

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

創立 10 周年 記念 号

第10巻 第 1 号 (通巻第14号)

昭 和 49 年 10 月 (1974)

目 次

1. 平資盛小伝 (その2) —建礼門院右京大夫との恋—	大 林 潤	1
2. An Exploratory Inquiry into the Use of Prepositions in "spend time (in) doing" and Some Analogous Constructions	熊 川 良 治	11
3. 経験的和文英訳論 —日本語の発想と干渉について—	熊 川 良 治	19
4. デーゼル排気カーボン重量の測定について	久保田 勲	25
5. 揺動サイクロイドカムの滑り率の研究 (第1報)	糸 島 寛 典	31
6. 塑性加工の研究 (第2報) —圧延圧力の検討—	里 信 敏 行	43
7. カムの応力解析	野 原 稔	57
8. 低圧ナトリウムランプによる煙中での誘導灯の見え方	原 田 一 彦	65
9. 交流線形回路網解析プログラム (第2報)	村 上 滋 樹	69
10. ミニコンによる会話型回路解析プログラム A P E C	黒 瀬 能 隼 吉 野 信 行	73
11. 平板の曲げモーメントの計算	丸 上 晴 朗	85
12. 鉄筋コンクリート柱の動的性状に関する実験的研究	福 原 安 洋	93
13. 地盤の振動特性を考慮した構造物の地震応答解析	正野崎 昭 二 富池 田 耕 二	107

10周年記念号の発刊にあって

校長 葛 西 重 男

教員（以下教官という）には学者の立場と教育者の立場とがある。義務教育や高等学校の段階では学者であることよりは教育者であることの方が重要視されるが、大学や大学院のようないわゆる高等教育においては教官は教育者であることよりも学者であり研究者であることが第一とされている。この辺に今の大学教育の問題がいろいろあると思うが、それはさておき、工業高等専門学校も高等教育機関とされ大学に準ずる教育をするところではあるが、低学年は高等学校に準ずるものであるから、そこには教育と研究が共存することになる。この意味において高専の教官は教育者であると同時に学者、研究者でなければならない。高等学校から大学への7年の課程を5年でやろうとする高専教育は学生が忙しいのみならず、教官はその指導において正規の授業の他に課外活動や寮生活、下宿生活の指導までやらなければならないのでその任務は大変忙しいのである。その上教育者であって研究者であるということになると皆が適格者であることはむづかしいであろう。そこで高専の教官は第一に教育者であることを要求されるのである。

研究は勉強と努力と時間を要するものである。しかしやっとなめたという喜びは何にたとえようもなく、研究者のみしか判らぬ心境であろう。学生を教育するためには他人のやった新しい研究を読み理解することも必要であるが、自分でも実験によりあるいは理論をまとめて知識を広め、自分の信念を築き上げることが必要であろう。それは単に科学技術の面だけでなく、人文科学の問題でも教育方法論でもよいのである。

20数年前のことであるが、私は実用に役立たない問題の研究は無駄であると発言したことがある。しかしその後間もなくそれは間違いであったと気がついた。人間の知識というものは実に広範に亘るもので、いろいろ綜合したり対比したり、思わぬところからヒントを得た研究工夫というものもあり得る。生物ばかりでなく自然の姿というものがいかに工学の発明進歩のヒントになっているかは世人のよく知るところである。勿論工学は実用を尊ぶものではあるが、学問というものはそういうことにこだわらないで、何でも未知の分野を追究すれば、誰かがどこかでそれを人類に役立つように利用することになるであろう。

本校でも教官研究の成果を毎年2回を目標に報告書として出しているのであるが、それだけの価値はあると思う。10周年を機会に記念号を出版されるが、これは特に力を入れたものではないけれども記念の意味はあると思う。10年の成果は別に10周年史に総目録が添載される予定である。これを契機に今後教官の研究が一層盛大になることを期待して止みません。

平 資 盛 小 伝 (その2)

— 建礼門院右京大夫との恋 —

(国文学) 大 林 潤

A Short Biography of SUKEMORI TAIRA (2)

— His Love for Ukyō-dayū —

Jun OBAYASHI

The author is going to discuss the life of Sukemori Taira, lover of Kenrei-monin Ukyō-dayū.

Here in this paper, his youth is dealt with, especially from the age twenty to twenty-one when he fell in love with Ukyō-dayū.

§ 1 は じ め に

前論では、平資盛の生涯のうち、出生から19才（安元2年）の頃までの、いわば前半生を、殿下乗合の事件を中心に語ってみた。そして、その事件の後、兄維盛、弟清経の陰に隠れて、日陰者としての日々を歩んだと論じた¹⁾。

本論においては、建礼門院に仕えた藤原伊行女、右京大夫との間に咲いた恋を中心にして、その青春の頃（治承元年～2年、20～21才）を語ってみたい。

§ 2 右 近 少 将

話は安元の御賀（安元2（1176）3.4～6）にさかのぼる。

この時の資盛の官位は、従五位下侍従であった（公卿補任による）。それにもかかわらず「安元御賀記」では、4例中2例まで「左近少将」と記している。この「左近少将」については、これが信ぴょう性を欠くことは明白である（注1の論§7参照）。ただこれが「左近」でなくて「右近」の誤記であり、すでに安元2年（1176）3月には、右近少将に昇進していたとする考えは、一応検討すべき問題である。

というのは、注1の論末でも一部とりあげたが、「建礼門院右京大夫集」に次のような記事が見つかるからである。

- (1) 「近衛殿、二位中将と申し比、隆房、重衡、維盛、資盛などの殿上人なりし、ひきぐせさせ給て、白河どのの女房たちさそひて、所々の花御らんじける…（中略）…

資盛の少将

11もろともにたづねてをみよ一枝の花にこゝろのげにもうつらば」

- (2) 「…そともをたちいでてみれば、たちばなの木に、雪ふかくつもりたるをみるにも、いつのとしとや、大内にて、雪のいとたかくつもりたりしあした、とのひすがたのないばめるなをしにて、こ

の木にふりかゝりたりし雪を、さながらおりてもちたりしを、『など、それをしもおられけるにか』と申しかば、『わがたちならすかたの木なれば、契なつかしくて』と、いひしおり、たゞ今とおぼえて、かなしきことぞいふかたなき。

247 立ちなれしみかきのうちのたち花も雪と消えにし人やこふらむ」

まず(1)について、この「近衛殿」とは藤原基通のことである。彼が「二位中将」に在ったのは、安元2年(1176)3月6日～治承3年(1179)11月17日(16日)の間であるから²⁾、この花見もその間のことである。そしてその頃資盛は「少将」であったという。この記事が上述の「安元御賀記」の「少将資盛」と矛盾しないことはいうまでもない。

次に(2)について、この記事は、平家滅亡(元暦2年(1185))後、故人資盛を思いしのんだ追想のくだりである。比叡坂本において、今は亡き資盛の後世を弔い、ひとり寂しく雪の橋を眺める。思いはいつしか在りし日の資盛の姿、雪の橋を手にした宿直姿におよんでいく。その折なげ橋の枝を持っているのかと尋ねた所、彼は自分がいつも行き来している右近の方(右近衛府)の木だからという。その時の面影が、はるか昔のことながら、ただ今の如くに感ぜられて、右京大夫ははたまた悲歎の涙にむせぶのである。

ここで右京大夫が「いつのとしとや、大内にて」といっているのは、一体いつのことを想起したものであろうか。「大内にて」とあるからには、右京大夫も又宮中に仕出していた時分であろうし、「雪のいとたかくつもりたりしあした」とあるからには嚴冬の頃であろう。

同じ家集の中で、彼女は治承2年(1178)11月12日の安徳天皇御誕生、同12月15日の立太子を「雲のよそに聞」いたとしており(右京大夫集125)、更にその少し前の部分では、「心ならず宮にまいらずなりにしころ」に始まる詞書で

「123恋ひわぶる心をやみにくらさせて秋のみやまに月はすむらん」

と歌っている。従って、治承2年(1178)秋には、右京大夫は宮中から退いていたことになる。

そこでこの橋の枝を携えた資盛を見たというのは、宮中を退出した治承2年(1178)秋以前の事、すなわち治承元年(1177)冬か、又はそれ以前の事となるのである。そして資盛はその頃すでに右近少将になっていたことになる。

本位田重美氏は、以上(1)(2)の資料をもとに、更にさかのぼって安元元年(1175)2月の頃には、もはや右近少将になっていたのではないかと推測しておられる³⁾。安元元年までは何ともいえないが、以上(1)(2)の資料、及び「安元御賀記」によるならば、安元2年(1176)3月6日までは遡源できることになる。

さて、これらの資料と全く対立するのが「公卿補任」である。「公卿補任」は下って「治承2年(1178)12月24日右権少将(元侍従)」と記しているのである。

この真っ向から対立する二つの説はどちらが妥当であろうか。安元元年(1175)～治承2年(1178)にかけての資盛の動向を、「玉葉」他の諸史料に追ってみよう。なお比較参考のため兄維盛、弟清経の動向も付記してみる。

(表1)

(玉葉他)

年	人	嫡子 維盛	次子 資盛	3子 清経
承安5年 安元元年 (1175)		後白河院御賀舞人「右近衛権少将兼中宮権亮平維盛朝臣従下四位」(山槐記9月13日)	越前守得替(公卿補任1月22日) 正五位下(公卿補任も同、12月8日)	後白河院御賀舞人「左近衛権少将平朝臣清経正下五位」(山槐記9月13日)

同 2 年 (1176)	兼伊与権介（公卿補任も同，1月30日） 後白河院御賀試楽舞人（2月21日） 後白河院御賀舞人（安元御賀記も同，3月4日～同6日） 從四位上（公卿補任12月5日）	同左垣代「佐盛」（同日） 同左「侍從資盛」「左少將資盛」（？）（安元御賀記，同日）	同左舞人（同日） 同左舞人（同日）
同 3 年 治承元年 (1177)	重盛左大将辞退使者（6月5日） 法華八講，中宮捧物持人（7月7日）		
治承 2 年 (1178)	朝覲行幸御遊召人（箏）（山槐記も同，1月4日） 安徳天皇御誕生奏上使者（11月14日） 中宮御産五夜宴御遊召人（歌）（11月16日） 中宮御産七夜宴御遊召人（箏）（11月18日） 中宮御産九夜宴召人（11月20日） 春宮坊官除目兼春宮権亮（止中宮権亮）（公卿補任も同，12月15日） 春宮始御入内賞正四位下（公卿補任も同，12月28日）	同左召人（箏）「資盛」（同日）， 「侍從佐盛」（山槐記同日） 同左召人（箏？）「侍從資盛」（同日） 若宮親王宣旨家司（12月8日） 同左昇殿人「正五位下行侍從平朝臣資盛」（同日） 右権少將（元侍從）（公卿補任，山槐記，12月24日）	重盛上表使者（2月8日） 重盛上表却下使者（6月10日） 同左召人（同日） 同左職事（同日） 宮始儀職事（12月10日） 同左昇殿人「從四位下行左近衛権少將平朝臣清経」（同日） 從四位上（12月22日）

上表をみると，安元の御賀以後，「玉葉」では，治承2年（1178）1月4日の朝覲行幸の際の御遊の召人（箏）に「資盛」の名がみえる。そして同記事を「山槐記」は「侍從佐盛」と記している。続いて同年11月16日の中宮徳子御産第五夜の祝宴の際にも，箏（？箏のことか）を演ずる召人として「侍從資盛」の名があがっている。更に同年12月15日の春宮坊官除目にあって，昇殿を許された人々の中に「正五位下行侍從平朝臣資盛」として名を連ねている。そして上表以後の治承3年（1179）1月3日になってはじめて「右少將資盛」として記述されることになるのである。

次に、「公卿補任」の治承2年(1178)右少将説を裏づけるもう一つの資料として、「山槐記」がある。「山槐記」治承3年(1179)1月2日の条を引用してみよう(かっこ内割注)。そこには

「二日辛酉、天晴、今日朝覲行幸也。……伝聞、有御贈物(御本)、土御門大納言取之、被引御馬二疋、左少将資盛、右少将資時引之、有勳賞、内大臣宣下、内記不参、仍仰外記云々、

従四位下平清宗(侍従)

平資盛(左少将、去十二月廿四日任五位少将、勞九ケ日)

源資時(右少将)

」

と記してある⁴⁾。この記事は朝覲行幸の際、勳賞があり、平清宗、平資盛、源資時等が従四位下を賜わったことを記したものである。そして平資盛の割注の部分に、前年12月24日に少将に任ぜられたことが明白にされているのである。

以上の「玉葉」「山槐記」の記載は、「公卿補任」の治承2年説(1178)の正しさを傍証するものである。よって結論を述べるならば、資盛は治承2年(1178)12月24日に、兄、弟の後にはなったが、右近(権)少将になったのである。この時資盛は21才、平家の貴公子のひとりとして、いよいよ時流にのることになるのである。なお本節冒頭でとりあげた「安元御賀記」は誤記であるし、「右京大夫集」の(1)の記事は、後の官職による可能性が濃厚、(2)は作者右京大夫の不確かな回想によるものと断定してよからう。

§3 箏の達人

安元の御賀において、兄維盛の笛は「天皇ををき奉りて、是なん笛すぐれたりける。」(安元御賀記)と激賞されたのであるが、一方この資盛には音楽の才がなかったのであるうか。先に載せた(表1)の治承2年(1178)1月4日の朝覲行幸という晴れの舞台では、兄が笛を演じたのに対し、弟資盛は箏を奏している。そこで彼の箏の腕前を資料に拾ってみたい。

まず「秦箏相承血脈」(群書類従巻349)をひもとくと、そこに資盛の名をみつけることができる。(※印私記)

*太政大臣師長	—*左大臣兼雅—*権大納言兼宗
	—*権中納言家通
	—*左中将資盛
	— 刑部卿頼輔卿
	— 右馬頭資時
又受若御前尼志良末久孝博等説妙音院	—(以下略)

資盛の箏の師は藤原師長である。その号妙音院をとって、この流派は妙音院流と呼ばれた。この派が当時箏において最も正流であったことを証するのは、「糸竹口伝」(群書類従巻348)である。

「花山院兼雅公…(中略)…法深房、是一流ナリ。少納言局…尾張内侍局ナンドハ皆妙音院御流ウケツタフルモノ也。公モ是ヲ師トオボシメシ、賤ノ男ニ至ルマデモ此流ヲコ、ロザシノゾミナラス也。ワルキスタレタル譜ヲアツメ我ト譜ヲツクリテ、是ハ師長公ノ流ト号スル譜世ニオホシ。能々存ジ知ベシ。源ノ清キヲ尋テ其流ヲ汲ベキニヤ。」

これによっても推察できるが、当時最も一流の奏者の筆頭にあげたのは、花山院兼雅公である。この公もこの妙音院師長公を師と仰ぎ、以下賤男に至るまで、この派にあずかろうとしたのである。この「糸竹口伝」と「秦箏相承血脈」とを考え合わせると、箏の道は、当時はもっぱら妙音院流が正流であり、兼雅はその継承者であったことになる。そして資盛は、たとえ「糸竹口伝」に一流奏者として名があがらなくとも、師長の一弟子としてかなりの腕前であり、それをもって世に出る素質を持っていたと

推測できよう。

「秦箏相承血脈」の系譜をみると、師長の弟子は上記五人の他、信濃守公佐、従五位下惟成、木工権頭孝道、大納言局、従三位成子の名があがっている。これらの弟子達の中で、兼雅は別格としても、資盛の技倆はどの程度にランクづけされるものだったのだろうか。実際に当時の御遊の記録をひもといて、召人の名を調査してみると、次のことが分るのである。

資盛の殿下乗合は、前論（注1）で扱ったように、嘉応2年（1170）7月、当時13才のことである。その頃から箏を始めたと仮定して、以後平家一族が都落ちする寿永2年（1183）までの、14年間の公式的な御遊の記録は27回にも及ぶ。（「玉葉」及び「御遊抄」（続群書類従巻527）に記録されたもの。）これら御遊で合奏される管絃の楽器は、おおむね笛、笙、篳篥、琵琶、箏、和琴であり、それに拍子、付歌であった模様である。今これらの全貌はここに記しえないので、箏の召人の名のみ列記すると次のとおりである。なお笛、付歌の部分には、しばしば維盛の名がみられるので、比較参考のため付記することにする。

（表2）

（玉葉、御遊抄（○印））

年	摘要	御遊	箏	その他
嘉応2年 (1170)	○任大臣（太政大臣基房）（12月14日）		家通	
同 3年 承安元年 (1171)	高倉天皇御元服（1月2日） 朝覲行幸（1月13日） ○任大臣（関白朱器）（1月13日）		左大将（師長） 家通 家通	
同 2年 (1172)	朝覲行幸（1月19日） 平徳子立后（2月10日）		家通卿 兼雅	維盛（付歌） 維盛朝臣（付歌）
同 3年 (1173)	○朝覲行幸（1月13日）		師長	少将維盛（笛）
同 4年 (1174)	朝覲行幸（1月11日） ○臨時御会（9月13日）		左大将（師長） —	少将維盛（付歌）
同 5年 安元元年 (1175)	朝覲行幸（1月4日） 内大臣大饗（12月1日）		左大将（師長） 主人（師長）	
同 2年 (1176)	朝覲行幸（1月3日） 後白河院御賀試楽（2月21日） 後白河院御賀（3月4日） 同上（3月5日） 同上（3月6日）		内大臣（師長） 内府（師長） 内府（師長） 内府（師長） （花山中納言（兼雅） 内府（師長）	維盛朝臣（笛） 維盛朝臣（付歌） 維盛朝臣（笛）
治承2年 (1178)	朝覲行幸（1月4日） 中宮徳子御産五夜（11月16日） 中宮徳子御産七夜（11月18日）		資盛 侍従資盛 太相国（師長）	維盛朝臣（笛） 少将維盛（付歌） 少将維盛朝臣（笛）

	○臨時御会 (12月23日)	(春宮権大夫 (兼雅) 女房安芸	維盛朝臣 (笛)
同 3 年 (1179)	朝覬行幸 (1月2日) 東宮御五十日 (1月6日) 東宮御百日 (2月24日)	侍従兼宗 兼雅卿 兼雅卿	少將維盛朝臣 (笛) 維盛朝臣 (付歌) 維盛朝臣 (笛)
同 4 年 (1180)	東宮著袴儀 (1月20日)	家通	
寿永元年 (1182)	官司除目 (8月15日) 清暑堂御神楽 (11月26日)	資盛朝臣 兼雅卿	
同年2月 (1183)	○臨時行幸 (2月4日)	権大納言兼雅	

この調査により、等の召人として選ばれたのは、師長 (11回)、兼雅 (7回)、家通 (5回)、資盛 (3回) 兼宗 (1回) 安芸局 (1回) の6名であり、前記「秦箏相承血脈」の系譜 (※印の人達) を参照すると、安芸局を除けば、いずれもこの道の正流妙音院派直系の人達で占められているのである。すなわち当時のこの世界では、もっぱら妙音院一派が君臨するところであったのであり、資盛もそのうちのひとりであったのである。数多い弟子のうち、兼雅、家通には及ばなかったが、相当の達人であったことは疑えまい。兄維盛が舞、歌、笛に華やかに活躍した陰では、その動きも地味になってしまうが、朝覬行幸の御遊に加わった治承2年 (1178) 1月4日頃には、すでに等の達人としての地歩を固めていたのであろう。何故にそれほどまでに等の道にうちこんだのか知る由もないが、兄維盛、弟清経が、ともに平家の公達として文雅に麗々しくふるまえば、資盛としても負けてはおれなかったろうと思われる。

§ 4 建礼門院右京大夫との恋

資盛は、「右京大夫集」を読むかぎりには、右京大夫生涯の恋人である。このふたりの恋情の詳細を知るには、「右京大夫集」を資料として語る以外にない。「右京大夫集」では、その恋の始まりを、

「なにとなく、みきくことに心うちやりてすぐしつゝ、なべての人のやうにはあらじとおもひしを、あさゆふ、女どちのやうにまじりみてみかはす人あまたありし中に、とりわきてとかくいひしを、あるふしぎこと (あるまじのこと一書陵部本、類従本) やと人のことをみきくともおもひしかど、契とかやはのがれがたくて、おもひのほかは物おもはしきことそひて、さまざまおもひみだれしころ、さにとて、はるかににしかたをながめやる、こずゑは、ゆふひのいろしづみて、あはれなるに、またかきくらしぐるゝをみるにも、

61夕日うつる梢の色のしぐるゝに心もやがてかきくらすかな」
と記している。

「のがれがた」き契とまで右京大夫にいわせたこの恋は一体いつ始まったものであろうか。富倉徳次郎氏は、その始期について、「右京大夫集」9～11 (本論 § 2 の (1) の部分) をとりあげ、その贈答を治承元年 (1177) 春と推定し、資盛の返歌の中には彼女への心持が見えなくもないので、あるいはこれから程なくして (春の末) ふたりは逢ったのではないかと、上記の夕日うつる冬枯れの梢の記事は、その年の冬の物思いを記したのだらうと推測しておられる⁵⁾。又、本位田重美氏は、前記注3の御論考41頁で、上記の記事は資盛との愛が成り立って間もない頃のことと、時は明らかでないが、治承のはじめの頃と考えておられる。又、久徳高文氏は、その前年の安元2年 (1176) の頃としておられる⁶⁾。

私も治承元年（1177）頃という説は穏当だと思うので、以下にその論拠を整理しておく。

まず「右京大夫集」158～159をみると、平重盛熊野参詣の記事がみつかる。その詞書に、「ひととせなにはのかたより帰ては、やがておとづれたりし物をなどおぼえて」とある。この熊野参詣は治承3年（1179）3月のことである⁷⁾。そしてその参詣から「ひととせ」前というのは、1年前のことか（畠倉氏説）、ただ漠然と先年の意か（本位田氏説）はつきしないが、下限が治承2年（1178）であることはまちがいない。今かりに治承2年（1178）と考えて論をすすめる。

「なにはのかたより帰て」というのは住吉詣でのことで、やはり父重盛の供として加わったものらしく、「右京大夫集」では、76～77の歌の部分を書いている。贈答は秋のことなので、従ってこの住吉詣では、治承2年（1178）の秋の頃ということになる。この時「やがておとづれたりし」仲であったのだから、ふたりはすでに恋仲であった訳である。

そして、これがどこまで遡源できるかといえば、右京大夫の宮中退出が治承2年（1178）秋であること（本論§2参照）、右京大夫と資盛の深い仲を知りながらも言いよってきた藤原隆信との交際が4月頃であること（右京大夫集135以降）⁸⁾、にえきらない資盛と宮中で顔を合わせながら送る年の暮から春の頃の物思い（右京大夫集67～68）等を考え合わせると、前年の治承元年（1177）までは遡ることができるのである。

さて、治承元年（安元3年）（1177）という年に資盛と右京大夫が結ばれたとするなら、それは資盛にとって、どのような意味があったのだろうか。この年の資盛の置かれた境遇を今一度ふりかえってみよう。この年資盛は20才、殿下乗合（嘉応2年）から数えて7年後である。本論§2の（表1）によると、官職の上では、当時兄維盛が従四位上右近（権）少将兼中宮権亮、弟清経が正五位下左近（権）少将であるのに、資盛は未だ正五位下侍従にとどめおかれていた。又、前論（注1）§6でふれたように、安元の御賀（安元2年）ではわずかに垣代のひとりになっただけで、兄や弟の典雅な舞の前に、影のうすい存在であったのだった。一方本論§3の（表2）をみると、すでに承安2年（1172）の頃から、兄維盛は世間に認められて、歌に笛に思うさまの活躍をみせていたのである。憶測するならば、同じ小松一族の兄弟の中にありながら、資盛ひとりのみ焦慮し、内心悶々としていたのではなかろうか。その頃にはすでに師長に師事して箏の道に入り、かなりの腕前になっていたであろうが、公に披露する機会も与えられず、空しい毎日であったろう。これが資盛の置かれた境遇である。

このような時に資盛の前に現われたのが右京大夫である。本位田、畠倉両氏の精細な御考証で判明しているとおり（前記注3の6～15頁、注5の14～21頁）、彼女の父は「夜鶴庭訓抄」の作者、世尊寺伊行、母は笛の家柄で鳴る大神基政の娘、夕霧である。両者とも箏の名人であり、その天分をうけついで右京大夫が、箏の達人として宮中に知られた存在であったことは容易に想像できる。

妙音院流直系の資盛と、流派こそ違え、世に名高い夕霧の娘、右京大夫が、箏を通じて親しく言いかわすようになるのは、ごく自然のなりゆきであり、ふたりの結びつきの根底に箏という趣味の一致があると説いた従来の説は当を得たものであろう。本節の冒頭で引用したが、他の女官達のような戯れの恋など「あるまじのことや」と心をひきしめて交際をはじめたものの、「契とかやはのがれがたくて」遂に相許すほどの仲になってしまった。「契」とは前世からの宿縁である。人が避けようとしても、逃がれがたい運命である。この言葉の仏法的意味あいと共に、この言葉の中に、箏によって否応なく近づけられていった男女の不可思議な絆をみるのであり、右京大夫自身このことを痛感したのではないかと思う。

資盛の側から考えてみる時に、資盛のうらぶれた境遇を変えていったのが、まさに箏であり、右京大夫であった。本論§3の終りで、兄や弟に劣らじとする気持から一層箏の道にうちこんだのだろうと考えてみたが、ここに右京大夫という理解者を得、その愛情に導かれて、更に箏の道をきわめていく青年資盛の姿を想像するのである。治承元年（1177）という年は、資盛にとって、このような生活の転機の日だったのではないかと私は推測している。

§ 5 栄達を求めて

治承元年(1177)春から秋頃にかけて、急速に深まっていってと推測される右京大夫との恋は、その後どういう道を辿っていったのだろうか。本論 § 4 の冒頭で引用した「右京大夫集」61では、右京大夫は当時の貴公子達と女官の浮薄な恋を見て、「なべての人のやうにはあらじ」「あるまじのことや」と思ったという。しかもそれでいて「契とかやはのがれがたくて」資盛を慕う身となった。かくなつた上は、ひたむきな愛情をこの若き貴公子に捧げようとしたに違いない。その純な思慕の情に心をうたれるが、一方の資盛の気持はどうであつたろうか。なるほど最初のうちは共に箏を奏し、語る人、自己の沈淪した心を慰めてくれた人であつた。そして資盛の心にもほのぼのとした暖かな愛情が湧いたことであろう。

ところが、「右京大夫集」によってその後の経過を辿ってみると、資盛の気持が次第に別の方向に向いて行つたのではないかと思われる形跡がみられる。その跡をもう一度本論 § 4 の例にみてみよう。

「かけはなれいくは(いへば一書陵部本、類従本)、あながちにつらきかぎりにしもあらねど、中々にちかきは、又くやしくもうらめしくも、さまざまおもふことおほくて、としもかへりて、いつしかはるのけしきもうらやましう、鶯のおとづるゝにも、

67~68……(歌略)」

これは治承元年(1177)冬から治承2年(1178)春にかけての思いをつづった記事であろうが、いつも顔を合せている宮中では、右京大夫にとっては「くやしくもうらめしくも、さまざま」物思いされることが多かったという。これは単に右京大夫の嫉妬心が旺盛だったとばかりはいいきれまい。資盛が他の女官達に思わせぶりの振舞をみせることも、ままたつたことを意味しょう。

相変わらず物思いの続く中で、年も明けて治承2年(1178)となる。「比はうづきの十日」、色好みでなる藤原隆信が、資盛との深い仲を聞き知りながらも、強引に言いよつてきたのである。この隆信との交際については、右京大夫集135以降で詳しく述べられているが、この事実も資盛の間遠さを示す証拠の一つであろう。右京大夫が同時に二人の男と交渉が持てるほど多感な女とは思えないのである。右京大夫は、「よのつねのありさまは、すべてあらじ」と思って、気強く許さずにつきあっていたが、いつのまにかこの中年男にのめりこんでしまう。この交際は宮仕えをやめる頃まで続いたらしいが(右京大夫集162)、その頃(秋)、住吉詣でから帰つた資盛が、忘れ草に歌を結んでよこしたのである。

「とかく物おもはせし人の、殿上人なりしころ、ちよとおととの御ともに住吉にまうでて、かへりて、すはまのかたむすびたるに、かひどもをいろいろにいれて、わすれ草をおきて、むすびつけられたりし。76浦みてもかひしなれば住の江におふてふくさをたづねてぞみる

かへし 秋のことなりしかば、もみちのうすやうに

77住の江の草をば人の心にてわれぞかひなき身をうらみぬる」

ここで資盛は、右京大夫のつれなさを恨んで、仕方なく「住の江に生える忘れ草をたづねてみたのだ」と氣を引いている。右京大夫の返歌は、「忘れ草のように忘れるというのはあなたのお心ではありませんか。」と、きりかえしているのだが、真相は右京大夫の歌に近いのではないか。ともかくも、わすれ草を媒介にしたこの贈答歌は、ふたりの仲を象徴しているようであり、この頃のふたりの関係は、かなり疎遠だったことを意味しょう。

さて、以上のようなはかない恋の道を辿らせた原因を、当時の宮廷にありがちだった戯恋だと簡単にかたづけることが私にはできない。

右京大夫との関係が希薄になっていく治承2年(1178)という年は、資盛がちょうど晴れの舞台をふむ年でもあり、おそらくこの機会をとらえてからであろうが、出世の糸口をつかむことになるのである。すなわち、(表1)(表2)に示されているように、正月4日の高倉天皇朝親行幸の御遊に、箏の召人として数多の楽人の中から選ばれたのである。以後11月16日にも中宮御産五夜の宴に列なつて箏を演じている。資盛の長い間の念願もここに実る機会が到来したのである。これによって妙音院流の達人と

しての彼の存在が確定し、楽人としてだけでなく、地位までもが定まってくる。12月8日の若宮（後の安徳天皇）の親王宣旨には家司に選ばれ、12月15日の若宮の坊官除目に際しては、弟清経とともに昇殿を許され、そして、12月24日には、官位こそ正五位下で兄、弟に劣るが、待望の右近衛（権）少将となり、兄維盛（正四位下右近衛（権）少将）、弟清経（従四位上左近衛（権）少将）と肩を並べることになるのである。

この年の資盛の栄達ぶりをみて、心ひそかに喜んだのは右京大夫であつたろう。だがこの栄達の道が又、二人の間を遠のかせる原因にもなったのである。資盛が建礼門院の一女官風情など問題にしてなかったともいえるが、それ以上に望みがかなって、ひたすら栄達のみを求めていく青年資盛の姿が、ここにも想像できるのである。

§ 6 お わ り に

かくて、治承2年（1178）正五位下右近衛（権）少将となった資盛は、以後は順調に栄達の道を辿ることになるのだが、彼がいかに楽才を認められたからとはいえ、そこに彼を引き上げてくれる人物があつてはじめてできることである。その人物は誰であろうか。父重盛、祖父清盛等平家の頭領達の名もあげられようが、実はもう一方の権力の旗頭、後白河院が推挙者として想像できるのである。そこで次回には後白河院との関係を検討しながら、治承3年以後の活躍に筆を及ぼそうと思っている。

（注）

- 1) 「平資盛小伝（その1）―殿下乗合の頃―」大林潤（呉工業高等専門学校研究報告9巻1号）
- 2) 藤原基通、承安2年10月26日（又は16日）右中將、安元2年3月6日従二位、治承3年11月17日（又は16日）内大臣。（公卿補任、尊卑分脈）
- 3) 「評注建礼門院右京大夫集全釈」（本位田重美、武蔵野書院）286頁
- 4) 「左少將資盛、右少將資時」はいずれも「右少將資盛、左少將資時」の誤記。同記治承3、1、5の条でこの朝餼行幸賞をとりあげ、「右少將資盛朝臣、左少將資時朝臣」と記す。
- 5) 「右京大夫、小侍従」（富倉徳次郎、三省堂）24～25頁
- 6) 「建礼門院右京大夫集」略年譜（久徳高文、桜楓社）
- 7) 「三月熊野□に参られ後世の事を中すと云々。」（山槐記。治承3.5.25の条）
- 8) 右京大夫と藤原隆信との交渉始期を、治承2年（1178）4月とするのは、本位田、富倉両氏とも一致した説である。

（昭和49年5月7日 受付）

An Exploratory Inquiry into the Use of Prepositions in “spend time (in) doing” and Some Analogous Constructions

Ryoji KUMAGAWA

1 Purpose of study

The main purpose of this study is to obtain statistical information concerning the use or disuse of the preposition before the verbal *in* in the expression “spend × NOUN × (in) × doing.” Statements found in books on grammar in reference to this problem are generally no more than passing remarks made to the effect that the preposition in that position may often be omitted. Also, they are usually noncommittal as to which form is more commonly in use. It was hoped, therefore, that a quantitative analysis and observation of data through fieldwork might reveal the general preference of the speakers as regards the collocation. Opinions of reliable native informants and observations of their usage would obviously be helpful, but since such sources were not available, the investigation was confined to printed materials.

Along with the construction mentioned in the title to this study, such collocations as “have difficulty (in) doing,” “have trouble (in) doing,” “have a good time (in) doing,” and “be busy (in) doing” have been taken up for study. Others with similar problems had to be excluded since enough instances could not be collected to make the figures of statistical value.

2 Corpus

52 issues of *The New Yorker* published in 1970 were used as corpus for study. Relevant expressions were recorded from all the articles in the magazines excluding only “Goings on about town,” poems, cartoons, and advertisements. Among the cards thus collected, 32 instances were recorded in which the object of the verb *spend* was followed by an adverbial phrase of locative meaning and then by a verbal in *-ing*. As may be seen from examples (1) and (2) given below, these expressions apparently do not allow a preposition before the verbal and are difficult to differentiate from participial constructions. This is particularly true in (2) where a comma before the verbal indicates a break in the speech.

(1) I spent the night *out there* talking to Driss as the waves beat on that desolate African shore. (October 10)

(2) He spends hours *at her flat*, examining fingerprints. (May 30)

Sentences of this type were omitted from the present study.

3.1 spend = to pass (time) in a specified manner

One of the important uses of the verb *spend* is to denote passing of time in a specified manner. H.E. Palmer, in his *A Grammar of English Words*, exemplifies this use with a sentence which has a preposition before the verbal :

- (3) Don't *spend* such a lot of time *in dressing* yourself.

Likewise, the examples given in *Advanced Learner's Dictionary*, *American Heritage School Dictionary*, *Kenkyusha's New English-Japanese Dictionary*, *Iwanami's Comprehensive English-Japanese Dictionary*, and *Sanseido's College Crown English-Japanese Dictionary* all have prepositions before the verbal. Since the alternative structure without the preposition is not mentioned in any of these dictionaries, one is likely to assume that this structure normally requires a preposition when followed by a verbal in *-ing*. On the other hand, *Webster's Third New International Dictionary* and *Sanseido's The New Crown English-Japanese Dictionary* give only the structure without the preposition. *Kenkyusha's New Collegiate English-Japanese Dictionary* comes in between with examples with and without a preposition.

In the corpus studied, 149 instances of *spend* in the sense being discussed were found. Of these, 141 instances or 94.6 percent were used without prepositions, whereas only 8 instances or 5.4 percent were used with prepositions. These figures could be taken to prove statistically that the verbal after *spend* with an object denoting time does not normally take a preposition. This confirms the observation made by A. Uemoto that the general tendency in current English is to leave out the preposition,²⁾ though he somewhat qualifies his statement by saying that this tendency is especially noticeable in the informal style.

H.E. Palmer and the dictionaries listed in respect to the form demonstrated by example (3) all give *in* as the preposition employed in this construction. In the eight instances with prepositions, it was found that five employed *in* and the remaining three *on*, which shows that *in* is not the only preposition used. There is no mention of *on* used before the verbal in any of the dictionaries. The examples with prepositions which have been collected are as follows.

With *in* :

- (4) Whatever the field of invention or organization, one must be ready to go forward at a slower pace, looking before and after—to make fewer discoveries, to *spend* as much time *assimilating* knowledge as *in acquiring* it. . . . (October 17)
- (5) Marsden's last months at the factory *were spent* largely *in leaning* out his third-floor window and *hailing* passersby below. (November 28)
- (6) Nine months *were spent in trying* to perfect the rigid mirror panels, which could not be perfected. (October 3)
- (7) There was a long silence *spent in getting* over it. (January 3)
- (8) Mr. Wechsler has written an excellent little paperback entitled "An Introduction to Prints and Printmaking," and a half hour *spent in reading* its twenty-five-page text (most of the book is illustrations) will turn the graphics ignoramus into an informed layman. (June 20)

With *on* :

- (9) Had this craft economy, prior to mechanization, actually been ground down by poverty, its workers might have *spent* the time given over to communal celebrations and churchbuilding *on multiplying* the yards of textiles woven or the pairs of shoes cobbled. (October 17)
- (10) Arthur Hailey, the author of the novel on which "Airport" is based, has publicly explained his methods of work—the number of hours of research per character, the time *spent on plotting*, etc. (March 21)

- (11) What difference is there between a working day *spent on programming and monitoring* computers and a day spent on sentry duty or on the assembly line? (October 31)

In example (4), attention may be called to the fact that two verbals are used in parallel in a comparative construction with only the second verbal taking a preposition. A similar phenomenon is observed in the following quotation from Malamud :

- (12) He could clearly see the white flower she wore pinned on her bosom and that she seemed to *spend* more time *craning* to get a look into Knights' dugout—at him, he could swear—than *in watching* the game. —B. Malamud, *The Natural*

A more important and obvious tendency is seen in examples (5), (6), (7), (8), (10), and (11). It is to be noted that in (5) and (6) the predicating verb *spend* is in the passive voice and in the remaining (7), (8), (10), and (11), *spend* is manifestly a past participle modifying the preceding noun, but we may presuppose an embedded sentence in the passive voice in the deeper structure. Although the total number of instances is not great enough to draw any valid statistical conclusions, there appears to be a definite tendency for the use of a preposition when the sentence is in the passive or when *spend* is a past participle modifying the preceding noun. However, instances in the passive voice without prepositions are not unfound.

- (13) The site of the protest had yet to be decided upon, and the month of May *was spent scanning* the Baltimore area for the right draft board. (March 3)

Another example from a letter to "Ann Landers" :

- (14) Most of their time and energy *is spent trying* to bail their kids out of trouble. —*Asahi Evening News*, December 2, 1971

In view of the fact, then, that an overwhelming majority of 141 (or 94.6%) of all instances were used without prepositions and that the six of the remaining eight instances (5.4%) were cases in which the verbs were used in the passive, we may say that the illustrative examples given in the dictionaries exemplifying the forms with prepositions, being all in the active voice, are rather misleading. To all appearances, the tendency is definitely in the direction of doing without the preposition, so that it seems that these dictionaries would better represent the current usage by replacing the examples with those not employing the preposition before the verbal.

3.2 spend=pay out (money)

Very few dictionaries were found exemplifying the use of the verb *spend* when followed by an object with a monetary meaning. Of the dictionaries consulted, only the *Pocket Oxford Dictionary* and *Iwanami's Comprehensive English-Japanese Dictionary* gave illustrative sentences of *spend* in the use under study. The former gives *on*, while the latter gives *in* as the preposition employed before the verbal in such constructions. The quotations are :

spend £1,000 *on* educating me [POD]

He spent all he had *in* trying to perfect his invention. [Iwanami]

F.T. Wood, while admitting that both *on* and *in* are used, observes a shade of difference in their implications and also a restriction in usage.³⁾ He says, "*On* suggests the object for the attainment of which the money is spent; *in* suggests that in the course of which the money is spent." He adds that the general tendency is that "*in* can be used only (a) before a gerund,

(b) before a noun which expresses a verbal notion." A. Uemoto, on the other hand, quotes and supports Poutsma to the effect that *on* is the preposition especially common when the spending of money is in question and adds that his collection of *spend* in this use consists only of examples employing *on* before the verbal.⁴⁾

My collection of *spend* in this meaning shows that both prepositions are used with about equal frequency. Note, however, that only a total of 7 instances were recorded in the corpus. They are as follows.

With *on* :

- (15) ... all that the massed concentrations of Japanese police had to cope with was ... an even smaller right-wing group whose leaflets demanded that the government *spend* its money *on building up* Japan's Army and Navy. (October 3)
- (16) The purpose of this vast destruction is, of course, to aid husbandry. It is a form of subsidy for farmers, cattlemen, and sheepmen, relieving them of that part of their overhead which would otherwise *be spent on protecting* their flocks and fields from marauding animals. (June 13)
- (17) Furthermore, most of this money *was spent on advertising* in prime time, in which the largest possible audiences could be reached. (December 19)
- (18) A poultryman with a few hundred dollars' worth of turkeys might prefer to have all possible marauders killed, while a conservationist might deem the money better *spent on building* a predator-proof pen. (June 13)

With *in* :

- (19) We have never *spent* much money *on* our shops, *on* entertaining, *on* expensive cars, or *in going* to clubs like Aretusa, Revolution, or—what was the place that burned down? —the Speakeasy. (October 31)
- (20) An enormous portion of the federal budget *is spent in hiring* out government functions. (September 26)
- (21) He goes on, "For many years, the government was [investing mainly in big, showy industrial projects, like steel plants, but I think the money would have *been* better *spent in teaching* our people to solve some of their own most basic, ancient problems. (April 11)

Here again it is important to take note of the fact that in quotations (16), (17), (18), (20), and (21) the predicating verb *spend* is used in the passive voice. Note also the following two instances collected in which *spend* denotes giving or devoting labor, effort, etc. to some enterprise or for some purpose. They too are used in the passive voice and employ prepositions.

- (22) ... though no small part of *the energy* of the great minds of this period *was spent in forging* ingenious links ... between the ultimate abstractions ... and the concrete civic and domestic practices of the community. (October 10)
- (23) With all her expectations crushed but with plenty of *energy* left, *much of it spent on wreaking* a kind of petty vengeance on everybody around her, she is as much a victim of her own nature as she is of circumstance. (April 18)

Considering the similar tendency that was observed in 3.1, we may assume that when *spend* is used in the passive the general practice is to employ a preposition before the verbal.

In contrast to this use of *spend* in the passive construction, I must call attention here to

the fact that many examples of *spend* in the active voice were found to do without prepositions before the verbals. As a matter of fact, the general tendency appears to be in this direction, although no dictionaries to date happen to give illustrations of the usage. We are reminded here of *spend* treated in 3.1, where 94.6 percent of the instances collected were found to be those without prepositions, and it is probable that the tendency observed here is an extension of its influence. The examples collected are :

- (24) India *was sending* two hundred million dollars a year *importing* a million tons of steel,
... (February 14)
- (25) In 1969, the Bureau *spent* slightly more than seven million dollars *killing* wildlife.
(June 13)
- (26) ... and once she even *spent* a dirham at the tailor, *having* his pants mended, rather
than mend them herself. (September 12)
- (27) I think Columbia will *spend* more money at the Hotel Plaza than we *did making* the
film. (October 24)
- (28) I question poisoning prairie dogs on ... government land for the questionable benefit
of eight or ten ranchers ; particularly in view of the fact that a great part of this
area will probably be given to the Badlands National Monument, who will then *spend*
public money *trying* to restore the prairie dog. (June 13)
- (29) I have *spent* thousands and thousands of rupees *litigating*. I spend all my time litigating.
Nothing ever comes of it, but at least it kills time. (March 21)

In support of my view, I quote here Dr. G. C. Wilson, Professor of English and linguistics at San Francisco State College. Asked whether he says he spent a lot of money *in traveling*, or he spent a lot of money *on traveling*, or he spent a lot of money *for traveling*, he says that all three of the prepositions could be used, but that he would say the second, that is, he *spent a lot of money on traveling*. What is most revealing, however, is the fact that he adds, "The truth is that the most common of all is without the preposition, that is, he *spent a lot of money traveling*." ⁵⁾ The relatively frequent occurrence of the construction without the preposition in the corpus apparently verifies Dr. Wilson's comments. Thus, *spend* in the sense of paying out money seems to be in the direction of dispensing with the preposition before the verbal and some day this may become the usual form, as is the case with *spend* discussed in the previous section.

4.1 have difficulty (in) doing

All but one of the dictionaries that illustrate this construction give examples with the preposition *in*. The one exception is *Kenkyusha's New Collegiate English-Japanese Dictionary*, which puts the preposition in the parenthesis implying that the use of preposition is optional. The example is :

I have difficulty (in) remembering names.

Though the great majority of the dictionaries thus illustrating the use of the preposition may give one the impression that the employment of the preposition is customary in this construction, it is by no means an accurate representation of the actual practice. My study suggests that the truth is better represented by the *Kenkyusha's* above quoted illustration with

the preposition put in the parenthesis. 21 instances of the expression under study were collected from the corpus, 10 with and 11 without the preposition. The use and disuse of the preposition in this case then seem to be about equally distributed, and in spite of closer examinations, no conspicuous tendency could be found as to factors determining the use or disuse of the preposition. It is sometimes said that there is a tendency to use the preposition when *difficulty* is modified by words of negative implications such as *no* and *little*,⁶⁾ but my examples do not verify this observation. Examples are selected in the following to show that the modification of *difficulty* bears no influence on the use of the preposition.

With *in* :

- (30) Despite his new confidence in the Bureau, Dr. Cain *had difficulty in listing* specific reforms. (June 13)
- (31) Sixty-five per cent of those scoring 8 or [more *have no difficulty in correctly introducing* three archbishops to each other, and can recognize new money at a distance of forty feet. (April 18)
- (32) "I've always *had the greatest difficulty in trying* to parse George's articles and books," Rostow replied. (July 4)

Without *in* :

- (33) ... he *has difficulty remembering* which of the heroes he investigated were found deserving of a Carnegie medal and which of them were not. (July 18)
- (34) Dr. Greenwood, who is well over six feet tall, *had no difficulty seeing* all the other scientists around him during the conference. (April 4)
- (35) In short, the Americans don't really understand the motives of the Vietnamese, either Communist or non-Communist, and the Vietnamese *have the same sort of difficulty comprehending* American motives. (October 17)

(30) and (33) show *difficulty* with no modification, (31) and (34) in the negative, and (32) and (35) with adjectival modifications respectively. These examples seem to suggest that the use of preposition bears no relation with the modification of *difficulty*. It is sufficient here, however, to note that we are not to expect either the form with the preposition or the form without the preposition to be the predominant form in this collocation.

4.2 have trouble (in) doing

This expression, though semantically almost the same, is strikingly different from the expression treated in the foregoing section in that the use of preposition is extremely rare. As if in disregard of this fact, most dictionaries illustrate only the usage with the preposition *in*. *Kenkyusha's New Collegiate English-Japanese Dictionary*, along with an illustrative sentence with the preposition, gives an example without the preposition, accompanying it with explanatory notes to the effect that the preposition is often dropped in the spoken language. *The American Heritage School Dictionary* was the only dictionary found that gave an illustration without the preposition.⁷⁾

In the material examined for this study, I recorded 37 instances of the expression under discussion and the following instance was the only one that employed *in* before the verbal. The remaining 36 had no prepositions.

- (36) Sigvard Stenland, the engineer in charge of the E.A.T. balloon project at Schejedahl,

seemed to *have surprisingly little trouble in communicating* with Klüver and his group.

(October 3)

In view of the fact that the ratio for the omission of the preposition was an overwhelming 36 to 1, it seems justified to say that the usage current in present-day English is the form without the preposition. This view is shared by A. Uemoto, who states that unlike the case of *difficulty*, the frequency without *in* after *trouble* is much higher.⁸⁾ We may say that the illustrative examples given in the dictionaries do not very well represent the actual usage of this collocation and that a revision or updating of these dictionaries is advisable.

4.3 have a good time (in) doing

In this construction with varying adjectives modifying *time*, there seems to be a definite tendency to do without the preposition *in*. All but two out of the 17 instances collected had no prepositions. The following is a typical instance of this collocation.

- (37) The Pepsi public-relations department *was having a terrible time thinking up* a name for the pavilion. (October 3)

The two instances in which the preposition appeared are as follows :

- (38) It seems that an American President *has a harder time* making things happen in this country than *in making* things happen abroad. (August 15)
- (39) It is true that people can be somewhat distinguished by how much they eat or talk or like to kiss, just as some infants *have a better time* than others with food or *in making* themselves and their wishes clear to their parents. (November 7)

It is interesting to note that in (38), where two verbals are used in parallel in a comparative construction, the second verbal is the only one that takes the preposition. We are reminded here of a similar phenomenon occurring in the case of *spend*. Notice the striking structural resemblance that example (38) bears to examples (4) and (12). Even with these few instances, it seems possible to assume that in such parallel comparative constructions, there is a tendency to place a preposition before the second verbal. Otherwise, the general practice is to do without the preposition.

5 be busy (in) doing

Unlike the items discussed in previous sections, most of the dictionaries consulted illustrate *busy* as being immediately followed by a verbal, as in *He was busy packing* [COD]. No dictionary demonstrated an unconditional use of the preposition *in* between the adjective and the verbal, but there were a few that suggested a possible *in* by enclosing it in the parenthesis. Among these were *Sanseido's College Crown English-Japanese Dictionary*, *Iwanami's Comprehensive English-Japanese Dictionary*, *Kenkyusha's Concise English-Japanese Dictionary* and *Kenkyusha's New English-Japanese Dictionary*. *Kenkyusha's New Collegiate English-Japanese Dictionary* illustrates both types with an explanatory note to the effect that the form without the preposition is the common form today.

In the material examined for this study, 39 instances of *busy* followed by a verbal were found, but significantly there was not a single case in which the preposition *in* was employed. In other words, the form suggested by the parenthesis in the dictionaries quoted above is virtually nonexistent. It is to all appearances obsolete. This is exactly in accord with the remarks

made by Dr. G. C. Wilson, who says that the form with *in* is not known to him.⁹⁾

It is perhaps not out of place to add here that two instances of *busy* as a verb were recorded, and that in both instances they were used without *in*.

(40) . . . a much larger number of noncorporate entities were *busying* themselves *setting up* dozens of weekly, biweekly, and monthly "underground" newspapers— (March 14)

(41) . . . —let your goggle-eyed adolescent mind *busy* itself *undressing* other girls, the skinnier the better. (September 26)

Although some dictionaries¹⁰⁾ suggest the use of *in* before the verbal, it is interesting to note that here again we are to observe a similar force at work. The course of development seems to be in the direction of doing away with the preposition.

Notes :

- 1) I am using the inclusive term "verbal" to designate the —*ing* form following the object or the preposition after the object. This is simply to avoid the trouble of having to make a distinction between a gerund and a participle.
- 2) Akira Uemoto, *Practical English Usage*, (Kenkyusha, 1972) p. 307
- 3) Frederick T. Wood, *English Prepositional Idioms*, p. 488
- 4) A. Uemoto, *op. cit.*, p. 306
- 5) Graham C. Wilson & Kimie Mushiaki, *Usage in Today's American English*, (Kairyudo, 1971) p. 181
- 6) e.g. K. Ishibashi (ed.), *A Dictionary of Current English Usage*, (Taishukan, 1970) p. 933
- 7) i.e. I'm having trouble getting this door open. (s.v. TROUBLE)
- 8) A. Uemoto, *op. cit.*, p. 332
- 9) G.C. Wilson & K. Mushiaki, *op. cit.*, p. 37
- 10) e.g. ALD s.v. BUSY v.t. She busied herself (in) tidying up her desk.

(Received May 7, 1974)

経 験 的 和 文 英 訳 論

— 日 本 語 の 発 想 と 干 渉 に つ い て —

(英語) 熊 川 良 治

Notes on the Influence of Japanese in Japanese-English Translation

Ryoji KUMAGAWA

The author seeks justification of Japanese-English translation exercises in the fact that all Japanese learners of English inevitably think in Japanese before putting the sentence into English. He points out, however, that since the learner will pattern his English according to his native tongue, the resulting English translations are often strongly influenced by the Japanese syntax: sentence structures and expressions characteristically English tend to be overlooked, grammatical errors and mischosen words and phrases creep into the sentences, etc. The typical of these are exemplified, accompanied in some cases with suggestions for their remedy. Special emphasis is made on the necessity for a comparative study of English and Japanese.

§ 1 は じ め に

英語による表現力の育成ということは、英語教育年来の課題である。英語を聞き、話し、読み、書く四つの能力が、調和のとれた形で発達することが望ましいのはいうまでもないが、実際には、読解する能力と表現する能力との間に大きな開きが生じてくる。このような跛行的発達の傾向が現われるのは、自分で英文を組み立て、表現するという能力が、でき上がっている英文を解釈する場合に比較し、英語の発想や構造をはるかに意識的、分析的に理解していることを要求するからである。さらに、表現力育成のための決め手になる指導法がなく、まだ模索を続けている状態にあることも原因の一端である。

英語の学習指導が分化してくる高校の段階について考えてみると、旧学習指導要領下では、作文は、「作文・文法」の教科書の中で取り扱われてきた。標題は「作文・文法」となっているが、内容は文法本位の構成になっていた。作文のための練習問題は各章末に申しわけ程度に添えられ、その章で学習した文法事項を確認させるための練習問題の役割しか与えられていなかった。昭和48年度から学年進行をもって実施される新しい学習指導要領のもとでは、これを改め、作文教材が「作文・文法」の教科書から独立し¹⁾、作文自身の体系を持つことになった。従来の文法体系を中心とした教科書では盲点となり、指導の行き届かなかった作文独自の領域も、これで扱うことができるようになった。このことは英作文指導という観点からは評価されてよいと思われる。しかしながら、新しく発行せられたこれらの教科書をみると、練習方法にそれぞれくふうが施されているとはいえるものの、主流はどこまでも和文英訳による練習であることに変わりない。

このことをふまえ、本稿においては英作文指導における主要な練習形態である。和文英訳について、

特に日本語とのかかわりにおいて考察し、その効果的な指導のあり方を考えてみたい。

§ 2 和文英訳の位置づけ

思考と言語との関係はきわめて密接であり、不可分であるとさえ言われている。このことは、われわれ日本人が外国語としての英語を自由に駆使できるためには、外国語である英語で自由に考えることができなければならないということを意味する。換言すれば、Direct method などの教授法が目標としている。“thinking in English” ができなければならないということになる。そしてこれは単に英文を受動的に解釈する場合に比較し、はるかに高度の習熟を必要とすることは明らかなことである。

この問題を学校教育の段階で考えてみると、一般的には“thinking in English” はとうてい達成することの不可能な目標と考えられる。紋切型の日常挨拶程度は日本語を介在させることなく使えるようになるかもしれないが、これは多分に機械的で、英語で考えているとはいいいがたい。われわれの日常生活が、英語で話したり書いたりすることを要求する言語環境にないということが、英語で思考する能力や習慣を身につけることをいっそう困難にしている。生徒は、このような言語環境に加え、さらには限られた学習時間、使用教材、学級規模、授業形態、日本人 (non-native) 教授者等さまざまな要因が原因となって、英語でものを考え、そのまま表現していくというところまで習熟を深めることはとうていできない。したがって、われわれはこの問題を現実的にとらえ、われわれが何かを英語で表現しようとするとき、まず日本語で考え、それを英語におきかえるという process を経るということを卒直に認める必要がある。ことばを換えて言えば、われわれは、日本文を英文に翻訳する作業、いわゆる和文英訳を絶えず行なっているのである。さらに言うならば、われわれは好むと好まざるとにかかわらず和文英訳をすることを余儀なくされており、英語による表現力の育成を考えると、このことをおいて考えるわけにはいかないのである。

このように考えると、和文英訳は、英語による表現力を養う最上の策とはいえなくても、“thinking in English” に至る前段階として、日本人に即した最も現実的な方法であるということが出来る。英語表現についての基礎的・基本的事項を和文英訳をとおして修得し、習熟を深めるにつれて介在する日本語を排除する方向に進むのが、日本人学習者の一般的な pattern であると考えられる。

§ 3 日本語による発想と英語表現

われわれが英語で表現を試みるとき、上述のとおり、日本語による発想が先行するために、それが障害となって、自然な英語表現をするのが困難なことがある。これは基本的には日英両言語間の発想の相違に起因するものであって、われわれが日本語の思考の枠を脱することができないでいるかぎり、われわれのなし得る英語表現には限界がある。「きょうは父の誕生日です。」は、Today is my father's birthday. で表現される。このような、日英の統語上の相違があまりみられないものについては、比較的容易に運用できるようになる。しかし、このように類似性の高いものばかりではない。日英で発想の違うものについて具体的な例をあげ、考えてみよう。

「お金でしあわせが買えるか。」を英語で言い表わそうとすると、まずこの日本語による発想には英語の主語にあたるものがないことに気がつく。生徒は英文には必ず主語があることを知識として知っているから、まず主語を選択する。「お金で」は副詞句 with money で表現できる。「しあわせが」は「が」が対象語を示す格助詞であるので目的語で表現しようとする。このようにして、発想的には日本語に最も近い形の Can we buy happiness with money? という英文ができ上がる。これで意図したことを一応言い表わし得たわけであり、多くの者はこの段階まで比較的抵抗なく表現できるようになる。ところが、英語にはいま一つ Can money buy happiness? という簡潔ないかにも英語らしい言い方がある。そして、われわれ日本人はなかなかこの表現に思いつかない。少なくとも「お金でしあわせが

買えるか。」という日本語の 統語による発想を抜け切ることができないかぎりは 思いつくことはできない。これはなぜか。それは日本文で副詞的に表現されているものが、英語では主語になることがあるとは思えないからである。これは日本語にはない発想法であるから、かなりの飛躍をしないかぎり、思いあたらないのはむしろ当然のことと考えることができるのである。

われわれは、英語らしい表現をしようと思えば、このような飛躍を随所で強いられるのであるが、このような発想ができるようになるためにはどうすればよい。日本語の発想から演繹的に導き出すわけにはいかない。結局は、このような表現の仕方が英語にはあるということを知識として知っていなければならない。上の例で言うならば、「日本文で副詞的に表現されているものが、英語では主語として表現されることがある」という知識をもっていることが前提となる。平素から多くの事例に接し、英文の主語がしばしば日本語では副詞句で表現されるということを知的に理解してはじめて、このような発想への転換が可能になるのである。

「これはだれの車ですか。」は「だれの」の whose を使って Whose car is this? ないし Whose is this car? とはすぐ言えるが、発想を少し変えて Who owns this car? / Who is the owner of this car? とはなかなか言えない。「父は英語の教師です。」は My father is an English teacher. とは簡単に言えるけれども、その variation ともうべき My father teaches English. はすぐには思いつかない。このことは、日本語による思考の pattern から容易に抜け出せないことを物語っている。Variations として示した例は、それぞれ日本語の発想にとらわれないではじめて可能な表現といえようが、このような表現ができるためには、結局このような言い方が可能であることを知っていなければならないことになる。

和文から出発して、自然な英語に至るまでには、英語表現のこのような多様性についての理解と、発想上の飛躍が必要であることを述べた。この域に達するには、幅広い英語との接触と、本人の不断の努力が最もたいせつであることはいうまでもないが、教室における学習指導において、次の2点に注意すれば、若干の効果を期待できるのではないかと思う。

- (1) 一つの表現を他の形式の表現に書き換える練習、いわゆる paraphrasing をじゅうぶんにこなうこと。

先に例示した Can we buy happiness with money? / Can money buy happiness? のような場合、生徒が一方のみを解答したときには、他の形式を使って必ず書き換えさせる。そうすれば発想の転換を強制的に迫まることになる、ひいては表現の多様性に関心を抱かせることになる。paraphrasing はあるいはごく日常的な学習活動であるかもしれないが、上記発想転換の観点からこれを再評価し、目的をはっきりさせて実施すれば、表現力の増大につながるよい方法であると思う。

- (2) 読解指導の際、和訳する必要がある場合には、必ず意識を添えること。

しばしば英文和訳において、直訳がよいか、意識がよいかが問題とされるが、二者択一的にいずれか一方がよいというものではなく、直訳は英文の構造をよりよく理解させ、意識は英文の文意をよりよく理解させるという、それぞれ別の意義があるものと思われる。

英語による表現力は、英文読解をとおして養われる面がきわめて大きい。したがって、読解時に、いわば useful expressions を多く「仕入れ」ておかなければならない。その際、その英文が和訳を要すれば、よくこなれた日本語らしい日本語で訳し、当該英語表現と結びつけておく必要がある。これは何かを英語で表現しようとするとき、これに先行してわれわれの頭に浮かぶ日本文は、われわれが日常使用するこなれた日本語であるからで、これとそれに対応する英文とが結びついていなければならない。例をあげ、具体的に考えてみたい。

生徒が、兄がふたりいることを英語で表現したいと仮定しよう。そのとき、その生徒の脳裏にまず浮かぶのは、「私はふたりの兄をもっている。」という直訳調の発想ではなく、「兄がふたりいる。」という自然な日本語による発想である。この日本語の発想を、それに対応する英語表現と結びつけてい

かなければならないということになる。英語をそのまま日本語に置き換えたような直訳では発想し得ないことに注意しなければならない。

同様に *It was not long before he came.* を「彼が来るまでには長くかからなかった。」にとどめないで、「彼は間もなくやって来た。」「彼はすぐ来た。」と自然な日本語に訳出するところまで進めておく必要がある。生徒がこの意味のことを表現したいとき、まず想起するのは上記「彼はすぐ来た。」ないし「彼は間もなくやって来た。」であって、直訳調の「彼が来るまでには長くかからなかった。」ではあるまい。「彼はすぐ来た。」は簡単に *He came soon.* とすることももちろん可能であるが、そのほかに上記英文のような表現もあることを知っていれば、それも使うことが考えられる。このような場合、直訳調の「彼が来るまでには長くかからなかった。」は、まず自然な日本語の発想とて言いがたいので、そのかぎりにおいて生徒の頭に浮かんで来ない。したがってまた英語表現と結びつきにくいと言えるのである。われわれは意識に相当する日本語で発想するので、意識から対応する英語表現が想起できるように英語表現を仕入れておかなければならないのである。

いま一つ発想上の問題として注意しなければならないことは、日本語による発想（和文英訳にあつては和文）には顕現的に現われないうために、英文に直した際に否足らずとなり、どことなく英語らしさを欠くということである。「ドアを閉めてください。」は *Please shut the door.* だけでもよいが、たとえばドアをあけて入室して来た人へのことばであれば、*Please shut the door behind you.* と *behind you* を添えるのが慣用である。同様に、「英語はむずかしいことばと思いますか。」の英訳は、*Do you think English is a difficult language?* よりも追加訳出して *Do you think English is a difficult language to learn?* とするほうがいっそうすぐれているように思われる。*behind you, to learn* がなくてもそれぞれ非文法的な英文ではないし、不要な場合もあるが、一般的にはこれらの語句の追加により、いっそう自然な訳文が得られると考えてよい。広義の発想上の問題に含めることができ、和文に直接登場して来ないので、生徒はもちろんのこと、教師も見落としやすい盲点である。

発想上の問題に、さらに英米における風俗習慣がからむと、面倒になる。「新年おめでとうございます。」は普通 *I wish you a happy New Year!* ないしは *Happy New Year!* と訳出されているが²⁾、これを上記挨拶に直接対応する表現と考え、日本語と同じような場面で使用したとすれば、とんでもない誤りを犯すことになる。星新蔵氏は、このことについて次のように述べている。

「『新年おめでとう』を辞書で引けば *Happy New Year* と出ているが、これは年末と元日に用いられる言葉で、正月七日まで使える日本語の『新年おめでとう』とはちがう。主として年末に使い、知人、友人と別れる際言うのだから、『よい年をおむかえください』という祈願文のほうにより近い。」³⁾

このことから、「新年おめでとう」に完全に対応する英語的発想は存在しないことが伺われ、厳密な意味では訳出できないことになる。やむを得ず *Happy New Year!* を当てるにしても、日英における考え方ならびに慣習の違いを理解し、この表現の使用される文脈上の制限を認識している必要がある。

§ 4 日本語による干渉

前項では主として日本語による発想の観点から和文英訳の問題を眺めた。本項においては、主として日本語の表現につられて生徒が犯す誤りについて述べてみたい。

日英両表現の発想が根本的に違うものであるということがわかっているにもかかわらず、なお、潜在する意識の中で、日英両言語間に、どこか一對一の対応があるという気持ちが払拭しきれないで残っている。そのため前後の文脈とは無関係に、直線的に、日本語の、たとえば「～している」は現在進行形と、「～から」は前置詞の *from* と結びつけてしまう傾向がある。

「～している」という日本語の文末表現は、いろいろな意味をもって使われ、少なくとも次の四つの場合がすぐ想起できる。

- a) このすいかはとてもよい味をしている。→ *This watermelon tastes delicious.*
- b) 彼女は台所の掃除をしている。→ *She is cleaning up the kitchen.*
- c) 1956年からずっとこの家を所有している。→ *I have owned this house since 1956.*
- d) 私はもう5時間も勉強している。→ *I've been studying for five hours.*

これで見ると、「～している」は、それぞれ a)現在形, b)現在進行形, c)現在完了, d)現在完了進行形の四つの時制の表わす意味に相当している。ところが、生徒の中には、「～している」は現在進行形で表現されるものと思いこんでいる者が多く、この文末表現がどのような意味で使用されているのかよく吟味しないまま、現在進行形を使ってしまう。

同様に「～から」については、その意味により、次のとおり異なる前置詞が使われる。

- a) 彼は事務所からここへ直行したのです。→ *He came here straight from his office.*
- b) どろぼうは裏口からはいったように思える。→ *The burglar seems to have broken in at the back door.*
- c) 火事は浴室から出た。→ *The fire started in the bathroom.*
- d) 窓から外を見ていた。→ *They were looking out of the window.*
- e) 9月1日から学校が始まる。→ *School begins on September 1st.*
- f) 月曜日から休んでいます。→ *He has been absent since Monday.*
- g) 5日前から休んでいます。→ *She has been absent for five days.*
- h) 君のことは野田から聞いた。→ *I heard of you through Noda.*
- i) 車が崖から落ちた。→ *A car fell over a precipice.*
- j) 第3章から始めましょう。→ *Let's begin with the third chapter.*

同じ「～から」でも意味は多様で、それに応じて前置詞が異なる。文脈を大事にする習慣をつけることと、平素から他の語と collocates させて前置詞を覚えるようにしなければならないことがよくわかるのである。

日本語を直接英文に持ち込んだような誤りもまた多い。「彼はそのことをどのように考えておりますか。」を、そのまま *How does he think about it?* とする者はきわめて多く、誤りを指摘されても、にわかに納得がいけないほどである。また、「おかあさんは、いうことをきかないと、ときどきぶちます。」を *Mother sometimes hits me when I don't hear her.* とするような間違いは、単純に「きく」=hear と考えたためである。obey とすべきところであろう。同じような、日本語をそのまま英語に置き換える間違いはきわめて多い。「楽しい夢を見る」→ *see a pleasant dream*, 「意見を言う」→ *say one's opinion*, 「よく読まれている本」→ *a well-read book* など、枚挙にいとまがないほどである。この種のものの中には予見できるものもあるので、事前に指導を行なうことにより、ある程度の効果を期待することができるであろう。

日本語の訳語のために、不要の前置詞がはいり、本来他動詞であるものが自動詞として誤用されることがある。「先生方は男女共学について話し合った。」の「～について」に惑わされて、*The teachers discussed about coeducation.* と必要のない about を補う者はきわめて多い。また、「わたしたちはホールの中にはいった。」は *We entered the hall.* でよいものを、enter を自動詞のように考え、into を補って *enter into* とする誤りは珍しいものではない。逆に、通例前置詞をとって使われる自動詞が、前置詞なしで誤用されることがある。一例をあげれば、「彼はドアをノックした。」は普通 *He knocked on (または at) the door.* であるが、knock を他動詞のように使って *He knocked the door.* とする誤りである。この種の誤りもまた珍しいものではない。いずれも、日本語に惑わされて動詞の使い方を誤ったものと考えることができるであろう。

発想の相違によると考えるべきであるかもしれないが、否定の仕方の違いが慣用に反した英文を書く原因となる。「あすは雨にならないと思います。」は、英語では *I don't think it will rain tomorrow.*

と主動詞を打ち消すが、生徒の多くは和文に忠実に従属節中の動詞を打ち消して *I think it won't rain tomorrow.* とする。和文の影響が明白に現われている誤りといえる。

以上日本語の干渉による典型的な誤りをいくつか述べてきたが、このことは日本語と学習の対象となっている英語の比較研究の重要性を示唆する。和文英訳の過程を効率よく学習させようとすれば、両言語がいかなる点において類似し、いかなる点において異なっているかを明らかにしておくことがたいせつである。このような比較対象は日本人学習者の困難点をあらかじめ教えてくれるばかりでなく、自然な英語らしい英語を書く手がかりを与えてくれるものと考えられる。

§ 5 む す び

英語を外国語とするわれわれ日本人が、英米人と同様の域まで熟達した者は別として、英語で話したり書いたりするとき、常にその背後には日本語があり、その直接的、間接的影響を受けていることは否定するわけにはいかない。和文英訳はその影響が最も顕著に現われる場合であり、母国語がどのような形で、どのような領域に影響を与えているかを教えてくれる。したがって、これを研究することは、日本人が英語を書く際にどのような誤りを犯しやすいかを示唆してくれるばかりでなく、英語らしい英語を書くにはどのような点に注意しなければならないかをも教えてくれるという積極的な意味もある。

Communication の立場からみると、和文英訳はたしかにまだるっこい。しかし、和文英訳はだれでもが実施できる、最も現実的な approach である。日本人が英語による表現力を獲得するために、現に最も広く実施されている練習方法であることを認識し、日英両語の比較研究の成果などじゅうぶんに活用し、極力日本語臭のない英文が書けるように努めていく必要がある。

(注)

- 1) 文部省発行「昭和48年度使用教科科目録 高等学校用」によると、作文の教科書が13社から17種類発行された。
- 2) *I wish you a happy New Year!* は研究社「新英和中辞典」(s.v. NEW YEAR), *Happy New Year!* は同「新和英大辞典」(s.v. SHINEN) を参照。
- 3) 星新蔵「あやまりやすい英語表現」(研究社) p.10.

(昭和49年5月7日 受付)

ディーゼル排気カーボン重量の測定について

(機械工学科) 久保田

勲

On Measurement of Weight of Carbon Particles in Diesel Smoke

Isao KUBOTA

The reality of diesel smoke is best shown by measuring the weight of carbon particles per liter of exhaust gas, but this measurement of the weight is not necessarily easy, the carbon particles being extremely little.

We have experimented on measuring the carbon weight by using the paper-filter-type smokemeter. This is a report on the processes and results, referring to the correlation between carbon weight and Bosch-density.

§ 1 緒 言

ディーゼル機関の排気濃度は、排気公害の重要要因であるばかりでなく、シリンダ内の燃焼の良否を判定するための特性の一つとして活用されることは衆知のとおりである。

排気濃度の測定には、汙紙式あるいは透過式の排気濃度計を用いるのが普通であるが、これらは言わば排気ガス中のカーボン粒子の投影面積を測定するわけであるから、粒子の重なりによる誤差は本質的に避けることができないし、特に汙紙式濃度計においては、可成りの量の粒子が汙紙を透過して散逸するので⁽¹⁾、実際には粒子の一部を測定していることとなり、濃度の実態は把握されないわけである。換言すれば、極端に排気が黒い領域では、汙紙式も透過式も共に測定値（ボッシュ濃度）は一定値に近づき、含有カーボン粒子の量的変化に全く反応しなくなるという矛盾がある。

そこで一定容積の排気ガスに含まれるカーボン粒子の重量を知ることができれば、これが最も合理的な濃度表示法と考えられる。重量濃度がこれであり、更にこの測定ができればボッシュ濃度との関係も追究し得ることになるであろうが、残念ながらその測定方法は簡単ではない。

しかし、汙紙を透過するカーボン粒子があるにしても、汙紙に吸着される量 g (mg) が比較的簡単に測定できれば、ボッシュ濃度 S との関係がもとめられ、更に汙紙のカーボン透過率⁽¹⁾ がわかれば重量濃度も算定できることになり、この意味で汙紙への吸着量の測定は意義のあることとなる。

図1は Bosch 社の発表による重量濃度とボッシュ濃度との関係特性曲線であるが、重量濃度に関するデータとしては、筆者の寡聞にもよるであろうが、殆ど唯一のもののように思われる。而もこの測定方法についての詳細報告はないし、恐らく可成り厄介な測定手順によって得たものではないかと思う。

そこで今回、手元の汙紙式濃度計を利用して付着カーボン重量を測定する方法を試みたので、以下その内容と結果を報告する。実験機関には、ヤンマー 1 L E L 型を使用した。

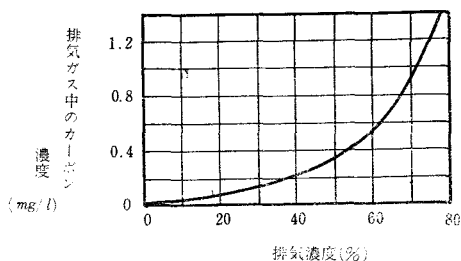


図1 排気ガス中のカーボン濃度と排気濃度との関係

§ 2 実験の内容

先づ次の要領で実験を行なうことにした。

沱紙式濃度計を用い、一定量の排気ガスを採取してカーボン粒子を沱紙に付着させ、付着前後の沱紙の重量差を天秤で秤量する。カーボン粒子は直径 $0.2\sim 0.3\mu$ 位のものであるから、その重量測定には非常に感度の高い天秤が必要となる。

またこの際、沱紙の吸湿度の影響を分離しなければならないし、更にその吸湿性が、 300°C にも達する排気に接した後でも、果して一定であるかどうかなどの問題もある。

以上のような沱紙の諸性質は全く不明であるから、ひとつひとつ確認してゆく以外に方法はない。天秤は直視天秤を使用、感度は 0.1mg である。

1. 湿度の影響の除去

沱紙1枚の湿度による重量変化が、天秤の感度と同じ水準ならば、当然計量不能となるので、測定吸湿度をできるだけ大きくするために沱紙5枚を1組として、先づ完全乾燥状態での秤量が可能であるかどうかを実験した。

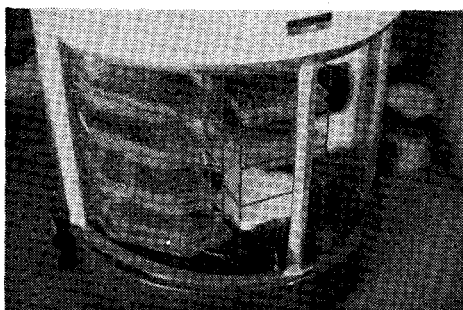


写真1 直視天秤による測定時の吸湿方法
(シリカゲル使用)

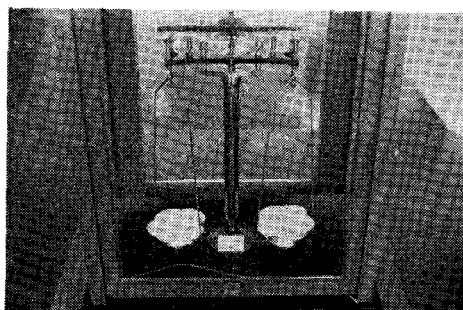


写真2 化学天秤によるカーボン重量測定法
(沱紙使用の状態を示す)

表1 沱紙に及ぼす湿度の影響

時刻(分)	10月31日			11月20日		
	室温($^{\circ}\text{C}$)	湿度(%)	示度(mg)	室温($^{\circ}\text{C}$)	湿度(%)	示度(mg)
0	18.5	66	-22.4	12.5	60	-22.2
5	18.6	67	-22.6	12.5	60	-22.2
10	18.6	67	-22.4	12.5	60	-22.2
15	18.6	67	-22.3	12.7	60	-22.3
20	18.6	67	-22.3	12.7	60	-22.3
25	18.6	67	-22.4	12.9	59	-22.1
30	19.0	67	-22.3	13.0	59	-22.1
35	19.0	67	-22.3	13.0	59	-22.1
40	19.0	67	-22.5	13.0	59	-22.1
45	19.0	67	-22.45	13.0	59	-22.1
50	19.0	67	-22.3	13.0	59	-22.1
55	19.0	67	-22.3	13.0	59	-22.1
60	19.0	67	-22.1			
65	19.5	68	-22.3			
70	19.5	68	-22.35			
平	均		-22.35	平	均	-22.15

すなわち、シリカゲルを入れた小缶に沱紙を密封して長時間放置し、一方直視天秤内にもシリカゲルを入れて、かつ外気の流入すると思われる部分は、すべて粘着テープで封印して長時間放置しておく(写真1参照)。それから小缶内の沱紙を素速く取り出して天秤皿に乗せて、出し入れ口を再密封し、定時間毎に秤の目盛を記録し、安定したところで沱紙を取り出し、大気中に長時間放置した後、再び小缶に密封、更に長時間後にとり出して秤量する。

以上をくり返した結果は、沱紙の重量はその都度変動し、この方法では完全乾燥重量は秤量できないとの結論に達した。

そこで全く考え方を変えて、化学天秤(感度 0.1mg)を用いて測定することにした。すなわち化学天秤付属の分銅の代りに試料

と同質の沱紙を分銅として使用し、微細な示度の調整は沱紙の細片で行なうことにした（写真2参照）。

この方法によると、大気中の湿気は、試料用沱紙にも分銅用沱紙にも均等に作用するので、湿度の影響は除去される筈である。

このやり方で、一定の試料用沱紙5枚と分銅用沱紙とを天秤に乗せて釣合わせておき、そのまま放置してから約20日後に再び目盛を読んだ結果を表1に示す。これによると湿度の変化による重量の有意差は認められず、沱紙重量の再現性が得られたと考えてよいであろう。

2. 沱紙吸湿性の变化の確認

沱紙が高温排気ガスに触れた後で吸湿性が変わるとすれば、上記の測定方法は全く適用できなくなる。したがってこの変化の有無を確認することにした。

無負荷運転では沱紙にはほとんどカーボン粒子が付着しないので、試料用沱紙5枚1組の重量を前記の要領で測定記録し、次に無負荷運転で構成沱紙1枚毎に排気ガスを通過させたのち、約1週間大気中に放置してから、再び重量を秤量したところ、表2に示すように殆ど重量の変化は認められなかった。すなわち、高温の排気ガスに接触しても、沱紙の吸湿性は変化しないことが確認された。

表2 沱紙吸湿性に及ぼす排気ガスの影響

時刻(分)	排気ガス通過前			排気ガス通過後		
	室温(°C)	湿度(%)	示度(mg)	室温(°C)	湿度(%)	示度(mg)
0	12.0	55	-0.4	13.5	67	-0.3
5	12.0	55	-0.5	13.5	67	-0.4
10	12.0	55	-0.5	13.5	67	-0.4
15	12.0	55	-0.5	13.5	67	-0.4
20	11.6	55	-0.5	13.5	67	-0.4
25	11.6	55	-0.6	13.3	67	-0.5
30	11.6	55	-0.6	13.3	67	-0.4
35	11.3	55	-0.5	13.2	67	-0.4
40	11.1	55	-0.6	13.1	67	-0.5
45	11.3	57	-0.6	13.1	67	-0.5
50	11.0	55	-0.5	13.1	67	-0.5
55	11.0	57	-0.5	13.1	67	-0.5
60	11.0	57	-0.5	13.1	67	-0.5
平	均		-0.5	平	均	-0.44

3. 付着カーボン重量の測定

以上で基礎条件の確認が終ったので、付着カーボン重量の測定について述べる。

先づ純白沱紙5枚の重量を測定記録したのち、一定の運転条件下で、構成沱紙1枚毎に1回排気を通過させ、再び重量を測定したところ、重量増加は全然認められなかった。これは沱紙に付着するカーボン量が極めて微量であることを意味する。

そこで沱紙を通す排気の回数を多くして、付着カーボン量を増加させて秤量することにし、沱紙1枚につき10回通させたが、依然として著しい重量増加は認められなかった。更に回数を増して30回、60回で採取した結果を表3および表4に示す。

これによれば、排気ガス通過後は通過前に比して、明らかに重量は増加しており、しかもその増加量がほぼ通過回数に比例していることから、これがカーボン粒子の

表3 500 r.p.m.×5P Sにおける、排気ガス通過前後の沱紙重量変化（排気ガス通過回数=30回の場合）

時刻(分)	排気ガス通過前			排気ガス通過後		
	室温(°C)	湿度(%)	示度(mg)	室温(°C)	湿度(%)	示度(mg)
0	13.7	59	-41.6	13.5	75	-39.0
5	13.7	59	-41.6	13.5	75	-39.0
10	13.8	59	-41.7	13.6	75	-39.0
15	14.0	59	-41.7	13.6	75	-39.0
20	14.0	59	-41.6	13.6	75	-38.9
25	14.0	59	-41.6	13.6	75	-38.9
30	14.0	59	-41.6	13.6	75	-38.9
35	14.0	59	-41.6	13.7	76	-38.9
40	14.0	59	-41.6	14.0	76	-38.9
45				14.3	77	-38.9
50				14.5	77	-38.8
55				14.7	76	-38.8
60				14.9	76	-38.8
65				14.9	76	-38.8
平	均		-41.6	平	均	-38.9

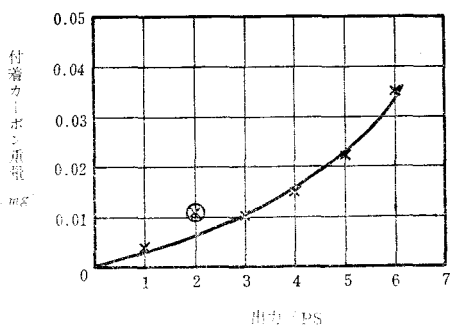


図2 付着カーボン重量と出力との関係

付着による増加量であることは間違いないと判断される。

以上で、排気ガスの通過回数を適当にとれば、付着カーボン量の秤量が可能なことが判明したので、500r.p.m. で各出力について試料を採取した結果をまとめたものが図2である。ただし縦軸は、1枚の沓紙に付着した平均カーボン重量である。図中2PSにおける値が曲線から大きく外れているが、これは何らかの実験ミスによるものと考えられる。

§3 沓紙式ボッシュ濃度との比較

以上のように、付着カーボン粒子の重量測定ができたわけであるが、この重量を G 、試料1組の沓紙の枚数を n 、排気の通過回数を N とすると、沓紙1枚についての付着カーボン量 g は次式で計算される：

$$g = \frac{G}{nN} \quad \dots\dots\dots (1)$$

別に、これらの試料を採取したのと同じ運転条件のもとに、普通のボッシュ濃度 S （沓紙1枚につき排気ガスを1回通過させたばあい）を測定すれば、 S と g 、つまりボッシュ濃度と付着カーボン重量との関係特性が得られることになる。また前記試料の中の1枚（ $Ng = \frac{G}{n}$ だけカーボンが付着したもの）の S を測定すれば、これもデータとして使用できる。

こうして、ボッシュ濃度 S と付着カーボン量 g および Ng との関係をまとめたものが表5であり、これをプロットしたものが図3の①である。この付着カーボン重量は0.33ℓ当りのものであるから、mg/ℓ

表4 500 r.p.m.×5P Sにおける、排気ガス通過前後の沓紙重量変化（排気ガス通過回数=60回の場合）

時刻(分)	排気ガス通過前			排気ガス通過後		
	室温(°C)	湿度(%)	示度(mg)	室温(°C)	湿度(%)	示度(mg)
0	16.2	58	-51.2	17.6	58	-47.0
5	16.2	58	-51.2	18.2	58	-47.0
10	15.9	59	-51.2	18.4	59	-47.0
15	15.8	60	-51.2	18.7	59	-47.0
20	15.7	60	-51.3	18.8	59	-47.0
25	15.7	60	-51.3	19.0	58	-46.9
30	15.7	60	-51.3	19.2	59	-47.0
35	15.7	61	-51.4	19.4	59	-46.9
40	15.7	61	-51.4	19.6	59	-46.9
45	15.7	61	-51.4	19.8	59	-46.9
50	15.8	61	-51.5			
55	15.8	61	-51.5			
60	15.8	61	-51.5			
平均			-51.35	平均		-46.95

表5 500 r.p.m. におけるカーボン重量とボッシュ濃度との関係

出力 (PS)	g (mg) 付着試料						Ng (mg) 付着試料					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
付着カーボン重量(mg)	0.004	0.011	0.010	0.015	0.022	0.035	0.67	1.08	0.59	0.90	1.40	1.04
ボッシュ濃度	0.24	0.40	0.80	1.16	1.30	2.38	5.95	5.24	6.84	7.32	9.03	8.80
排気ガス通過回数(回)							150	100	60	60	60	30

に直すと②の曲線になる。また Bosch 社の発表した特性線(図1)を③に示す。②と③を比較すると、曲線の形はよく似ているけれども、筆者の実験によるものが同一の S に対してカーボン重量が多い結果となっている。Bosch 社の特性曲線については、「これがあらゆる運転条件に通用するかどうかは確かではない」と言っているの、この食い違いがあってもあながちおかしいことでもない。

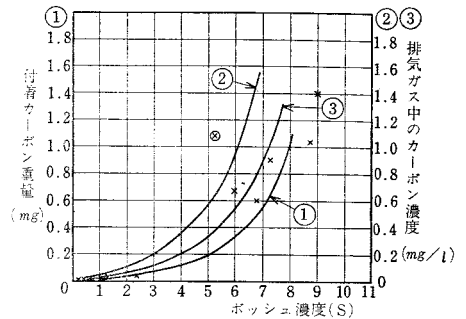


図3 付着カーボン重量とボッシュ濃度との関係
①② 実験値 ③ Bosch の実験値

§ 4 実験式について

汙紙に付着するカーボン重量を x とすれば、 S と x との関係は次式で表わされることをすでに発表した⁽²⁾：

$$S = \frac{10}{1 + \frac{7.664}{(k''x)^{0.702}}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし k'' は常数で、その数値は不明であるが、今回の実験曲線と一致する位置をえらんで、これを片対数座標にえがくと、図4の④で表わされる。図中の①②③は、前述図3の①②③を転記したものである。

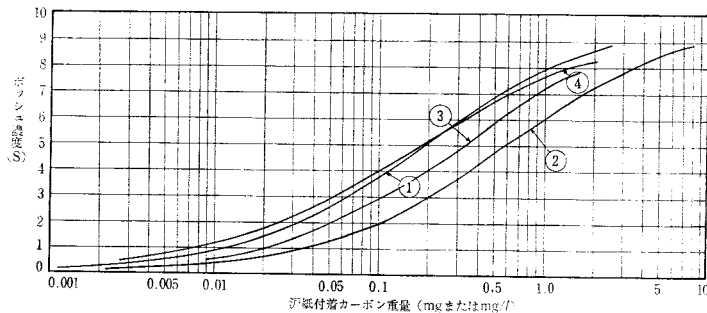


図4 ボッシュ濃度と汙紙付着カーボン重量との関係

- ① 実験値(付着カーボン絶対量 mg) ② 実験値 (mg/l)
③ Bosch の実験値 (mg/l) ④ 前回報告実験式⁽³⁾による計算値(mg)

今回の特性線①に較べると、④の方が少し傾斜がゆるいが、これはすでに述べたように、異なった運転条件下で採取した S のうち、等値のものを基準にして、換算値をプロットしてえがいたものであるから⁽³⁾、多少の誤差は避けられず、今回の①の方が信頼度が高いと思われる。

②の特性曲線を実験式で表わすと次式となる。

$$S = \frac{10}{1 + \frac{0.641}{x^{0.7968}}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

あるいは

$$x = \left(\frac{0.641}{\frac{10}{S} - 1} \right)^{1.255} \quad \dots\dots\dots(4)$$

§ 5 結 言

ディーゼル機関の排気中に含まれるカーボンの重量を、汙紙式濃度計を用いて測定する方法を試みたが、その結果をまとめると次のとおりである：

- (1) 排気ガス 1 ℓ 中に含まれるカーボン重量は極めて微量であるが、汙紙を通過させる回数を適当にとれば、汙紙に付着したカーボン重量を、化学天秤で秤量することができる。
- (2) そのようにして秤量したカーボン重量とボッシュ濃度との関係は、一定の実験式で表わされる。
- (3) 汙紙の重量測定には、大気中の湿度が非常に影響する。
- (4) 汙紙の吸湿性能は、300°C 位までの加熱によって影響されることはない。

参 考 文 献

- (1) 久保田：排気濃度計汙紙の透過率について、日本機械学会・精機学会講演論文集，(1973)，166.
- (2) 久保田：ボッシュ排気濃度についての理論的考察，日本機械学会講演論文集 No.728—1.
- (3) 久保田：ディーゼル機関の排気濃度特性曲線について，呉高専研究報告，7—2 (1972)，47.

(昭和49年 5月 7日 受付)

揺動サイクロイダルカムの滑り率の研究 (第1報)

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Specific Sliding of the Cycloidal Cam with the Oscillating Follower (Report 1)

Hironori ITOSHIMA

In this report, the pressure angle and the specific sliding of the cam mechanism are discussed, when the angular displacement of the oscillating follower with the circular arc profile is the cycloidal curve in the cam diagram.

The profile of the cycloidal cam is expressed in xy coordinates. The best design of the cam is discussed, when the maximum pressure angle and the maximum specific sliding of the cam are specified.

§ 1 緒 言

前報¹⁾において往復円弧従動節をもつサイクロイダルカムにおける押進め角と滑り率について論じ、滑り率を考慮したカムの設計を行った。従動節の滑り率が大きい場合はローラを従動節に必要とするが、カムの滑り率が非常に大きい所ではカムの曲率半径が非常に小さくなるのでカムの製作上問題となる。

本報告においては円弧従動節が揺動する場合について、カムの輪郭を x y 座標で表示し、押進め角、カムの曲率半径、基礎円半径等を論じ、最良の揺動サイクロイダルカムを設計する。

§ 2 記 号

θ : カムの回転角	R_0 : ナイフエッジの場合の基礎円半径
θ_0 : 往き行程のカムの回転角	R : 円弧従動節の場合の基礎円半径
θ_r : 戻り行程のカムの回転角	r : 従動節の円弧半径
θ_d : 頂点の停止期間中のカムの回転角	d : カムと従動節の軸間距離
Ψ : 従動節の揺動角	ρ_M : ナイフエッジ従動節におけるカムの曲率半径
φ_0 : 従動節の始点の角	ρ_T : 円弧従動節におけるカムの曲率半径
φ : 従動節の角変位	$\varphi_1 = \varphi_0 + \varphi$
l : 従動節の長さ	$u = R_0/d,$
ω : カムの角速度	$\lambda = l/d$
$d\varphi_1/d\theta$: カムの角速度に対する従動節の角速度	
$d^2\varphi_1/d\theta^2$: カムの角速度の2乗に対する従動節の角加速度	

§ 3 揺動円弧従動節に対するカムの理論式

図1に揺動円弧従動節をもつカム機構を示す。カム1はA点を中心とし反時計回りに回転し、従動節2はB点を中心として揺動運動しているものとする。

接触点をT, 基礎円半径をR, 従動節の長さBMをl, 円弧の半径をr, 軸間距離ABをdとし, 図のようにA点を原点とするカム上に固定された回転するx-y座標とB点を原点とする従動節上に固定された回転するX-Y座標をとり, x, Y軸がABとなす角をそれぞれ θ , φ_1 とし, θ は従動節が運動を始める点で $\theta=0$ とす。従動節が基礎円に接触している場合のY軸の角 φ_1 を φ_0 とすれば従動節の角変位 φ と φ_0 は次式で示される。

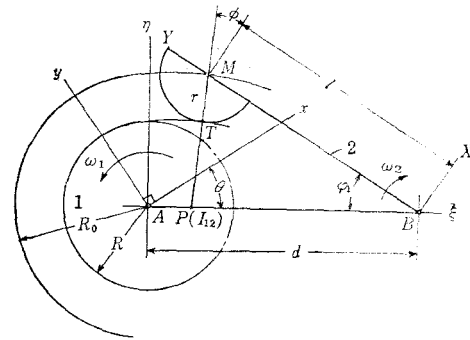


図1 揺動円弧従動節

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_0, \quad \varphi_1 = \varphi + \varphi_0 \quad (1)$$

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \frac{1 + (l/d)^2 - (R_0/d)^2}{2(l/d)} = \cos^{-1} \frac{1 + \lambda^2 - u^2}{2\lambda} \quad (2)$$

$$\text{ただし } \lambda = l/d, \quad u = R_0/d \quad (3)$$

従動節の円弧半径 $r=0$ すなわちナイフエッジ従動節BMの場合の基礎円の半径を R_0 とすればR, R_0 は次のようになる

$$R_0 = R + r, \quad R = R_0 - r \quad (4)$$

接触点T (あるいはM) におけるカムの法線が中心線ABと交わる点Pはカムと従動節の瞬間中心 I_{12} である。それ故前報²⁾により次式のようになる。

$$AP = \frac{d \times \frac{d\varphi_1}{d\theta}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}}, \quad BP = \frac{d}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \quad (5)$$

(1) ナイフエッジ従動節の場合

従動節の円弧半径 $r=0$ の場合で, M点の座標を回転座標x-yに変換すれば前報²⁾によりカムの輪郭が次式のようになる。

$$\begin{aligned} x_M/d &= \lambda \sin \varphi_1 \sin \theta + (1 - \lambda \cos \varphi_1) \cos \theta \\ y_M/d &= \lambda \sin \varphi_1 \cos \theta - (1 - \lambda \cos \varphi_1) \sin \theta \end{aligned} \quad (6)$$

MPの長さはABMPと式(5)より次式のようになる。

$$\frac{MP}{d} = \frac{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \quad (7)$$

ナイフエッジ従動節の場合のカムの曲率半径 ρ_M は前報²⁾より次式のようになる。

$$\frac{\rho_M}{d} = \frac{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}^{\frac{3}{2}}}{1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^3 - \lambda \frac{d^2 \varphi_1}{d\theta^2} \sin \varphi_1 - \lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \left(2 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1} \quad (8)$$

(2) 円弧従動節の場合

図1において接触点TのXY座標 X_T, Y_T をカム上の固定座標 x_T, y_T に座標変換すればカムの輪郭が得られ前報²⁾により次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_T}{d} &= \left(\frac{X_T}{d} + \sin \varphi_1 \right) \sin(\theta + \varphi_1) - \left(\frac{Y_T}{d} - \cos \varphi_1 \right) \cos(\theta + \varphi_1) \\ \frac{y_T}{d} &= \left(\frac{X_T}{d} + \sin \varphi_1 \right) \cos(\theta + \varphi_1) + \left(\frac{Y_T}{d} - \cos \varphi_1 \right) \sin(\theta + \varphi_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

P 点の XY 座標 X_P , Y_P は式(5)より次式となる。

$$\frac{X_P}{d} = -\frac{\sin \varphi_1}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}}, \quad \frac{Y_P}{d} = \frac{\cos \varphi_1}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \dots\dots\dots (10)$$

T 点の XY 座標 X_T , Y_T は前報²⁾ より次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{X_T}{d} &= \frac{-\frac{r}{d} \sin \varphi_1}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \\ \frac{Y_T}{d} &= \lambda - \frac{\frac{r}{d} \left\{ \lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \cos \varphi_1 \right\}}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

次に TP の長さは図 1 より

$$\frac{TP}{d} = \left\{ \left(\frac{X_T}{d} - \frac{X_P}{d} \right)^2 + \left(\frac{Y_T}{d} - \frac{Y_P}{d} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \frac{MP}{d} - \frac{r}{d} \dots\dots\dots (12)$$

となり、カムの輪郭の曲率半径 ρ_T は

$$\frac{\rho_T}{d} = \frac{\rho_M}{d} - \frac{r}{d} \dots\dots\dots (13)$$

から求められる。

(3) 接触点の軌跡

円弧従動節の場合の接触点の軌跡は図 1 の接触点 T の XY 座標を $\xi \eta$ 座標 (A を原点とし, AB を ξ 軸とする直角座標) に変換すれば

$$\xi_T = d + X_T \sin \varphi_1 - Y_T \cos \varphi_1, \quad \eta_T = X_T \cos \varphi_1 + Y_T \sin \varphi_1 \dots\dots\dots (14)$$

となり、これに式(11)を代入して、あるいは前報²⁾ より次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\xi_T}{d} &= 1 - \lambda \cos \varphi_1 - \frac{\frac{r}{d} \left\{ 1 - \lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \\ \frac{\eta_T}{d} &= \lambda \sin \varphi_1 - \frac{\frac{r}{d} \lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \sin \varphi_1}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

ナイフエッジ従動節の場合は接触点の軌跡は B 点を中心とする円弧となることは明らかで、式(15)の $r=0$ とおけば $\xi_T = d - l \cos \varphi_1$, $\eta_T = l \sin \varphi_1$ から次のようになる。

$$(\xi_T - d)^2 + \eta_T^2 = l^2 \dots\dots\dots (16)$$

(4) 押進め角と滑り率

揺動従動節では押進め角は図 1 より M 点より BM に立てた垂線と MP の交角 ϕ で示され、これは前報²⁾ より次式で表わされる。

$$\sin \phi = \frac{\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \cos \varphi_1}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (17)$$

あるいは

$$\tan \phi = \frac{\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \cos \varphi_1}{\sin \varphi_1} \quad (18)$$

押進め角 ϕ により従動節の円弧上の接触点 T の位置が示される。

滑り率は前報²⁾によりカムと従動節の滑り率を σ_1 , σ_2 とすれば

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{TP}{r + TP}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{TP}{\rho_T - TP} \quad (19)$$

となるが $\rho_T = \rho_M - r$ で示されるので

$$\sigma_1 = \frac{\rho_M}{\rho_M - r} \cdot \frac{MP - r}{MP}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_M}{r} \cdot \frac{MP - r}{\rho_M - MP} \quad (20)$$

で示される。従動節の円弧半径 r はカムの最小曲率半径 ρ_{Mmin} より必ず小さくなければならぬので、 $\rho_M > r$ だから σ_1 は無限大とならぬが、 $\rho_M = MP$ の場合 σ_2 は無限大となる。

§ 4 サイクロイダルカムの従動節の運動

図2は揺動サイクロイダルカムのカム線図を示し、揺動角を Ψ 、往き行程のカムの回転角を θ_0 、戻り行程のカムの回転角を θ_r 、頂上における停止期間のカムの回転角を θ_d とすれば、 Ψ の角度を半径 $\Psi/2\pi$ のころがり円が転がったサイクロイドの投影が従動節の角変位 φ だから次式が得られる。ただし従動節の角変位を φ_1 、角速度を ω_2 、角加速度を α_2 とす。

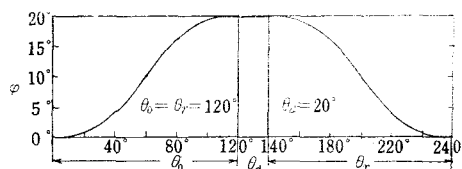


図2 揺動サイクロイダルカムのカム線図

(1) 往き行程の角変位, 角速度, 角加速度

$$\varphi = \Psi \left(\frac{\theta}{\theta_0} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \right), \quad \varphi_1 = \varphi_0 + \varphi \quad (21)$$

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{\Psi}{\theta_0} \left(1 - \cos \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \right), \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{360^\circ \Psi}{\theta_0^2} \sin \frac{360^\circ}{\theta_0} \theta \quad (22), (23)$$

(2) 戻り行程の角変位, 角速度, 角加速度

$$\varphi = \Psi \left\{ 1 - \frac{\theta - \theta_0 - \theta_d}{\theta_r} + \frac{1}{2\pi} \sin \frac{360^\circ(\theta - \theta_0 - \theta_d)}{\theta_r} \right\} \quad (24)$$

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

$$\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{\Psi}{\theta_r} \left\{ -1 + \cos \frac{360^\circ(\theta - \theta_0 - \theta_d)}{\theta_r} \right\} \quad (25)$$

$$\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{360^\circ \Psi}{\theta_r^2} \sin \frac{360^\circ(\theta - \theta_0 - \theta_d)}{\theta_r} \quad (26)$$

$$\omega_2 = \omega_1 d\varphi_1/d\theta, \quad \alpha_2 = \omega_1^2 d^2\varphi_1/d\theta^2 \quad (27)$$

図3は $\theta_0 = 120^\circ$, $\theta_r = 120^\circ$, $\theta_d = 0$, $\Psi = 20^\circ$ の場合の従動節の角速度, 角加速度を求めた線図である。

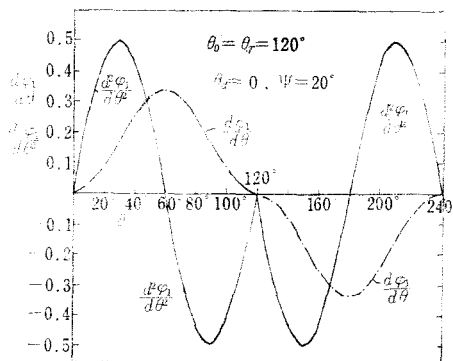


図3 揺動サイクロイダルカムの角速度, 角加速度

§ 5 押進め角

例えば $u=R_0/d=0.6$ を指定し、 $\lambda=l/d=0.6, 0.7, 0.8$ とすれば式(2)より $\varphi_0=33.5573^\circ, 36.1823^\circ, 36.8699^\circ$ となる。そこで $\Psi=20^\circ, \theta_0=\theta_r=120^\circ, \theta_d=0, \theta=0^\circ\sim 240^\circ$ について式(21)~(25)より $\varphi, \varphi_1, d\varphi_1/d\theta$ を求めて式(18)より ϕ を計算したものを図4に示す。

図から R_0 すなわち u が一定の場合は λ すなわち l が長くなるにつれ、全体的に押進め角の値が高くなる。往き行程の始点の押進め角 $\phi_A=0$ にするには次の λ, u の関係が必要である。

$$\phi_A=0, d^2=R_0^2+l^2, \lambda=\sqrt{1-u^2}\dots\dots\dots(28)$$

往き行程で仕事をする場合に行程のほぼ中央で押進め角は最大となることがわかり、始点の押進め角 ϕ_A を負にすることにより最大押進め角を小さくすることができる。そのためには l を短くするすなわち $\lambda<\sqrt{1-u^2}$ とせねばならぬが、極端に短くすると戻り行程の最大押進め角が大となるので、 ϕ_A は負とし、摩擦係数による摩擦角 ρ に等しくするのがよい。すなわち、摩擦係数 $\mu=0.1\sim 0.15$ として $\phi_A=-6^\circ\sim -8^\circ$ がよい。

図5は前図とは逆に $\lambda=0.6$ を指定し、 $u=0.6, 0.7, 0.8$ と変化させた場合で、 $\Psi=20^\circ, \theta_0=\theta_r=120^\circ$ とすれば $\varphi_0=33.5573^\circ, 43.5312^\circ, 53.1301^\circ$ となる。これによって押進め角を求めたもので、最大押進め角は往き行程の中央より右に寄り、カムの回転角は $\theta_0/2$ より大となる。

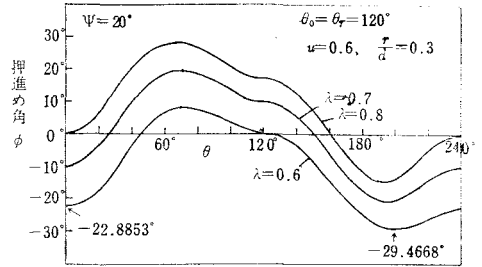


図4 $\theta_0=\theta_r=120^\circ, u=0.6, \lambda=0.6\sim 0.8$ の押進め角 ϕ

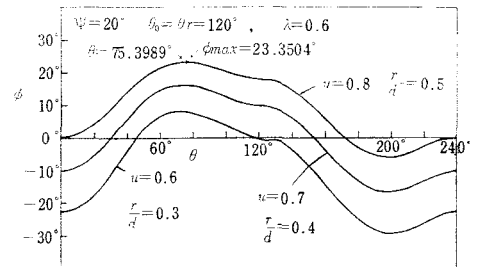


図5 λ を指定して u を変化させた押進め角 ϕ

(1) 往き行程の始点の押進め角

往き行程の始点においては $\varphi=0, \varphi_1=\varphi_0, d\varphi_1/d\theta=0$ だから、これを式(18)に代入し、さらに式(2)の φ_0 を代入すれば、始点の押進め角は

$$\tan\phi_A = \frac{\lambda^2 + u^2 - 1}{\sqrt{4\lambda^2 - (1 + \lambda^2 - u^2)^2}} \dots\dots\dots(29)$$

となる。次に $\tan(-\phi_A)=\mu$ (摩擦係数) とし、式(29)に代入して、 λ あるいは u を求めれば次式を得る。

$$\lambda^2 = \frac{1 + \mu^2 - u^2(1 - \mu^2) - 2u\mu\sqrt{1 + \mu^2 - u^2}}{1 + \mu^2} \dots\dots\dots(30)$$

$$u^2 = \frac{1 + \mu^2 - \lambda^2(1 - \mu^2) - 2\lambda\mu\sqrt{1 + \mu^2 - \lambda^2}}{1 + \mu^2} \dots\dots\dots(31)$$

式(30)に $\mu=0\sim 0.2$ を指定し、 $u=0.1\sim 1$ の λ を求めたものを図6に示す。この図から u が指定された場合に最大押進め角の良好な λ を見出す、またはその逆を行うことができる。

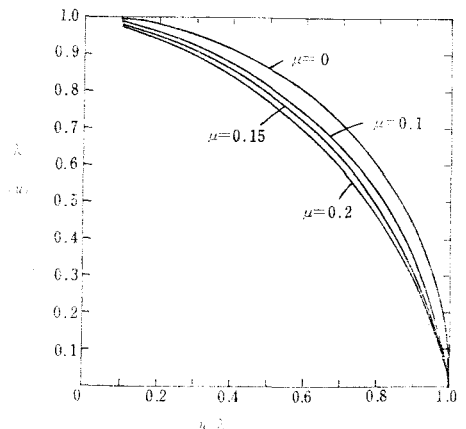


図6 摩擦係数 μ を指定した λ と u の関係

(2) 最大押進め角

往き行程における最大押進め角 ϕ_{max} の値とそのときのカムの回転角 θ を求めるには式(18)を θ で微分し, $d\phi/d\theta=0$ とおけば次式が得られる。

$$\lambda \left(\frac{d^2 \varphi_1}{d\theta^2} \right) \sin \varphi_1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} - \lambda \cos \varphi_1 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \frac{d\varphi_1}{d\theta} = 0 \quad (32)$$

この式に式(21)~(23)を代入して θ を求め, それを式(18)に代入して ϕ_{max} を求めればよいのであるが, θ を求めることが困難なので 逐次近似法により θ を求め, それから ϕ_{max} を求めた結果を図4, 5と表1に示す。

§ 6 カムの曲率半径

揺動ナイフエッジ従動節の場合のカムの 最小曲率半径を ρ_{Mmin} とすれば円弧従動節の円弧半径 r は必ず $r < \rho_{Mmin}$ でなければならぬので, ρ_{Mmin} の生ずるカムの回転角 θ とその値を求める必要がある。

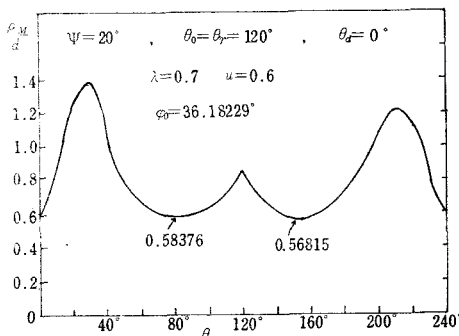


図7 揺動サイクロイダルカムの曲率半径
 $\theta_0=\theta_r=120^\circ$, $\psi=20^\circ$

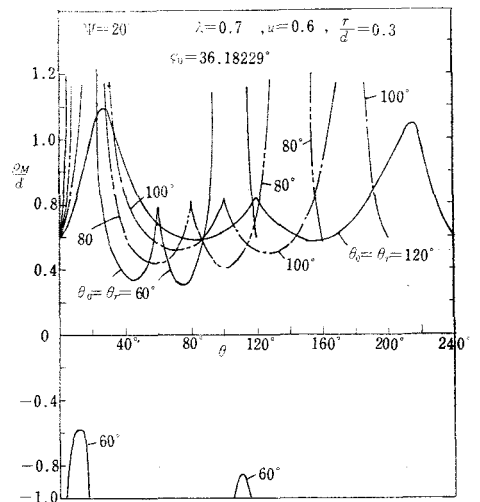


図8 カムの曲率半径 (ナイフエッジの場合)

そこで例えば図7に示すように $\theta_0=\theta_r=120^\circ$, $\theta_d=0$, $\lambda=0.7$, $u=0.6$ の場合の各 θ に対する ρ_M/d を求めたものを示す。図から ρ_{Mmin} は近似的に

$$\text{往き行程においては } \theta \div 3/4 \theta_0 \quad (33)$$

$$\text{戻り行程においては } \theta \div \theta_0 + 1/4 \theta_r \quad (34)$$

の所で生ずるようである。

図8は $\psi=20^\circ$, $\lambda=0.7$, $u=0.6$ を指定し, $\theta_0=\theta_r=60^\circ \sim 120^\circ$ の場合の各 θ に対する ρ_M/d を示す。

$\theta_0=\theta_r$ が小さいと式(33), (34)の所で ρ_{Mmin} を生ずるが, 大きくなると幾分それより往き行程では小さく, 戻り行程では大きい所で ρ_{Mmin} を生ずることがわかる。

正確に ρ_{Mmin} の位置を求めるには式(8)を θ で微分して $d\rho_M/d\theta=0$ とおいて θ を求めなければならぬがそれは困難である。

図9は $\psi=20^\circ$, $\lambda=0.7$ を指定し, $u=0.4 \sim 0.7$ における各 $\theta_0(\theta_r)$ に対する ρ_{Mmin}/d を示す。図で u が小さい程 ρ_M は小となり, また $u > 0.5$ の場合は戻り行程の ρ_{Mmin} が往きのそれよりも小さいが $u \leq 0.5$ の場合は逆に往き行程の ρ_{Mmin} が小となるのに注意しなければならぬ。

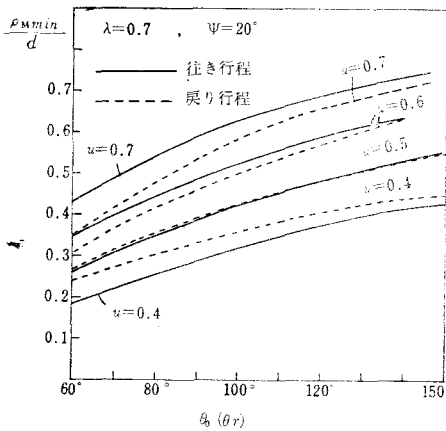


図9 各 $\theta_0(\theta_r)$ に対する λ を指定した場合の $u=0.4\sim0.7$ の ρ_{Mmin}

図10は $\psi=20^\circ$, $u=0.6$ とし, $\lambda=0.7, 0.8$ の場合で $\theta_0(\theta_r)$ が大きいと λ の影響は小さく, この場合戻り行程の最小曲率半径が往きのそれより小さい。

図11は $\theta_0(\theta_r)$ と λ を指定し, 各 u に対する ρ_{Mmin} を求めたもので $\lambda=0.7$ の場合は $u=0.5$ を境とし, $\lambda=0.8$ の場合は $u=0.37$ を境とし, $\theta_0(\theta_r)$ の値に無関係にそれより u が小さければ行き行程, 大きければ戻り行程の最小曲率半径が小となる。

行き行程と戻り行程のカムの最小曲率半径の大小

行き行程の場合 $\theta=3/4\theta_0$ を式(21)~(23)に代入すれば

$$\varphi = \psi \left(-\frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi} \right), \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{\psi}{\theta_0}, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{360^\circ}{\theta_0^2} \psi$$

戻り行程の場合 $\theta=\theta_0+1/4\theta_r$ を式(24)~(26)に代入すれば

$$\varphi = \psi \left(-\frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi} \right), \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = -\frac{\psi}{\theta_r}, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{360^\circ}{\theta_r^2} \psi$$

となる。両行程の φ が等しいことから, 両行程の φ_1 は等しい。そこで $\theta_0=\theta_r$ とし以上の値を式(8)に代入し, 両行程の ρ_{Mmin} が等しいためにまず式(8)の分子を等しくすると

$$\cos \varphi_1 = \lambda, \quad \cos(\varphi_0 + \varphi) = \lambda \quad (35)$$

が成立し, これを分母に代入すると両行程の分母が等しくなるので, 両行程の最小曲率半径が等しいためには式(35)の関係が成立せねばならぬ。しかるに $\cos \varphi_0 = (1 + \lambda^2 - u^2)/2\lambda$ で, $\varphi = \psi(3/4 + 1/2\pi)$ であるから, これを式(35)に代入して u を求めれば次式が得られる。

$$u^2 = 1 + \lambda^2 - 2\lambda^2 \cos \varphi - \sqrt{2} \sqrt{1 + 4\lambda^2 - \lambda^4 - 2\lambda^2(1 - \lambda^2) \cos^2 \varphi - 4\lambda^2(1 + \lambda^2) \cos \varphi}$$

ただし $\varphi = \psi \left(-\frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi} \right)$ (36)

例えば $\psi=20^\circ$ の場合 $\lambda=0.6, 0.7, 0.8$ とすれば $u=0.61349, 0.49694, 0.35263$ となる。故に ψ , λ が指定された場合式(36)の u を計算し, その u より u が大きいときは戻り行程の曲率半径の方が行き

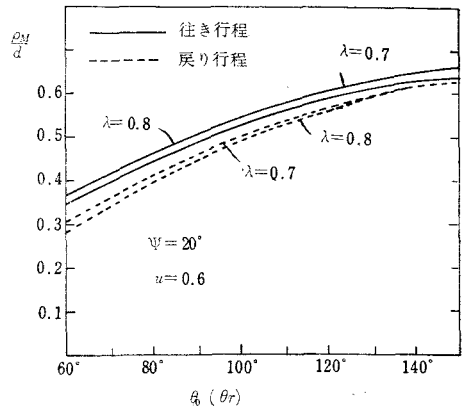


図10 戻り行程の $\theta=\theta_0+\theta_d+1/4\theta_r$ の所の u を指定し, $\lambda=0.7, 0.8$ の ρ_M/d の値

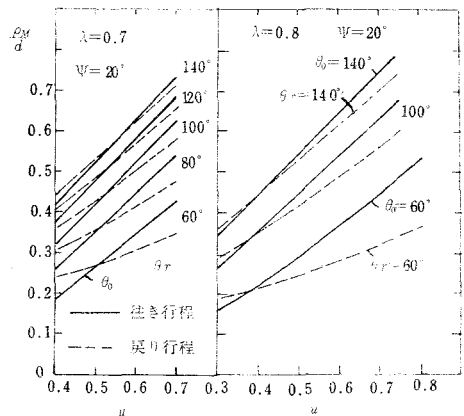


図11 戻り行程の θ_r と λ を指定し, 各 u に対する ρ_M/d の値

のよれより小さく、 u は $\theta_0(\theta_r)$ の値に関係しないが、 ρ_{Mmin} には影響が大である。

以上はナイフエッジの場合であるが

$$\rho_{rmin} = \rho_{Mmin} - r, \quad R = R_0 - r \dots\dots\dots (37)$$

であるので、円弧従動節の場合のカムの最小曲率半径は $\rho_{Mmin} - r$ となり、 $R/d = u - r/d$ だから R/d すなわち円弧従動節の基礎円半径をある値にするには r が大きいときは u も大でなければならぬ。ナイフエッジに較べ u は大となるので、 $\lambda = 0.7, 0.8$ の場合は戻り行程の ρ_{Mmin} を調べればよいが、 $\lambda = 0.6$ のときは $u = 0.6135$ とかなり大なので $\lambda = 0.6$ 附近のときは図12より u の値に注意せねばならぬ。図12は両行程の ρ_{Mmin} が等しいときの λ と u の関係を式(36)から求めたもので、破線は摩擦係数 $\mu = 0.1$ のときを示す。

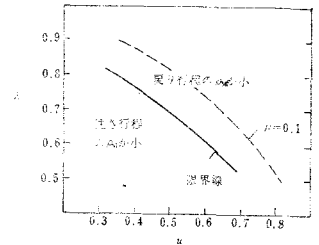


図12 ρ_{Mmin}/d の両行程の限界線

§ 7 カムの滑り率

$\Psi, \theta_0, \theta_r, \lambda, u$ が指定されれば、 λ, u により図12からいづれの行程で最小曲率半径が生じるかまたその値がわかるので ρ_{Mmin}/d により従動節の円弧半径 r/d を選定することができる。次にカムの回転角 θ に対する $\varphi, d\varphi_1/d\theta, d^2\varphi_1/d\theta^2$ が求まるので、式(7)、(8)に代入し、 MP, ρ_M が求まり、式(20)を用いてカムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 を求めることができる。

例えば $\Psi = 20^\circ, \theta_0 = \theta_r = 120^\circ, \lambda = 0.7$ とし、摩擦係数 $\mu = 0.1$ とすれば式(31)より $u = 0.64788$ となるので、 $u = 0.6$ を選べば表1より $\phi_{max} \div 19^\circ$ となり、押進め角としては満足され、図12より戻り行程の ρ_{Mmin} の方が小で、その値 $\rho_{Mmin}/d = 0.56817$ となる。次に円弧従動節の場合の基礎円半径 R を $R/d = 0.3$ と指定すれば式(4)から $r/d = u - R/d = 0.6 - 0.3 = 0.3$ となる。

図13の実線はこの場合の滑り率 σ_1, σ_2 を示す。図から従動節は行程の両端と中間で $\sigma_2 = \infty$ となる。カムの滑り率 σ_1 はほぼ ρ_{Mmin} の所で σ_{1max} となることがわかる。破線は ρ_M/d を示す。

今 $\lambda = 0.6, u = 0.7, R/d = 0.3, r/d = 0.4$ の場合の滑り率を一点鎖線で示す。 σ_{1max} が前より高くなる。曲率半径を調べると後者の ρ_{Mmin}/d が小さい。

次に図14は $\Psi = 20^\circ, \lambda = 0.7, u = 0.6, r/d = 0.3, R/d = 0.3$ の場合の $\theta_0(\theta_r) = 60^\circ \sim 100^\circ$ の往き行程と戻り行程のカムの滑り率 σ_1 の変化を示す。行程の角度が小さいほど σ_{1max} は増大する。特に戻り行程のそれはこの場合大きい。 σ_{1max} は ρ_{Mmin} の所で生ずるが、往き行程では約 $3/4\theta_0$ 、戻り行程では約 $1/4\theta_r$ の所であることがわかる。

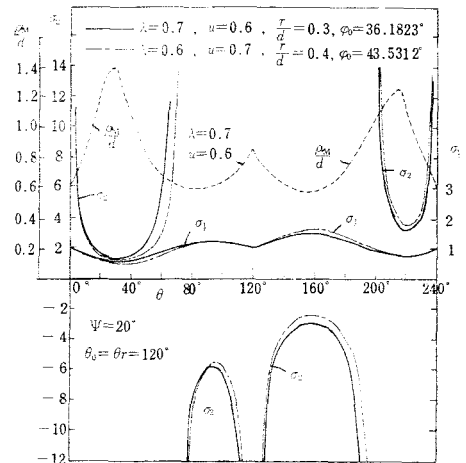


図13 曲率半径 ρ_M/d と滑り率 σ_1, σ_2

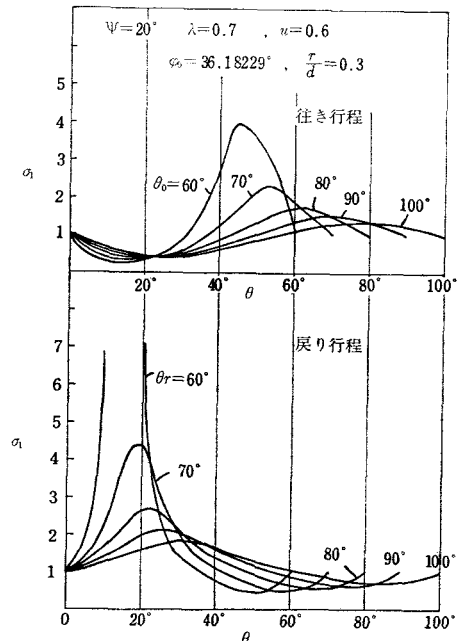


図14 θ_0, θ_r の変化による両行程の σ_1 の変化

図15は $\Psi=20^\circ$, $\lambda=0.7$, $R/d=0.3$, $u=0.5, 0.6, 0.7$, $r/d=0.2, 0.3, 0.4$ の場合の $(\theta-\theta_0-\theta_d)/\theta_r=1/4$ の所の近似 σ_{1max} を求めたものを示す。図から例えば $u=0.5$, $r/d=0.2$ の場合 $\theta_r < 55^\circ$ では急激に σ_{1max} は増加し, $\theta_r > 80^\circ$ では $\sigma_{1max} \div 1 \sim 1.5$ となることから σ_{1max} には行程の角度 θ_r がある値以下では非常に影響のあることがわかる。

§ 8 滑り率による従動節の円弧半径の選定

行き行程の始点Aの押進め角あるいは摩擦係数 μ を指定し, Ψ , λ を指定すれば式(31)より u が求まる。 u が求まれば図12, 11より $\theta=3/4 \theta_0$, $\theta=\theta_0+\theta_d+1/4\theta_r$ におけるナイフエッジ従動節の場合のカムの近似最小曲率半径が求まる。従動節の円弧半径 r は $r < \rho_{Mmin}$ でなければならぬ。 ρ_{Mmin} の所でカムの滑り率 σ_1 は近似 σ_{1max} となるので, 近似 ρ_{Mmin} の所すなわち $\theta=3/4 \theta_0$, $\theta=\theta_0+\theta_d+\frac{1}{4}\theta_r$ における σ_1 が近似的に σ_{1max} となる。

近似 σ_{1max} を指定して r を求めるには式(20)を変形すれば次式が得られる。

$$r = \frac{(\sigma_{1max}-1)\rho_M \cdot MP}{\sigma_{1max} \cdot MP - \rho_M} \quad (38)$$

例えば $\Psi=20^\circ$, $\lambda=0.7$, $\mu=0.1$ を指定すれば式(31)より $u=0.6479$, 式(2)より $\varphi_0=40.14213^\circ$ が得られるので, $\sigma_{1max}=1.5 \sim 3$ を指定し, 基礎円半径 $R/d=u-r/d$ を横軸に θ_0 , θ_r を縦軸にとった曲線を図16(a, b)に示す。図から行き行程の場合 $\sigma_{1max}=1.5$, $R/d=0.3$ とすれば $\theta_0 \div 92^\circ$, $\theta_r \div 123^\circ$, $r/d=0.3479$ となるので, 戻り行程において $\sigma_{1max} < 1.5$ となるためには $\theta_r > 123^\circ$ でなければならぬ。

これを逆に言えば $\theta_r=120^\circ$ のときは戻り行程の $\sigma_{1max} > 1.5$ となる。もし $\theta_r=120^\circ$ で $\sigma_{1max} < 1.5$ となるためには $R/d > 0.31$ となる。故に $r/d=u-R/d=0.647-0.31=0.337$ となるから $r/d < 0.337$ とすればよい。図から λ , u が指定された場合 R をできるだけ大にするすなわち r を小にするか, θ_0 , θ_r をできるだけ大にすれば σ_{1max} を減少させることができる。

図17は $\Psi=20^\circ$, $\mu=0.1$, $\sigma_{1max}=1.5$ を指定し, 各 λ に対する R と $\theta_0(\theta_r)$ の関係を求めたものである。図12において $\mu=0.1$ の場合の λ , u は破線で示されるので, この場合常に戻り行程の ρ_{Mmin} の方が往きのそれよりも小さいことがわかる。

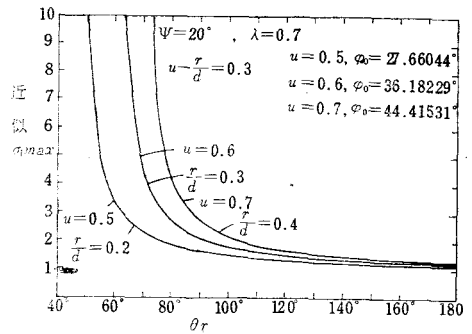


図15 戻り行程の各 θ_r に対する近似 σ_{1max}

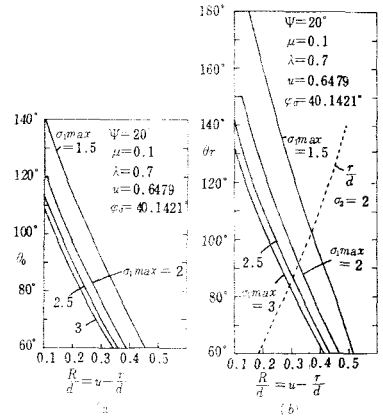


図16 σ_{1max} を指定し R と $\theta_0(\theta_r)$ の関係

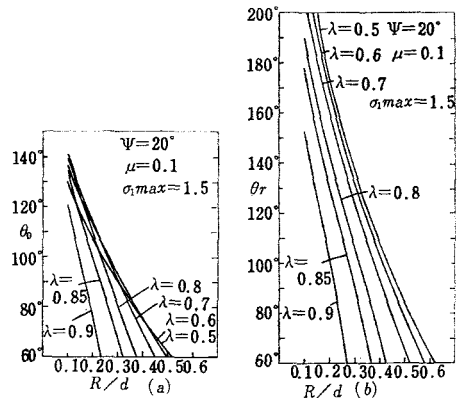


図17 σ_{1max} を指定し, 各 λ に対する R と $\theta_0(\theta_r)$ の関係

図17において $R/d=0.3$, $\lambda=0.7$ とすれば $\theta_r=123^\circ$, $R/d=0.3$, $\lambda=0.8$ にすれば $\theta_r=106^\circ$ となるので λ を大にすれば σ_{1max} を減少させることができる。また θ_0 , θ_r が小さい場合には λ を大きくするか, R/d を大きくすれば σ_{1max} を小に保つことができる。

§ 9 カムの設計とカムの輪郭

円弧従動節の場合の従動節とカムの接触点の軌跡は式(15)の ξ_T , η_T で与えられ, 次にカムの輪郭は式(11) を式(9)に代入するかあるいは次式で与えられる。

$$\frac{x_T}{d} = \frac{\xi_T}{d} \cos \theta + \frac{\eta_T}{d} \sin \theta, \quad \frac{y_T}{d} = -\frac{\xi_T}{d} \sin \theta + \frac{\eta_T}{d} \cos \theta \quad (39)$$

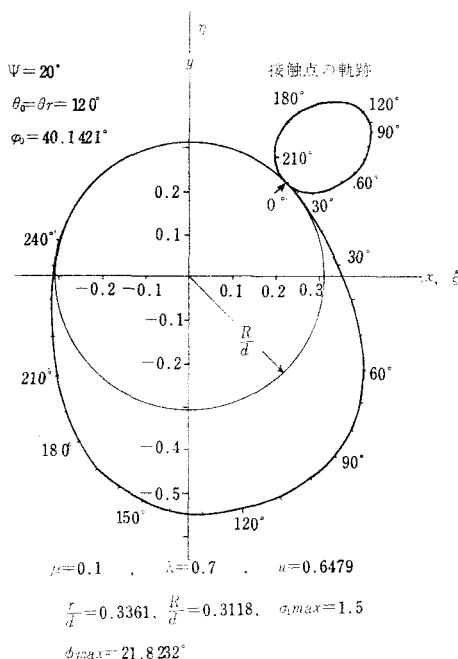


図18 カムの輪郭と接触点の軌跡

図18は $\Psi=20^\circ$, $\theta_0=\theta_r=120^\circ$, $\theta_d=0$, $\mu=0.1$, $\lambda=0.7$, $u=0.6479$, $\varphi_0=40.1421^\circ$, $\phi_{max}=21.8232^\circ$ ($\theta=70^\circ$), $r/d=0.3361$, $R/d=0.3118$ の場合のカムの輪郭と接触点の軌跡を示す。

図19はこの例の場合の ρ_M/d , ϕ , σ_1 , σ_2 を示す。実際の σ_{1max} は $\theta=160^\circ$ の所で $\sigma_{1max}=1.6$ で, σ_1 はほぼ均一, 押進め角も良好であるがもう少し u を小さくして行き行程の最大押進め角 ϕ_{max} を下げてもよい。

図20は円弧従動節上の各 θ に対する ϕ と σ_2 によって円弧上に滑り率 σ_2 を求めたものである。図から4カ所に $\sigma_2=\infty$ の所を生ずるので摩擦の均一化が考えられる。

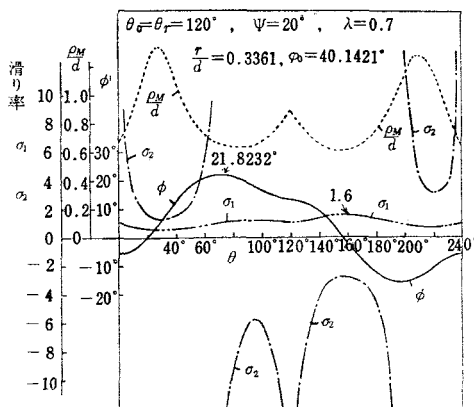


図19 図18の場合の ρ_M/d , ϕ , σ_1 , σ_2

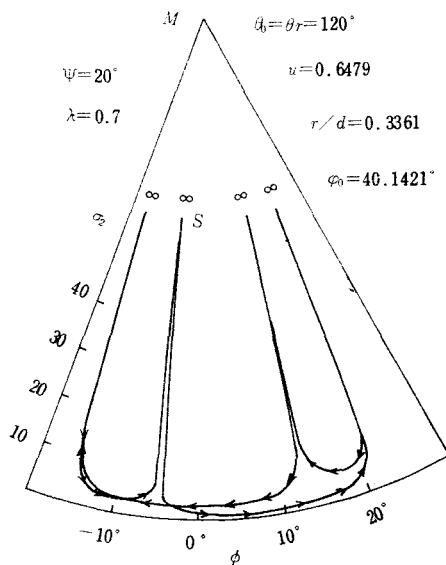


図20 円弧従動節上の σ_2

§ 10 結 論

以上揺動円弧従動節をもつサイクロイダルカムの滑り率を考慮した設計を述べたが次の結論が得られた。

- (1) 往き行程の始点の摩擦係数を指定して、従動節の長さや基礎円の関係が得られた。
- (2) 最大押進め角を λ , u により調節できるが λ を 1 あるいはそれ以上では使用できない。
- (3) λ , u の関係で往き行程が戻り行程の最小曲率半径が生ずる。
- (4) 行程のカムの回転角が小さい場合は最小曲率半径が小となるので、基礎円半径を大にするか円弧半径を小とせねばならぬ。
- (5) λ , u を大にすれば θ_0 , θ_r を大きくとっても σ_{1max} を小とすることができる。

文

献

- 1) 糸島寛典、野原稔：往復サイクロイダルカムの滑り率の研究（第1報）、呉高専研究報告、第8巻第2号、25～34頁、1973。
- 2) 糸島寛典：揺動等加速度カムの滑り率の研究（第1報）、呉高専研究報告、第7巻第1号、45～57頁、1971。

（昭和49年5月7日 受付）

塑性加工の研究(第2報)

— 圧延圧力の検討 —

(機械工学科) 里 信 敏 行

Studies on the Plastic Working (Report 2)

—Investigation of the Roll Pressure—

Toshiyuki SATONOBU

It is helpful to know the distribution of compressive load which acts on the surface of contact between roll and material when the values of compressive load and roll torque are needed.

Generally, the factors which strongly affect the distribution of compressive load are friction, roll diameter, reduction in thickness, the quality of material, and front and back tension. In our research, we sought the influence which these factors have under various conditions on the distribution of compressive load by using the electronic computer. We have also calculated the Nadai approximational analysis and have studied the error.

Next, we have set up an equation for work hardening materials by using the generalized n-th power law $\sigma = C_0 + C_n(\varepsilon + C_4)^n$, and have calculated the distribution of compressive load and the compressive force. This was compared with the value obtained when the arc of contact between roll and material was approximated by straight line. It was also compared with the results mentioned above and the difference was studied.

As a result of these calculations and comparative studies, we have found the best working conditions for rolling.

§ 1 緒 言

前報¹⁾で情報処理教育を考慮して引抜応力、圧延最小板厚について若干の解析と計算をおこない、その結果を報告したが、つづいて圧延圧力についてこれにおよぼす各因子の影響ならびに圧延材が加工硬化する場合を解析し検討したので報告する。

§ 2 記 号

使用記号は図1などよりつぎのとおりとする。

h_1 : 圧延前の板厚 (初厚)	h_2 : 圧延後の板厚 (終厚)
h : 微少要素の板厚	x : 圧延方向の出口からの距離
x_0 : 出口から入口までの圧延方向距離	p : ロール面垂直圧力
p_1 : 入口側からの圧延圧力	p_2 : 出口側からの圧延圧力
σ : 圧延方向応力	σ_1 : 入口における後方張力

σ_2 : 出入口における前方張力
 R : ロール半径
 λ : 圧下率
 μ : ロールと圧延材間の摩擦係数
 θ : 任意の接触角
 θ_0 : 接触角
 $2k_m$: 平均変形抵抗
 n : 加工硬化指数
 C_0, C_n, C_4 : 材料定数
 ただし p, σ ともに圧縮を正とする。

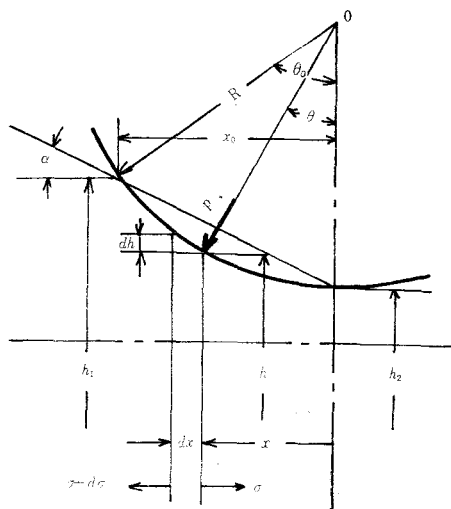


図1 板材の圧延

§3 Kármán の圧延方程式の解析

Kármán の圧延方程式²⁾は

$$p(\tan \theta \pm \mu) dx = d\left(-\frac{h\sigma}{2}\right) \quad (1)$$

上の記号は出口側に、下の記号は入口側に使用される。そこで

$$2p(\tan \theta \pm \mu) dx = h d\sigma + \sigma dh \quad (2)$$

塑性条件より

$$p(1 \mp \mu \tan \theta) - \sigma = 2k_m \quad (3)$$

図1より

$$h = h_2 + 2R(1 - \cos \theta) = h_2 + 2(R - \sqrt{R^2 - x^2})$$

$$\tan \theta = \frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}}$$

$$dh = 2 \tan \theta \cdot dx = \frac{2x}{\sqrt{R^2 - x^2}} dx$$

$$d\sigma = dp \left(1 \mp \frac{\mu x}{\sqrt{R^2 - x^2}}\right) \mp p \frac{\mu R^2}{(R^2 - x^2)^{3/2}} dx$$

(2)式に代入

$$\begin{aligned}
 2p \left(\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} \pm \mu \right) dx = & \left\{ h_2 + 2(R - \sqrt{R^2 - x^2}) \right\} \left\{ dp \left(1 \mp \frac{\mu x}{\sqrt{R^2 - x^2}} \right) \mp p \frac{\mu R^2}{(R^2 - x^2)^{3/2}} dx \right\} \\
 & + \left\{ p(1 \mp \mu \frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}}) - 2k_m \right\} \frac{2x}{\sqrt{R^2 - x^2}} dx
 \end{aligned}$$

整理すると

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\frac{4k_m}{\sqrt{R^2 - x^2}} x \pm p \frac{\mu R^2 (h_2 + 2R)}{(R^2 - x^2)^{3/2}}}{\left(1 \mp \frac{\mu x}{\sqrt{R^2 - x^2}}\right) \left\{ h_2 + 2(R - \sqrt{R^2 - x^2}) \right\}} \quad (4)$$

上の符号は出口側で、下は入口側である。

(4)式から圧延圧力を計算するのに RUNGE-KUTTA法を用いると初期条件が必要となる。(3)式より

$$p = \frac{2k_m + \sigma}{1 \mp \mu \tan \theta} = \frac{2k_m + \sigma}{1 \mp \frac{\mu x}{\sqrt{R^2 - x^2}}} \quad (5)$$

(入口面～中立面)

$x = x_0$ で $\sigma = -\sigma_1$ なるゆえ(5)式より

$$p = \frac{2k_m - \sigma_1}{1 - \frac{\mu x_0}{\sqrt{R^2 - x^2}}} \dots\dots\dots (6)$$

ここで

$$x_0 = \frac{1}{2} [(h_1 - h_2) \{4R - (h_1 - h_2)\}]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (7)$$

（中立面～出口面）

↙ $x=0$ で $\sigma = -\sigma_2$ なるゆえ(5)式より

$$p = 2k_m - \sigma_2 \dots\dots\dots (8)$$

比較のために Nadai の近似解³⁾ を示すと

（入口面～中立面）

$$p = 2k_m \left[\left\{ y_1 + \frac{2(1-Kv_1)}{K^2} \right\} \exp \{K(v_1 - v)\} - \frac{2(1-Kv)}{K^2} \right] \dots\dots\dots (9)$$

（中立面～出口面）

$$p = 2k_m \left[\left\{ y_2 + \frac{2}{K^2} \right\} \exp (Kv) - \frac{2(1+Kv)}{K^2} \right] \dots\dots\dots (10)$$

ここで

$$K = \frac{2\mu}{\sqrt{h_2/R}}, \quad v = \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{h_2 R}}, \quad v_1 = \tan^{-1} \sqrt{\frac{\lambda}{1-\lambda}},$$

$$y_1 = \frac{2k_m - \sigma_2}{2k_m}, \quad y_2 = \frac{2k_m - \sigma_1}{2k_m}, \quad \lambda = (h_1 - h_2)/h_1$$

§ 4 $\sigma = 2k_m$ のときの圧延圧力

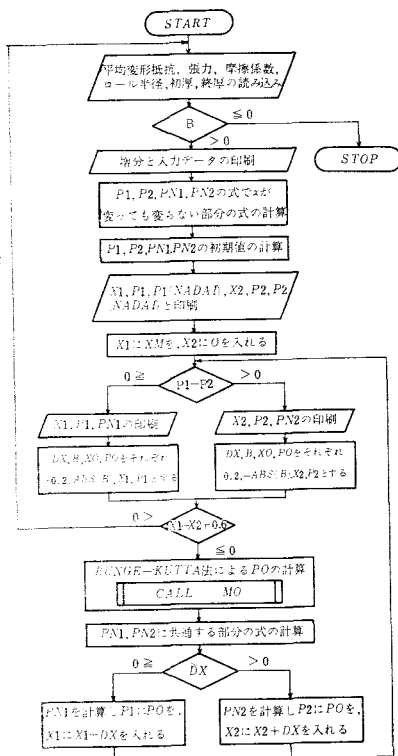
4.1 計 算 内 容

圧延材が加工硬化しない場合の圧延圧力を(4)式ならびに(9),(10)式より計算する。使用電算機は HITAC 10 で 8K FORTRAN (システム FTNA) によってプログラムをくむ。

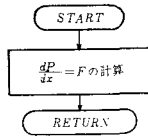
圧延圧力を検討するための圧延材は鋼として入力データ（圧延条件）を表1とした。また圧延方向の距離の増分は 0.2とした。

表 1 圧 延 条 件

No.	平均変形抵抗 (kg/mm^2)	張 力 (kg/mm^2)	摩 擦 係 数	ローラ半径 (mm)	初 厚 (mm)	終 厚 (mm)	圧下率 (%)
1	40	5	0.07	500	5.0	4.0	20
2	40	5	0.07	500	5.0	3.5	30
3	40	5	0.07	500	5.0	4.5	10
4	40	5	0.07	500	3.0	2.4	20
5	40	5	0.07	500	8.0	6.4	20
6	40	5	0.07	400	5.0	4.0	20
7	40	5	0.07	600	5.0	4.0	20
8	40	5	0.04	500	5.0	4.0	20
9	40	5	0.10	500	5.0	4.0	20
10	40	0	0.07	500	5.0	4.0	20
11	40	10	0.07	500	5.0	4.0	20
12	30	5	0.07	500	5.0	4.0	20
13	50	5	0.07	500	5.0	4.0	20



フローチャート (1)



SUBROUTINE MO

```

C1: NO KUSAN (H-K, AND NADAT NO KINJI)
1: READ(1,100)YM,S,E,X1,H2
IF(E).NE.5
5: DX=0.2
WRITE(1,500)DX,YM,S,E,X1,H2
C=X1-H2
XM=SQRT((4.0*(H-C)*C)/2.0)
P=YM-S
C1=E+E-XM*XM
C2=2*(H2/E)
I=1,C=0,E/C
A=ATAN(SQRT(C/H2))
I=I+1
Y=I*YM
F1=2*P/(1.0+E*XM/SQRT(C1))
F2=F1
PN1=F1
PN2=F1
WRITE(1,510)
X1=XM
X2=0.0
21: F1=(F1+F2)/3.0,6
61: WRITE(1,520)X2,F2,F1
DX=0.2
E=ABS(E)
X=X2
C=C2
101: Y(X1-C+0.6)1.7,7
31: WRITE(1,530)X1,F1,PN1
X=X-C
E=ABS(E)
X=X1
DO 10 10
11: C=X
F=F0
CALL MO (H,E,F,X,YM,H2,F)
A1=DX*F
C=X-C+0.5*DX
F=F0+C.5*A1
CALL MO (H,E,F,X,YM,H2,F)
A2=DX*F
F=F0+C.5*A2
CALL MO (H,E,F,X,YM,H2,F)
A3=DX*F
V=C+DX
F=F0+A3
CALL MO (H,E,F,X,YM,H2,F)
C4=DX*F
X=X+DX
F0=F0+(A1+A2+C.5*A3+2.0*A3+A4)/6.0
V=ATAN(X2/E)
IF(DX).NE.0
51: N1=Y*(Y+2.0*(1.0-I*V)/11)*EXP(1*(V1-V))-2.0*(1.0-I*V)/11
I=I+1
X1=X1+DX
DO 10 2
31: PN2=Y*(Y+2.0/11)*EXP(1*(V1-V))-2.0*(1.0-I*V)/11
F=F0
C=X2+DX
DO 10 2
11: F0=NADAT(6F)
500: FORMAT(2F7.2)
510: F0=NADAT(2F,2X,2H1.6X,2HF1.7X,9HF1(NADAT),
5X,2HX2.6X,2HF2.7X,9HF1(NADAT))
520: FORMAT(1F,31X,F7.2,BF9.3)
530: FORMAT(1F,7.2,2F9.3)
54: STOP
SUBROUTINE MO (H,E,F,X,YM,H2,F)
D=E+E-XM*XM
C=SQRT(C)
D1=2.0*YM*X/D-C*F*H*(2.0*(H+H2)/D/D0
D2=(1.0*(H*X/D0)*H2+2.0*(H-D0))
F=L1/D2
RETURN
END

```

プログラム (1)

4.2 計算結果, 考察

計算結果を図2～7に示す。圧延圧力におよぼす各因子の影響はつぎのとおりである。

(1) 圧下率 (図2)

- 圧下率が増すにしたがって圧延圧力, 変動曲線の勾配はともに増大する。
- 圧下率が増すにつれ中立点位置は入口側に移るが, 接触弧長さに対する割合では出口側に移動することになる。

(2) 板厚 (図3)

- 板厚が大となると中立点での圧延圧力, 変動曲線の勾配はともに減少する。
- 中立点位置は板厚の増大につれて入口側に移るが, 接触弧長さに対する割合では出口側に移動する。

(3) ロール半径 (図4)

- ロール半径が増すと圧延圧力は増大するが, 変動曲線の勾配は入口側がわずかに増すだけで出口側は変わらない。
- 中立点位置はロール半径が増すにつれて入口側に移るが, 接触弧長さに対する割合は変わらない。

(4) 摩擦係数 (図5)

- 摩擦係数が大きくなると圧延圧力, 変動曲線の勾配はともに増大する。

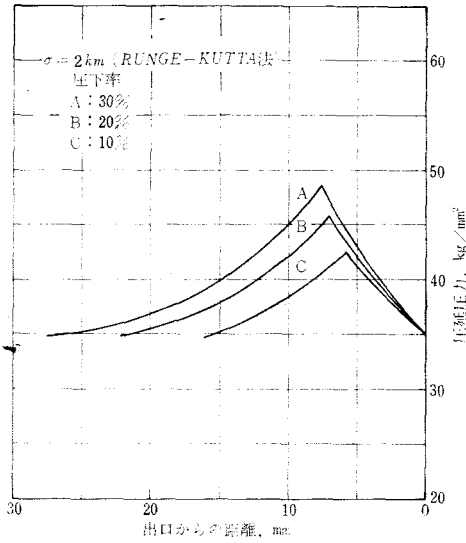


図2 圧下率と圧延圧力の関係

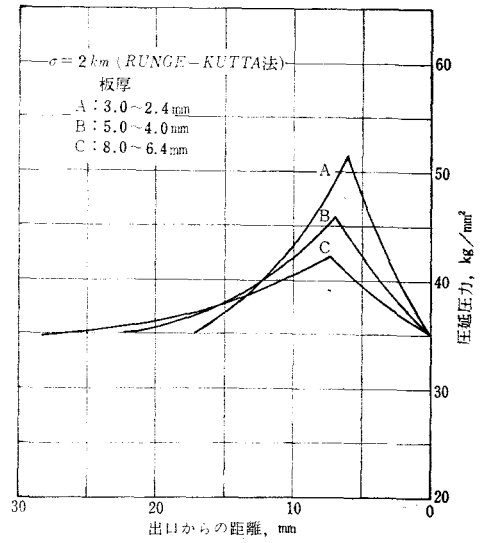


図3 板厚と圧延圧力の関係

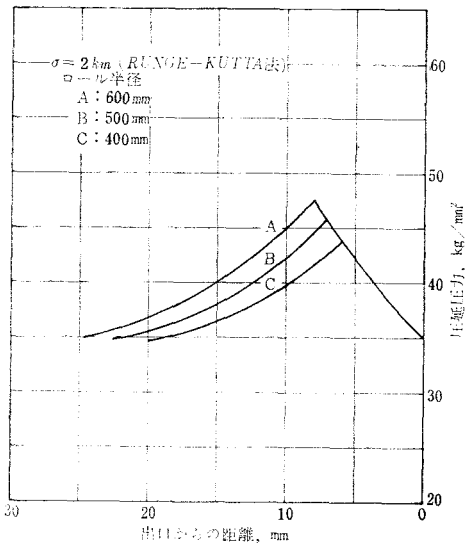


図4 ロール半径と圧延圧力の関係

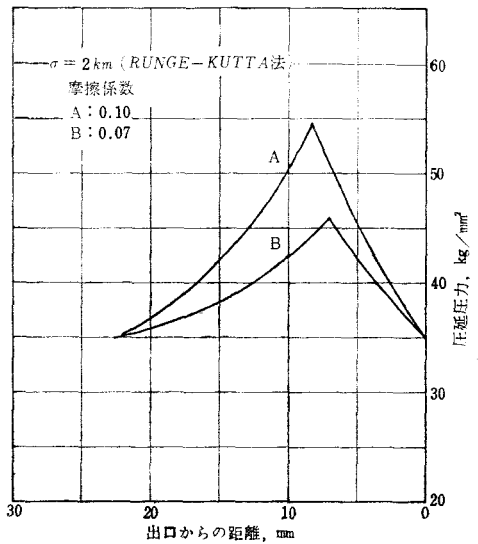


図5 摩擦係数と圧延圧力の関係

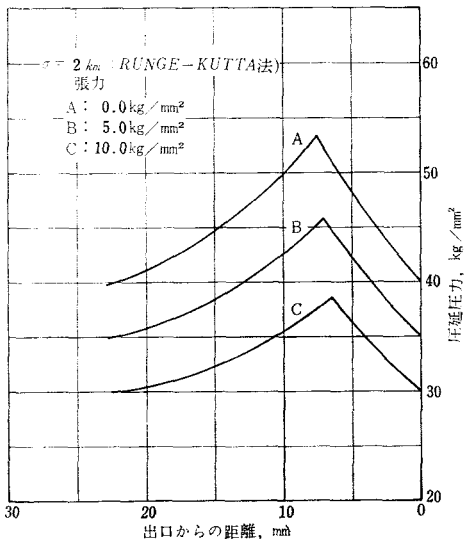


図6 張力と圧延圧力の関係

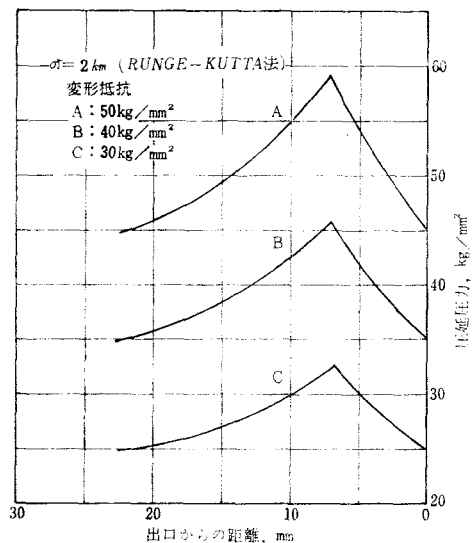


図7 変形抵抗と圧延圧力の関係

- (b) 中立点位置は摩擦係数が増すにつれて入口側に移動する。
- (5) 張力 (図 6)
- (a) 張力をかけると圧延圧力, 変動曲線の勾配はともに減少する。
- (b) 前方張力を増すと中立点位置は入口側に移り, 後方張力をかけると出口側に移動する。また両方かけるとわずかではあるが出口側に移動する。
- (c) 後方張力のほうが前方張力より圧延圧力低下に対して効果がある。
- (6) 変形抵抗 (図 7)
- (a) 圧延材の変形抵抗が増すと圧延圧力, 変動曲線の勾配はともに増大する。
- (b) 中立点位置はほとんど変らない。

4.3 Nadai の近似解との比較

比較するまえに RUNGE-KUTTA 法による誤差を検討する。本研究に用いた 4 次の場合, 近似増分を Δy_i , 真の増分を Δy_i とすると 1 回の誤差: E' は

$$E' = |\Delta y_i - \Delta y_i| < h^5$$

計算回数を m とすると累積された誤差: E は

$$E < h^5 \cdot m$$

いま圧延条件をみると, 初厚が 8.0 のとき m が最大であり約 100 回となる。ここで h は 0.2 としているので, 誤差: E は

$$E < 0.2^5 \times 100 \approx 0.03$$

したがって計算誤差は 30 g 程度でしかないので十分使用にたえ得る。

つぎに Kármán の圧延方程式から数値解析して求めた中立点での圧延圧力: P_{max} と Nadai の近似解: PN_{max} との相異を示すと表 2 のようになる。

この表からつぎのことがいえる。

表 2 P_{max} , PN_{max} の相異

No.	圧 延 条 件		P_{max} (kg/mm ²)	PN_{max} (kg/mm ²)	$PN_{max} - P_{max}$ (kg/mm ²)	$\frac{PN_{max} - P_{max}}{P_{max}} \times 100$ (%)
1	共 通 圧 延 条 件		45.72	46.01	0.29	0.63
2	圧 下 率	10	42.48	42.55	0.07	0.16
3		30	48.48	49.30	0.82	1.69
4	板 厚	3.0-2.4	51.22	51.52	0.30	0.59
5		8.0-6.4	41.97	42.26	0.29	0.69
6	ロール半径	400	43.77	44.07	0.30	0.69
7		600	47.51	47.63	0.12	0.25
8	摩 擦 係 数	0.04	38.19	38.45	0.26	0.68
9		0.10	54.07	54.41	0.34	0.63
10	張 力	0.0	53.06	53.28	0.22	0.41
11		10.0	38.33	38.63	0.30	0.78
12	平均変形抵抗	30	32.45	32.67	0.22	0.68
13		50	58.99	59.35	0.36	0.61

- (1) 圧下率30%の場合を除いて両者の相異は1%にもみたくない。
- (2) Nadai の近似解による値のほうが大きな値となる。
- (3) Nadai の近似解による中立点は入口側による傾向がある。
- (4) 圧下率が増大するにつれ相異は急増する。

§ 5 $\sigma = C_0 + C_n(\varepsilon + C_4)^n$ のときの圧延圧力

5.1 加工硬化するときの解析

圧延材の加工硬化特性は n 乗則の式であたえられるものとする。また、塑性条件はせん断ひずみエネルギー説によるものとして解析する。そこで対数ひずみ： ε ，圧延応力： $\bar{\sigma}$ は

$$\varepsilon = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_x = \frac{2}{\sqrt{3}} l_n \frac{h_1}{h} \dots\dots\dots (11)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2} (p - \sigma) \dots\dots\dots (12)$$

$$\bar{\sigma} = C_0 + C_n(\varepsilon + C_4)^n$$

したがってロール面垂直圧力： p は

$$p = \frac{2}{\sqrt{3}} \left\{ C_0 + C_n \left(\frac{2}{\sqrt{3}} l_n \frac{h_1}{h} + C_4 \right)^n \right\} + \sigma \dots\dots\dots (13)$$

また

$$h = h_2 + 2(R - \sqrt{R^2 - x^2})$$

$$\tan \theta = \frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}}$$

これらの式を Kármán の圧延方程式(2)式に代入すると

$$\begin{aligned} & 2 \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \left\{ C_0 + C_n \left(\frac{2}{\sqrt{3}} l_n \frac{h_1}{h} + C_4 \right)^n \right\} + \sigma \right] \left(\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} \pm \mu \right) dx \\ &= (h_2 + 2(R - \sqrt{R^2 - x^2})) d\sigma + \sigma \frac{2x}{\sqrt{R^2 - x^2}} dx \end{aligned}$$

整理すると

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{2 \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \left\{ C_0 + C_n \left(\frac{2}{\sqrt{3}} l_n \frac{h_1}{h} + C_4 \right)^n \right\} \left(\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} \pm \mu \right) \mp \sigma \mu \right]}{h_2 + 2(R - \sqrt{R^2 - x^2})} \dots\dots\dots (14)$$

上の符号が出口側で下が入口側である。初期値は（入口面～中立面）で $x = x_0$ のとき $\sigma = -\sigma_1$ ，（中立面～出口面）で $x = 0$ のとき $\sigma = -\sigma_2$ である。また圧延圧力： p は(14)式から RUNGE-KUTTA法により求めた σ の値を(13)式に代入することによって求める。

5.2 直線近似解

圧延材とロールの接触弧を一直線で近似した場合，図1より α を微小角とみなし $\frac{\mu}{\alpha} = B$ とおいて σ はつぎの式⁴⁾ で表わされる。

（入口面～中立面）

$$\begin{aligned} \sigma &= C_0 \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{1}{B} - 1 \right) \left\{ 1 - \left(\frac{h_1}{h} \right)^B \right\} + C_n \left(\frac{h_1}{h} \right)^B (B - 1) \exp \left(\frac{\sqrt{3}}{2} C_4 B \right) \\ &\times \left[\sum_{m=0}^{\infty} \frac{\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} B \right)^m}{(m+n+1)m!} \left\{ \left(\frac{2}{\sqrt{3}} l_n \frac{h_1}{h} + C_4 \right)^{m+n+1} - C_4^{m+n+1} \right\} \right] + \left(\frac{h_1}{h} \right)^B \cdot \sigma_1 \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

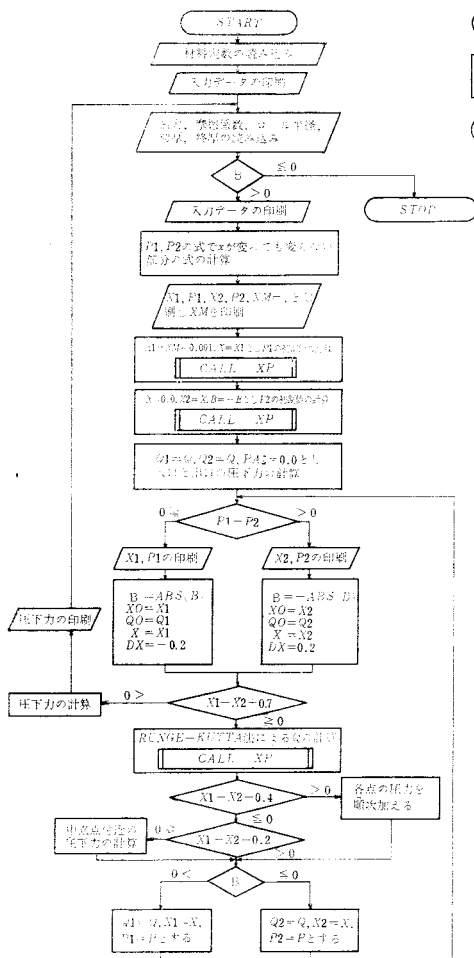
(中立面～出口面)

$$\sigma = C_0 \frac{2}{\sqrt{3}} \left(-\frac{1}{B} - 1 \right) \left\{ 1 - \left(\frac{h}{h_2} \right)^B \right\} - C_n \left(\frac{h}{h_1} \right)^B (1+B) \exp \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} C_4 B \right) \\ \times \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} B \right)^m}{(m+n+1)m!} \left[\left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} l_n \left(\frac{h_1}{h} \right) + C_4 \right\}^{m+n+1} - \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} l_n \left(\frac{h_1}{h} \right) + C_4 \right\}^{m+n+1} \right] + \left(\frac{h}{h_2} \right)^B \cdot \sigma_2 \dots \dots (16)$$

圧延圧力： p は(15)，(16)式より求めた σ を(13)式に代入して求める。

5.3 計 算 内 容

圧延材が加工硬化するときの圧延圧力を計算するためのプログラムはつぎのようになる。



フローチャート (2)

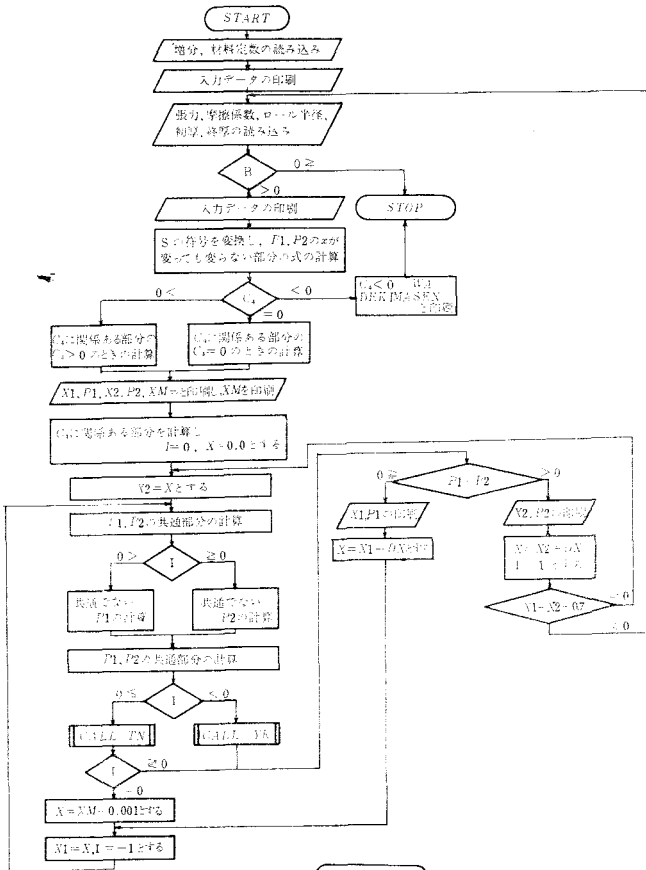
```

C1: P N3 KEISAN (KAKO KOUKA, YCDO CN**X**AN, E-K)
READ(1,100)CO,CN,AN
WRITE(1,500)CO,CN,AN
1: READ(1,110)B,E,R,H1,H2
1F(B/4,4,5
5: WRITE(1,510)B,E,R,H1,H2
C=H1-H2
SG=2./5/GRT(3./0)
Q=-S
XM=SGRT((4./0+X-C)*C)/2./0
WRITE(1,520)XM
(X1=X-C,CG1
X=X1
CALL XF (X,C,SG,E,R,H1,H2,CO,CN,AN,DK,F)
F1=DK+Q
X=0./C
X2=X
E=B
CALL XF (X,C,SG,E,R,H1,H2,CO,CN,AN,DK,F)
F2=DK+Q
Q1=Q
Q2=G
FA2=G./0
F1A1=(F1+F2)*0./1
6: IF(F1-F2)2,2,3
2: WRITE(1,530)X1,F1
B=ABS(B)
X0=X1
C0=C1
X=X1
DK=-0./2
C0 TO 7
7: WRITE(1,540)X2,F2
B=-ABS(B)
C0<Q2
C0=Q2
X=X2
DK=C./2
7: IF(X1-X2+C./7)16,8,8
8: CALL XF (X,C,SG,E,R,H1,H2,CO,CN,AN,DK,F)
A1=DK+F
X=X0+DX/2./0
G=G0+A1/2./0
CALL XF (X,C,SG,E,R,H1,H2,CO,CN,AN,DK,F)
A2=DX+F
G=G0+A2/2./0
CALL XF (X,C,SG,E,R,H1,H2,CO,CN,AN,DK,F)
A3=EX+F
X=X0+DX
Q=C0+A3
CALL XF (X,C,SG,E,R,H1,H2,CO,CN,AN,DK,F)
A4=DX+F
G=G0+(A1+2./0*A2+2./0*A3+A4)/6./0
CALL XF (X,C,SG,E,R,H1,H2,CO,CN,AN,DK,F)
B=DK+Q
1F(X1-X2-0./4)12,12,13
12: IF(X1-X2-0./2)15,15,14
14: FA3=(2./0*(F1+F2)/4./0*(X1-X2-0./2)
C0 TO 15
13: FA2=FA2+F
15: IF(B)10,10,9
9: C1=X
F1=F
C0 TO 6
10: Q2=Q
X2=X
F2=F
C0 TO 6
16: FA=F+A1+ABS(DX)*FA2+FA3
X11X(1,550)FA
C0 TO 1
100: FGMAT(3F)
110: FGMAT(SF)
120: PD:ZMAI(3F/2)
130: FGMAT(S/,SF/2)
140: FGMAT(/,/,SX,14X,5X,2HF1,1CC,14X,2X,2HF2,5X,3AHMM,F7/2)
150: FGMAT(/,F7,2,F9/3)
160: FGMAT(/,20X,F7,2,F9/3)
170: FGMAT(/,3H:MM,F8,2,3H KC)
47: STOP
SUBROUTINE XF (X,C,SG,E,R,H1,H2,CO,CN,AN,DK,F)
C1=SGRT(E+X-C)
H0=H2-2./0*(R-C1)
DK=2./0*(C0+CN*(SQ*ALO6(H1/H0))*AN)
F=(2./0*(C0+C*(C1-E)-2*B))/H0
RETURN

```

END

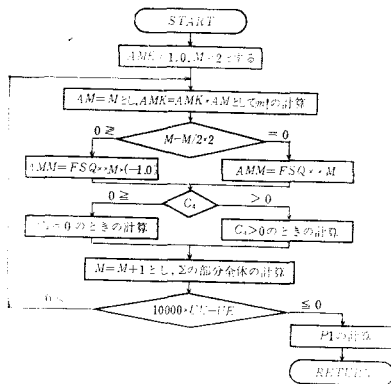
プログラム (2)



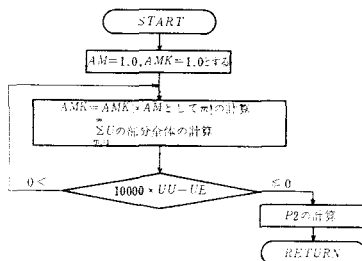
```

C1: NO KRISAN (KAKO KODKA, Y=C0+C1*(C+C4)**AN, X1=X1)
READ(1,100)DX,CO,CN,C4,AN
WRITE(1,500)DX,CO,CN,C4,AN
5: READ(1,100)E,S,GO,H1,H2
IF(C)1,1,2
2: CALL F1(1,510)E,S,GO,H1,H2
S=S
C=(H1-H2)/S,0
XM=SUBR(2,C,0,1,0-C*0)
AL=C/XM
F=S/AL
S0=2,0/5CH(3,C)
FSQ=F/SQ
AN1=AN+1,0
AN2=AN+2,0
IF(C4)17,17,19
17: CALL F1(1,520)
GO TO 1
18: CC4=C,0
CC5=C,0
ZX=1,0
GO TO 4
19: CC4=C0+C4*AN1
CC5=C4+AN2
EX=EX+(C4*F2)
6: WRITE(1,550)XX
X0=210000(1/100)*X*CA
XN=AN*CA*AN1
I=0
X=0,0
13: X2=X
20: I=H2+S,0*X
HN=H1/T
SAC=S0*ALOC(HN)*F4
IF(C)10,11,11
10: HNF=AN*F
CC6=C0
UA=CN*HNF*(F-1,0)*X
UI=(SAC*AN2-CC5*AN2)/(F2)
GO TO 12
11: HNF=(F2)*F
CC6=XN
UI=C
UF=CN*(1,0*AN)**F*(1,0*F)/EX
23: CA=S0*(C0+CN*SAC*AN)
UE=C0*S0*(1,0*F-1,0)*(1,0*HNF)
UF=(S0*AN1-CC6)/AN1
UE=ABS(UF)
U=UF*UI
IF(C)24,29,29
29: CALL TN (FSQ,SAC,S,HNF,AN1,AN2,UA,UE,UB,UA,UE,UB)
IF(C)20,15,20
15: X=X-0,001
14: X1=X
I=-1
GO TO 30
21: CALL YK (FSQ,SAC,S,HNF,AN1,C4,CA,UE,UB,UA,UE,UB)
20: IF(C1)=2204,24,25
24: WRITE(1,540)X1,I
X=X1-EX
GO TO 14
25: WRITE(1,550)X2,F2
X=X2-EX
I=1
IF(X1-X2+0,7)5,13,13
100: FORMAT(5F)
500: FORMAT(4F,3F8,2F9,3F8,2)
510: FORMAT(5F,5F8,2)
520: FORMAT(2F,"C4<0 KA DEKINASEN")
530: FORMAT(2F,2X,2X1,6X,2X1,1C,2X1,6X,2X1,5X,3XAN=F,2)
540: FORMAT(4F,7F,9,59,3)
550: FORMAT(4F,20X,7F,8,29,3)
1: STOP

```



SUBROUTINE TN, YK



```

SUBROUTINE YK (FSQ,SAC,S,HNF,AN1,AN2,UA,UE,UB,UA,UE,UB)
AM=1,0
X=0
20: AM=AM*AM
AN=AN*AN1
IF(CN=M/2)7,8,7
7: AM=FSQ*AM*(-1,0)
GO TO 9
4: AM=FSQ*AM
9: IF(C4)21,21,22
21: UN=AMM*SAC*AO/AN/ANX
GO TO 23
22: UN=AMM*(SAC*AO-C4*AO)/AN/ANX
23: UE=UN
X=X+1
UE=ABS(UN)
IF(10000,0*UE-UE)3,3,4
4: UE=UE+UA*UA*HNF*S
F=C0+F
IF(C)1
SUBROUTINE TN (FSQ,SAC,S,HNF,AN1,AN2,UA,UE,UB,UA,UE,UB)
AM=1,0
AMK=AMK+AM
AN=AN+AN1
CN=FSQ*AM*(SAC*AO-AN2*AO)/AN/ANX
C4=C4+AN
AM=AM+1,0
UE=ABS(UN)
IF(10000,0*UE-UE)27,27,24
27: UE=UE+UA*UA*HNF*S
F=C0+F
IF(C)1

```

材料特性は鋼を想定して

$$\sigma = 30 + 53.5e^{0.39}$$

とした。これは実験値より最小2乗法により求めたものである。また入力データ(圧延条件)は表1の数値とした。

5.4 計算結果, 考察

計算結果を図8~17に示す。なお RUNGE-KUTTA 法による数値解析の場合と直線近似解の場合との中立点位置での圧延圧力の相異を表3に示す。

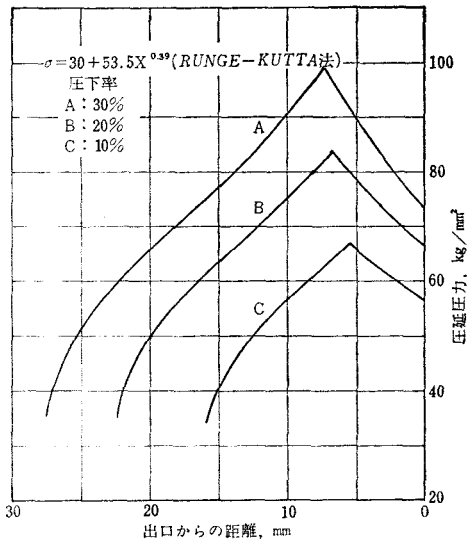


図8 圧下率と圧延圧力の関係

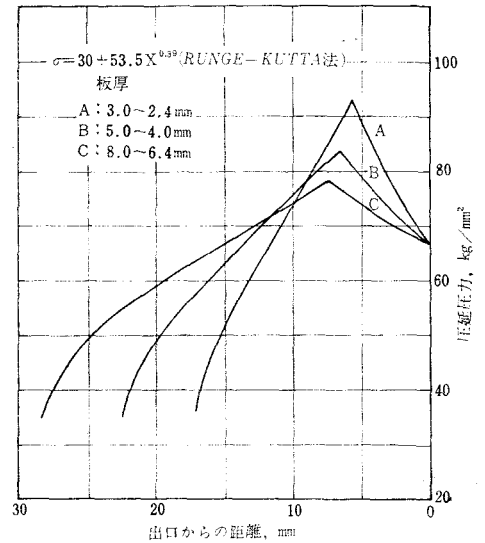


図9 板厚と圧延圧力の関係

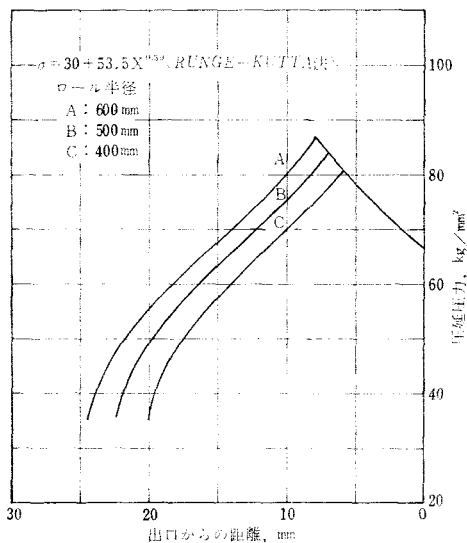


図10 ロール半径と圧延圧力の関係

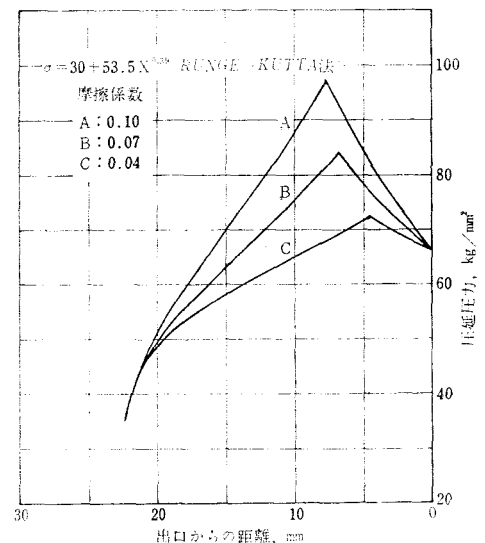


図11 摩擦係数と圧延圧力の関係

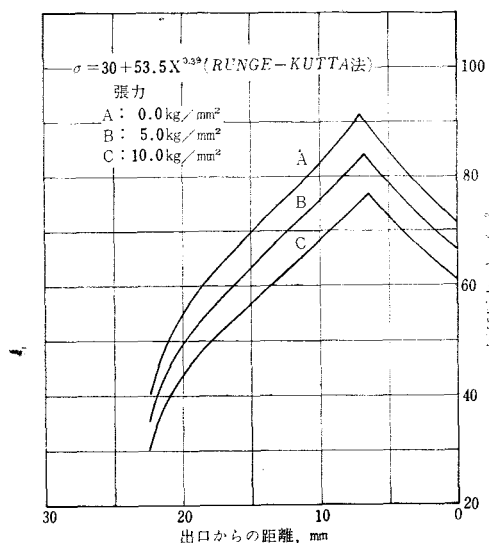


図12 張力と圧延圧力の関係

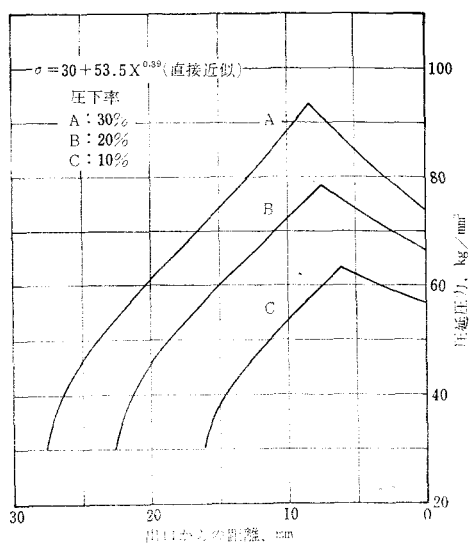


図13 圧下率と圧延圧力の関係

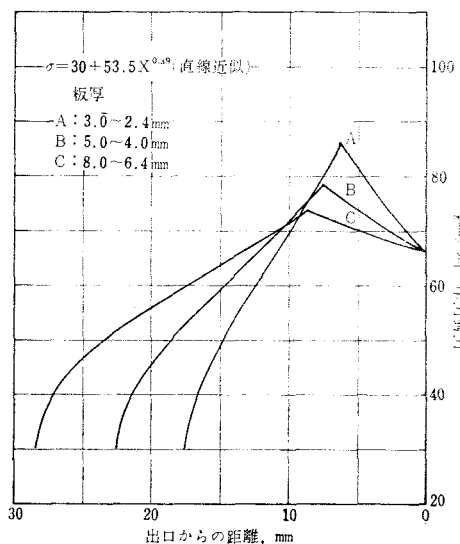


図14 板厚と圧延圧力の関係

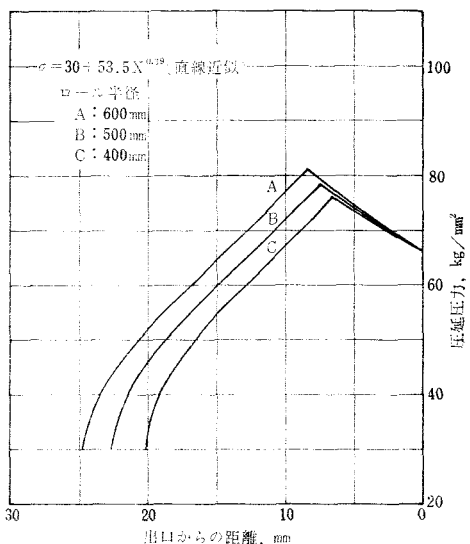


図15 ロール半径と圧延圧力の関係

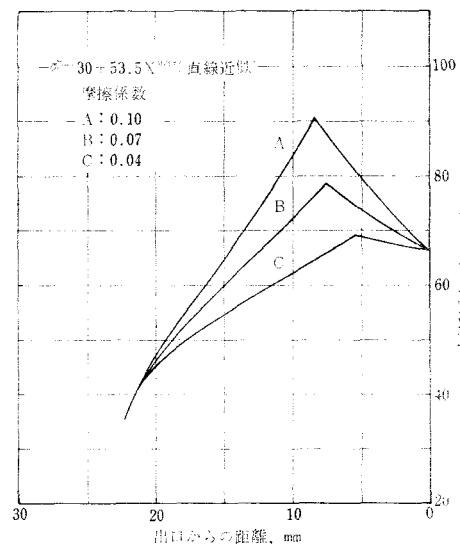


図16 摩擦係数と圧延圧力の関係

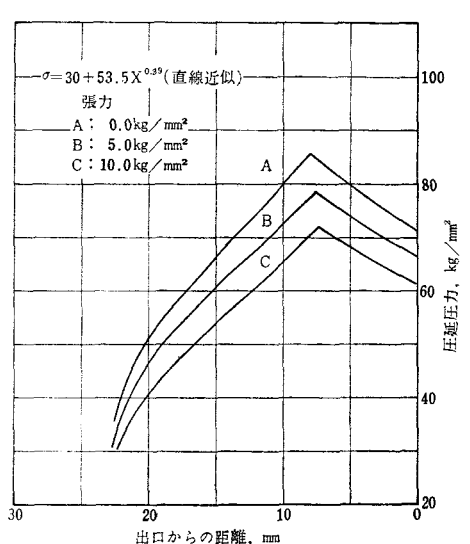


図17 張力と圧延圧力の関係

表3 P_{max} , PA_{max} の相異

No.	圧 延 条 件		P_{max} (kg/mm ²)	PA_{max} (kg/mm ²)	$P_{max}-PA_{max}$ (kg/mm ²)	$\frac{P_{max}-PA_{max}}{P_{max}} \times 100$ (%)
1	共通圧延条件		83.8	78.6	5.2	6.2
2	圧 下 率	10	66.8	62.7	4.1	6.1
3		30	94.4	73.7	5.7	5.7
4	板 厚	3.0-2.4	95.7	86.6	9.1	9.5
5		8.0-6.4	77.8	76.6	1.2	1.5
6	ロール半径	400	81.0	76.0	5.0	6.2
7		600	86.5	80.8	5.7	6.6
8	摩 擦 係 数	0.04	74.0	69.0	5.0	6.8
9		0.10	94.3	90.3	4.0	4.2
10	張 力	0.0	91.4	85.4	6.0	6.6
11		10.0	76.8	71.7	5.1	6.6

表3における P_{max} は RUNGE-KUTTA法, PA_{max} は直線近似解による圧延圧力である。

(1) $\sigma=2k_m$ の場合との比較

一般的につぎのことがいえる。

- 加工硬化する場合のほうが圧延圧力は大となる。
- 中立面～出口面での圧延圧力曲線は同じような形となるが、入口面～中立面では加工硬化しない場合が中立点にむかうにつれ勾配が大きくなるのに対して、加工硬化する場合は入口付近で勾配が最も大きくそれからはほとんど直線に近い傾向を示す。
- 中立点位置は加工硬化するほうが少し出口側によっている。
- 圧延条件の影響は加工硬化するほうが大きい。

つぎに圧延圧力におよぼす各因子の影響について比較検討する。

(a) 圧下率 (図2, 図8)

- 圧下率の影響は加工硬化するほうが著しく大きい。

(b) 板厚 (図3, 図9)

- 中立点位置はほとんど差はない。
- 圧延圧力が等しくなる位置 (交点位置) は加工硬化する場合のほうが出口側によっている。

(c) ロール半径 (図4, 図10)

- 中立面～出口面での圧延圧力はともにロール半径の影響をほとんどうけない。

(d) 摩擦係数 (図5, 図11)

- 加工硬化する場合, 摩擦係数0.04も圧延圧力曲線を得る。
- 中立点位置にはほとんど差はない。

(e) 張力 (図6, 図12)

- 両者とも張力変化による圧延圧力変動の傾向が類似している。
- 加工硬化しない場合は後方張力の影響が大きい, 加工硬化する場合は前方張力の影響が大きい。

(2) RUNGE-KUTTA 法と直線近似解の場合との比較

図8～12, 図13～17を比較検討すると一般的につきのことがいえる。

- (a) 変動曲線は類似している。
- (b) 直線近似解のほうが圧延圧力が小さい。
- (c) 入口附近, 中立面～出口面で RUNGE-KUTTA 法のほうが変動曲線勾配が大である。
- (d) 中立点位置は RUNGE-KUTTA 法のほうが出口側にある。
- (e) 表3より中立点位置での両者の圧延圧力の相異は約6%前後となるが, 板厚が異ると大きく変動する。

§ 6 結 言

圧延圧力を解析し, 圧延条件ならびに圧延材の加工硬化の影響などについて比較検討したが, 結果の概要を示すとつぎのとおりである。

- (1) Nadai の近似解は Kármán の圧延方程式による数値解析に対して相異が1%以下で良好である。
- (2) 圧延材が加工硬化する場合の数値解析はプログラムも簡単で誤差も0.04%内におさえられる。
- (3) 直線近似解は RUNGE-KUTTA 法による数値解析に対して相異が約6%前後となる。
- (4) 圧延材が加工硬化する場合は入口付近で急激な圧延圧力の増加があり, 圧下力も増大する。

終りに本研究をすすめていくにあたってバブコック日立永島利治君, 東工大兼森祐治君の多大の協力があつたので特記して謝意を表する。

文 献

- 1) 里信：塑性加工の研究（第1報）, 呉高専研究報告, 9, 1 (1974), 75.
- 2) 鈴木：塑性加工, 裳華房 (1967), 103.
- 3) 鈴木：塑性加工, 裳華房 (1967), 105.
- 4) 福井・中村：一般化された加工硬化特性に基づく薄板圧延の近似解, 塑性と加工, 14, 147 (1973), 298.

(昭和49年5月7日 受付)

カムの応力解析

(機械工学科) 野 原 稔

A Method of the Stress Analysis of the Cam

Minoru NOHARA

It is profitable to increase a manufacturing process during a rotation of the cam which controls the automatic machine.

The cam is given a hard force by the follower if we steep the rise of the cam profile.

In this report, we have examined the force that arises between the cam and follower, and then discussed the stress variation of the cam using the finite element method.

§ 1 緒 言

自動機械に用いられるカムでは、カムの1回転における工程数を増すことが望ましい。そこで、カムの直径を増すことなく、カム輪郭線の立上がり之急にすれば、カムに急激に力が加わることになる。

いま単弦運動カムを例にとり、従動節がカムに加える力の変化、並びにその最大力が作用した場合のカムの応力変化を、有限要素法を用い定性的に検討してみる。

§ 2 記 号

θ : カムの回転角

θ_0 : 往き行程のカムの回転角

θ_d : 上昇点における停止期間中のカムの回転角

φ_1 : 従動節の角変位

$\frac{d^2\varphi_1}{dt^2}$: 従動節の角加速度

d : 軸間距離

l_2 : 重心と支点 B 間の距離

l_s : 従動節の幅

r : ローラ半径

F_e : 慣性力

R : 従動節のカム面に対する力

F_G : d に直角で重心に作用する外力

t : カムの厚さ

F_0 : ばねの初期荷重

ϕ : 押進め角

θ_r : 戻り行程のカムの回転角

R_0 : カムの基礎円半径

$\frac{d\varphi_1}{dt}$: 従動節の角速度

ω_1 : カムの角速度

l_1 : ばね取付点と支点 B 間の距離

l_3 : ローラ中心と支点 B 間の距離

Ψ : 従動節のリフト角

F_b : ばね力

k' : 従動節の回転半径

k : ばね定数

F_n : 遠心力

I_G : 重心まわりの慣性モーメント

§ 3 従動節の変位, 速度, 加速度

前報¹⁾と同様にしてカム線図は図1のようになる。

3.1 往き行程における従動節の角変位, 角速度, 角加速度

本報においては, カムの回転数を考慮しているのので, 前報¹⁾より与えられる従動節の角変位, 角速度, 角加速度は下式のようになる。

$$\varphi_1 = \frac{\Psi}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi \theta}{\theta_0} \right) + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{dt} = \frac{\pi \Psi \omega_1}{2\theta_0} \sin \frac{\pi \theta}{\theta_0}, \quad \frac{d^2\varphi_1}{dt^2} = \frac{\pi^2 \Psi \omega_1^2}{2\theta_0^2} \cos \frac{\pi \theta}{\theta_0}$$

ここで, φ_0 は従動節が最下位の状態にある場合の角変位 φ_1 で, 次のように表わされる。

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \frac{d^2 + l_3^2 - (R_0 + r)^2}{2dl_3}$$

3.2 戻り行程における従動節の角変位, 角速度, 角加速度

往き行程と同様にして下式のようになる。

$$\varphi_1 = \frac{\Psi}{2} \left[1 + \cos \frac{\pi \{ \theta - (\theta_0 + \theta_d) \}}{\theta_r} \right] + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{dt} = - \frac{\pi \Psi \omega_1}{2\theta_r} \sin \frac{\pi (\theta - \theta_0 - \theta_d)}{\theta_r}$$

$$\frac{d^2\varphi_1}{dt^2} = - \frac{\pi^2 \Psi \omega_1^2}{2\theta_r^2} \cos \frac{\pi (\theta - \theta_0 - \theta_d)}{\theta_r}$$

§ 4 押進め角の検討

立上がりを急激にすれば, 往き行程が短くなり, 押進め角が大きくなって来る。そこで従動節は, カムの回転速度を中速度以下, 従動節に高荷重が作用するものとすれば, 押進め角の大きくとれる揺動型となるが, 最大押進め角 $\phi_{max} < 45^\circ$ とした。

いま本報において考えている機構は, $d=200\text{mm}$, $l_1=50\text{mm}$, $l_2=83.5\text{mm}$, $l_3=167\text{mm}$, $R_0=68\text{mm}$, $r=10\text{mm}$, $\Psi=20^\circ$ の場合で, (7)式を用い $\theta_0=50^\circ \sim 80^\circ$, $\theta_r=90^\circ$ とした時の ϕ の変化を図2に示すが, 往き行程の最小な $\theta_0=50^\circ$, $\theta_r=90^\circ$ の場合につき検討を行う。

§ 5 カム面に作用する力

いまカムに作用する力をあげれば, 外力, 従動節の自重, 角加速度の増加による慣性力, 拘束に用いるばね力, 摩擦力等が考えられるが, 本報においては, 接触端にローラを使用しているため, カムとローラ間, はほとんどころがり接触となるので, 摩擦力を除いた。なお, 往き行程中においては外力は一定であるとし, 戻り行程において外力は働かないものとした。

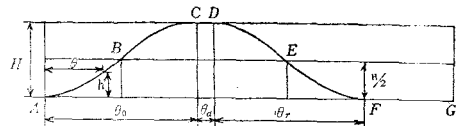


図1 単弦運動カムのカム線図

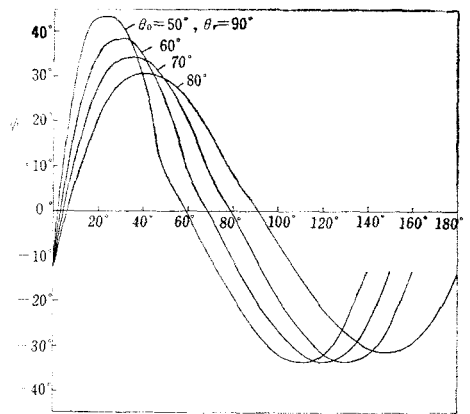


図2 θ_0 に対する ϕ の影響

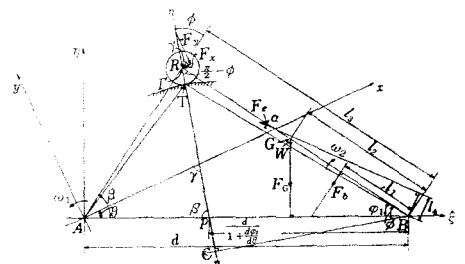


図3 カムに作用する力

図3に示すような機構において、重心 G に加速度 a が与えられたとすれば、その法線加速度 a_n に対する慣性力は、遠心力として与えられ式(1)で表わされる。

$$F_n = -\frac{W}{g} a_n = -\frac{W}{g} a \cos \phi' \quad \dots\dots\dots (1)$$

B 点まわりの慣性トルクは式(2)のようになる。

$$M_B = -\left(I_G + l_2^2 \frac{W}{g}\right) \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} = -\frac{W}{g} (k'^2 + l_2^2) \frac{a \sin \phi'}{l_2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、接線加速度は $a_t = a \sin \phi'$ と表わされ $\frac{d^2 \varphi_1}{dt^2}$ となり、 B 点より $\frac{k'^2}{l_2} + l_2$ の位置 E で、
 $-\frac{W}{g} a \sin \phi'$ が接線方向に作用することになる。

いま式(1)で与えられる遠心力を考慮すれば、 E 点で a と逆向きの慣性力が作用し式(3)のようになる。

$$F_e = -\frac{W}{g} \left(\frac{k'^2}{l_2} + l_2\right) \sqrt{\left(\frac{d^2 \varphi_1}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d \varphi_1}{dt}\right)^4} \quad \dots\dots\dots (3)$$

図3において B 点まわりモーメントを考えれば、カム面に対する力は式(4)のように与えられる。

$$R = (F_e l_4 + F_b l_1 - F_G l_2 \cos \varphi_1) / CB \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし $l_4 = \left(\frac{k'^2}{l_2} + l_2\right) \sin \alpha$, $\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} / \left(\frac{d \varphi_1}{dt} \right)^2 \right\}$, $k' = \sqrt{\frac{l_5^2 + l_3^2}{12}}$

ここで、ばねを角変位が零の場合、従動節に対し直角に取りつけるものとすれば、角変位の増加によって生じる取り付け角の変化は微小であり、ばね力を式(5)に示すように考えてもさしつかえない。

$$F_b = -F_0 - (\varphi_1 - \varphi_0) l_1 \cdot k \quad \dots\dots\dots (5)$$

式(4)によって得られた R を、カムの回転座標 x 軸、 y 軸方向に平行に分割し F_x , F_y とすれば、図3より式(6)のようになる。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= R \cos \gamma = R \cos (\phi - \theta + \beta) \\ F_y &= R \sin \gamma = R \sin (\phi - \theta + \beta) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 ϕ , β は式(7), (8)のように与えられる。

$$\phi = \tan^{-1} \frac{l_3 \left(1 + \frac{d \varphi_1}{d \theta}\right) - d \cos \varphi_1}{d \sin \varphi_1} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{d - l_3 \cos \varphi_1}{\sqrt{d^2 + l_3^2 - 2 d l_3 \cos \varphi_1}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式(1), (4), (5)を使用し慣性力, カム面に作用する力, ばね力を図4に示しているが, 回転数を100r.p.m.と低速にしたため慣性力は小さくなり, 戻り行程において, ばね力が従動節をはなす方向に作用する慣性力を, 押えるに十分であることがわかる。

本報においては, 外力 150Kg, 自重 1Kgが重心に作用するとしているため, R は $\theta = 20^\circ$ で最大となることがわかる。ここでカム軸座標に平行な力 F_x , F_y を求めるに式(6)を用いた。

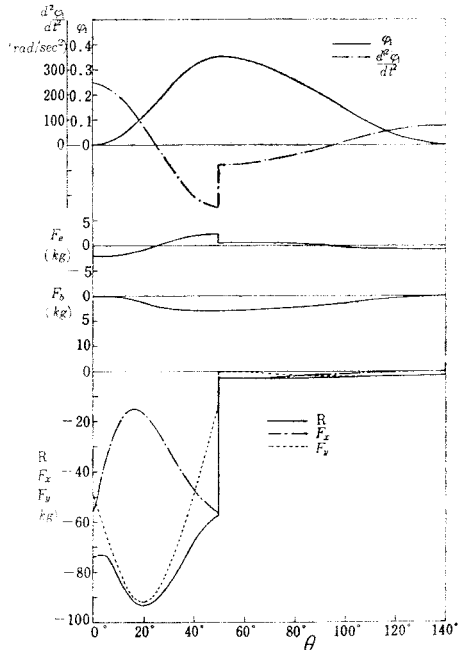


図4 カムにかかる力の線図

§ 6 カムの輪郭

図5において, カムの輪郭は式(9)のようになる。

$$\left. \begin{aligned} x &= (d - \overline{TB} \cos \varphi_1') \cos \theta + \overline{TB} \sin \varphi_1' \sin \theta \\ y &= \overline{TB} \sin \varphi_1' \cos \theta - (d - \overline{TB} \cos \varphi_1') \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

ここで, \overline{TB} , φ_1' , $\angle T'BT$ は次式のようにになる。

$$\overline{TB} = \sqrt{r^2 + l_3^2 - 2rl_3 \sin \phi}, \quad \varphi_1' = \varphi_1 - \angle T'BT$$

$$\angle T'BT = \cos^{-1} \frac{l_3^2 + \overline{TB}^2 - r^2}{2l_3 \overline{TB}}$$

$$= \cos^{-1} \frac{l_3 - r \sin \phi}{\sqrt{r^2 + l_3^2 - 2rl_3 \sin \phi}}$$

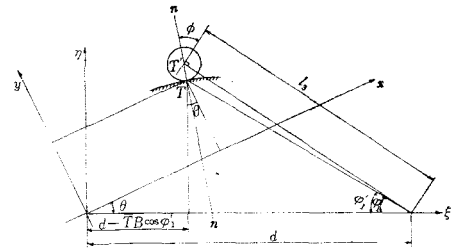


図5 カム機構

§7 解析方法と要素分割

図6に示すような薄板に対し, 三角形要素を用い, 要素内における x 方向の変位を u , y 方向の変位を v とすれば, u , v は式(10)のように表わされる。

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha \end{Bmatrix} \dots (10)$$

式(10)に節点 i , j , k の座標値を代入し, 要素 g の変位を求めれば式(11)となる。

$$\{\delta_g\} = [C] \{\alpha\} \dots (11)$$

ここで $\{\delta_g\}$, $\{\alpha\}$, $[C]$ は下式で表わせる。

$$\{\delta_g\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{Bmatrix}, \quad \{\alpha\} = \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \end{Bmatrix}, \quad [C] = \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_k & y_k \end{bmatrix}$$

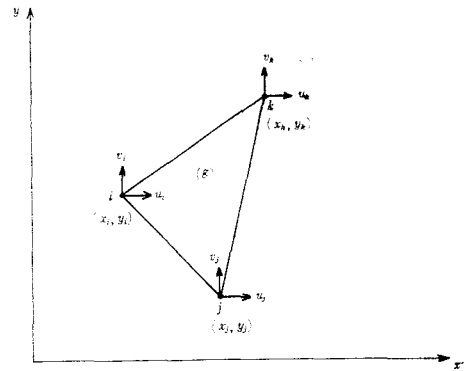


図6 三角形要素の節点変位と節点力(カッコ内)

式(11)を $\{\alpha\}$ について解けば式(12)のようになる。

$$\{\alpha\} = [C^{-1}] \{\delta_g\} \dots (12)$$

ただし, $[C^{-1}]$ は次のように表わせる。

$$[C^{-1}] = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} x_j y_k - x_k y_j & 0 & x_k y_i - x_i y_k & 0 & x_i y_j - x_j y_i & 0 \\ y_j - y_k & 0 & y_k - y_i & 0 & y_i - y_j & 0 \\ x_k - x_j & 0 & x_i - x_k & 0 & x_j - x_i & 0 \\ 0 & x_j y_k - x_k y_j & 0 & x_k y_i - x_i y_k & 0 & x_i y_j - x_j y_i \\ 0 & y_j - y_k & 0 & y_k - y_i & 0 & y_i - y_j \\ 0 & x_k - x_j & 0 & x_i - x_k & 0 & x_j - x_i \end{bmatrix}$$

ここで A は三角形の面積で次式のようにになる。

$$2A = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}$$

次に, 要素の剛性マトリックス $[k]$ は式(13)のように与えられる。

$$[k] = \iiint [C^{-1}]^T [B]^T [D] [B] [C^{-1}] dx dy dz \dots (13)$$

$[D]$ は弾性係数であり, 等方性材料の平面応力における縦弾性係数を E , ポアソン比を ν とすれば

$[D]$, $[B]$ は下式ようになる。

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$[B][C^{-1}]$ はひずみと変位の変換マトリックスである。

要素の剛性マトリックス $[k]$ を使い、系全体の剛性マトリックス $[K]$ を求めれば、系全体の節点変位 $\{\delta\}$ 、並びに節点外力 $\{F\}$ の関係は次のようになる。

$$\{F\} = [K] \cdot \{\delta\} \quad (14)$$

式(14)に荷重条件、境界条件を与え $\{\delta\}$ を求めるが、全体剛性マトリックスは図7-aに示すようになり、行列が対称であるので上半分を記憶すればよく、さらに図7-bに示すようにマトリックスの各行を左に寄せ余分な列を除けば、記憶容量をより有効に利用できる。そこで図7-bの形式にし、これに消却法を適用することによって $\{\delta\}$ を得た。

図7において、 N はマトリックスの大きさ、 UBW は帯幅を示している。

本報において、解析するカム形状の要素分割を図8に示すが、節点数227、要素数406である。

§ 8 カムのたわみ

式(9)を用いて、 $d=200\text{mm}$, $l_3=167\text{mm}$, $r=10\text{mm}$, $R_0=68\text{mm}$, $t=1\text{mm}$ とした場合の変形前のカム輪郭を実線で示すとともに、カムの回転角 $\theta=20^\circ$ する時、すなわち F 点に $R=93.5\text{Kg}$ が作用した場合のカムのたわみを破線で図9に示す。

本報においては、従動節は剛体として取扱っている。

§ 9 曲げ応力

いま F 点に荷重が作用した場合の、各断面における曲げ応力の状態を図10に示すが、 X_4-X_4 断面において固定点の影響を受け、応力最大なる個所を生じる。

本報においては、戻り行程 θ_r を大きくとっているため、戻り行程におけるカムの輪郭がなだらかになっていることに注意を要する。

§ 10 主応力線図

図11において F 点に荷重 93.5Kg が作用した場合の主応力線図を示し、図12にカム面における部分的な

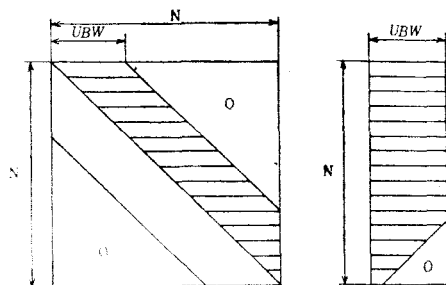


図7-a 帯マトリックス

図7-b
上の帯部よりなる
長方形配列

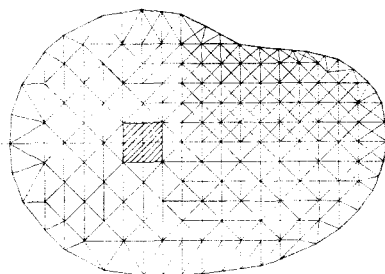


図8 要素分割

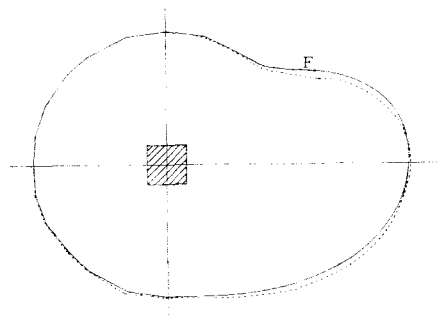


図9 カムの変位（カム寸法と比較して100倍してある）

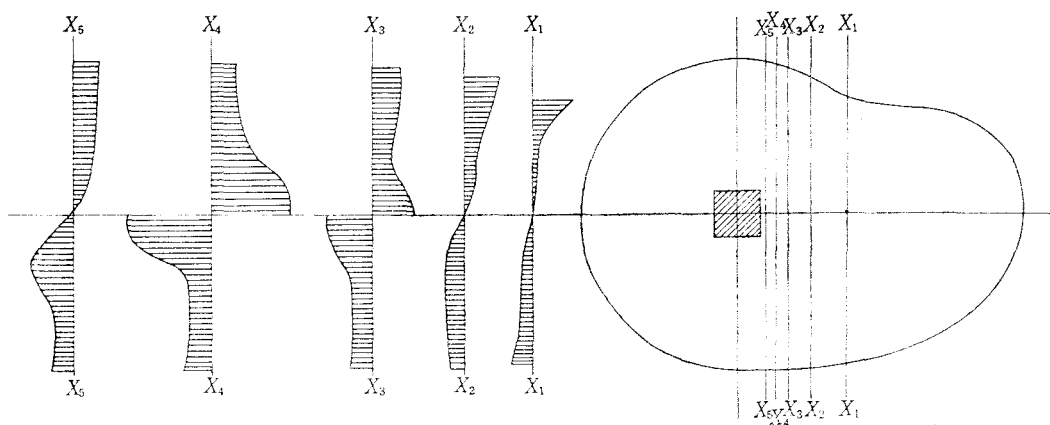


図10 カムの各断面における曲げ応力

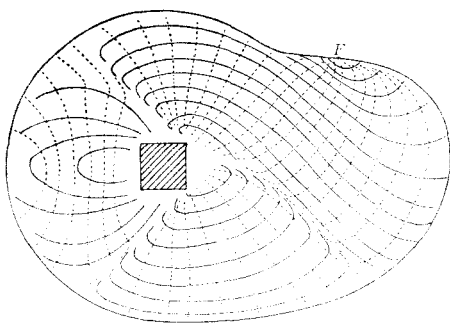


図11 主応力線図

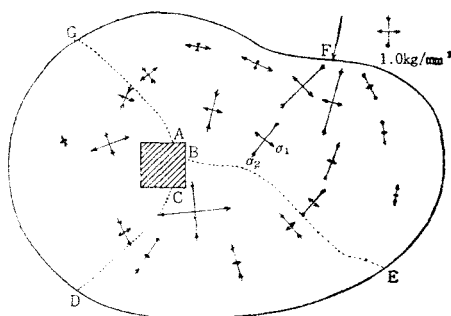


図12 カムの各部における主応力の大きさ

主応力の大きさを示す。 σ_1 , σ_2 の方向は GA , BE , CD 線を通するまでかわらないが, GA , BE , CD 線を通すると双方とも急激に $\pi/2$ 回転している。

このことは GA , BE , CD 線より上の位置と下の位置では, σ_1 , σ_2 の方向が逆になることを示している。 GF 周辺におけるほど圧力 σ_2 に対する張力 σ_1 が大きく, 荷重点周辺並びにその直下領域を最大として, しだいに σ_2 が小さくなっていることがわかる。固定点周辺は張力, 圧力とも大となっている。

§11 結 言

本報告におけるカム機構において, 従動節がカム面におよぼす力の変化, および最大力の作用する位置, 並びに最大力が作用した場合のカムのたわみ状態, 各断面における曲げ応力の変化, 主応力の流れの状態を知ることができた。このことを利用し, たわみ量による固定端の大きさ, 板厚等の決定を行う際のカム設計の資料とするとともに, 三角形要素を細分割しさらに検討を加えたい。

最後にあたって, 終始御指導いただいた本校糸島教授, 大分高専石田講師, 近畿大学藤井助手ならびに諸先生方に感謝の意を表します。

なお, 剛性マトリックス等の解法については明石高専 FACOM 270—30, 最終的に九州大学大型計算機 FACOM 270—60 を利用した。

文

献

- 1) 糸島寛典・野原稔：単弦運動カムの滑り率の研究（第2報），P.62, 1972
- 2) 谷口修：機械力学Ⅰ 養賢堂 PP.158～161, 1969
- 3) 三木本茂夫・吉村信敏：有限要素法による構造解析プログラム 培風館 1970
- 4) O.C. ツィエンキーヴィッツ：マトリックス有限要素法，培風館，PP.249～289, 1971
- 5) 瀬口・森田他：有限要素法／原理から実際へ，日本機械学会関西支部，1972
- 6) 小川潔：リンクカムの設計，オーム社，PP.255～258, 1967
- 7) 中井英一：実用カムの設計法，日刊工業新聞社，PP.101～120, 1970
- 8) 辻二郎：光弾性実験法，日刊工業新聞社，PP.126～127

（昭和49年5月7日 受付）

低圧ナトリウムランプによる煙中での誘導灯の見え方

(電気工学科) 原 田 一 彦

The Visibility of the Pilot Lamps in the Fire Smoke under Lighting Using Low Pressure Sodium Lamps

Kazuhiko HARADA

We studied the changes of visibility of the pilot lamps lighted by an incandescent lamp, a fluorescent lamp and a xenon electronic-flash lamp in the white smoke and in the black one before. The objects lighted by the low-pressure sodium lamps are most visible in the fog and in the smoke. Therefore, in this paper, we studied the changes of visibility of the pilot lamp lighted by a low-pressure sodium lamp.

The following results have been obtained :

- (1) The pilot lamp lighted by a low-pressure sodium lamp is most visible in light fire smoke.
- (2) In light fire smoke, the visibility of the pilot lamp lighted by a low-pressure sodium lamp is much the same as no smoke.
- (3) The visibility of the pilot lamp in the black smoke is a little better than in the white smoke.
- (4) The visibility of the red pilot lamp is a little better than the green one in the smoke as before.

§ 1 緒 言

都会では、土地の暴騰と近代化のため、ますます建築物は高層化しているが、その影響による火災の惨事は国内、国外を問わず発生している。前回は、煙中で白熱電球、けい光ランプおよびストロボライト（写真用）で照明された避難口誘導灯がどのように見えるかを実験したが¹⁾、今回は、低圧ナトリウムランプで照明された場合について実験した。

§ 2 低圧ナトリウムランプとその照明による見え方

589nmと 589.6nm の D線のスペクトルを発光する低圧ナトリウムランプには次のような特徴がある²⁾。

- (1) 黄橙色の単良光で色収差がない。
- (2) 煙霧中の透過率が大きく、遠方のものをはっきり映し出し、虫類による障害がない。
- (3) 明暗の対比が良く、物体の輪郭をはっきりと映し出す。
- (4) 視感度が非常に高い。
- (5) 熱絶縁が良く周囲の温度の影響を受けない。
- (6) 発光面積が大きいため、まぶしさが無い。
- (7) 構造が堅牢で耐水・耐蝕性がある。

(8) ランプの取替えおよび保守点検が容易である。

更に、光束が大、寿命が長い、効率が良いなどがあげられる。

誘導灯の光源として注目すべき特徴は、(2)、(3)および(4)であるが、特に、(2)の煙霧中の透過率が高いことが、火災時の煙中でも適用できるかどうかは鍵となる。しかし、ここで問題となるのは、消防法施行規則第28条の3で、直線距離で30m離れたところから表示面の文字および色彩が容易に識別できることになっていることである。低圧ナトリウムランプは、単色光であるから色彩の識別ができず、有彩色も無彩色も同じように見えて、D線への分光反射率の差で視認することになる。実際の火災は、昼間または夜間でも光源の照明下のときのように明るい場合と、停電時や夜間の暗黒中で煙だけが流動してきた場合があり、後者の場合は色彩のない視野となるから都合が悪い。

天然霧中における実験では、黒色ランドルト環の見え方は、霧の濃い場合には対比の高い視標ほど遠方から認められ、彩色ランドルト環では、低圧ナトリウムランプが他にくらべ、霧による可視距離の低下が少ない。霧のあるところでは、照明される対象によっては単色光光源による照明が対比を向上し、見え方の点ですぐれる場合があり得ることが発表されている³⁾。また、阪口氏らは、表1のように⁴⁾、ある有彩色をナトリウムランプ照明下で、無彩色スケールに換算したV(明度)値を求め、背景との明度差が小さいためこの表では赤、緑および紫の色が見えにくい、ナトリウムランプが特にこのような色

表1 ナトリウムランプ照明下における色視標の明度変化

視 標	紫	青	緑	黄	黄 赤	赤
	5P4/12	5B4/8	5G8/5	5Y8/10	5YR7/10	5R4/14
Na 光に対する等価値	N4.3	N2.8	N4.3	N8.5	N8.0	N4.5
背 景	N5.0					
背景との差	N0.7	N2.2	N0.7	N3.5	N3.0	N0.5

の見え方を悪くするものではなく、明度差があればよく見えると発表している。このことについては、交通照明の場合にも同様の結果が報告されている⁵⁾。

したがって、前述したように、暗黒中では有彩色の識別はできない欠点があるが、視認の点では有利な場合があり得る。

§ 3 実験および考察

誘導灯は前回と同様、市販の避難口誘導灯の文字板(寸法: 360mm×123mm, 文字: 非常口, EXIT, 地色: 緑)と試作した同一寸法の地色が赤(5R4/14)のものを低圧ナトリウムランプ(NA60)用器具の前面に取付けて使用した。実験方法も前と同じで、自然光による明るさの実験室内で煙を出した状態で普通のランドルト環による視力を測定し、その視力の煙濃度における前記誘導灯の見え方を測定した。黒煙には木材を、白煙にはプラスチック材を使用し、ともに刺激の強い煙とした。測定者は4名で、ランドルト環による視力(矯正を含む)は1.0で、測定値は4名の平均値とした。

実験結果は、図1および図2に示すように前回実験した白熱電球やけい光ランプで照明された誘導灯よりもよく見えた。低圧ナトリウムランプは光束が大であるので同一の比較はできないが、煙が薄い場合(視力が良好な状態)はストロボライトによる照明よりも良く見える結果となった。これは、ナトリウムランプ光の煙霧中の透過率が高いという特長によるもので、特に黒煙の場合は、視力が0.7位まで

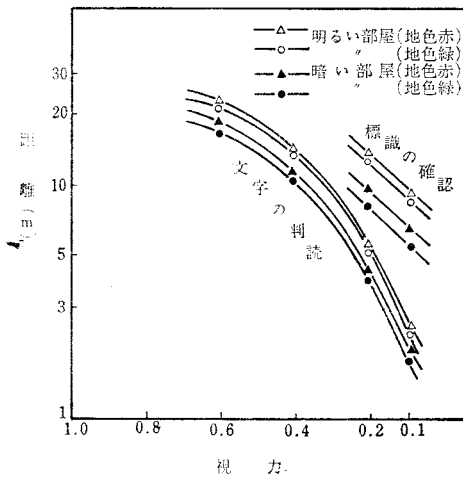


図1 ナトリウムランプで照明された誘導灯の黒煙中での見え方

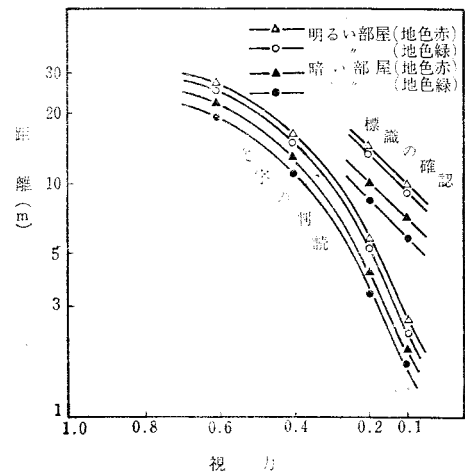


図2 ナトリウムランプで照明された誘導灯の白煙中での見え方

の薄いときは煙の影響は殆どなく、よく視認できる。輝度対比が大きいので、白煙中よりも黒煙中の方が若干よく見えたがこれは前回の結果と同様であった。地色による差も同様、赤の方が少しよく見えた。実験は、わずか2色であったが、表1の明度差を参考にして各色についてすればよからう。煙の濃度が増す（視力が弱くなる）と急に見え方が悪くなるが、これは、煙で眼が刺激されて涙がでて見えにくくなるのがかなり原因している⁶⁾。したがって、流涙が激しくなるような濃度となると、どんな誘導灯でも視認は困難となるので、火災の初期に安全な場所への避難が大切である。

§ 4 結 言

前回に実験した、白熱電球やけい光ランプに比較して低圧ナトリウムランプは光束が多いので、よく見えるのは当然であるが、煙霧中では透過率がよい特長から煙の薄い状態ではその影響はほとんどなく、ストロボライトよりもよく見えた。

現在のランプおよび安定器は大型なので、市販の誘導灯器具に組込むことはできないが、器具が大きくなって文字板も大形になることは望ましいことである。価格の問題もあるが、現在のランプよりも小型のランプが開発され、他のランプ（例えば小型白熱電球）と併用すれば、暗い場所での有彩色の識別も解決できる。

参 考 文 献

- 1) 原田：呉高専研究報告 第9巻 第1号（昭48年）
- 2) 合田：照明学会誌 VOL. 51 第6号（昭42年）
- 3) 藤井他：照明学会誌 VOL. 49 第9号（昭40年）
- 4) 阪口他：照明学会誌 VOL. 53 第5号（昭44年）
- 5) 松浦：照明学会誌 VOL. 55 第12号（昭46年）
- 6) 神：照明学会誌 VOL. 57 第3号（昭48年）

（昭和49年5月7日 受付）

交流線形回路網解析プログラム (第2報)

(電気工学科) 村 上 滋 樹

AC Linear Network Analysis Programs (Report 2)

Shigeki MURAKAMI

The aspects of the performance of ACAP and ACAP-II (Part 2) are described using some examples in this paper.

It became clear that the speed of ACAP-II is about seven times as fast as ACAP's speed.

In addition, the subroutine MINV which enables us to compute complex inverse matrix easily is given with an example.

§ 1 結 言

第1報¹⁾では、交流線形回路網解析プログラム ACAP 及び ACAP-II (Part-2) について、解法、処理手順及びプログラムリストを示したがこの報告では適用例をあげて機能の概略を示した。

状態変数法による ACAP-II は繰返し計算部分において ACAP に比べ約7倍の速さであることが確かめられた。なお、ACAP-II (Part-2) については一部修正したプログラムリストを掲げた。

さらに、計算の途中で用いる複素数逆行列の計算を行うサブルーチンを一般的に利用できるように形を整えたものを適用例と共にあげた。

§ 2 適用例と機能の概略

2.1 A C A P

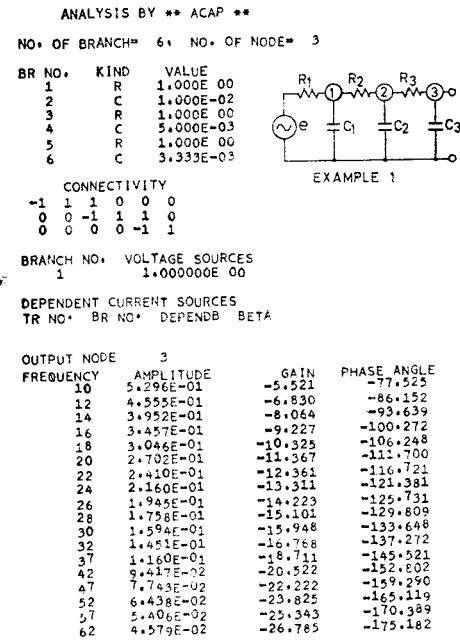
ACAPで用いている解法は点電位法で、抵抗、インダクタンス、静電容量及び h 定数表示の線形トランジスタで構成されている回路網の解析が可能である。

入力データは、枝数、節点数、接続関係、素子種別、素子値、電圧源値、電流増幅率、計算すべき節点番号、周波数などである。入力データ表は DRAP²⁾ に準じたものを使用する。

例題1のようなRC3段梯子形回路を解析した場合の結果と回路図を図1に示す。ただし、 $R_1=R_2=R_3=1$ 、 $C_1=1/100$ 、 $C_2=1/200$ 、 $C_3=1/300$ とした。処理時間は計算部分において 2226 [ms] (TNET) で、1周波数当り約124 [ms] である。

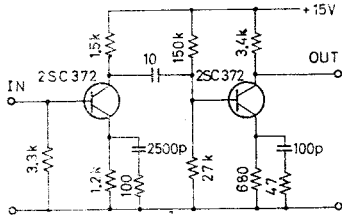
周波数特性は指定された節点について振幅、ゲイン [dB] 及び位相角 [°] により表わされる。グラフを描かせるルーチン³⁾を付加したほうが変化がよく分るが、このプログラムでは計算時間の比較を行いたかったので付加しなかった。

他の例として、トランジスタ2段増幅のビデオ高域補償回路の場合を図2に示す。計算結果は手計算によるものと略一致しており処理の正しいことを確認した。より高い周波数まで解析する予定であった



TIN=17741 TOUT=19967 TNET= 2226(MS)

図1 例題1および ACAP 適用結果



OUTPUT NODE 7

FREQUENCY	AMPLITUDE	GAIN	PHASE ANGLE
50000	7.355E 00	17.381	41.082
100000	1.131E 01	21.297	54.983
150000	1.610E 01	24.138	58.772
200000	2.042E 01	26.203	59.163
250000	2.442E 01	27.755	58.209
300000	2.671E 01	31.296	52.005

図2 例題2および ACAP 適用結果の一部

が OVERFLOW 警告により途中で打ち切りとなったため約 1/2 に止どまった。倍精度計算を行うか入力データの正規化により有効桁数の確保を図れば解決できる性質のもので追って再実行する予定である。トランジスタは、 $h_i=3.7[\text{k}\Omega]$, $h_f=140$, $1/h_o=110[\text{k}\Omega]$, $C_{ce}=5 [\text{PF}]$ として表わした。

表1 ACAP 処理速度

回路番号	枝数	節点数	周波数点 点数	計算時間 [ms]	周波数当 計算時間 [ms]
1	5	3	12	1259	104.9
2	5	3	15	1684	112.3
3	6	3	18	2226	123.7
4	9	4	37	7018	189.7
5	12	5	25	6879	275.2
6	18	8	15	11082	738.8

回路規模（枝数、節点数）と繰返し計算部分の計算速度は表1の通りで周波数点当り時間は節点数の約1.3 乗に比例しているが、節点方程式を解く時間が（節点数）³/3 に比例すべきことから考えて節点方程式形成に要する時間が比較的多いと思う。

2.2 A C A P - II (Part-2)

このプログラムの解法は 状態変数による方法で 状態方程式形成部分は別の報告⁴⁾ の通りである。第

```

G=6U  FORTRAN C =750801- (V=05-L=01)  COMPILE  74.1
C
C *** ACAP-II *** (BY SHIRAKAWA)
C AC NETWORK ANALYSIS PROGRAM (STATE VARIABLE METHOD)
C PART-2
C
C DIMENSION AA(10,10),FR(10),FI(10),VR(10,10),VI(10,10),
C      R(10,10),AP(20,30),GO(10),NOK(5),XKAMP(5),XKANG(5)
C      P(10,10),PI(10,10),O(10),PDJ(3,10),XK,XFO
C *** DATA INPUT
1 READ(5,1000) NPB
2 IF(NPB.EQ.0) STOP
3 READ(5,1001) N,NOUT
4 DO 5 I=1,N
5 READ(5,110) (AA(I,J),J=1,N)
6 READ(5,110) (OG(I),I=1,N)
7 READ(5,120) (NOK(I),I=1,NOUT)
8 READ(5,130) PRL,PRD,PRH
900 FORMAT(215)
110 FORMAT(8F10,3)
120 FORMAT(515)
130 FORMAT(3F10,0)
C *
C DO 10 I=1,N
10 WRITE(6,200) (AA(I,J),J=1,N)
200 FORMAT(10D5,5X,3P0E12,3)
C *** CALCULATION OF EIGEN-VALUES AND EIGEN-VECTORS
EPS=1.0E-5
CALL CLCCLN(ITIN)
CALL DANES(AA(10,10),EPS,OG,ER,ET,VR,VI,IILL)
IF(IILL.EQ.0) GO TO 25
WRITE(6,220)
220 FORMAT(10,5X,23HILL CONDITION AT DANES)
225 WRITE(6,225) IILL
225 FORMAT(1X,5X,4HILL=16)
25 CONTINUE
C *
C DO 32 I=1,N
32 DO 32 J=1,N
X=VR(I,J)
Y=VI(I,J)
P(I,J)=CMPLX(X,Y)
32 CONTINUE
C *
C DO 35 I=1,N
35 WRITE(6,230) (VR(I,J),VI(I,J),J=1,N)
230 FORMAT(10,5X,5P0E12,15,5X,1P0E12,3)

```

図3 (その1) ACAP II (Part-2)

```

C *** CALL CHINV(P,PI,AP,N)
C *
C DO 40 J=1,N
40 WRITE(6,230) (PI(I,J),J=1,N)
C ***
C DO 45 I=1,N
Y=(0.0,0.0)
DO 42 J=1,N
Y=Y+(PI(I,J)*GO(J))
42 CONTINUE
D(I)=W
43 CONTINUE
C ***
C DO 52 I=1,NOUT
KK=NOK(I)
DO 52 J=1,N
PDJ(KI,J)*MP(KK,J)*D(J)
52 CONTINUE
C *** CALCULATION OF FREQUENCY RESPONSE
WRITE(6,260) (NOK(I),I=1,NOUT)
FREQ=FR
61 OMG=6.283C*FREQ
C *
C XK=CLM OF (PDJ/(JW-LAMDA))
DO 63 I=1,NOUT
X=(0.0,0.0)
DO 62 J=1,N
XK=X+ER(I,J)/XFO
62 CONTINUE
X=REAL(XK)
Y=IMAG(XK)
XKAMP(I)=SQRT(X**2+Y**2)
XKANG(I)=ATAN2(Y,X)*57.29583
63 CONTINUE
C *
C WRITE(6,255) FREQ,XKAMP(1),XKANG(1),I=1,NOUT)
260 FORMAT(1H,5X,9HFREQUENCY,5(7X,5HNODE(,14,1H),7X))
265 FORMAT(1H,5X,1P0E12,15,5X,1P0E12,3)
C *
C FREQ=FREQ*FREQ
IF(FREQ.LE.FRH) GO TO 61
CALL CLCCLN(ITOUT)
ITNET=ITOUT-ITIN
WRITE(6,300) ITIN,ITOUT,ITNET
300 FORMAT(4H,5X,4HTIN=,15,5X,5HTOUT=,15,5X,5HTNET=,15,4H(MS))
30 TO 1
END

```

図3 (その2) ACAP II (Part-2)

1報で発表したプログラムリストには一部誤りがあったので図3に改めて正しいプログラムリストを示す。

方程式形成後，固有値，固有値ベクトルを求める処理を含めた処理時間は ACAP に比べてかなり短くなる。例題1についての状態方程式は次のようになる。

$$\begin{pmatrix} v_{C1} \\ v_{C2} \\ v_{C3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{C_1} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) & -\frac{1}{C_1 R_2} & 0 \\ \frac{1}{C_2 R_2} & -\frac{1}{C_2} \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) & \frac{1}{C_2 R_2} \\ 0 & \frac{1}{C_3 R_3} & -\frac{1}{C_3 R_3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{C1} \\ v_{C2} \\ v_{C3} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{C_1 R_1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot e$$

C, Rに値を代入するとA行列の部分は図4の冒頭の部分のようになる。

計算すべき節点は複数個指定可能で，図4では節点2及び3について計算させ，振幅と位相角を書き出させている。周波数点当り計算時間はこの例では約17[ms]でACAPで処理した場合に比べると1/7以下となった。全処理時間で比較しないと処理速度の正しい評価は下せないが，周波数点数の多い場合に相当有利であることは明らかである。

§3 複素数逆行列プログラム

交流回路網の計算においては複素数逆行列の計算又は複素数連立方程式を解くことは必須であるが，複素数連立方程式を解く富士通SSLのCSWEPS⁵⁾を利用して複

```

-2.000E 02   1.000E 02   0.0
 2.000E 02  -4.000E 02   2.000E 02
 0.0         3.000E 02  -3.000E 02

FREQUENCY      NODE( 2)      NODE( 3)
10.0   5.411E-01  -6.570F 01   5.296E-01  -7.753E 01
12.0   4.697E-01  -7.205E 01   4.555E-01  -8.615E 01
14.0   4.118E-01  -7.733E 01   3.982E-01  -9.364E 01
16.0   3.646E-01  -8.173E 01   3.457E-01  -1.002E 02
18.0   3.255E-01  -8.559E 01   3.046E-01  -1.062E 02
20.0   2.929E-01  -8.897E 01   2.702E-01  -1.117E 02
22.0   2.653E-01  -9.198E 01   2.410E-01  -1.167E 02
24.0   2.417E-01  -9.470E 01   2.150E-01  -1.214E 02
26.0   2.214E-01  -9.714E 01   1.945E-01  -1.257E 02
28.0   2.038E-01  -9.942E 01   1.750E-01  -1.295E 02
30.0   1.883E-01  -1.015E 02   1.594E-01  -1.336E 02
32.0   1.746E-01  -1.034E 02   1.451E-01  -1.375E 02
34.0   1.625E-01  -1.052E 02   1.324E-01  -1.407E 02
36.0   1.517E-01  -1.069E 02   1.211E-01  -1.440E 02
38.0   1.420E-01  -1.085E 02   1.111E-01  -1.471E 02
40.0   1.333E-01  -1.100E 02   1.022E-01  -1.500E 02
42.0   1.254E-01  -1.115E 02   9.316E-02  -1.528E 02
44.0   1.182E-01  -1.128E 02   8.695E-02  -1.555E 02
46.0   1.117E-01  -1.141E 02   8.044E-02  -1.581E 02
48.0   1.057E-01  -1.154E 02   7.456E-02  -1.605E 02
50.0   1.002E-01  -1.165E 02   6.922E-02  -1.627E 02

```

TIME= 57 TOUT= 498 TNET= 351(MS)

図4 例題1にACAP-II (Part-2)を適用した結果

素数逆行列を簡単に求めることができる副プログラム CMINV を作成したのでプログラムリストとその適用例を図5に示す。第1報において、ACAP-II の一部としてあげたものには一部論理ミスがあったのと、より一般的に利用できるようにするために形を整えたものである。CSWEPS そのままでは係数の置換などの手続があるため、原複素行列名をP、複素数逆行列をPIとしこのプログラム内で置換を行わせるようにしたものである。倍精度の場合には CSWEPD を利用し一部書換えを行えばよい。

§ 4 結 言

ACAP, ACAP-II (Part-2) 及び MINV について適用例と処理能力の概略について述べた。今後これらを活用していろいろの回路の解析を行って行きたいと思う。また、数値計算上の問題点を追及し、適用範囲の拡大を図っていきたい。

終りに、これらのプログラムの作成、使用に当って九州大学大型計算機センターを利用したことを付記する。

```

C *** COMPLEX INVERSE MATRIX ***
C
C P....INPUT ARRAY P(KK,KK)
C PI....OUTPUT ARRAY PI(KK,KK)
C AP....WORKING ARRAY AP(LL,MM)
C KK....ARRAY DIMENSION
C LL,MM....WORKING ARRAY DIMENSION
C NN....MATRIX ORDER
C EPS....ZERO ESTIMATION
C ILL...RETURN CONDITION 0...NORMAL, ANOTHER...ILL
C SUBROUTINE CMINV(P,PI,AP,KK,LL,MM,NN,EPS,ILL)
C COMPLEX P(KK,KK),PI(KK,KK),W
C DIMENSION AP(LL,MM)
C *
C DO 2 J=1,MM
C DO 2 I=1,LL
C AP(I,J)=0.0
C 2 CONTINUE
C * SUBSTITUTE AP FOR P
C DO 3 J=1,NN
C IB=I+NN
C AP(I,IB)=1.0
C DO 4 J=1,NN
C W=P(I,J)
C AP(I,J)=REAL(W)
C AP(IB,J)=AIMAG(W)
C 4 CONTINUE
C 5 CONTINUE
C CALL CSWEPS(AP,LL,NN,NN,EPS,ILL)
C * CALCULATION
C IF(ILL.EQ.0) GO TO 10
C WRITE(6,200) ILL
C 200 FORMAT(1H0,28HILL CONDITION AT CMINV, ILL=,I6)
C * SUBSTITUTE PI FOR AP
C DO 10 I=1,NN
C IB=I+NN
C DO 12 J=1,NN
C JJ=J+NN+NN
C X=AP(I,JJ)
C Y=AP(IB,JJ)
C PI(I,J)=CMPLX(X,Y)
C 12 CONTINUE
C 15 CONTINUE
C RETURN
C END

```

```

MATRIX P(I,J)
1.000E 00 0.0          1.000E 00 0.0
2.000E-01 6.000E-01    2.000E-01 -6.000E-01

MATRIX PI(I,J)
5.000E-01 1.667E-01    0.0        -8.333E-01
5.000E-01 -1.667E-01   0.0        8.333E-01

```

図5 複素数逆行列計算サブルーチンと適用例

参 考 文 献

- 1) 村上：交流線形回路網解析プログラム（第1報）；呉高専研究報告 第9巻第1号，昭和49年2月。
- 2) 村上：DRAP：回路網解析プログラム；呉高専研究報告 第7巻第1号，昭和46年11月。
- 3) 国井他：FORTRAN 数値計算とプログラミング；共立出版，昭和45年11月。
村上：電気工学科における情報処理教育とミニコンの利用について；呉高専研究報告 第7巻第2号，昭和47年3月。
- 4) 村上：状態方程式形成技法；呉高専研究報告 第9巻第1号，昭和49年2月。
- 5) 富士通：FACOM 230—60 FORTRAN 解説篇（II）。

（昭和49年5月7日 受付）

ミニコンによる会話型回路解析プログラム APEC

(広島商船高専) 黒 瀬 能 幸
(電気工学科) 吉 野 信 行

A Conversational Mode Analysis Program for Electronic Circuits Using Mini-Computer, "APEC"

Yoshinobu KUROSE and Nobuyuki YOSHINO

Analysis Program for Electronic Circuits-DC (APEC-DC) and Analysis Program for Electronic Circuits-AC (APEC-AC) have been developed by using a Mini-Computer with the core memories of 8 KW.

APEC-DC and APEC-AC analyze linear DC circuits and AC circuits respectively.

The size of circuits to be analyzed is limited to 14 nodes, 25 branches (APEC-DC) and 11 nodes, 30 branches (APEC-AC). By using APEC, it is very easy to analyze them with APEC's input language without precise knowledge of computer. In this paper, the conversational mode network analysis program APEC is described in detail.

§ 1 緒 言

近年、電子回路の設計に CAD の技術が必須となり、このために各種の電子回路を効率良く解析できる汎用回路解析プログラムは計算機メーカーを中心に、既に数多く開発されている¹⁾。ところが、そのほとんどは中～大型機用であり、教育用又は個人研究用として、手軽に使用されているミニコンの分野においてはほとんど見るべきものはない。

本文は、主として汎用回路解析プログラム ECAP と、会話型言語 BASIC をモデルとして、8 K 語のミニコン (JRC 社の JAC-120) でしかも会話型で実行できる電子回路解析プログラム APEC の内、直流解析用 APEC-DC、交流解析用 APEC-AC についてまとめたものである。

§ 2 APEC の概要

2.1 解析内容

APEC で解析できる内容を列挙すると次の通りである (表 1 参照)。

a) APEC-DC

- (1) 各ノードの電圧、枝及び素子に関する電圧、電流、電力
- (2) 素子値のパラツキとノード電圧との関係 (最悪値、標準偏差)
- (3) 偏微係数、素子感度

b) APEC-AC

- a) の(1)と同じ。

表1 解析内容

略号	略号の意味	システムの種類	
		APEC-DC	APEC-AC
N V	ノード電圧	○	○
B V	枝電圧	○	○
C V	素子電圧	○	○
C A	素子電流	○	○
B P	素子電力損	○	○
B A	枝電流	○	○
M I又は MISCELLANEOUS	中間結果	○	○
S E又は SENSITIVITIES	感度と偏微係数	○	
W O又は WORST CASE	最悪値	○	
S T又は STANDARD DEVIATION	標準偏差	○	

2.2 取り扱い可能な回路の大きさ

a) APEC-DC

- | | |
|--------------|----|
| (1) 最大ノード数 | 14 |
| (2) 最大枝数 | 25 |
| (3) 最大独立電源数 | 25 |
| (4) 最大従属電流源数 | 10 |

b) APEC-AC

- | | |
|---------------|----|
| (1) 最大ノード数 | 11 |
| (2) 最大枝数 | 30 |
| (3) 最大独立電源数 | 5 |
| (4) 最大従属電流源数 | 5 |
| (5) 最大相互結合素子数 | 5 |

以上の制限を越えなければ任意のトポロジー回路を解析できる。

2.3 使用可能素子と標準枝

受動素子（抵抗，容量，インダクタンス，相互結合素子），独立電圧源，独立電流源，従属電流源が使用可能である。APECでは標準枝として図1の枝を用いる。

図1で e はノード電圧， J は素子電流， i は枝電流， I は独立電流源， i' は従属電流源， E は独立電圧源である。枝には電源はなくても良いが，受動素子は必ず含み，値は有限値に保つ必要がある。

従って電源のみの枝はあり得なくて、電圧源の場合には周辺の回路に影響を与えない程度に小さなインピーダンスを直列に、電流源の場合には十分大きなインピーダンスを並列にして一つの枝とする必要がある。

2.4 APEC 言語と運用概要

入力言語としては 計算機内部の事を知らなくても誰にでも使用できる様に、ECAP の入力言語を参考にし、会話型の簡潔明瞭な言語を作成した。

システムへの入力、システムを動かすためのコマンドと、データ等を記述するステートメントの2種類である。(表 2 参照)

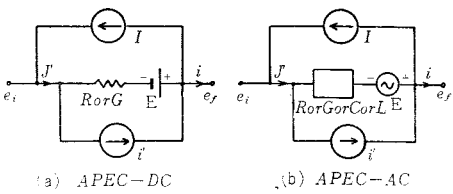


図 1 APEC における標準枝

表 2 ステートメント・コマンド一覧表

Statement		Command
C		
BX N(X,X),Ror G=X(X),E=X(X),I=X(X)	DC	*DC ANALYSIS
BX N(X,X),RorGorLorC=X,E=X/X,I=X/X	AC	*AC ANALYSIS
TX B(X,X),GMorBETA=X(X)	DC	*EXECUTE
TX B(X,X),GMorBETA=X	AC	*LIST
MX B(X,X),L=X	AC	*MODIFY
FREQUENCY=X(X')X"	AC	*BYE
PRINT,MI,NV,BV,CV,CA,BP,BA,SE,WO,ST	DC	
PRINT,MI,NV,BV,CV,CA,BP,BA	AC	
END		

基本は会話型であるから、通常はET（電動タイプライタのKB（鍵盤）入力、ETのプリント出力であるが、紙テープに必要なコマンド、ステートメントをパンチする事により、ETのMR（紙テープ読取部）又はPTR（光電式紙テープ読取装置）の何れからでも入力でき、ETにプリント出力する事ができる。又KBから入力、いわゆる会話型での入力中のコマンド、ステートメントを紙テープにした場合はCPUのセンススイッチ2をマニュアルでONにすれば良いし、解析実行中に割込みを掛け中止したい時は同じく1をONにすれば制御はETのKBに戻す事ができる。尚APEC言語の文法規則を付録に示す。

§ 3 システム構成

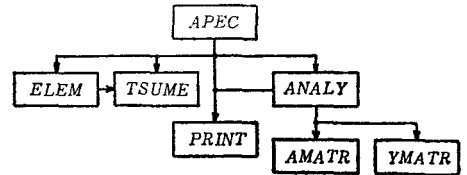
3.1 機器構成

- 使用した計算機の機器構成は、
- (1) CPU (JAC-120: 8 K語, 1 語=24ビット)
 - (2) ET (1000字/分)
 - (3) PTR (200字/400字/秒)
- である。

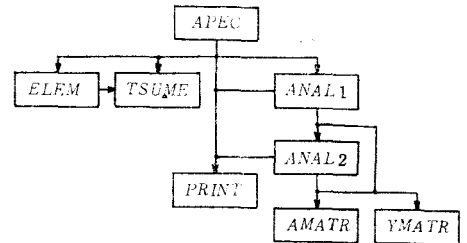
3.2 プログラム構成

プログラム言語は他機種への移行も考え、FORTRAN (JIS 3000レベル) を採用し、手軽に使用できる様に会話型とした。APEC-DC では全部で815ステップで、メインルーチン1つと6つのサブルーチンに分割されている (図2(a)参照)。APEC-AC では760ステップでメインルーチン1つと7つのサブルーチンに分割されている (図2(b)参照)。何れも JAC-120 のシステムコントロールプログラム BPS の元で働きます。

これらのプログラムは、入力言語解釈ルーチン (APEC, ELEM, TSUME), 計算ルーチン (ANALY, ANAL1, ANAL2, AMATR, YMATR), プリントルーチン (PRINT) の3つに大別することができる。解釈ルーチンは入力言語に従って入力されたコマンド、ステートメントの解釈を行い、コマンドなら必要な制御を、ステートメントなら解析すべき回路網についてのデータを行列の形や、リスト構造の形で記憶する。計算ルーチンでは指定された計算を実行し、プリントルーチンでは指定された必要な解をプリントする。



(a) APEC-DC



(b) APEC-AC

図2 プログラムのサブルーチン構成

§ 4 解析理論とアルゴリズム

4.1 回路網方程式の導出^{1), 2), 4), 5), 6)}

図3(a)の様な有向グラフについて、枝とノードの接続関係を(b)の様な行列 \bar{A} で定義する。この \bar{A} 行列の要素 a_{ij} は+1のときノード j が枝 i のイニシャルノード、-1のとき枝 i のファイナルノード、0は接続していない場合である。この \bar{A} 行列の各行の要素の和は常に0であるから、任意の1列が消去できる。そこで E ノードに関する列を消去すれば(c)に示す行列が得られる。この行列を A 行列と呼ぶ。

今標準枝として図4を考えると次の関係式が成立する。

$$A' \cdot i = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$e' = A \cdot e \dots\dots\dots (2)$$

$$s = E + e' \dots\dots\dots (3)$$

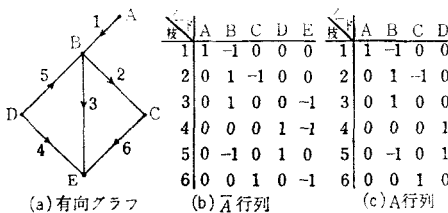


図3 有向グラフと接続行列

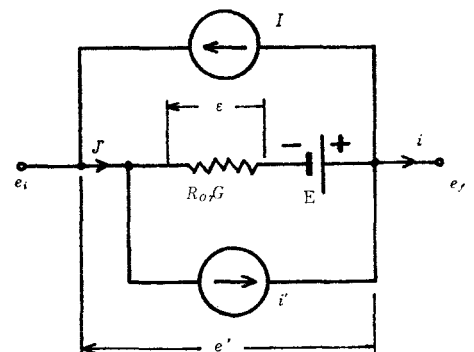


図4 標準枝

$$J' = Y \cdot \varepsilon \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$i = J' - I \quad \dots\dots\dots (5)$$

但し e' : 枝電圧ベクトル

ε : 素子電圧ベクトル

A^t : A 行列の転置行列

Y : アドミタンス行列

(1)~(5)式を e についてまとめると、

$$(A^t \cdot Y \cdot A) e = A^t (I - Y \cdot E) \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。(6)式はノード数を n とすると、 e についての n 元連立方程式であるから、これを解いて、

$$e = (A^t \cdot Y \cdot A)^{-1} \cdot A^t (I - Y \cdot E) \quad \dots\dots\dots (7)$$

でノード電圧ベクトル e を求める事ができる。残りの枝電圧ベクトル e' 、素子電圧ベクトル ε 、素子電流ベクトル J' 、枝電流ベクトル i は(2)~(5)式で求められ、素子電力ベクトル p は(3)、(4)式より

$$p = \varepsilon \cdot J' \quad \dots\dots\dots (8)$$

として求められる。

ここで $A^t \cdot Y \cdot A$: ノードアドミタンス行列

$A^t (I - Y \cdot E)$: 等価電流源ベクトル

$(A^t \cdot Y \cdot A)^{-1}$: ノードインピーダンス行列

という。

4.2 変動解析方程式

各回路パラメータに関するノード電圧 e の偏微係数は(7)式をパラメータ R 、 β 、 E 、 I で偏微分する事によって求められる。ここで β はトランジスタ等の電流増幅率である。

i 番目の枝のパラメータに関する e の偏微係数は、

$$\frac{\partial e}{\partial R_i} = (A^t \cdot Y \cdot A)^{-1} A^t (\varepsilon_i + \varepsilon_j \beta_{ji}) - \frac{1}{R_i^2} (E_i + e_i') \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{\partial e}{\partial \beta_{ji}} = - (A^t \cdot Y \cdot A)^{-1} A^t \cdot \varepsilon_i - \frac{1}{R_j} (E_j + e_j') \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{\partial e}{\partial E_i} = - (A^t \cdot Y \cdot A)^{-1} A^t \cdot Y \cdot \varepsilon_i \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\frac{\partial e}{\partial I} = (A^t \cdot Y \cdot A)^{-1} A^t \cdot \varepsilon_i \quad \dots\dots\dots (12)$$

となる。ここで ε_i は i 番目の要素が1で他は全て0の列ベクトルである。

感度は、回路パラメータの1%変化がノード電圧に及ぼす影響を求めるものである。今回路パラメータを x_i で表わせば、感度 S は、

$$S_i = \frac{\partial e}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{100} \quad \dots\dots\dots (13)$$

で与えられる。

今、回路パラメータが n 個あるものとした時、各パラメータの偏差限界の組合せ (2^n 個ある) の中から、ノード電圧の上限、下限が求められる。これが最悪状態である。最悪状態における e の偏差 Δe は、回路パラメータを x_j 、 x_j の最大偏差を Δx_j とすれば、

$$\Delta e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot \Delta x_j \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{但し, } H_j = -\frac{\partial e}{\partial x_j}$$

から計算される。 $e_i + \Delta e$ (上限) は Σ の内部がすべて正の場合に生じるから、 H_j の符号を調べて積 $H_j \cdot \Delta x_j$ が正になる様を選ぶと求められる。下限も同様にして計算できる。

標準偏差は、回路パラメータが正規分布をなしていると仮定し、ノード電圧の標準偏差を求めるものである。各パラメータの標準偏差を $\sigma(x_j)$ とすれば、 e_i の標準偏差 $\sigma(e_i)$ は、

$$\sigma(e_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial e_i}{\partial x_j} \right)^2 \sigma^2(x_j)} \quad \dots\dots\dots (15)$$

で与えられる。

4.3 アルゴリズム

先づ、データの格納法であるが、APECでは8K語のミニコンという物理的制約から、リスト表示法⁷⁾を採用した。素子の接続関係を示す $N(m, n)$ のデータは、枝の番号に対応させた $[100 \times m + n]$ の列ベクトルとして記憶させ、接続行列 A としては作らない。そのために APEC-DC では行列の形なら350語の必要メモリーが25語に節約できた。またアドミタンス行列 Y の非対角要素の位置を示す $B(m + n)$ のデータも同様にリスト表示した。従ってアドミタンス行列の対角要素と、非対角要素を別々に列ベクトルとして記憶する事が可能になり、大幅なメモリー節約となった。

次に行列演算であるが、速度向上と、メモリー節約のためにいろいろ工夫をした。リスト表示されたデータから、単純な行列演算を行わず、直接 $A' \cdot Y \cdot A$, $A'(I - Y \cdot E)$ を計算した。

a) APEC-DC

$A' \cdot Y \cdot A$, $A'(I - Y \cdot E)$ が求まると、Gauss の消去法で、 $A' \cdot Y \cdot A$ の記憶されていた場所に $(A' \cdot Y \cdot A)^{-1}$ を、 $A'(I - Y \cdot E)$ の記憶されていた場所に解であるノード電圧 e を求めた。以後の計算は出力指定に基づいて解析を行うが、素子電流、枝電圧等は加減算、乗算等の単純な行列演算を行って、解析される毎に必要な結果のみプリントする。

偏微係数、最悪値、標準偏差の指定があれば、(9)～(15)式に従って計算する。計算は、逆行列 $(A' \cdot Y \cdot A)^{-1}$ は既に求まっているので、後は簡単な行列計算で行われる。又最悪値、標準偏差で、パラメータの変動幅が与えられていなければ0とみなして計算する。

b) APEC-AC

手順はほとんど APEC-DC と同じであるが、複素演算を行うことと、周波数の情報を処理すること、 $(A' \cdot Y \cdot A)^{-1}$ を求める必要がないことが異なる。従って $A' \cdot Y \cdot A$ の記憶されていた場所を有効に使うために、解析ルーチンを ANAL1 と ANAL2 の2つのサブルーチンに分け、前者では e を求める迄、後者では e' , ε , J' , p , i の各ベクトルを求めた。

以上のアルゴリズムに基づく主流れ図を図5に示す。図5は APEC-DC であるが、APEC-AC については基本解を求めるだけでほぼ同様である。

§ 5 APEC 使用例

本節では、APEC-DC, APEC-AC で簡単な例題を解く事によって、APEC がどの様に使用されるかを示したい。

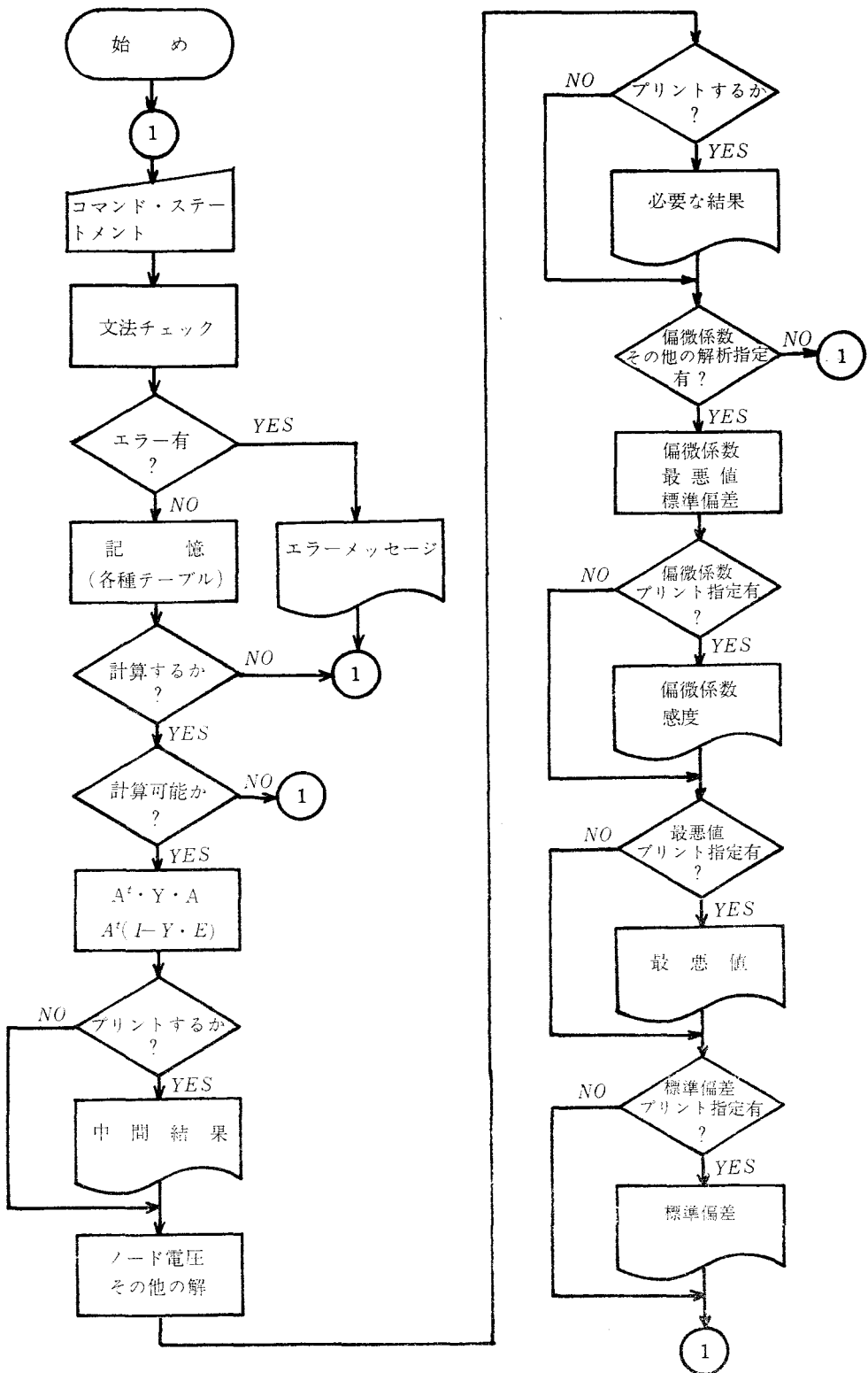


図5 主 流 れ 図

5.1 APEC-DC

直流解析の例として、エミッタ接地増幅回路を図6に、その等価回路を図7に示す。この等価回路から、付録で示した APEC 言語を用いて、データを記述し計算機と会話する。図8が会話例である。例では中間結果、ノード電圧、枝電流、感度、最悪値、標準偏差の解析を行っている。解析結果の一部を図9(a)、(b)、(c)、(d)に示す。図9(a)は中間結果、すなわちノードコンダクタンス行列 $A^t \cdot Y \cdot A$ 、等価電流源ベクトル $A^t(I - Y \cdot E)$ 、ノードインピーダンス行列 $(A^t \cdot Y \cdot A)^{-1}$ である。(b)はノード電圧と枝電流であり、感度はノード電圧に対して、回路の全てのパラメータについて計算したが、(c)には枝番号1及び2の抵抗による結果のみ示した。また最悪値と標準偏差は(d)である。最悪状態解析によると、この例の部品のバラツキの組合せでは、コレクタ電圧は最小 5.515538374V、最大 16.62988281Vであり、最悪約 11.11Vの差がでる事がわかる。

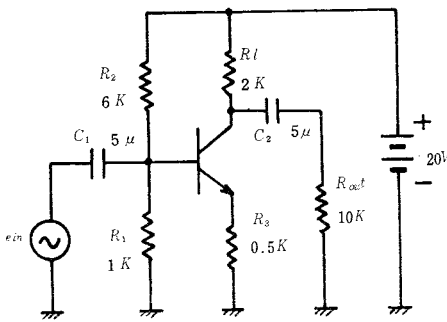


図6 被解析回路

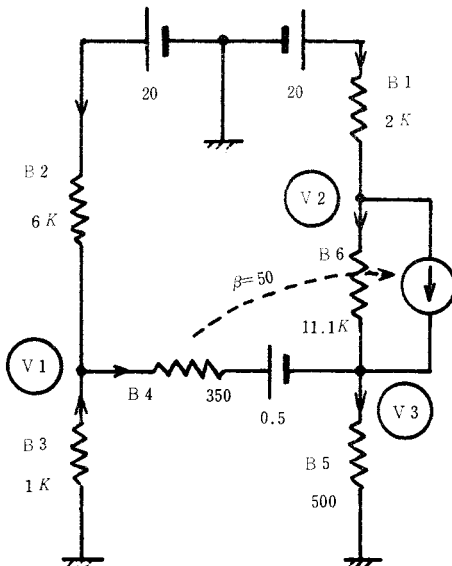


図7 等価回路

```
** APEC-DC **
```

```
*DC ANALYSIS
```

```
T/M/P ?
```

```
TYPE
```

```
C
```

```
APEC CE AMPLIFIER
```

```
C
```

```
DATE 1974 3 28
```

```
C
```

```
B1 N(0,2),R=2K(.07),E=20(.1)
```

```
B2 N(0,1),R=6K(.07),E=20(.1)
```

```
B3 N(0,1),R=1K(.07)
```

```
B4 N(1,3),R=350(.1),E=-0.5
```

```
B5 N(3,0),R=500(.07)
```

```
B6 N(2,3),R=11.1K(.1)
```

```
T1 B(4,6),BETA=50(.1)
```

```
PRINT,MI,NV,BA,SE,W0,ST
```

```
*EX
```

図8 会話例

NODAL CONDUCTANCE MATRIX

```
1- 1 0.4023809523E-002
1- 2 0.0
1- 3 -0.2857142857E-002
2- 1 0.1428571428E 000
2- 2 0.5900900900E-003
2- 3 -0.1429472329E 000
3- 1 -0.1457142857E 000
3- 2 -0.9009009009E-004
3- 3 0.1478043758E 000
```

EQUIVALENT CURRENT VECTOR

```
1 0.4761904762E-002
2 0.8142857143E-001
3 -0.7285714285E-001
```

NODAL IMPEDANCE MATRIX

```
1- 1 0.8238885164E 003
1- 2 0.2852700794E 001
1- 3 0.1868519020E 002
2- 1 -0.3163645180E 004
2- 2 0.1977273483E 004
2- 3 0.1851141318E 004
3- 1 0.8103096606E 003
3- 2 0.4017553618E 001
3- 3 0.2631497620E 002
```

図9 (a) 中間結果

NODE VOLTAGE

```

1      0.2794220428E 001
2      0.1107271059E 002
3      0.2268527103E 001
    
```

BRANCH CURRENT

```

1      0.4463644701E-002
2      0.2867629928E-002
3      -0.2794220428E-002
4      0.7340950042E-004
5      0.4537054206E-002
6      0.4463644705E-002
    
```

図9 (b) ノード電圧と枝電流

PARTIAL DERIVATIVE AND SENSITIVITY OF NODE VOLTAGE WITH RESPECT TO RES. IN BRANCH 1

PART.	SENSI.
1	-0.6366721393E-005
2	-0.4412923154E-002
3	-0.8966465962E-005

PARTIAL DERIVATIVE AND SENSITIVITY OF NODE VOLTAGE WITH RESPECT TO RES. IN BRANCH 2

PART.	SENSI.
1	-0.3937678946E-003
2	0.1512027267E-002
3	-0.3872780390E-003

図9 (c) 偏微係数と感度解析の一部

WORST CASE OF NODE VOLTAGE

	MIN.	NOI1.	MAX.
1	0.2176214493E CC1	0.2794220428E 001	0.3412226362E CC1
2	0.5815538374E CC1	0.1107271059E 002	0.1662988201E CC2
3	0.1651262193E CC1	0.2268527103E 001	0.2885792622E CC1

STANDARD DEVIATION OF NODE VOLTAGE

1	0.119338978E CCO
2	0.8522271682E CCO
3	0.1177079299E CCO

図9 (d) 最悪値と標準偏差

5.2 APEC-AC

次に交流解析の例として図10にエミッタホロー回路を示す。等価回路は図11である。図12に会話例を、図13に解析結果の一部を示す。

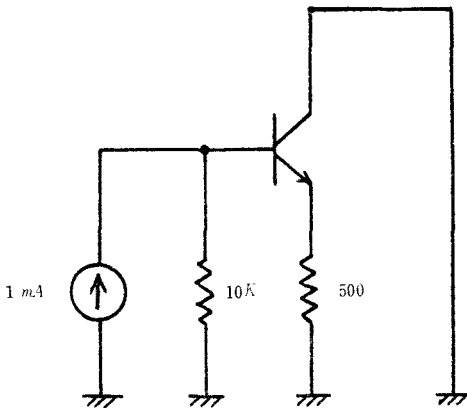


図10 被解析回路 (直流電源省略)

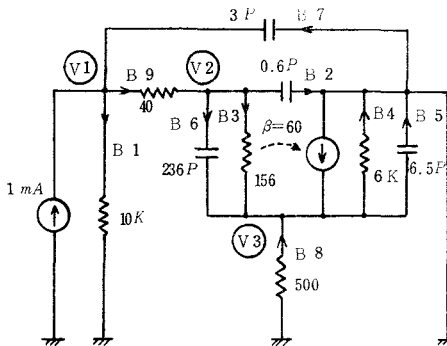


図11 等価回路

** APEC-AC **

*AC ANALYSIS

T/M/P ?

T

C

C AC-NETWORK

C

B1 N(1,0),R=10K,I=1M/0

B2 N(2,0),C=.6P

B3 N(2,3),R=156

B4 N(3,0),R=6K

B5 N(3,0),C=6.5P

B6 N(2,3),C=236P

B7 N(0,1),C=3P

B8 N(0,3),R=500

B9 N(1,2),R=40

T1 B(3,4),BETA=60

FR=100K(1.26)100E6

PR,NV,CA

*EX

図12 会話例

FREQ.= 0.1000000000E 006

NODE VOLTAGE

	MAG	PHA	REAL	IMAG
1	0.1586635268E 002	-0.1201263586E 001	0.1586286559E 002	-0.3326296488E 000
2	0.1588982688E 002	-0.1199973689E 001	0.1588634213E 002	-0.3327641355E 000
3	0.1598138115E 002	-0.1199222088E 001	0.1597788072E 002	-0.3344718346E 000

ELEMENT CURRENT

	MAG	PHA	REAL	IMAG
1	0.1586635268E-002	-0.1201263586E 001	0.1586286559E-002	-0.3326296488E-004
2	0.5990323610E-005	0.8880002669E 002	0.1254491236E-006	0.5989009890E-005
3	0.5868878761E-003	0.1789312417E 003	-0.5867857760E-003	0.1094678903E-004
4	0.3254971651E-001	0.1789419177E 003	-0.3254416644E-001	0.6010620364E-003
5	0.6526908653E-004	0.8880077840E 002	0.1366006536E-005	0.6525479049E-004
6	0.1357599307E-004	-0.9106875771E 002	-0.2532230399E-006	-0.1357363127E-004
7	0.2990737021E-004	-0.9120126316E 002	-0.6269921167E-006	-0.2990079721E-004
8	0.3196276231E-001	0.1788007779E 003	-0.3195576144E-001	0.6689436692E-003
9	0.5869231809E-003	0.1796717810E 003	-0.5869135508E-003	0.3362167626E-005

FREQ.= 0.1260000000E 006

NODE VOLTAGE

	MAG	PHA	REAL	IMAG
1	0.1586400723E 002	-0.1513434079E 001	0.1585847323E 002	-0.4189896237E 000
2	0.1588747722E 002	-0.1511808907E 001	0.1588194692E 002	-0.4191589993E 000
3	0.1597901790E 002	-0.1510861659E 001	0.1597346271E 002	-0.4213100586E 000

ELEMENT CURRENT

	MAG	PHA	REAL	IMAG
1	0.1586400723E-002	-0.1513434079E 001	0.1585847323E-002	-0.4189896237E-004
2	0.7546691637E-005	0.8848819151E 002	0.1991042171E-006	0.7544064699E-005
3	0.5868016760E-003	0.1786535226E 003	-0.5866396464E-003	0.1378884140E-004
4	0.3254494276E-001	0.1786669743E 003	-0.3253613500E-001	0.7571121413E-003
5	0.8222688790E-004	0.8848913867E 002	0.2168031550E-005	0.8219830128E-004
6	0.1710323883E-004	-0.9134647692E 002	-0.4018970250E-006	-0.1709851623E-004
7	0.3767771593E-004	-0.9151343370E 002	-0.9951188113E-006	-0.3766457242E-004
8	0.3195803581E-001	0.1784891383E 003	-0.3194692542E-001	0.8426201172E-003
9	0.5868577150E-003	0.1795865864E 003	-0.5868424385E-003	0.4234389825E-005

図13 解析結果の一部

§ 6 結 言

以上、会話型回路解析プログラム APEC システムの概要を述べた。

実際の回路解析では結果も良好で、文献^{2),3)}と比較して、計算精度は同等か、それ以上で、期待した結果が得られた。現在これをベースに過度解析プログラム APEC-TR の開発中であり、後日報告する。

最後に、平素いろいろご指導、ご鞭撻を頂く、呉工業高等専門学校電気工学科主任太田垣博教授、広島商船高等専門学校航海学科主任岡田正明教授に深く感謝する。

文

献

- 1) F.F. Kuo, etal, "Computer Oriented Circuit Design", Prentice-Hall
- 2) R.W. Jensen, etal, "IBM Electronic Circuit Analysis Program," Prentice-Hall
- 3) J.J. Peterson, "A Student's Guide to ECAP-36", University of MASSACHUSETTS
- 4) 和久井孝太郎他, "電子回路のCAD", 日刊工業新聞社1972
- 5) 通産省編, "上級情報処理研修ガイドブック技術計算と設計(Ⅱ編)", 日本情報処理開発センター1971
- 6) F.H. Branin, Proc. IEEE 55 [11] 1787 ('67)
- 7) 佐藤: 電気学会論文誌B 92-B [1] 69 ('72)
- 8) 黒瀬・吉野: 電気四学会中国支部講演論文集 No.32321 ('73)
- 9) 吉野・黒瀬: 電気四学会中国支部講演論文集 No.32320 ('73)

付 録 APEC 言 語

APEC 言語を構成するのは、システムを動かすためのコマンドと、データ等を記述するステートメントである。

1. コ マ ン ド

a) *DC ANALYSIS 又は *AC ANALYSIS

システムをスタートさせるとタイトルがプリントされるので、APEC-DC のときは*D(C ANALYSIS), APEC-AC の時は*A(C ANALYSIS)を入力する。このコマンドにより、データ領域がクリアされ、次のメッセージをプリントしてユーザからの入力待ちになる。

T/M/P ?

この時点でユーザは T(YPE)か、M(R)か、P(T R)かを入力して、今から計算機にデータを入力する入力装置を指定する。なお T は E T の KB, M は E T の紙テープ読取部, P は高速紙テープ読取装置であり、M か P を指定するときは、データテープは既にパンチされ、その指定する機器に正しくセットされていなければならない。

b) *EXECUTE

*E(XECUTE) コマンドを入力すると、その時点迄に入力されているステートメントに従って実行される。必要な結果をプリントするとコマンド或はステートメント待ちになる。

なおデータが正しく入力されていないとエラーメッセージをプリントしてコマンド或はステートメント待ちとなる。

c) *LIST

*L(IST) コマンドを入力すると、その時点迄に入力されているステートメントをプリントする。

d) *MODIFY

*M(ODIFY) コマンドは、以下に続くデータに変更して解析する事を指示する。このコマンド入力後は、ステートメントで接続関係を示す $N(m,n)$, $B(m,n)$ の替りに、を入れても良い。

e) *BYE

処理の終了を告げるコマンドである。*B(YE) コマンドを入力して 後再び APEC システムと会話するときは a) から始める。

2. ステートメント

a) C ステートメント

FORTRAN で言う注釈行で、頭文字が C ならその行には何を記入しても良い。

b) B ステートメント

回路の枝番号、接続関係、素子値を記述するステートメントで、

APEC-DC では $BXX\ N(XX,XX)$, R 又は $G=XX(XX)$, $E=XX(XX)$, $I=XX(XX)$

APEC-AC では $BXX\ N(XX,XX)$, R 又は G 又は L 又は $C=XX$, $E=XX/XX$, $I=XX/XX$

の型式で XX が数値データである。その枝に電源がない場合は E 以下は省略して良い。又素子値の後の DC では (), AC では / 以下はそれぞれ、素子値のパラツキ例えば (.1) なら 10% と、又位相角を、例えば /65 なら 65 度を表わす。

c) T ステートメント

従属電流源の番号、接続関係、素子値を記述するステートメントで

TXX B(XX,XX), GM又は BETA=XX(XX)

の型式で表わす。ACでは=XX(XX)の()は書いてはいけない。DCではバラツキを表わす。

d) Mステートメント

APEC-AC 専用のステートメントで、相互誘導の番号、接続関係、相互誘導値を記述する。型式は MXX B(XX,XX), L=XX で表わす。

e) FREQUENCY ステートメント

これも APEC-AC 専用で、周波数の指定を行う。

FR(EQUENCY)=XX(X'X')X''X''

で表わし、周波数1つだけの指定ならXXだけ、この例だとXXからX''X''まで

XX, X'X'・XX, (X'X')²XX, ..., X''X''

の様に繰り返して実行される。従って当然 X'X'>1 でなくてはならない。

f) PRINT ステートメント

プリント指定のステートメントで、プリントしたい項目を、で区切って並べる。

PR(INT),MI,NV,BV,CV,CA,BP, BA,SE,WO,ST

と書く。略号の意味は表1参照。ACではBA迄である。

g) END ステートメント

E(ND)ステートメントは APEC システムにこれ以上ステートメントがない事を示す。

E(ND)ステートメントの入力により、MR, PTR の入力装置からETのKBに制御を移す事ができる。従ってこのステートメントはMR, PTR よりETのKBに制御を戻すステートメントと考えてよい。

以上コマンド、ステートメントについて簡単に説明したが、この他2~3重要な約束がある。

- 1) B,M,Tステートメントの番号、接続関係を示す数値は整数である事。又、接続関係を示す2つの数値は同じであってはならない。
- 2) 同じステートメント番号を持つステートメントは後から入力した方が優先される。
- 3) 数値データはI, E, Fタイプ何れでも良いが、有効桁は12桁迄とする。又、単位記号としてK(10³), M(10⁻³), P(10⁻¹²: ACのみ)を認める。

(昭和49年5月7日 受付)

平板の曲げモーメントの計算

(土木工学科) 丸 上 晴 朗

Calculation of Bending Moments in a Plate

Seirō MARUGAMI

Bending Moments of a simply supported plate of infinite length under several loads uniformly distributed over the area of several rectangles are calculated.

This result shows that the maximum bending moment is at a certain point that is away from the center of the plate.

§ 1 ま え が き

板の曲げに関する問題は古くから研究されているが現在においてもいろいろな方面から盛んに研究されている。板を支持する方法において考えれば単純板、固定板、連続板などに分かれ、板の力学的性質について考えるならば等方性板、異方性板があげられ；板の形状面からは長方形板、円形板、扇形板、有孔板などいろいろと考えられる。曲げをうける板の解析法は有限要素法、板のたわみ曲面に関する微分方程式を解く方法などである。

次に道路橋の橋床としてよく用いられる鉄筋コンクリート床版について考えよう。鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計計算において考慮すべき設計曲げモーメントの値は、1971年3月に改訂された道路橋示方書中に示されている¹⁾。この道路橋示方書に示された鉄筋コンクリート床版の設計曲げモーメントの値に少し疑問を持った。詳しく言えば設計曲げモーメントの値そのものよりも設計曲げモーメントを求める計算過程に若干の疑念をいだいた。この疑念が無意味でないことを示すために鉄筋コンクリート床版の曲げモーメントの値を計算した。ここに計算結果を報告する。

§ 2 道路橋示方書による鉄筋コンクリート床版の設計曲げモーメント²⁾

詳しいことは道路橋示方書の6章にある。今は必要なことのみを述べる。鉄筋コンクリート床版は単純板、連続板、片持板とし支間は4 m以下である。片持板については支間を1.5 m以下としている。T荷重による設計曲げモーメント（衝撃を含む）を主鉄筋方向の曲げモーメント及び配力鉄筋方向の曲げモーメントとして示している。

§ 3 道路橋示方書の計算過程³⁾

解析法は等方性薄板のたわみ曲面が満足する4階偏微分方程式を解くことを基本としている。この偏微分方程式は周知のように次のようになる。

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

(1)式において w は x, y の函数でたわみ曲面を示し $q(x, y)$ は点 x, y における荷重強度である。 D は板の曲げ剛性で板の弾性係数を E ポアソン比を ν 板厚を h とすれば次式で示される。

$$D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

(1)式を解くことは荷重条件、板の境界条件によって困難な場合もあり容易な場合もある。ここで $q(x, y)$ を Fourier 級数に展開し w を三角級数を用いて求めている。 w が求まると主鉄筋方向の曲げモーメント M_x 及び配力鉄筋方向の曲げモーメント M_y は次式から計算できる。

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$M_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (4)$$

荷重条件であるが T 荷重は幅員方向には台数に制限なく載荷しそれぞれの後輪荷重及び前輪荷重の影響をすべて考慮して計算している。

床版の設計曲げモーメントは単純板においては主鉄筋方向及び配力鉄筋方向の曲げモーメントをそれぞれ支間の中央において算出している。片持板においては主鉄筋方向の曲げモーメントは固定辺上、配力鉄筋方向の曲げモーメントは自由辺上でそれぞれ算出している。

以上が道路橋示方書の鉄筋コンクリート床版の設計曲げモーメントを求める計算過程の概略である。

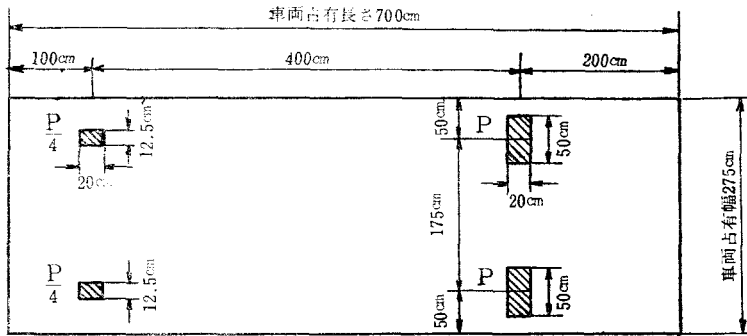
§ 4 筆者の疑念

前述の道路橋示方書の床版の設計曲げモーメントの計算過程を考えてみると T 荷重の載荷方法については異論をさしはさむ余地はない。筆者らが先に計算した結果によると前輪の影響は後輪に及んでいない⁴⁾。しかしこの場合は床版の支間を $2m$ 以下にしていたので床版支間が $3m, 4m$ に増大したときのことは現在不明である。鉄筋コンクリート床版の設計曲げモーメントを決定するには、 T 荷重を移動させてみながら床版の最大曲げモーメントを計算しなければならない。最大曲げモーメントは床版支間上のどの点において生ずるのか。支間が短かくて支間上に作用する荷重が唯一つの場合には、前節のように単純板においては主鉄筋方向及び配力鉄筋方向の設計曲げモーメントをそれぞれ支間中央において算出してよいと考える。しかし床版支間が増大して支間上に作用する荷重が二つ以上になったときにはどうであろうか。おそらく支間中央以外の点において最大曲げモーメントが発生するのではあるまいかというのが筆者の疑念の主たるものである。次に計算について述べる。

§ 5 T 荷重をうける単純板の曲げモーメントの計算^{5), 6)}

T 荷重という術語の説明をすることなしにすでにこの術語を用いたがここで説明しておく。図1に示されるような荷重で自動車による荷重である。床版に T 荷重を載荷するということは力学的に言えば平板上に等分布荷重を部分的に図1の斜線で示される如く載荷したものである。

道路橋示方書では床版の長さは無限大としている。従って本節で取扱う平板は無限単純板である。方程式(1)を図2に示すような無限単純板が部分的に等分布荷重を受けるという条件のもとに解くとたわみ w は(5)式で示される。このような条件のもとで(1)式を解く方法は既に完成されているので(5)式の誘導については一切ふれないことにする。なお(5)式は $y \leq d$ に対する w であり、 $y > d$ に対する w は必要がないので略す。



P: 後輪荷重

図1 T 荷重

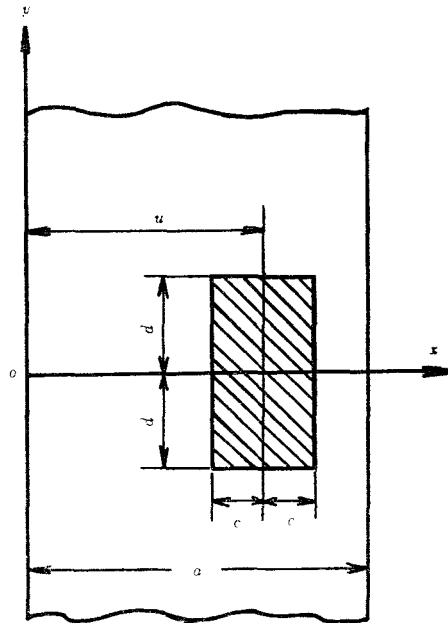


図2 部分的に等分荷重をうける無限単純板

$$w = \frac{2qa^4}{\pi^5 D} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^5} \sin \frac{m\pi c}{a} \sin \frac{m\pi u}{a} \times \left[2 + \left\{ \frac{m\pi y}{a} \sinh \frac{m\pi y}{a} - \left(2 + \frac{m\pi d}{a} \right) \cosh \frac{m\pi y}{a} \right\} \times e^{-m\pi d/a} \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \dots \dots \dots (5)$$

主鉄筋方向の曲げモーメント M_x 及び配力鉄筋方向の曲げモーメント M_y は(5)式を(3)式, (4)式に適用してそれぞれ(6)式, (7)式となる。

$$M_x = \frac{4qa^2}{\pi^3} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^3} \sin \frac{m\pi c}{a} \sin \frac{m\pi u}{a} \times \left[1 - \left\{ 1 + (1-\nu) \frac{m\pi d}{2a} \right\} e^{-m\pi d/a} \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \dots \dots \dots (6)$$

$$M_y = \frac{4qa^2}{\pi^3} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^3} \sin \frac{m\pi c}{a} \sin \frac{m\pi u}{a} \times \left[\nu - \left\{ \nu - (1-\nu) \frac{m\pi d}{2a} \right\} e^{-m\pi d/a} \right] \sin \frac{m\pi x}{a} \dots\dots\dots (7)$$

(6)式, (7)式には ν が含まれていない。 x 軸上において M_x , M_y を求めたからである。主鉄筋方向及び配力鉄筋方向の最大曲げモーメントはともに x 軸上において発生するから設計曲げモーメントを計算するには(6)式, (7)式を用いればよい。

次に計算過程における具体的な事項について述べる。筆者が計算したのは限られた範囲にすぎないが計算の条件は道路橋示方書の条件にできるだけ合致させた。床版の支間が3 mの場合について計算した床版の厚さは道路橋示方書と同じく20 cmとし、舗装厚も示方書に合せて5 cmとした。輪荷重の分布についても示方書と同じように5 cm厚のアスファルト舗装を通して、床版全厚の $\frac{1}{2}$ の面まで45度の角度で分布するとした。 T 荷重の載荷状態は示方書のそれに必ずしも合致していないかもしれないが載荷方法は合理的になっている。コンクリートのポアソン比は $\frac{1}{6}$ にした。 T 荷重の載荷状態は図3から図8に示す。

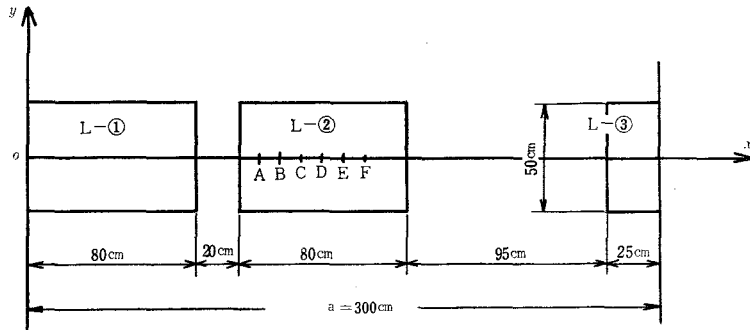


図3 無限単純板上のT荷重

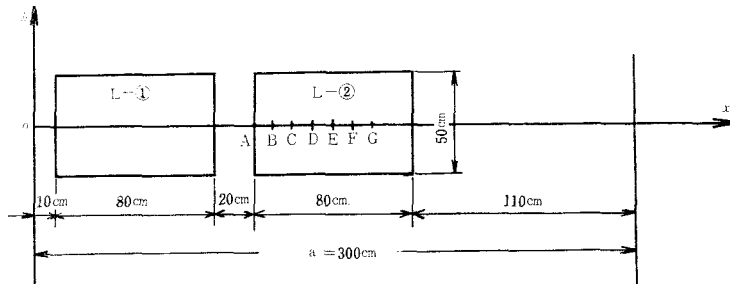


図4 無限単純板上のT荷重

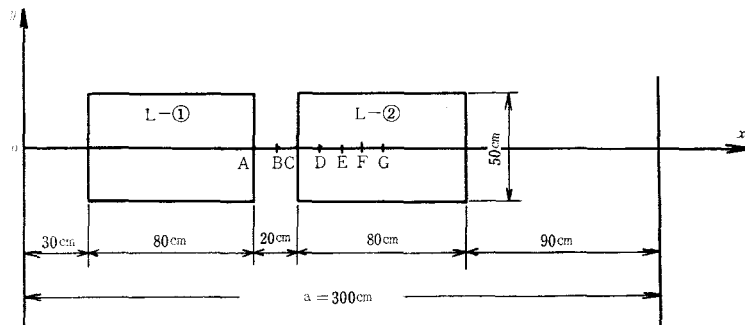


図5 無限単純板上のT荷重

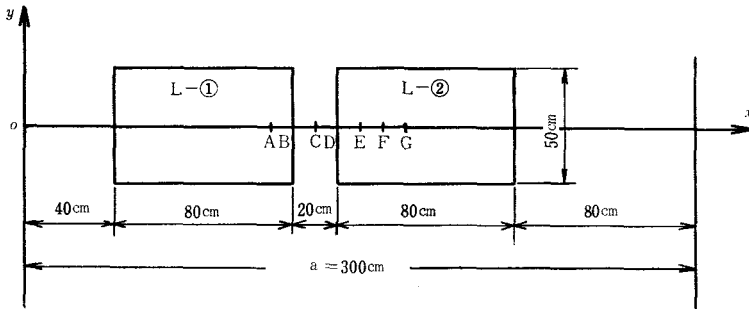


図6 無限単純板上のT荷重

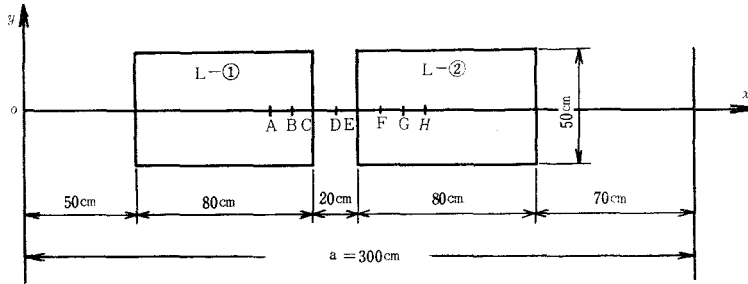


図7 無限単純板上のT荷重

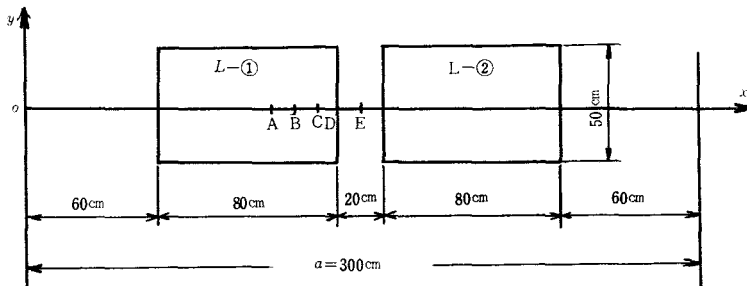


図8 無限単純板上のT荷重

図3の場合のみ後輪が3輪（実質的には第3輪は部分載荷である）載荷され他の場合はすべて後輪が2輪載荷である。これらの図は輪荷重が45度の角度で床版全厚の $\frac{1}{2}$ の面まで分布したときの状態を示しており、輪荷重の横方向の間隔は可能な限り狭くしてある。図上のA, B, C, D, E, F, G, Hの諸点は無限単純板上のx軸上の点でありそれらのx座標は $A=110\text{cm}$, $B=120\text{cm}$, $C=130\text{cm}$, $D=140\text{cm}$, $E=150\text{cm}$, $F=160\text{cm}$, $G=170\text{cm}$, $H=180\text{cm}$ のように10cm間隔に定められた。

§6 計算結果

今回の計算は主鉄筋方向の曲げモーメント M_x のみについて行った。その結果を表1から表6までに示す。表に示した結果は示方書に示された値と対比する目的もあるので示方書に合せて衝撃による影響も含めている。衝撃による影響の計算の仕方は示方書と同じく衝撃係数を用いた。支間3mの本例では衝撃係数が0.377になる。従って表に示した M_x/P の値はT荷重のみのときの1.377倍の値になっている。

表中 ΣL の欄の値のうち上段の値は(6)式の第15項までの和を示す。下段の括弧をつけた値は同式の

表1 図3の場合の M_x/P の値

点 荷重	B	C	D	E	F
L-①	0.082	0.073	0.064	0.057	0.051
L-②	0.288	0.301	0.304	0.302	0.291
L-③	—	0.003	0.003	0.003	0.004
ΣL	0.370 (0.368)	0.377 (0.379)	0.371 (0.375)	0.362 (0.361)	0.346 (0.343)

表4 図6の場合の M_x/P の値

点 荷重	D	E	F	G
L-①	0.152	0.130	0.117	0.101
L-②	0.228	0.264	0.288	0.298
ΣL	0.380 (0.382)	0.394 (0.392)	0.405 (0.402)	0.399 (0.399)

表2 図4の場合の M_x/P の値

点 荷重	C	D	E	F
L-①	0.093	0.084	0.073	0.066
L-②	0.290	0.302	0.305	0.302
ΣL	0.383 (0.382)	0.386 (0.386)	0.378 (0.380)	0.368 (0.367)

表5 図7の場合の M_x/P の値

点 荷重	C	D	E	F	G	H
L-①	0.212	0.183	0.155	0.130	0.119	0.104
L-②	0.160	0.190	0.230	0.261	0.284	0.293
ΣL	0.372 (0.375)	0.373 (0.377)	0.385 (0.385)	0.391 (0.387)	0.403 (0.400)	0.397 (0.399)

表3 図5の場合の M_x/P の値

点 荷重	C	D	E	F	G
L-①	0.143	0.124	0.109	0.097	0.085
L-②	0.229	0.265	0.290	0.300	0.302
ΣL	0.372 (0.372)	0.389 (0.386)	0.399 (0.398)	0.397 (0.400)	0.387 (0.390)

表6 図8の場合の M_x/P の値

点 荷重	A	B	C	D	E
L-①	0.287	0.278	0.257	0.223	0.187
L-②	0.106	0.120	0.137	0.159	0.187
ΣL	0.393 (0.395)	0.398 (0.397)	0.394 (0.393)	0.382 (0.382)	0.374 (0.377)

第11項までの和を示す。なお表の M_x/P の P について一言すると、図1のなかに示されている後輪荷重で実際の設計計算では道路の交通量によって $P=8000kg$ とする場合と $P=5600kg$ とする二通りがある。

§7 計算結果の検討

鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版を等方性板とみなすことは適当でないかもしれない⁷⁾がこの問題は一応除外しておく。表に示した値が(6)式を近似するものとして適当か否かについて考える。(6)式の各項すなわち、

$$\sin(m\pi c/a), \sin(m\pi u/a), \sin(m\pi x/a), \left[1 - \left\{1 + (1-\nu)\frac{m\pi d}{2a}\right\} \times e^{-m\pi d/a}\right]$$

などはいずれも m に関係しているが絶対値を考えるとどの項も全て1以下である。他方 $1/m^3$ は m が大きくなると急速に小さくなる。第11項までの和と第15項までの和との差は最大で0.004である。第20項の値を最大に見積ってみると0.0005になるので、各項の符号は正になったり負になったりするものであ

ることを考慮すれば、第21項以下は無視しても実用上は十分と考えられる。 M_x の値そのものを十分正確に求めるためには一応第20項までは計算しておくべきかと思われるが、第16項以降において $1/m^3$ の値を考えると第15項までの和と第20項までの和との差異は0.001ぐらいであろう。 x 軸上における M_x の分布を求めるのには第15項までの和でも差し支えはないと考える。10cm離れると M_x/P の差は0.001よりかなり大きいからである。

次に計算結果をみると M_x が最大になる点は F 点であることが分る。従って最大曲げモーメントが支間中央において生ずると考えるのは正しくない。示方書が設計曲げモーメントとして示している M_x の値は $0.43P$ であるがこれは理論値に若干の余裕を見込んでいるからである。示方書の計算による理論値は $0.386P$ 位である。

§ 8 あ と が き

2輪以上の輪荷重が支間方向に載荷される場合には主鉄筋方向の曲げモーメントが最大になるのは支間の中央よりいく分離れた点であることが計算により明らかになった。現実的な問題においては理論値に対してある程度の安全を見込むのは当然であるが、だからといって理論値を求むるに厳密を欠いてよいとはいえない。

参 考 文 献

- 1), 2), 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，日本道路協会，Feb. 1973
- 4) 石崎和美：平板の応力解析（未発表），Mar. 1974
- 5) S. Timoshenko and W. Krieger：Theory of Plates and Shells, McGRAW-HILL CO., 1959
- 6) 成岡昌夫他：構造力学（第Ⅲ巻），丸善，1970
- 7) 前田幸雄他：鉄筋コンクリート床版に関する二、三の考察（その3），土木学会学術講演概要集第1部，Oct. 1973

（昭和49年5月7日 受付）

鉄筋コンクリート柱の動的性状に関する実験的研究

(建築学科) 福 原 安 洋

The Experiment of Reinforced Concrete Columns under Dynamic Force

Yasuhiro FUKUHARA

The experiment was undertaken to study the characteristics of reinforced concrete columns under dynamic force.

For this purpose, five series of reinforced concrete column models comprising 34 specimens of 6 kinds of shear span ratio, 4 kinds of vertical stress, 3 kinds of web reinforcement aquirement, and 4 kinds of web reinforcement ratio were tested.

This report shows the strenth, ductility, dynamic hysterisis curves, and frictional damping of the reinforced concrete columns under dynamic force regarding shear span ratio, dimation of vertical stress and aquirement of web reinforcement.

§ 1 序

鉄筋コンクリート建築物が大地震を受けその構造体が大被害を被むった例は、最近でも、1968年十勝沖地震、1971年のサンフェルナンド地震があり、鉄筋コンクリート造建築物の耐震性に関し、その都度、論議された。その被害で、最も注目されるのは、柱の破壊に対するもろさであった。すなわち、柱が大地震を被った際、多少の損傷はやむを得ないとしても、地震力による動的な応力に対し、ねばりを有し、大破壊を生じなければ、建築物の崩壊という人命に対しても致命的な災害にまで至らなかったであろうということである。

このような柱の破壊性状あるいは、耐力性状に関しては、数多くの研究^{1)~6)}がなされ、それらの知識のもとに、鉄筋コンクリート柱の設計あるいは技術の発展をしてきた。

しかしながら、その研究のほとんどは、実験設備等の問題もあり、静的実験であるため、実際の地震が動的であることを考えると、破壊性状等に対し、疑問点も残っていたと言える^{1)~7)}。

そこで本研究は、鉄筋コンクリート柱の模型により、動的な実験を行い、その耐力性状、履歴曲線、破壊性状および減衰定数に関し検討を行った。

また、鉄筋コンクリート柱の耐力あるいは靱性に大きい要因であるせん断スパン比、鉛直軸力、そしてせん断補強筋の種類と、多少に関し、それぞれ動的性状の検討を試みた。

§ 2 実験概要

§§ 1 試験体および材料

試験体は図1に示すように、片持ばり型式のものであり、まず、せん断スパン比に関して、検討を行

うためAシリーズとして10個の試験体を作成した。またフープは普通フープのものもらせんフープのものと2種類とした。次に、Bシリーズとして軸力の異なるもの4種類計8個を作成し、フープもらせん形のものと普通形のものと2種類とした。

さらに、フープ形による差をみるためCシリーズとして3種類の試験体を作成し、またフープ量による差の検討を行うため、4種類のフープ量のもの合せて計12個を作成した。そのうち、8個は動的实验としてDシリーズとし、4個は静的实验としてEシリーズとした。以上、計34個の試験体の形状、および材料に関する一覧表を表1に示す。

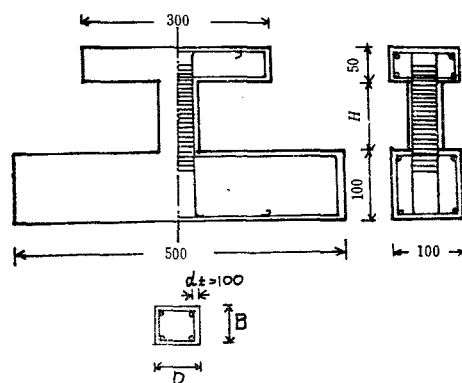


図1 試験体図

表1 試験体一覧表

シリーズ	試験体名	$B \times D$	H	M/Qd	N/bD	主筋	フープ	F_c	鉄筋降伏 応力度	
A	A-40-I	50×50	40	2.0	$\frac{1}{4}F_c$	4-6 ϕ	普通フープ 2 ϕ @10	(kg/cm ²) 280	(kg/cm ²) (6 ϕ) 3290	
	A-50-I		50	2.25						
	A-75-I		75	2.9						
	A-100-I		100	3.5						
	A-125-I		125	4.1						
	A-150-I		150	4.75						
	A-50-II		50	2.25			らせんフープ 2 ϕ @10	274	(2 ϕ) 2870	
	A-75-II		75	2.9						
	A-100-II		100	3.5						
	A-125-II		125	4.1						
B	B-0-I	70×70	210	4.2	0	4-6 ϕ	普通フープ 2 ϕ @10	308	(6 ϕ) 3290	
	B- $\frac{1}{4}$ -I				$\frac{1}{4}F_c$					
	B- $\frac{1}{2}$ -I				$\frac{1}{2}F_c$					
	B- $\frac{3}{4}$ -I				$\frac{3}{4}F_c$					
	B-0-II				0		らせんフープ 2 ϕ @10		(2 ϕ) 2870	
	B- $\frac{1}{4}$ -II				$\frac{1}{4}F_c$					
	B- $\frac{1}{2}$ -II				$\frac{1}{2}F_c$					
	B- $\frac{3}{4}$ -II				$\frac{3}{4}F_c$					
C	C-H-I	50×50	100	3.5	$\frac{1}{4}F_c$	6-6 ϕ	普通フープ 2 ϕ @10	228	(6 ϕ) (2 ϕ)	
	C-S-I						らせんフープ 2 ϕ @10			
	C-C-I						円形らせん 2 ϕ @10			
D	D-6.7-I	50×40	100	3.5	$\frac{1}{4}F_c$	6-6 ϕ	普通フープ 2 ϕ @6.7	200	(6 ϕ) 2790	
	D-20-I						〃 〃 @10			
	D-20-I						〃 〃 @20			
	D-50-I						〃 〃 @50			
	D-6.7-II						らせんフープ 〃 @6.7	233		
	D-10-II						〃 〃 @10			
	D-20-II						〃 〃 @20			
	D-50-II						〃 〃 @50			
E	E-6.7-I	50×40	100	3.5	$\frac{1}{4}F_c$	6-6 ϕ	〃 〃 @6.7	235	(6 ϕ) 2790 (2 ϕ) 1630	
	E-10-I						〃 〃 @10			
	E-10-II						〃 〃 @10			
	E-50-I						〃 〃 @50			
	E-50-II						〃 〃 @50			

§2 実験方法

加力方法は、図2および写真1に示すように、柱頭に重垂(約120kg)を固定し、振動台による強制振動を加え水平加力とした。なお、振動台の振幅は50mmで一定にし、振動数を0~4ヘルツの範囲で増

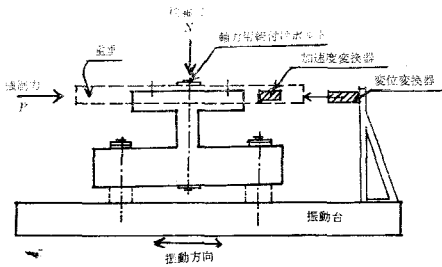


図2 加力測定方法

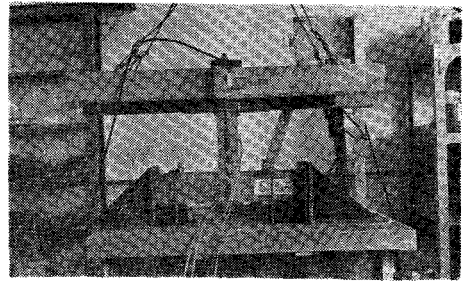


写真1 実験方法

加させることにより、水平力を増す方法とした。また、加力は0～2ヘルツまでは徐々に振動数を増し、以後は0.2ヘルツ増すごとに、約20サイクルの振動をさせては振動数を増し、終局破壊に至るまで実験を行った。

さらに、柱の鉛直軸力としてボルト締めにより、 $1/4 \sim 2/3 F_c$ の圧縮力を加えた。測定方法は、柱頭における水平方向加速度および水平変位を、それぞれ加速度計および変位変換器によりピックアップし、電磁オシログラフに記録させた。

なおEシリーズは、オイルジャッキによる静的加力を行い、約5回程度の正負繰り返し载荷を行ったものである。

§3 実験結果

降伏時および最大耐力時の耐力および水平変位の結果を表2に示し、さらに、動的履歴曲線の代表例を図3～6に、また、その最大荷重点の包絡線を、荷重—変位曲線として図7～図10に示す。

なお、荷重は $P = (\text{質量}) \times (\text{加速度})$ として算出したものである。

さらに、終局破壊の状態を写真2～6に示す。

表2 実験結果表

試験体	降伏耐力 $P_y(kg)$	最大耐力 $P_{max}(kg)$	降伏時変位 $\delta_y(mm)$	最大耐力時変位 $\delta_{max}(mm)$	試験体	降伏耐力 $P_y(kg)$	最大耐力 $P_{max}(kg)$	降伏時変位 $\delta_y(mm)$	最大耐力時変位 $\delta_{max}(mm)$
A-40-I	640	640	0.75	1.7	B- $\frac{3}{8}$ -II	440	565	2.5	8.0
A-50-I	640	640	0.75	1.7	C-H-I	420	427	3.5	6.0
A-75-I	405	445	1.05	1.9	C-S-I	400	497	5.6	11.5
A-100-I	390	340	1.1	5.0	C-C-I	320	396	3.0	7.5
A-125-I	340	400	1.3	4.6	D-6.7-I	350	360	2.0	3.5
A-150-I	280	340	2.0	5.5	D-10-I	320	365	1.6	2.9
A-50-II	740	740	1.2	2.6	D-20-I	250	300	1.7	1.5
A-75-II	440	500	1.5	3.0	D-50-I	240	250	0.8	1.5
A-100-II	350	440	1.4	5.5	D-6.7-II	380	470	3.0	8.5
A-125-II	300	380	1.4	5.3	D-10-II	450	470	2.5	4.5
B-0-I	250	280	3.1	12.0	D-20-II	410	470	1.5	2.5
B- $\frac{1}{4}$ -I	300	365	2.6	15.0	D-50-II	410	430	1.6	1.6
B- $\frac{1}{2}$ -I	360	470	2.1	11.5	E-6.7-I	490	560	3.0	8.5
B- $\frac{3}{8}$ -I	380	500	1.9	11.5	E-10-I	490	510	3.0	6.5
B-0-II	255	270	3.5	11.5	E-10-II	480	500	4.5	8.5
B- $\frac{1}{4}$ -II	330	415	2.5	11.0	E-50-I	490	490	3.9	3.9
B- $\frac{1}{2}$ -II	400	485	2.5	12.0	E-50-II	470	470	3.7	3.7

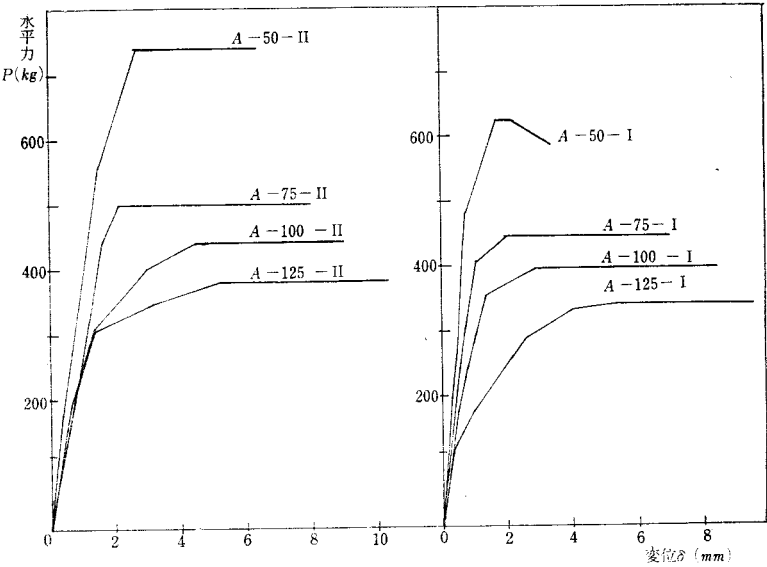


図3 荷重—変位曲線 (Aシリーズ)

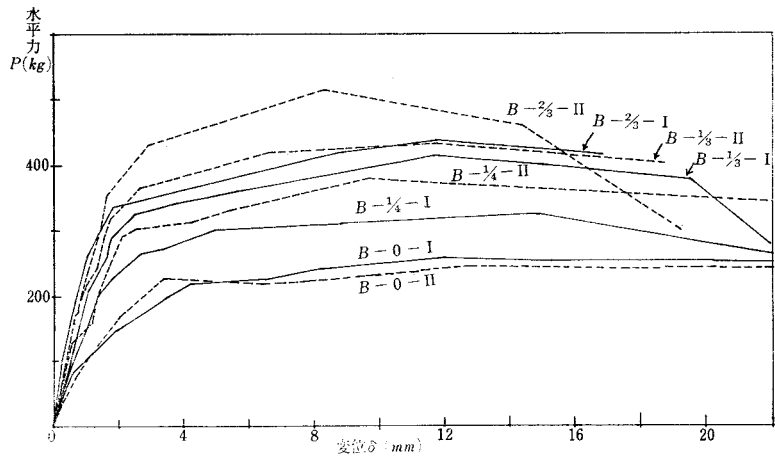


図4 荷重—変位曲線 (Bシリーズ)

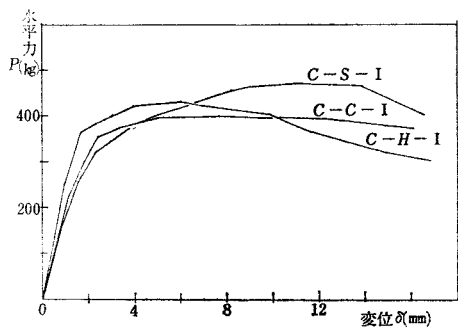


図5 荷重—変位曲線 (Cシリーズ)

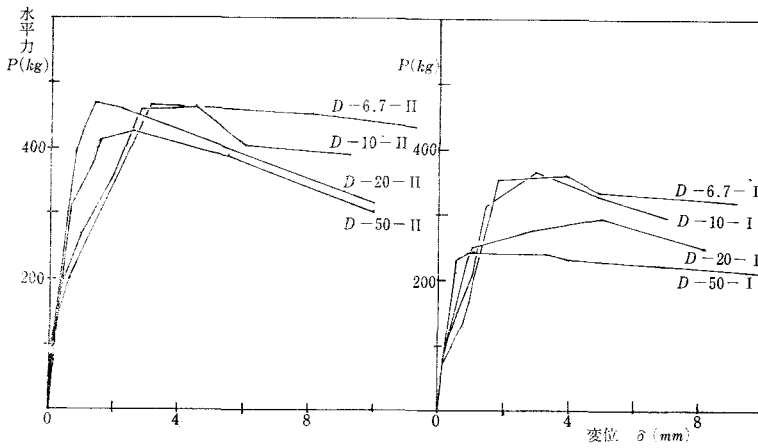


図6 荷重—変位曲線 (Dシリーズ)

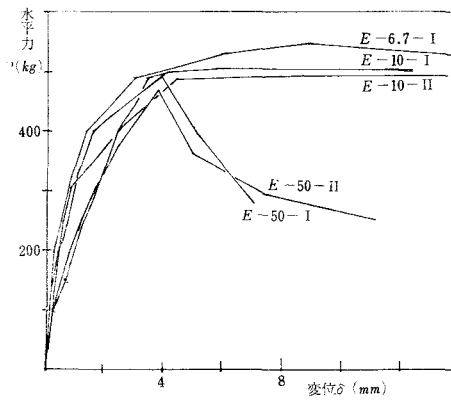


図7 荷重—変位曲線 (Eシリーズ)

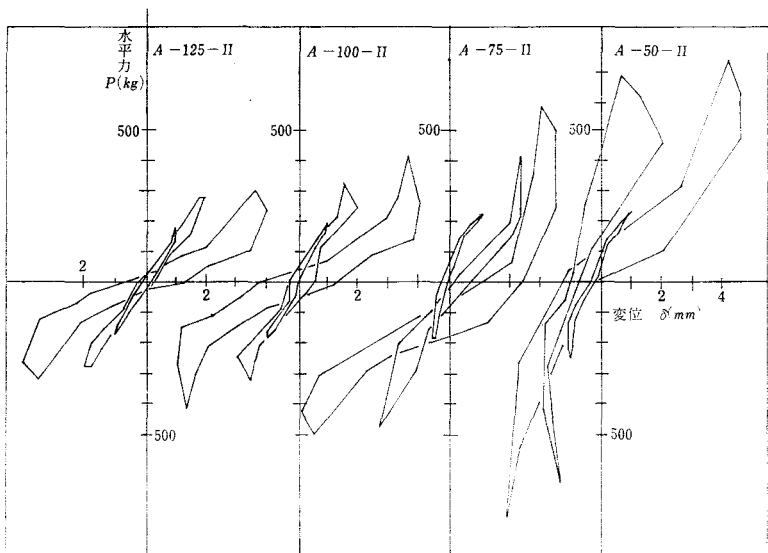


図8 履歴曲線 (Aシリーズ)

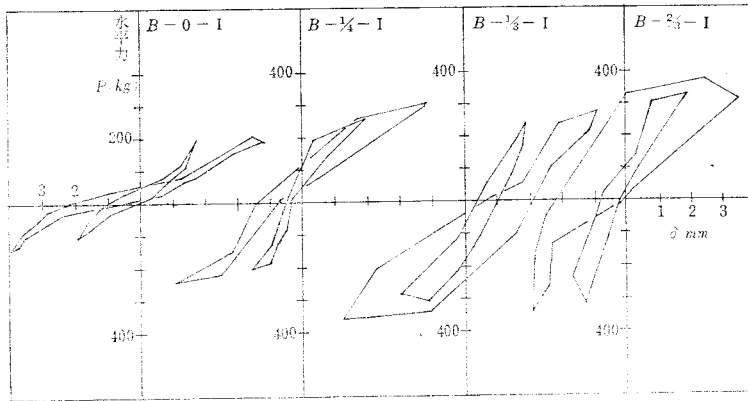


図9 履歴曲線 (Bシリーズ)

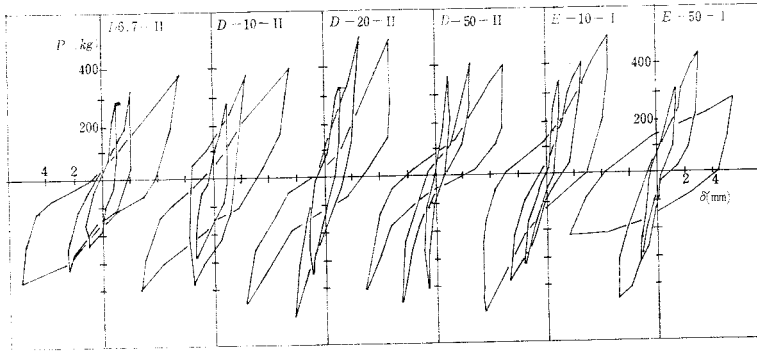


図10 履歴曲線 (D, Eシリーズ)

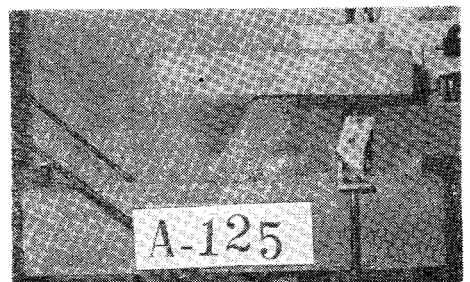
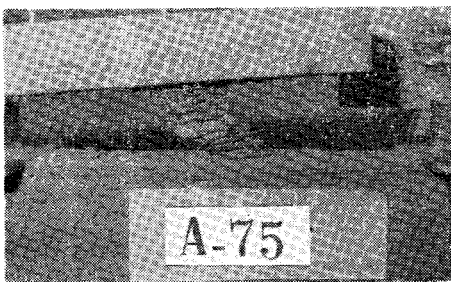
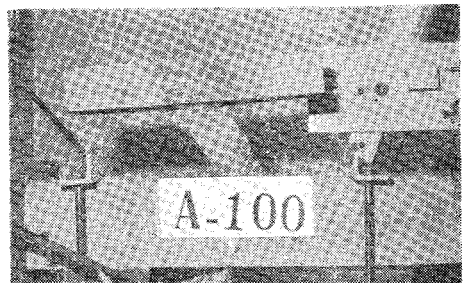
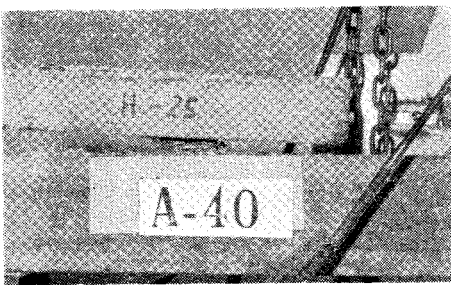


写真2 破壊状況 (Aシリーズ)

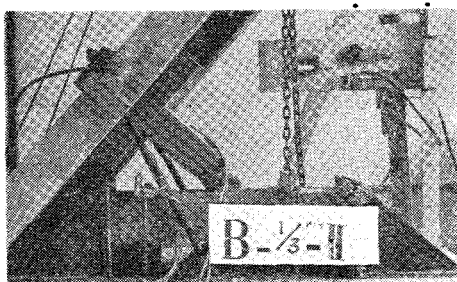
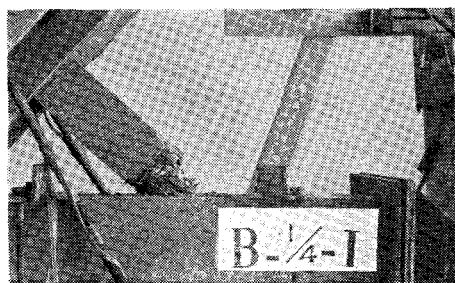
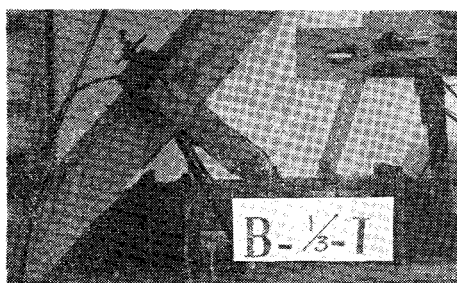
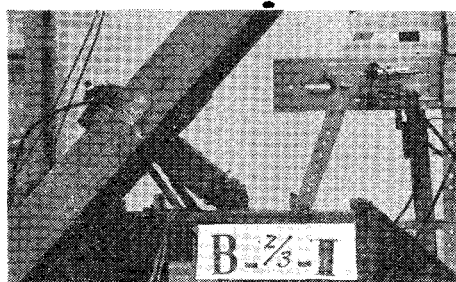
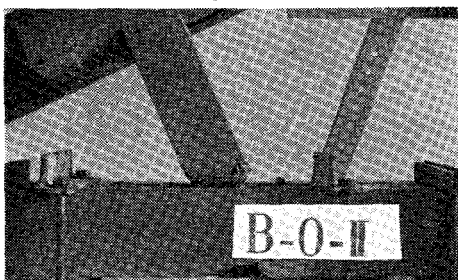
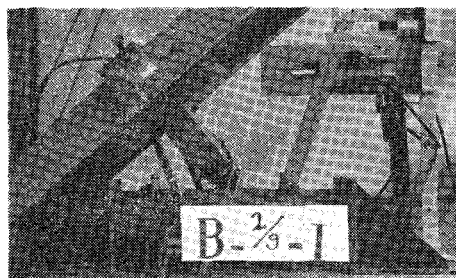
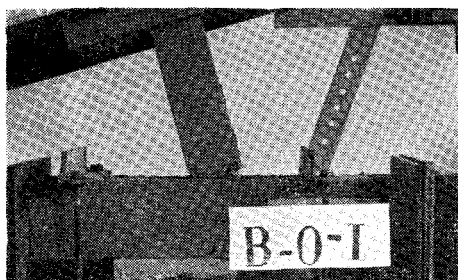
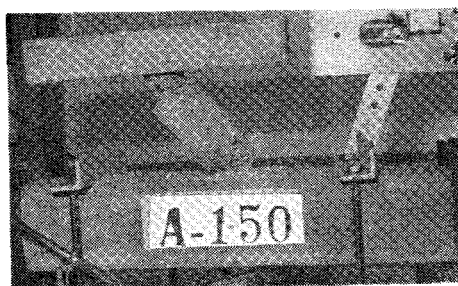


写真3 破壊状況 (B, Cシリーズ)

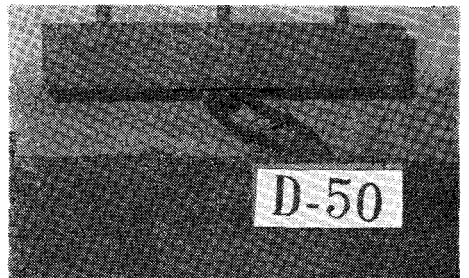
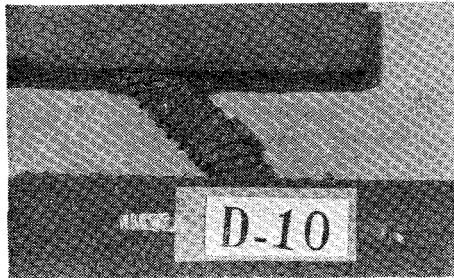
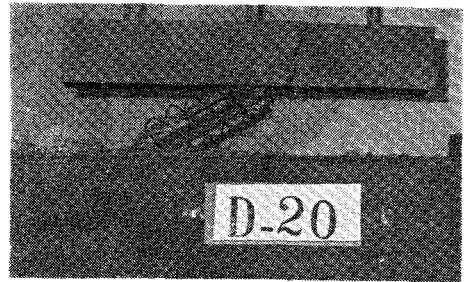
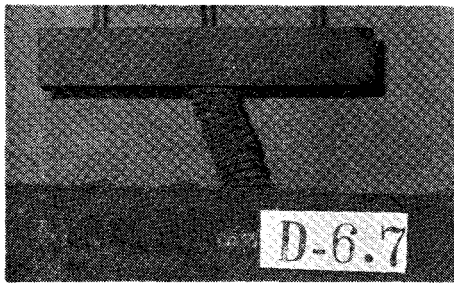


写真4 破壊状況 (Dシリーズ)

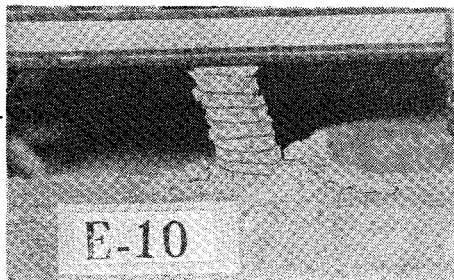


写真5 破壊状況 (Eシリーズ)

§4 検討および考察

§§1 セン断スパン比に関して

Aシリーズで、4種類のせん断スパン比 (M/Qd) に関して検討を試みた。

本シリーズの破壊に至るまでの経過をみると、せん断スパン比の大きい A—150, A—125, A—100 では、加力と共に柱脚部に曲げひびわれが発生し、鉄筋が降伏するか、圧縮コンクリートが徐々に損傷し、イールドヒンジ化して、A—150では主筋の破断、A—125ではコンクリートの剝離、飛散の後倒壊に至った。いわゆる曲げ破壊であり、最大荷重以後は10回前後の振動により倒壊した。

一方、せん断スパン比の小さいもののうち A—75は曲げひびわれ発生後、コンクリートの損傷部分は大きく、コンクリートの飛散は著しく倒壊に至った。また A—50, A—40は、曲げひび割れとほぼ同時にせん断ひび割れが発生し、コンクリート部分の損傷、飛散は急激であり、いわゆるせん断破壊形を示し、最大荷重以後はやはり10回前後の振動で倒壊に至った。

以上のように、破壊はせん断スパン比の小さいものほど急激で、その損傷の度合いが大きく、特に、せん断破壊形を示すものはそれが顕著であった。その状況は写真2～写真5に示される。

次に耐力に関しては、理論値として曲げ終局耐力は、建築学会規準書の終局強度略算法を用い、せん

断耐力として $0.1F_c \cdot b \cdot j$ を用いて実験値と比較してみると、図11に示すように、せん断耐力に関しては、せん断スパン比2.0と2.25のものにみられるように、理論値を多少上まわる。一方、曲げ耐力に関しては、せん断スパン比2.9以上のものは、理論値より多少小さく、せん断スパン比の小さいものほどその差が大きい。さらに、せん断スパン比が2.25のものは理論値に対して20～25%も小さいという結果となった。これらのことは、多数回振動のためコンクリートの損傷が静的実験の場合に比べ、大きいことが原因と考えられる。

また、降伏後の耐力上昇はせん断スパン比の小さいものほど、その割合も小さいが、これも振動による損傷の速度の大きさを示すものである。

さらに変形に関しては、図12に示すように、降伏耐力時では、せん断スパン比との関係はほとんどないが、最大耐力時では、せん断スパン比の大きいものほど変形が大きくなっており、せん断スパン比が3付近を境に著しいことが言える。このことは、いわゆるせん断破壊に顕著にみられる脆性破壊は、動的荷重時においては、せん断スパン比が3以下の場合に生じ、曲げ破壊により耐力の決まるものも含まれることを示すものである。

§2 鉛直軸力に関して

Bシリーズで、鉛直軸力の異なる4種の試験体の破壊経過をみると、いずれの試験体も曲げひびわれの発生に伴い、柱脚部分にイールドヒンジを形成し、軸力の小さいものでは主筋の降伏により、また、軸力の大きいものでは、圧縮コンクリートの圧潰により、それぞれ終局耐力に至った。そのイールドヒンジの状況は、軸力の大きいものほどコンクリートの剝離、離脱が激しく、かつ大規模で、軸力が $2/3F_c$ のものでは、柱脚から柱せいと同等分の高さまで、コンクリートは大損傷をきたし、フープで囲むコア内部のコンクリートまで飛散してしまった。

次に耐力に関しては、図13に示すように主筋の降伏によって降伏耐力に至る $B-0$ では理論値にほぼ一致するが、軸力が大きいものでは理論値を下回っている。これは、振動の度にコンクリートの剝離による断面欠損を生じることが原因となっている。

また、図4で明らかなように、軸力の大きいものほ

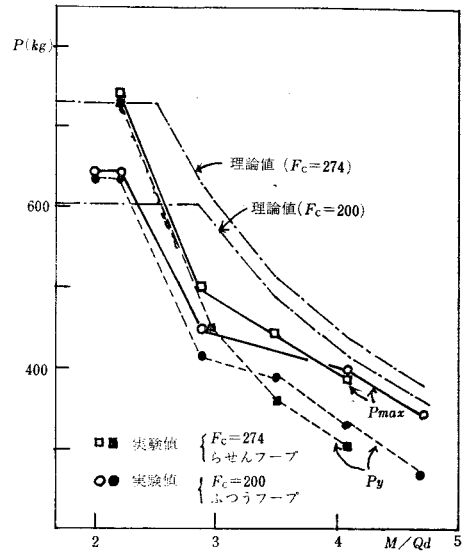


図11 $P_{max}-M/Qd$ 図 (Aシリーズ)

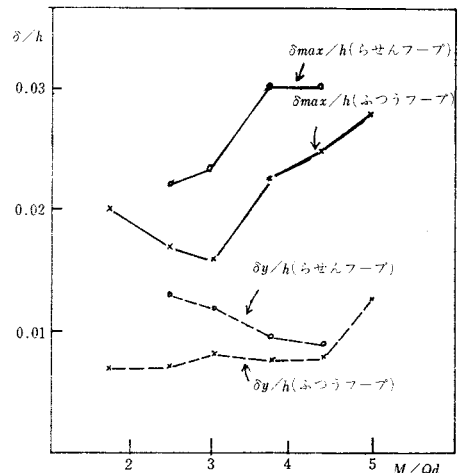


図12 $\delta/h-MQ/d$ 図 (Aシリーズ)

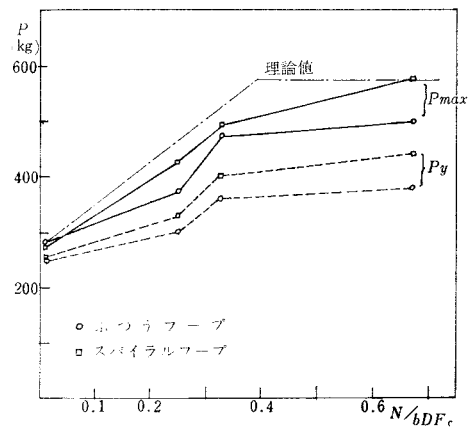
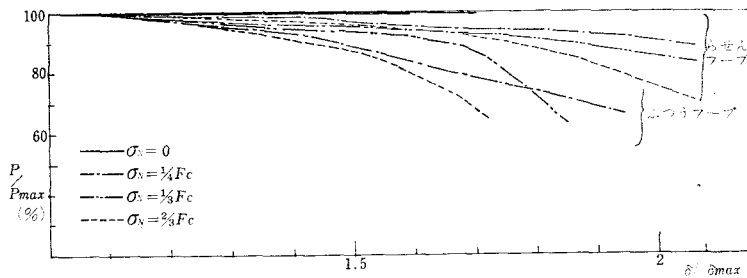


図13 $P_y, P_{max}-N/bDF_c$ 図 (Bシリーズ)

図14 $P/P_{max}-\delta/\delta_{max}$ 図 (Bシリーズ)

ど最大耐力時の変形は小さくなり、以後の耐力低下と変形の状態は図14に示すように、軸力の大きいものほどその低下率が大きくなった。このことは、軸力の大きいものほどねばりがないことを示す。

さらに理論値は、建築学会規準書の略算法に従っているが、今回の実験値がこれを下回することは、スケール効果の問題も含めて安全性という点で、振動性状を考慮して、改めて検討すべき問題点と考えられる。

§§3 フープ形に関して

鉄筋コンクリート柱の脆性破壊は、上述のごとくせん断スパン比の小さいもの、あるいは軸力の大きいものに顕著であるが、その防止法として、フープが考えられる。フープは、いわゆるせん断補強としての役割と同時に、コンクリート柱コア内部のコンクリートの脱落防止の役割を果すことが考えられる。そこで本研究では、まずフープ形に関しての検討のためCシリーズとして、普通フープ、らせんフープ、円形らせんフープの3種類の比較を行った。ただし、円形フープのものは円形柱とし、柱断面積を他のものと同じにしている。

結果は図5に示すように、降伏耐力、最大耐力ともに、らせんフープが有効であり、その時の変形も、らせんフープの方が大きく靱性に対しても有効であることを示した。この結果は、筆者の行った静的実験等⁵⁾でも明らかである。

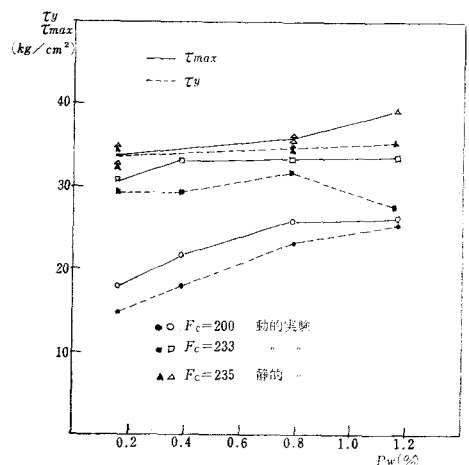
この結果は、A、B両シリーズにおいて、せん断スパン比の大小、軸力の大小にかかわらず有効である結果と合せて、らせんフープが動的な耐力および靱性に対して有効に働くことを示した。

§§4 フープ量に関して

鉄筋コンクリート柱の脆性破壊の防止とせん断補強のための方法として、フープ量を増すことが考えられる。

D、Eシリーズでは、いわゆるせん断破壊形の脆性破壊を生じる試験体でフープ量を変化させてみた。

まず実験経過をみると、フープ量の少いD-50、E-50はひびわれの発生は遅く、せん断ひびわれの発生と同時に最大耐力を示し急に耐力が低下し、D-50では鉄筋内コア部分のコンクリートは飛散した。一方、フープ量の多いD-10、D-6.7では、まず曲げひびわれを生じ、その後、せん断ひびわれが発生して、コンクリートの被りシェルの部分が剥離するが、コア内部のコンクリートはフープ内に留まり、急な

図15 τ_{max}, τ_y-P_w 図 (D、Eシリーズ)

耐力低下は生じなかった。また $D-20$ は、これらの中間の性状を示した。

以上を耐力に関してみると、図15に示すように、コンクリート強度の小さいものではフープ量の増加に伴う耐力増が明らかであるが、コンクリート強度の大きいものでは、フープ量に伴う耐力増はわずかであった。また静的実験のものと比べ、動的実験の場合は耐力は、振動の影響のため小さくなった。

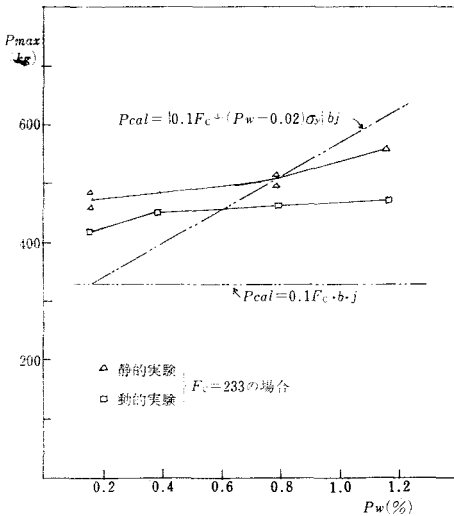


図16 $P_{max}-P_w$ 図 (D, E シリーズ)

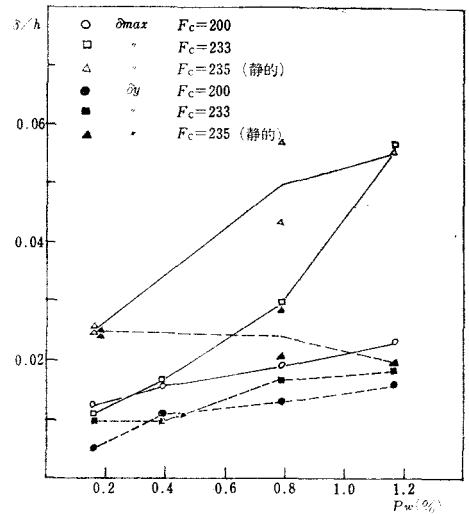


図17 $\delta/h-P_w$ 図 (D, E シリーズ)

この耐力を、現在の建築学会式の基本となる $P_{cal} = (0.1F_c + (p_w - 0.002)\sigma_y)bj$ とした計算値と比較したものを図16に示すが、動的実験値は、フープ量の大きい場合は、静的実験値以下は下回っている。

このことは動的耐力に対し、静的実験値に依った上記実験式を適用することの問題点があることを示している。

次に変形との関係をみると、図17に示されるように、降伏時においてはフープ量による差はあまりないが、最大耐力時においてはフープ量に比例して、その時の変形も大きくなった。また静的実験と較べると小さい。しかしながら、フープ量の多いものほど静的実験値に近づいている。

以上より、フープ量は耐力増のみならず靱性を発揮させるために有効であることが言える。

§5 履歴曲線および等価粘性減衰定数に関して

履歴曲線は、いずれも降伏前で逆S字型を示し、降伏以後は紡垂型を示した。これらの吸収エネルギーは耐震設計上重要であるが、その性質を表わすため、等価粘性減衰定数を用い、その一例を示したものが図18である。

その方法は、図19に示すように、

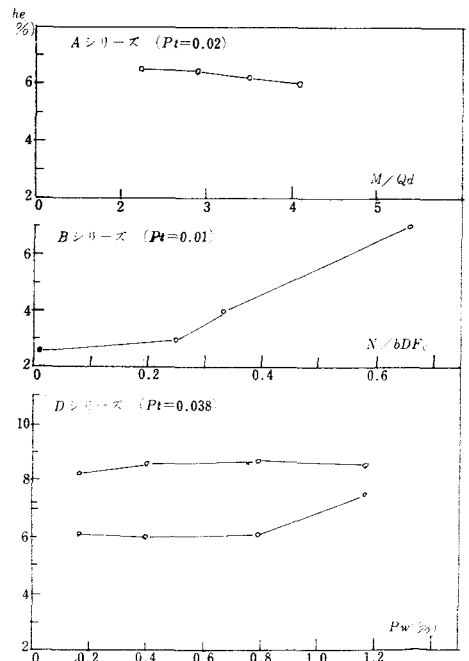


図18 等価粘性減衰定数の代表例

$$\Delta W = (OAB \text{ の面積}) \times 2$$

W = 履歴曲線の囲む面積

K = 剛性

T = 振動周期

$$\text{とすると, } h_e = T \times \sqrt{\frac{k}{m}} \times \frac{\Delta W}{W}$$

で表わされる。

等価粘性減衰定数は、全試験体において2～14%の範囲でバラついているが、大体において小変形時では小さく2～4%程度であり、降伏時以後で変形も大きくなり、コンクリートの損傷が大きくなる段階になると4～12%程度を示した。

さらに図18で明らかなように、せん断スパン比の小さいもの、フープ量の多いものほどやや大きい傾向があり、また軸力の大きいものほど大きい値を示した。

また同図で明らかなように、主筋比の大きいものほど、大きい値を示している。

以上の結果を破壊経過と照合すると、等価粘性減衰定数の大小は、コンクリートのひびわれ、損傷、剝離等の過程と関係し、その度合の大きい場合に、等価粘性減衰定数も大きくなるものと考えられる。

§ 5 結 び

以上の資料より貴重な結果を得たが、試験体が小さいことによるスケール効果に関しての問題は残っている。

しかし、鉄筋コンクリート柱の動的性状に関して、次のことが考えられる。

- 1) 破壊経過は、静的な実験に較べ、コンクリートの剝離、離脱等の損傷が顕著で、耐力の低下につながる危険性がある。
- 2) せん断スパン比の小さいものは、脆性破壊を生じ、その限界はせん断スパン比が3あたりと考えられる。
- 3) 軸力の大きいものは、コンクリートの損傷が大きく、耐力低下を生じ、また脆性破壊を生じる。
- 4) フープ形式に関しては、耐力に対する差はあまりないが、靱性という点で、スパイラルフープの方が有効である。
- 5) フープ量に関しては、耐力上昇に対する効果より、むしろコア内部のコンクリートの脱離などの損傷をカバーし、柱の靱性を高める効果が大きい。
- 6) 減衰定数は、主筋量による影響が大きい、大体において、小変形時では2～4%、大変形時では4～12%程度であり、コンクリートの損傷過程に応じて大きい値を示す。

以上、本研究は鉄筋コンクリート柱の動的性状のアウトラインを示すものであるが、耐震設計上、さらに追求すべき問題点を指摘できた。今後その問題に関し、研究の必要を感じている。

最後に本研究にあたり、御指導を頂いた広島大学嶋津助教授をはじめ、実験に携わり研究を共にした本校卒業研究の学生諸君に深謝します。

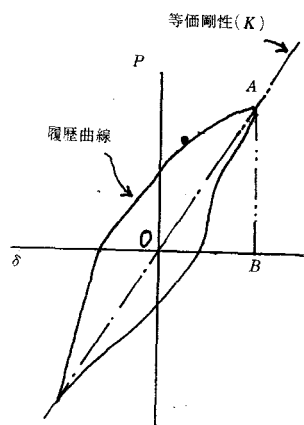


図19

記 号

F_c : コンクリート強度	M/Qd : セン断スパン比	M : 曲げモーメント
Q : セン断力	b : 柱幅	d : 柱有効せい
$j : 7/8 \times d$	p_w : フープ筋比	σ_y : フープ降伏応力度
p_t : 主筋比		

参 考 文 献

- 1) 黒正清治：鉄筋コンクリート部材の終局強度，JANCC，vol. 5，No.9，1967.
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準，同解説.
- 3) 山田稔：1968年十勝沖地震害におけるRC柱の剪断爆裂に関する考察，日本建築学会論文報告集，170号，昭45.4.
- 4) 池田昭男：塑性域における多数回繰返し応力を受けるRC柱の性状，日本建築学会論文報告集，57号，昭和32.7.
- 5) 福原安洋：鉄筋コンクリート柱の配筋方法による耐力への効果に関する実験的研究，呉高専研究報告，vol. 5，No.2，March，1970.
- 6) T. Takeda, M.S. Sozen, Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, ASCE, Dec. 1970.
- 7) E.F.P. Burnett : Bending-An Examination of Assumptions, ACI, Feb. 1973.

(昭和49年5月7日 受付)

地盤の振動特性を考慮した構造物の地震応答解析

(建築学科) 正 野 崎 昭 二
 (徳島大学情報工学科) 富 田 豊
 (東京工業大学建築学科) 池 田 耕 二

The Effect of the Proper Dynamic Characteristics of Ground Surface on Structure Response

Shoji SHONOUZAKI
 Yutaka TOMITA
 Koji IKEDA

In the discussion of the dynamic behavior of a structure during an earthquake, we generally think if the period of the ground surface agrees with the structure's period, the response of structure will abruptly enlarge. But there is also an opposing opinion to this, for instance, Dr. Ohsaki's "EARTHQUAKE DAMAGE TO REINFORCED CONCRETE BUILDINGS AND SUBSOIL CONDITIONS". (Trans. A.I.J. No. 148, June 1968)

So it is an important subject to investigate the tendency of the dynamic behavior of a structure considering the proper dynamic characteristics of the ground surface.

In this paper, we appraise the structure response by Response Spectrum and investigate the effect of the proper dynamic characteristics of the ground surface on the structure response.

§ 1 緒 言

構造物を動的に設計する際の構造物の動的評価、および動的解析に関する研究は非常に進んできているが、地盤の振動特性を考慮した構造物の応答解析は、地盤の振動特性を定量的に評価することが困難だったため、研究はそれほど進んでいなかった。しかし最近では、常時微動の測定・地震波の速度測定などの測定方法の進歩、また地盤振動のデータの増加等に伴い地盤の振動特性を定量的に評価することがある程度までは可能になってきた。そして表層地盤を1質点と考えてもさしつかえないという結果も報告¹⁾されている。

ところで、地盤の振動特性により地震時の構造物の被害が大きく違ってくる典型的な例としてよくあげられるのが、関東大震災の時の下町と山の手との被害の違いである。下町では木造建築の被害が多く、山の手では土蔵などの被害が多かった。これは下町の地盤が沖積層であり、山の手地盤が関東ローム層であったためと考えられている。つまり、沖積層は比較的軟弱であるために長周期の地震波が強められ比較的固有周期の長い木造建築に大きな影響を与え、関東ローム層は硬い地盤であるために短周期の地震波を強め、固有周期の短い土蔵に大きな影響を与えたと説明²⁾されるのである。しかしそのような「共振現象」の一般的な概念では説明がつかない被害があることも報告³⁾されている。したが

って、地盤の振動特性を考慮して構造物の応答を調べることは先に述べた「共振現象」の一般的な概念の正否を考える上で非常に重要な課題となってくる。

本報告は、地盤によって周波数選択および増幅された地震波が構造物に入力した場合の構造物の応答を応答スペクトルによって評価し、地盤の振動特性が構造物の応答に与える定性的な影響を研究したものである。

§ 2 解析モデル

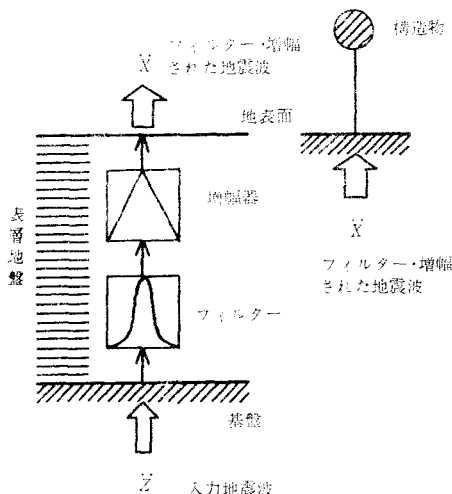


図1 表層地盤の考え方

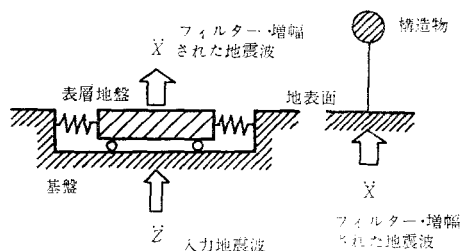


図2 実際の物理モデル

本報告は地盤の振動特性を考慮した構造物の応答スペクトルを計算することである。ところで地盤の振動特性というものはその解析的構造というものはわからないが、幾多の地震を観測し分析することによってその地盤の持つ固有の特性だけはある程度確実に掴むことができる⁴⁾。その特性として実用上必要なものは、図1に示すような表層地盤の周波数選択特性（フィルター特性）と増幅度特性である。

またこの2つの特性は、表層地盤を1質点系に置換することによって得ることができる¹⁾ ということ はすでに緒言で述べた。したがってこの物理モデルを図に表わせれば図2となる。基盤に達した地震波が表層地盤によって周波数選択・増幅されて地表面に達し、この地表面に達した地震波が構造物に入力することになるのである。このようにして地盤の振動特性を考慮した構造物の応答を求め、構造物に地震波が直接入力した場合の応答との比較を応答スペクトルによって行うのである。

なお本報告における基盤とは、ある地理的範囲（たとえば呉地区といった程度の意味）に亘って、個々の地震についてその震動特性が一樣である地層という意味をもつものとする。

§ 3 解析方法および諸常数

§2で述べたモデルを解析するためには、一質点系の応答計算つまりは一階の微分方程式の数値解析が必要となる。一階の微分方程式の数値解析の方法としては種々の方法があるが、今回は線型加速度法⁵⁾を使用することにした。

モデルを解析するために与えなければならない常数としては、表層地盤の固有周期・減衰常数および構造物の固有周期・減衰常数があるが、表層地盤および構造物の減衰常数については実験値が求められている⁶⁾。表層地盤の減衰常数は普通は15%前後であるが、基礎と地盤との接触面で振動エネルギーを

逸散させ、見掛け上の減衰を有する。このような減衰を地下逸散減衰といっており、この地下逸散減衰を見込んで表層地盤の減衰常数は25%とした。構造物の減衰常数は一般的な3%を採用した。構造物の固有周期は、応答スペクトルであるので0.02~4.0秒とした。表層地盤の固有周期は0.1~1.5秒について解析したが、結果として応答スペクトルを書いたのは、表層地盤の振動特性の影響がよく表われる0.2, 0.6, 1.0, 1.5秒である。

諸常数を列記すると下の如くなる。

☞ 表層地盤：

$$T_G = 0.2, 0.6, 1.0, 1.5 \text{ (sec)}$$

$$h_S = 0.25$$

構造物：

$$T_S = 0.02 \sim 4.0 \text{ (sec)}$$

$$h_G = 0.03$$

添字 G は Ground, S は Structure を表わす。

なお入力地震波には、EL-CENTRO 地震 (CALIF. U.S.A. 1940.5.18. NS 成分) と TAFT 地震 (CALIF. U.S.A. 1952.7.21. EW 成分) を使用した。

§ 4 解析結果および考察

解析結果の加速度応答スペクトルを図3に、変位応答スペクトルを図4に掲げる。

図3の加速度応答スペクトルを見ると、構造物の固有周期が長い場合、直接入力した場よりも小さくなっている。0.9~1.2秒を境にしてそれよりも構造物の固有周期が短い場合には直接入力した場合よりも1.5~2.0倍程度大きくなる。これは地盤が中程度の硬さもしくは軟弱な場合の一般的な傾向であるが、良好な地盤の場合は構造物が長周期になると加速度応答はほとんど出てこず、地盤の固有周期に近い周期を持つ構造物の加速度応答はかなり大きくなっている。「共振現象」は地盤の固有周期が1.0秒以下の場合に起っているように思える。

図4の変位応答スペクトルを見ると、一般に直接入力した場合の変位応答は、構造物の周期が短周期の場合には小さいのであるが、軟弱な地盤から中程度の硬さの地盤の場合には、構造物の周期が短周期であっても1.5~2.0倍程度の大きな値が出ている。しかし良好な地盤の場合には構造物の固有周期にかかわらず小さい値となっている。地盤の種別にかかわらず構造物の固有周期が長い場合には、応答量はかなり小さい値となっている。

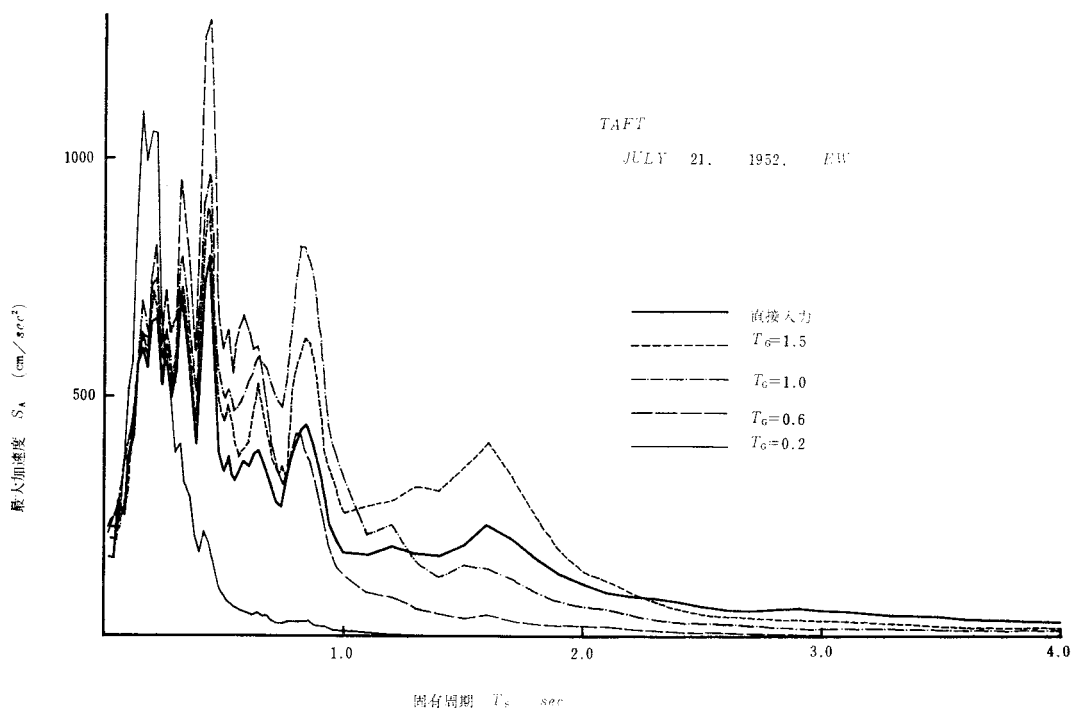
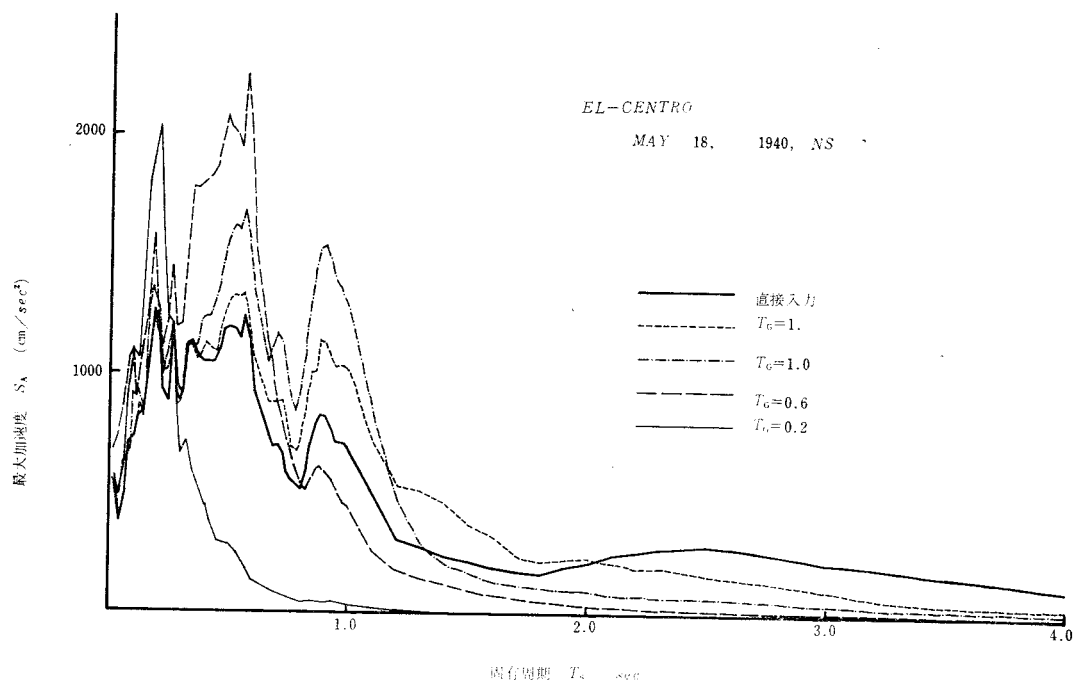


図3 加速度応答スペクトル

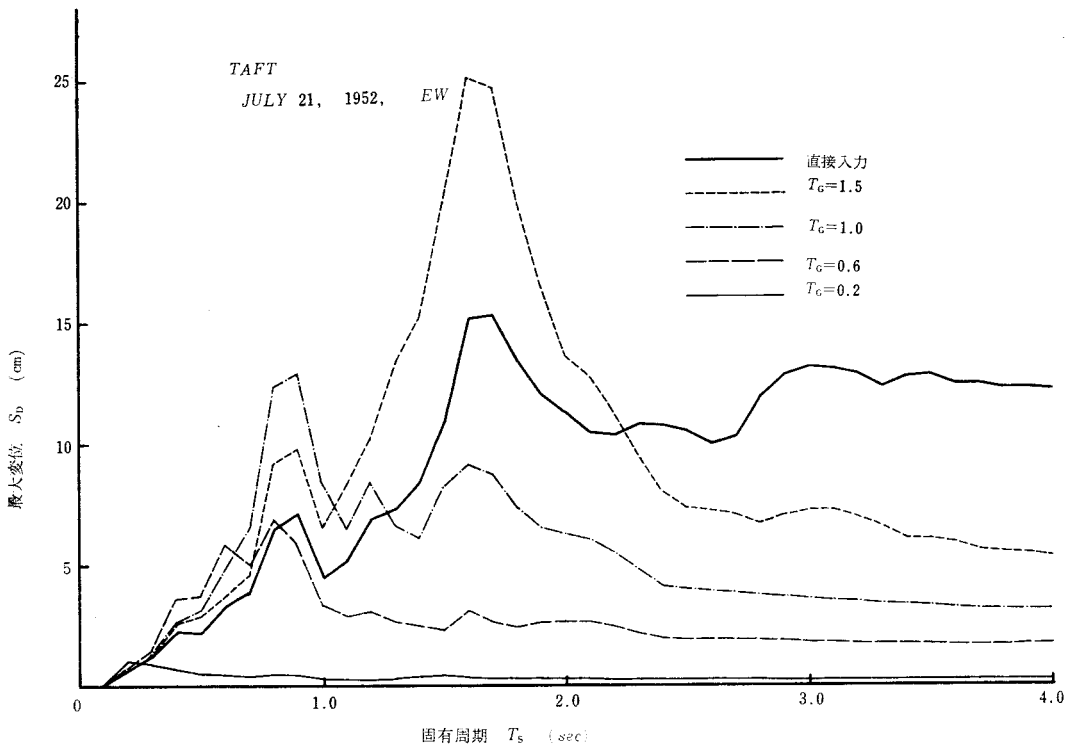
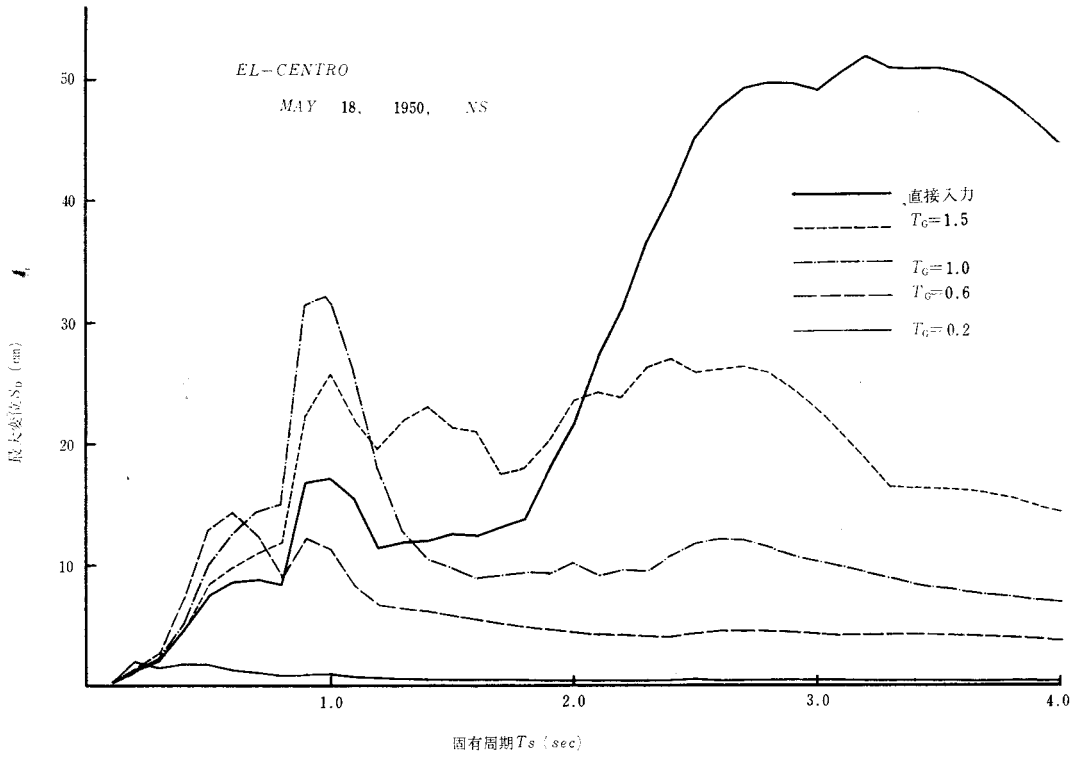


図 4 変位応答スペクトル

§ 5 結 論

以上の結果をまとめると次の結論が得られる。

1. 表層地盤の周波数選択が構造物の応答に与える影響はそれほど支配的ではない。
2. しかし加速度応答において、地盤が短周期の場合は「共振現象」とも思えるものが表われるので、やはり地盤と構造物の固有周期は構造物の周期を長周期側にずらす事を考えるべきである。
3. 地盤の振動特性を考慮した場合、長周期となる柔構造あるいは超高層の構造物は耐震上非常に有利である。

§ 6 結 言

本報告での解析は、表層地盤を一質点系に置換するという単純なモデルによる解析であるため、地盤の振動特性を考慮した場合の構造物の応答の傾向を求めるにとどまった。

しかし、地盤の振動特性を考慮した際に応答性状が大きく変わってくるという事実は耐震設計上非常に大きな意味を持つものである。したがって、今後地盤と構造物の「相互作用」をもり込みさらに研究を続けて行きたい。

なお本報告において使用した地震の読取り資料は、東京工業大学小林研究室の小林博士、長橋博士の御好意により借用させていただいたものである。ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山原浩：地盤の振動特性を考慮した地震時の地動の推定(その2) 日本建築学会論文報告集第176号, 昭和45.10
- 2) Kanai, K.: Relation between the Earthquake Damage of Non-Wooden Buildings and the Nature of the Ground, Bulletin of Earthquake Research Institute, Tokyo University, Vol. 27, 1949
- 3) 大崎順彦・国安圭子：鉄筋コンクリート造建造物の震害と地盤. 日本建築学会論文報告集第148号, 昭和43.6
- 4) 山原浩：地盤の振動特性を考慮した地震時の地動の推定(その1) 日本建築学会論文報告集第175号, 昭和45.9
- 5) 小林啓美他：「地震工学」彰国社, 昭和43
- 6) 内藤多仲監：「耐震・耐風構造」鹿島出版会, 昭和47
- 7) 河角広編：「地震災害」共立出版, 昭和48

(昭和49年5月7日 受付)

編 集 委 員

大	下	隆	章
山	本	勇	三
笠	松	義	隆
綿	井	伸	爾
竹	村	和	夫
藤	井		健

呉工業高等専門学校
研究報告

創立10周年記念号
第10巻 第1号 (1974)
(通巻 第14号)

昭和49年10月印刷

昭和49年10月発行

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

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

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

FOR THE TENTH ANNIVERSARY
VOLUME 10 NUMBER 1, 1974

1. A Short Biography of SUKEMORI TAIRA (2) —His Love for Ukyo-dayu—	Jun OBAYASHI..... 1
2. An Exploratory Inquiry into the Use of Prepositions in "spend time (in) doing" and Some Analogous Constructions	Ryoji KUMAGAWA..... 11
3. Notes on the Influence of Japanese in Japanese-English Translation	Ryoji KUMAGAWA..... 19
4. On Measurement of Weight of Carbon Particles in Diesel Smoke	Isao KUBOTA..... 25
5. Studies on the Specific Sliding of the Cycloidal Cam with the Oscillating Follower (Report 1)	Hironori ITOSHIMA..... 31
6. Studies on the Plastic Working (Report 2) —Investigation of the Roll Pressure—	Toshiyuki SATONOBU..... 43
7. A Method of the Stress Analysis of the Cam	Minoru NOHARA..... 57
8. The Visibility of the Pilot Lamps in the Fire Smoke under Lighting Using Low Pressure Sodium Lamps	Kazuhiko HARADA..... 65
9. AC Linear Network Analysis Programs (Report 2)	Shigeki MURAKAMI..... 69
10. A Conversational Mode Analysis Program for Electronic Circuits Using Mini-Computer, "APEC"	Yoshinobu KUROSE and Nobuyuki YOSHINO..... 73
11. Calculation of Bending Moments in a Plate	Seiro MARUGAMI..... 85
12. The Experiment of Reinforced Concrete Columns under Dynamic Force	Yasuhiro FUKUHARA..... 93
13. The Effect of the Proper Dynamic Characteristics of Ground Surface on Structure Response	Shoji SHONOZAKI, Yutaka TOMITA and Koji IKEDA.....107