

設計計算のプログラムについて*

庄子幹雄**

1. まえがき

土木構造物の設計計算を電子計算機におこなわせようとするところみは、わが国においてもここ 2, 3 年来非常に盛んで、とりわけ建設業界の宿願になっているようである。

従来土木建築の設計計算は、幾多の先輩達が手計算向きに改良を重ねてきたので、式そのものの解析は極めて容易である。

しかし手計算によって相い似た断面を 20 カ所とって各種計算をおこなおうとすれば、20 回同じことを繰り返さず必要があり、計算が冗長なだけに人間にとっては不可避とも思える小さなミスを各所でひきおこす欠点がある。

またこれに要する計算時間および計算従事者の労力は大変なもので、設計荷重条件の変更などという事態に立ちいたると、またしても同じ計算繰り返しを要求されるのである。

本文における橋梁計算は相当の熟練者が 3 人でほぼ 1 カ月を要するものを、電子計算機によってプログラム作製を含めて 2 日で仕上げたものである。もちろん今後は形の上で、あるいは荷重の上でどのように設計条件が変更になっても（すでにプログラムは作製してあるので）30 分でこの種の計算ができることになる（作製データのパンチを 15 分とみる）。

本来土木建築の設計計算を電子計算機にのせるということは、示方書の単純な式を少しだけ解析して羅列するにすぎないのであるから、あまり面白みはないがそれでも本例のように、一つには計算ミスがなくなるということ、一つには計算時間が大幅に短縮されるということの二点で、確かに有意義であろうと考えるのである。しかもプログラミングというものは前に算出された数値を必要としないので、作製する順序関係はそれぞれ独立である。つまり general flow chart の作製が終了したら直ちにいろいろな部分からプログラミングを開始することができるという利点をもつのである。

設計計算を電子計算機におこなわせるということでは二義的に検討の対象とされたのは、今までの手計算方式の設計計算書様式と、どの程度まで共通性をもたせることができるかという点にあったが、これはアウトプットされた数値をあらかじめ手計算様式にかかれた項目に転記することで解決している。

本文に述べる天草連絡道路 4 号線の中央ヒンジ式 5 連続橋の影響線面積までの計算は我々がおこなった設計計算の一つであるが、これをいかにして進めたかを順次説明し、これらの問題に従事されている方々、および電子計算機を利用されている方々の御批判を懇ろ次第である。

2. プログラミングについて

プログラム作製においては Critical Path Schedule を利用し Integrated Program を完成している。

2・1 Critical Path Schedule の利用

設計計算の依頼を受けるや、直ちに 3 人からなるチームを編成し、次のようなアローダイアグラムを作製、計算し、本設計計算が 2 日後には完了することを相手方に伝えたのである。

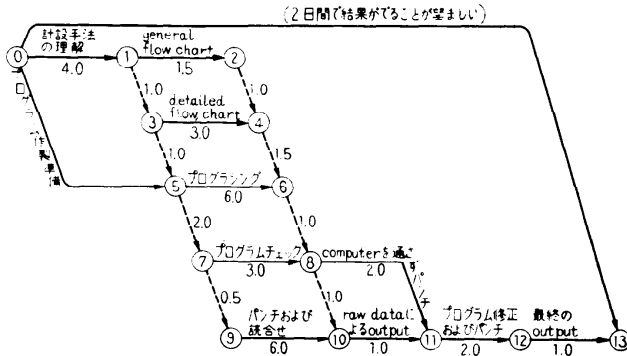
これにより余裕のない Path は最優先し、余裕のある Path では他のラップする作業も同時におこなうなどして、最小人数で正確に迅速に円滑に進めたのである。この Critical Path Schedule 利用の方法は、手計算方式にはこのままではあてはまらないものであるが、設計業務も企業であるという考えに基いて設計従事者に少しの時間的むだも生じないようにしたところみである。

アローダイアグラム中の ⑩→⑪ では raw data によって、それまでに作製したプログラムが正しいかどうかを調べるためのものである。

本設計においては、プログラムが SIP で 3,500 ステップ以上に及んでいるにもかかわらず raw data によるテストのアウトプットではわずかに 2 カ所のみステップの修正で済んでいる。もっとも ⑦→⑧ のチェック作業にあたっては、相当に高度な設計手法の理解とプログラミングテクニックとを必要とするのは当然である。

* Program of Designing a Bridge. by Mikio Shoji. (Div., Kajima Kensetsu Co., Ltd.)

** 鹿島建設技術開発部



作業		所要時間 d	最早開始時間		最遅開始時間		余 裕				
i	j		E.S.	E.F.	L.S.	L.F.	T.F.	F.F.	D.F.	I.F.	
0	1	4.0	0	4.0	0	4.0	0	0	0	0	
0	5	3.0	0	3.0	3.0	6.0	3.0	3.0	0	3.0	
1	2	1.5	4.0	5.5	8.5	10.0	4.5	0	4.5	0	
1	3	1.0	4.0	5.0	4.0	5.0	0	0	0	0	
2	4	1.0	5.5	6.5	10.0	11.0	4.5	1.5	3.0	0	
3	4	3.0	5.0	8.0	8.0	11.0	3.0	0	3.0	0	
3	5	1.0	5.0	6.0	5.0	6.0	0	0	0	0	
4	6	1.5	8.0	9.5	11.0	12.5	3.0	2.5	0.5	0	
5	6	6.0	6.0	12.0	6.5	12.5	0.5	0	0.5	0	
5	7	2.0	6.0	8.0	6.0	8.0	0	0	0	0	
6	8	1.0	12.0	13.0	12.5	13.5	0.5	0	0.5	0	
7	8	3.0	8.0	11.0	10.5	13.5	2.5	2.0	0.5	2.0	
7	9	0.5	8.0	8.5	8.0	8.5	0	0	0	0	
8	10	1.0	13.0	14.0	13.5	14.5	0.5	0.5	0	0	
8	11	2.0	13.0	15.0	13.5	15.5	0.5	0.5	0	0	
9	10	6.0	8.5	14.5	8.5	14.5	0	0	0	0	
10	11	1.0	14.5	15.5	14.5	15.5	0	0	0	0	
11	12	2.0	15.5	17.5	15.5	17.5	0	0	0	0	
12	13	1.0	17.5	18.5	17.5	18.5	0	0	0	0	

(注) E.S.; earliest start time E.F.; earliest finish time
 L.S.; latest start time L.F.; latest finish time
 T.F.; total float F.F.; free float
 D.F.; dependent float I.F.; independent float

2.2 Integrated Program の作製

電子計算機によって複雑な手計算手続きを省くことができても、プログラムが小刻みになることはデータの読み込みという作業のくり返しを必然的に要求することになる。

それは設計計算では算出された数値を順々と次の式で使用するため、いちいち前のプログラムで求められた数値をデータとする必要があるし、そのためにパンチアウトあるいは読み込みなどに向けられる時間が電子計算機が演算している時間よりも多くなるからである。

我々の使用した OKITAC 5090 A は、4,000 メモリであるが、ワーキングストロージを含め実際にはそ

のうちの7割程度を使用でき、それ以上のステップがあることは、すなわちオーバーフローを意味している。また磁気テープは我々の技術計算では使用しない方針である。

本設計計算プログラムでは断面諸値の算定に始まり影響線の面積算出で終了するのであるが、全体で約 3,500 ステップである。

そこでまず第一段階としてコンクリート断面諸値と換算断面諸値を求めるプログラムを作り、第二段階としては、第一段階で求められた断面二次モーメントを使用して影響線面積までのプログラムを作製したのである。

次にプログラミングテクニックにより、第一段階のプログラム終了に JH/PPO を用いず J/(第二段階のプログラムの先頭場所)とし、同時にロケットの番地を途中からおこなひ、第一段階で使用した不要のステップをキャンセルすることにしたのである。これにより Integrated Program は完成し、始めの断面の形状をスケールアップによりインプットするだけでわずか 15 分(テープ読み 9 分 30 秒、演算および印刷 5 分 30 秒)で影響線の面積までを実行するプログラムとなったのである。もっとも photo reader に高

速のものを使用すれば、この時間もかなり短縮されるはずである。

3. 設計計算への応用

設計計算は大きく①断面諸値計算、②影響線計算、③モーメントせん断力計算、④応力度計算に四分される。ここにとりあげるプログラムはこのうちの①および②の計算をおこなったものである。

③に関しては、鉄筋コンクリート橋、PS コンクリート橋に適用できるユニバーサルタイプのプログラムを ALGOL で作製、ライブラリーとして保持しているが、本設計計算では ALGOL のコンパイラを使用しなかったため利用しなかった。また④を利用しない

ト参照)。

3.2 計算のフローチャート

この種の計算は今までも学会誌やコンピュータ関係の書物に紹介されているが、我々が目にしてるのはほとんどが general flow chart にすぎず、計算内容アウトプットなどは何い知り得ない。次に述べるフローチャートは断面諸値計算を終り、影響線計算のルーチンに入ったところから最後までである。設計計算業務にたずさわりのプログラミング知識を兼ねておられる方なら、この general flow chart と detailed flow chart により影響線計算部分についてはすべてを理解できるはずである。この部分のプログラムステップ数は SIP で約 850 で、ワーキングストレージは約 1,000 である。

3.3 計算結果

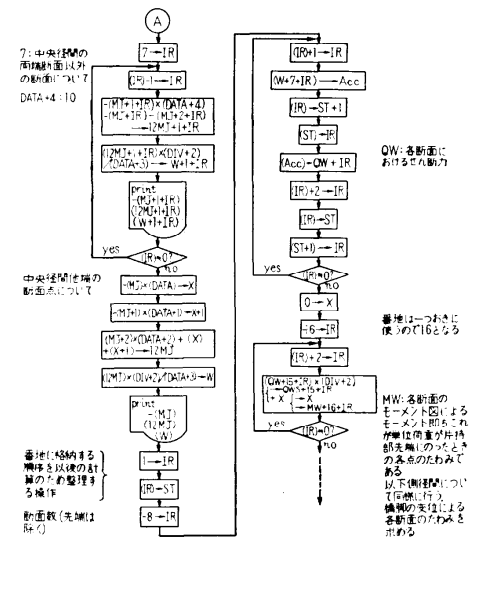
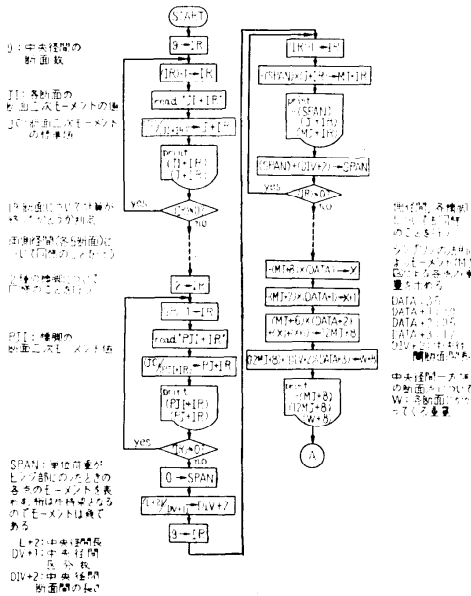
本計算はあらかじめ手計算書様式のものに転記するというに決まっていたためアウトプットにおいてはフォーマットをすべて削除しているが、転記を容易にするため手計算書様式のページ順にアウトプットを行なっている。その一部を示すと次頁のようになる。

4. 検 計

以上のように本設計計算においては影響線面積までで終わっているがその理由としては、

- (1) 社内でこれらの計算業務にたずさわるものが、今まで市中の計算センターに計算を依頼したところ計算結果にミスが発見され、そのために電子計算機は、あるときは勝手な計算をするのではないかという危惧を抱いている。
- (2) 計算をすべて電子計算機にまかせてしまうことは、数多くの計算要員の作業分野をすべて奪うことになる。
- (3) 形態上に大幅な変更があり、計算の基礎としている式がわかるとき、つまり人間の頭脳に頼らなければならない時に備え、考える部分は人間の活動分野として残しておく方が得策である。

などがあげられる。
 計算機使用に関しては、使用時間を十分に用意したつもりであるが、およそ1時間のオーバertimeをみた。これはアウトプットの結果をみてプログラムを修正し、パンチし直したためである。設計計算においてはプログラムステップ数が3,000を越すのが普通であり、我々がプログラムにいかに関与していても2,3のステップに思いがけぬミスを犯している。また設計計算プログラムは本例のように長く、プログラムチェックとパンチチェックには十分注意しているつもりであるが、プログラムチェックにあたってはおもに設計計算の解析が正しく行なわれているかに主眼をおいて



δ_{10}	δ_{20}	δ_{30}	δ_{40}	δ_{50}
.0000000000 ₁₀ =50	-.8153958519 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50	-.7531783496 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	-.6115468889 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50	-.5139118257 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	-.4079979259 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50	-.2952039721 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	-.2038489629 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50	-.1196252005 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	.3789794979 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50	.1019244814 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	.1031470732 ₁₀ 5	.0000000000 ₁₀ =50	.2038489629 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	.2062248519 ₁₀ 5	.0000000000 ₁₀ =50	.3057734444 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50
.....
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.2548112052 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50	.1990617401 ₁₀ 4
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.5096224090 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50	.5084892313 ₁₀ 4
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.7644336128 ₁₀ 4	.0000000000 ₁₀ =50	.9022819737 ₁₀ 4
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.1019244815 ₁₀ 5	.0000000000 ₁₀ =50	.1336435645 ₁₀ 5
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
.0000000000 ₁₀ =50	.1000000000 ₁₀ =9	.0000000000 ₁₀ =50	.1000000000 ₁₀ 1	.0000000000 ₁₀ =50
-.1212909625 ₁₀ =3	.1402718364 ₁₀ =2	.1107222933 ₁₀ =4	.6808056223 ₁₀ 0	-.8444336530 ₁₀ =5
-.1936612570 ₁₀ =3	.2239673559 ₁₀ =2	.1767866135 ₁₀ =4	.3895196628 ₁₀ 0	-.1348279206 ₁₀ =4
-.1634032586 ₁₀ =3	.1889742669 ₁₀ =2	.1491651410 ₁₀ =4	.1567813418 ₁₀ 0	-.1137621531 ₁₀ =4
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50
.5904594718 ₁₀ =3	-.6828605480 ₁₀ =2	-.5390098773 ₁₀ =4	-.1279331316 ₁₀ 0	.4110807914 ₁₀ =4
.1782096615 ₁₀ =2	-.2060977147 ₁₀ =1	-.1626813903 ₁₀ =3	-.2483393753 ₁₀ 0	.1240704438 ₁₀ =3
.....
.2257822656 ₁₀ =3	-.2066566909 ₁₀ =4	-.2611094828 ₁₀ =2	.2237278973 ₁₀ =4	-.1465583638 ₁₀ 0
.2670465649 ₁₀ =3	-.2444255719 ₁₀ =4	-.3088302361 ₁₀ =2	.2646167372 ₁₀ =4	-.3781263221 ₁₀ 0
.1672625389 ₁₀ =3	-.1530940559 ₁₀ =4	-.1934334165 ₁₀ =2	.1657406353 ₁₀ =4	-.6736653704 ₁₀ 0
.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	.0000000000 ₁₀ =50	-.1000000000 ₁₀ 1
$Y_1 = X_1$ の各径間における面積	$Y_2 = X_2$ の各径間における面積			
-.4069598393 ₁₀ =2	.4706451027 ₁₀ =1			
.8476450477 ₁₀ 0	-.9802931333 ₁₀ 1			
.2120865448 ₁₀ 1	.1197240042 ₁₀ 2			
-.1129434471 ₁₀ 2	-.2307053347 ₁₀ 1			
.1129511675 ₁₀ 2				
-.2123677021 ₁₀ 1				
-.8538324280 ₁₀ 0				
.7020907827 ₁₀ =2				

調べるため、小さなステップのミスは見落すことも起り得るし、パンチチェックにあたってはごく小さいな見落しをすることも有る。そこで我々としてはあとで Integrated Program に直せる形にして各テープのステップ数を制限したが、これはプログラミングを容易にすると共に raw data によるアウトプットでの検算を目算だけで済ませることを可能にした点で実には有意義である。

式の解析に関しては、初等数学の域であるから簡単であるが、シンプソン公式を使ったところのアウトプット形式などには一考を要している。

5. あとがき

以上極めて望ましい結果が得られたわけであるが、電子計算機による計算技術の開発にたずさわるものとして一言いうならば、これではまことに不満な電子計算機利用なのである。それは本文において述べたよう

に土木建築の設計計算に使用する旧来の式はあくまで手計算用の式であり、これらの式が必ずしも正確な数値の算出を意味しないからである。また、これらの式そのものの解析にはなら高等な技術も能力も必要とせず、電子計算機利用という面からみれば低級な利用法にすぎないのである。

今後我々としては、設計示方書の式にこだわることなく初期の応力状態に一つ一つ問題をたち返らせて計算を進めたいと思ひ、また電子計算機を高度に利用すれば、これも可能になることと確信している。

本文を終るに当り本設計プログラミングのメンバーである平田、和田両君はすでにユニバーサルな橋梁の計算プログラムの開発を終了し、現在我々の意図する計算技術の開発に進んでいるが、これらは今後の我々の設計計算におけるプログラムに徐々にとり入れていくつもりである。

(昭和 38 年 10 月 5 日受付)