし、この種の論争は何も今始まったものではない。結果的に役に立たないとされる外国語教育を義務教育の中に位置づけることの疑問と、これに対する外国語教育の持つといわれるいわゆる教養的価値を主張した反論がこの種の論争の基本になっている。ここで特に重要と思われるのは、どちらの主張が正しいとされるべきであるかという点もさることながら、この論争がほぼ同じ論調によってすでに幾度となく繰り返されてきていることである。「英語教育百年の歴史を通観するとき、同じような論争問題が社会の移り変わりとともに、衣を替えて現われてくるようである。現在の英語教育も、目先だけに促われず、広く歴史的に眺めてもらいたいと念じないではいられない。」(高梨、大村：1975)と指摘がある。「歴史的に眺めてもらう」ことの真意は良く分らないが、何回にもわたって同じ論争がなされているということは、そのつど論争の本質的なところでの合意、および結論が得られていないことを意味するものと思われる。相方がそれぞれの主張を行い、相手を納得させることのないまま、互いに一方通行のままうやむやに終わってしまっているのである。

言語の学習である以上それが使えなくては何ものならないとする主張も正しいようであり、同時に言語の学習に伴う教養的効果も無視できないとも思われる、といった気持ちが多くの人々の心を占めているのではないだろうか。また、これに加えて、言語はひとつであり実用、教養などと2分するのがおかしいという主張も加わり、かなりの混乱を呈している。

この小論は、このような日本の英語教育の歴史的でもあり、今日的でもある混乱に対し、外国語習得の本質とそのプロセスを明らかにすることによって、1つのパースペクティブを得ようと試みるものである。

## 2. 習得のプロセス——言語面——

### 2.1 $L_1$ vs. $L_2$

子供の母国語習得のプロセスは単なる模倣と繰り返しではない。子供は自分の親を中心とする環境から与えられる不完全な言語入力をもとにして、その言語の規則の体系を自ら作りあげる。これは発達心理言語学の研究において観察されていることである (McNeill : 1970, Menyuk : 1971)。さて、このような、環境だけに依存し、全く受身的に言語を習得してゆくのではなく、自らの中で能動的に言語を習得してゆく子供は、それを可能にする能力を生得的に持っていることが仮定されている。これが生得的言語能力といわれているものである。非常に稀な例を除いてすべての子供はこの言語習得のための特別な能力を生得的に持っており、環境さえ与えられれば、明示的な指導なしに自らがその言語を習得してゆく。丁度、子供がひとりで歩き始めるのと同じように、母国語習得も不可避免的なものであるといわれる (Lenneberg : 1967)。

しかしこの生得的言語能力は思春期を越すと喪失されてしまうといわれる。いわゆる言語習得の臨界期 (critical period) の存在である。これは神経生理学の立場から、失語症患者の年齢とその回復の関係に注目した研究 (Penfield & Roberts : 1959) や、外国語習得時の年齢と母国語なまりの生起の関係に注目した研究 (Scovel : 1969, Hill : 1970) に支持されている。そしてこの現象の理論的説明は、大脳における言語機能の左半球への定着化に求められている (Lenneberg : 1966)。

しかし臨界期の存在の可能性も第1言語習得に関する場合と第2言語習得の場合とに区別しなければならないが、第2言語習得の場合に関して臨界期の存在とその理論づけに反論がなされている。たとえば Neufeld (1978) は次のような点を挙げて臨界期説に反論している。まず言語習得は5才では完成していないこと、言語中枢の定着化と言語能力の喪失の関係が不明であること、現実に母国語話者なみの習熟に達する多くの成人がいること、母国語なまりを取り去ることが必ずしも不可能ではないことなどである。この上で、一般にみられる習得の差は年齢を基本にした心理学的・社会学的要素によるものであり、生得能力の衰退によるものではないと結論している。

しかしこの第1言語習得と第2言語習得の比較は単純には行われるべきでなく、年齢や習得環境などによって様々な第2言語習得のタイプが存在することを考慮に入れなければならない。この観点から、2～5才に起る自然な言語習得を *primary language acquisition* と呼び、この後に行われる言語習得を *non-primary language acquisition* と名付け、後者を習得の環境の違いによって *secondary language acquisition* と *foreign language learning* に区別した上で比較を試みている Lamendella (1977) は大いに参考になる。

もし生得的言語習得能力に臨界期が存在しその期間のうちに母国語の基本がマスターされ、その上で思春期とともにその能力が消失してしまうとすると、思春期以降に行われる外国語の習得は、母国語の場合と全く異なったプロセスを経るか、あるいはそもそも言語を新しく習得すること自体が不可能になってしまう。しかし上でみたように表面上みられる現象がむしろ情的要素に起因するものであり、質的な変化によるものでないとするなら、思春期を起した後での外国語習得は条件の違いによる差異はあるにしても、その基本的プロセスは同じであるとみることができる。

条件の違いで重要なものの1つは習得の場面の違いである。母国語の場合に子供は時に不完全な文を含んだりするが非常に豊かな言語的環境に囲まれており、個々の発話は現実的で具体的な場面の中で発せられる。コミュニケーションにおいて言語音によって伝達される情報は全体の35%程度しかなく、他はパラ言語学的要素やその場の状況などによって伝達されるという事実を知る時、子供が発話の分析、

解釈を試みる際に、その発話が現実の場面の中でのものであることがどんなに役立っているかを想像するのはかたくない。もっともパラ言語学的要素の多くは子供が言語の習得と伴に習得すべきものであり、言語習得に際しその助けとなるように生得的に備っているものは限られていると思われる。しかしそれでもなお子供が現実の場面から得る手がかなり多くあり、しかもその役割が重大であることは否定できない。もし子供を現実の場面を伴わない言語環境においたとすれば、その環境が言語的にいかに豊かであっても通常観察されるような驚嘆すべき速さでその言語を習得することは困難になるであろう。外国語の習得はまさにこの現実性の全くないか、非常に乏しい場面の中で行われるのが通常である。

条件の違いの他の1つは、外国語習得の場合には、すでに別な言語つまり母国語を習得していることである。このことの持つ意味は重大である。生得的言語習得能力の質的な変化という意味での臨界期の存在は上でみた如く疑問視されるが、これはすでに母国語を内部に持ち、思春期を越して外国語の習得を始めた人々を念頭においた場合の主張である。母国語となる第1言語を思春期を越して学習しようとする場合の生得的言語能力の作用はどうなるであろうか。この点を扱った論文は余り多く見当たらない。もっともこのような場合は通常起り得るものではなく、従ってその論究もまれであるといえる。いわゆる狼少年の例は大半が思春期以前に発見されており、この例に合致しない。その上狼少年に関する記録は科学性に欠けるとされている（Lenneberg：1966）。手に入るわずかな例では、まず同じ著者（Lenneberg：1966）による次の報告が参考になる。精神遅滞児は正常な子供と同じ順序で言語を習得して行くが、そのペースはかなり遅く、しかもその進歩は思春期を境に止ってしまう。従って思春期までに習得が完成されていなければ、その子供の言語は未完成のままでそれ以上発達しない。また最近、13才まではほとんど言語との接触なしに育った少女のその後の言語習得を調べ、臨界期の仮説を支持する結果を報告したものがある（Curtiss：1977）。

以上のことから第1言語習得については臨界期が存在すると認めることができる。第2言語習得の場合には、すでに第1言語習得の中で生得的言語能力を稼動させた経験を持つがゆえに、思春期を起してもこの能力が消失しないと仮説的に考えられる。母国語は外国語を習得する際の障害であると一般的に言われるが、この仮説に従えば母国語を習得しているゆえに外国語の習得が可能であるといえる。

## 2.2 言語的発見

子供が生得的に持っていると考えられる言語習得能力は仮説的にLAD（Language Acquisition Device）で表わされる。LADの最もきわだった特徴は地球上のすべての言語に対応できることである。つまり、子供はどんな言語でもそれが人間の言語である限り、その言語が話されている環境の中に置かれればそれを習得できる。この意味におけるLADの柔軟性・普遍性を持つ示唆は大きい。もっともLADの普遍性は逆の見方をすれば、すべての言語はLADが対応できるような基本的な普遍性を持っているということもできる。これがいわゆる言語普遍性である。しかし言語普遍性として指摘されるものは極めて根元的で抽象的な言語の性格であり（McNeill：1970）、いわゆる表層構造においては各言語は様々な点において互いに大きく異なっている。言語習得はその言語の表層構造の習得に他ならないから、LADはすべての言語に共通する根元的な普遍性をすでに内部に持ち（McNeill：1970）、かつすべての言語の表層構造の違いに対応するという柔軟性を持つことになる。

地球上のすべての言語はそれぞれ固有の表層構造を持っている。より注意深く言えば、各言語はそれぞれ固有の表層構造を決定する規則の体系を持っているということになる。そしてそれぞれの規則の体系に支えられたそれぞれの言語の表層構造は、1つ1つが人間の言語としての可能な具現の仕方を示しているとも言える。上で述べたLADの柔軟性はすべて人間の言語として可能という点に立脚している。もし地球上に異なった言語が100有るとすると、言語として可能な具現の仕方は100通りあることになり、子供は適切な環境の中に置かれれば、そのうちのどれでも習得できるということになる。

以上のことから母国語の習得は、数ある言語としての具現の可能性の中で、自分の周囲において話されている言語の具現化を発見してゆく過程であるといえる。あるいは、言語としての1つの具現である

母国語の表層構造を生み出す規則の体系を発見してゆく過程であるともいえる。外国語習得の場合は、すでに発見されている母国語の言語的具現とは別な新しい言語的具現の仕方を発見してゆくことがその過程となる。母国語とは別な言語的具現化の可能性を発見し認識することである。これを可能にしているものが、人間の言語ならばどれにでも対応できるLADの柔軟性である。

母国語も外国語もそれぞれがともに言語的に可能な1つの具現であり、その具現の仕方、つまりそれぞれの言語の表層構造を生み出す規則の体系を発見してゆくことによって習得がなされるという点で両者は共通している。母国語習得と外国語習得の際に作用するLADは基本的には同じ機能を果しているといえるが、母国語の場合にしか見られない面もある。英語を母国語として習得する際に子供が行う語類の設定とそれによる語の分類は、まず軸クラス (Pivot class) と開クラス (Open class) と呼ばれる2つのクラスの区別によって始まる (Braine: 1963)。軸クラスが習得の進むにつれてみせる分岐の仕方を示したものが下図である (McNeill: 1966)。

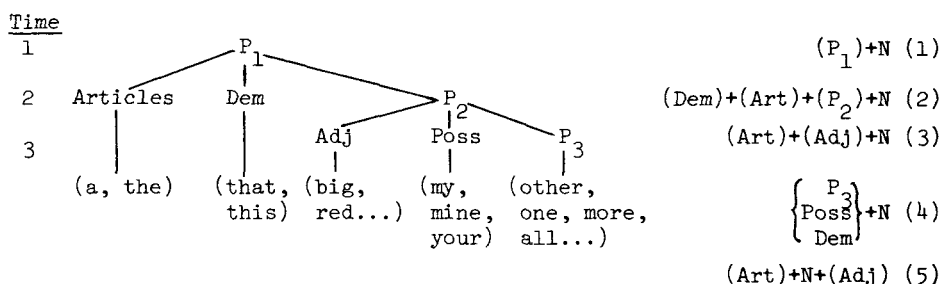


Fig. 1. Differentiation of the pivot class. Abbreviations are as follows: N=noun, that is, one of the open classes for this child; Art=articles; Dem=demonstrative pronouns; Adj=adjectives; Poss=possessive pronouns; P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, and P<sub>3</sub>=pivot class at Times 1, 2, and 3, respectively. (McNeill: 1966)

この図から分ることは、分化の過程では多くの語がばらばらに分化してゆき、その後のある段階で1つのクラスにまとまるのではなく、あるクラスに含まれるべき語がまとまって分化しそのクラスを生み出すという分化の仕方をたどることである。このような分化を類的分化 (generic differentiation) と呼んでいる。類的分化の際立った特色は、ある段階の分化はその次の段階、あるいはもっと後の段階において行われるより細かい分化に矛盾しないようになされていることである。このことは、子供は母国語習得において、少なくとも語の分類に関する限り、最も根元的な分類から出発し徐々に具体的にそれを細分化してゆき、最終的に大人の文法、つまりその言語の表層構造の中における語の分類へたどりつくといういわば始元性とでもいうべきプロセスで行われていることを示している。ここで注意しなければならないことは、この類的分化という形態を示す、子供による言語的発見が外部からの何らかの明示的な教えなしに内発的な自動性によってなされることである。この始元性と自動性が子供による母国語習得を特徴づける最も大きいもので、成人による外国語習得には通常みられないものである。成人の外国語習得の場合は、無作為な言語材料に触れることによって、その言語の体系を子供と同じように系統的に自動的に発見して行くことは困難であり、ここに外国語教育における教材の選択と配列、新しい言語的発見への導き、意識的な学習を維持させるための指導の必要性が生まれてくる。特に、外国語教育はその言語が使われている実際の場面からはかけ離れた教室という人工的環境の中でなされるのが普通であるだけに、このことは必須の条件となる。

さて、子供の母国語習得にとってのLADと、成人の外国語習得にとってのLADの作用には上で述

べたような違いが考えられるが、基本的に人間の言語としての可能な具現の仕方を発見して行くという点には変りない。ところで母国語とは別な言語的可能性を発見することはどんな意味を持つであろうか。「外国語を1つも知らない者は母国語も知らない」というのはゲーテのことばであるが、これは母国語が無意識的に自動的に習得されるのに対して、外国語が通常意識的に習得される点を認識した上での主張であると思われる。意識的な外国語の習得によってことばの仕組みについての自覚が得られ、これが母国語に対する自覚を生み、より深い理解を可能にする。子供が同時に2つのことばを習得する場合もあるが、いずれも無意識的である限り、この効果は余り期待できない。外国語教育の目的の1つがここにあるといえる。

### 2.3 言語的体験

外国語学習の場合、その外国語の母国語とは異なる言語的具現化の可能性を発見することと、その発見に基づいてなされる、学習者による言語的具現化の可能性の実現化とは区別する必要がある。言語的に可能な具現の仕方を発見することを言語的発見と呼べば、その具現化を実現することは言語的体験と呼べるだろう。

母国語習得の場合、この言語的発見と言語的体験は同時に相補的に行われている点に注意しなければならない。発見をもとに体験し、体験を通して発見するという関係である。たとえば、母国語を習得中の幼児は眠りにつく前に次のような独り言 (pre-sleep monolog) を連続的に言うことがある (Weir, 1962)。

- |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| (1) That's office (2 X) | (8) Go to the top  |
| (2) Look Sophie         | (9) Go throw       |
| (3) That Sophie         | (10) Go for blouse |
| (4) Come last night     | (11) Pants         |
| (5) Good boy            | (12) Go for shoes  |
| (6) Go for glasses      | (13) Powder        |
| (7) Go for them         | ...                |

最初の3つはいずれも〔sɒfi〕を含んだ音の遊び (sound play) であり、(1)と(3)は“that”で始まっている。(4)―(6)はこの子供のその日の体験の回想に基づくものであるが、いずれも軟口蓋音で始まっており、音の遊びをも含んでいる。(6)、(7)、(10)、(12)はいずれも“go for”の型の後ろに続く語の選択と置換練習をしている。(11)は“Go for pants”の積りであると推定される。特に“go for”で始まる発話は、この型の練習であると同時に、後続する語類の決定を試みていると言っても良い。

このように言語的体験を通して言語的発見がなされ、言語的発見は同時に言語的体験に移されるという両者の緊密な関係が母国語習得の特色であるが、外国語学習の場合は両者が併行することは必然ではない。外国語学習の場合、発見によって得られたものは、何らかの形で学習者の中に内在化されなければならない。さもないと忘却されてしまう。まず発見によって得られた知識を単純な記憶作業によって内在化させる場合が考えられる。しかしこれは、言語的可能性の実現化を体験する中で内在化されるものとは性質が異なっている。言語的体験を通して得られるものは、言語的発見による言語規則を単なる知識としてではなく、いわば活性化された状態で内在化することである。いずれにしろすべてが同時的に行われる母国語習得に対し、外国語の習得においてはいくつかの段階を設定した方が考えやすい。

Rivers (1972) は真のコミュニケーションをなし得るために学習者が踏むプロセスを次のように表わしている。

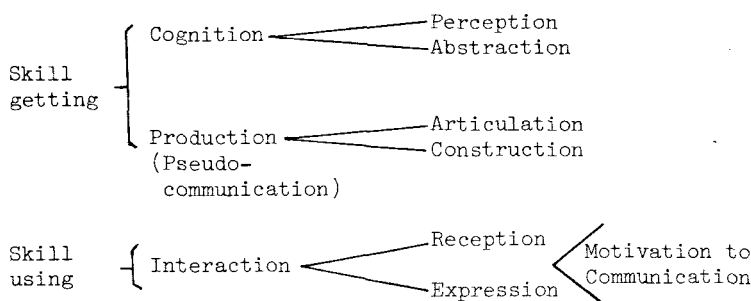


Fig. 2. A model of essential processes of language learning presented by Rivers. (Rivers: 1972)

この図は技能の習得とその使用を区別し、真のコミュニケーションの前段階としての擬似コミュニケーションを設定している点に特徴があるが、心理現象としての cognition, 行為, ないしは練習形態としての production, 結果, あるいは目標としての interaction と統一性がなく、たとえば最初の cognition と最後の interaction との関連が不明瞭であり、interaction を可能にする場合の心理言語学的状態についての言及がない。このことと、外国語教育においては、読むことはできるが話すことはできないという現象がしばしば観察されることも考慮に入れた上で、外国語学習の段階として次の図を提示したい。

この図は言語的発見によって得られた言語知識がどのような形で学習者の中に内在化しているかという点を基本にしている。また、母国語習得は実際場面での言語環境の中で、聞き・話すための言語 (audio-lingual language) としての習得を行っているのに対し、外国語習得の場合は通常、教室の中で形式的指導が読み・書くための言語 (visual-graphic language) を介在させながら行われると

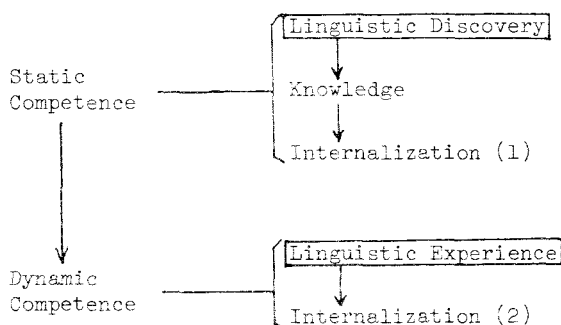


Fig. 3. A new model of essential processes of language learning.

いう点も前提にした図である。言語的発見によって得られた知識は、その積極的運用を体験しないまま記憶にとどめられると(1)の内在化を生む。これに対し、その積極的で自発的な運用の体験を十分に経ると(2)の内在化を生む。さて、前述した読むことはできるが話すことはできないという状態は内在化が(1)の段階であると考えられる。読むことができるのも1つの能力であるから、この段階をその特徴から静的能力 (static competence) と名付け、対比的に(2)の内在化を動的能力 (dynamic competence) と呼ぶ。

読むことは受取的行为 (receptive behavior) ではあるが、単なる受身的行為 (passive behavior) ではなく、読み手は文を見ながらその文に並行する文を頭の中で作りあげることによって目にしている文の理解を達成するといわれている (Goodman: 1972)。しかし読むことにおけるこの内面的な

プロセスも視覚からの情報に大きく依存していることは否定できない。目にしているテキストを通して自分の中にあるその言語の規則についての知識を再確認し、場合によっては再発見しながら、かつその上でテキストに並行する文を内面的に構成することによってなされる読みもありうる。むしろ、読むことの特色が自分のペースで進むことができ、必要ならば立ち止って目を逆行（regression）させることもできるという点にあることを考えると、読むことがテキストに依存した言語知識の確認と、それに基づく言語知識の運用をその本質的なプロセスとして持っているとしてもよい。

読むことにおいては媒体となるものが文字であり、聞くことにおいては音声であるという違いはあるが、聞くことのプロセスも読むことのそれと同じであるといえる。つまり、聞くことは耳に入ってくる文と並行する文を頭の中で再建することである（Fry：1970）。しかし、聞くことと読むことの違いは、聞くことが相手によってペースを決定され、逆行が許されない点である。読むことの場合のように自分のペースで言語知識を確認し、再発見した上でのその知識の運用ということが許されない。これが読むことはできるが、聞くことはできないという現象を生んでいる1つの原因であろう。この意味において、読むことと聞くことにおける上で述べたような役割を果す内在化された言語知識としての静的能力は、聞くことの場合の方がより高いレベルにあることが要求されることになる。

読むことと聞くことという言語の受容的面对し、言語の発表的面において必要とされる言語知識は、文字とか音を媒介とする外部的刺激に依存することなく、独立的に機能するものでなくてはならない。これは言語的発見によって得られた知識、つまりその言語の具現化を支える規則の体系を認識することや、言語の受容的な活動において役割を果す静的な能力でもなく、その規則の運用を自ら行い、その言語としての具現化を自らが体験することによって得られる動的な能力である。

母国語とは別な言語的具現化の可能性を発見するという意味の言語的発見が学習者にとって意義を持つものであり、特に母国語との対比上重大な意義を持つことはすでに述べた。しかしこのことは、具現化の可能性を発見するに留まることや、読むことのようにテキストに従ってその可能な具現化をたどることよりも、自ら独立的にその具現化を実現し体験する時により深い意義を持つ。つまり、静的能力としてよりも、実体験を伴う動的な能力とした時に外国語学習の持つ言語的効果が大きいといえる。言語的具現化を実現する規則の体系を自ら運用し、積極的にそれを実体験する時にゲーテのことばが実質的に意味を持つということである。この意味において、外国語学習における話すことの意義は重大であり、そのための練習が重要性を持つてくる。

### 3. 習得のプロセス —— 文化面 ——

#### 3.1 外国語教育と文化

Rivers（1968）の指摘を待つまでもなく、外国語教育の目的の1つに、その外国語を母国語として人々の文化を理解することがあげられる。ここで言う文化とはいわゆる文化人類学的文化であり、その人々の生活の仕方、考え方を示すものである。これは大文字で始まる文化（Culture）に対比される小文字で始まる文化（culture）と表記されることもある。

我国の英語教育においても中学校、高等学校の指導要領にみられるように、この文化理解を外国語教育の目標の1つにすえている。

アメリカにおいて、特に大学においては外国語学習者数の減少、あるいは落後者（dropout）の増大に直面し、外国語学習の教育的意義が疑問視される中で、Rivers（1968）は、「ただ単に外国語の発話の表出においてのみ流暢であり、その発話の持つ含蓄やその発話の適切な用法に気がつかないことや、底に隠されている価値や前提を認識しないままの読みなどのいわゆる技能は、純粹に実用的レベルにおいても見せかけ上の有効性しか持たないのみならず外国語学習を一般教育（liberal education）の中の1つに位置づけることさえ疑問視させることになる」と述べており、さらにRivers（1970）は次のように主張している。「学習者の自分の環境に対する個人的経験を拡大してやるという意味での真

に教育的であり、その学習者の考え方に新しい次元を加えてやるという点での真の人間的である外国語学習の特有の貢献は、その学習が単一言語的で単一文化的な束縛を突破する機会を与えることである。」

日本とアメリカでは当然事情は異なるが、入学試験のみに支えられている感のある日本の英語教育においても根底にはアメリカにおける学習者の減少、落後者の増大を生んでいるものと同じ思想が流れているものと思われる。はじめに言及した、日本の英語教育の歴史の中で繰り返し提示される英語教育不要論がこの表われであろう。

さて、母国語習得の場合、その文化との関わりは *enculturation* ということばで表わされるのに対し外国語学習の場合は *education* ということばで表わされる (Nababan: 1974)。母国語の場合はいわば文化的白紙状態から始まり、その文化の中でその一構成員として認められて生きてゆくための文化摂取である。これに対し外国語の場合はすでに母国語の文化を身につけており、そこでなされる外国文化との触れ合いはすべて母国文化を視座にしたものとなる。ただしこれは奇異で不自然なものとしての外国文化の発見ではなく、あるいは盲目的追従の対象としての外国文化の発見でもない。母国文化とは異なった固有の価値体系を持つ文化として偏見なくそれを認めることである。これは異なったものに対しそれを理解するという態度を生むと同時に、対比的観点から自らの文化への自覚とより深い理解を生むはずである。この意味において、はじめに挙げたゲーテのことばを文化にあてはめることもできる。

文化教授のこのような面が Nostrand (1966) の言う *cross-cultural understanding* に当る。そしてこの理解を土台にしてなされるものが *cross-cultural communication* である。彼によるとこのコミュニケーションは学習者に次のことを要求する。まず第一に、専門的なものは除いてその文化にとって意味が固有なものである日常的表現を含む話しことば、書きことばを理解することと、一般的な主題についてその言語で自分を表現できること。その外国文化の潜在的な友好性を引き出し、文化ショックの生起を避けること。自分の文化の良い点を示すことができ、外国文化との間にある違いによって焦燥感を抱かないこと。以上が Nostrand の示す異文化間のコミュニケーションである。これらはいずれも容易なものではないと Nostrand も付け足しているが、外国語学習の終局的で最もレベルの高い到達段階に近いものだといえる。このすべてを日本における中学校、高等学校の段階に位置づけることは大変に困難であると言わなければならない。従って大切なのは、このような終局的な目標を認識した上で、それにつながるという見通しを持った下位段階を各学習段階に位置づけることであろう。

*Cross-cultural understanding* を土台にする *cross-cultural communication* は社会言語学で定義される *communicative competence* の概念と深い関わりがある。*Communicative competence* の定義は一樣ではないが (山岡: 1978), 社会言語学者である Hymes (1971) はこれをいつ話すべきでいつ話すべきでないか、誰と、いつ、どこで、どんな風に、何を話すべきであるかについての能力であるとし、文の文法的知識に対する文の適当性 (*appropriateness*) についての知識であると定義し、言語の持つ社会的意味を強調している。これをスピーキングの社会的規則 (*social rules of speaking*) と定義することもある (Applegate: 1975)。

この能力は母国語話者の持つ能力として定義されたものであるが、学習している外国語による真のコミュニケーションをめざす学習者にとっても必要なものとなる。つまり発話の持つ社会的意味、社会的妥当性を正しく判断する能力は真のコミュニケーションを成立させるための必須条件である。そして外国語のこの能力を身につけた上でなされるコミュニケーションが *cross-cultural communication* となるであろう。しかしこの *communicative competence* が外国語学習のめざすものであることは否定できないが、Paulston (1974) によれば、この能力の研究から得られる第2言語教育に対する示唆は主として学習者がその第2言語の話されている国で生活する場合に当てはまるものである、となる。

外国語教育において、特にその文化教授の面から目標として提示される、現象としての円滑な *cross-cultural communication* と、社会言語学の中で母国語話者の持つ言語の社会的機能についての能力と定義され、外国語学習者にとっては *cross-cultural communication* を達成するために必要な能力として把握すべき *communicative competence* はいずれも崇高な外国語教育の到達目標であるが、こ

れをただ単に目標として設定し安心しているのではなく、そこに到達するまでの過程と段階づけを明確にしておくことが肝要である。これを行うためには言語と文化の関わりを調べてみるのが重要だと思われる。

### 3.2 言語と文化

言うまでもなく言語と文化は不可分の関係にある。このことは次のようないくつかのことを意味している。文化が社会的に受け継がれたもので、その構成員に等しく守られなければならない習慣の体系であるとする、言語そのものも社会的に受けつがれる規則の体系であり、その運用には多分に無意識的な習慣によるものがあるから言語は文化の一部分を構成していることになる。しかしこの関係では言語と文化の相互的関連が明確でない。

言語は文化の中に存在し、その中で起る現象である。これは言語は文化の中においてのみ意味を持つと言い換えても良い。このことは多くの説明を要しないであろう。これが言語と文化の最も密接な関係であろう。

さらに、文化を理解する鍵は言語であるという関係が成立する。ある文化を理解するのにその言語を通さないでこれを行うことは不可能ではないであろうが、言語と文化の密接な関係を踏まえると、その言語を通して文化を理解する方法が最も効果的なものとなる。以上の指摘は主に Nababan (1974) に拠るものである。

文化を理解する鍵が言語であるという点は多少の説明を要する。この主張は言語そのものの理解が必然的にその文化の理解につながるということを述べているのではない。すでに述べたように社会的習慣という意味において言語は文化の一部分を構成しているが、この言語習慣の理解と体得が、それを包む文化理解への洞察力を与えるかどうかという点は疑問視せざるを得ない。言語の仕組みこそその文化の特徴を最も象徴的に表わしているとするのは可能であろうが、その言語を通してその文化の特徴を理解するには余りにも言語の仕組みは抽象的すぎる。言語の仕組みを体得する中で、その言語に反映していると思われるその文化の特徴——たとえば思想的傾向、信念、価値観など——を見抜くことは極めて困難であろう。ただし言語の仕組みではなく、その仕組みに従って表現されている内容を理解することによってその文化の特徴への洞察力を得ることは可能であろう。以上のことは次の Seelye (1968) のことばにまとめることができる。「言語教師によってよくなされる1つの素朴な仮定は外国文化の言語的パターンを習熟すること自体が『母国語話者のように思考する』ことにつながるものである。Lewald が適切にも指摘しているように、この信念は正しいものとは認められない。もし学習者がその目標となる文化の中でその言語を学習するのでなければ、母国語話者を理解するのに必要な文化的指示物 (cultural referents) は付加的に学ばなければならない。」

ここで非常に重大なことに触れなければならない。言語が文化の中に存在し、その中で起る現象である限り、文化的内容を把握することなくその言語を教えることはできず、その文化のいく分かでも理解しない言語の学習はあり得ないという Lado (1964) の主張は正しい。しかし英語教育の1つの存在理由としてしばしば指摘される国際補助語としての英語の性格を考えた場合、この文化的内容は多分に無視される傾向にある。たとえば中国人と日本人が英語を媒介にしてコミュニケーションをする場合、英語文化は関係ないと言われる。この場合のコミュニケーションは語および文が本来その文化の中で持つ文化的意味をとり除いた後の、Fries 的意味における言語学的意味の範囲内におけるコミュニケーションということになるであろうが、これが現実にかかなり広く行われていることを考えると、限定された意味での言語の文化からの独立性を認めざるを得ないと思う。インドで用いられている英語がこのことの証左になると思われる。これは社会・文化が言語を囲んでいるのではあるが、社会・文化を決定しているのは人間であるという点に関連しているものと思われる。

以上のことは英語教育という観点からすると多少問題がある。つまり国際補助語としてのこの性格からすると、これを英語教育の目標とすることは十分でない。つまりエスペラントが教育の対象にならな

いのと同じことである。ただし英語教育が持つ結果の一面に国際補助語としての英語の使用は大いにある。

### 3.3 到達目標と文化理解

言語教育における文化理解の持つ役割は学習者の望む最終到達目標がどこにあるかによってかなり異なってくるものと思われる。つまりその外国語が話されている文化圏の中で多少とも長く生活しようとする際には、その文化的パターンを理解することだけでなくそれを体得しなければならない。その社会の中で一員として認められることが大切であり、そのためにはその社会の文化的パターンに自らをあてはめて行くことが必要である。これに対し、目標となる文化の中で生活することが当面考えられない学習者の場合にはその文化的パターンを体得することではなく、その文化の存在を認識し理解することが意味を持つようになる。ここで言う文化の理解とは、ある文化事象に対し安易に母国語文化の価値判断を当てはめることなく、固有の価値体系を持つその文化の中での位置づけを果すことを意味する。このような文化への接触を文化的相対論 (cultural relativism) と呼ぶ。

さて、日本の英語教育を考えた場合、この文化的相対論を基本概念としてもまだ考慮に入れなければならないことがある。最近海外渡航者が増大しているといわれるが、依然として海外へ行く予定も、その積りもないまま英語を学習している者は多い。従って海外へ出て行った場合を想定した英語教育というものはごく限られた学習者のみにあてはまるもので、日本の英語教育を決定する普遍性を持ち得ない。我々は英語が話されている国へ行くこと、つまり英語を母国語とする人々との直接的接触が予想されない学習者、中学校あるいは高等学校で英語学習を断念する学習者にとっても意義のある英語教育を考えなければならない。

この意味において英語学習に伴う文化理解が重要性を帯びてくる。先に挙げたRiversの考え方も同じ認識に立脚している。しかし現実的には限られた時間の中で、実体験を通さずに異文化を発見し、そのすべてを理解することは容易ではない。ちなみに、母国文化に加えて外国文化をはほぼ完全に理解し、体得した場合を考察するために1つの実験報告 (Ervin-Tripp: 1964) を引く。これはアメリカに移住し、日本語と英語を併用する二ヶ国語使用者となった日本人女性に指示的意味の同じ語を日本語と英語で与えた場合の語連想を調べたもので結果は下の通りである。

表1 アメリカ移住の日本女性の語連想

(S. Ervin-Tripp: 1964に基づく)

刺激語	連想
月	月見, すずき, 満月, 雲
Moon	sky, rocket, cloud
元旦	門松, もち, おせち, 晴着, 春の七草, 羽根つき, みかん, こたつ, 友達
New Year's Day	new clothes, party, holidays
お茶	茶わん, 受け皿, 緑, 茶菓子, 茶会
Tea	teapot, kettle, tea leaf, party, green tea, lemon, sugar, cookies

厳密に言えばこの女性がこの実験の中で示した日本語の連想に反映していると考えられる日本文化はこの女性がアメリカに移住する前のものであり多少古いものといえる。しかし、この女性が同時に2つの文化を理解し体得しているといっても間違いではなからう。とすれば、これは特に文化的理解という観

点からすれば最も程度の高い習得段階であるといえる。しかし、これが移住という状況での結果であることを考えると、これを日本の英語教育の具体的到達目標にすることは不可能となる。しかも二言語使用が、二言語使用者や真剣な学習者の陥りやすいといわれる文化的無国籍の状態“*anomie*”と表裏一体となっていることを考え合わせると、この究極的ともいえる習得状態は逆に教育的疑義を持ってしまふことになる。

それでは教育的に意義を持ち、言語教育の本質としてもかない、かつ現実的な文化教育とはどんなものだろうか。Nostrand (1966)は *cross-cultural understanding* を達成するための6つの段階を設定している。それによると、最も基本的なものが忍耐強く、寛容であろうとする心理物理学的能力 (*psychophysical capacity*) であり、次にこの能力を生活に生かすという人生目的が設定される。さらに、このような前提に立った上で具体的文化とのかかわり方として重要な3つの態度をあげている。その1つがすでに示した文化的相対論 (*cultural relativism*) であり、もう1つは外国人の精神をできる限り見抜くべきであるだけでなく、その人々自身は持っていない外から見通す力を我々は持っているという優越性を自覚すべきだという意味の通観性 (*perspectivism*) であり、さらにもう1つは外国文化のみならず自国の文化の中の奇妙なものを客観的に寛容に理解できる能力としての冷静さ (*imperturbability*) である。Nostrand はこの後、第4段階として文化と社会の本質的性格についての一般的理解、第5の段階としてのデーターの分析と統合のための原則、第6の段階として特別な社会文化的体系の理解の試みをあげている。

我々の英語教育にとって特に重要だと思われるのはこのうちの最初の3つである。時間的制約と場面的制約から、たとえばアメリカの文化のほとんどすべての面を子細に入って理解することは不可能である。従って、教室においては、その文化の中で最も普遍性を持ち、その文化の性格づけに深くかかわっているものを示すことが現実的なものとなろう。勿論、このような文化事象を羅列的に示すのではなく、この中での体系化、系統化が行われてしかるべきであろう。さて、教室において外国の文化事象を提示する時留意しなければならない大切な点は、その文化事象を学習者に理解させることが重要な目標であると同時に、文化を理解するのに必要な態度を学習者の中に養うことも同様に重大な目標となることである。この態度はNostrandの指摘するものと同一である。つまり理解し難く耐え難いと思われる外国文化の様々な事象に対し忍耐強く、寛容であり、その外国文化固有の価値体系の中にそれぞれを位置づけようと努力し、ひいてはより高い次元から母国文化を見直すことのできる態度である。このように考えれば、たとえばアメリカの文化にある程度触れ、それに対する態度を養うことで、まだ触れていないアメリカの文化事象に対してもこれを正しく理解できる心理的能力を得ることになる。しかもこの能力は、たとえばアメリカ以外の文化に接する時にも有効的である点が重要である。現在、我々が間接的にしろ触れる文化は英語文化だけに限られたものではないことを考えるとこの異文化理解に必要な態度、能力の普遍性は大きな意味を持っている。

#### 4. ま と め

外国語習得のプロセスは、母国語とは異なった新しい言語の具現の可能性を見出す言語的発見と、その具現的可能性を支える規則の体系を言語的体験を通して内在化することである。母国語と外国語習得の関連は、まず母国語を習得しているが故に外国語の習得が可能であるという点にある。そして外国語の意識的習得は言語の機能についての理解を深め、母国語使用についても自覚を促すものとなる。もっともこの効果は、その外国語の具現化を体験する言語的体験を通すときに最も発揮される。

外国語習得における文化理解は必須のものであり、教科としての存在を決定づける1つの要素になっている。文化の理解と同様に大切なものは、文化理解に必要な態度をつちかうことである。時間的、場面的制約から数多くの文化事象を示すことが困難であることを考えるとき、この態度の養成は特に重要なものとなる。

以上のことから、言語についての自覚を生み、文化についての自覚を促すことが外国語教育の固有の

貢献であるといえる。何ものもこれにとって変えることはできないであろう。従って問題となるのは外国語教育の意義を云々することではなく、その意義をいかに効果的に実現するかという点にある。伝統的教授法や新しい試みが満足のいく結果を生んでいないとし、これをもって外国語教育そのものの否定につながるのとは短絡的である。逆に、教育的効果を確実にもたらす方法が求められなければならない。

(53年10月15日受付)

### 参 考 文 献

- Applegate, R. B. (1975) "The Language Teacher and the Rules of Speaking," *TESOL Q* 9, 3, 271—281.
- Braine, M. D. S. (1963) "The Ontogeny of English Phrase Structure: The First Phase," *Language* 39, 1, 1—13.
- Curtiss, S. (1977) *GENIE: A Psycholinguistic Study of a Modern-Day "Wild Child"*. (Academic Press).
- Ervin-Tripp, S. (1964) "An Analysis of Interaction of Language, Topic and Listener," *Amer. Anthropologist* 66, 86—102.
- Fry, D. B. (1970) "Speech Reception and Perception," in J. Lyons (ed.), (1970) *New Horizons in Linguistics*. (Penguin Books), 29—52.
- Goodman, K. S. (1972) "The Reading Process: Theory and Practice," in R. E. Hodges & E. H. Rudorf (eds.), (1972) *Language and Learning to Read: What Teachers should Know about Language*. (Houghton Mifflin Company), 143—159.
- Hill, J. H. (1970) "Foreign Accents, Language Acquisition, and Cerebral Dominance Revisited," *LL* 20, 2, 237—254.
- Hymes, D. H. (1971) "On Communicative Competence," Partially reprinted in J. B. Pride & J. Holmes (eds.), (1972) *Sociolinguistics: Selected Readings*. (Penguin Books), 269—293, from D. H. Hymes (1971) *On Communicative Competence*. (University of Pennsylvania Press).
- Lamendella, J. T. (1977) "General Principles of Neurofunctional Organization and their Manifestation in Primary and Nonprimary Language Acquisition," *LL* 27, 1, 155—196.
- Lenneberg, E. H. (1966) "The Natural History of Language," in F. Smith & G. A. Miller (eds.), (1966) *The Genesis of Language: A Psycholinguistic Approach*. (The M. I. T. Press), 219—252.
- (1967) "The Biological Foundations of Language," *Hospital Practice* Dec., 59—67, reprinted in M. Lester (ed.), (1970) *Readings in Applied Transformational Grammar*. (Holt, Rinehart and Winston, Inc.), 3—20.
- McNeill, D. (1966) "Developmental Psycholinguistics," in F. Smith & G. A. Miller (eds.), (1966) *The Genesis of Language: A Psycholinguistic Approach*. (The M. I. T. Press), 15—84.
- (1970) *The Acquisition of Language: The Study of Developmental Psycholinguistics*. (Harper & Row, publishers).
- Menyuk, P. (1971) *The Acquisition and Development of Language*. (Prentice-Hall, Inc.).
- Nababan, R. W. J. (1974) "Language, Culture and Language Teaching," *RELC J* 5, 2, 18—30.
- Neufeld G. G. (1978) "A Theoretical Perspective on the Nature of Linguistic Aptitude," *IRAL* 16, 1, 15—25.
- Nostrand, H. L. (1966) "Describing and Teaching the Sociocultural Context of a Foreign Language and Literature," in A. Valdman (ed.), (1966) *Trends in Language Teaching*. (McGraw-Hill Book Company), 1—25.
- Paulston, C. B. (1974) "Linguistic and Communicative Competence," *TESOL Q* 8, 4, 347—362.
- Penfield, W. & Roberts L. (1959) *Speech and Brain-Mechanisms*. (Princeton University Press).
- Rivers, W. M. (1968) *Teaching Foreign-Language Skills*. (The University of Chicago Press).
- (1970) "Teacher-Student Relations: Coercion or Cooperation?" reprinted in W. M. Rivers

(1972) *Speaking in Many Tongues: Essays in Foreign-Language Teaching*. (Newbury House Publishers, Inc.), 132—144, from *New Teachers for New Students*, (1970), Published by the Washington Foreign Language Program, Seattle, Washington, and the American Council on the Teaching of Foreign Languages, New York City, New York, at Seattle.

——— (1972) "Talking off the Tops of Their Heads," *TESOL Q* 6, 1, 71—81.

Scovel, T. (1969) "Foreign Accents, Language Acquisition, and Cerebral Dominance," *LL* 19, 3&4, 245—254.

Seelye, H. N. (1968) "Analysis and Teaching of the Cross-Cultural Context," in E. Birkmaier (ed.), (1968) *Britannica Review of Foreign Language Education*. Vol. 1, (Encyclopaedia Britannica, Inc.), 37—81.

Weir, R. (1962) *Language in the Crib*. (Mouton & Co.).

高梨健吉, 大村喜吉 (1975) 『日本の英語教育史』大修館

平泉 渉 (1974) 「外国語教育の現状と改革の方向」『英語展望』No.48, 8—9.

山岡俊比古 (1978) 「Communicative Competence とTEFL」『中国地区英語教育学会研究紀要』No. 8. 29—32.

渡辺昇一 (1974) 「亡国の"英語教育改革試案"」『諸君！』4月号

(昭和53年10月15日受付)

# 揺動正放物線カムの研究（第2報）

——平 板 従 動 節——

（機械工学科） 糸 島 寛 典

Studies on the Parabolic Profile Cam  
with an Oscillating Follower (Report 2)  
—— Flat Plate Follower ——

Hironori ITOSHIMA

In the first report, the angular motion of an oscillating circular arc follower to be driven by the parabolic profile cam was analysed.

In this paper, the angular motion of an oscillating follower with a flat plate is analysed. And the oscillating angle, the maximum angular acceleration at the starting point, the maximum specific sliding are examined.

If the oscillating angle, the maximum angular acceleration at the starting point, the maximum specific sliding of the cam at the dwell point and the maximum pressure angle are specified, then each size of the best cam and the offset of the follower can be decided.

## § 1 緒 言

前報<sup>1)</sup>において円弧従動節をもつ揺動正放物線カムにおける運動、押進め角、滑り率を解析し、揺動角、最大角加速度、最大押進め角、最大滑り率を指定し、最良のカムの各寸法を計算して設計した。

本報告においては平板従動節の場合で、前報と同様に基礎円に接合した放物線をカムの輪郭とし、カムに固定された回転座標を用いて平板従動節の運動を解析し、更に、押進め角、滑り率等を求め、逆に揺動角、最大角加速度、最大滑り率、最大押進め角、平板オフセット量等を指定して運動学的に最良のカムの寸法を求め設計を行う。

## § 2 記 号

$a$ : カムの回転中心と放物線の頂点との距離	$d$ : 軸間距離
$b$ : カムの中心から放物線までの $\gamma$ 軸上の距離	$f$ : 従動節のオフセット量
$R_0$ : 基礎円の半径	$\psi$ : 従動節の揺動角
$R_T$ : 放物線の半径	$s$ : 接触点の距離
$\delta$ : $\gamma$ 軸とカムの半径のなす角	$\phi$ : 押進め角
$\delta_0$ : 運動の始点における $\delta$	$\mu$ : 摩擦係数
$\theta$ : カムの回転角	$\rho_T$ : カムの曲率半径
$\theta_0$ : 往き行程のカムの回転角	$\omega_1$ : カムの角速度

$\theta_r$  : 戻り行程のカムの回転角

$\varphi$  : 従動節の角変位

$\varphi_1$  : 従動節が $\xi$ 軸となす角

$\varphi_0$  : 始点における従動節の角変位

$d^2\varphi_1/d\theta^2$  : 従動節の角加速度 $=\omega_1^2 d^2\varphi_1/d\theta^2$

$\omega_2$  : 従動節の角速度

$\sigma_1$  : カムの滑り率

$\sigma_2$  : 従動節の滑り率

$\beta$  : カムの接線と $x$ 軸のなす角

$d\varphi_1/d\theta$  : 従動節の角速度 $=\omega_1 d\varphi_1/d\theta$

### § 3 平板従動節と揺動正放物線カムの機構

図1は基礎円と放物線 $EDF$ とでできた正放物線カムが基礎円の中心 $A$ を軸として反時計回りに回転し、 $f$ だけオフセットした平板従動節が $B$ を軸として揺動運動するカム機構を示す。カムの回転中心 $A$ を原点とし、放物線の軸を $x$ 軸とする回転直角座標 $x, y$ をカム上に固定し、 $A$ 点を原点とし、 $AB$ を $\xi$ 軸とする固定直角座標 $\xi, \eta$ をとる。 $B$ 点を原点とし、 $B$ から平板に平行に $Y$ 軸、これと直角に $X$ 軸を取り、回転座標 $XY$ とする。

$x$ 軸と $\xi$ 軸の交角を $\theta$ とすれば $\theta$ はカムの回転角で、 $Y$ 軸と $\xi$ 軸の交角を $\varphi_1$ とすれば $\varphi_1$ は従動節の角変位となる。

放物線が $y$ 、 $x$ 軸と交わる点を $C$ 、 $D$ とし、基礎円との接点を $E$ 、 $F$ とする。 $AD$ 、 $AC$ の長さを $a$ 、 $b$ とし、 $AB$ の長さを $d$ 、基礎円の半径を $R_0$ とす。

カムと従動節の平板との接触点を $T$ とし、 $AT$ の長さを $R_T$ 、 $\angle CAT = \delta$ 、 $\angle CAE = \delta_0$ とすれば前報<sup>1)</sup>と同様に放物線の $x, y$ 座標の式と $T$ 点の $x, y$ 座標 $x_T, y_T$ は次式のようにになる。

$$ay^2 = b^2(a-x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

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

式(2)を式(1)に代入して $R_T$ を求め、吟味した結果 $R_T$ は次式のようにになる。

$$R_T = \frac{2ab}{\sqrt{A + b \sin \delta}}, \quad A = 4a^2 \cos^2 \delta + b^2 \sin^2 \delta \quad \dots\dots\dots (3), (4)$$

次に $R_0$ 、 $b$ 、 $\delta_0$ は前報<sup>2)</sup>より次式のようにになる。

$$R_0 = b\sqrt{4a^2 - b^2}/2a, \quad b = \sqrt{2a(a - \sqrt{a^2 - R_0^2})} \quad \dots\dots\dots (5), (6)$$

$$\sin \delta_0 = \frac{b^2}{2aR_0} = \frac{b}{\sqrt{4a^2 - b^2}} = \frac{a - \sqrt{a^2 - R_0^2}}{R_0} \quad \dots\dots\dots (7)$$

**3.1 カムの回転角と揺動角** 図1において接触点 $T$ がカムの往き行程の始点 $E$ にある場合のカムの回転角を $\theta_E$ とし、従動節の角変位を $\varphi_0$ とすれば、 $\varphi_0$ 、 $\theta_E$ は次式のようにになる。

$$\varphi_0 = \sin^{-1}(R_0 - f)/d \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\theta_E = \varphi_0 - \delta_0 = \sin^{-1} \frac{R_0 - f}{d} - \sin^{-1} \frac{a - \sqrt{a^2 - R_0^2}}{R_0} \quad \dots\dots\dots (9)$$

次に $T$ 点が放物線の頂点 $D$ にあるときの $\theta$ を $\theta_D$ とすれば、従動節の角変位 $\varphi_1$ は最大となり、 $\Psi$ を従動節の揺動角とすれば次式が得られる。

$$\varphi_{1max} = \varphi_0 + \Psi = \sin^{-1}(a - f)/d$$

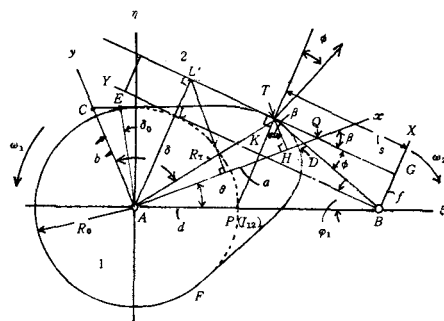


図1 平板従動節をもつ揺動正放物線カムの機構

$$\theta_D = 90^\circ - (\varphi_0 + \psi) = 90^\circ - \sin^{-1}(a-f)/d \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\psi = \sin^{-1} \frac{a-f}{d} - \sin^{-1} \frac{R_0-f}{d} \quad \dots\dots\dots(11)$$

次に  $T$  点が  $F$  点にあるときの  $\theta$  を  $\theta_F$  とすれば  $\theta_F = 90^\circ - \delta_0 + 90^\circ - \varphi_0$  となるから次式のようにになる。

$$\theta_F = 180^\circ - \sin^{-1} \frac{R_0-f}{d} - \sin^{-1} \frac{a-\sqrt{a^2-R_0^2}}{d} \quad \dots\dots\dots(12)$$

行き行程のカムの回転角を  $\theta_o$ 、戻り行程のそれを  $\theta_r$  とすれば  $\theta_o$ 、 $\theta_r$  とカムの作用角は次式のようにになる。

$$\theta_o = \theta_D + \theta_E = 90^\circ - \sin^{-1} \frac{a-f}{d} + \sin^{-1} \frac{R_0-f}{d} - \sin^{-1} \frac{a-\sqrt{a^2-R_0^2}}{R_0} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\theta_r = \theta_F - \theta_D = 90^\circ - \sin^{-1} \frac{a-\sqrt{a^2-R_0^2}}{R_0} + \sin^{-1} \frac{a-f}{d} - \sin^{-1} \frac{R_0-f}{d} \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{カムの作用角} = \theta_o + \theta_r = 180^\circ - 2\sin^{-1} \frac{a-\sqrt{a^2-R_0^2}}{R_0} = 180^\circ - 2\delta_0 \quad \dots\dots\dots(15)$$

**3.2 従動節の角変位** 図1において従動節2がカム1と任意の点  $T$  で接触している場合のカムの回転角  $\theta$  と従動節の角変位  $\varphi$  を  $\delta$  をパラメーターとして求める。 $T$  点における放物線への接線と  $x$  軸の交点を  $Q$  とし、 $\angle TQA = \beta$  とし、 $\beta$  を求める。式(1)を  $x$  で微分し  $dy/dx = -\tan\beta$  とすれば次式が得られる。

$$\tan\beta = \frac{b^2}{2ay_T}, \quad \sin\beta = \frac{b^2}{\sqrt{4a^2y_T^2+b^4}}, \quad \cos\beta = \frac{2ay_T}{\sqrt{4a^2y_T^2+b^4}} \quad \dots\dots\dots(16)$$

接触点  $T$  より  $x$  軸に垂線  $TH$  を下せば  $AH = x_T$ 、 $TH = y_T$  となり、 $T$  点よりカムの輪郭への法線が  $A$ 、 $B$  と  $Y$  軸との交点を  $P$ 、 $K$  とし、 $A$  点から  $Y$  軸への垂線が  $Y$  軸と平板との交点を  $L$ 、 $L'$  とすれば、 $\angle KTH = \beta$  から

$$d\sin\varphi_1 = x_T\sin\beta + y_T\cos\beta - f \quad \dots\dots\dots(17)$$

が得られるので、式(16)の  $\beta$  を代入すれば  $\varphi_1$  は次式のようにになる。

$$\sin\varphi_1 = \frac{b^2x_T + 2ay_T^2}{d\sqrt{4a^2y_T^2+b^4}} - \frac{f}{d} \quad \dots\dots\dots(18)$$

故に従動節の角変位  $\varphi$  は次式のようにになる。

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_0 = \varphi_1 - \sin^{-1} \frac{R_0-f}{d} \quad \dots\dots\dots(19)$$

次はカムの回転角  $\theta$  は図1より明らかに次式のようにになる。

$$\theta = \beta - \varphi_1 \quad \dots\dots\dots(20)$$

**3.3 従動節の角速度** 従動節の角速度は  $d\varphi_1/dt = \omega_1 \cdot d\varphi_1/d\theta$  なので、式(18)を  $\theta$  で微分すればよいのであるが、その前に式(4)の  $A$ 、式(13)の  $R_T$ 、式(2)の  $x_T$ 、 $y_T$ 、式(16)の  $\beta$  を  $\theta$  で微分すれば次式が得られる。

$$\frac{dA}{d\theta} = B \frac{d\delta}{d\theta}, \quad B = -2(4a^2 - b^2) \sin\delta \cos\delta \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$\frac{dR_T}{d\theta} = M \frac{d\delta}{d\theta}, \quad M = R_T^2 \frac{(4a^2 - b^2) \sin \delta - b\sqrt{A}}{2ab\sqrt{A}} \cos \delta \quad (22)$$

$$\frac{dx_T}{d\theta} = \frac{2aR_T^2 \cos \delta}{b\sqrt{A}} \frac{d\delta}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = -\frac{bR_T}{\sqrt{A}} \frac{d\delta}{d\theta} \quad (23), (24)$$

$$\frac{d\beta}{d\theta} = N (M \cos \delta - R_T \sin \delta) \frac{d\delta}{d\theta}, \quad N = -\frac{2a \sin^2 \beta}{b^2} \quad (25)$$

次に式(18)を $\theta$ で微分して式(23), (24)を用い,  $d\varphi_1/d\theta$ を求めれば

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{2ab^3 R_T y_T (2ax_T - b^2)}{d \cos \varphi_1 \sqrt{A} (4a^2 y_T^2 + b^4)^{\frac{3}{2}}} \frac{d\delta}{d\theta} \quad (26)$$

となる。式(21)~(26)は $d\delta/d\theta$ を含んでいるので,  $d\delta/d\theta$ を求めるには式(20)を $\theta$ で微分し, 式(25), (26)を代入すれば

$$\frac{d\delta}{d\theta} = \frac{d\sqrt{A} (4a^2 y_T^2 + b^4)^{\frac{3}{2}} \cos \varphi_1}{2ab^3 R_T L}, \quad L = d\sqrt{4a^2 y_T^2 + b^4} \cos \varphi_1 - y_T (2ax_T - b^2) \quad (27), (28)$$

が得られるので, 式(27)を式(26)に代入すれば次式が得られる。

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{y_T (2ax_T - b^2)}{L} \quad (29)$$

**3.4 従動節の角加速度** 従動節の角加速度は,  $\omega_1$ が一定なので,  $d^2\varphi_1/dt^2 = \omega_1^2 d^2\varphi/d\theta^2$ で得られるので式(29)を $\theta$ で微分すればよいが, その前に式(28)の $L$ を $\theta$ で微分すれば

$$\begin{aligned} \frac{dL}{d\theta} = & \left( \frac{4da^2 y_T \cos \varphi_1}{\sqrt{4a^2 y_T^2 + b^4}} - 2ax_T + b^2 \right) \frac{dy_T}{d\theta} - 2ay_T \frac{dx_T}{d\theta} \\ & - d \sin \varphi_1 \sqrt{4a^2 y_T^2 + b^4} \frac{d\varphi_1}{d\theta} \quad (30) \end{aligned}$$

となり, 式(29)を $\theta$ で微分すれば $d^2\varphi_1/d\theta^2$ は次式のようにになる。

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{2ay_T \frac{dx_T}{d\theta} + (2ax_T - b^2) \frac{dy_T}{d\theta}}{L} - \frac{y_T (2ax_T - b^2)}{L^2} \frac{dL}{d\theta} \quad (31)$$

**3.5 往き行程の始点と終点の角加速度** 往き行程の始点 $E$ における $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を求めるには $\delta = \delta_0$ とし, 式(7)を用いて前記の各式を計算した結果次式のようにになる。

$$\delta = \delta_0, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{R_0(4a^2 R_0^2 - b^4)}{b^4 \sqrt{d^2 - (R_0 - f)^2}} = \frac{2\sqrt{a^2 - R_0^2}(a + \sqrt{a^2 - R_0^2})}{R_0 \sqrt{d^2 - (R_0 - f)^2}} \quad (32)$$

往き行程の終点 $D$ における $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を求めるには $\delta = 90^\circ$ とすればよいので次式のようにになる。

$$\delta = 90^\circ, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{\sqrt{a^2 - R_0^2}}{\sqrt{d^2 - (a - f)^2}} \quad (33)$$

#### § 4 押進め角とカムの摩擦

図2はカムが反時計回りのとき, 従動節のオフセットが図(a)は+側, 図(b)は-側の場合である。図2(a)において, カムのトルク $=P \times AT$ , 接触点 $T$ の法線力を $N$ , 接触面の摩擦力を $\mu N$ とすれば $T$ 点の合力は $F$ となり,  $F$ の $BT$ に垂直な分力を $F_1$ ,  $BT$ 方向の分力を $F_2$ とすれば,  $F_1$ は従動節の回転力で $F_1 \times \overline{BT}$ は従動節の回転トルクであり,  $F_2$ は従動節を $BT$ 方向へ引張る引張力となる。

法線力  $N$  と回転力  $F_1$  のなす角を  $\phi$  とすれば、  
 $\phi$  が押進め角となり、摩擦角を  $\rho$  とすれば  $\rho = \tan^{-1} \mu$  から次式が成立する。

$$F_1 = F \cos(\rho + \phi), \quad F_2 = F \sin(\rho + \phi) \quad \dots\dots\dots (34)$$

図 2 (b) において  $f$  を一側にとれば図から同様に

$$F_1 = F \cos(\rho - \phi), \quad F_2 = F \sin(\rho - \phi) \quad \dots\dots\dots (35)$$

が得られる。 $F_2$  を小さく、 $F_1$  を大きくするためには  $f$  を一側にとって、 $\phi$  をできるだけ  $\rho$  に近くする方がよい。よって、カムが反時計回りのときは  $f$  が一側がよい。

図 3 はカムが時計回りの場合で、図(a)は  $f$  が +、図(b)は  $f$  が一側にある場合の  $F_1$ 、 $F_2$  を求めたもので、この場合  $f$  が + 側の方が  $F_1$  を大きくするのでよいことがわかる。

図 1 において押進め角  $\phi$  は  $T$  点の法線と  $T$  点の従動節上の運動方向の交角である。 $T$  点のカムへの法線が  $AB$  と交わる点  $P$  はカム 1 と従動節 2 の瞬間中心  $I_{12}$  であるので、前報<sup>1)</sup> からも  $\overline{AP} \cdot \omega_1 = \overline{BP} \cdot \omega_2$ 、 $\overline{AP} + \overline{BP} = d$  から

$$\overline{AP} = d \frac{d\varphi_1/d\theta}{1 + d\varphi_1/d\theta}, \quad \overline{BP} = \frac{d}{1 + d\varphi_1/d\theta} \quad \dots\dots\dots (36)$$

が得られる。図 1 の  $TG$  の長さを  $s$  で表わせば、式(36)より

$$s = \overline{BP} \cos \varphi_1 = \frac{d \cos \varphi_1}{1 + d\varphi_1/d\theta} \quad \dots\dots\dots (37)$$

となり、押進め角  $\phi$  は次式で与えられる。

$$\tan \phi = \frac{f}{s} = \frac{f(1 + d\varphi_1/d\theta)}{d \cos \varphi_1} \quad \dots\dots\dots (38)$$

$|f|$  が大きければ  $\phi$  が大となるから注意が必要である。 $f=0$  の場合は  $\phi=0$  となる。

往き行程の始点と終点においては  $d\varphi_1/d\theta=0$ 、 $\varphi_1$  は  $\varphi_0$  と  $\varphi_0 + \Psi$  となるので、そのときの押進め角をそれぞれ  $\phi_E$ 、 $\phi_D$  とすれば、式(38)から次式が得られる。

$$\delta = \delta_0, \quad \phi_E = \tan^{-1} \frac{f}{d \cos \varphi_0} = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{d^2 - (R_0 - f)^2}} \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$\delta = 90^\circ, \quad \phi_D = \tan^{-1} \frac{f}{d \cos(\varphi_0 + \Psi)} = \tan^{-1} \frac{f}{\sqrt{d^2 - (a - f)^2}} \quad \dots\dots\dots (40)$$

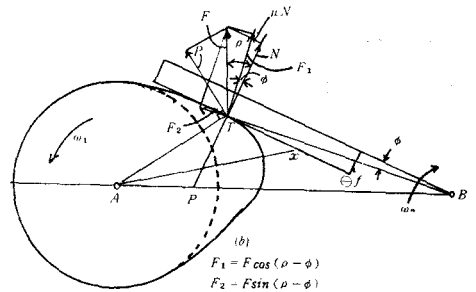
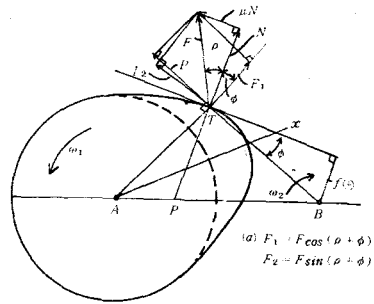


図 2 カムが反時計回りのときの従動節のオフセット

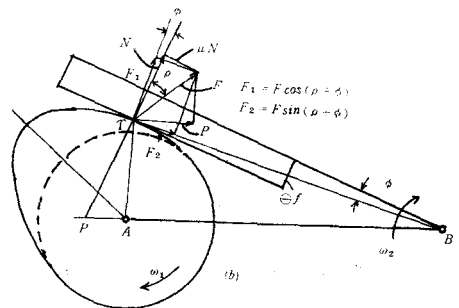
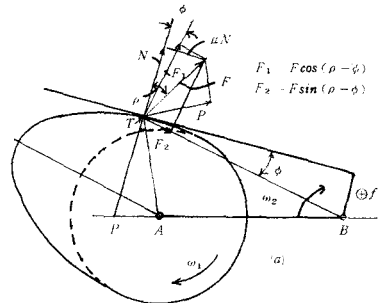


図 3 カムが時計回りのときの  $f$

式(39), (40)を比較して,  $a > R_0$  から  $\phi_D > \phi_E$  となる。

## § 5 曲率半径と滑り率

放物線カムの接触点  $T$  における曲率半径  $\rho_T$  は前報<sup>1)</sup> により次式で与えられる。

$$\rho_T = \frac{(R_T^2 + M^2)^{\frac{3}{2}}}{R_T^2 - LR_T + 2M^2} = \frac{(4a^2 R_T^2 \cos^2 \delta + b^4)^{\frac{3}{2}}}{2ab^4} \quad (41)$$

ただし,  $M, L$  は式(22), (28)により与えられる。

図1において  $TP$  の長さは図と式(36)より次式のようにになる。

$$\overline{TP} = \overline{BP} \sin \varphi_1 + f = -\frac{d \sin \varphi_1}{1 + d\varphi_1/d\theta} + f \quad (42)$$

カムと従動節の滑り率をそれぞれ  $\sigma_1, \sigma_2$  とすれば前報<sup>3)</sup> により次式のようにになる。

$$\sigma_1 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T}, \quad \sigma_2 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad (43), (44)$$

往き行程の始点と終点の接触におけるカムの滑り率  $\sigma_{1E}, \sigma_{1D}$  とし, これを求めておく。 $\delta = \delta_0$  のとき式(41)より  $\rho_T = 4a^2 R_0^3 / b^4$  となり, 式(42)は  $d\varphi_1/d\theta = 0$  から  $\overline{TP} = R_0$  だから式(42)から次式が得られる。

$$\delta = \delta_0, \quad \sigma_{1E} = b^4 / (2aR_0)^2 = (a - \sqrt{a^2 - R_0^2})^2 / R_0^2 \quad (45)$$

終点では  $\delta = 90^\circ$ , 式(41)より  $\rho_T = b^2 / (2a)$ , 式(42)より  $d\varphi_1/d\theta = 0$  から  $\overline{TP} = a$  となるので, 式(43)より

$$\delta = 90^\circ, \quad \sigma_{1D} = 2a^2 / b^2 = a / (a - \sqrt{a^2 - R_0^2}) = a(a + \sqrt{a^2 - R_0^2}) / R_0^2 \quad (46)$$

が得られ, 式(45), (46)より一般に  $\sigma_{1D} > \sigma_{1E}$  となる。よって終点  $D$  におけるカムの滑り率  $\sigma_{1D}$  は近似的に最大となる。

## § 6 揺動角の指定

平板従動節の揺動角  $\Psi$  は式(11)で与えられるが, 角加速度の比較には同一の  $\Psi$  の場合を検討する必要があるので,  $\Psi$  を指定して,  $d, a, R_0, f$  の関係を求めるため式(11)を変形すれば

$$\sin \Psi = \frac{a-f}{d} \sqrt{1 - \left(\frac{R_0-f}{d}\right)^2} - \frac{R_0-f}{d} \sqrt{1 - \left(\frac{a-f}{d}\right)^2} \quad (47)$$

となり, これを  $(a-f)$  について求めれば次の2次式となる。

$$(a-f)^2 - 2 \sin \Psi \sqrt{d^2 - (R_0-f)^2} (a-f) + d^2 \sin^2 \Psi - (R_0-f)^2 = 0$$

この式から  $a-f$  を吟味して求めれば次式のようになる。

$$a-f = (R_0-f) \cos \Psi + \sin \Psi \sqrt{d^2 - (R_0-f)^2} \quad (48)$$

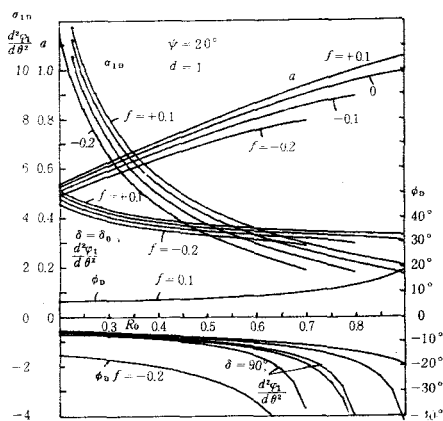


図4  $\Psi = 20^\circ$ ,  $f$  を指定し, 各  $R_0$  に対する  $a, d^2 \varphi_1 / d\theta^2, \sigma_{1D}, \phi_D$

この式から $\Psi$ ,  $d$ ,  $f$ を指定して各 $R_0$ に対する $a$ を求めることができるので、例えば $\Psi=20^\circ$ ,  $d=1$ ,  $f=0.1\sim 0.2$ ,  $R_0=0.2\sim 0.9$ を指定し、式(6)より $b$ , 式(13)より $\theta_0$ , 式(14)より $\theta_r$ , 式(32), (33)より $\delta=\delta_0$ ,  $90^\circ$ の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を求め、更に式(46)より $\sigma_{1D}$ , 式(40)より $\phi_D$ を求めたものを図4に示す。

図から $f$ が一側に大となれば、始点の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ と $\sigma_{1D}$ は低い値となるが、 $\phi_D$ が大きな値となるのでよくない。例えば $f=-0.2$ のときは $|\phi_D|<30^\circ$ とするためには $R_0<0.6$ となり、 $R_0=0.55$ を用いれば始点と終点の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ はそれぞれ3.2と-1.3,  $\sigma_{1D}=2.9$ ,  $\phi_D=-28^\circ$ となる。

図5は $d=1$ ,  $f=0$ の場合 $\Psi=10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ の場合の $a$ ,  $d^2\varphi_1/d\theta^2$ ,  $\sigma_{1D}$ を $R_0=0.2\sim 0.9$ に対して示したもので、 $R_0$ が増加するにつれ始点の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ は減少するか終点のそれは逆に増大する。 $\sigma_{1D}$ は $R_0$ の増加により急減する。いずれも $\Psi$ が小さい程各値は小となる。

## §7 往きと戻りのカムの回転角の指定

往きと戻りのカムの回転角 $\theta_0$ と $\theta_r$ は式(13), (14)に示されているので次式が得られる。

$$\theta_r - \theta_0 = 2\Psi, \quad \theta_r = \theta_0 + 2\Psi \quad \dots\dots\dots(49)$$

いま $\theta_0$ を指定してカムの頂点 $D$ の滑り率 $\sigma_{1D}$ を求め。式(13)に式(11)を代入すれば

$$\theta_0 = 90^\circ - \Psi - \sin^{-1}(a - \sqrt{a^2 - R_0^2})/R_0 \quad \dots\dots\dots(50)$$

が得られ、式(46)の $\sigma_{1D} = a/(a - \sqrt{a^2 - R_0^2})$ を変形すれば

$$a - \sqrt{a^2 - R_0^2} = a/\sigma_{1D}, \quad \frac{a}{R_0} = \frac{\sigma_{1D}}{\sqrt{2\sigma_{1D} - 1}} = P \quad \dots\dots\dots(51)$$

が得られるので、これを式(50)に代入すれば

$$\theta_0 = 90^\circ - \Psi - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{2\sigma_{1D} - 1}}$$

となり、これから $\sigma_{1D}$ を求めれば次式が得られる。また式(49)を用いれば次式のようになる。

$$\sigma_{1D} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\cos^2(\theta_0 + \Psi)} + 1 \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\cos^2(\theta_r - \Psi)} + 1 \right) \quad \dots\dots\dots(52)$$

この式に $\Psi=10^\circ\sim 50^\circ$ ,  $\theta_0=20\sim 70^\circ$ を代入し、 $\theta_0$ を横軸にとって $\sigma_{1D}$ を表したものを図6に示す。図から $\theta_0$ の僅かの増加に対し、 $\sigma_{1D}$ は急増することがわかる。 $\theta_0$ と $\Psi$ を指定すれば $\sigma_{1D}$ が求まり、同じ $\theta_0$ に対し $\Psi$ が大きい程 $\sigma_{1D}$ は高い値となるが、できれば $\sigma_{1D}<5$ を使用したい。

表1に $\Psi=20^\circ$ の場合の $\theta_0$ ,  $\theta_r$ ,  $\sigma_{1D}$ を示す。 $\theta_0$ が増せば作用角 $\theta_0 + \theta_r$ は増し、 $\sigma_{1D}$ が急増するので $\theta_0 + \theta_r < 140^\circ$ が望ましい。

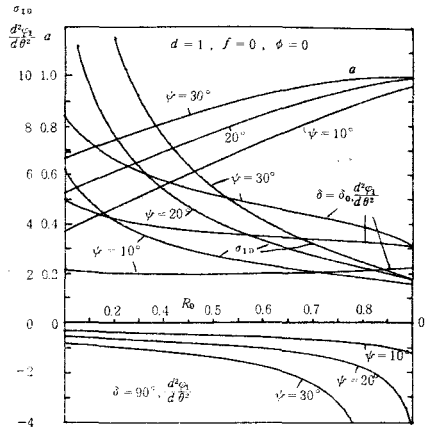


図5  $d=1$ ,  $f=0$ ,  $\Psi=10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ の場合の各 $R_0$ に対する $d^2\varphi_1/d\theta^2$ ,  $\sigma_{1D}$

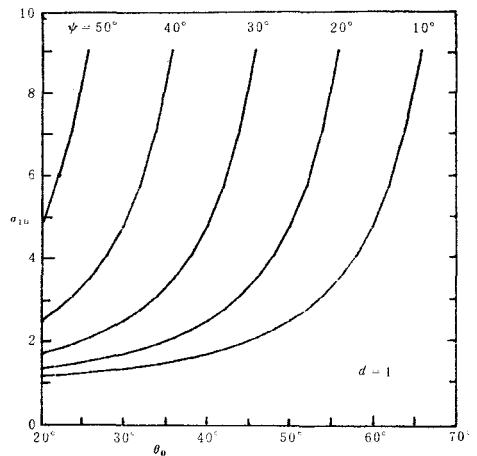


図6  $\Psi$ の指定による各 $\theta_0$ に対する $\sigma_{1D}$

## § 8 カムの最大滑り率の指定

カムの最大滑り率は後述するように頂点  $D$  を少し過ぎた所に生ずるが計算上  $D$  点の  $\sigma_{1D}$  を近似最大滑り率として、これを指定し、更に  $\Psi$ ,  $f$  を指定して  $R_0$  を求める。

式(51)において  $\sigma_{1D}/\sqrt{2\sigma_{1D}-1}=P$  とおけば  $a=PR_0$  となるので、 $\Psi$  の指定の式(48)に代入して、 $R_0$  について整理すれば次式のように  $R_0$  の 2 次式となる。

$$\{(P-\cos\Psi)^2+\sin^2\Psi\}R_0^2-2f\{1-\cos\Psi\}(P-\cos\Psi)+\sin^2\Psi\}R_0+f^2(1-\cos\Psi)^2-\sin^2\Psi(d^2-f^2)=0\cdots(53)$$

これを解き吟味の結果  $R_0$  は次式のようになる。

$$R_0=\frac{f\{(1-\cos\Psi)(P-\cos\Psi)+\sin^2\Psi\}+\sqrt{D}}{(P-\cos\Psi)^2+\sin^2\Psi}\cdots(54)$$

$$D=f^2\{(1-\cos\Psi)(P-\cos\Psi)+\sin^2\Psi\}^2-\{(P-\cos\Psi)^2+\sin^2\Psi\}\times[f^2\{(1-\cos\Psi)^2+\sin^2\Psi\}-d^2\sin^2\Psi]$$

$$P=\sigma_{1D}/\sqrt{2\sigma_{1D}-1}, a=PR_0\cdots(55)$$

$$f=0 \text{ のとき, } R_0=-\frac{d\sin\Psi}{\sqrt{(\sigma_{1D}/\sqrt{2\sigma_{1D}-1}-\cos\Psi)^2+\sin^2\Psi}}\cdots(56)$$

$R_0$  が求まれば式(51)から  $a$ , 式(32), (33) より始点と終点の  $d^2\varphi_1/d\theta^2$  が求められる。これを表 1 と図 7 に示す。 $f$  が負の方が  $R_0$  が小さく、始点の  $d^2\varphi_1/d\theta^2$  は小さく、終点のそれは大きくなるが、 $\phi_D$  が大きくなることに注意せねばならぬ。

表 1  $\Psi=20^\circ$ ,  $d=1$ ,  $f=0$ ,  $\phi=0$

$\theta_0$	$30^\circ$	$35^\circ$	$40^\circ$	$45^\circ$	$50^\circ$	$55^\circ$	$60^\circ$
$\theta_r$	$70^\circ$	$75^\circ$	$80^\circ$	$85^\circ$	$90^\circ$	$95^\circ$	$100^\circ$
$\sigma_{1D}$	1.7101	2.0198	2.5000	3.2995	4.7743	7.9641	17.0817
$R_0$	0.90623	0.84235	0.74061	0.60110	0.44246	0.29169	0.16642
$a$	0.99618	0.97588	0.92576	0.83819	0.72249	0.60124	0.49363
$\delta=\delta_0\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2}$	3.0443	3.1880	3.3066	3.4591	3.7243	4.2474	5.4283
$\delta=90^\circ\frac{d^2\varphi_1}{p\theta^2}$	-4.7363	-2.2569	-1.4690	-1.0711	-0.8261	-0.6580	-0.5344

表 1 と図 7 から  $\theta_0$  の増加と共に  $\sigma_{1D}$  と始点の  $d^2\varphi_1/d\theta^2$  は増加するが  $R$ ,  $a$ , 終点の  $d^2\varphi_1/d\theta^2$  は減少する。

図 8 は表 1 の  $\theta_0=50^\circ$  の場合の従動節の運動とカムの滑り率  $\sigma_1$  を求めたもので、 $d^2\varphi_1/d\theta^2$  は始点を少し過ぎた所で最大となり  $\sigma_{1max}$  は  $D$  点を過ぎた所で生ずることがわかる。

図 9 は図 8 のデータで  $\delta$  を横軸にとり、 $d^2\varphi_1/d\theta^2$ ,  $\theta_r$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  を示す。図 10 は図 9 の  $\sigma_2$  を従動節の平板上の各位置  $s$  において示したもので、接触の両端で  $\sigma_2$  は無限大となり、途中はほぼ均一になって良好である。

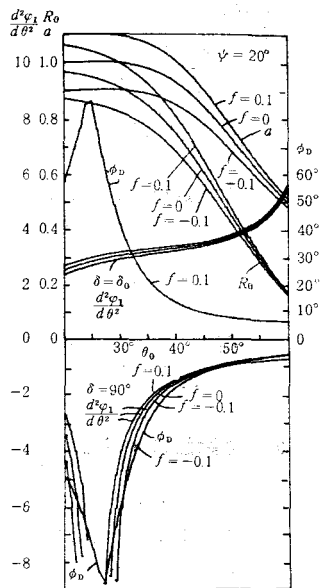


図 7 各  $\theta_0$  に対する  $\sigma_{1D}$ ,  $R_0$ ,  $a$ ,  $d^2\varphi_1/d\theta^2$  の関係

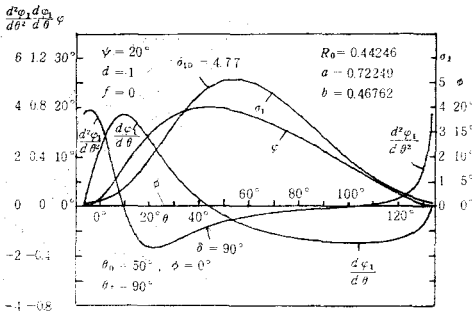


図8  $\psi = 20^\circ$ ,  $\theta_0 = 50^\circ$ ,  $f = 0$ の場合の  
 $\theta$ に対する $\varphi$ ,  $d\varphi_1/d\theta$ ,  $d^2\varphi_1/d\theta^2$ ,  $\sigma_1$

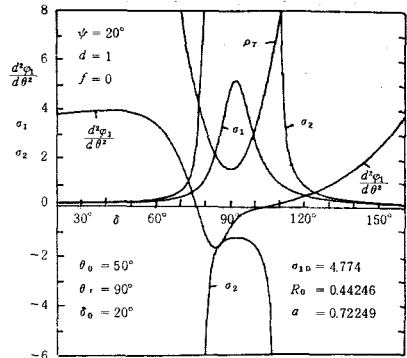


図9  $\psi = 20^\circ$ ,  $\theta_0 = 50^\circ$ ,  $f = 0$ の場合の  
 $\delta$ に対する $\rho_T$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$

### § 9 従動節のオフセットの指定

$\psi$ ,  $\theta_0$ ,  $d$ を指定すれば式(52)より $\sigma_{1D}$ が決定され、式(54)から $f$ が指定されれば $R_0$ が決定されるので、式(55)より $a$ が求まり、式(32), (33)より始点と終点の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ が求まる。例えば $\psi = 20^\circ$ ,  $d = 1$ ,  $\theta_0 = 25^\circ \sim 50^\circ$ ,  $f = -0.3 \sim 0.3$ の場合の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ を $f$ を横軸にして図11に示す。図から始点の $d^2\varphi_1/d\theta^2$ は $\theta_0$ が増せば大となるが $f$ の変化に対し余り変らない。終点のそれは $\theta_0$ が小さい場合を除き、 $\theta_0 > 40^\circ$ の場合は $f$ による変化は余りないが、 $\theta_0 < 35^\circ$ となると $f$ の負の所で大きく変化する。

図12は図11のデータで更に式(40)により $\phi_D$ を求め、 $f$ を横軸として $R_0$ ,  $\phi_D$ を示したもので、 $R_0$ は $\theta_0$ が小

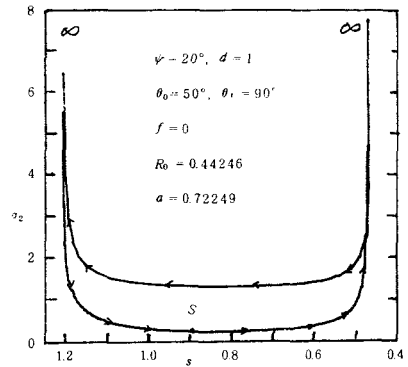


図10 図8の場合の従動節上の $\sigma_2$

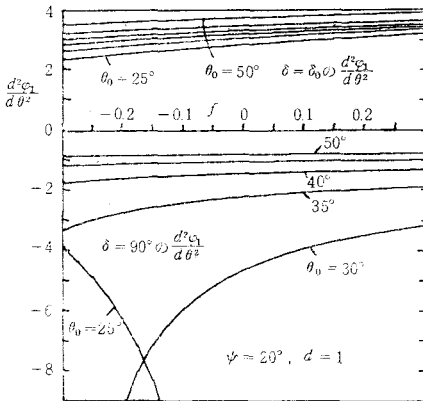


図11  $\psi$ ,  $\theta_0$ ,  $d$ と $f$ の指定による  
始点と終点の $d^2\varphi_1/d\theta^2$

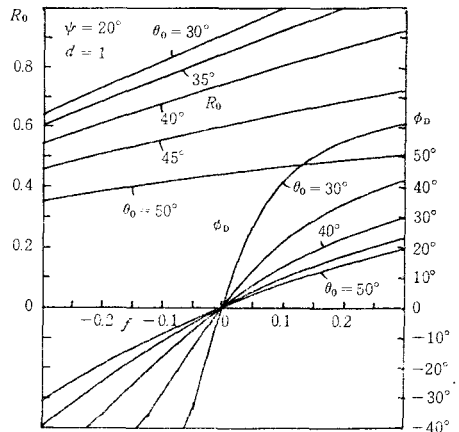


図12  $\psi$ ,  $\theta_0$ ,  $f$ の指定による $R_0$ と $\phi_D$

く、 $f$ が+側に大きくなる程増大する。 $\phi_D$ は $f$ の絶対値が大きくなる程、 $\theta_0$ が小さくなる程大きな値となるが $|\phi_D| < 30^\circ$ とすれば $f$ を余り大きくとれない。同じ $\phi_D$ に対しては $f$ を一側にとった方がよい。

しかし $\theta_0$ と $\theta_r$ を逆にし、すなわちカムを時計回りに回転させた方が往き行程のカムの回転角は長くなり、戻りは早戻りとなってよい。この場合効率から言えば図3(a)から $f$ を+側にとる方がよいが $R_0$ が一側より大きくなることに注意しなければならぬ。

例えば  $\psi = 20^\circ$ ,  $d = 1$ ,  $\theta_r = 45^\circ$  の場合, 摩擦係数  $\mu = 0.2$  とし, カムが反時計回りするなら,  $\theta_r = 85^\circ$ ,  $\sigma_{1D} = 3.2995$  となる。この場合摩擦角  $\rho = \tan^{-1}\mu = 11.31^\circ$  となるので, 図 2 (b) から  $\rho = \phi_D$  とし,  $\phi_D \div 10^\circ$  とするには  $f = -0.09$  とすれば, 式(54)より  $R_0 = 0.55979$ ,  $a = 0.78058$ ,  $\phi_D = -10.3657^\circ$ ,  $\delta = \delta_0$  の  $d^2\varphi_1/d\theta^2 = 3.387$ ,  $\delta = 90^\circ$  の  $d^2\varphi_1/d\theta^2 = -1.106$  となる。この場合の従動節の運動を図 13 に,  $\rho_T$ ,  $\phi$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  を  $\delta$  を横軸に図 14 に示す。図から  $\sigma_{1max} \div 3.8$ ,  $\phi_{max} \div -14.5^\circ$  となるので  $\phi_{max} = -11.31^\circ$  とするためには  $f = -0.07$ ,  $R_0 = 0.56917$ ,  $a = 0.79366$ ,  $\phi_D = -7.906^\circ$  位がよいが平均だから図 13 でよい。

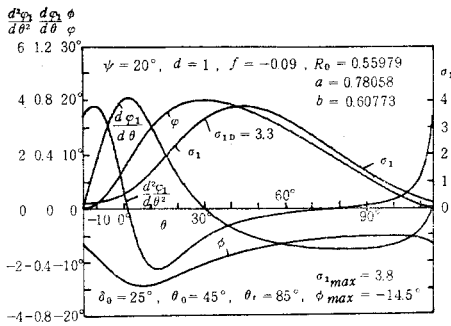


図13  $\psi = 20^\circ$ ,  $d = 1$ ,  $\theta_0 = 45^\circ$ ,  $\theta_r = 85^\circ$ ,  $\sigma_{1D} = 3.2995$  の運動

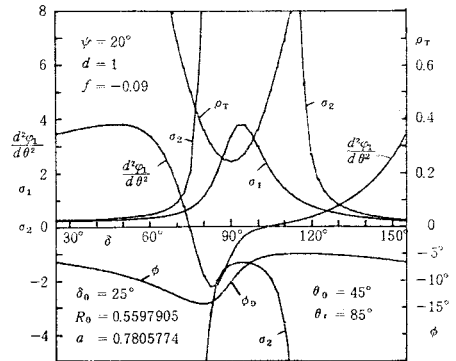


図14 図13の  $\rho_T$ ,  $\phi$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$

次にカムが時計回りの場合  $\theta_0$  と  $\theta_r$  を変えれば  $\theta_0 = 85^\circ$ ,  $\theta_r = 45^\circ$  となり, 図 3 (a) より  $f$  を + 側にとった方がよいので  $f = +0.08$  を採用すれば  $R_0 = 0.63586$ ,  $a = 0.88665$ ,  $\phi_D = 7.71^\circ$  となる。図 15, 16 はこの場合の従動節の運動と  $\rho_T$ ,  $\phi$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  を示し, 図 17 は平板上の  $\sigma_2$  を示す。 $\phi_{max} \div 11.5^\circ$ ,  $\sigma_{1max} \div 3.6$  となるので時計回りの場合が良好である。

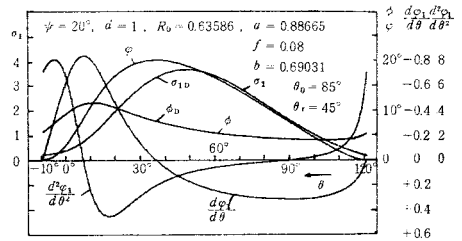


図15  $\psi = 20^\circ$ ,  $\theta_0 = 85^\circ$ ,  $\theta_r = 45^\circ$ ,  $\sigma_{1D} = 3.3$  のカム運動

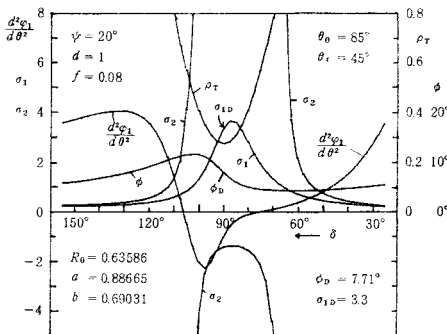


図16 図15の  $\rho_T$ ,  $\phi$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$

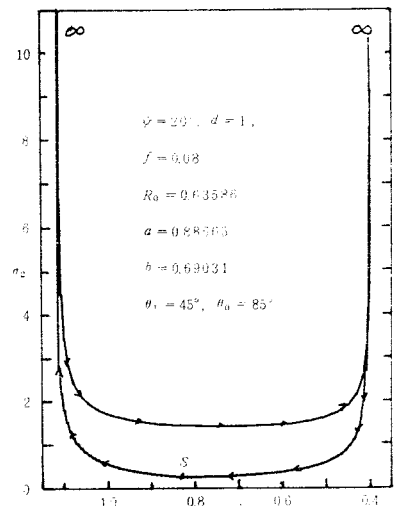


図17 図15の場合の  $s$  と平板上の  $\sigma_2$

## § 10 カムの基礎円の半径の指定

前節において $\Psi$ ,  $d$ ,  $\theta_0$ を指定し,  $\sigma_{1D}$ を求め, それから $f$ を指定して $R_0$ を求め, 次に $\phi_D$ を求め,  $\phi_D$ の値から $f$ を選定して $R_0$ を選んだが, ここでは $R_0$ を先に選定して $f$ を求め,  $\phi_D$ を求める。

式(52)から $\theta_0$ ,  $\Psi$ により $\sigma_{1D}$ が求まる。式(51)より $P$ が求まり, 式(55)より $a$ が求まるので, これらを式(48)に代入し,  $f$ の項で整理すれば次式が得られる。

$$2(1 - \cos \Psi)f^2 - 2R_0(P+1)(1 - \cos \Psi)f + R_0^2\{(P - \cos \Psi)^2 + \sin^2 \Psi\} - d^2 \sin^2 \Psi = 0$$

この $f$ の2次式から $f$ を求め吟味した結果次式が得られる。

$$f = \frac{R_0(P+1)(1 - \cos \Psi) - \sqrt{(1 - \cos \Psi)\{2d^2 \sin^2 \Psi - R_0^2(1 + \cos \Psi)(P-1)^2\}}}{2(1 - \cos \Psi)} \quad (57)$$

ただし $P = \sigma_{1D}/\sqrt{2\sigma_{1D}-1}$

図18は $\Psi$ ,  $d$ を指定し, 各 $\theta_0$ と $R_0$ を指定し, 式(52)より $\sigma_{1D}$ を求め, 式(57)より $f$ を求め, 式(40)により $\phi_D$ を求め, 各 $R_0$ に対する $f$ ,  $\phi_D$ を示したものである。例えば $\Psi = 20^\circ$ ,  $d = 1$ ,  $\theta_0 = 45^\circ$ を指定すれば $\sigma_{1D} = 3.299$ となり,  $R_0 = 0.57$ を指定すれば $f = -0.06823$ ,  $a = 0.79481$ ,  $\phi_D = -7.69228^\circ$ が得られる。図19はこのデータの場合の $d^2\phi_1/d\theta^2$ ,  $\rho_T$ ,  $\phi$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ を $\delta$ に対して求めたものである。

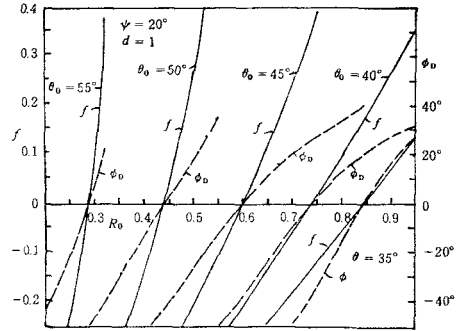


図18  $\Psi$ ,  $d$ を指定し, 各 $\theta_0$ と $R_0$ に対する $f$ と $\phi_D$

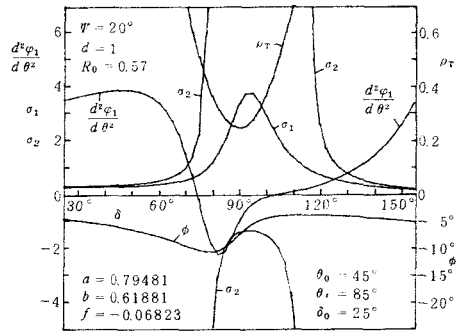


図19  $\Psi$ ,  $d$ ,  $\theta_0$ ,  $R_0$ を指定して $f$ を求めた場合の $d^2\phi_1/d\theta^2$ ,  $\rho_T$ ,  $\phi$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$

## § 11 始点と終点の等角加速度

往き行程の始点と終点の $d^2\phi_1/d\theta^2$ が等しい場合を考える。式(32), (33)の絶対値を等しいと置けば

$$\frac{2\sqrt{a^2 - R_0^2}(a + \sqrt{a^2 - R_0^2})}{R_0\sqrt{d^2 - (R_0 - f)^2}} = \frac{\sqrt{a^2 - R_0^2}}{\sqrt{d^2 - (a - f)^2}}$$

となる。これに式(46)の $a + \sqrt{a^2 - R_0^2} = R_0^2\sigma_{1D}/a$ を代入すれば

$$(a - f)^2 = d^2 - \frac{d^2 - (R_0 - f)^2}{4(2\sigma_{1D} - 1)} \quad (58)$$

となる。これに式(48)の $a - f$ を代入すれば

$$\left\{ \cos^2 \Psi - \sin^2 \Psi - \frac{1}{4(2\sigma_{1D} - 1)} \right\} (R_0 - f)^2 + 2\sin \Psi \cos \Psi (R_0 - f) \sqrt{d^2 - (R_0 - f)^2} - d^2 \left\{ \cos^2 \Psi - \frac{1}{4(2\sigma_{1D} - 1)} \right\} = 0 \quad (59)$$

が得られ, これは $(R_0 - f)^2$ の2次式なので, 吟味の結果次式が得られる。

$$(R_0 - f)^2 = \frac{(AB + 2d^2 \sin^2 \Psi \cos^2 \Psi) - d^2 \sin \Psi \cos \Psi \sqrt{1/(2\sigma_{1D} - 1)}}{B^2 + 4\sin^2 \Psi \cos^2 \Psi} \quad (60)$$

ただし  $A = d^2 \left\{ \cos^2 \Psi - \frac{1}{4(2\sigma_{1D} - 1)} \right\}$ ,  $B = \cos^2 \Psi - \sin^2 \Psi - \frac{1}{4(2\sigma_{1D} - 1)}$

この式から  $d$ ,  $\Psi$ ,  $\sigma_{1D}$  を指定すれば  $A$ ,  $B$ ,  $R_0-f$  が求まるので, 式(58)より  $a-f$  が求められる。次に式(55)から

$$a = \sigma_{1D} R_0 / \sqrt{2\sigma_{1D} - 1} \quad \dots\dots\dots (61)$$

なので,  $a$  が求まり,  $f$ ,  $R_0$  が次のように求まる。

$$f = \frac{(a-f) - P(R_0-f)}{P-1}, \quad P = \frac{\sigma_{1D}}{\sqrt{2\sigma_{1D}-1}} \quad \dots\dots\dots (62)$$

$$R_0 = (R_0-f) + f, \quad a = (a-f) + f \quad \dots\dots\dots (63), (64)$$

これらの値が求められれば式(32), (33)より  $d^2\varphi_1/d\theta^2$ , 式(46)より  $\phi_D$  が求まる。例えば  $\theta_0 = 32^\circ$  とすれば  $f = 0.035$ ,  $\phi_D = 13.663^\circ$  となり,  $\theta_0 = 33^\circ$  とすれば  $f = -0.0596$ ,  $\phi_D = -22.773^\circ$  となるので  $\phi_D = 15^\circ \sim -15^\circ$  にするには  $\theta_0 = 32^\circ \sim 32.7^\circ$ ,  $\sigma_{1D} = 1.819 \sim 1.862$ ,  $f = 0.0356 \sim -0.0322$ ,  $\phi_D = 13.663^\circ \sim -12.637^\circ$ ,  $|d^2\varphi_1/d\theta^2| = 3.149 \sim 3.097$  となり, 等角加速度になるための  $\theta_0$  の範囲は狭い。図20は  $\Psi = 20^\circ$  と  $30^\circ$  の等角加速度の場合の  $\theta_0$  に対する  $R_0$ ,  $f$ ,  $|d^2\varphi_1/d\theta^2|$ ,  $\phi_D$ ,  $\sigma_{1D}$  を示す。

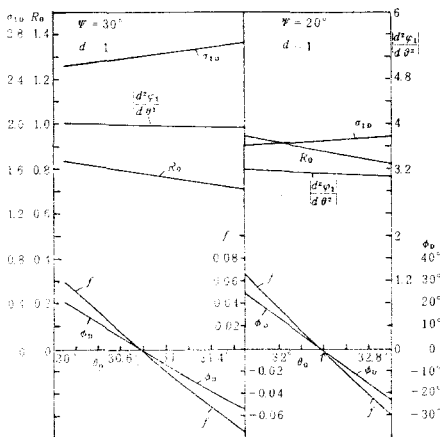


図20  $\Psi = 20^\circ$  と  $30^\circ$  の場合の等角加速度の  $R_0$ ,  $f$ ,  $|d^2\varphi_1/d\theta^2|$ ,  $\phi_D$ ,  $\sigma_{1D}$

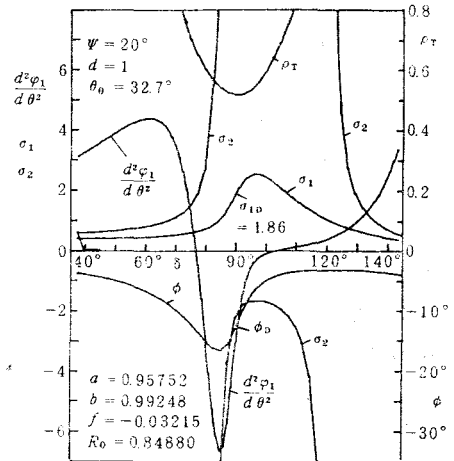


図21 始点と終点の等角加速度

次に  $\Psi = 20^\circ$ ,  $\theta_0 = 32.7^\circ$  のときカムが反時計回りで  $f = -0.03215$ ,  $R_0 = 0.8488$ ,  $a = 0.95752$  の各  $\delta$  に対する  $d^2\varphi_1/d\theta^2$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\phi$  を求めたものを図21に示す。図から  $d^2\varphi_1/d\theta^2_{max} \div -6.6$ ,  $\phi_{max} = 16.5^\circ$ ,  $\sigma_{1max} = 2.5$  となり, 一側の  $d^2\varphi_1/d\theta^2$  が非常に大きくなるので等角加速度の場合は好しくない。

## § 12 $a$ の最大値と $\phi_D$ の指定

12.1  $a$  の最大値 図1から  $a$  の最大値は次式で示される。

$$a < d + f \quad \dots\dots\dots (65)$$

しかし,  $a = d + f$  のときは  $\phi = 90^\circ$  となるので,  $\phi_{max} < 30^\circ$  とすれば  $a$  には押進め角による最大値が存在する。式(40)から

$$\tan\phi_D = \frac{f}{\sqrt{d^2 - (a_{max} - f)^2}} < \tan 30^\circ \quad \dots\dots\dots (66)$$

となり, これから  $a_{max}$  を求めれば次式が得られる。

$$a_{max} = f + \sqrt{d^2 - \frac{f^2}{\tan^2 \phi_D}}, \text{ ただし } f < 0, \phi_D < 0 \dots (67)$$

故に  $\phi_D = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  を与えて  $f = -0.4 \sim 0.3$  に変化させた場合の  $a_{max}$  を式(67)で計算したものを図22に示す。図から  $f$  を負にすれば  $a_{max}$  は小さくなり、 $\phi_D$  を小にするためには  $a_{max}$  を小にせねばならぬ。

12.2  $\phi_D$  の指定  $\Psi, d, \phi_D$  を指定して各  $f$  に対する  $a, R_0$  を求めるために式(47)を  $R_0 - f$  について整理すれば

$$(R_0 - f)^2 + 2 \sin \Psi \sqrt{d^2 - (a - f)^2} (R_0 - f) + d^2 \sin^2 \Psi - (a - f)^2 = 0 \dots (68)$$

となる。しかるに式(66)より次式が得られる。

$$\sqrt{d^2 - (a - f)^2} = f / \tan \phi_D, \quad f < 0, \phi_D < 0 \dots (69)$$

これを式(68)に代入して整理すれば次式が得られる。

$$R_0 - f = \cos \Psi \sqrt{d^2 - f^2 / \tan^2 \phi_D} - f \sin \Psi / \tan \phi_D, \quad f < 0, \phi_D < 0 \dots (70)$$

よって、例えば  $\Psi = 20^\circ, d = 1, \phi_D = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  を指定して各  $f$  に対する  $R_0, a, \sigma_{1D}$  および終点の  $d^2 \varphi_1 / d\theta^2$  を求めたものを図23に示す。図から  $f$  が負の場合大きい程  $R_0, a, d^2 \varphi_1 / d\theta^2$  は小さくなるが、 $\sigma_{1D}$  が増し、 $\phi_D$  が小さい程著しいので、 $\sigma_{1D}$  を指定して  $f$  を選定する必要がある。

例えば  $\Psi = 20^\circ, d = 1, \phi_D = -10^\circ, f = -0.1$  とすれば  $R_0 = 0.47999, a = 0.72363$ , 終点の  $d^2 \varphi_1 / d\theta^2 = -0.955$ ,  $\sigma_{1D} = 3.97$  となり、 $\delta$  に対する  $d^2 \varphi_1 / d\theta^2, \rho_T, \phi, \sigma_1, \sigma_2$  を求めたものを図24に示す。図から  $\phi_{max} \doteq 14^\circ, \sigma_{1max} \doteq 4.5, \delta = 90^\circ$  の  $d^2 \varphi_1 / d\theta^2 \doteq -2$  となる。

もし  $\phi_D = 10^\circ, f = 0.1$  とすれば  $R_0 = 0.67999, a = 0.92363, \sigma_{1D} = 3.093, d^2 \varphi_1 / d\theta^2_{max} = -1.102$  となり、この場合の各  $\delta$  に対する  $d^2 \varphi_1 / d\theta^2, \rho_T, \phi, \sigma_1, \sigma_2$  を図25に示す。図から  $\phi_{max} \doteq 15^\circ, \sigma_{1max} = 3.4, d^2 \varphi_1 / d\theta^2_{max} \doteq -2.5$  となる。両者は余り変らないが後者の方がカムが大となる。

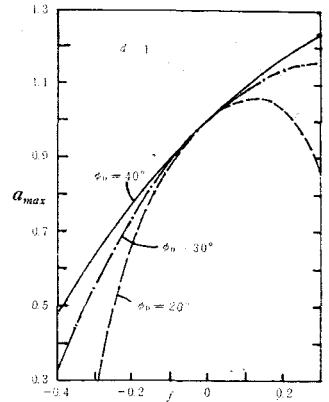


図22  $\phi_D$  を指定した各  $f$  に対する  $a_{max}$

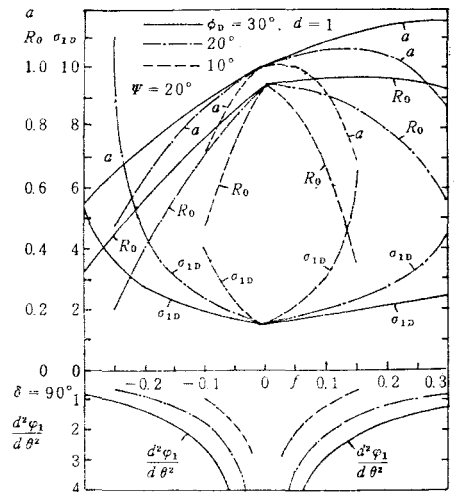


図23  $\phi_D$  の指定による  $R_0, a, \sigma_{1D}, d^2 \varphi_1 / d\theta^2$

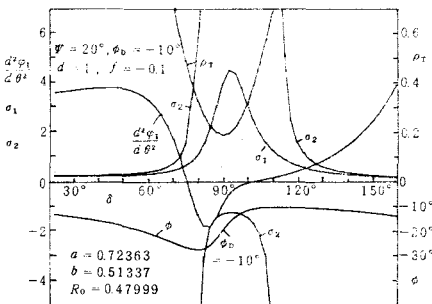


図24  $\phi = -10^\circ, f = -0.1$  の場合

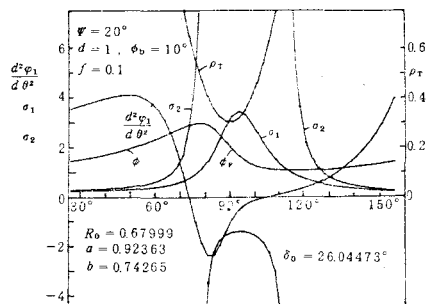


図25  $\phi = 10^\circ, f = +0.1$  の場合

### § 13 カムの輪郭と接触点の軌跡

カムの輪郭は  $R_0$ ,  $a$  が与えられれば, 式(6)より  $b$ , 式(3), (4)より  $R_T$  が求まるので, 式(2)より  $x_T$ ,  $y_T$  を求めればカムの輪郭が得られる。

接触点の軌跡は図1において  $T$  点の座標  $x_T$ ,  $y_T$  を固定座標  $\xi_T$ ,  $\eta_T$  に変換すればよいから次式で得られる。

$$\left. \begin{aligned} \xi_T &= x_T \cos \theta - y_T \sin \theta = R_T \sin (\delta - \theta) \\ \eta_T &= x_T \sin \theta + y_T \cos \theta = R_T \cos (\delta - \theta) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (71)$$

ただし  $\theta$  は式(20)から求められる。

図1の  $K$  点すなわち  $T$  点から  $f$  だけ離れた点の軌跡を  $K$  曲線とし, その座標を  $x_K$ ,  $y_K$  とすれば次式のようなになる。ただし  $\beta$  は式(16)から求める。

$$x_K = x_T - f \sin \beta, \quad y_K = y_T - f \cos \beta \dots \dots \dots (72)$$

図26は前節の  $\psi = 20^\circ$ ,  $d = 1$ ,  $f = -0.1$  と  $+0.1$  の場合のカムの輪郭を示す。図から  $f = -0.1$  の場合がカムが小さくなる。

図27, 28, 29, 30はそれぞれ図8, 13, 15, 21のデータのカムの輪郭と接触点の軌跡を示す。図30以外はいずれも良好である。

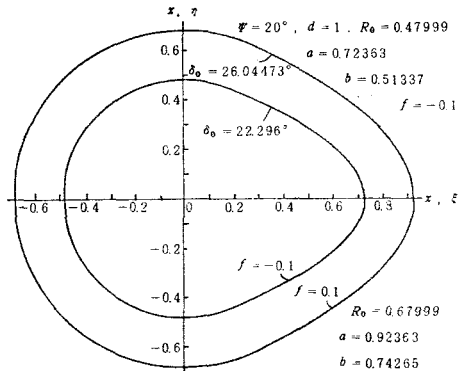


図26  $\psi = 20^\circ$ ,  $d = 1$ ,  $f = -0.1$  と  $+0.1$  とのカムの輪郭

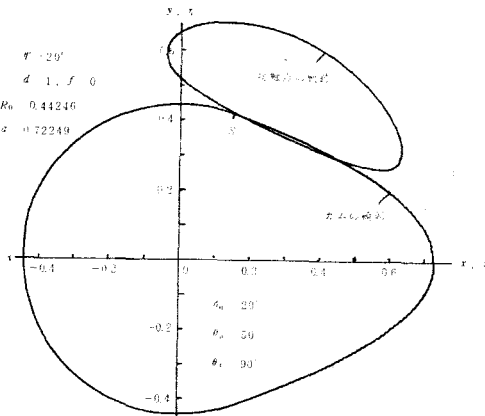


図27 図8のカムの輪郭と接触点の軌跡

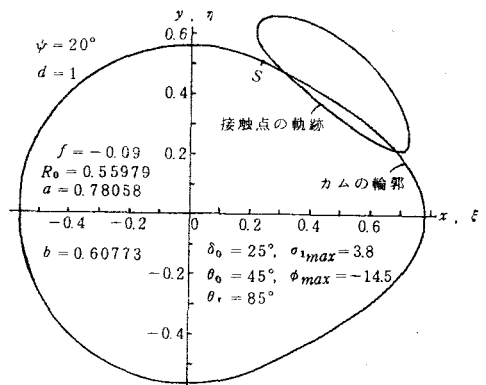


図28 図13のカムの輪郭と接触点の軌跡

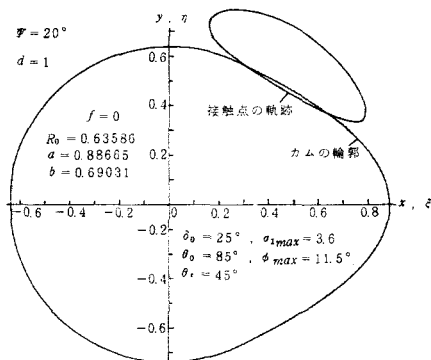


図29 図15のカムの輪郭と接触点の軌跡

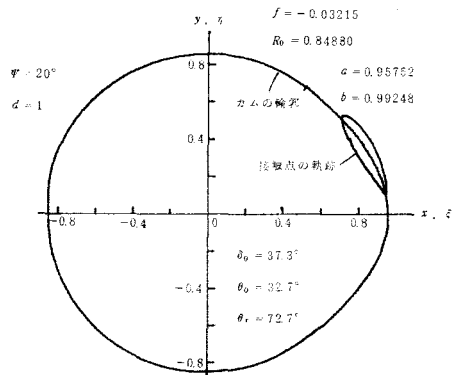


図30 図21のカムの輪郭と接触点の軌跡

## § 14 結 言

以上によりこの種のカムの研究の結果次の結論が得られた。

(1)カムを従動節に対し、内側に回転する方が往き行程が戻り行程より長くなって良好であり、その場合  $f$  を + 側にとった方が効率がよい。(2)往きと戻りの両行程のカムの回転角の差は揺動角の2倍に等しい。(3)放物線の頂点のカムの滑り率が近似的に最大となり、揺動角とカムの回転角で定まるので、作用角の大きさに限度がある。(4) $\phi_D$ ,  $\psi$ ,  $f$  を指定して,  $R_0$ ,  $a$  を求めることができ、最良のカムが設計できる。(5)往き行程の始点と終点の角加速度を等しくしても途中で角加速度が大となるので等角加速度の場合使用できぬ。(6)従動節の滑り率は接触の両端で無限大となるが、途中ではほぼ一定で良好である。

以上の研究において本校学生粟田国彦、槇寛両君の協力を得た。

## 文 献

- 1) 糸島寛典：揺動正放物線カムの研究（第1報），一円弧従動節一，呉高専研究報告，13—2，1978
- 2) 糸島寛典：往復正放物線カムの研究（第1報），一円弧従動節一，呉高専研究報告，13—1，1977
- 3) 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10月15日受付）

# 往復正放物線カムの研究 (第2報)

— 平 板 従 動 節 —

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Parabolic Profile Cam  
with a Reciprocating Follower (Report 2)  
—Flat Plate Follower—

Hironori ITOSHIMA

In the first report, the motion of an offset reciprocating follower with a circular arc to be driven by a parabolic profile cam was analysed, and the pressure angle, the offset and the specific sliding was examined.

In this paper, the parabolic cam and the reciprocating follower with a inclined flat plate are examined, and the motion, the inclined angle and the specific sliding are analysed.

If the lift of the follower, the acceleration at the starting point, the maximum specific sliding of the cam at the dwell point and the friction coefficient are specified, then the radius of the base circle and the inclined angle are decided. Thus each size of the best cam can be designed.

## § 1 緒 言

前報<sup>1)</sup>において放物線をカムの輪郭とする円弧あるいはローラをもつ往復かたより従動節の運動並びに押進め角, 滑り率について論じ, 最大押進め角, 最大加速度, カムの最大滑り率を指定して最良のカムの設計を行った。

本報においては同じ放物線カムに対し, 任意の傾斜角をもつ往復平板従動節の運動 (変位, 速度, 加速度) を前報と同様にカム上の位置を示すパラメーター  $\delta$  を用いて解析し, 更にカムの曲率半径, 滑り率等を求めて, それらの最大値を調べ, 最大加速度, カムの最大滑り率が低くなるように往き行程の始点あるいは終点の最大加速度, カムの最大滑り率, 最大押進め角を指定して, このカム機構の最適寸法を定める。

## § 2 記 号

$a$  : カムの回転中心と放物線の頂点迄の長さ  
 $b$  : カムの中心から放物線迄の  $\gamma$  軸上の長さ  
 $R_0$  : 基礎円の半径  
 $R_T$  : 放物線の半径

$\alpha$  : 平板の傾斜角  
 $H$  : 従動節のリフト  
 $\delta$  :  $\gamma$  軸とカムの半径のなす角  
 $\delta_0$  : 運動の始点における  $\delta$

$\theta$  : カムの回転角

$\theta_0$  : 往き行程のカムの回転角

$\theta_r$  : 戻り行程のカムの回転角

$\rho_T$  : カムの曲率半径

$h$  : 従動節の変位

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

$d^2h/d\theta^2$  : 従動節の加速度  $= \omega^2 d^2h/d\theta^2$

$k$  : 始点におけるカムの中心の高さ

$\omega$  : カムの角速度

$s$  : 接点の平板上の距離

$\sigma_1$  : カムの滑り率

$\sigma_2$  : 従動節の滑り率

$\beta$  :  $x$  軸と平板のなす角

$P$  : 始点の  $d^2h/d\theta^2$

### § 3 放物線カムの機構の運動

図1に示す機構は中心  $O$ 、半径  $R_0$  の基礎円に点  $C$ 、 $D$  で接する放物線  $CAD$  をもつカムが点  $O$  を回転中心として反時計回りに  $\omega$  の角速度で回転し、傾斜角  $\alpha$  をもつ平板従動節が上下に往復動している。

$O$  点を原点とし従動節の行程線に平行に  $\eta$  軸、これと直角に  $\xi$  軸を取り、 $\eta$  軸と平板の交点を  $M$  とす。放物線の頂点を  $A$  とし、 $OA$  を  $x$  軸、これと直角に  $y$  軸を取り、この座標をカム上に固定し、回転  $xy$  座標とする。 $x$  軸と  $\xi$  軸の交角を  $\theta$  とすれば、 $\theta$  はカムの回転角となる。

カムと従動節の接点を  $T$  とし、 $OT$  の長さを  $R_T$  で示し、 $OT$  が  $y$  軸となす角を  $\delta$  とし、運動の始点  $C$  における  $\delta$  を  $\delta_0$  とすれば、 $OC = R_0$  であり、放物線と  $y$  軸の交点を  $B$  とし、 $OB = b$  とすれば、前報<sup>1)</sup>により放物線の式と  $T$  点の座標  $x_T, y_T$  は次式で示される。

$$ay_T^2 = b^2(a - x_T)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

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

式(2)を式(1)に代入して  $R_T$  を求めれば吟味の結果次式が得られる。

$$R_T = \frac{2ab}{\sqrt{A + b \sin \delta}}, \quad A = 4a^2 \cos^2 \delta + b^2 \sin^2 \delta \quad \dots\dots\dots (3), (4)$$

$x$  軸と平板のなす角を  $\beta$  とすれば、 $\beta$  は式(1)を  $x$  で微分して

$$dy/dx = -b^2/(2ay_T) = -\tan \beta \quad \dots\dots\dots (5)$$

が得られ、接点  $T$  が始点  $C$  にあるときは  $\delta = \delta_0$ ,  $R_T = R_0$ ,  $\beta = \delta_0$  となるので式(5)より

$$\sin \delta_0 = \frac{b^2}{2aR_0} = \frac{a - \sqrt{a^2 - R_0^2}}{R_0}, \quad \cos \delta_0 = \frac{\sqrt{4a^2 R_0^2 - b^4}}{2aR_0} \quad \dots\dots\dots (6), (7)$$

が得られるので、これを式(3), (4)に代入して  $R_0$  と  $b$  を求めれば

$$R_0 = b\sqrt{4a^2 - b^2}/2a, \quad b = \sqrt{2a(a - \sqrt{a^2 - R_0^2})} \quad \dots\dots\dots (8), (9)$$

が得られ、式(9)を式(6)に代入して  $\delta_0$  を変形しておく。

**3.1 カムの回転角とリフト** 図1において従動節の平板が始点  $C$  と接触する場合は従動節が最低の位置にくる。そのときの  $\eta$  軸上の  $OM = k$  とし、 $\theta$  を  $\theta_0$  とすれば次式が得られる。 $\alpha$  は平板の傾斜角である。

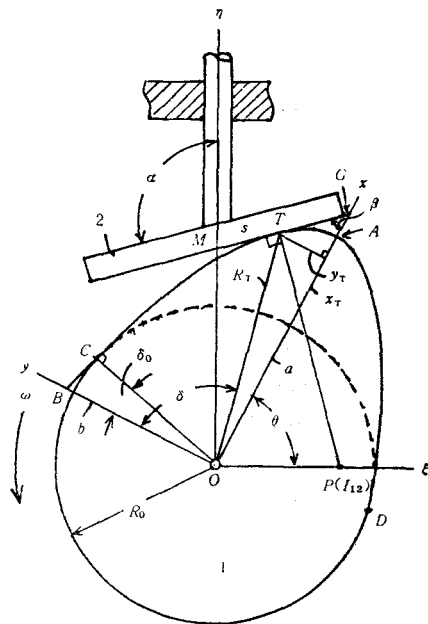


図1 傾斜平板従動節をもつ正放物線カム

$$k=R_0/\sin\alpha, \theta_c=\alpha-(90^\circ-\delta_0)\cdots\cdots(10), (11)$$

次に平板が放物線の頂点  $A$  と接触する場合は従動節は最高の位置にくる。そのときの  $OM$  を  $k+H$  で示せば  $H$  は従動節のリフトとなる。またそのときの  $\theta$  を  $\theta_A$  とすれば

$$k+H=a/\sin\alpha, \theta_A=\alpha\cdots\cdots(12), (13)$$

となるので、リフト  $H$  は式(12)、(10)から次式で示される。

$$H=(a-R_0)/\sin\alpha\cdots\cdots(14)$$

次に平板が戻り行程の終点  $D$  で接する場合は

$$\theta_D=90^\circ+\alpha-\delta_0\cdots\cdots(15)$$

となるので、カムの往きと戻り行程の回転角をそれぞれ  $\theta_o$ ,  $\theta_r$  とすれば次式のように等しくなる。

$$\theta_o=\theta_A-\theta_c=90^\circ-\delta_0, \theta_r=\theta_D-\theta_A=90^\circ-\delta_0\cdots\cdots(16)$$

**3.2 従動節の変位** 図1において  $x$  軸と平板の交点を  $G$  とすれば  $\triangle GMO$  において  $\angle GMO=\alpha$  から、カムの回転角  $\theta$  は

$$\theta=\alpha+\beta-90^\circ\cdots\cdots(17)$$

となるが、 $\beta$  を含むので、 $\beta$  については戻り行程で十分吟味する必要がある。 $T$  点の  $\xi$  座標  $\xi_T$ ,  $\eta_T$  を求めれば

$$\xi_T=x_T\cos\theta-y_T\sin\theta=R_T\sin(\delta-\theta), \eta_T=x_T\sin\theta+y_T\cos\theta=R_T\cos(\delta-\theta)\cdots\cdots(18), (19)$$

となる。次に  $MT$  の長さを  $s$  で示せば、

$$s=\xi_T/\sin\alpha=(x_T\cos\theta-y_T\sin\theta)/\sin\alpha\cdots\cdots(20)$$

となる。故に  $OM=\eta_M$  とすれば

$$\eta_M=\eta_T+s\cos\alpha=(\eta_T\sin\alpha+\xi_T\cos\alpha)/\sin\alpha\cdots\cdots(21)$$

となるので、従動節の変位  $h$  は式(21)、(10)より次式のように求められる。

$$h=\eta_M-k=\frac{x_T\cos(\alpha-\theta)+y_T\sin(\alpha-\theta)}{\sin\alpha}-\frac{R_0}{\sin\alpha}\cdots\cdots(22)$$

**3.3 従動節の速度** 式(22)を時間  $t$  で微分すれば、従動節の速度が得られるが、その前に式(3)、(2)の  $R_T$ ,  $x_T$ ,  $y_T$  を  $\theta$  で微分すれば次式が得られる。

$$\frac{dR_T}{d\theta}=M\frac{d\delta}{d\theta}, M=R_T^2\frac{(4a^2-b^2)\sin\delta-b_1\sqrt{A}}{2ab\sqrt{A}}\cos\delta\cdots\cdots(23), (24)$$

$$\frac{dx_T}{d\theta}=(M\sin\delta+R_T\cos\delta)\frac{d\delta}{d\theta}, \frac{dy_T}{d\theta}=(M\cos\delta-R_T\sin\delta)\frac{d\delta}{d\theta}\cdots\cdots(25), (26)$$

$d\delta/d\theta$  を求める必要があるが、式(17)より  $d\beta/d\theta=1$ 、式(5)の  $\tan\beta=b^2/2ay_T$  を  $\theta$  で微分し、式(26)を代入すれば次式のようになる。

$$\frac{d\delta}{d\theta}=-\frac{4a^2y_T^2+b^4}{2ab^2(M\cos\delta-R_T\sin\delta)}\cdots\cdots(27)$$

よって従動節の速度  $dh/dt=\omega dh/d\theta$  から  $dh/d\theta$  は次式のように式(22)を  $\theta$  で微分し、式(23)を代入して次のように求められる。

$$\frac{dh}{d\theta}=\frac{1}{\sin\alpha}\left[M\sin(\delta+\alpha-\theta)\frac{d\delta}{d\theta}+R_T\cos(\delta+\alpha-\theta)\left(-\frac{d\delta}{d\theta}-1\right)\right]\cdots\cdots(28)$$

**3.4 従動節の加速度** 加速度は  $d^2h/dt^2 = \omega^2 d^2h/d\theta^2$  だから式(28)を  $\theta$  で微分して求められるが、それには式(4), (24), (27)の  $A$ ,  $M$ ,  $d\delta/d\theta$  を  $\theta$  で微分しておく必要があるので微分すれば次式のようになる。

$$\frac{dA}{d\theta} = -2(4a^2 - b^2) \sin \delta \cos \delta \frac{d\delta}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$\begin{aligned} \frac{dM}{d\theta} = N \frac{d\delta}{d\theta}, \quad N = \frac{R_T}{2abA} \left\{ (2M \cos \delta - R_T \sin \delta) \left\{ \sqrt{A} (4a^2 - b^2) \sin \delta - bA \right\} \right. \\ \left. + \sqrt{A} R_T (4a^2 - b^2) \cos^2 \delta + \frac{(4a^2 - b^2)^2}{\sqrt{A}} R_T \sin^2 \delta \cos^2 \delta \right\} \quad \dots\dots\dots (30) \end{aligned}$$

$$\frac{d^2\delta}{d\theta^2} = \frac{-1}{2ab^2} \left\{ 8a^2 y_T - \frac{(4a^2 y_T^2 + b^4)(N \cos \delta - 2M \sin \delta - R_T \cos \delta)}{(M \cos \delta - R_T \sin \delta)^2} \right\} \frac{d\delta}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (31)$$

よって、式(28)を  $\theta$  で微分し、前式を代入すれば  $d^2h/d\theta^2$  は次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{1}{\sin \alpha} \left\{ N \sin(\delta + \alpha - \theta) \left( \frac{d\delta}{d\theta} \right)^2 + 2M \cos(\delta + \alpha - \theta) \frac{d\delta}{d\theta} \left( \frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right) \right. \\ \left. - R_T \sin(\delta + \alpha - \theta) \left( \frac{d\delta}{d\theta} - 1 \right)^2 + \{ M \cos(\delta + \alpha - \theta) + R_T \cos(\delta + \alpha - \theta) \} \frac{d^2\delta}{d\theta^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (32) \end{aligned}$$

**3.5 始点と終点の加速度** カムの往き行程の始点  $C$  と終点  $A$  における  $d^2h/d\theta^2$  は上式にそれぞれ  $\delta = \delta_0$ ,  $\delta = 90^\circ$  を代入すれば求まる。複雑な計算の後に次式が得られた。

$$\text{始点} \quad \delta = \delta_0, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{2R_0(2a^2 - b^2)}{b^2 \sin \alpha} \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$\text{終点} \quad \delta = 90^\circ, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = -\frac{2a^2 - b^2}{2a \sin \alpha} \quad \dots\dots\dots (34)$$

**3.6 計算例** 例えば  $H=1$ ,  $\alpha=90^\circ$ ,  $R_0=2$ ,  $a=3$  を与えて上式より計算すれば  $b=2.14093$ ,  $\delta_0=22.45552^\circ$  となる。更に上式より各  $\delta$  に対し  $h$ ,  $dh/d\theta$ ,  $d^2h/d\theta^2$  を  $\theta$  を横軸にして示せば図2が得られる。加速度を調べれば始点の値が非常に大きく  $d^2h/d\theta^2 \doteq 12$ , 終点の  $d^2h/d\theta^2 = -2.2$  となり、始点で極端に大きいので、この値を小さくすることを考えねばならぬが、一般にこのような加速度線図は高速カムに不向きである。

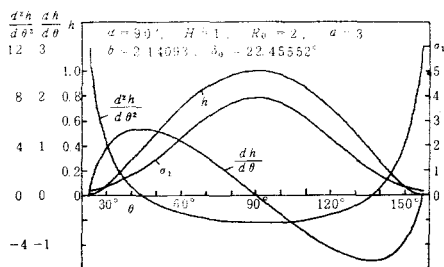


図2 従動節の  $h$ ,  $dh/d\theta$ ,  $d^2h/d\theta^2$

図3は  $H=1$ ,  $\alpha=90^\circ, 60^\circ, 120^\circ$  で  $R_0=0.5 \sim 6$  の往き行程の始点と終点の  $d^2h/d\theta^2$  を示す。終点のそれは  $R_0$  の増加と共に増加するが、始点のそれは急減の後に極小値をとり、再び増加し、 $\alpha$  を変えても減少せず、最適の  $R_0=1.5 \sim 2.5$  が存在する。 $R_0$  が増加するに従い  $a$  は直線的に増加する。 $\theta_0$  については後述する。

#### §4 カムの曲率半径と滑り率

放物線の曲率半径  $\rho$  は次の曲率半径の一般公式

$$\rho = \frac{\{1 + (dy/dx)^2\}^{3/2}}{d^2y/dx^2} \dots\dots\dots (35)$$

より，式(1)を  $x$  で微分して代入すれば次式のようになる。

$$\rho_T = \frac{(4a^2 R_0^2 \cos^2 \delta + b^4)^{3/2}}{2ab^4} \dots\dots\dots (36)$$

図1において接触点  $T$  よりカムの輪郭に法線を引き  $\xi$  軸の交点を  $P$  とすれば， $P$  は瞬間中心  $I_{12}$  であるので， $OP = dh/d\theta$  となり，これから  $\overline{TP}$  は次式のように求められる。

$$\overline{TP} = \sqrt{\eta_T^2 + (dh/d\theta - \xi_T)^2} \dots\dots\dots (37)$$

カムと従動節の滑り率を  $\sigma_1$ ， $\sigma_2$  とすれば前報<sup>2)</sup>より

$$\sigma_1 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T}, \quad \sigma_2 = \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \dots\dots\dots (38), (39)$$

となる。終点のカムと従動節の滑り率を  $\sigma_{1A}$ ， $\sigma_{2A}$  とすれば， $\delta = 90^\circ$  で式(36)から  $\rho_T = b^2/2a$ ，式(37)から  $\overline{TP} = a$  となるから

$$\sigma_{1A} = \frac{2a^2}{b^2}, \quad \sigma_{2A} = \frac{2a^2}{b^2 - 2a^2} \dots\dots\dots (40), (41)$$

#### 4.1 計算例

図4は図2のデータで  $\rho_T$ ， $\sigma_1$ ， $\sigma_2$  を計算し， $\delta$  を横軸に描いたもので，放物線は頂点  $A$  で  $\sigma_1$  が最大となる。図3に各  $R_0$  に対する  $\sigma_{1A}$  を示す。 $R_0$  の増加と共に急減し， $R_0 > 3$  で  $\sigma_{1A}$  は  $3 \sim 2$  となるので  $\sigma_{1A}$  について言えば  $R_0 > 2$  であればよい。 $\alpha$  を  $90^\circ$  以外にすれば僅かに小となる。

#### §5 リフトの指定と作用角の指定

従動節のリフト  $H$  を指定すれば， $a$  は式(14)より次式となる。

$$a = R_0 + H \sin \alpha \dots\dots\dots (42)$$

作用角を指定することは  $\theta_0$ ， $\theta_r$  を指定することなので，式(16)から  $\delta_0 = 90^\circ - \theta_0$  となり，これを式(6)に代入すれば次式が得られる。

$$a = R_0(1 + \cos^2 \theta_0) / (2 \cos \theta_0) \dots\dots\dots (43)$$

式(42)と式(43)の右辺を等しいとおいて， $R_0$  を求め，それを式(43)に代入すれば

$$R_0 = \frac{2 \cos \theta_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \theta_0)^2} H, \quad a = \frac{(1 + \cos^2 \theta_0) \sin \alpha}{(1 - \cos \theta_0)^2} H \dots\dots\dots (44), (45)$$

となる。この両式に式(9)を代入して  $b$  を求め，さらに式(33)，(34)に代入して  $d^2h/d\theta^2$  を求めれば次式を得る。

$$b = 2H \cos \theta_0 \sqrt{1 + \cos^2 \theta_0 \sin \alpha} / (1 - \cos \theta_0)^2 \dots\dots\dots (46)$$

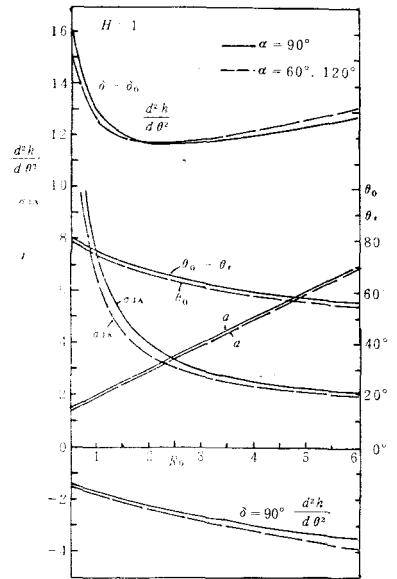


図3  $R_0$  の変化による終点の  $d^2h/d\theta^2$

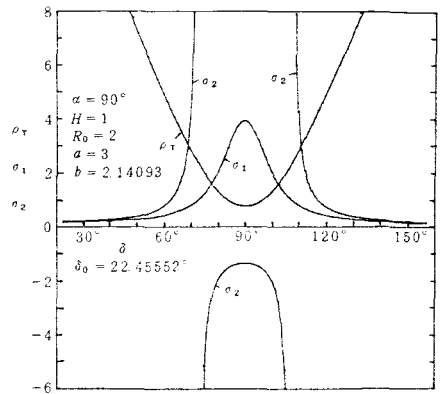


図4 図2のデータによる  $\rho_T$ ， $\sigma_1$ ， $\sigma_2$

$$\text{終点 } \delta = \delta_0, \quad \frac{d^2 h}{d\theta^2} = \frac{2H(1 + \cos\theta_0)}{\cos\theta_0(1 - \cos\theta_0)}, \quad \text{終点 } \delta = 90^\circ, \quad \frac{d^2 h}{d\theta^2} = -\frac{H(1 + \cos\theta_0)}{1 - \cos\theta_0} \dots\dots(47), (48)$$

さらに式(40)に代入すれば  $\theta_0$  を指定したときの  $\sigma_{1A}$  は次式のように求まる。

$$\sigma_{1A} = (1 + \cos\theta_0)/(2\cos^2\theta_0) \dots\dots\dots(49)$$

例えば  $\alpha = 90^\circ$ ,  $H = 1$ ,  $\theta_0 = 50^\circ \sim 80^\circ$  とした場合の  $R_0$ ,  $a$ ,  $d^2 h/d\theta^2$  を表1と図5に示す。図から始点の  $d^2 h/d\theta^2$  にはこれを極小にする  $\theta_0$  が存在することがわかる。

表1  $\alpha = 90^\circ$ ,  $H = 1$

$\theta_0$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$80^\circ$	$65.5302^\circ$
$R_0$	10.07502	4	1.58001	0.50859	2.41421
$a$	11.07502	5	2.58001	1.50859	3.41421
$\frac{d^2 h}{d\theta^2}$	14.30928	12	11.9268	16.35810	11.65685
	-4.59892	-3	-2.09961	-1.42028	-2.41421
$\sigma_{1A}$	1.7101	2.5	4.7743	17.0817	3.414

5.1 始点の加速度を極小にする  $\theta_0$  式(47)を  $\theta_0$  で微分し  
零とおけば

$$-\sin\theta_0 \cos\theta_0 (1 - \cos\theta_0) - (1 + \cos\theta_0) \{ -\sin\theta_0 (1 - \cos\theta_0) + \cos\theta_0 \sin\theta_0 \} = 0$$

となり、これから

$$\cos\theta_0 = \sqrt{2} - 1 = 0.4142135 \dots\dots\dots(50)$$

となるので  $\theta_0 = 65.5302^\circ$  のとき始点の  $d^2 h/d\theta^2 = 11.6585H$ , 終点の  $d^2 h/d\theta^2 = -2.41421H$  となり, 始点のそれが極小となる。式(50)を式(44), (45), (49)に代入して  $R_0$ ,  $a$ ,  $\sigma_{1A}$  を求めたものを表1に示す。

図5において  $\theta_0$  が小さい程  $R_0$  が大きく,  $\sigma_{1A}$  が小さくなることがわかる。  $\cos\theta_0 = \sqrt{2} - 1$  の  $\sigma_{1A}$  は 3.414で最適である。 $\alpha$  の値に無関係である。

式(44)から  $\theta_0$  を求めれば吟味の結果次式が得られる。

$$\cos\theta_0 = 1 + \frac{H \sin\alpha}{R_0} - \sqrt{\frac{H \sin\alpha}{R_0} \left( 2 + \frac{H \sin\alpha}{R_0} \right)} \dots\dots\dots(51)$$

この式は  $H$ ,  $\alpha$ ,  $R_0$  を指定した場合の作用角  $\theta_0$  を示す。この式には  $\sin\alpha$  が関係するので  $\alpha$  が  $90^\circ$  より同じ値だけ増減しても  $\theta_0$  に変化のないことがわかる。図3には式(51)より得られた  $\theta_0$  を示す。 $\alpha = 60^\circ$  と  $120^\circ$  は一致し,  $R_0$  の増加により  $\theta_0$  は減少する。

## §6 カムの最大滑り率の指定

カムの滑り率は行き行程の終点Aすなわちカムの頂点で最大となるので,  $\sigma_{1A}$  を指定してカムの設計を行う。式(40)の  $b$  に式(9)を代入して,  $a$  に式(42)を代入すれば次のような  $R_0$  の2次式となる。

$$\{ (2\sigma_{1A} - 1) - \sigma_{1A}^2 \} R_0^2 + 2(2\sigma_{1A} - 1)H \sin\alpha R_0 + (2\sigma_{1A} - 1)H^2 \sin^2\alpha = 0$$

これから  $R_0$  を吟味して求めれば次式が得られる。

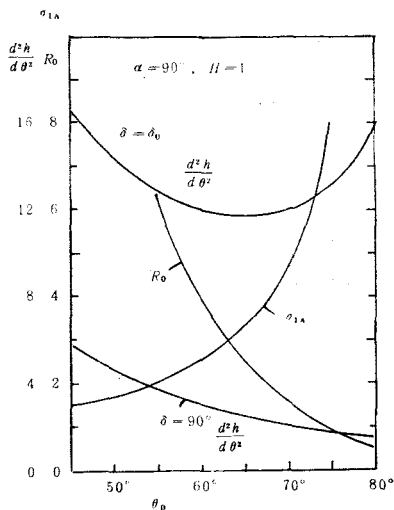


図5  $H$ ,  $\alpha$ ,  $\theta_0$  を指定した  $R_0$ ,  $d^2 h/d\theta^2$ ,  $\sigma_{1A}$

$$R_0 = \frac{(2\sigma_{1A}-1) + \sigma_{1A}\sqrt{2\sigma_{1A}-1}}{(\sigma_{1A}-1)^2} H \sin \alpha$$

$$= \frac{\sqrt{2\sigma_{1A}-1}}{\sigma_{1A}-\sqrt{2\sigma_{1A}-1}} H \sin \alpha \dots (52)$$

式(49)より $\theta_0$ を $\sigma_{1A}$ で示せば次式が得られる。

$$\cos \theta_0 = 1/\sqrt{2\sigma_{1A}-1} \dots (53)$$

これを式(45), (46)に代入すれば $a, b$ は次式のようにになる。

$$a = \frac{\sigma_{1A} H \sin \alpha}{\sigma_{1A} - \sqrt{2\sigma_{1A}-1}},$$

$$b = \frac{\sqrt{2\sigma_{1A}-1}}{\sigma_{1A} - \sqrt{2\sigma_{1A}-1}} \dots (54), (55)$$

図6は $H=1, \alpha=90^\circ, 60^\circ, 120^\circ, \sigma_{1A}=2\sim 8$ を与えて式(52)より $R_0$ を求め、式(54)より $a$ 、式(55)より $b$ を求め、式(33), (34)より始点と終点の $d^2h/d\theta^2$ を求め、更に式(53)より $\theta_0$ を求めたものを示す。図から $\sigma_{1A}=3\sim 4$ のあたりが $R_0=2\sim 3, \theta_0=64^\circ\sim 68^\circ$ となって最良と思われる。 $\alpha$ は $90^\circ$ 以外は $R_0$ が小となる。

## §7 角加速度の指定

図3において $H, \alpha$ を指定し、各 $R_0$ に対する始点と終点の $d^2h/d\theta^2$ を比較すれば、始点のそれが終点に比して大きく、しかも極小値が存在するので、始点の極小の $d^2h/d\theta^2$ とそのときの $R_0$ を求める。

7.1 始点の $d^2h/d\theta^2$ の極小値 式(33), (42), (9)より始点の $d^2h/d\theta^2, a, b$ は次式で示される。

$$\delta = \delta_0, d^2h/d\theta^2 = 2R_0(2a^2 - b^2)/(b^2 \sin \alpha), a = R_0 + H \sin \alpha, b^2 = 2a(a - \sqrt{a^2 - R_0^2})$$

$d^2h/d\theta^2$ の $R_0$ に対す極小値を求めるために $d(d^2h/d\theta^2)/dR_0 = 0$ とすれば

$$b(2a^2 - b^2) + 4abR_0 da/dR_0 = 4a^2 R_0 db/dR_0 \dots (56)$$

が得られる。しかるに式(42), (9)から

$$\frac{da}{dR_0} = 1, \frac{db}{dR_0} = \frac{2a}{b} - \frac{2a^2 - R_0^2 - aR_0}{b\sqrt{a^2 - R_0^2}} \dots (57), (58)$$

となるので、この両式を前式に代入して整理し、更に式(42)を用いれば

$$R_0 = a/\sqrt{2}, R_0 = (\sqrt{2} + 1)H \sin \alpha \dots (59), (60)$$

$$a = (2 + \sqrt{2})H \sin \alpha, b^2 = 2(2 + \sqrt{2})H^2 \sin^2 \alpha \dots (61), (62)$$

が得られるので、これを式(33)に代入すれば極小値は

$$\delta = \delta_0, \frac{d^2h}{d\theta^2}_{min} = 2(3 + 2\sqrt{2})H = 11.65685H \dots (63)$$

となり、 $\alpha$ に無関係である。

7.2 始点の $d^2h/d\theta^2$ の指定 始点の $d^2h/d\theta^2$ を指定して $R_0$ を求める。

$$\delta = \delta_0, d^2h/d\theta^2 = 2R_0(2a^2 - b^2)/(b^2 \sin \alpha) = P \dots (64)$$

とおき、式(42), (9)の $a, b$ をこれに代入すれば $R_0$ の2次式が得られる。

$$8HR_0^2 - \sin \alpha(P^2 - 8HP - 4H^2)R_0 + 4PH^2 \sin^2 \alpha = 0 \dots (65)$$

これから、 $R_0$ を求めれば

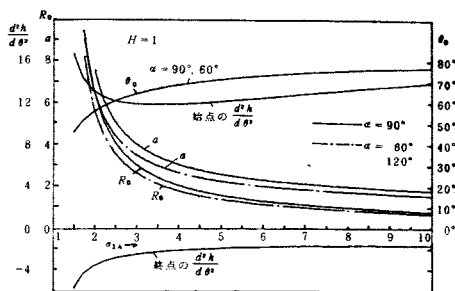


図6  $H, \alpha$ を指定し、各 $\sigma_{1A}$ に対する $R_0, a, \theta_0$ と $d^2h/d\theta^2$

$$R_0 = \frac{\sin \alpha}{16H} \left\{ (P^2 - 8HP - 4H^2) \pm \sqrt{(P^2 - 8HP - 4H^2)^2 - 128PH^3} \right\} \dots\dots\dots (66)$$

となり、 $P$  を指定して  $R_0$  の2根が得られる。これを図7に示す。今式(63)の  $P = 2(3 + 2\sqrt{2})H$  を上式に代入すれば平方根の中が零となり、 $R_0 = (\sqrt{2} + 1)H \sin \alpha$  となる。図7は  $\alpha = 60^\circ \sim 90^\circ$  の  $R_0$  を示す。

**7.3 終点の  $d^2h/d\theta^2$  の指定** 終点の  $d^2h/d\theta^2$  を  $-Q$  とおき、 $Q$  を指定して  $R_0$ ,  $a$ ,  $b$  を求めるには式(34)から

$$\delta = 90^\circ, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = -\frac{2a^2 - b^2}{2a \sin \alpha} = -Q \dots\dots\dots (67)$$

とおき、これに式(42), (9)の  $a$ ,  $b$  を代入すれば

$$R_0 = \frac{Q^2 - H^2}{2H} \sin \alpha, \quad a = \frac{Q^2 + H^2}{2H} \sin \alpha \dots\dots\dots (68), (69)$$

$$b = \frac{(Q - H)\sqrt{Q^2 + H^2}}{\sqrt{2}H} \sin \alpha \dots\dots\dots (70)$$

が得られる。

## § 8 平板従動節の傾斜角の指定

図3から明らかなように  $\alpha$  が  $90^\circ$  より増減することにより、 $R_0$  を小さくすることができるが、 $\alpha$  は図1から押進め角に関係する。

図8において  $\alpha < 90^\circ$  とし、カムのトルク  $= OT \times \overrightarrow{TT'}$  で、接触点  $T$  の法線上の圧力を  $N$ 、カムの角速度  $\omega$  を反時計回りとすれば  $\mu N$  ( $\mu$  は摩擦係数) は摩擦抵抗力となる。 $N$  と  $\mu N$  の合力を  $F$  とすれば、 $F$  の  $TT'$  方向の分力が  $TT'$  となる。 $F$  の  $\eta$  軸方向の分力  $F_1$  は従動節を上昇さす力となり、 $\xi$  軸方向の分力  $F_2$  は従動節を曲げる力となる。2力  $N$ ,  $F$  のなす角は  $\rho = \tan^{-1} \mu$  で、 $F_1$  と  $N$  のなす角  $\phi$  は押進め角である。図から

$$\phi = 90^\circ - \alpha, \quad F_2 = F \sin(\rho - \phi) =$$

$$F \sin(\rho + \alpha - 90^\circ) \dots\dots\dots (71), (72)$$

が得られるので、 $F_2$  を零にするためには

$$\phi = \rho, \quad \alpha = 90^\circ - \tan^{-1} \mu = 90^\circ - \rho \dots\dots\dots (73)$$

となり、 $\alpha$  を  $\rho$  だけ  $90^\circ$  より小さくすれば  $F_2 = 0$  となり、従動節に曲げる力が働かないので運動が滑らかになる。 $\alpha > 90^\circ$  の場合は  $F_2 = F \sin(\rho + \phi)$  となり、 $F_2$  が大きくなってよくない。

$\mu = 0.1 \sim 0.3$  とすれば  $\rho = 5.71^\circ \sim 16.7^\circ$  となり、 $\alpha = 84.29^\circ \sim 73.3^\circ$  とすればよい。カムの接触面のあらさが大きく、 $\mu$  が大きい程  $\alpha$  を  $90^\circ$  より小さくするのがよい。戻り行程では  $F_2$  の影響は小さい。

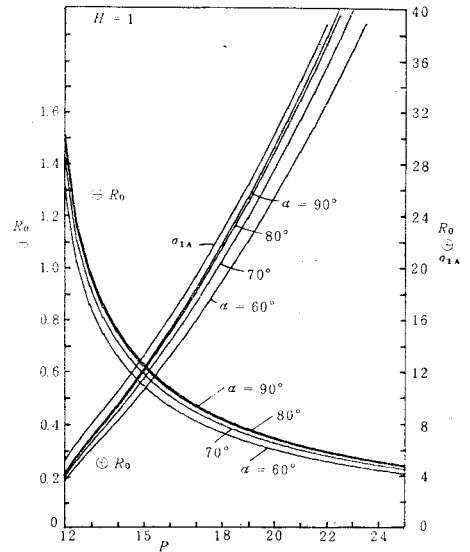


図7 始点の  $d^2h/d\theta^2 = P$  を指定した  $R_0$

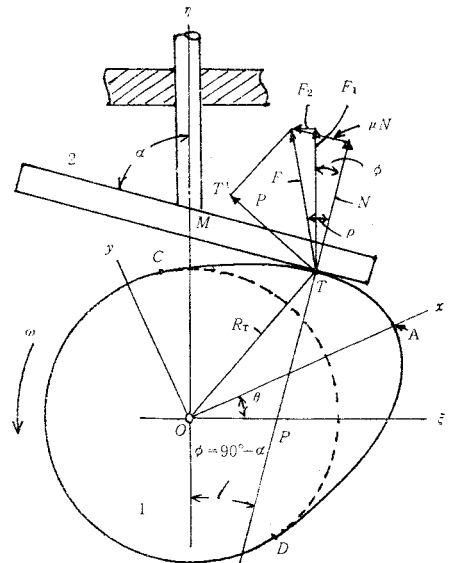


図8 往復平板従動節の摩擦力

## § 9 実例による従動節の運動と $\rho_T$ , $\sigma_1$ , $\sigma_2$ とカムの輪郭

9.1  $\theta_0 = 60^\circ$ を指定した場合  $\alpha = 90^\circ$ のときは表1から  $R_0 = 4$ ,  $a = 5$ ,  $\sigma_{1A} = 2.5$ , 始点と終点の  $d^2h/d\theta^2 = 12$ ,  $-3$  となり,  $\theta$  を横軸に従動節の運動と  $\sigma_1$  を図9に示す。図2と同様に始点の加速度が最大である。図10は  $\delta$  に対する  $\rho_T$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  を示し, 図11は従動節の平板上の各接触点の  $\sigma_2$  を示す。接触の両端で  $\sigma_2$  は無限となるが, 途中はほぼ一様で良好である。図12はこの場合のカムの輪郭と接触点の軌跡を示す。

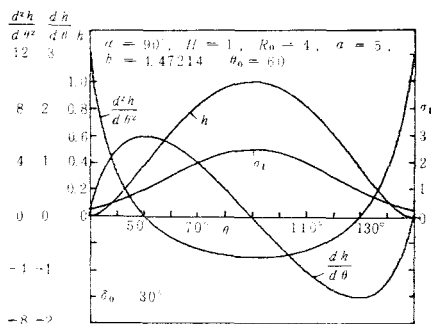


図9  $\theta_0 = 60^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$ の運動と  $\sigma_1$

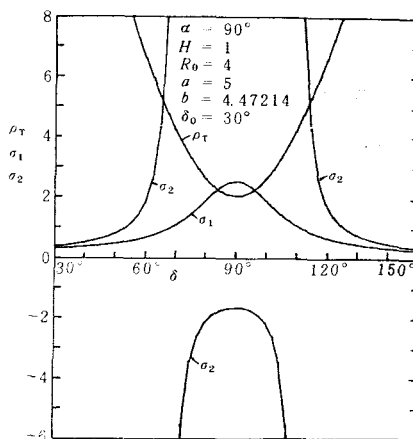


図10 図9の場合の  $\rho_T$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$

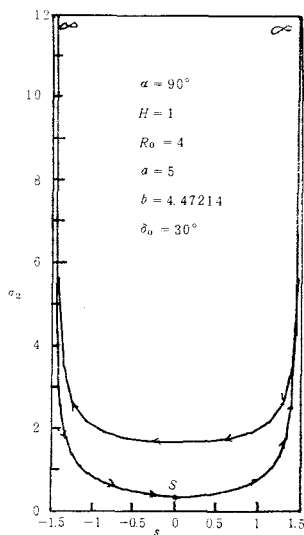


図11 図9の場合の平板上の  $\sigma_2$

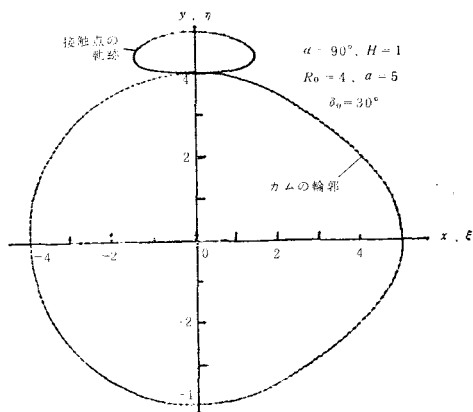


図12 図9の場合のカムの輪郭と接触点の軌跡

9.2 始点の加速度が極小の場合 式(50), (60)より,  $H = 1, \alpha = 90^\circ$ のときは  $\theta_0 = 65.5302^\circ$ ,  $d^2h/d\theta^2 = 11.66685$ ,  $R_0 = 2.41421$ ,  $a = 3.41421$ ,  $\sigma_{1A} = 3.414$  となり, これを表1に示す。図13はこの場合の従動節の運動と  $\sigma_1$  を示し, 図14は  $\delta$  に対する  $\rho_T$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  を示す。図15は平板上の各位置における  $\sigma_2$  を示す。図16の①はこのカムの輪郭と接触点の軌跡を示す。

今もしこのカムの接触面の摩擦係数  $\mu = 0.2$  とすれば,  $\rho = 11.31^\circ$  となるので,  $\rho = \phi$  とすれば  $\alpha = 78.69^\circ$  となり, 式(60)から  $R_0 = (\sqrt{2} + 1) H \sin \alpha = (\sqrt{2} + 1) \sin 78.69^\circ = 2.36733$ , 式(42)から  $a = 3.34791$ , 終点の  $d^2h/d\theta^2 = -2.41421$ , 式(40)から  $\sigma_{1A} = 3.4142$  となり, これらの値で従動節の運動を調べれば運動と  $\rho_T$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  は程んど変化せず, 図16に示すようにカムの輪郭が僅かに小となる。図17はこの場合の平板上の  $\sigma_2$  を示す。

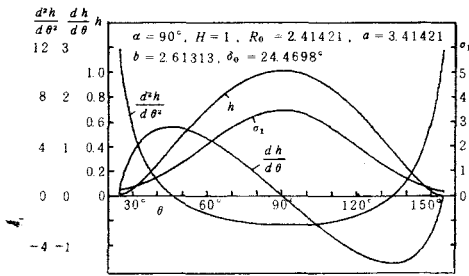


図13 始点の加速度が最小となる場合の運動と $\sigma_1$

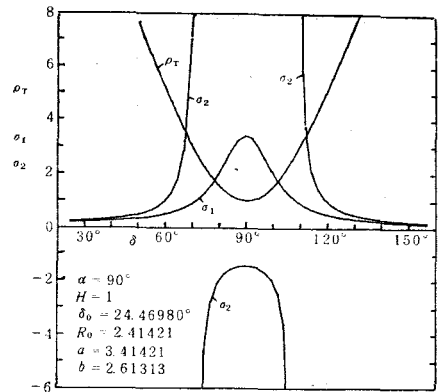


図14 図13の場合の $\rho_T$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$

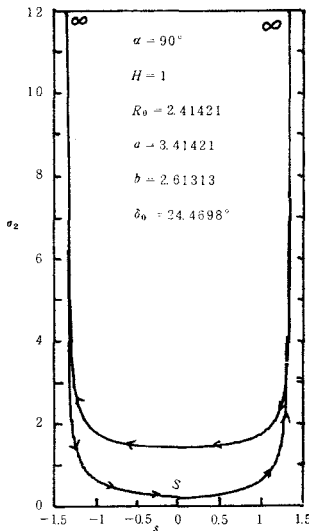


図15 図13の場合の平板上の $\sigma_2$

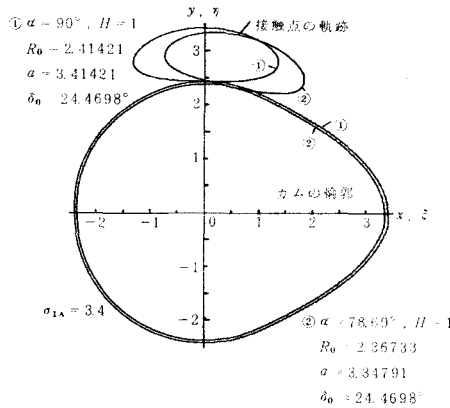


図16 図13と $\alpha = 78.69^\circ$ の場合のカムの輪郭と接触点の軌跡

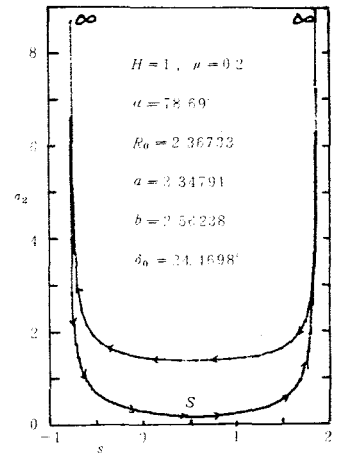


図17  $\mu = 0.2$ ,  $\alpha = 78.69^\circ$ の平板上の $\sigma_2$

**9.3 始点の加速度の指定** 図7より $P=13$ とし、 $\alpha=80^\circ$ とすれば $R_0=0.963009$ ,  $a=1.94782$ となり、かなりカムが小さくなる。 $b=0.99612$ ,  $\sigma_{1A}=7.65$ となる。この場合の従動節の運動と $\sigma_1$ を図18に示す。

$P=12$ ,  $\alpha=80^\circ$ の場合は $R_0=1.47721$ ,  $a=2.46202$ ,  $b=1.55712$ ,  $\sigma_{1A}=5$ となる。この場合の従動節の運動と $\sigma_1$ を図19に示す。 $\sigma_1$ がかなり減少する。

式(66)の①の場合 $R_0$ を求め、それから式(42)より $a$ , 式(9)より $b$ を求め、式(40)より $\sigma_{1A}$ を求めたものを図7に示す。 $P>13$ の場合 $\sigma_{1A}>8$ となり良好でない。

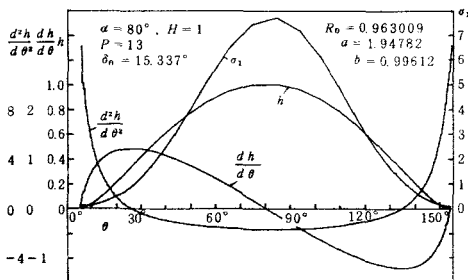


図18  $P=13$ の場合の運動と $\sigma_1$

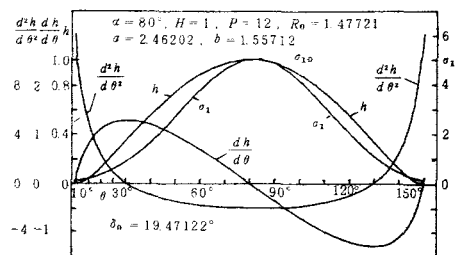


図19  $P=12$ の場合の運動と $\sigma_1$

図20は $H=1$ ,  $\alpha=80^\circ$ で $P=13$ と12の場合のカムの輪郭と接触点の軌跡を示す。 $P_{min}=11.65685$ で図16にカムの輪郭を示すが $P=12$ , 13に比してかなり大きいので、 $P=12$ の方がよい。 $P=13$ の場合はカムが尖りすぎる。

図21は $P=12$ の場合の各 $\delta$ に対する $\rho_T$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ で $\alpha=80^\circ$ なので、 $\delta$ が $90^\circ$ 少し過ぎた所で最大となる。図22は $\alpha=80^\circ$ ,  $P=12$ の場合の平板上の $\sigma_2$ を示す。良好である。

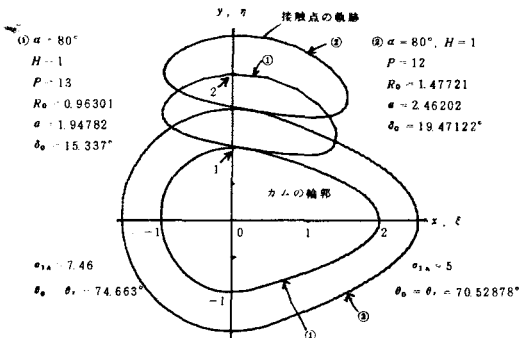


図20  $P=12$ , 13のカムの輪郭と接触点の軌跡

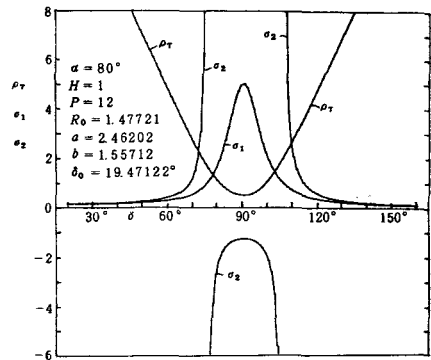


図21  $P=12$ の $\rho_T$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$

## § 10 結 論

以上によりこの種のカム機構では次の結論が得られた。

- (1) 往き行程の始点の加速度は終点のそれより約4倍も大きい。
- (2) 従動節の傾斜角 $\alpha$ は $90^\circ$ より少ない方が基礎円半径が小さくなり、カムが小さくなるが、カムの運動には变りなく、 $\alpha$ を $90^\circ$ より摩擦角だけ小さくすれば従動節の水平方向の分力（曲げ力）が零にできる。
- (3) 始点の加速度を僅かに変えることにより、カムの寸法は大きく変わるので、最小のものより少し大にする方がよい。
- (4) 終点の滑り率を指定してカムの寸法の設計ができる。
- (5) 従動節の平板上の滑り率は両端で無限大となるが途中ではほぼ一様で良好である。

以上の研究に本校学生緒方義文君の協力を得た。

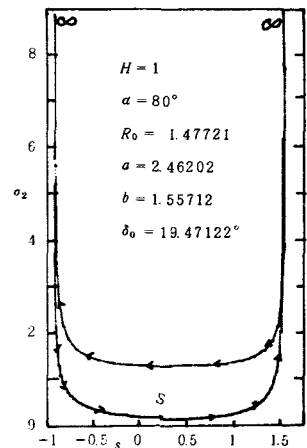


図22  $P=12$ の平板上の $\sigma_2$

## 文 献

- 1) 糸島寛典：往復正放物線カムの研究（第1報）  
一円弧従動節一，呉高専研究報告，13—1，1977
- 2) 糸島寛典：カムの滑り率の研究（第1報），呉高専研究報告，1—1，1965

（昭和53年10月15日受付）

# 食料品店用全般照明用光源について

(電気工学科) 原 田 一 彦

## Light Sources for General Lighting of a Grocery

Kazuhiko HARADA

As a cool white fluorescent lamp is very luminous, it is more often used for general lighting. However, it doesn't always follow that a cool white fluorescent lamp is used for general lighting.

Therefore, in this paper, we compared the visibility of a grocery under general lighting of a cool white fluorescent lamp with that of other fluorescent lamps. The horizontal illuminance of the path were about 376~256 lx.

The following results were obtained;

- (1) The most visible of a grocery was a fluorescent lamp of good colour rendering (WW-DL-37K, Toshiba), next was a warm white one.
- (2) The illuminance falls was about 32% under lighting of good colour rendering type compared with a cool white one, but we could not find it.

### § 1 緒 言

一般照明用光源としては、白熱電球、けい光ランプおよび高圧水銀灯の3種がその大半を占めているが、なかでも、けい光ランプは、照明が全般にわたって高照度化へと進んできたので、高効率、長寿命など経済性に優れているから非常に普及している。しかも、白色けい光ランプは、他のランプに比べて光束が多いので、全般照明用としてよく使用されている。店舗のディスプレイは、購買欲を刺激させるという目的があり、したがって照明の役割は重要である。豊富な色彩に満ち、更に新鮮さが要求される生鮮食料品店では、局部照明用として食肉を効果的に見せるけい光ランプ<sup>1)</sup>が開発され利用されているが、店内の全般照明用としては、白色けい光ランプ（一部高出力、超高出力けい光ランプ）が使用されている場合が多い。しかし、現在は演色性等改善されているけい光ランプが数種ある。そこで、これらのランプを食料品店の全般照明用として使用した場合と白色けい光ランプの場合とを比較検討することにした。

### § 2 店舗照明の実態

照明普及会・事業委員会の報告によれば<sup>2)</sup>、1店当りの照明設備容量は5.1 kW、そのうち天井取付けは4.3 kW、平均灯数は81灯である。また、単位床面積当り平均設備容量は $49.7 \text{ W/m}^2$ で、ビルの事務室の約3倍となっている。平均光源は1店当り、けい光ランプが56%、電球21%、ボール電球12%、レフ形電球が11%である。照明器具は、けい光ランプ用トラフ形が52%、逆富士形が37%で、ランプは40 Wが圧倒的に多く使用されている。これらの多くは、全般照明用に使用されているものと思われる。平均照

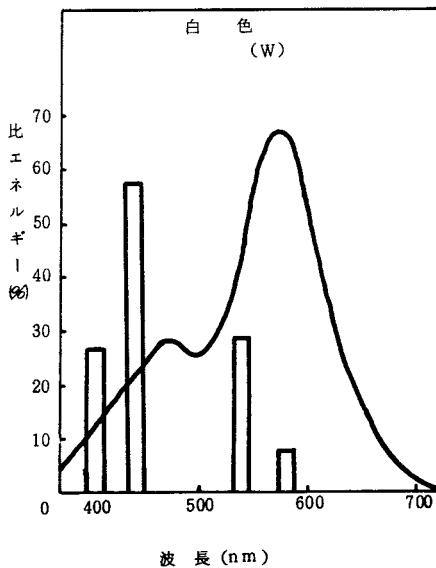
度は、入口で638 lx, 通路458 lx, ショーウィンドー732 lx, ショーケース642 lx, 陳列だなが618 lxである。営業ピーク時間帯は16時から18時の夕方となっているが、生鮮食料品店では、その性質上若干早い時間帯と考えられる。なお、改装の動機、狙いは、他店との対抗上、つづいてセンス改善の順となっている。

### § 3 実験および考察

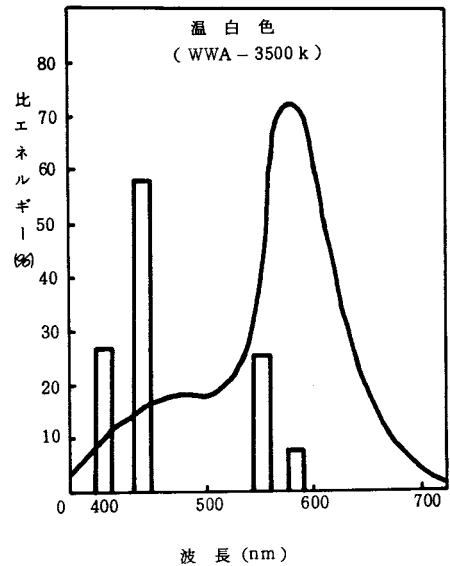
表1 供試けい光ランプとその特性

けい光ランプの種類	色温度 (K)	全光束 (lm)	平均演色評価数 Ra
白 色 ( W )	4,200	3,270	67
温 白 色 (WW-A)	3,500	3,200	59
効果演色用 (WW-DL-37K)	3,700	2,060	79
色評価用純正色 (W-EDL-50 K)	5,000	2,090	98
ネオラインデラックス (W-DL-X)	5,000	2,500	92
3波長域発光形 (EL/M)	5,000	3,270	84

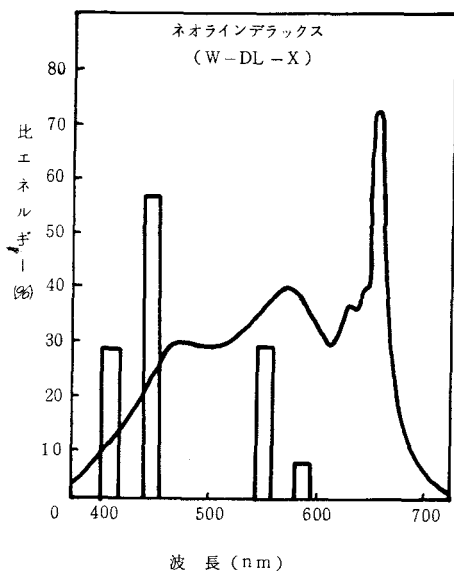
表1<sup>3)4)</sup>は、実験に使用したけい光ランプとその特性である。3波長域発光形ランプは、松下電器製で、その他は東芝製である。図1はこれらランプの分光エネルギー分布を示す。



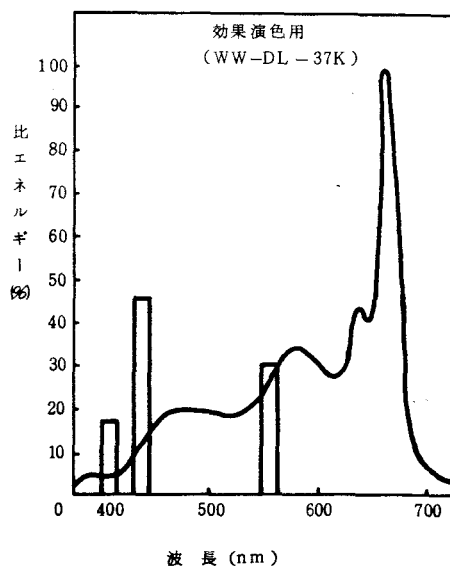
(a) 白色けい光ランプ



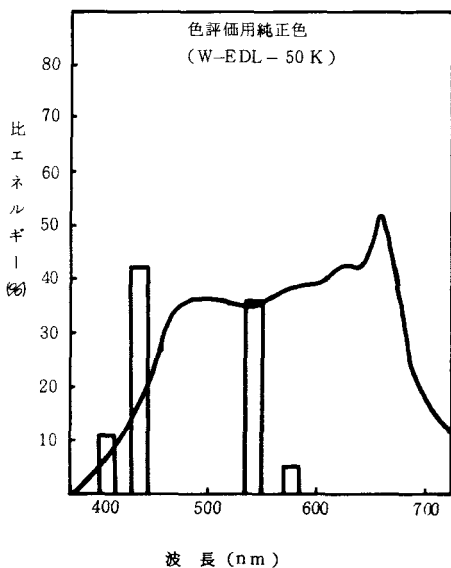
(b) 温白色けい光ランプ



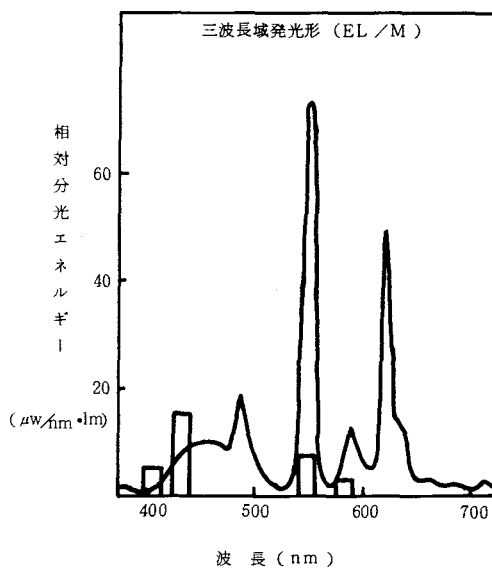
(c) ネオラインデラックスけい光ランプ



(d) 効果演色照明用けい光ランプ



(e) 色評価用純正色けい光ランプ



(f) 三波長域発光形けい光ランプ

図1 供試けい光ランプの分光エネルギー分布

実験は、実際の生鮮食料品店について実施し、前記6種類のけい光ランプを全般照明として点灯した場合の店内の見え方について検討した。店舗は、間口7.2 m、奥行10.8 mで北側に面し、左右と奥は白壁、白色塗料を塗ったベニヤ板で囲んである。商品は左右と中央の3列に並べてあり、幅が約1.8 mのU字形の通路が設けてある。天井高さは2.7 mで、全般照明としてトラフ形40W 1灯用が1.8 m間隔で3列に、1列には連続的に6台、計18台のけい光灯が白色の天井に直付けされている。時期は、10月上旬で、閉店後を利用した。店内には、秋の野菜、果物、瓶類および缶類等色彩の豊富な食料品が陳列さ

れていた。実験にあたっては、スポットライトなど局部照明用光源は消灯し、全般照明用のけい光ランプだけを点灯した状態とした。30才台2名、40才台3名の主婦5名を被験者とし、店内全般の見え方について、5段階評価法で評価をさせた。被験者には、生鮮食料品店の性質上、落ち着いた感じ、気分が休まる、静かな感じなどの静的なものでなく、明るい、生き生きとした、新鮮な、美しい、あざやかな、はなやかなといった動的成分を主として評価の対称とさせた。

通路の水平面照度は、白色、温白色および3波長域発光形ランプの場合は約376 lx、ネオラインデラックスランプでは297 lx、効果演色用と色評価純正色ランプでは約32%減の256 lxであった。

評価の結果は、全員が、効果演色用けい光ランプによる照明の場合を第1位とし、温白色けい光ランプを第2位とした。3,500～3,700 Kの色温度が好まれ、正しい色再現の期待ができる色評価用純正色と白色けい光ランプの場合は評価が低かった。白色ランプでは、色再現が問題となり、色評価純正色ランプの場合は、高い色温度に好感がもたれないことがわかった。効果演色用ランプでは、リンゴなど赤色系の食料品が強調されて新鮮に見えるのと、全体が暖かい雰囲気に見えるのがよかったようである。なお、この場合の照度低下は感じられず、同じ照度では、演色性の良いものが明るく感じられる傾向がある<sup>5)</sup>という結果と一致する。同系統の食料品を色別に陳列し、その色を強調する局部照明を併用すれば、さらに効果的な照明となろう。

#### § 4 結 言

単に、光束が多いという特長だけで、白色けい光ランプが多くの場合に、全般照明用として使用されているのが実状であるが、その対象物に応じて、光束は低下しても高演色性のけい光ランプを使用すれば30%程度の照度の減少は認められず、むしろ、好ましく感じられることがわかった。生鮮食料品店の全般照明としては、赤色を強調した効果演色用のけい光ランプが最適であるという結果を得た。このように、店舗および商品の種類、性質に応じて、全般照明用光源は検討すべきであろう。色彩の豊富な場合は、種類別そして色別に陳列し、その色彩を強調するスポットライト等の局部照明を併用すれば、より効果的な照明とすることができる。

終りに、調査、測定に協力して下さった店舗一同の方々および5名の被験者の方々に厚く感謝する。

#### 参 考 文 献

- 1) たとえば狩野他：昭和52年照明学会全国大会講演論文集 3
- 2) 照明普及会・事業委員会：照明学会誌 9 VOL. 62 496
- 3) 東芝けい光ランプカタログ：54
- 4) 神谷他：昭和53年照明学会全国大会講演論文集 12
- 5) 大高他：昭和51年照明学会全国大会講演論文集

(昭和53年10月15日受付)

# 地盤の粘性変形に関する理論的研究

## — 2 次元 粘 弾 性 解 析 —

(土 木 工 学 科) 小 堀 慈 久  
(広島大学工学部) 網 干 寿 夫

### Theoretical Study on the Visco Deflection of Underlying Soil

#### —2 Dimensional Visco-Plastic Analysis—

(Dept. Civil. Engrg.) Shigehisa KOBORI  
(Hiroshima Univ.) Hisao ABOSHI

It has been well known that the success of the finite element method in continuum mechanics is due to the division of the continuum into the material elements.

We can extend this division or discretization procedure to the deformation process in plasticity by adopting the incremental theory or the piecewise linear formulation of the problem. Further, for the viscoelastic materials which are concerned within the present analysis, we can incorporate the discretization of the material properties by assuming the discontinuous spectra of mechanical elements which compose the viscoelastic models. Mathematically, this can be phrased that we express approximately the shear and bulk creep compliances (or relaxation moduli) of the materials by the exponential series (i. e. Prony series).<sup>1)~5)</sup> It must be noticed that the analysis easily allow for the thermal effects by assuming the thermo-rheologically simple nature of materials that obeys the temperature time equivalence hypothesis.

The present paper will show the secondary consolidation of soft clay foundations underneath embankment.

## § 1 ま え が き

地盤の変形を考えると、層の厚い軟弱な粘度地盤が粘弾性的挙動を示すことは古くから知られていた。圧密理論を説明した Terzaghi によれば粘土中の過剰間隙水圧が消散して沈下がある一定値に収束するはずであるが、実際にはほとんどすべての粘土が沈下の継続し、沈下量と時間の対数がほぼ直線関係を示す。そしてこれを Terzaghi の理論に合う一次圧密に対して二次圧密と呼ぶわけであるが一般にこの圧密論の研究は二種類に大別され、一つは実験室内での粘土試料の圧密沈下が  $\log t$  に比例するという事に基づき、実際の粘土層の沈下現象を経験公式で表わそうとする方法で Buisman らの研究がその代表的なものである。他の一つは二次圧密の現象を解的に表現しようとする研究で Taylor と Merchant によって始められたのである。Terzaghi の理論では粘土の骨組構造は弾性体であって

Fig.-1(a)に示されるように1つのバネで表わされると考え、このバネが載荷後最終沈下状態に達する間に間げき水の流水抵抗のために変形に時間遅れが生じると考えるので模型的にあらわすとバネとダッシュポットが並列につながっている Voigt モデルと同じことになる。ところがこの粘土の骨組構造の変形抵抗自体が弾性的バネでなくダッシュポットをもった Voigt 体 (あるいは Kelvin 体) であると考え、Terzaghi のいわゆる100%圧密、すなわち間げき水の動水抵抗がなくなった後も構造自身の粘性抵抗 (ダッシュポット) のために変形の時間遅れが生じて沈下を続けることになり、実験事実をよりよく説明出来ることになる。

本論文はさらに地盤構造に近い形として図中(b)のような骨組構造で変形抵抗がバネと Kelvin 体が直列に結合したもので特に理論解析の面より検討を進める。材料特性としてクリープコンプライアンスの指数級数表示を用い応力-ひずみ履歴積分から漸化公式を導き、それを基礎に熱粘弾性問題の増分解析の定式化を行ったものであるが、それらを拡張し平面ひずみ問題の定式化を試みたものである。

## § 2 クリープ積分法則による線形粘弾性構成方程式

### 2.1 単軸応力-ひずみ関係式

線形粘弾性理論ではクリープ関数は単位ステップ関数で表わされる応力を作用させたときのひずみ履歴から求められる。すなわち

$$\sigma(t) = h(t)\sigma_0 \quad (2.1)$$

ここに、 $h(t)$ は単位ステップ関数で次式で定義される。

$$h(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 & (t > 0) \end{cases} \quad (2.2)$$

この応力を作用させたときのひずみはクリープ関数を  $J(t)$ として

$$\varepsilon(t) = J(t)\sigma_0 \quad (2.3)$$

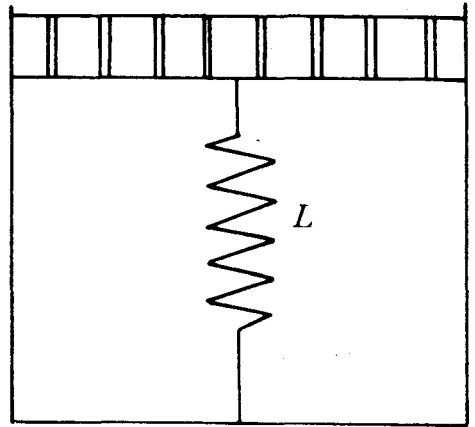
で表わされる。又、緩和関数は単位ステップ関数で表わされるひずみを与えたときの応力履歴から求められる。すなわち

$$\sigma(t) = h(t)\varepsilon_0 \quad (2.4)$$

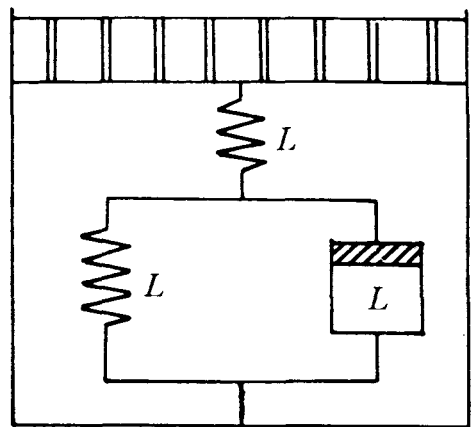
を与えたときの応力は、緩和関数を  $G(t)$ として

$$\sigma(t) = G(t)\varepsilon_0 \quad (2.5)$$

で表わされる。今、応力が  $\sigma = \sigma_0$  のとき  $t = \tau$  で単位ステップ関数で表わされる応力増分  $\Delta\sigma h(t - \tau)$ を考えると  $t = t$  でのひずみは次式で表わされる。



(a)



(b)

L : Linear

Fig-1 Mechanical Model

$$\varepsilon(t) = J(t)\sigma_0 + \Delta J(t-\tau) \quad (2.6)$$

さらに、この応力増分が微小で連続的に変化するものとすれば、次式が成立する。

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= J(t)\sigma_0 + \int_0^t J(t-\tau) \left[ \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} \right] d\tau = \int_0^t J(t-\tau) \left[ \frac{d\sigma(\tau)}{d\tau} \right] d\tau \\ &= \sigma(t)J(0) + \int_0^t \sigma(\tau) \frac{dJ(t-\tau)}{d(t-\tau)} d\tau \end{aligned} \quad (2.7)$$

ここで  $J(t)$  はクリープ関数又はクリープコンプライアンスである (2.7)。式は合成積分を含んでいるため、各時刻のひずみは常に時間原点  $t=0$  にさかのぼった積分によって評価する必要がある。実際の計算では、そのため記憶容量、計算時が莫大なものとなる。しかし  $J(t)$  を次の (2.8) 式に示すような Prony 級数で表示すれば (2.7) 式は漸化式の形となり、すぐ前の応力とひずみの状態を記憶するだけで十分のように、解法を定式化することが出来る。

$$J(t) = J_0 + \sum_{i=1}^N J_i (1 - e^{-t/T_i}) + \frac{t}{\eta} \quad (2.8)$$

(2.8) 式は粘弾性の力学モデルと対応しており、Fig.-2 のように一般化 Voigt モデルを用いた場合とみなすことが出来る。ここで  $J_0$ ,  $J_i$ ,  $T_i$ ,  $\eta$  はモデル各要素の定数パラメーターをあらわしている。

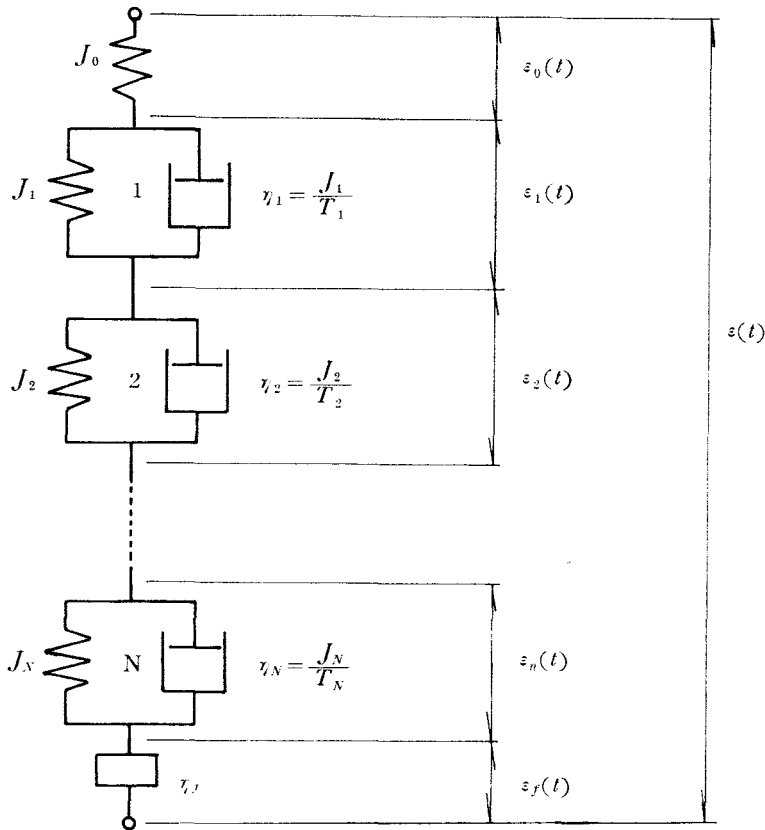


Fig-2 General Voigt Model

(2.8)式を(2.7)式に代入すると次の関係が得られる。

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0(t) + \sum_{i=1}^N \varepsilon_i(t) + \varepsilon_f(t) \quad (2.9)$$

ここで、 $\varepsilon_0(t)$ ,  $\varepsilon_i(t)$ ,  $\varepsilon_f(t)$  はそれぞれ次式のように定義される量で、ひずみの次元を持っている。

$$\varepsilon_0(t) = J_0 \sigma(t) \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_i(t) = \frac{J_i}{T_i} \int_{0^+}^t \sigma(\tau) \exp\left[-\frac{(t-\tau)}{T_i}\right] d\tau \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_f(t) = \frac{1}{\eta} \int_{0^+}^t \sigma(\tau) d\tau \quad (2.12)$$

応力が微小時間内  $[(t-h) \sim (t)]$  に線形変化をするものとする、時間  $\tau(t-h \leq \tau \leq t)$  における応力は次のように表示される。

$$\sigma(\tau) = \sigma(t-h) + \frac{\tau-t+h}{h} \Delta\sigma(t) \quad (2.13)$$

したがって微小時間内に生じる応力増分  $\Delta\sigma(t)$  とひずみ増分の関係は(2.10), (2.11), (2.12)式を用いて次式のように求められる。

$$\Delta\varepsilon_0(t) = J_0 \Delta\sigma(t) \quad (2.14)$$

$$\Delta\varepsilon_i(t) = [1-\alpha_i(h)] [J_i \sigma(t-h) - \varepsilon_i(t-h)] + J_i \beta_i(h) \Delta\sigma(t) \quad (i=1, \dots, N) \quad (2.15)$$

$$\Delta\varepsilon_f(t) = \frac{h}{2\eta} \Delta\sigma(t) + \frac{h}{\eta} \sigma(t-h) \quad (2.16)$$

ここで

$$\alpha_i(h) = \exp\left[-\frac{h}{T_i}\right], \quad \beta_i(h) = 1 - \frac{T_i}{h} [1-\alpha_i(h)] \quad (2.17), (2.18)$$

$$\varepsilon_i(t) = \alpha_i(h) \varepsilon_i(t-h) + J_i [\beta_i(h) \Delta\sigma(t) + \{1-\alpha_i(h)\} \sigma(t-h)] \quad (i=1, \dots, N) \quad (2.19)$$

(2.14), (2.15), (2.16)式の総和より次の増分形の応力-ひずみ関係式を得る。

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon(t) &= \Delta\varepsilon_0(t) + \Delta\varepsilon_i(t) + \Delta\varepsilon_f(t) \\ &= J_0 \Delta\sigma(t) + [1-\alpha_i(h)] [J_i \sigma(t-h) - \varepsilon_i(t-h)] + J_i \beta_i(h) \Delta\sigma(t) \\ &\quad + \frac{h}{2\eta} \Delta\sigma(t) + \frac{h}{\eta} \sigma(t-h) \\ &= \left[ J_0 + \frac{h}{2\eta} + \sum_{i=1}^N J_i \beta_i(h) \right] \Delta\sigma(t) \\ &\quad + \frac{h}{\eta} \sigma(t-h) + \sum_{i=1}^N [1-\alpha_i(h)] [J_i \sigma(t-h) - \varepsilon_i(t-h)] \end{aligned} \quad (2.20)$$

今、ここで

$$E_c = \frac{1}{J_0 + \frac{h}{2\eta} + \sum_{i=1}^N J_i \beta_i(h)} \quad (2.21)$$

$$\Delta I(t) = \frac{h}{\eta} \sigma(t-h) + \sum_{i=1}^N [1-\alpha_i(h)] [J_i \sigma(t-h) - \varepsilon_i(t-h)] \quad (2.22)$$

とおくと、(2.20)式は次のように書換えられる。

$$\Delta\varepsilon(t) = \frac{1}{E_c} \Delta\sigma(t) + \Delta I(t) \quad (2.23)$$

$$\text{さらに } \Delta\sigma(t) = E_c [\Delta\varepsilon(t) - \Delta I(t)] \quad (2.24)$$

となる。ここで  $E_c$  はクリープ特性より導かれた弾性率に相当するもので、 $\Delta I(t)$  は粘弾性変形によるひずみ履歴の効果を表わすものである。(2.24) 式は新しく生じる応力増分の関係を、その直前の時刻  $(t-h)$  での応力およびひずみの状態によって定めた増分形の応力-ひずみ方程式である。

## 2.2 多軸応力-ひずみ関係式

熱レオロジー的単純材料を仮定し、次に定義する換算時間を導入して、単軸の場合と同様に展開が可能となる。

$$\xi(t) = \int_0^t \Phi[T(\tau)] d\tau \quad (2.25)$$

ここで  $\xi(t)$  は換算時間、 $\Phi[T(\tau)]$  は移動関数、 $T(\tau)$  は時刻  $\tau$  における温度をあらわす。温度場のある三次元の線形粘弾性体の構成式は、応力とひずみの偏差成分と体積成分に分けてあらわすことができる。そして熱レオロジー的に単純な材料では、物体内の任意の点の応力とひずみが次の二つの関係を満足している。

$$e_{ij}(t) = \frac{1}{2} \int_0^t D[\xi(t) - \xi(\tau)] \frac{dS_{ij}}{d\tau} d\tau \quad (2.26)$$

$$\varepsilon_{kk}(t) - 3\alpha_0 \theta(t) = \frac{1}{3} \int_0^t B[\xi(t) - \xi(\tau)] \frac{d\sigma_{kk}}{d\tau} d\tau \quad (2.27)$$

ここで  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  は物体内のある位置における応力及びひずみテンソル、 $S_{ij}$  と  $e_{ij}$  は次式で定義される偏差応力と偏差ひずみである。

$$S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \sigma_{kk}, \quad e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \varepsilon_{kk} \quad (2.28), (2.29)$$

また、 $D(\xi)$ ,  $B(\xi)$  はそれぞれ物体の基準温度  $T_0$  におけるせん断、体積両クリープ・コンプライアンスをあらわす。 $\alpha_0$  は温度  $T_0$  における熱膨張係数、 $\theta(t)$  は次式で定義される擬温度である。

$$\theta(t) = \frac{1}{\alpha_0} \int_{T_0}^T \alpha(T') dT' \quad (2.30)$$

クリープ・コンプライアンスは単軸の場合と同様、指数級数表示すると、

$$D(t) = D_0 + \sum_{m=1}^p D_m (1 - e^{-t/T_{D,m}}) + \frac{t}{\eta_D} \quad (2.31)$$

$$B(t) = B_0 + \sum_{m=1}^q B_m (1 - e^{-t/T_{B,m}}) + \frac{t}{\eta_B} \quad (2.32)$$

となる。ただし  $D$  は偏差成分、 $B$  は体積成分に関するものであることを意味する。これらを (2.26), (2.27) 式に代入した後、2.1 の単軸の場合と同様に式の変形を行うのであるが、微小時間内  $[(t-h) \sim (t)]$  において応力が線形変化をすという仮定に加え、新たに次の二つが成立するものとする。

(i) 微小時間内  $[(t-h) \sim (t)]$  において移動関数は一定値  $\Phi_m = \frac{1}{2} [\Phi(t-h) + \Phi(t)]$  をとる。

(ii) 微小時間内  $[(t-h) \sim (t)]$  において熱膨張係数は温度と線形関係にある。

このようにする場合、偏差成分に関しては次式が得られる。

$$\Delta S_{ij}(t) = 2G_c \left[ \Delta e_{ij}(t) - \frac{1}{2} \Delta I_{ij}(t) \right] \quad (2.33)$$

ここで

$$G_c = \frac{1}{D_0 + \frac{h\xi}{2\eta_D} + \sum_{m=1}^p D_m \hat{S}_{D,m}(h\xi)} \quad (2.34)$$

$$\Delta I_{ij}(t) = \frac{h\xi}{\eta_D} S_{ij}(t-h) + \sum_{m=1}^p [1 - \alpha_{D,m}(h\xi)] [D_m S_{ij}(t-h) - e_{ij,m}(t-h)] \quad (2.35)$$

$$\varepsilon_{ij,m}(t) = \alpha_{D,m}(h\varepsilon) \varepsilon_{ij,m}(t-h) + D_m [\beta_{D,m}(h\varepsilon) \Delta S_{ij}(t) + \{1 - \alpha_{D,m}(h\varepsilon)\} S_{ij}(t-h)] \quad (2.36)$$

$$\alpha_{D,m}(h\varepsilon) = \exp\left[-\frac{h\varepsilon}{T_{D,m}}\right], \quad \beta_{D,m}(h\varepsilon) = 1 - \frac{T_{D,m}}{h\varepsilon} [1 - \alpha_{D,m}(h\varepsilon)] \quad (m=1, \dots, p) \quad (2.37), (2.38)$$

とおき, さらに

$$\Delta e_0 = D_0 \Delta S_{ij}, \quad \Delta e_f = \frac{h}{2\eta} \Delta S_{ij} + \frac{h}{\eta} S_{ij}(t-h) \quad (2.39), (2.40)$$

$$\Delta e_i = [1 - \alpha_i(h)] [D_m S_{ij}(t-h) - e_i(t-h)] + D_m \beta_{D,m} \Delta S_{ij} \quad (2.41)$$

とし, (2.34), (2.35)式を(2.33)式に代入すると

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \left[ D_0 + \frac{h\varepsilon}{2\eta_D} + \sum_{m=1}^p D_m \beta_{D,m}(h\varepsilon) \right] \Delta S_{ij} &= \Delta e_{ij}(t) - \frac{1}{2} \left[ \frac{h\varepsilon}{\eta_D} S_{ij}(t-h) + \sum_{m=1}^p \{1 - \alpha_{D,m}(h\varepsilon)\} \right. \\ &\quad \left. \{D_m S_{ij}(t-h) - e_{ij,m}(t-h)\} \right] \end{aligned} \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} \Delta e_{ij}(t) &= \frac{1}{2} D_0 \Delta S_{ij} \\ &\quad + \frac{1}{2} [1 - \alpha_{D,m}(h\varepsilon)] [D_m S_{ij}(t-h) - e_{ij,m}(t-h)] + D_m \beta_{D,m}(h\varepsilon) \\ &\quad + \frac{1}{2} \left[ \frac{h\varepsilon}{\eta_D} S_{ij}(t-h) + \frac{h\varepsilon}{2\eta_D} \Delta S_{ij} \right] \end{aligned} \quad (2.43)$$

よって(2.43)式に(2.39), (2.40), (2.41)式を代入すると,

$$\Delta e_{ij}(t) = \frac{1}{2} [\Delta e_0 + \Delta e_i + \Delta e_f] \quad (2.44)$$

となる。ただし  $h\varepsilon$  は換算時間の間隔である。

$$h\varepsilon = \xi(t) - \xi(t-h) = \Phi_m h \quad (2.45)$$

体積成分に対しても同様に行う事により得られる。

$$\Delta \sigma_{kk}(t) = 3K_c \left[ \Delta \varepsilon_{kk} - \frac{1}{3} \Delta I_B(t) - 3\alpha_0 \Delta \theta(t) \right] \quad (2.46)$$

ここで

$$K_c = \frac{1}{B_0 + \frac{h\varepsilon}{2\eta_B} + \sum_{m=1}^q B_m \beta_{B,m}(h\varepsilon)} \quad (2.47)$$

$$\Delta I_B(t) = \frac{h\varepsilon}{\eta_B} \sigma_{kk}(t-h) + \sum_{m=1}^q [1 - \alpha_{B,m}(h\varepsilon)] [B_m \sigma_{kk}(t-h) - \varepsilon_{kk}(t-h)] \quad (2.48)$$

$$\varepsilon_{kk,m}(t) = \alpha_{B,m}(h\varepsilon) \varepsilon_{kk,m}(t-h) + B_m [\beta_{B,m}(h\varepsilon) \Delta \sigma_{kk}(t) + \{1 - \alpha_{B,m}(h\varepsilon)\} \sigma_{kk}(t-h)] \quad (2.49)$$

$$\alpha_{B,m}(h\varepsilon) = \exp\left[-\frac{h\varepsilon}{T_{B,m}}\right], \quad \beta_{B,m}(h\varepsilon) = 1 - \frac{T_{B,m}}{\eta_\varepsilon} [1 - \alpha_{B,m}(h\varepsilon)] \quad (m=1, \dots, q) \quad (2.50), (2.51)$$

$$\Delta \theta(t) = \frac{1}{2} \{ \alpha[T(t-h)] + \alpha[T(t)] \} \Delta T(t) \quad (2.52)$$

$$\Delta T(t) = T(t) - T(t-h) \quad (2.53)$$

とおき, さらに

$$\Delta \varepsilon_{kk0} = B_0 \Delta \sigma_{kk}, \quad \Delta \varepsilon_{kki} = -\frac{h\varepsilon}{2\eta_B} \Delta \sigma_{ij} + \frac{h\varepsilon}{\eta_B} \sigma_{ij}(t-h) \quad (2.54), (2.55)$$

$$\Delta \varepsilon_{kkf} = [1 - \alpha_{B,m}(h\varepsilon)] [B_m \sigma_{ij}(t-h) - \varepsilon_{kk}(t-h)] + B_m \beta_{B,m}(h\varepsilon) \Delta \sigma_{ij} \quad (2.56)$$

とし, (2.47), (2.48)式を(2.46)式に代入すると,

$$\frac{1}{3}\Delta\sigma_{kk}\left[B_0+\frac{h\varepsilon}{2\eta_B}+\sum_{m=1}^q B_m\beta_{B,m}(h\varepsilon)\right]=\Delta\varepsilon_{kk}-\frac{1}{3}\left[\frac{h\varepsilon}{\eta_B}\sigma_{kk}(t-h)+\sum_{m=1}^q\{1-\alpha_{B,m}(h\varepsilon)\}\right. \\ \left.\{B_m\sigma_{kk}(t-h)-\varepsilon_{kkm}(t-h)\}\right]-3\alpha_0\Delta\theta(t) \quad (2.57)$$

$$\Delta\varepsilon_{kk}=\frac{1}{3}B_0\Delta\sigma_{kk} \\ +\frac{1}{3}[1-\alpha_{B,m}(h\varepsilon)][B_m\sigma_{kk}(t-h)-\varepsilon_{kkm}(t-h)] \\ +\frac{1}{3}\left[\frac{h\varepsilon}{\eta_B}\sigma_{kk}(t-h)+\frac{h\varepsilon}{2\eta_B}\Delta\sigma_{kk}\right]+3\alpha_0\Delta\theta(t) \quad (2.58)$$

(2.55)式に、(2.51)、(2.52)、(2.53)式を代入すると、

$$\Delta\varepsilon_{kk}=\frac{1}{3}(\Delta\varepsilon_{kk0}+\Delta\varepsilon_{kk1}+\Delta\varepsilon_{kkf})+3\alpha_0\Delta\theta(t) \quad (2.59)$$

を得る。さらに(2.33)式に偏差応力 $S_{ij}$ (2.28)式、偏差ひずみ $e_{ij}$ (2.29)式を代入すると、

$$\Delta\sigma_{ij}-\frac{1}{3}\delta_{ij}\Delta\sigma_{kk}=2G_c\left[\varepsilon_{ij}-\frac{1}{3}\delta_{ij}\varepsilon_{kk}-\frac{1}{2}\Delta I_{ij}(t)\right] \quad (2.60)$$

上記(2.60)式に(2.46)式を代入すると、

$$\Delta\sigma_{ij}=2G_c\left[\varepsilon_{ij}-\frac{1}{3}\delta_{ij}\varepsilon_{kk}-\frac{1}{2}\Delta I_{ij}(t)+\frac{1}{3}\delta_{ij}\left\{3K_c\left(\Delta\varepsilon_{kk}-\frac{1}{3}\Delta I_B(t)-3\alpha_0\Delta\theta(t)\right)\right\}\right] \\ =\Delta\varepsilon_{kk}\delta_{ij}K_c+2G_c\varepsilon_{ij}-\frac{2}{3}\delta_{ij}\varepsilon_{kk}G_c-G_c\Delta I_{ij}(t)-\frac{1}{3}\Delta I_B\delta_{ij}K_c-3\delta_{ij}K_c\alpha_0\Delta\theta(t) \\ =\left(K_c+\frac{4}{3}G_c\right)\delta_{ij}\Delta\varepsilon_{kk}(\varepsilon_{ij})-\left(G_c+\frac{1}{3}K_c\right)\delta_{ij}\Delta I_{ij}(\Delta I_B)-3\delta_{ij}K_c\alpha_0\Delta\theta(t) \\ =\left(K_c+\frac{4}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_{ij}-\left(G_c+\frac{1}{3}K_c\right)\Delta I_{ij}(\Delta I_B)-3K_c\alpha_0\Delta\theta(t) \quad (2.61)$$

よって三次元粘弾性構成方程式を得た。すべての応力を表示すると次の通りである。

$$\Delta\sigma_x=\left(K_c+\frac{4}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_x+\left(K_c-\frac{2}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_y+\left(K_c-\frac{2}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_z \quad (2.62)$$

$$\Delta\sigma_y=\left(K_c-\frac{2}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_x+\left(K_c+\frac{4}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_y+\left(K_c-\frac{2}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_z \quad (2.63)$$

$$\Delta\sigma_z=\left(K_c-\frac{2}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_x+\left(K_c-\frac{2}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_y+\left(K_c+\frac{4}{3}G_c\right)\Delta\varepsilon_z \quad (2.64)$$

(2.61)式を普通の応力-ひずみマトリックスで表示すると、

$$\{\Delta\sigma\}=[D]\{\Delta\varepsilon\}-[H]\{\Delta I\}-[C]\{\Delta\theta\} \\ =[D]\{\Delta\varepsilon\}-\{\Delta\sigma_v\}-\{\Delta\sigma_\theta\} \quad (2.65)$$

ここで

$\{\Delta\sigma_v\}$ : 粘弾性変形による見かけ応力ベクトル

$\{\Delta\sigma_\theta\}$ : 熱膨張による見かけの応力ベクトル

$[D]$ : 粘弾性の応力-ひずみマトリックス

(2.65)式では、 $\{\Delta\sigma\}$ 、 $[D]$ などが時刻 $t$ の関数であることを示す引数 $t$ はすべて省略している。それぞれのベクトルやマトリックスの具体的な内容を次に示す。

$$\{\Delta\sigma\}^T=[\Delta\sigma_x\Delta\sigma_y\Delta\sigma_z\Delta\tau_{yz}\Delta\tau_{zx}\Delta\tau_{xy}] \quad (2.66)$$

$$\{\Delta\varepsilon\}^T=[\Delta\varepsilon_x\Delta\varepsilon_y\Delta\varepsilon_z\Delta\gamma_{yz}\Delta\gamma_{zx}\Delta\gamma_{xy}] \quad (2.67)$$

ただし、 $\Delta\gamma_{yz}$ 、 $\Delta\gamma_{zx}$ 、 $\Delta\gamma_{xy}$ は工学ひずみである。

### 2.3 平面ひずみ場における構成方程式

変形による軸方向の移動を妨げれば、 $\omega=0$  となり、各断面における変形状態はどこでも同一となる平面ひずみ状態の問題は土圧を受ける擁壁、トンネル、重力ダム等数多い。ここに、前節で得た三次元粘弾性剛性マトリックスから平面ひずみの状態における構成方程式を導く。

(2.62), (2.63), (2.64)式より  $\Delta\varepsilon_x$ ,  $\Delta\varepsilon_y$ ,  $\Delta\varepsilon_z$  を求める。

$$\left(K_c + \frac{4}{3}G_c\right)\Delta\sigma_y - \left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_z = \left(2K_cG_c - \frac{4}{3}G_c^2\right)\Delta\varepsilon_x + \left(4K_cG_c + \frac{4}{3}G_c^2\right)\Delta\varepsilon_y \quad (2.68)$$

(2.62)式より(2.63)式を減じて得た式に $\left(2K_c + \frac{2}{3}G_c\right)$ を剰じたものと(2.68)式より  $\Delta\varepsilon_y$  を消去し

$$6K_cG_c\Delta\varepsilon_x = \left(2K_c + \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_x - \left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_y - \left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_z \quad (2.69)$$

同様にして

$$6K_cG_c\Delta\varepsilon_y = -\left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_x + \left(2K_c + \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_y - \left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_z \quad (2.70)$$

$$6K_cG_c\Delta\varepsilon_z = -\left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_x - \left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_y + \left(2K_c + \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_z \quad (2.71)$$

(2.71)式の  $z$  方向変位を  $\Delta\varepsilon_z=0$  と置くから

$$\Delta\varepsilon_z = \frac{1}{6K_cG_c} \left\{ -\left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_x - \left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_y + \left(2K_c + \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_z \right\} = 0 \quad (2.72)$$

$$\left(2K_c + \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_z = \left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_x + \left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)\Delta\sigma_y$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{\left(K_c - \frac{2}{3}G_c\right)}{\left(2K_c + \frac{2}{3}G_c\right)} (\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y) \quad (2.73)$$

(2.73)式を(2.69), (2.70)式に代入すると

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_x = & \left\{ \frac{1}{6K_cG_c} \frac{9K_c^2}{(6K_c + 2G_c)} + \frac{1}{6K_cG_c} \frac{12K_cG_c}{(6K_c + 2G_c)} \right\} \Delta\sigma_x \\ & - \left\{ \frac{9K_c^2}{6K_cG_c(6K_c + 2G_c)} - \frac{6K_cG_c}{6K_cG_c(6K_c + 2G_c)} \right\} \Delta\sigma_y \end{aligned} \quad (2.74)$$

これを整理し、同様に行えば  $\Delta\varepsilon_y$ ,  $\Delta\gamma_{xy}$  を得る。

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_x = & \left\{ \frac{3K_c}{2G_c(6K_c + 2G_c)} + \frac{2}{(6K_c + 2G_c)} \right\} \Delta\sigma_x \\ & - \left\{ \frac{3K_c}{2G_c(6K_c + 2G_c)} - \frac{1}{(6K_c + 2G_c)} \right\} \Delta\sigma_y \end{aligned} \quad (2.75)$$

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_y = & \left\{ -\frac{3K_c}{2G_c(6K_c + 2G_c)} + \frac{1}{(6K_c + 2G_c)} \right\} \Delta\sigma_x \\ & + \left\{ \frac{3K_c}{2G_c(6K_c + 2G_c)} + \frac{2}{(6K_c + 2G_c)} \right\} \Delta\sigma_y \end{aligned} \quad (2.76)$$

$$\Delta\gamma_{xy} = -\frac{\Delta\tau_{xy}}{G_c} \quad (2.77)$$

次に先の平面ひずみ式より応力表示を求める。

(2.76)式より  $\Delta\sigma_y$  を求めると、

$$\Delta\sigma_y = \frac{2G_c(6K_c - 2G_c)}{(3K_c + 4G_c)} \Delta\varepsilon_y + \frac{(3K_c - 2G_c)}{(3K_c + 4G_c)} \Delta\sigma_x \quad (2.78)$$

(2.78)式を(2.75)に代入し、 $\Delta\sigma_x$ を求めると、

$$\Delta\varepsilon_x = \left\{ \frac{36K_c G_c + 12G_c^2}{2G_c(6K_c + 2G_c)(3K_c + 4G_c)} \right\} \Delta\sigma_x - \frac{(3K_c - 2G_c)}{(3K_c + 4G_c)} \Delta\varepsilon_y \quad (2.79)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{1}{3} \{ (3K_c + 4G_c) \Delta\varepsilon_x + (3K_c - 2G_c) \Delta\varepsilon_y \} \quad (2.80)$$

$\Delta\sigma_y$ についても同様にして行えば得る事が出来る。 $\Delta\sigma_y$ ,  $\Delta\tau_{xy}$ は次のようになる。

$$\Delta\sigma_y = \frac{1}{3} \{ (3K_c - 2G_c) \Delta\varepsilon_x + (3K_c + 4G_c) \Delta\varepsilon_y \} \quad (2.81)$$

$$\Delta\tau_{xy} = G_c \Delta\gamma_{xy} \quad (2.82)$$

以上により平面ひずみ場における構成方程式を得る事が出来た。これをマトリックス表示すれば

$$\begin{pmatrix} \Delta\sigma_x \\ \Delta\sigma_y \\ \Delta\tau_{xy} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 3K_c + 4G_c & 3K_c - 2G_c & 0 \\ 3K_c - 2G_c & 3K_c + 4G_c & 0 \\ 0 & 0 & 3G_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\varepsilon_x \\ \Delta\varepsilon_y \\ \Delta\gamma_{xy} \end{pmatrix} \quad (2.83)$$

さらに簡略化すれば

$$\{\Delta\sigma\} = [D] \{\Delta\varepsilon\} \quad (2.84)$$

$[D]$ ：平面ひずみ場における粘弾性応力-ひずみマトリックスとなる。なお、粘弾性変形による見かけの応力ベクトル、熱膨張による見かけの応力ベクトルは割愛し、次回に譲る。

### § 3 考 察

有限要素法による粘弾性構造解析は、多くの内外研究者によって試みられている。そのなかで、増分形の解法を与えているものに、山田・岩田及び赤木・大野・色部らの論文があげられる。その定式化の過程で、山田・岩田らは一般化 Voigt モデルに適用されるクリープコンプライアンスを用いてクリープ積分法則から、赤木・大野・色部らは一般化 Maxwell モデルに適用される緩和関数を用いて緩和積分法則から、増分形応力-ひずみマトリックスを導いている。この二つを比較すると、前者ではクリープ積分法則を応力について解き、しかるのち、応力-ひずみマトリックスを得るのであるが後者においては緩和積分法則から直接それが導かれている。材料実験の側面から見るならば、定応力クリープ試験によってクリープコンプライアンスを求めることは容易である。一方理論的には、定ひずみ応力緩和試験によりただちに緩和関数をきめ得るわけであるが、応力緩和試験はクリープ試験に比べてはるかにむずかしい。以上の所論より、応力-ひずみマトリックスをつくる段階では、第一の方法に比べて第二の方法に便宜さが認められるが、材料定数決定の困難さから、一見、第二の方法は実用的でないように思われる。増分形をとらない解法についても、クリープコンプライアンス、緩和関数のいずれに依拠するかによって同じことが言える。又、実際の解析の問題としては、線形粘弾性材料の応力-ひずみ関係をあらわす構成方程式には、積分表示と微分表示の二つが用いられており、本論文は前者の積分表示について述べたが、ここでこの二つを比較しておく。ある系の時刻  $t$  における状態が時間  $\tau$  だけ遡った  $-\infty < (t - \tau) < t$  なるすべての時点の状態に依存するところの履歴現象は、一般に汎関数によってあらわすことができる。特に、この系において、線形性がなりたち、履歴依存性が時間に対して一様になるとき、履歴効果の重ね合わせが可能となる。線形粘弾性材料に、積分形構成方程式が用いられるのは、このことに基づいている。一軸応力状態のもとにある線形粘弾性体（以下においては、特別に明示する必要のある場合を除き、線形の字を省略する）では、時刻  $t$  の状態を、記憶関数  $E(t)$  などを用い、記憶積分

$$\sigma(t) = \int_{-\infty}^t E(t-\tau) \frac{d\varepsilon}{d\tau} d\tau \quad (3.1)$$

$$\varepsilon(t) = \int_{-\infty}^t J(t-\tau) \frac{d\sigma}{d\tau} d\tau \quad (3.2)$$

によって表わすことが出来る。(3.1)式を緩和積分法則, (3.2)式をクリープ積分法則と呼んでいる。多軸応力状態に対する構成方程式はテンソル記号を用い,

$$\sigma_{ij}(t) = \int_{-\infty}^t K(t-\tau) \frac{d\varepsilon_{kk}}{d\tau} d\tau \delta_{ij} + 2 \int_{-\infty}^t G(t-\tau) \frac{d\varepsilon_{ij'}}{d\tau} d\tau \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_{ij}(t) = \frac{1}{9} \int_{-\infty}^t B(t-\tau) \frac{d\sigma_{kk}}{d\tau} d\tau \delta_{ij} + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^t C(t-\tau) \frac{d\sigma_{ij'}}{d\tau} d\tau \quad (3.4)$$

によって与えられる。ここで,  $\delta_{ij}$  はクロネッカーデルタであり,  $\varepsilon_{ij'}$ ,  $\sigma_{ij'}$  はひずみならびに応力の偏差成分

$$\varepsilon_{ij'} = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} \varepsilon_{kk} \delta_{ij} \quad (3.5)$$

$$\sigma_{ij'} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_{kk} \delta_{ij} \quad (3.6)$$

である。記憶関数  $E(t)$ ,  $K(t)$ ,  $G(t)$  が緩和関数であり,  $J(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$  がクリープコンプライアンスである。微分形構成方程式の提示は, 記憶が  $\tau_0 < t' < t$  なる限られた時間内にとどまる場合, 汎関数は速度を含む関数によってあらわし得るということは, 一言で言えば, 速度理論に基づいている。応力がひずみ速度に依存する材料の場合,

$$\sigma(t) = F(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \ddot{\varepsilon}, \dots) \quad (3.7)$$

であり, ばねとダッシュポットを並列に組み合わせた Voigt 要素は, (3.7) 式のもっとも単純な力学モデルである。又, 応力がひずみ速度ばかりでなく, 応力速度にも依存する材料では

$$\sigma(t) = F(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \ddot{\varepsilon}, \dots, \dot{\sigma}, \ddot{\sigma}, \dots) \quad (3.8)$$

である。これに属するもっとも単純な力学モデルは, ばねとダッシュポットを直列に組み合わせた Maxwell 要素である。

いま  $D$  を微分演算子  $\frac{\partial}{\partial t}$  とし,  $R, S, P, Q$  を

$$R = -\alpha + \sum_{k=1}^r \alpha_k D^k, \quad S = -\beta + \sum_{k=1}^r \beta_k D^k \quad (3.9), (3.10)$$

$$P = \lambda_e + \sum_{k=1}^p \lambda_k D^k, \quad Q = \mu_e + \sum_{k=1}^p \mu_k D^k \quad (3.11), (3.12)$$

によって定義される演算記号とすると,

$$R\sigma_{kk}\delta_{ij} + 2S\sigma_{ij} = P\varepsilon_{kk}\delta_{ij} + 2Q\varepsilon_{ij} \quad (3.13)$$

は線形速度理論に基づく粘弾性材料に対する微分形構成方程式の一般形である。

#### § 4 結 言

線形粘弾性理論の範囲内において, 増分形の応力ひずみ関係式さえ得られれば, あとは弾性問題における有限要素法の計算プログラムを用い, きわめて簡単に一般構造物の粘弾性解を得ることが出来, 又今回特に平面ひずみにおける構成式を導き土構造物への適用に期待できる。又, 地盤に対する有限要素法の適用は, 数多く試みられているが, 粘弾性解析まで応用した例は非常に導ない。またこの種の構造物の厳密な解を得ることは, ほとんど不可能に近いように思われる。その他, 土構造物の粘弾性解析には, いまだ多くの問題点が残されている。温度変化, 間げき水圧, 土の異方性, さらに非線形性まで含

めて一般的な構成方程式の確立は計算技術がここまで進歩した昨今、非常に急がれる問題である。

最後に本研究の遂行にあたり、東京大学生産技術研究所山田嘉昭教授より種々の助言と文献資料の提供を賜ったので記して深謝する次第である。

### 参 考 文 献

- 1) H. Aboshi : Stability of Soft Clay Foundations Underneath Embankment, Consolidated by Means of Card-Board Drains. Soils and Foundations, Vol. 9, No.2 p. 2—13, 1969
- 2) 網干, 小堀 : 軟弱地盤の変形解析に関する基礎的研究. 第28回土木学会中国四国支部大会 一般講演概要集, p. 105, 1976
- 3) Y. Yamada. K. Iwata : Finite Element Analysis of Thermo-Viscoelastic Problems. SAISAN-KE-NKYU Vol. 24, No.4 p. 165—168
- 4) Hill, R : The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford Press, p. 47—85, 1950
- 5) Y. C. Fung : Foundation of Solid Mechanics. Pretice-Hall, Inc. p. 417—426, 1965
- 6) 小堀, 網干 : 地盤の塑性変形に関する基礎的研究 — 2次元弾塑性解析 — 呉高専研究報告, Vol. 12, No.2, March, 1977
- 7) Y. Yamada : "Recent Japanese Developments in Matrix Displacement Method for Elastic-Plastic Problems", U. s. -Japan Seminar on Matrix Methods of Structural Analysis and Design, Tokyo (1969), to appear in the proceedings of the seminar
- 8) Zienkiewicz, O. C. : The Finite Element Method in Engineering Science. Mc Graw-Hill, p. 53—59, 1971

(昭和53年10月15日受付)

# 事例研究—見学旅行—

建築学科 清 和 四 士  
建築学科 緒 方 信 一 郎

## A CASE STUDY—AN EXCURSION FOR FACTORY OBSERVATION

Kazuyoshi SEI  
Shinichirō OGATA

We made a plan for the 4th year students of the Architecture course in 1978 to visit factories in order to have them observe what is happening there and we carried it out. We will report in detail the circumstances before this plan was made, how we arranged for the excursion, how we supervised the students during the excursion, and how we evaluated the excursion after we came back.

### § 1. はじめに

昭和43年に初めて実施された本校の見学旅行は高度成長の時代的背景により、年を追って日数・費用も多くなったが、オイルショックを契機として最近は日数制限が強化され、昭和53年度は4泊5日以内となっている。経費は物価上昇により少しずつ膨張しているので、旅行積立てを実施していないクラスにとっては問題点の一つである。然し最も大きな問題は内容であり、逐年高校・中学の修学旅行と同様な観光を主としたものに変貌し、社会人の慰安旅行に類似してきている点である。かゝる旅行となれば、反教育的な面が数多く生じてくることは自明の理で、本校も今後の見学旅行のあり方を真剣に考えなければならず、全教官の課題となっているわけである。筆者等は初心にかえって、工場見学を中心とする旅行を実施させることが望ましいと考え、建築学科第4学年において、旅行社に支配されない学校主導型の見学旅行を実施したので報告する。

### § 2. 企画前の状況

建築学科では昭和52年度は事情により見学旅行は中止しており、教室会議において見学旅行のあり方を屢々検討している。最近の建築学科各クラスでは旅行積立てが行われておらず、経費上も実施困難におちいる可能性を多分にもっていた。昭和53年4月13日の年度当初のL.H.R.において、今年度の見学旅行に対する次のような学校の方針を説明した。

- (1) 時期は各学科で検討し、4泊5日以内とする。
- (2) 見学を主とする場合には平日を使ってもよいが、従来のように観光を主体とするものであれば休暇中に実施することが望ましい。(他の細部事項は省略)

説明後に希望調査を行ったところ、次のようであった。

- a 工場見学を主とする旅行：0名
- b 従来通り観光を主とする旅行：20名

## c. 個人・グループで適当に旅行する：9名

旅行幹旋業者の要望もあり、4月19日再調査してみたが、 $a=0$ 、 $b=19$ 、 $c=16$ でまとまりがなかった。そこでa案の腹案（近代建築材料の見学：セメント、鉄、ガラス等）を示し、再考慮期間を与え、5月1日に重ねて各案に対する賛否を問うた。その結果 $a=16$ 、 $b=9$ と逆転し、c案賛成者でもa案で実施と決まれば従うと回答した者が8名で、これを加えればa案同調者がクラスの $\frac{2}{3}$ を占める状況になった。そこで今年度は少なくとも観光旅行は行わず、少額の費用で旅行日数を切詰め、クラスの大半が参加できるような実質的工場見学を立案することにした。

## § 3. 決定日程を得る手続き

5月8日に素案を学生に示して同意を求めた。立案のねらいは積立金を持たない学生全員を参加させるために経費を節約し、2泊3日とした。学習効果をあげられるものとしてセメント、鉄鋼、ガラス、衛生陶器等近代建築材料の工場見学とし、これら各工場がまとまっている北九州市を候補として選び、作成した素案が表1であり、実施日程表2はこれを修正して得られたが、手続き関係は図1のようになる。

表1 素 案

	旅 行 日 程			
6/22 (木)	阿賀 6:36	広島 7:32	小倉 8:08	バスにて2社見学 東陶機器本社工場 セメント工場（小野田、三井、三菱） 宿泊国民宿舎 めかり山荘
6/23 (金)	宿舎 9:00	バスにて2社見学 小倉 15:24	別府 17:47	新日鉄八幡 戸幡製鉄所 旭硝子八幡工場 宿泊国民宿舎 しだか
6/24 (土)	宿舎 9:00	バスにて市内名所めぐり 別府港 15:00	広島港 20:30	呉港 21:45 (広別汽船)
備 考	概算費用：国鉄運賃、船賃、貸切バス、観光バス、宿舎2泊にて約25,000円			

表 2 施 実 日 程

	旅 行 日 程						
6/22 (木)	阿賀 → 広島                      小倉 ≡ 東陶機器 ≡ 小野田セメント ≡ 宿舎若戸荘 6:36            7:32    ひかり                      9:30            10:00 ~ 11:30            13:30 ~ 15:30            17:00 8:08            51号 →						
6/23 (金)	宿舎 ≡ 新日鉄戸畑 ≡ 日鉄建材 ≡ 小倉 → 別府 ..... 宿舎碧泉荘 8:30            9:00 ~ 11:00            11:00 ~ 12:30            15:24    ゆのか    17:47            18:00 						

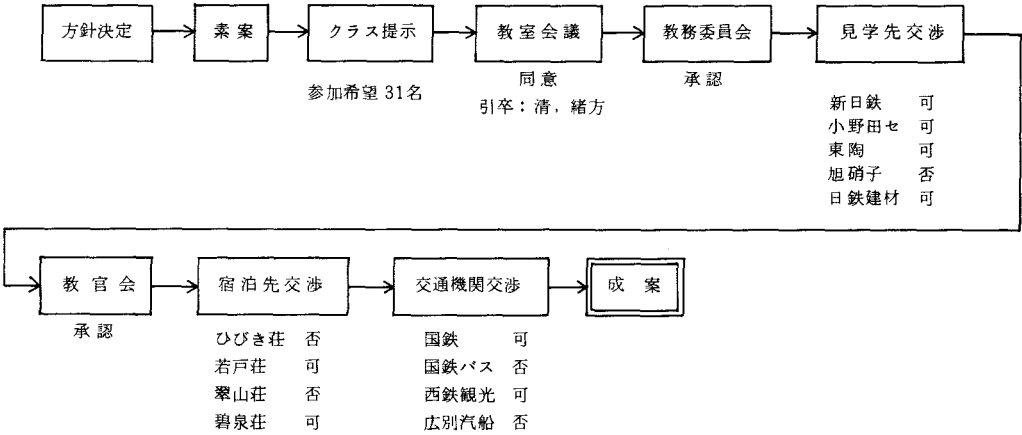


図 1 手 続 き

図 1 の流れを企画・交渉の担当者としてメモに綴れば次のようになる。

- 4.13 見学旅行の内容希望調査Ⅰ（従来の観光主体旅行を希望）。
- 4.17 某旅行幹旋業者来校・打合わせ。
- 4.19 見学旅行の内容希望調査Ⅱ（学生の希望不変）。
- 4.27 前記旅行幹旋業者再来，クラス状況を談合する。
- 4.28 クラスで状況を説明，学生と談合する。
- 5.1 クラスで基本方針の最終的調査（工場見学旅行に逆転），立案を約束する。
- 5.5 北九州市内にて「鉄・ガラス・セメント・窯業製品」の工場見学素案を作成する。
- 5.8 学生に見学旅行案を示し，明日参加希望を調査すると予告する。
- 5.9 上記素案に対し，参加31名となったので教務主事に委員会審議を依頼する。
- 5.12 教室会議の了承により，引卒教官清・緒方決定，教務委員会で素案承認する。
- 5.13 委員会結果を学生に伝達，近日中に見学候補先と交渉すると話す。見学目的説明資料・公文依頼状を準備する。
- 5.15 広島へ出張し，見学候補の出先機関と交渉，基本的に東陶，小野田セメント，新日鉄可。旭硝子

は不能故日鉄建材に急拠変更して了承を得る。

- 5.16 関係者に交渉経過を説明し、宿舍の選定にかかる。
- 5.17 教官会で承認。別府宿舍碧泉荘に文書で申込む（事前に電話で仮予約）。
- 5.18 北九州の宿舍を電話で交渉し、即日予約金を立替え、現金書留にて郵送する。
- 5.19 教室会議で再び経過を報告する。
- 5.22 新日鉄見学先が八幡か戸畑か決らず、先へ進めず。
- 5.23 学生に旅行計画・地図を渡し、父兄に連絡をとるよう指示する。宿舍予約金の徴収を会計委員に指示する。
- 5.26 国鉄安芸阿賀駅にて、団体旅行申込書用紙をもらい、記入上の注意を聞く。
- 5.27 小野田セメント広島支店長より見学承諾書が届く。貸切りバスを西鉄観光と交渉し、6月22日のみ約束する。
- 5.29 校長印をもらって安芸阿賀駅に団体旅行申込書を提出する（可否決定に約1週間を要する見込み）。
- 6.2 クラス学生に旅行の事前指導（全般的心得）、新日鉄は戸畑見学と決定する。
- 6.7 電話で東陶機器出先と見学細部を打合せる。国鉄より団体旅行の許可連絡が入る。
- 6.8 見学旅行費25,000円を2名持参する。  
父兄宛に領収書を発行し、保管を教務の金庫とする。
- 6.9 学生に「見学旅行実施要領」を説明して渡す。西鉄観光に6月23日のバスを依頼する。
- 6.15 旅行費提出者が24名となる。国鉄の団体切符（322,070円）を購入する（購入期限6月11日を延期願っていた）。急病による1名減も国鉄側の要望で購入し、後日払戻しを受けることにする。途中乗車・降車調べを提出する。
- 6.16 団体切符の区分を計算し、学生に示すと共に引卒旅費算出の基礎資料として教務係に提出する。
- 6.19 旅行心得を学生に指導する。
- 6.21 集合時刻・服装等最終的に個人指導する。見学先と電話にて最終連絡をとり、万全を期す。

#### § 4. 工場見学の情況

予定に従って4社の工場見学を行ったが、冗長になるので、東陶機器本社工場における見学概況の一部を記す。

6月22日10時より早速2班に別れ、ガイド嬢がついて先づショールームを見学する。衛生陶器ではメーカーは消音型、節水型を中心として開発を進めているようである。消音型はアパート・マンション等の排水騒音から取組まざるをえないものであり、普通型と並べて作動させてみせるので、効果は明確にあらわれていた。節水型は特に今年のような少降雨の年には学生にも充分納得できたようである（同県福岡市の給水制限）。大便器の切断模型は縦二つ割りとして片面ガラスで水流が見られるようにしており、教科書の図では明確でないところが理解できたようで、ウォッシュアウト、ウォッシュダウン、サイフォンジェットの各方式に吸い付かれるように見入っていた。洗面化粧台の豪華版（例えばカルダンのデザインによるもの）や製品の高価なことに驚いていた。製品にはすべて定価が付けられており、参考になったようである。ユニットバスルームは設計資料として学生達の興味をひいた様子であった。ガイド嬢の説明ではあきたらず、筆者等に洋風便器・バスの一体化について尋ねた学生もいた。ユニットにしても便器と浴槽とは仕切るのが日本人の感覚としては望ましく、ホテル等の実例を二、三話したが、筆者の主張するような製品も展示してあった。身障者用のモデルユニットも展示されており、こゝで障害者用設計の難しさ（障害の程度、身体各部の寸法等）を話し、建築学科卒業生川内美彦君の卒業研究「肢体障害者の行動形態と建築における対応について」を簡単に紹介した。続いて衛生陶器の製造工程の見学に移り、図2の主要工程を見学した。

陶石、長石等の主原料は全国各地から取寄せており、戸外に堆積してあった。貯泥までの工程は工場入口をのぞいただけで説明を受けたが、貯泥タンクは地下に入っている関係もあって学生は殆んど興味

を示さなかった。石膏型の造型は手作業に頼る部分が多く、一つの石膏型は約80回繰返し使用すると説明を聞き、続いて送泥・成形工程に移ったが、学生は生素地作成の手際の良さに驚いていた。乾燥は工場の階全体が乾燥室となるほどの規模で目を見張っていた。施釉の工程は説明も丁寧であり、学生も釉薬と焼成色の関係について質問していた。トンネル窯を出たばかりの熱い製品がコンベアーで送られる様子も見学し、焼成中製品に生じた亀裂をすばやく見付けた学生がいた。トンネル窯は一般の窯業製品（煉瓦等）のそれに比して、遥かに清潔に管理されており、遠方の焼成帯は赤い炎を望遠する程度であったが、学生はフロアにきっちり据えられたトンネル窯に意外な感じをもったようである。窓外の不良品置場が学生達の眼につき、不良品の処理法について質問した

学生がいた。勿論一旦焼成したものは再生不能で一部をシャモットとする他は響灘の埋立地に運んで処理しているとの回答があった。検査工程では漏水テストに足を止める学生が多かった。

次に水栓金具工場を見学し（詳細は略す）、本社会議室で営業第3課長の総括説明を受け、質疑に移った。全般の問題に関する学生の主な質問事項を列記すれば次の通りである。

- (1) 製品の種類は多いが、これほど大量に生産して需給のバランスは保たれているのか。
- (2) 製品の開発・販売時点で機能を優先するのか又は商品全般のイメージを優先させるか。
- (3) 騒音・塵埃・悪臭等の対策が不十分ではないだろうか。
- (4) 単純作業が多いように見受けられるが、入社後何年か経つと作業内容を変えているのか。
- (5) 職場での配置転換と合理化の実施はどうなっているのか。

以上が東陶機器の工場見学状況であるが、他の3社の工場見学も大体同様である。

## § 5. 学生・父兄の反応

この度の見学旅行を終了した直後に学生に対しては見学旅行記を書かせており、また父兄に対しては7月16日、17日の学生父兄懇談会時に簡単なアンケートに答えてもらっている。この内容を検討してみる。学生の反応は旅行記の文章から判断したものである。

- |                            |     |     |
|----------------------------|-----|-----|
| (1) 見学旅行は意義があったと記した者       | 28名 | 82% |
| (2) 見学旅行の意義はそれ程ではなかったと記した者 | 4名  | 12% |
| (3) 工事現場見学の方が良かったと記した者     | 1名  | 3%  |
| (4) 旅行記では判断しかねた者           | 1名  | 3%  |

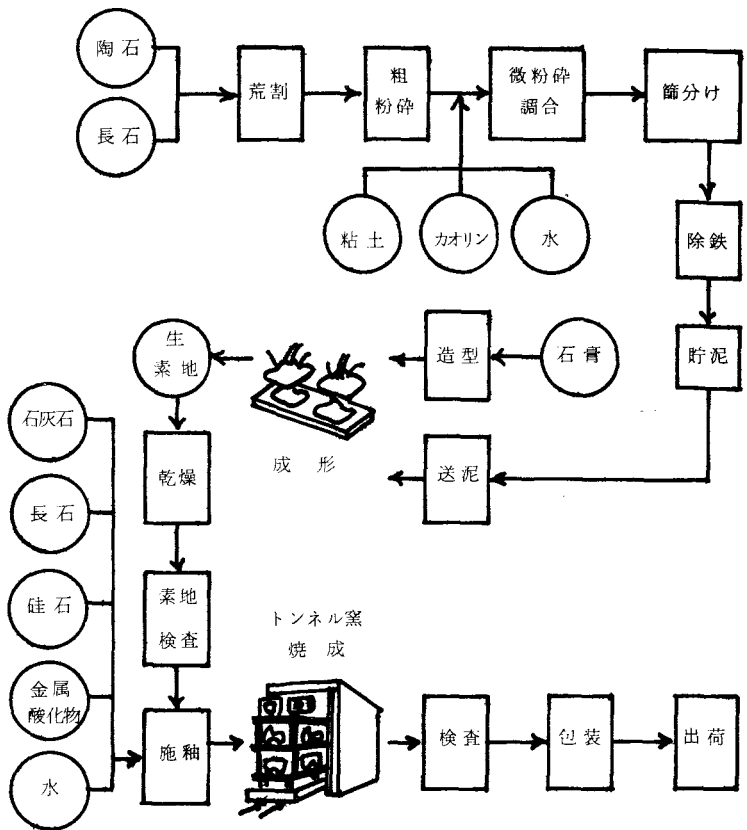


図2 衛生陶器の製造工程

§ 2 に記載したように出発前には観光旅行が逆転されてしぶしぶついてきた者が相当数あったわけであるが、帰ってからの感想ではこのように変化している。旅行の意義はそれ程でもなかったとする者でも、旅行記の内容では得るところがあったとうかがえる。学生に大きな感銘を与えた事項を列記すれば次のようなものがあげられる（東陶機器を除く）。

- 新日鉄戸畑の分塊圧延による巨大なスラブを簡単に整形する一連の装置。
- 同じく熱間圧延工程で熱塊のスラブがまたたく間に薄板として巻取られること。
- 八幡製鉄所戸畑地区の広大さ及び戸畑2号高炉の出鉄時の迫力。
- 日鉄建材戸畑工場におけるリップ溝形鋼の成形方法。
- 同工場におけるデッキプレートの折曲げ加工方法。
- 同工場におけるエキスパンドメタルの剪断切目入れ引伸し工法。
- 小野田セメント門司工場におけるロータリーキルン内部の焼成状況。

以上のようなものは講義では細部説明を略すので理解はできても頭に残らぬものであり、正に百聞は一見に如かずであった。学生の残念がっていたことでは新日鉄においてH形鋼の圧延が見られなかったこと、小野田セメント門司工場の回転窯故障による工場休業があげられる。

父兄に対する無記名の簡単なアンケートは次のようなものである。

(1) 今回は工場見学を主とし、学生の見聞をひろめる企画をしたが、父兄としてどう思いますか。

- |                    |     |     |
|--------------------|-----|-----|
| a. 今回のような見学旅行がよい。  | 21名 | 91% |
| b. 観光を主とした見学旅行がよい。 | 1名  |     |
| c. その他             | 1名  |     |

(2) 今回は2泊3日としたが、期間についてはどう思いますか。

- |                 |     |     |
|-----------------|-----|-----|
| a. 短かすぎる。       | 4名  | 17% |
| b. この程度でよい。     | 18名 | 78% |
| c. その他（内容はaに類似） | 1名  |     |

(3) 旅行費用は21,000円あまりと節約したが、どう思いますか。

- |                 |     |     |
|-----------------|-----|-----|
| a. 少なすぎる。       | 5名  | 22% |
| b. この程度でよい。     | 16名 | 70% |
| c. その他（内容はaに類似） | 2名  |     |

以上は父兄懇談会出席者26名中、旅行参加者父兄24名に対するもので、殆んど全員の23名が回答している。この結果からみて今回の見学旅行が父兄からも支持されたことは明白で、欲を言えばもう少し費用はかかっても期間をのばし、ゆっくり見学旅行をさせたかったとの願いが汲みとられる。意見・感想も13名の父兄が記している。『高校生活の最後の旅行ですと、となく見物旅行になってしまい勝ちなのですが、見学旅行となると又、変わった旅行で、特に高専に於ては今回のところみは日程・費用・場所においても適当であったように思います』このような感想で代表されている。

## § 6. 問題点及び反省

今回の見学旅行を実施してみて、数多くの問題点と直面したので、反省をこめて主要点をとりあげてみる。

1. 観光旅行を希望する学生達に対し、約1ヶ月の期間で工場見学中心の旅行に切換えさせたが、準備期間がやはり不足しており、事前に配布した見学先工場の予備知識が学生に欠けていた。もう少し早い時期から準備にかかり、事前指導に力を入れるのが望ましい。
2. 成案を得るまでの手続きが煩雑であり、偶然、今回は交渉4社のうち3社がその場で原則的に同意され、断われた1社の代案が直ちに浮び、1日で見学先の基本交渉を終えることができたものの、見学社数が増せば必ずしもうまくゆくとは限らず、校内手続きの簡易化がなければ非常に難しいと思われる。

3. 旅行幹旋業者をわずらわさないだけ、安価になったわけであるが、このためには団体引率の諸手続きを知っておくことが必要である。例えば国鉄の団体旅行申込書関係等は相当面倒でもあり、実際の旅行中も乗換え駅毎に団体受付口にて人員の報告を要する等、乗換え時間が少なれば不可能な状況となる場合も予想される。国鉄以外の交通機関でも時刻表のみを頼らず、確実に連絡をとり、時刻表に記載されていない運休等にも備えなければならない。当然添乗員の役割が引率者にかかってくるので、予めその心構えが必要である。

4. 見学先の工場はできるだけ一地域内にあることを基本的条件に考えておく必要がある。今回は漠然として北九州市内に限定したが、地域が限定されておれば不測の事態にも対処法が考えられる。

5. 旅行参加予定者の健康状態に相当以前から気をつけさせる指導が大切で、持病等の調査は旅行形態の如何に拘らず行っておくことが望ましい。今回は団体切符購入時に急性虫垂炎手術者1名があったのみで、払戻し手続きが少し増した程度であった。

6. 引率教官が所要経費の精算まですべて行うので、支払い明細・領収書等必ずその場で整理し、必要なメモはとっておき、帰校後直ちに精算できるように予め準備するのがよい。今回は表3のように精算して、明細と返還金について学生を通じて父兄に連絡した。約3週間後の父兄懇談会に於て面談によって、これらを承知しているか否か確かめた。子弟から報告を受けていると明確に答えた父兄は12名で出席父兄の半数程度であり、現代の親子関係における欠陥の一面を浮き彫りにした状況と考えられる。

7. 今回は旅行積立てを実施していないクラスに対する見学旅行であったので、期間・経費を切詰めなければならなかったが、旅行費用は少額づつでも低学年時から積立てるべきである。

## § 7. おわりに

今回の学校主導型の見学旅行が成功した裏面には工場見学先各社の御理解・御協力をいただいたことが第一であり、更に教務委員会をはじめ、教務係等の援助によるところが大で厚く御礼申上げる。学生の感想記に「今回の旅行で一番張切っていたのは、先生じゃないかと思う。あんなに世話をしてくれると、とてもうれししいし、ありがたく思います。ほんとに御世話になりました。」この一文で旅行疲れがずっと癒え、学生の役にたつ本質的な見学旅行を定着させたいとあらためて感じた。 以上

表 3 旅行費内訳

項 目	金 額 円/人
国鉄旅費（運賃，新幹線特急券，急行券）	8,670
タクシー代（小倉駅→東陶）	118
有料道路料金（関門付近）	61
若戸荘宿泊料	3,905
西鉄観光バス	2,200
碧泉荘宿泊料	4,170
別府観光バス料金	730
地獄入場料	370
記念写真料	330
夕食弁当（24日）	550
合 計	21,104
徴 収 金	25,000
残 額	3,896
残額のうち3,000円は返還し，896円はクラス預金とする。	

（昭和53年9月20日受付）

# 地盤—建物系の振動性状に関する基礎的研究

(せん断質点系モデルによる解析)

建築学科 門 前 勝 明  
旭ハウス工業 前 久 慎 治

Basic Study for Dynamic Behavior of Soil-Structure Systems  
(Analysis of Soil-Structure Systems using a Lumped-Mass Model)

Katsuaki MONZEN  
Shinji MAEHISA

Lumped mass type of analysis is available analysis procedure in such cases that the ground surface, the rock surface, and the boundaries between soil layers are essentially horizontal. Using the lumped mass model, the effects of fundamental frequency, damping, stiffness properties, and nonlinear properties of soil layers on dynamic characteristics of soil-structure systems to the applied base motion are discussed.

## § 1 はじめに

V. V. Berteroによれば、地震動による建物の応答  $X_4$  を模式的に表わせれば図1のようになる。<sup>1)</sup>  $X_1$  は地震基盤（又は岩盤）に到達した地震波で、マグニチュード  $M$  と震源距離  $R$  の関数と考えられる。

$$X_1 = f_1(R, M)$$

構造物の影響を受けずに振動する地表の地震動を  $X_2$ 、表層地盤による増幅現象を  $A$  で表わせば、

$$X_2 = X_1 A$$

となる。構造物の地震応答を求めるための入力地震動  $X_3$  は、構造物と地盤の相互作用による影響を  $I$  で表わせれば次式の如き形で表現できる。

$$X_3 = X_2 I = X_1 A I$$

地盤条件による増幅現象の重要性は、地震観測、建物の被害調査等を通じて、以前より多くの研究者によって指摘されているところである。一方、地盤の弾塑性によって生ずる地盤と建物の相互作用の問題に関しても、地震時における建物の挙動に関連して、古くから理論的・実験的研究がなされている。R. V.

Whitman と H. B. Seed によれば、比較的剛な建物の地震挙動は、地盤と建物の相互作用による影響を強く受ける場合がある。しかし、柔な建物の場合、相互作用による影響は地盤条件による増幅現象に比較して小さいと指摘している。<sup>2), 3)</sup>

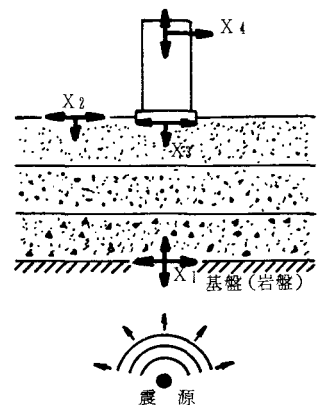


図1 地震動による建物の応答

この報告は主に地盤条件による増幅特性に着目し、地盤—建物系をせん断質点系モデルに置換して、基盤入力に対する系の応答解析によって、地震による地盤—建物系の大まかな挙動を数値的に把握しようというものである。

## § 2 解析モデル

地盤は三次元的な広がりを有する半無限連続体と考えられるが、基盤及び地盤が比較的簡単な地形によって構成される場合（たとえば、基盤や地表面におうとつのない平行層によって構成される場合<sup>4)</sup>）、水平面での位相のずれを無視して、せん断振動系として取り扱うことができる。せん断振動系モデルは地盤の塑性による影響も加味する事ができる取り扱いの簡便なモデルとして広く使用されている。<sup>4)~10)</sup>本研究で使用した地盤—建物系モデルを図2に示す。地盤を5質点に、建物を1質点に置換して複合系としては6質点系とし、ロッキングは無視している。

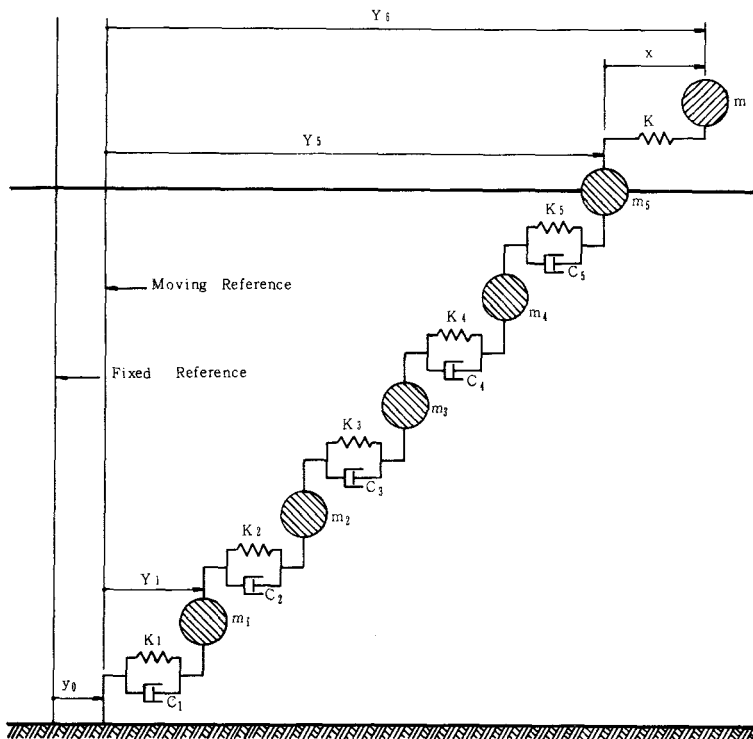


図2 地盤—建物系のせん断質点系モデル

土のせん断応力度—ひずみ関係はほぼ図3(a)に示す紡鐘型で表わすことができるとより、地盤の復元力特性として図3(b)に示すBi-Linearモデルを使用することにする。表層地盤の剛性分布は弾性域における1次固有振動形が逆三角形をなすものと各層の剛性が均等な場合の2種類を考え、各々三角形モデル及び均等モデルと呼ぶことにする。表層地盤の1次固有周期 $T_g$ は0.3秒～2.0秒とする。各地盤の減衰常数 $h_g$ は相等しいものと仮定して、三角形モデルについて $h_g = 0.00, 0.02, 0.05, 0.10$ の4種類、均等モデルについて $h_g = 0.00, 0.10$ の2種類とする。Bi-Linearモデルの塑性剛性比（塑性剛性／弾性剛性）は0.05とし、降伏せん断力 $Q_y$ は線形応答せん断力 $Q$ によって適当に変化させている。但し、Bi-Linearモデルによる地盤の弾塑性解析は、 $T_g = 0.4, 0.8$ 秒の場合に限定している。建

物は無減衰 1 質点系とし，固有周期  $T$  は 0.2 秒から 5.0 秒までとする。

### § 3 解析方法

図 2 に示す地盤—建物系の地震動による質点の運動方程式は次式で表わされる。

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = -\ddot{y}_0[M]\{1\} \cdots \cdots (1)$$

ここで， $\{\ddot{Y}\}$ ， $\{\dot{Y}\}$ ， $\{Y\}$  は質点の相対加速度，相対速度及び相対変位ベクトル， $[M]$ ， $[C]$ ， $[K]$  はそれぞれ質量マトリックス，減衰マトリックス及び剛性マトリックス， $\ddot{y}_0$  は地震基盤における地震加速度である。(1) 式の数値積分には Runge-Kutta 法を使用し，計算時間きざみは 0.01 秒としている。

金井によって，茨城県日立鉾山の地下 300 m における地震動の速度スペクトル ( $h=0.05$ ) はかなり広い範囲の周期にわたってほぼ一定になることが示されて以来，<sup>15)</sup> 地震基盤の考えは，地盤条件による地震動の増幅現象を把握する際，広く利用されている。服部と北川は，基盤における地震動の速度スペクトルが周期範囲 0.1 秒から 5.0 秒で一定という考えから，日本附近の地震危険度を表現している。<sup>16)</sup> 一方 H.R. Seed らは，基盤（岩盤）における地震動の特性は地震のマグニチュードと震源距離によって変化するものとして，基盤の卓越周期と最大加速度をマグニチュードと震源距離の関係で示している。<sup>17)</sup> 土田らは，地表で得られた強震記録から重複反射理論により，基盤を伝播する地震波（入射波）を求めた結果，入射波は卓越周期（約 0.1 秒と 1 秒）を持ち，地震のマグニチュードと震央距離が入射波のスペクトルに及ぼす影響は明確にとらえられないことを指摘している。<sup>18)</sup> 小林らは，地震基盤における地震動の周期特性は地震規模の大きさによる影響が顕著であり，速度スペクトルは  $M=6.5 \sim 7.0$  程度では周期によらずほぼ一定であるが，これにより地震規模の小さい地震動では周期が長いほど速度応答量が小さく，逆にこれより地震規模の大きな地震動では 1 秒より長い周期成分の速度応答量がそれより短い周期成分に比してより大きな値を示すことを指摘している。<sup>19)</sup>

以上の如く，地震基盤における地震動の特性に不明な点も多いが，本研究では第 1 近似として，速度スペクトルは周期によってあまり変化しないものとして，平均値ゼロ，分散 1 のガウス乱数を等間隔 0.01 秒で時間軸上に並べ，互いに直線で結んだものに，振幅に関する時間軸上の特性を取り入れるため <sup>20)</sup> 図 4 に示す強度関数を掛け，100 倍したものを地震基盤における地震加速度  $\ddot{y}_0$  として使用している。図 5 は使用した地震基盤における地震加速度波形を示したものである。地震継続時間は 20.48 秒とし，最

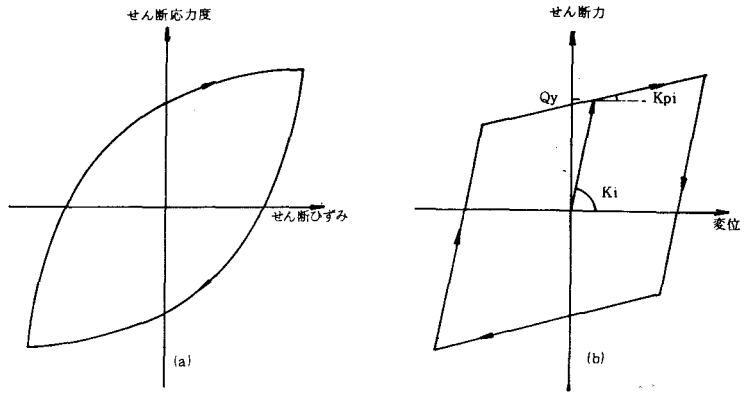


図 3 土のせん断応力度—ひずみ関係と地盤の復元力特性

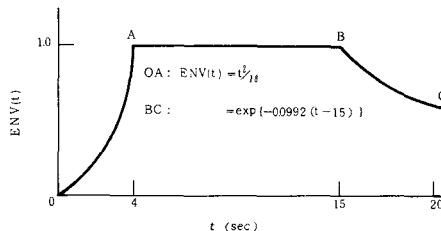


図 4 強度関数

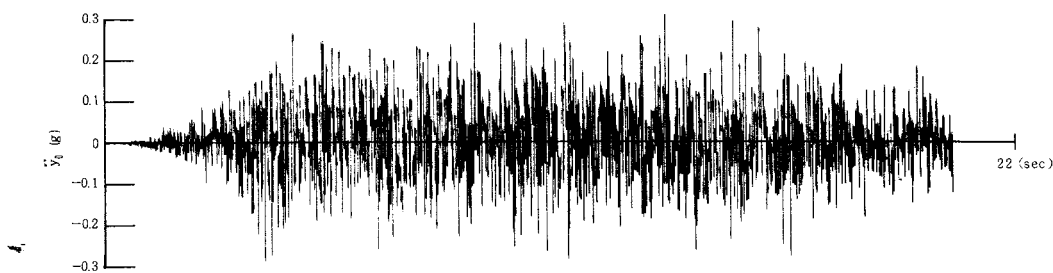


図5 地震基盤における地震加速度

大加速度は約 0.3  $g$  である。図6は $\ddot{y}_0$ の速度応答スペクトルを減衰常数  $h=0.00$  (近似的にフーリエスペクトルと見做せる) と  $h=0.05$  について示したものである。かなりのでこぼこは認められるが、ほぼ速度スペクトル一定と見做せることがわかる。図7(a)は参考文献17) による基盤(岩盤)における地震動の最大加速度と震源距離の関係をマグニチュード  $M$  をパラメータに示したものである。さらに、図7(b)は参考文献19) による基盤における地震動の速度スペクトル  $S_v$  を震源距離  $x=50\text{ km}$  の場合について  $M$  をパラメータに示したものである。図5及び図6より、本研究で使用した入力加速度 $\ddot{y}_0$ は、数値的に約  $M=7.5$ 、震源距離  $20\sim30\text{ km}$  程度に対応するものと推定される。

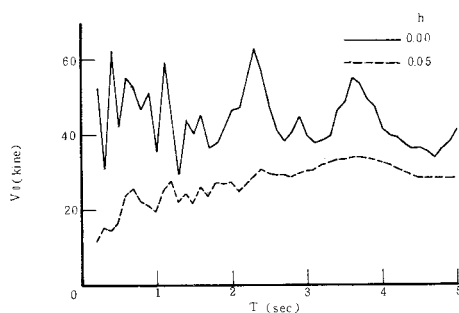
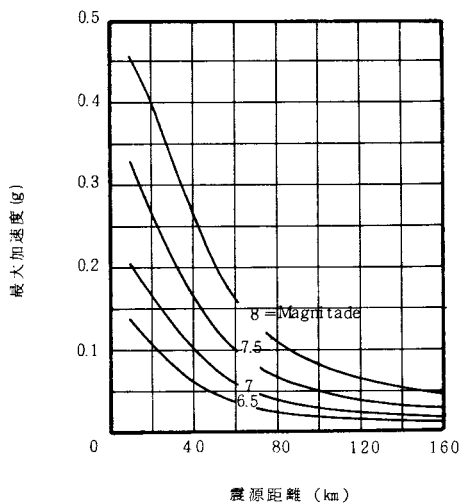
図6  $\ddot{y}_0$ の速度応答スペクトル

図7 (a)

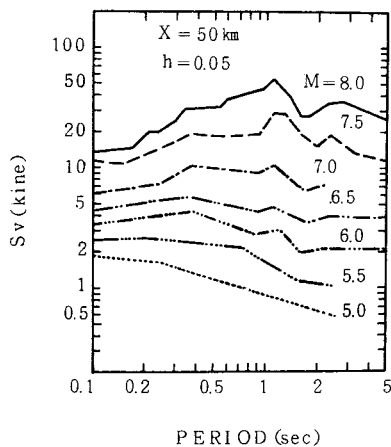
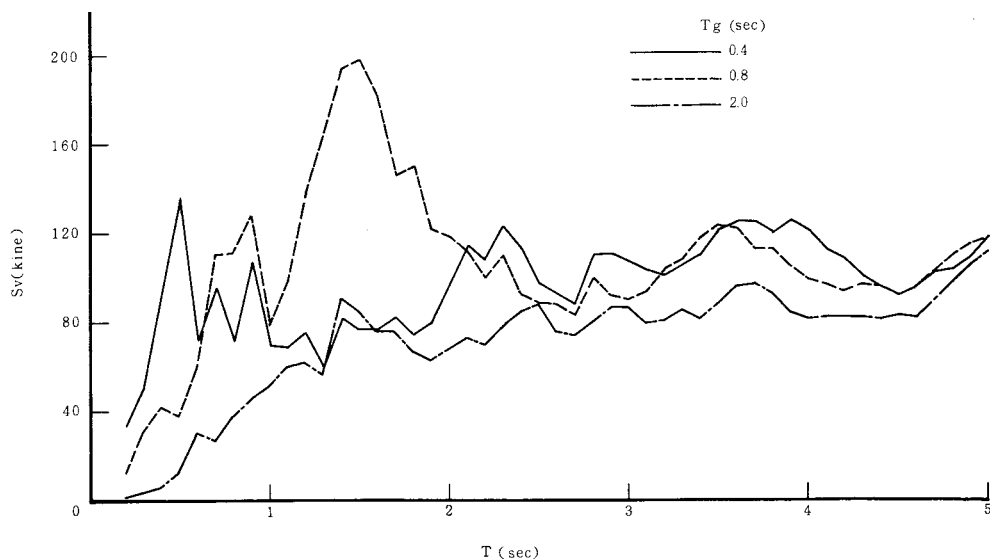
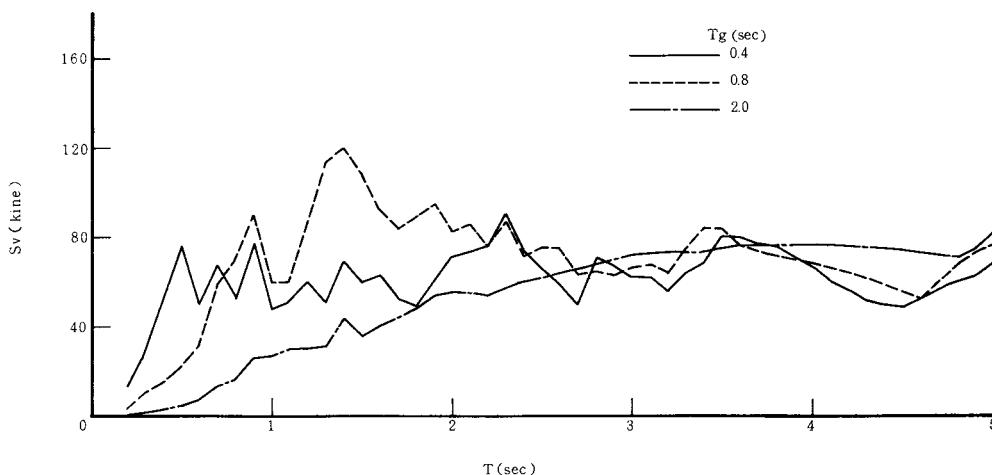


図7 (b)

## § 4 解析結果とその検討

地盤の周期, 減衰, 剛性分布, 非線形特性が建物の応答量に及ぼす影響を, 建物の速度応答量によって示す。図8-1～図8-3は三角形モデルについて, 各々  $h_g = 0.00$ ,  $h_g = 0.05$ ,  $0.10$  に対する建物の応答スペクトルを地盤の1次固有周期  $T_g$  をパラメータに示したものである。予想されたことであるが,  $T_g$  の差異が応答スペクトル特性に及ぼす影響は大きいことがわかる。すなわち, 建物の応答スペクトル特性は, 建物の周期  $T$  が地盤の1次固有周期  $T_g$  とほぼ一致する付近まで  $T$  の増加によって増加するといえる。しかし,  $T$  が  $T_g$  に比較して大きい場合についてもかなり大きなピークが認められ, 建物の応答スペクトル特性と図6に示す地震基盤における地震動の応答スペクトル特性を比較すれば, 地

図8-1 速度応答スペクトル (三角形モデル,  $h_g = 0.00$ , 弾性)図8-2 速度応答スペクトル (三角形モデル,  $h_g = 0.05$  弾性)

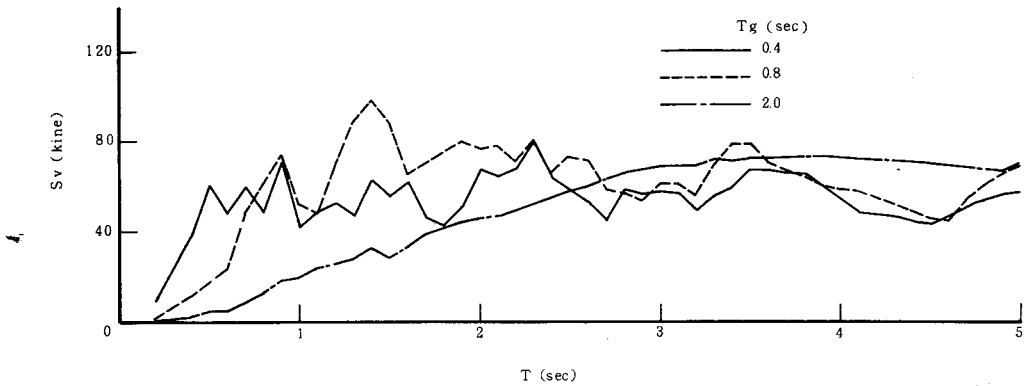


図8-3 速度応答スペクトル (三角形モデル,  $h_g = 0.10$ , 弾性)

震基盤における地震動の周期特性が建物の応答スペクトルに及ぼす影響は大きいことがわかる。たとえば、地盤の履歴減衰として10~20%程度が見込まれることを考慮して、図8-1に示す $T_g = 0.8$ 秒、 $h_g = 0.00$ の場合はさておいても、図8-3に示す $T_g = 0.8$ 秒、 $h_g = 0.10$ の場合、応答量の最大値は $T = 1.4$ 秒で100 kineとなり、 $T$ が $T_g$ 付近のピークに対応する $T = 0.9$ 秒における76 kineの約1.3倍となっている。

図8-4、図8-5は均等モデルについて、 $h_g = 0.00$ 、 $h_g = 0.10$ に対する建物の応答スペクトルを示したものである。 $T_g$ の差異が建物の応答スペクトル特性に与える影響は、三角形モデルの場合とはほぼ同様の傾向を示すといえる。

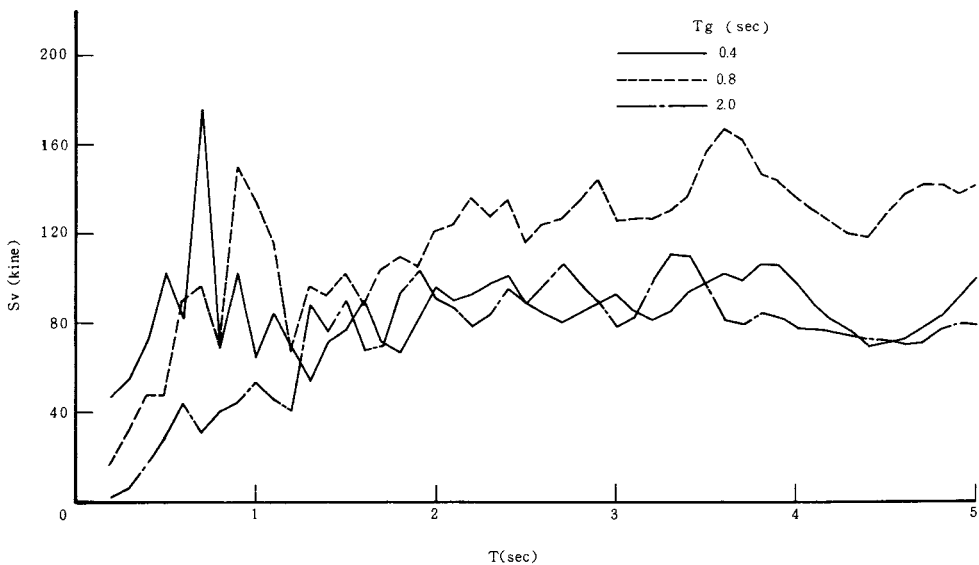
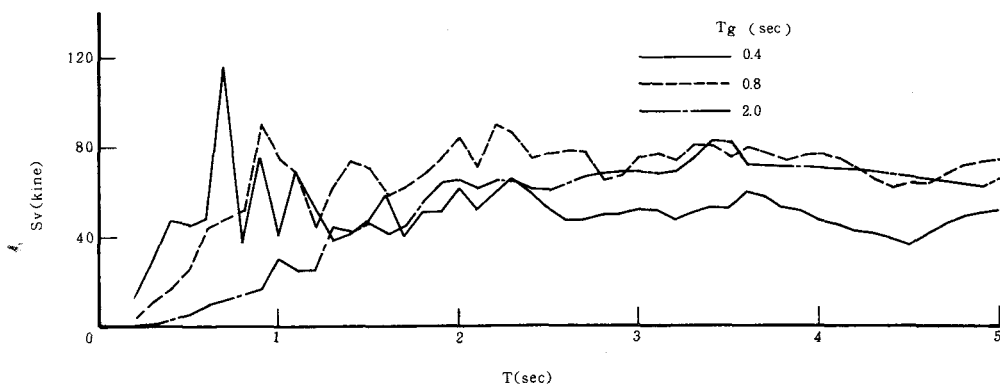
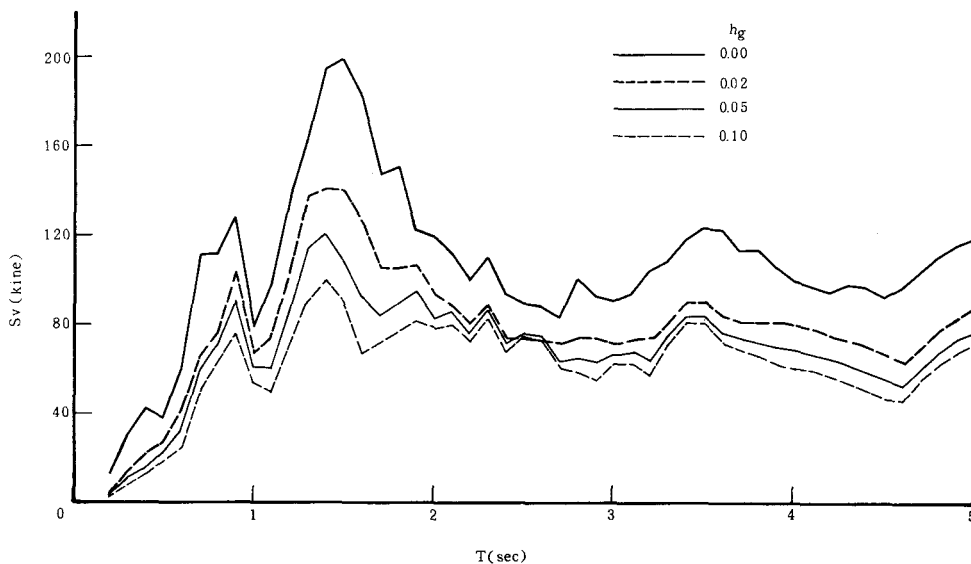


図8-4 速度応答スペクトル (均等モデル,  $h_g = 0.00$ , 弾性)


 図8－5 速度応答スペクトル (均等モデル,  $h_g = 0.10$ , 弾性)

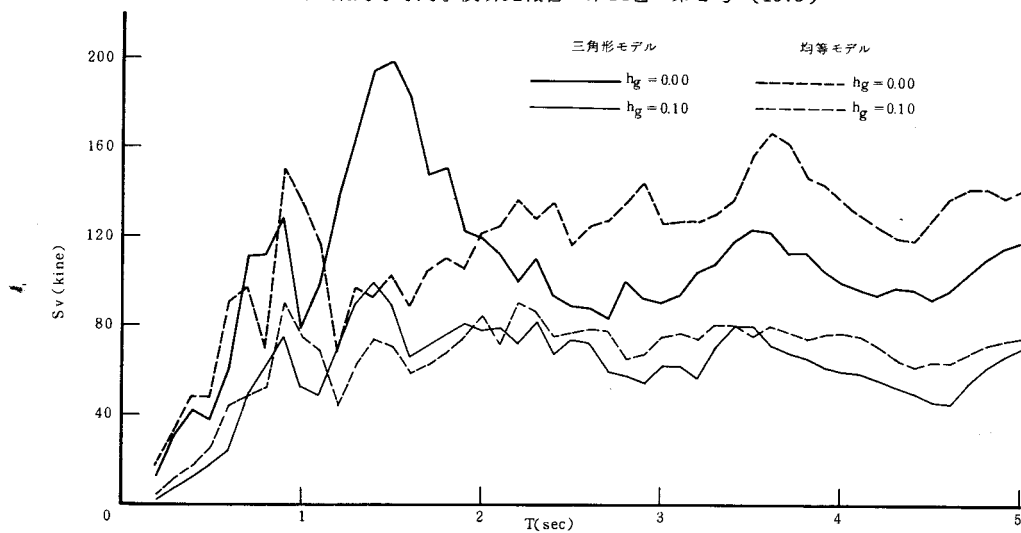
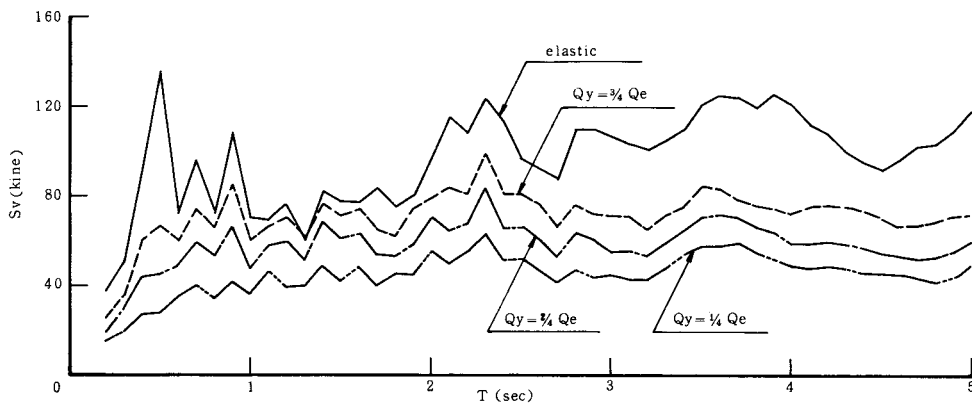
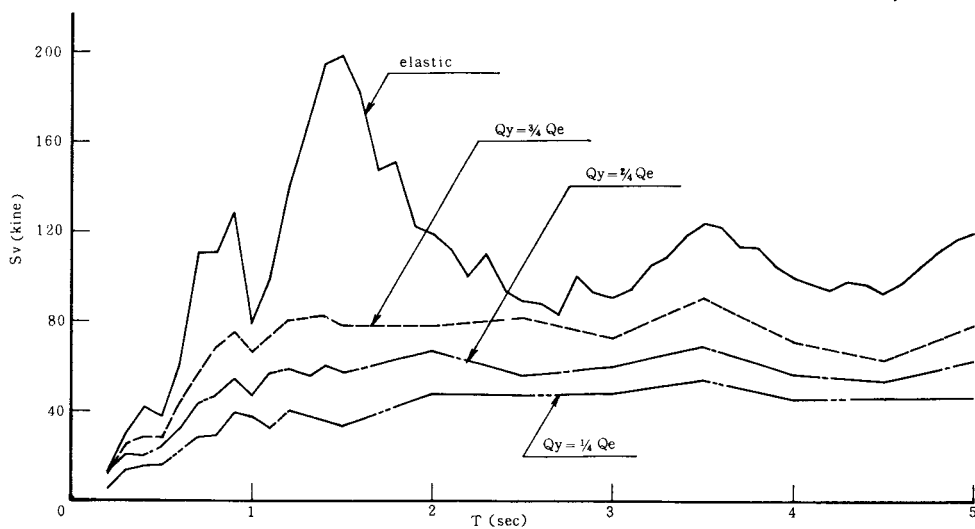
減衰量の差異が応答性状に及ぼす影響は顕著である点を考慮して，図8－6は三角形モデルの  $T_g = 0.8$  秒について，建物の速度応答量を地盤の減衰量をパラメータに示したものである。予想されたように，地盤の減衰量が建物の応答量に及ぼす影響は大きく，特にスペクトルのピーク値付近で顕著であり，


 図8－6 速度応答スペクトル (三角形モデル, 弾性,  $T_g = 0.8$  秒)

減衰量が大きくなる程建物の応答スペクトルの全体的傾向はフラットになるが， $h_g = 10\%$  程度の減衰量では，地震基盤における地震動の周期特性の影響は無視できないことがわかる。

図8－7は三角形モデル及び均等モデルの比較を  $T_g = 0.8$  秒， $h_g = 0.00, 0.10$  について示したものである。地盤の剛性分布の差異が建物の応答量に与える影響は， $h_g = 0.00$  の場合かなり顕著であるが， $h_g = 0.10$  の場合両モデルの応答傾向は比較的良く一致していると言える。

原らによれば，土の動的実験結果より，土の減衰特性は履歴減衰が支配的であると指摘されている。<sup>22)</sup> 地盤の非線形復元力特性が建物の応答特性に及ぼす影響を三角形モデルについて示したものが図8－8～図8－10である。図8－8は  $T_g = 0.4$  秒， $h_g = 0.00$  について，地盤の降伏せん断力  $Q_y$  が弾性応答せん断力  $Q_0$  の各々  $\frac{3}{4}$ ， $\frac{2}{4}$ ， $\frac{1}{4}$  倍に対応する場合について示したものである。図中の実線は地盤が線形の場合を併記したものであるが，地盤の弾塑性特性によって  $T = 0.5$  秒に見られるピークは著しく小さ

図8-7 速度応答スペクトル (弾性,  $T_g = 0.8$  秒)図8-8 速度応答スペクトル (三角形モデル,  $h_g = 0.00$ , 弾塑性,  $T_g = 0.4$  秒)図8-9 速度応答スペクトル (三角形モデル,  $h_g = 0.00$ , 弾塑性,  $T_g = 0.8$  秒)

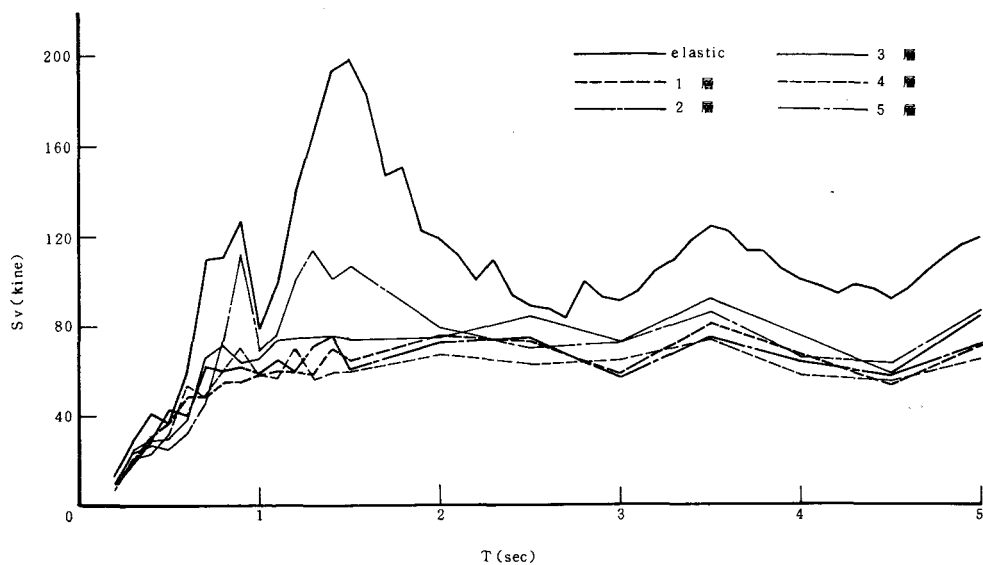


図8-10 速度応答スペクトル (三角形モデル,  $h_g = 0.00$ , 弾塑性,  $T_g = 0.8$  秒,  $Q_y = \frac{2}{4} Q_e$ )

くなり, 全体的になだらかな曲線になることがわかる。この傾向は地盤の降伏せん断力が小さくなる (履歴減衰によるエネルギー吸収量は大きくなる) 程著しく, 建物の応答量も小さくなる。地盤の弾塑性挙動が建物の応答スペクトルに及ぼすこのような特徴は, 図8-9に示す  $T_g = 0.8$  秒の場合さらに顕著である。すなわち, 地盤が線形の場合の  $T = 1.5$  秒に見られる最大応答量 200 kine は地盤の弾塑性挙動によって著しく減少して, 例えば  $Q_y = \frac{3}{4} Q_e$  の場合を図中に点線で示したが約 80 kine となり, 建物の応答スペクトルの全体的傾向はほぼフラットになっている。図8-10は特定の地盤層だけ弾塑性挙動を考慮して, 他層の地盤は弾性で残ると仮定した場合の建物の応答スペクトルを  $T_g = 0.8$  秒,  $h_g = 0.00$  について示したものである。図中に示す地盤の層番号は, 地震基盤に近い順にそれぞれ 1, 2, …, 5 とし, 地盤の降伏せん断力  $Q_y$  は, 地盤を弾性と仮定した場合の弾性応答せん断力  $Q_e$  の 0.5 倍としている。図より, 4 層以下の地盤に弾塑性特性を考慮した場合はほぼ同一の応答傾向を示すが, 5 層の地盤に弾塑性特性を考慮した場合は  $T = 0.9$  秒と  $T = 1.5$  秒付近のピーク値が著しく大きくなっていることがわかる。

図9は地盤の1次固有周期  $T_g$  の差異による建物の最大応答量の変化を, 三角形モデル及び均等モデルについて減衰別に示したものである。図9-1に示す三角形モデル,  $h_g = 0.00$  の場合は, 地盤を線形と仮定すれば, 建物の最大速度応答量は 120 ~ 200 kine となるが, 地盤の非線形特性によって 50 ~ 140 kine 程度に低下することがわかる。図9-2に示す  $h_g = 0.10$  の場合, 地盤を線形と仮定すれば, 建物の最大速度応答量は 80 ~ 110 kine, 非線形の場合は 50 ~ 100 kine 程度となる。均等モデルに対する建物の最大応答量を示したものが図9-3である。 $h_g = 0.10$  の場合, 地盤を線形と仮定すれば, 建物の最大速度応答量は 70 kine ~ 120 kine, 非線形の場合は

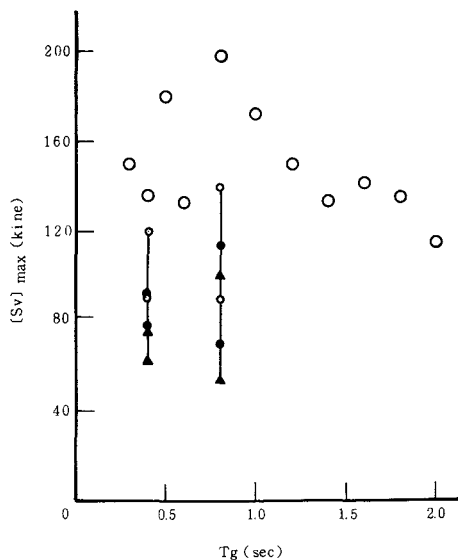


図9-1 速度応答量の最大値と  $T_g$  の関係 (三角形モデル,  $h_g = 0.00$ )

50 kine ~ 110 kine となっている。上記に示す速度スペクトルの最大値について、数値的妥当性を直ちに論じることとはできないが、例えば梅村による<sup>23)</sup>、建物の基礎部分で観測された内外24個の地震波（最大加速度 5 ~ 330 gal）に対する速度応答量の最大値  $S_v$  は地下 1 ~ 2 階を持つ建物について次式で表わされ、

$$S_v = 283 k \quad T > 0.5 \text{ 秒}$$

震度  $k$  を 0.3 ~ 0.4 と仮定すれば、建物の応答速度量は 85 ~ 113 kine となり、数値的には本研究結果と概略一致すると見做せる。

図 8 に示した建物の速度応答スペクトルは、建物の周期  $T$  が地盤の 1 次固有周期  $T_g$  に比較して相当大きい場合、若干のこぼこは認められるにせよ、かなり安定した応答特性を示し、概して  $T$  に関わらず一定となる。この一定量を安定応答量と呼び  $S_t$  で表わすことにすれば、図 10 は地盤の 1 次固有周期  $T_g$  の差異による安定応答量の変化をモデル別、減衰別に示したものである。図 10-1 に示す三角形モデル  $h_g = 0.00$  の場合は、地盤を線形と仮定すれば、安定応答量  $S_t$  は 90 ~ 105 kine となるが、地盤の非線形特性を考慮すれば  $S_t = 50 \sim 95$  kine である。図 9 に示す最大応答量と安定応答量の比は一種の増幅率を示すことより、この比を  $S_r$  とすれば、 $S_r$  は地盤が線形及び非線形の場合について各々 1.3 ~ 1.9, 1.0 ~ 1.3 となる。図 10-2 に示す  $h_g = 0.10$  について、

地盤が線形の場合は  $S_t = 60 \sim 75$  kine,  $S_r = 1.3 \sim 1.5$ , 非線形の場合は  $S_t = 50 \sim 65$  kine,  $S_r = 1.0 \sim 1.5$  となる。図 10-3 は均等モデルに対する建物の安定応答量を  $h_g = 0.10$  について示したもので、地盤が線形の場合は  $S_t = 50 \sim 75$  kine,  $S_r = 1.4 \sim 1.6$ , 非線形の場合は  $S_t = 50 \sim 75$  kine,  $S_r = 1.0 \sim 1.5$  である。以上により、 $S_r$  は地盤が弾性的で減衰が小さい場合について 1.3 ~ 2.0 程度、地盤の減衰が 10% か又は履歴減衰によるエネルギー吸収が相

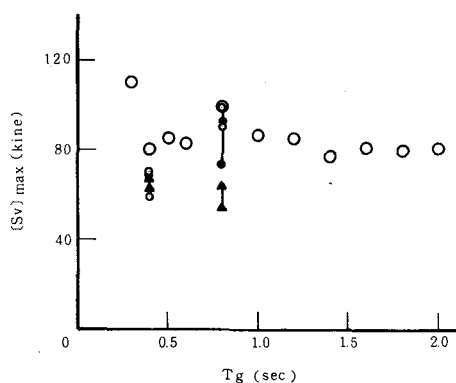


図 9-2 速度応答量の最大値と  $T_g$  の関係 (三角形モデル,  $h_g = 0.10$ )

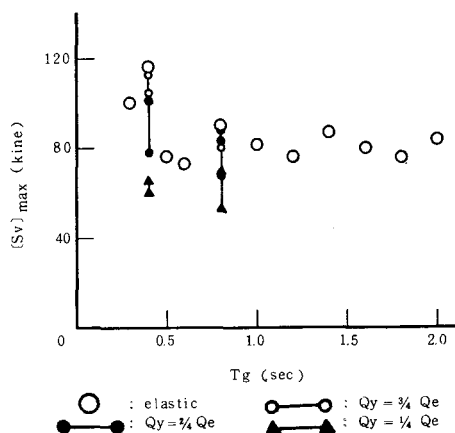


図 9-3 速度応答量の最大値と  $T_g$  の関係 (均等モデル,  $h_g = 0.10$ )

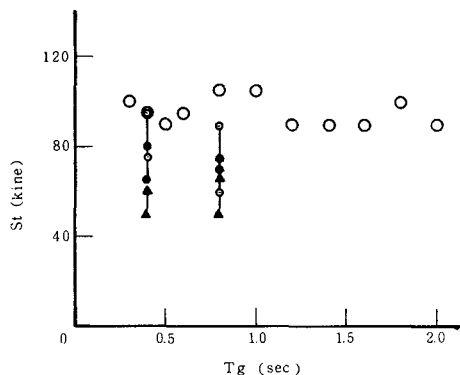


図 10-1  $S_t$  と  $T_g$  の関係 (三角形モデル,  $h_g = 0.00$ )

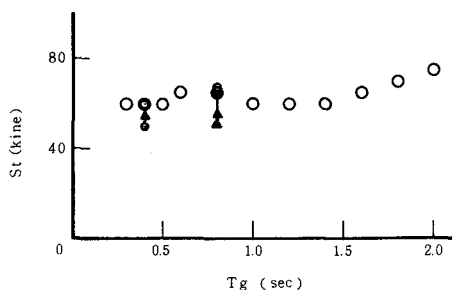


図 10-2  $S_t$  と  $T_g$  の関係 (三角形モデル,  $h_g = 0.10$ )

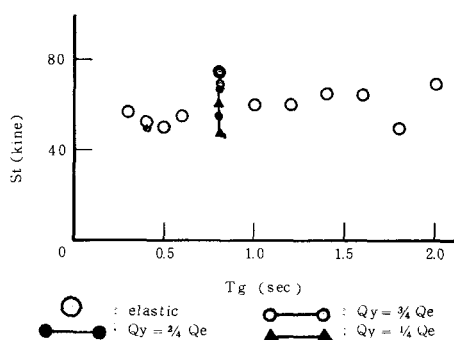


図10-3  $S_t$  と  $T_g$  の関係  
(均等モデル,  $h_g = 0.10$ )

当見込まれる場合, 1.0 ~ 1.6 程度と予想される。

## § 5 おわりに

本報告は主に地盤条件による増幅特性に着目して, 地盤-建物系を, 地盤と建物をそれぞれ5質点と1質点のせん断質点系モデルで表わし, 基礎入力として設定したランダム波に対する応答解析によって地盤の周期, 減衰, 剛性分布及び非線形特性が建物の応答量に及ぼす影響について述べた。解析結果を要約すれば次のようになる。

- (1) 地盤の一次固有周期 $T_g$ の差異が建物の応答スペクトルに及ぼす影響は大きく, 建物の速度応答量は, 建物の周期 $T$ が $T_g$ とほぼ一致する付近まで $T$ の増加によって概して増加する。
- (2) 地震基盤における地震動の周期特性が建物の応答スペクトルに及ぼす影響は無視できない。
- (3) 地盤の減衰量が建物の応答量に及ぼす影響は大きく, 特に応答スペクトルのピーク値付近で顕著であり, 減衰量が大きくなる程建物の応答スペクトルの全体的傾向はフラットになる。
- (4) 地盤の剛性分布の差異が建物の速度応答量に及ぼす影響は, 減衰が小さい場合かなり顕著であるが, 減衰が大きくなる程小さくなる。
- (5) 地盤を弾性と仮定した場合, 建物の速度応答スペクトルにかなり大きなピークが認められるが, これらのピークは, 地盤の非線形特性によって概して減少する。

## 謝 辞

本研究の入力地動に使用したガウス乱数は呉工業高等専門学校講師広光清次郎氏の提供によるものである。深く感謝致します。

末尾ながら, 多くの資料を引用させていただいたことに対して関係の方々に, さらに呉工業高等専門学校計算機室の関係諸氏に深く謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) V.V. Bertero: Establishment of Design Earthquakes Evaluation of Present Methods, International Symposium on Earthquake Structural Engineering, St. Louis, Missouri, USA, August, 1967
- 2) R.V. Whitman: Dynamic Soil-Structure Interaction, Proceedings International Conference on Planning and Design of Tall Buildings, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, August, 1972
- 3) H.B. Seed: Dynamic Characteristics of Soil-Structure Systems, Proceedings International Conference on Planning and Design of Tall Buildings, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, August, 1972
- 4) I. M. Idriss and H. B. Seed: Seismic Response of Horizontal Soil Layers, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 94, No. SM4, July, 1968
- 5) I. M. Idriss and H. B. Seed: Influence of Soil Conditions on Ground Motions during Earthquakes,

- Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 95, No. SM1, January, 1969
- 6) I. M. Idriss and H. B. Seed : Seismic Response of Soil Deposits, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 96, No. SM2, March, 1970
  - 7) 桜井謙爾, 相沢 寛 : 表層構造の相違が建築物の振動特性に及ぼす影響について, 第3回日本地震工学シンポジウム, 1970
  - 8) 山崎 裕 : 平行多層粘弾性地盤中の剪断波の伝達, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 昭和47年10月
  - 9) 太田外気晴, 丹羽正徳他2名 : 軟弱地盤の力学的性質と地震時の挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 昭和47年10月
  - 10) 竹内盛雄他2名 : 建物—地盤系の振動性状 —実在建物の振動実験解析—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 昭和47年10月
  - 11) W.D. Kovacs, H.B. Seed and C.K. Chan : Dynamic Moduli and Damping Ratio for a Soft Clay, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No. SM1, January, 1971
  - 12) B. L. Silver and H. B. Seed : Deformation Characteristics of Sands under Cyclic Loading, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No. SM8, August, 1971
  - 13) B. O. Hardin and V. P. Drnevich : Shear Modulus and Damping in Soils ; Measurement and Parameter Effects, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, No. SM6, June, 1972
  - 14) B. O. Hardin and V. P. Drnevich : Shear Modulus and Damping in Soils ; Design Equations and Curves, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 98, No. SM7, July, 1972
  - 15) K. Kanai and S. Yoshizawa : The Amplitude and the Period of Earthquake Motions, II., Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 36, 1958
  - 16) 建設省建築研究所 : 地震危険度, 昭和50年度総合技術開発プロジェクト 新耐震設計法の開発報告書, 昭和51年3月
  - 17) H. B. Seed, I. M. Idriss and F. W. Kiefer : Characteristics of Rock Motions during Earthquakes, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 95, No. SM5, September, 1968
  - 18) 土田 肇, 上部達生 : 地表における強震記録より推定した基盤の地震動の特性, 港湾技術研究報告, 第11巻第4号, 1972年12月
  - 19) 小林啓美, 長橋純男 : 地表で観測された地震動の周期特性から求めた地盤の増幅特性と地震基盤における地震動の性質, 日本建築学会論文報告集第240号, 昭和51年2月
  - 20) M. Murakami, J. Penzien : Nonlinear Response Spectra for Probabilistic Seismic Design and Damage Assessment of Reinforced Concrete Structures, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, No. EERC 75—38, November, 1975
  - 21) 南 和和夫他2名 : 個別減衰と上下動を考慮した地盤・基礎・建物連成系の地震応答, 第4回日本地震工学シンポジウム講演集, 1975年
  - 22) 原 昭夫他1名 : 地盤振動解析のための土の動的性質 —関東ロームの動的性質, 第4回日本地震工学シンポジウム講演集, 1975年
  - 23) 梅村 魁 : 構造物の耐震設計—木造から超高層まで—, 鋼材倶楽部, 昭和52年7月

(昭和53年10月15日受付)

## 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2号 (1979)  
(通巻 第23号)

昭和54年2月印刷

昭和54年2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 柳盛社印刷所  
〒730 広島市東白島8-23  
電話(21) 2148・2149

# MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

---

1. Halliday's Hypothesis as to the Three Functions of Language .....	Junji ISHII.....	1
2. The Applied Linguist and Recent Work in the Psychology of Language .....	Junji ISHII.....	5
3. Essential Processes of Foreign Language Learning and the Educational Value .....	Toshihiko YAMAOKA.....	13
4. Studies on the Parabolic Profile Cam with an Oscillating Follower (Report 2) —Flat Plate Follower— .....	Hironori ITOSHIMA.....	27
5. Studies on the Parabolic Profile Cam with a Reciprocating Follower (Report 2) —Flat Plate Follower— .....	Hironori ITOSHIMA.....	43
6. Light Sources for General Lighting of a Grocery .....	Kazuhiko HARADA.....	55
7. Theoretical Study on the Visco Deflection of Underlying Soil —2 Dimensional Visco-Plastic Analysis— .....	Shigehisa KOBORI Hisao ABOSHI .....	59
8. A CASE STUDY—AN EXCURSION FOR FACTORY OBSERVATION.....	Kazuyoshi SEI Shinichiro OGATA .....	71
9. Basic Study for Dynamic Behavior of Soil-Structure Systems (Analysis of Soil-Structure Systems using a Lumped-Mass Model) .....	Katsuaki MONZEN Shinji MAEHISA .....	79