

土木構造物設計における電算利用と課題

工 藤 真之助*

1. ま え が き

プレストレストコンクリートに関する技術が我が国に導入されたのは、昭和 26 年頃である。以来、我が国独自の創意による様々な改良が加えられ、今や、技術面ばかりでなく建設の実績面からも世界をリードするまでになっている。このような実情は、数少ない技術者で多くの仕事をこなしてゆくための設計の標準化と、大量生産方式による製作・施工の省力化を早くから実施したことによるところ大であるが、電子計算等の新しい技術の有効利用と技術水準の向上に積極的であったたまものと思われる。

このように電算利用は、土木技術の分野においても早くから手掛けられており、今さら電算利用の現状を云々するところではないと思われるが、筆者なりに現状をとらえ直すとともに、今後のなすべき方向について私見をのべることにしたい。なお、最近の情勢として電算特集が多く企画されており、本文の内容もそれらと重複する部分があることを前もっておことわりしておきたい。

2. 最近の電子計算機の概要

建設省土木研究所における電子計算機の変遷は、次に示すとおりである。

昭和40年 4月	OKITAC 5090 (12 kW)
“ “ 9月	“ (16 kW) に増設
“ 43年 4月	TOSBAC 3400-40 (64 kW) に切替
“ “ 6月	FACOM 270-30 (64 kW)
	(千葉支所)
“ 47年 2月	TOSBAC 3400-51 (80 kW) に切替
	(千葉支所)
“ “ 10月	TOSBAC 340-40 (80 kW) に増設
“ 48年 4月	“ 3400-51 (80 kW) に切替
“ 49年 8月	“ 5600-140 (128 kW)
	に切替 (千葉支所)
“ 50年 1月	“ 5600-160 (256 kW) に切替
“ 51年12月	“ 5600-160 (192 kW)
	に切替 (千葉支所)
“ 54年 4月	HITAC M 180
	[2 048 kB, (512 kW)] に切替

すなわち、高度経済成長政策が打ち出され、我が国の経済事情が好転しつつあった時、建設省では最初の電子計算機である OKITAC シリーズが導入されたわけで、筆者はこの機種によってプログラムを覚え、ポストテンション方式単純T桁橋自動設計プログラムの開発を夜を徹して行ったことが思い起こされる。その後、TOSBAC シリーズとなり、土木研究所の筑波移転を機に現在の HITAC シリーズとなっている。

このように電子計算機の発達に伴って導入計画が実施されてきたが、標準大型機として HITAC シリーズおよび世界的シェアを占める IBM シリーズを例として、その発達状況を整理してみた。

図-1~図-5 は、電子計算機のメモリー容量、演算速度、周辺機器の記録密度等であるが、最初の OKITAC に比して 40 倍強、ここ数年でも数倍の発達をみている。

一方、小型電子計算機の分野においてもその発達はめざましく、図-6 に示すようなポケットサイズの電卓さえも 500 ステップものプログラムが組めるほどで、一般のカセットテープも連結でき、プログラムの格納、取出し、演算と大型機に類似した機能を有するまでになっている。

さらに、図形処理、漢字プリンター、ワードプロセッサ等周辺機器の開発も盛んである。

このように電子計算機とそれを取り巻く周辺機器は、LSI の開発によって近年、飛躍的に発達している。

3. 電算利用の現状

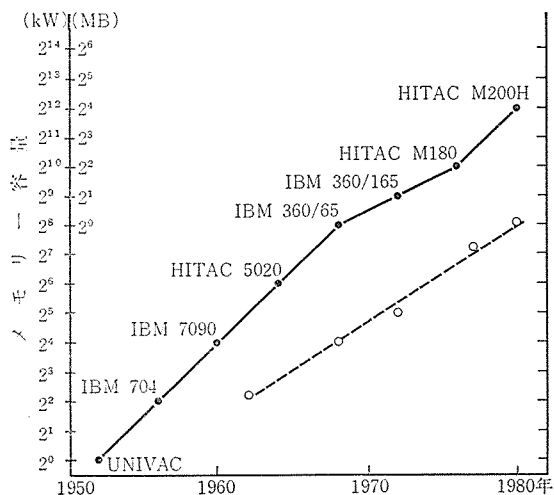
前述のように電子計算機の発達はめざましく、プレストレストコンクリートに限らず土木構造物の設計においても何らかの形で利用されている。

プログラムの開発形態としては、設計に電算が取り入れられて以来、現在においてもさほど変化していないが、構造物設計の面で大別すると次のようになる。

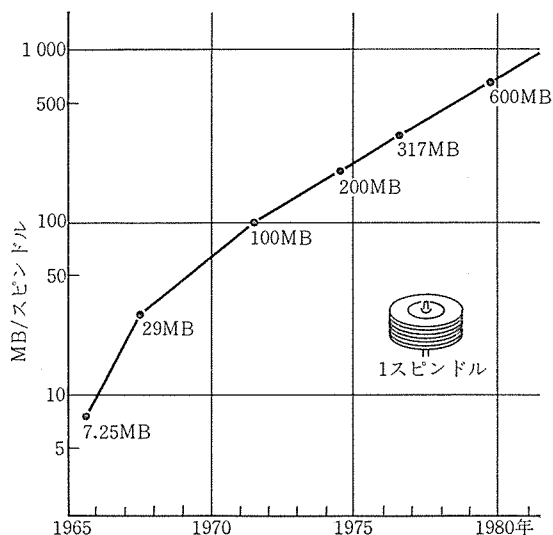
- ① 設計計算を部分的にプログラム化し、従来の手計算と組み合わせながら設計を進める形態である。
- ② 従来人間が判断していた事項をプログラム化すればその流れ全体を自動化できる。

すなわち、設計頻度の高い構造物では、設計手順が確立しており、その中間に技術者の介在する局面はほとんど必要としないわけで、技術者が判断すべ

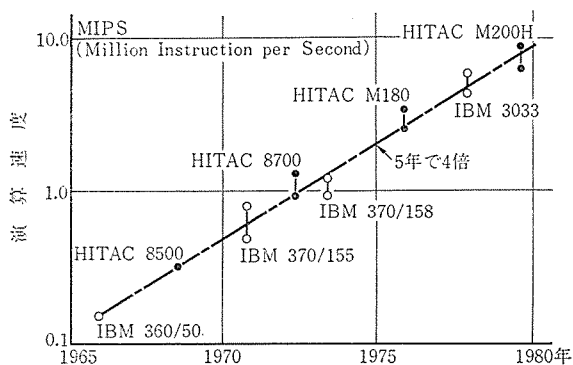
* 建設省土木研究所企画部システム課技術基準係長



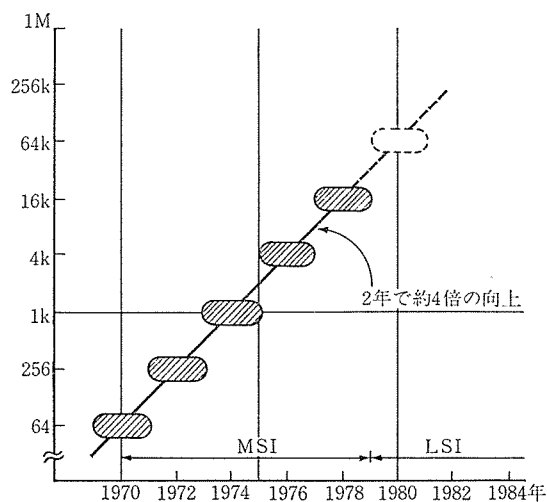
図一 標準大型機のメモリー容量の年度推移



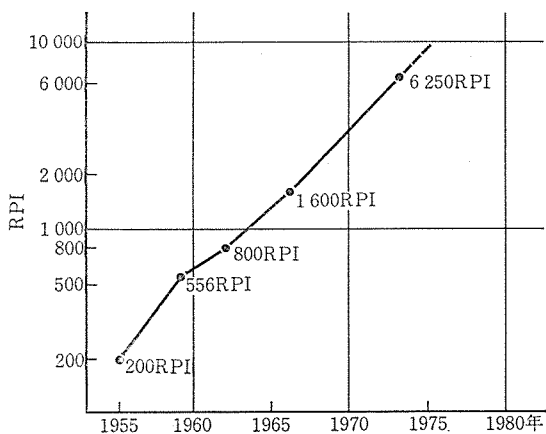
図四 磁気ディスクの容量/スピンドルの年度推移



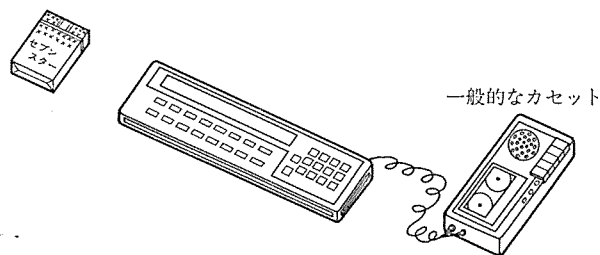
図二 演算速度の年度推移



図五 メモリー用 IC ビット数/チップ対年の推移



図三 磁気テープの記録密度の年度推移



図六 大型機と機能の類似する電卓

き入力を十分検討しておけば、入力された条件に対して手順どおりの計算と判断を行わせることができる。

このように一連の流れを電算化する方式があり、中型以上の電子計算機を対象としてプログラム開発を行う場合の形態で、近年この形態による例も多く

なっている。

土木研究所では、当初から②の形態によってプログラム開発を行っており、設計計算から図化までを含めた自動設計システムとして表一に示すものを整備している。

なお、これらのプログラムは標準設計の利用が可能な

表-1 土木研究所で開発の汎用自動設計システム一覧表

構 造 物	プログラムのステップ		入 力	出 力			
	設計プロ	図化プロ		計 算 書	図 面		
ボックスカルバート	一 連※	800	3 500	約 20 個	4 ページ	A1判 1枚	
	二 連※	2 100	〃	〃	〃	〃	
擁 壁	重 力 式	400	—	約 10 個	5 ページ	—	
	逆 T 式	800	2 000	〃	〃	A1判 1枚	
	控 え 壁 式	1 500	3 400	〃	〃	〃	
下 部 工	橋 台	重 力 式※	3 000	10 000	11~30個	8 ページ	サイズ自由 2~3枚
		逆 T 式※	3 700	13 300	13~40個	10ページ	〃
		控 え 壁 式※	5 000	17 000	16~40個	14ページ	〃
橋 脚	小判・円形・矩形※ ラ ー メ ン ※	8 000	18 000	約 100 個	15ページ	サイズ自由 3~4枚	
		12 000	35 000	約 170 個	50~60ページ	8~10枚	
上 部 工	ポ ス テ ン 単 純 T 桁 橋※	10 000	12 000	約 30 個	20ページ	A1判 2枚	
	プ レ テ ン 単 純 T 桁 橋※	2 000	5 600	〃	15ページ	〃	
	プ レ テ ン 中 空 桁 橋※	2 500	11 000	〃	〃	〃	
	プ レ テ ン 単 純 ス ラ ブ	6 000	11 000	約 100 個	40ページ	〃	
	プ レ ー ト ガ ー ダ ー 橋※	38 000	61 500	約 50 個	50ページ	A1判 5枚	
	鉄 筋 コ ン ク リ ー ト 床 版 橋	1 500	14 400	約 20 個	15ページ	A1判 1枚	
基	ニ ュ ー マ チ ュ ッ ケ ー ソ ン ※	10 000	25 000	60~ 92個	20ページ	サイズ自由 10~25枚	
	オ ー プ ン ケ ー ソ ン ※	11 500	26 900	60~ 97個	20ページ	10~20枚	
礎	く い (く 体 部 含 む)	橋脚用 { 小判・円形	14 000	26 000	110~140個	40~100ページ	4~5枚
		{ 矩 形	〃	32 000	〃	〃	〃
		逆 T 式 橋 台	10 500	33 000	80~100個	40~ 70ページ	6~8枚
		控 え 壁 式 橋 台	12 000	〃	〃	〃	〃
		擁 壁 { 片 持 梁 1 式	8 500	13 000	70~ 80個	30~ 40ページ	3~4枚
		{ 控 え 壁 式	9 000	17 000	〃	40~ 50ページ	〃
工	ボ ッ ク ス カ ル バ ー ト	6 000	5 000	80~ 90個	15~ 20ページ	3~5枚	
	樋 門 ・ 樋 管*	2 000	12 000	約 30 個	10ページ	6~8枚	

※ 現在公開中のもの * くい基礎としても拡張する

い中間の設計条件の場合や、本来自動設計としてしか利用できない工種に対する設計の自動化に寄与しており、公開されたプログラムを(財)国土開発技術研究センターに移管し、その利用を一般に公開しているが、利用率の最も高いものはポストテンション方式単純T桁橋である。

4. 電算利用における課題

電子計算機の利用は、時代の趨勢とはいえ様々な問題が生起している。以下にそれらの主なものについて私見をまじえながら今後の方向づけをしてみる。

4.1 電算利用による設計計算の厳密化の傾向

我々が対象とする土木構造物は、自然条件を対象とするものが多く、負荷項の精度は自慢できるものではない。

これに対して、抵抗項に関する設計計算は、理論づけることによって精度の向上を図ることができる。

このように負荷項と抵抗項の精度のアンバランスがあるのに対して、設計計算は厳密化の傾向にある。

もともと構造物は設計のためにあるわけでもなく、力学モデルによる設計計算のみをいかに緻密に行っても、

それだけで最適設計になり得るものではない。

例えば、橋梁の設計においては荷重項が大まかな仮定のもとに決められていたり、力学モデルを構成する構造系と実物との相似性の問題の取扱いが粗雑であったり、また抵抗項の中でも材料の品質、寸法誤差が設計にフィードバックされていないなどの場合は、抵抗項の応力計算のみを詳しく求めてみても、それは意味をなさないものとなる。つまり、力学モデル自身、そしてアウトプットによる施工など、それぞれの実態と同じレベルで設計計算の厳密さも論じられるべきである。

最近、ポストテンション方式単純T桁橋において、外桁と中桁の主ケーブル数を変化させた設計が行われるようになってきているが、これは電算利用によって考えられるようになったものであり、手計算によっていた時期では考えられていなかった成果である。しかし、主ケーブルが変化することに対する主桁剛度の変化をどのように評価するかは、鋼桁の断面変化を取り扱う場合のように明確ではないし、厳密に計算するとすればこれらを取り込む必要もあろう。

1主桁 10万円(支間 30m程度で)程度の経済性を追求するよりも、架設後の橋の耐久性(耐用年数は一般

に 50 年ぐらいとされている)を追求する方が重要ではなからうかと思われる。

一時期の鋼桁橋が経済性を追求したばかりに、床版の補修を余儀なくされている現状をみる時、なおさらの感が強いし、明治、大正に架けられた橋梁が交通体系のまったく違う現在においても、なお供用に値していることを考えるべきと思われる。

ただし、安全性を追求する場合でも直接人命に影響する場合とそうでない場合があり、また、安全すぎることによって構造系がアンバランスとなる場合もあることに留意しなければならない。

4.2 設計成果

構造物の設計成果は、発注者に十分説明できるものでなければならない。しかしながら、電算利用による成果は、ややもすると設計手順を省略しがちとなり、従来の手計算に比べて設計情報が不足がちとなる。また、出力機器が英字、カタカナ型がほとんどであるところから記号で取扱いがちとなり、その説明づけも省かれがちとなる。近年電算利用による出力を報告書に添付しても発注者に受け入れられるようになってきたが、審査する側の苦労は大変であろうと想像される。

筆者らもプログラム開発においては、できるだけコメントを入れるよう努力し、ラインプリンターによる出力をそのまま報告書として利用できるよう配慮しているが、現状の出力機器ではやむを得ない点もある。

しかしながら最近漢字出力機器の開発が盛んになっており、我が国独自の漢字とひらがなを組み合わせた出力形態もとれるようになっており、現在までに開発済みのプログラムについては、早い機会に漢字化を行う予定である。

4.3 プログラムのメンテナンス

構造物の設計に電算利用を行う場合、最もネックとなる点はプログラムのメンテナンスである。

構造解析プログラムの場合は、各モデルをプログラム化するだけであり、さほどのメンテナンスを必要としないが、構造物設計の一連の流れをプログラム化(自動設計)する場合は、技術基準の改訂の度に、また利用者からの様々な注文に対して、その機会ごとにメンテナンスを続けなければならない。

さらに、プログラム開発に際しては、可能な限りデバッグを心掛けてはいるが、どのような条件でも処理できるとは限らず、入力条件によっては想像もつかないエラーが生じることもある。これらは、開発時には想定しなかった利用の場合で利用されて初めて解決されていく点であり、これらの解決によってより完全なプログラムへと近づくと同時に、プログラムはますます複雑化する

こととなる。

したがって、そのプログラムにはいつまでも特定の技術者がかかわり合いを持たなければならない、人事上に問題が生ずる。

現在、利用実績の高いプログラムを保有している組織(電算センターは除く)では、プログラム開発からメンテナンスまで長い間それに携わっている技術者がおり苦勞されているが、黒子(歌舞伎)の精神には敬意を表したい。

土木研究所でも電子計算機が導入されてから 4~5 年は直営でプログラムを開発していたが、開発者が異動すると内容がわからなくなり、メンテナンスも十分でなくなるということから、それ以来外注によって開発を行い、メンテナンスも引き継いで行っていただくこととしている。

4.4 技術者の育成

プログラムの開発者は、様々な調査や検討によってプログラムを完全なものへと近づけようと努力する。このようにして育った技術者は、1本の自動設計プログラムを組み上げることによって自信を持つようになる。

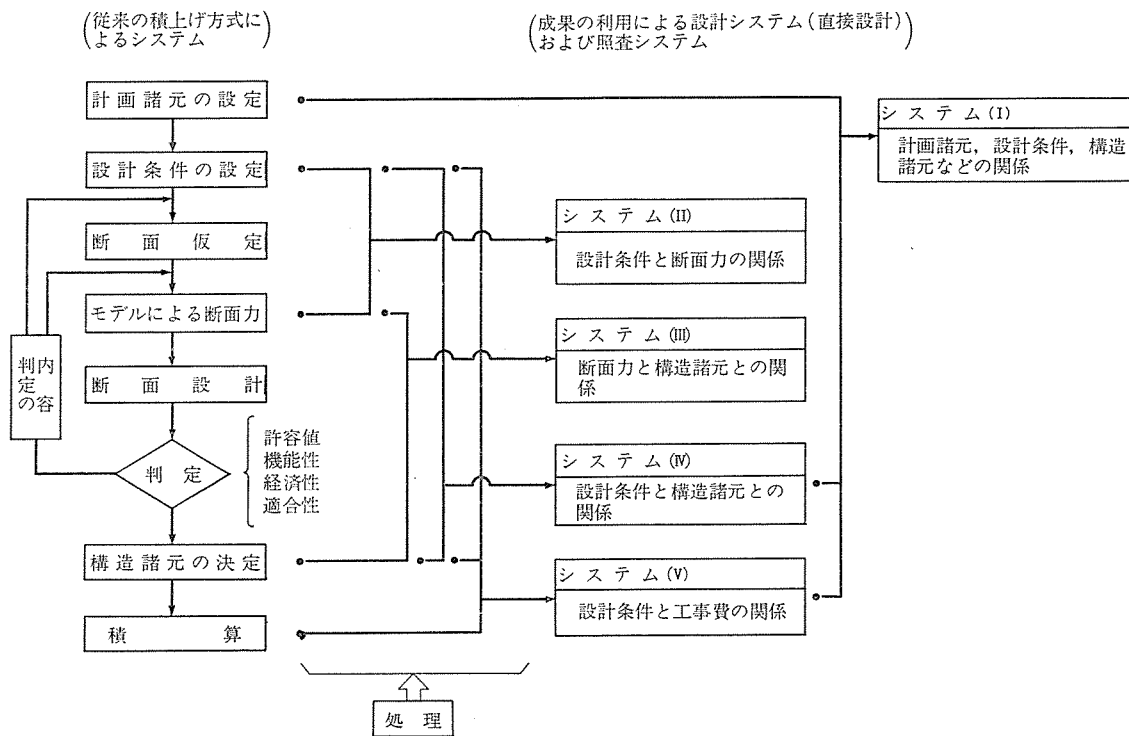
しかし、このような機会を得ることのできる技術者は数少なく、多くの技術者は業務の省力化のためそれを利用する側となり、手順を知る機会が少なくなることから技術的な判断力の涵養が不足し、有能な技術者として育たなくなる。また、現場技術者は、多様化した社会における事業実施のため多くの問題点をかかえていることや、積算体系の合理化が遅れていることから電算利用の機会は勿論のこと、それによって処理された成果に拒否反応を起こしがちである。電子計算機を流れ作業的に利用するだけでは、このような問題が生起する。

以上のように、電算利用はややもすると技術者の育成を妨げることにもなりかねない。

したがって、電算利用の時代といえども、経験を積むことが一人前の技術者育成の早道であり、前時代的な設計をする時間をつくることを心掛けるべきである。

4.5 システムの管理体制の確立

我が国のプログラム開発は、世界に類をみないほど盛んであり、また進んでいる。しかしながら、1本の自動設計プログラムを開発するためには、設計モデルの評価基準や設計のアルゴリズムを決めるために相当の日時とマンパワーを要することになり、現在のように各組織で勝手に開発することは国家的損失であり、システムティックな開発が望まれるところである。そのようにして開発されたプログラムは、なるべく多くの人が使えるような管理体制が必要であり、その確立に努めなければならない。ただし、技術の取得のためのプログラム開発は今



図一7 システム関連図

後も続けるべきであることは論を待たないし、最近の技術者はこのようにして技術を取得することも多い。

5. 電算利用による成果の有効利用

建設事業を円滑に推進するための省力化施策は時代の要請であり、そのため新しい技術の有効な利用から電算利用も盛んで、現在では電算利用を抜きにして土木設計は考えられないほどに一般化している。また、最近改訂された基準類も電算利用を加味した規定が多くなっており、これらはその後の構造物の設計体系を大きく変化させている。

一方、現場の技術者は、事業量の増大と多様化した社会での事業実施のため多くの問題点をかかえており、構造物設計の時間的余裕も奪われがちで、最近ではそのほとんどをコンサルタント利用という手段にゆだねているのが実情である。

このように設計方式はますます複雑化する傾向にあるのに対して、現場技術者は設計作業から遠のくという相反する状態においては、電算利用による設計成果を審査するという事は困難であろうし、たとえ審査するとしても多くの時間と苦勞を強いられることになる。

このような問題に対処するためには、新しい設計体系および照査体系の確立を図る必要があり、土木研究所では次のような課題とも取り組んでいる。

① 直接設計システムの開発

② 設計照査システムの開発

すなわち、標準設計および自動設計で目的とする設計方式の統一化に準じた設計成果の場合は、標準設計および自動設計で得られた成果を統計処理等の手段によって式化あるいは図表化しておけば、設計条件と構造諸元との関係を知ることができ、設計条件と構造諸元の中間に位置するモデルを模した設計計算を行うこともなく、構造諸元を設定したり（概略設計システムとして有効である）、設計成果の照査を行うことができる。

図一7は、現状の設計体系とその成果を利用した新しい設計体系の関連図であるが、それぞれのシステムの完成によって機能的に連繫でき、また各種構造物の設計マニュアルの作成も可能となり、構造物設計を総合的に行うことができる。例えば、設計成果の構造諸元を直接照査しようとする場合は、システム（IV）の結果を用いればよいし、設計の手順どおりに諸数値を照査（設計）しようとする場合は、システム（II）～（IV）で得られる結果を用いることができる。また、システム（V）の作成によって経済性が判断でき、さらに構造物を総合的に判断できるシステム（I）の作成が可能となり、計画時に多くの情報を入力でき、比較設計システムとしても利用できよう。

土木研究所では、電算の利用を推進するためのプログラム開発のほかに、それによって得られる成果の有効利用から以上のようなシステムについて検討を行って

り、プレストレストコンクリートに関しては、現在ポストテンション方式単純T桁橋を対象としてとりまとめ中である。

6. あとがき

筆者が協会の編集部より依頼された標題は、“PCにおける電算利用の現状”であった。しかしながらプレストレストコンクリートに関する知識は浅学であり、橋梁以外のPCに関する電算利用は経験がないし、橋梁についてはこれまでに何度か紹介しており新鮮味がない。

したがって、現在土木研究所におけるプログラム開発の現状とその課題、電算利用による成果の有効利用など本来の主旨とは異なってしまったが、何らかの参考となれば幸いである。最後に発注者側の方に一つお願いをしてまとめとしたい。

プレストレストコンクリートによる構造物の利用が多くなった理由は、その構造特性の有利さもあるが、まえばがきにものべたごとく標準化を早く取り入れたことも大きな要因であろう。

建設省の標準設計も昭和43年度に制定、昭和54年度に改定され、橋梁設計にもある程度寄与していると思われるが、利用の現状は目標にまだまだの感が強い。

すなわち、標準設計の設計条件=現場条件の整合性、に問題があることで、標準設計の作成に際して設計条件の決定にいかん意を用いても、現場条件の標準化を行っていただかないと両立しないのである。

したがって、今後の橋梁計画においては、その設計条件を標準設計の設計条件に整合させられないものかどうか十分な検討をお願いしたい。

◀刊行物案内▶

PCによる構造物の補強と PC 構造物の設計・施工

本書は第9回 PC 技術講習会のためのテキストとして編纂したもので、その内容はプレストレスによるコンクリート構造物の補強または補剛、さらに補修について土木、建築構造物双方の実例を挙げて説明されている。その他、最近、長大化スパンに伴い最も多く採用されているカンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について、国内はもちろん、諸外国の実例を示し、片持架設される橋梁形式の PC 桁橋、PC 斜張橋、コンクリートアーチ橋、PC トラス橋について、幅広く詳細な施工要領が示されている。また巻頭には 1980 年 9 月ルーマニア国ブカレストにおいて行われた FIP シンポジウムの報告として、世界におけるプレストレストコンクリート概念について詳述されている。

内容は大きく 3 項目に分かれているが、非常に中味の濃い、PC 技術者にとっては必携の図書としてお勧めいたします。ご希望の方は代金を添えてプレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 定 内	裁：A4判 131頁 価：3,500円 送料：450円 容：(A)プレストレストコンクリート概念の世界の現況、FIP パーシャルプレストレッシングに関するシンポジウム（ブカレスト）総括報告、パーシャルプレストレッシングの利点と定義、設計法および設計諸規準、実験的研究、適用例。(B)-1 建築構造物の補修と補強、まえばがき、床スラブのひびわれ、たわみ障害と補修、プレストレスによる曲げ耐荷能力の増大、せん断ひびわれの補修、地震被害を受けた建築構造物の補修、結言。(B)-2 PCによる構造物の補強の実例（道路橋編）、概論、コンクリート構造物に発生する欠陥、ひびわれに関する調査、補修工法、プレストレスによる補修、プレストレスによる補強例。(B)-3 PC 鉄道橋の補修・補強、補修・補強の概念、構造物の検査、PC 鉄道橋の補修・補強の研究の概要、補修事例。(C) カンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について、概要、現場打ち工法、プレキャストブロック工法、斜張橋、アーチ橋、PC トラス橋、設計、安全性、断面力、上げ越し計算、施工。
-------------	--