

1. 概説

電子計算機の普及は、その後の構造物設計の方向を大きく変化させている。即ち、タイガーに代表される手回し計算機を回していた時期が最近では懐しく思われにりするが、当時の設計は経験豊富な技術者達の勘によって初期値設定が行はわれ、フィードバックを最少にする方法がとられており、そのために、当時ではそのような技術者は常に中心的存在であった。しかしながら、電子計算機の普及でフィードバックが短時間のうちに行はわれ、通解に近い施設諸元が設定されることとなり、このような設計に関する限り経験豊富な技術者の必要性は低いものとなっている。特に力学計算という一面では、土木屋よりも数学屋の部門に移行しつつある。

しかし、これらはその時代の要求とともに移行しているのであって、自動化されに手頃は、昭和30年代から40年代中期にかけての高度経済成長における人手不足を補い、急速な事業量の増加に対して、より早く正確な情報と提出し、業務の省カ化に役立ってきた。また、昭和40年代後期のオイルショックに端を発した総需要抑制の時代に人件費の高騰が目につくようになると、再び合理化の方針が多くの組織で取り上げられるようになり、現在では、構造物の設計は程度の差こそあれ自動化へと切り換えられている。

建設省においても、昭和39年度の技術管理組織の発足と同時に電子計算機の導入を図り、土木構造物の設計標準化の一環として各種構造物の自動化を推進しているが、今回は、これらの自動設計システムの運用とその問題点並びに自動設計システムの成果を利用して新しい設計法の検討についてその概要を報告する。

2. 建設省における自動設計システムの運用について

(1) 自動設計システムの開発手帳

建設省における自動設計システムの対象となる構造物は、建設本省に設置されている合理化部会において選定されるが、その作業は標準設計の制定後その中間の設計条件に対して利用できるようにしたもの、設計条件が複雑化するための標準設計として集録するの必要ではないことから自動設計にとどめるものと両方について開発を行っている。また、建設省における自動設計システムは、公知公認の設計アルゴリズムによる必要があることから、開発に当たっては自動設計委員会を設けており、委員会のメンバーとしては、建設本省、地方建設局、土木研究所は勿論のこと、大学、各公団、国鉄、コンサルタント、コントラクターから経験者の参加をお願いしている。

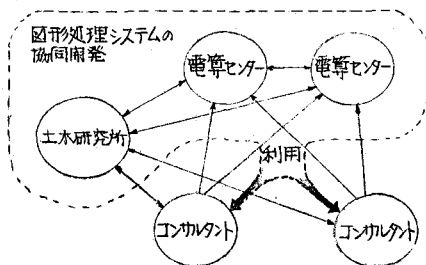
開発方式については、昭和42年に図形機が導入されて以来完全自動設計システムとしており、特に図形処理システムについては、図-1に示すように計算センターとの協同開発によってサブルーチン名およびパラメータの統一を行ない、相互の電子計算機の連繋がとれるようにしている。

(2) 自動設計システムの開発状況

土木研究所において現在開発している自動設計システムを示せば表-1のとおりである。なお、これらの自動設計システムは、今後基礎工とのコンバージョンにより、型式選定システムさらには橋梁設計トータルシステムへと順次拡張する予定である。

(3) 自動設計システムの利用形態

表-1に示す自動設計システムのうち、ポストテンション方式単純丁桁橋、プレテンション方式単純丁桁橋、ラートガーダー橋(合成、非合成とも可能)については、現在、国土開発技術研



究センター(建設省外部団体)に移管を行はる一般に公開しているが、その他については、公共企業体のみの利用にとどまっている。国土開発技術研究センターに移管しているシステムは、発注者が上記センターに申し込めば利用できるが(システム利用説明書が用意されている)その他については、利用官署が土木研究所に申し込みを行ない、契約はシステムの保管を行なっている外部の計算センターと利用者が直接契約を行なうようにしている。

しかしながら、プログラム管理が本格的でないこと、およびこれらを利用した場合の積算体系が整備されていないことから、今後問題を残している。

(4) 自動設計システムの問題点

自動設計システムの開発に当って土木研究所においても多くの問題点をかかえている。その主なものについてのべることにする。

① プログラム管理の問題

現在、多くの組織で自動設計システムが開発されているが、その中には同じようなものが重複して開発されている。その実情は、これらを管理する組織が確立していないことが最大の原因であるが、開発されたシステムが公開されないことおよびそれらの利用に拒否態勢も一因と考えられる。建設省においても国土開発技術研究センターに部分的に移管し試行を行なっているが、人員的に問題から本格化されておらず、ようやくして検討を始めたところである。特に、ケーソン等の設計条件が複雑なものについては図-2に示すような利用体系を考えており、特にインプットデータと環境調査データとの整合には、配慮するつもりである。また、一度開発されたシステムの基準額の改訂に対するメンテナンスの問題もある。土木研究所でも、当初は直営で開発を進めていたため、開発者が転勤してしまうとそのシステムはまったく利用されなくなりという弊害もあった。したがって、現在ではコンサルタントまたは電子計算センターに開発を外注し、受注者が将来ともメンテナンスを続けるという方式に切り換えている。

② 自動設計を利用した設計外注積算の不備

土木研究所における自動設計システムは、構造手法の設定とその取崩しに対応できるものである。しかし、橋梁に限った場合、道路線形の取り合や付属構造物(高欄、支承、伸縮装置、PC鋼梁定着装置等)の設計は別途行なう必要がありコンサルタントの利用が考えられる。このように自動設計システムを利用しコンサルタントへ発注する場合の積算方式が整備されていないのが実情で①の問題と同様現在検討されている。

③ 設計方式の不統一

設計方式の不統一の問題もシステム開発に当って障害となる。建設省内においてさき道路と河川の設計基準に差異がみられる部分がある。たとえば、土圧公式に例にとりてみても、クーロン、ランタン、テルツァーギ等であり、各組織、各基準によって異なっている。理論と実測との確認が困難であることから従来方式に従うということも納得はするが、そのような現状にあるものについては統一してもよいのではないだろうか。設計の標

表-1 自動設計システム一覧表

構造物		プログラムのステータス		入力	出力		備考
		設計プロ	図面プロ		計算書	図面	
ボックスカルバート	一連	800	3500	約20個	4ページ	A1紙1枚	⑤
	二連	2100	—	—	—	—	—
擁壁	重力式	400	—	約10個	5ページ	—	調整中
	逆丁式	800	2000	—	—	—	
	壁式	1500	3400	—	—	—	
下部工	重力式	3000	10000	11~30個	8ページ	3枚	⑤
	逆丁式	3700	13300	13~40	10	—	
	壁式	5000	17000	16~40	14	—	
	橋脚(小利月形)	7000	18800	約50個	13	4枚	
上部工	ボス単純丁桁橋	10000	12000	約30個	20	2	⑤
	カテン単純丁桁橋	2000	5600	—	4	1	⑤
	カテン中堅桁橋	2500	11000	—	2	2	⑤
	プレートガーダー橋	38000	61500	約50個	50	5	⑤ 最終版
	鉄筋コンクリート桁橋	1500	14400	約20個	15	1	⑤
基礎工	ヒューム橋	—	—	—	—	—	調整中
	ニューマチックケーソン	10000	25000	60~92	20ページ	10~25枚	
	オーアンケーソン	11500	26900	60~97	20	10~20	
	くい(打込くい)	1500	4800	約60個	5	1枚	
極門・極管		2000	12000	約30個	10	6~8枚	調整中

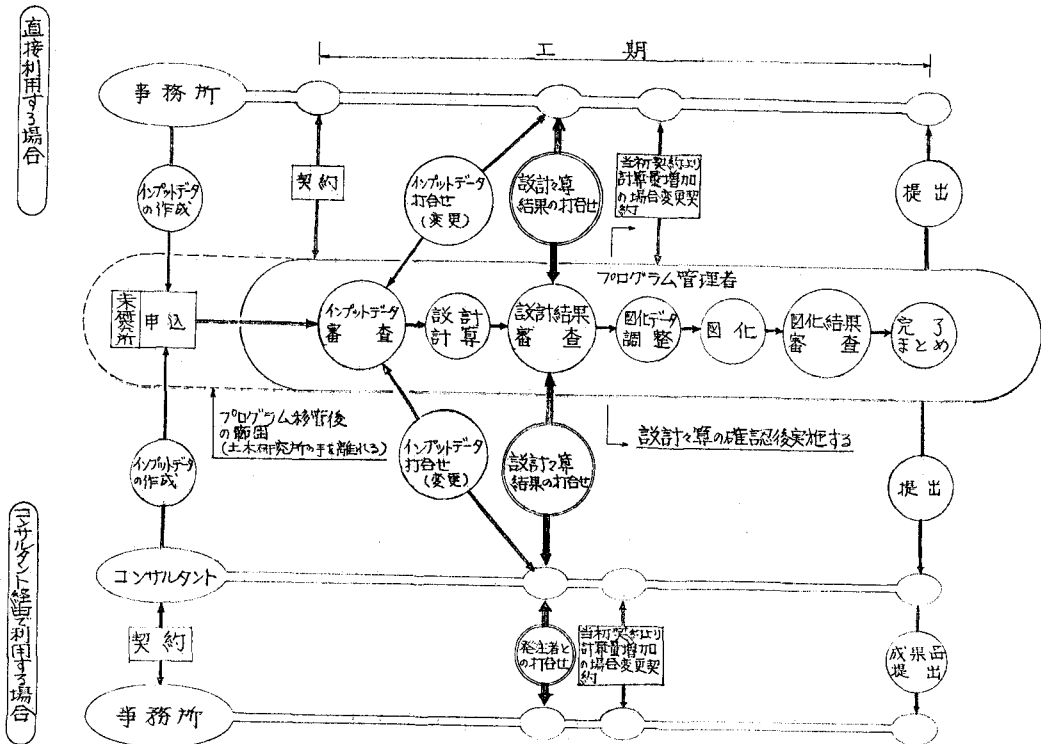


図-2. 設計条件が複雑な自動設計システムの利用形態の例

準化を図る時点でも常に問題となるが、常にうやむやとある問題である。

3. 自動設計システムの成果を利用した新しい設計法の検討

設計頻度が高く定形化された構造物に対して、吟味された対応モデルと経験・積み上げられた固則は基準類が完備されている場合の設計では、ほとんど単純作業の連続として構造諸元の設定を完了することができる。このような学術的設計法に関する限り、その成果を統一的に処理した回歸式により順次的な設計（以下、直接設計方式と呼ぶ）も考えられる。また、現状の積み上げによる設計では、設計プロセスを効率よく処理するため大型電子計算機を必要とすることから利用者がおのずと限定されてくるきらいがある。これに対して、設計条件から設計諸元を統一的回歸式により直接指定する設計方式によれば、中型以下の計算機によることのできるし、積み上げによる設計とほぼ同一水準の工学的精度を有する設計を行ふことが可能であるとともに、自動設計における初期値の設定および設計成果の検証、さらには比較設計にも役立てることのできる。

このようなことから、システム課ではポストテンション方式単純桁橋を例にとり、設計条件と設計諸元間の直接的関係について、分析を行ない、ポストテンション方式単純桁橋の直接設計システムの検討を行なった。なお、この直接設計システムの検討に利用した設計成果は、土木構造物標準設計の作成に使用した幅員22種類（歩道あり、なし）、支間14種類（14m～2mピッチ～40m）の合計308橋に対するものであり以下その主な部分についてあげる。

(1) 直接設計システムの流れ

図-3は、ポストテンション方式単純桁橋の設計システムを比較したものであるが(a)に示す積み上げによる設計方式は、そのシステムを構成するサブシステムが複合しており各所にフィードバックがあってそれぞれが相互作用をばして設計が完了する。これに対して、直接設計システムは、サブシステムが関連をもっていないことや、フィードバックがないことからシステムを分割して処理することが可能である。現在では、まだ完全なハイラルギー構造となっていないが、今後の検討によっては、これらのサブシステムをカセット化することによる

って、ミニコンピュータでも充分可能な設計システムと見る。

(2) 桁高の回帰式

桁高を求める回帰式は、桁高の決定参考する要素を抽出し、それぞれの組み合わせについて検討を行なったが、それほどの差異がみられ、ことから次の回帰式を設定した。また、線形、非線形を比べてみても線形回帰分析による相対誤差が1.0249%、非線形によるものが1.00328%であり、後者としても式をいたずらに複雑にするだけで特にメリットがないことから線形によるものとした。

$$H = a + b \cdot L + c \cdot NPC + d \cdot \frac{W}{N} + e \cdot \frac{W}{W}$$

ここに

H : 桁高 (cm) L : 支間 (cm) NPC : 主ケーブル本数
 N : 桁数 W : 車道部幅 + 歩道幅 (cm) W : 車道部幅 (cm)

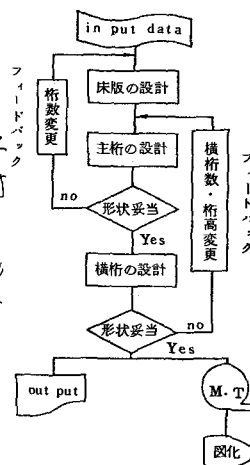
表-2 回帰分析の結果

項目	係数	切片 (a)	相関係数	平均値	標準偏差	相関係数	回帰係数	t 値
(1)	L			31.00	5.76	0.977461	0.201223×10^1	24.8610
(2)	NPC	-128.16181	0.99520	9.84	1.89	0.964164	-0.401413×10^1	-4.6565
(3)	W/N			1.84	0.12	0.155225	0.557834×10^2	21.6187
(4)	W/W			0.75	0.18	0.015273	0.157600×10^2	9.3211
H				143.93				

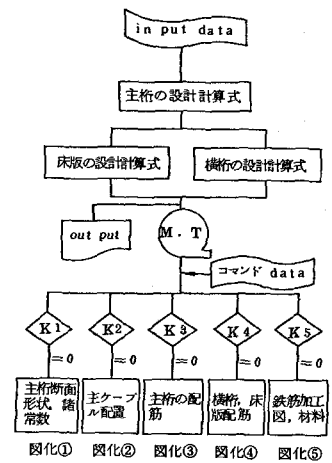
また、上記の回帰式は統計上の平均的な式と考えられ、仮にデータとして用いた積み上げによる設計成果の実況が許容値の限界に一致しているとするば、回帰式により求まる桁高では、オーバーストレスと見る危険性がある。そこで残差を正規分布と考之信頼係数を0.95、0.975として補正量を求めると表-3のようになる。したがって、この値を回帰式により求まる桁高に加えると安全側の桁高と見る。

(3) 直接設計システムの問題点

直接設計システムは、回帰分析において必要精度の回帰係数を得るために従来の積み上げ方式による設計成果の集積が必要であり、前項のような自動設計システムの開発に負うところ大である。また、構造諸元についてもある程度の標準化が計らなければシステム自体が複雑化し、回帰式による直接設計システムの意義も半減してしまったり、積み上げによる設計成果との整合性もよくなるきらいがある。



(a) 積み上げ方式による流れ



(b) 直接設計方式による流れ

図-3 自動設計システムの比較

表-3 桁高の補正量

信頼係数	加える値 (cm)
0.95	5.398
0.975	6.451

・相対誤差=1.0249%
 ・絶対誤差=1.63931 cm
 標準偏差=3.2748