

わが国の設計慣習に立脚したプログラムシステム

(株)構造計画研究所

服部 正 ・ 加藤 進

序

computer が急速に普及するに従って、computer に対する要求が hardware 及び software 両面に対し次々に打出されている。hardware に対してはより速い演算時間を、より大きな記憶容量をの要求がエロ、LSI への発展をうながし、software に対しては、より簡単な言語 system の要求が compiler から problem oriented language (P.O.L.s) の開発をうながしている。産業界をにぎわしている M.I.S. の成否は、高性能の P.O.L. の開発が一つの鍵を握っているとも言える。この言語 system に関する傾向は我が構造工学界に於ても例外ではなく、構造技術者が専門に programming 技術の修得なく、今に computer を使いこなすためには、構造技術者のための programming language の必要性が痛感されるのである。筆者らはかねてよりこの点に着目し、“我が国の設計慣習に立脚した program system” の開発研究を進め、部分的に幾つかの論文を報告してきたが、本論に於てその全貌を紹介し、諸賢の御批判を乞い度いと思う。

computer の普及以前には研究の目的、その方法論が定まった後に於ける実際の作業の占める比率の大半は、時には卓上計算機を毎年にも亘って操作しつづけ、得られた結果が研究の全てであるかの如き予言を呈したり、又時には設計に於て計算そのものが設計の全てであるかの如き錯覚に陥る事実によって計り知ることが出来る。computer の出現はこれらの本末顛倒を是正する手段として迎えられ、その成果とある程度は挙げたと見てよい。しかしその反面 programming 技術の修得の難かしさが、又 program に要する負担の過大から、別の意味に於る本末顛倒が生じたことも事実である。その昔、computer を使うためには、computer の論理回路の研究から始めなければならないと思ひ込んだ時代があり、その後 programming 技術の修得から始める時代を経て、今日は programming 技術の修得なく、構造の専門的知識のみで完全に computer を使いこなせる時代へと移り変わりつつある。

誰にでも簡単に使いこなすことの出来る program system を希む声は米国に於てより旺んであった。S. J. Fenves, S. S. Jagan, O. C. Zienkiewicz 等の諸研究は STRESS, FRAN 等の system program を生む下地を作ってきた。COGIC の開発は、compile 言語に於る FORTRAN と同じ意味で構造関係の P.O.L.s の可能性を示しに意義は大きい。続いて STRESS, STRUDL, BRIDGE 等構造関係の program system が次ぎ次ぎに開発され、その効用も大きい。しかしこれらは米国に於いて開発発展された program system であり、我が国に於てそのまゝ利用するには、設計慣習の差があまりに大きく、又大学に於る研究の主体としたこれらの system は米国に於てより設計の実情にそぐはない点が多く、ここに我々の開発した program system の意義があるのである。

我が国に於る構造工学の独自の発展は、地震或は台風等の自然条件に当然考えられなければならないことである。特に地震に対しては明治大正期の西洋建築の模倣が関東大震災の結果明らかになった敗退を見て、以後の耐震構造に於る幾多の研究を支えられた独自の発展は computer 導入後も当然生かされなければならないのである。ここに本 system の第一の特徴がある。

次に実用上の観点から、computer に送り込む情報の与え方に本 system 第 2 の特徴がある。前記米国の system は利用者の立場から考えれば、情報量の膨大な点からいわずに data miss を誘発する危険が高く、単に実用上の問題と切り片づけられない意味がある。如何にして data miss を防ぐかは今後増々大きな問題として取り上げなければならぬ。

第 3 の特徴は解析手法の取扱いにある。応力解析に於て動的解析と静的解析とを全く独立の問題として扱うのではなく、相互の関係を常に考慮しながら解析が進められる様配慮されている。この問題は次の system 構成に於て更に詳細に説明する。

5 System 構成

System 構成の概要は次の 3 項に分け、その各々について構成及び特徴等と記述し度い。

- 1 Data preparation
- 2 応力解析
- 3 設計

1 Data preparation

手作業の時代に於ては、数 100 節点に及ぶ架構を真正面から解くことは到底考えられないことであったが、computer により容易に解析できるようになると、解析に必要な膨大な情報を全て正しく computer 内に送り込むことの難しさが新たに表面に出て来た。この問題は、非常に大きな問題で、本 system が構造用 language としての使命を果たすためには先づ第 1 にこれを解決しなければならなかった。本 system はこの問題を次の 3 点により解決しようとした。

i) 記述方式 一般の言語の様に記号による記述方式ではなく、規定されたコーディングシートを用いた input data controlling による記述方式を採用したことである。

。即ち coding sheet の空欄を次ぎ次ぎにその指定すべき項目を埋める様に記述することによって自動的に programming が出来る。programming の基本的知識を必要としない言語としては各種の command とその機能を教えるなければならない方式に比し、定まった form の各項に専門技術の範囲内で numeric description を行わせる方法が優れているといえよう。

ii) 同種の省略 構造物の幾何学的情報や、材の物理的性状の与え方に関する配慮である。構造物の構造架構は、特殊なものを除いては整然たる規則性を有している場合が多く、もしこれを解くものが computer でなく人間であれば「同種の省略」という手を用いるに相違ない。即ち「以下これに同じ」或は「特記なき限り上に同じ」とかの表現は、情報の伝達方法としては最も巧妙な手段である。この様な方法を computer にとらせる論理を program 化して入力情報の簡略化を極めて高い水準で行わせる様に務めた。

iii) 架構への展開 特殊な場合を除き通常我々は構造物から平面架構を抽出して解析を行っている。

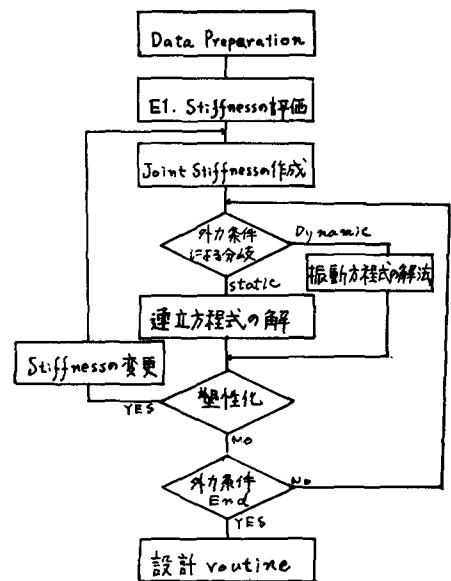


Fig. 1

が、対象として扱っている平面架構は構造物のうちの一つの抵抗機構の *element* に過ぎない。
 一般に分解されて *element* を入力情報として与えるよりも、構造物全体を与えて *computer* 内で架構に展開させる方がはるかに情報量が少ない。このことは並列架構の積力伝担の問題及び構造物の経済性の追求等の際に、別の観点からの利点もある。以上の諸点は Fig 2-(a) に示す構造物と Fig 2-(b) に示す *coding sheet* との対比により実感をつかみ得るであろう。Fig 2-(b) の情報から全ての設計資料、即ち各種荷重による応力、設計用応力の組合せ表、必要鉄筋量の算出等が得られるのである。

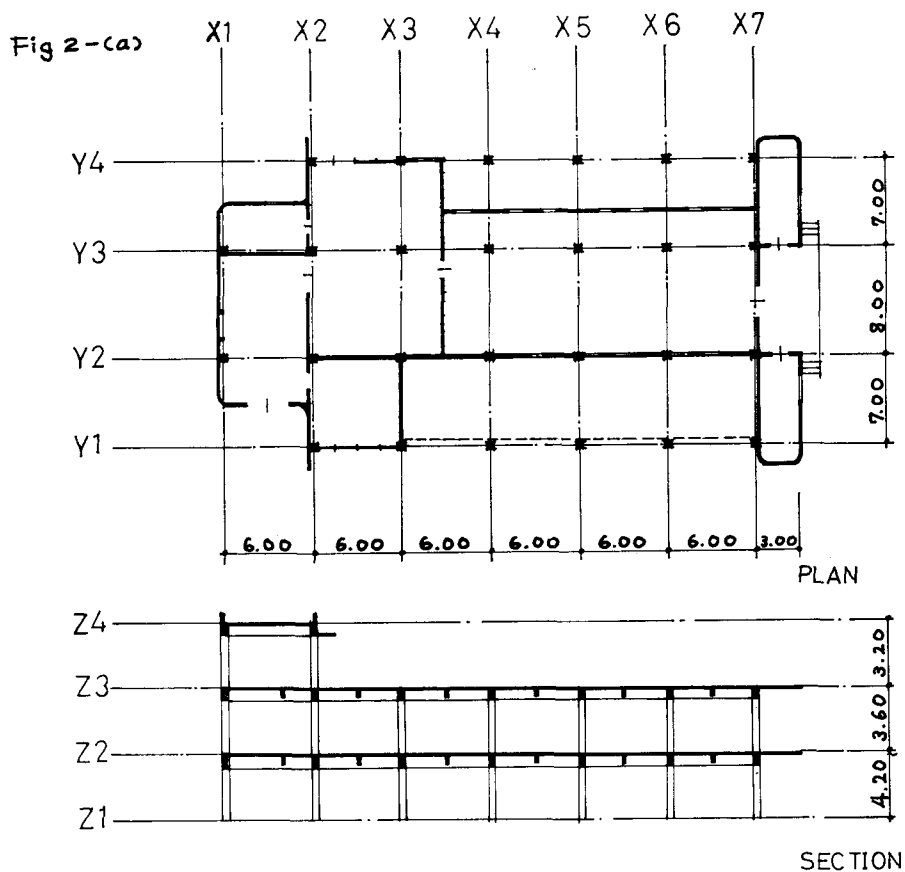


Fig 2-(b)

STAN I DATA INPUT TYPE II			
II.1 PROJECT NAME (INCLUD. CAL. OF EXT. FORCE)			
SAKATA			
II.2 GENERAL			
SPAN MAX		FLOOR MAX.	
X	Y	Z	
6	3	3	

II.3 CONFIGURATION

(1) SPAN X DIRECTION (m)

1	2
6.00	6.00

(2) SPAN Y DIRECTION (m)

1	2	3	4	5	6
7.00	8.00	7.00			

(3) FLOOR HEIGHT Z DIRECTION (m)

1	2	3	4	5	6	7	8
4.20	3.60	3.20					

II.4 MATERIAL DATA

FLOOR START	FLOOR END	YOUNG'S MODULUS (kg/cm ²)	SHEAR MODULUS (kg/cm ²)	CONCRETE UNIT WEIGHT (t/m ³)	*1	*2 (L)	*3 (S)	*4 (L)	*5	ALLOWABLE STRENGTH OF CONCRETE kg/cm ²
1	4	21000	9000	2.40	180	1600	2400	7.2	*2,3	ALLOWABLE STRENGTH OF STEEL BAR kg/cm ²

II.5 MEMBER DATA

(1) X DIRECTION GIRDER				1				2			
FLOOR	WIDTH (cm) B	DEPTH (cm) D	HAUNCH DEPTH D' (cm)	X-DIRECTION		Y-DIRECTION		X-DIRECTION		Y-DIR	
				SPAN START	SPAN END	AXIS START	AXIS END	SPAN START	SPAN END	AXIS START	AXIS END
1	35.0	120.0									
2	35.0	80.0									

(2) Y DIRECTION GIRDER				1				2			
FLOOR	WIDTH (cm) B	DEPTH (cm) D	HAUNCH DEPTH D' (cm)	X-DIRECTION		Y-DIRECTION		X-DIRECTION		Y-DIR	
				SPAN START	SPAN END	AXIS START	AXIS END	SPAN START	SPAN END	AXIS START	AXIS END
1	35.0	120.0									
2	35.0	80.0									

(3) Z DIRECT. COL.				1				2			
FLOOR	WIDTH (cm) B	DEPTH (cm) D	HAUNCH DEPTH D' (cm)	X-DIRECTION		Y-DIRECTION		X-DIRECTION		Y-DIRECTION	
				SPAN START	SPAN END	AXIS START	AXIS END	SPAN START	SPAN END	AXIS START	AXIS END
1	60.0	60.0									
2	55.0	55.0									

II.6 BEAM DATA

FLOOR START	FLOOR END	BEAM NO.	WIDTH (cm)	DEPTH (cm)	FLOOR START	FLOOR END	BEAM NO.	WIDTH (cm)	DL (t/m)
2	4	1	30.0	65.0					

II.7 BEAM ARRANGEMENT

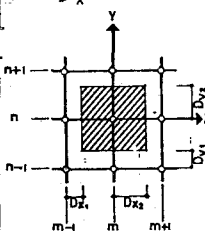
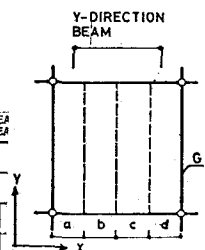
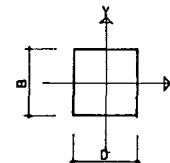
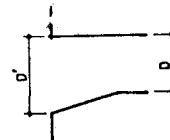
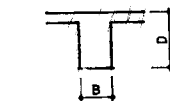
Z-DIRECTION		X-DIRECTION		Y-DIRECTION		NUM. OF BEAMS		A	B	BEAM NO.				BEAM PITCH			
FLOOR START	FLOOR END	AXIS START	AXIS END	AXIS START	AXIS END	X	Y			1	2	3	4	1 (a)	2 (b)	3 (c)	
	2	2	2	7	1	2	1							.	.	.	
	2	3	1	2	2	3	1							.	.	.	

II.8 SLAB THICKNESS & FINISH DATA

FLOOR START	FLOOR END	SLAB T. (cm)	FINISH G. (kg/cm ²)	FINISH COL (kg/cm ²)	FLOOR START	FLOOR END	SLAB T. (cm)	FINISH G. (kg/cm ²)	FINISH COL (kg/cm ²)	FLOOR START	FLOOR END	SLAB T. (cm)	FINISH G. (kg/cm ²)	FINISH COL (kg/cm ²)
1	4	12.0	40.0	40.0										

II.9 FLOOR LOAD DATA

(1) EXCEPT CANTILEVER														n-1	
FLOOR	* X-DIRECTION				* Y-DIRECTION				TOTAL DEAD LOAD (t/m)	LIVE LOAD (t/m)		m-1			
	AXIS NO.	DX ₁ -START	AXIS NO.	DX ₂ -END	AXIS NO.	DY ₁ -START	AXIS NO.	DY ₂ -END		FOR SLAB	FOR FRAME				
1		.		.		.		.	.00	.00	.00	.00			
2		.		.		.		.	.39	.30	.18	.08			
3		.00	2	.00	2	.00	3	.00	.39	.30	.18	.08			
3		.00	7	.00	1	.00	4	.00	.65	.21	.21	.11			
4		.		.		.		.	.57	.21	.21	.11			



以下 out put option, extra load, 振力係数等の data が続くが省略する。

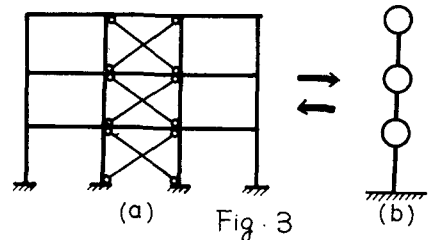
2. 応力解析

応力解析に用いては対象とする構造物及びその解析方法として次の4項目の夫々の組合せを満足する様 system 設計を行った。これらの詳細は後に述べるが、本 system の基本的設計方針として従来の解析手法の分類を反省し本質的な相違点は何処にあるかと研究した。例えば静的問題は動的解析の特殊 case であり、弾性解析は塑性解析の一部であり、Finite Element Method は撓角法と、element stiffness を除いては全く同種の解析法であり、平面問題は立体問題の一部であるとの観点から system 設計を行った。この様な考え方は変形法を基調とすることによって始めて可能となったことも合せて強調したい。^{*}

i) 静的解析と動的解析 近來動的解析に Computer を利用する研究は、Newmark 博士の Step-by-step method 以降幾多の論文が発表され、実際の設計にも数多く取り入れられている。しかしながら動的解析に関する問題は地震波の選択、諸常数の選択等未解決の分野を残しており、構造物の架構から多質点振動モデルの作成過程の問題もその一つに挙げることが出来る。

Fig. 3 に於て (a) に示す架構から (b) に示す振動モデルを作成する場合、架構の stiffness matrix から容易に振動モデルの stiffness matrix を導くことが出来る。弾性解析に於ては (a) 図と (b) 図とがこの段階以降完全に切離して (b) 図のみについて応答解析を行うことが出来るが、塑性を考慮する場合には再び (a) 図に立戻す必要がある。本 system に於ては (a) 図から (b) 図への変換、(b) 図から (a) 図への feed back を自由に行うことが出来るよう設計されている。更に鉛直振動の影響も考慮する必要がある時には (a) 図の各節点に質点集合させた振動 model を作成することも出来る。

ii) 線材と面材 架構を構成する部材として本 system に於ては線材及び面材を包含している。勿論同一架構内に両者が混在する場合も解析可能である。応力解析に於ける線材と面材との差は element stiffness の評価方法の差につき、各材とも element stiffness の評価に当



って対象とすべき応力の方向が問題となる。例えば架構の解析が面内応力のみを問題にしているか、面外応力のみを問題としているか、もしくは立体架構として解析する必要があるのかに依って夫々必要とする stiffness のみが評価出来るよう設計されている。更に線材に於ては単に等断面直線材のみでなく、変断面材、曲線材（円弧及び放物線）、剛域剪断変形を考慮する材にも適用可能である。面材に於ては目下平面材のみを対象としており、element stiffness の評価方法は面内応力に於ては clough^{*}、面外応力に於ては Zienkiewicz^{*} の方法を採用している。又将来必要に応じて、cylinder shell 材、球面材等を追加することは可能である。

iii) 平面架構と立体架構 平面架構として解析するか、立体架構として解析するかは対象とする構造物によって異なるが、本 system はそのいずれも自由に選択することが出来る。並列架構をスラブの剛性を考慮して直列架構に展開する routine も内蔵しており、ほとんど全ての要求が満足されている。次に element stiffness は材軸座標系に於て作成され、joint stiffness を作成する際、座標変換を行うのであるが、座標変換が変換 matrix を用いて極めて簡単に行うことが可能となったこ

(IV) 弾性解析と塑性解析 本 system に於ては架構を構成する部材の塑性を考慮することが出来る。部材の応力歪曲線は一般に折線によって表現するが、線材の面内応力に関しては高次代数函数で表現することも可能である。本 system に於ては部材を単位として塑性問題を取扱い、結果として架構の非線型性状をつかむことが出来ることは一つの特徴である。もっとも解析費用を軽減する目的で層毎の復元力特性を用いた非線型振動解析を要求されることも考慮されており、Fig.(3)に於て(b)図から解析を始め(a)図に *feed back* を考えない場合も当然可能でこれらの選択は全く利用者の自由である。Fig.(4)は線材と面材とが混在する場合の解析例であり、Fig.(5)は線材と面材とが混在し、しかも塑性を考慮した動的解析を行った例である。

しかしこれは、あくまで構造設計者の意志のもとに、設計者の作業の手助けとして用いられることを目的としており、設計者の職務の領域をおかすものではない。設計者は“この構造物を”“この様に設計したならば”“どのような結果になるか”の向の前提条件となる項目例としては構造形式、解析方法、部材断面等を用意し、その解を computer に求めるとき、始めて本 system の効力が発揮される。

設計部分は大別して応力の組合せ及び断面決定の二部分に分かれる。



Fig. 5

i) 応力の組合せ 解析部分で得られた数種の応力を指定された係数を乗じて指定された組合せの下に応力の組合せ表を設計者に提供することが出来る。更に必要に応じて材端のみでなく材の任意点の応力も自由に求めることが出来る。特別の場合として一部材中の各種応力に対し最悪応力を与える表を採り出すことも出来る。

ii) 断面決定 断面決定は対象とする部材の材質によって、鉄骨構造、鉄筋コンクリート構造及び鉄骨鉄筋コンクリート構造を包含する。勿論将来PC構造等の特殊な構造も任意に追加することが出来る。鉄骨構造は材料の生産工程から考えて、一般にはある規格に従っている。従って使用材料の物理的性状を一覧表にまとめ、その中から選択する方法の採用出来る場合がある。この場合には、

Computer 内に於て最も適当な断面を選択することも出来るが、組立材を用いる場合には、Computer に選択させる項目を一つにしぼる必要がある。

梁成は設計者が定め、frang 材をT型鋼或は、平鋼の list から選択するが如きはその一例である。鉄筋コンクリートに於ても同様の意味から、コンクリート断面を設計者が定め、必要鉄筋量を、Computer に算出させることが出来る。

この様に断面の一部又は全部を Computer に選択させる方法の他に、断面に関しては全て設計者があらかじめ定めておき、Computer には材の応力度の算出を求める方法がある。2方向曲げを受ける鉄筋コンクリート柱にはこの方法がしばしば用いられる。又鉄筋コンクリートの断面決定法には累加強度式を用いた方法も可能である。(Fig.6) Fig.7は鉄骨構造の場合、Computer に list から材断面を選択させた場合である。

MN 国による柱応力の Check

拡張された累加強度式
(SRC 規準 P.157)
断面の強度を Vector 和と考える。

即ち $N = SN + RN$

$M = SM + RM$

分担比率は任意である。

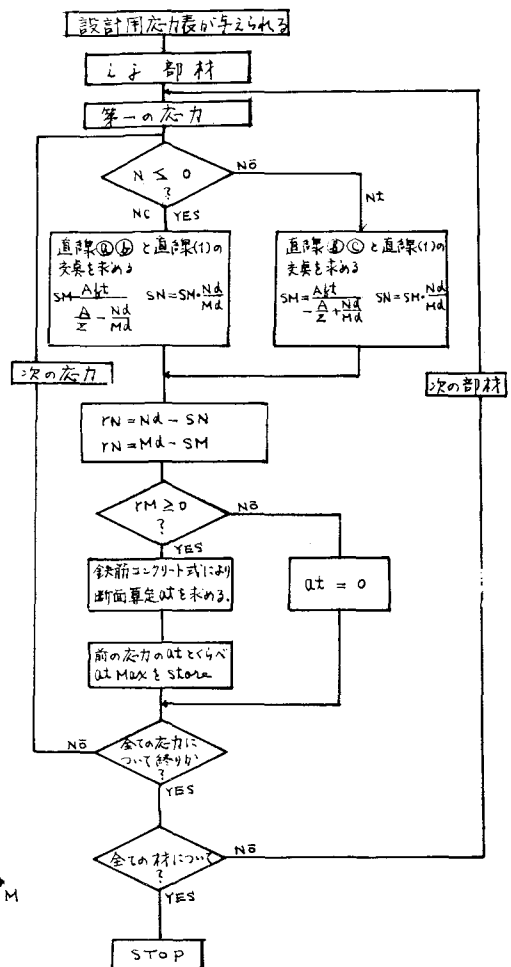
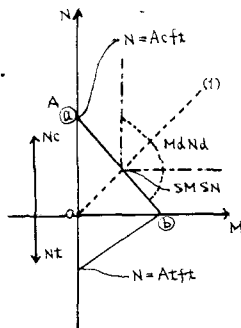
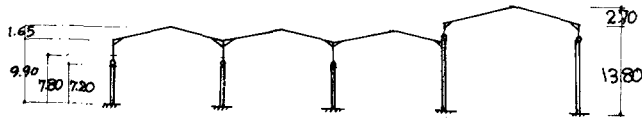


Fig. 6



MEMBER	MOMENT	AXIAL	SHEAR	DESIGNING	WEIGHT
13 - 14	-12.13	-0.35	5.05	H - 346 * 174 * 6.0 * 9.0	237.73
POINT 14	-11.39	-0.35	5.05	H - 346 * 174 * 6.0 * 9.0	
14 - 15	-10.36	-1.15	7.71	H - 346 * 174 * 6.0 * 9.0	237.73
POINT 15	14.75	-1.15	7.71	H - 346 * 174 * 6.0 * 9.0	
15 - 16	16.24	-1.86	4.83	H - 350 * 175 * 7.0 * 11.0	284.81
POINT 15	19.51	-1.86	4.83	H - 396 * 199 * 7.0 * 11.0	
16 - 17	-7.67	2.83	2.87	H - 350 * 175 * 7.0 * 11.0	284.81
POINT 17	-9.57	2.83	2.87	H - 350 * 175 * 7.0 * 11.0	
17 - 18	-17.86	-8.20	9.61	H - 446 * 199 * 8.0 * 12.0	605.73
POINT 17	-25.72	-8.20	9.61	H - 446 * 199 * 8.0 * 12.0	
18 - 19	19.88	2.40	3.13	H - 446 * 199 * 8.0 * 12.0	605.73
POINT 19	22.55	2.40	3.13	H - 446 * 199 * 8.0 * 12.0	
19 - 20	-32.92	-63.76	6.99	H - 700 * 0 * 350.0 * 175.0	89.28
20 - 22	5.76	-2.32	9.60	H - 496 * 199 * 9.0 * 14.0	47.70

5. 結び

computer に適した方法と手作業に適した方法は現在とところかなり判然と別れているかに見られる。しかし将来 computer の周辺器械の発達により、更に人間と computer が密接な関係を探り得る様になるとその区別はなくなる時代が来るかも知れない。しかし人間と computer とを結ぶ手段はかならず software が存在するであろう。ここに報告した構造技術者のための P.O.L.s は、技術者と computer を結ぶ pipe として大きな役割をはたして来たし、又将来も有効な手段として愛用されることを信ずるものである。

最後に今日まで種々の例題を掲載し、本 system の発展を支援して戴いた大成建設・鈴木悦郎博士以下の皆様及び国鉄構造物設計事務所・西尾所長以下各技師の皆様、他大勢の諸君に心から感謝する次第であります。

参考文献

日本建築学会論文報告集

我が国の設計慣習に主脚した構造解析システム（其の1） 服部正他 昭和42年建築学会大会論文

我が国の設計慣習に主脚した構造解析システム（其の2） 服部正他 昭和42年建築学会大会論文

我が国の設計慣習に主脚した構造解析システム（其の3） 服部正他 昭和42年建築学会大会論文

日本鋼構造協会 JSSC

動的設計とコンピューター 服部 正

昭和42年12月

繰返し荷重をうける建築構造骨組の崩壊過程追跡に関する研究

服部 正