

各界の第一線で活躍されている三人の技術者をわずらわせて、それぞれの立場からPC構造物の問題点をさぐって頂く「問題点シリーズ」なる企画を立てました。第2回(10月号)は「PC建築設計上の問題点」を建築研究所の中野清司氏に、第3回(12月号)は「PC鉄道橋設計上の問題点」を国鉄構造物設計事務所の宮田尚彦氏にご執筆いただく予定です。ご期待下さい。

会誌編集委員会

プレストレスト コンクリート道路橋の設計上の問題点

国 広 哲 男*

1. ま え が き

最近における道路事業の伸びとともに、特色のあるプレストレスト コンクリート道路橋(以下PC道路橋という)が各地で建設されている。電子計算機を大幅に利用した設計とか機械力を駆使した施工など、PC道路橋の技術は着実な進歩を示してきたといえる。以下に、PC道路橋の設計において最近問題になっていると思われるような点について述べる。

2. 橋梁の形式選定

橋種および構造形式選定に際して考慮しなければならない要素としてもっとも重要なものの一つは、いうまでもなく工費である。下部構は架橋位置における自然条件に大きく左右されるので、工費見積り精度が上部構に比べてあまりよくない。下部構に関する見積りの精度をあげて上・下部構の間で工費の見積りの精度のアンバランスをなくすことが、今後課せられた形式選定上のもっとも重要な課題の一つである。

いずれにしても工費は橋種、形式選定の決め手となるきわめて重要なものであることには違いないが、最近では工費以外にも施工の難易および安全性、工事中の労働環境の改善、美観および橋梁利用上の快適さ、というような点が非常に重視されるようになり、見かけ上の工費の経済性よりもこれらの事項によって橋梁の形式が決められるという場合がでてきた。このため、高所作業、現場で非常な精度の要求されるような作業は、できるだけ少なくするように設計の段階で考慮され、また走行上の快適さという点から路面上の伸縮継手の数を減らせる構造系が多く用いられるようになっている。

さらに最近では労務費の上昇により、材料所要数量の最少のものが、必ずしも最少工費とはならなくなってきたので、最適設計のあり方についても以前とは、かなりおもむきが変わりつつある。労務費が全体工費の中に占める比率は、鋼橋よりコンクリート橋のほうが大きい。ここ数年の動きを見ると材料費に比して労務費の上昇率は非常に大きいので、将来の橋梁建設費の増加の度合は、鋼橋よりコンクリート橋のほうが大きくなるのではないかということも予想される。とくに鋼橋では、最近の計算機の発達に伴い、設計製図の自動化にとどまらず、製作の初期工程である材料手配、けがき鋼板切断、穴あけ等の自動化、すなわち製作のNC(Numerical control)化が行なわれはじめており、このようなNC化のしやすいような設計を行なうという方向に向かいつつある。PC橋の場合、現場での作業が多だけにこのような施工の自動化という点では、鋼橋にかなりの遅れをとっているようにみえる。しかしコンクリート橋でも、建設費を安くするためには、施工の省力化をはかることが何よりの急務であって、施工の省力化を行ないやすいように設計のときに配慮しておくということが必要である。

また、最近では道路橋でも、保守管理が重要視されるようになってきた。しかし、ひとたび供用を開始したあとでは、橋梁の保守管理作業は大きな制約をうけるので、できるだけ完成後の保守管理の容易な構造が好まれる傾向にあり、また点検、保守のしやすい構造細部を採用することが要求されるようになっている。

以上のほかに形式選定に際しての制約条件として、河川の治水上および道路線形上から、橋梁の立場から見たとかなり過酷と思われるような要求が強いられるようになった。すなわち、前者からの制約によって橋梁のスパン割が左右され、しかもこのスパンはかなり大きなもの

* 建設省土木研究所 橋梁研究室長

が要求されるようになってきた。また、後者からの制約によって斜橋、曲線橋などの複雑な構造が増えるという結果を招いている。このため、長大スパンで複雑な平面形をした面倒な設計が強いられることが多くなりつつある。

3. 電子計算機の利用

橋梁の設計業務の中で電子計算機の果たす役割はますます大きくなりつつあり、現在では人力ではとてもできないような複雑な計算を行なう場合および人力で計算はできるが省力化のために利用する場合とも広範囲に用いられている。とくに最近では、大型の計算機の利用が一般化し、マトリックス構造解析をはじめとする各種の解析法が実用設計計算に用いられるようになった点が注目される。

しかしながら、このような電子計算機の設計業務への導入にあたって新たな問題が生じはじめている。すなわち、計算機を用いて計算したのだからと、その結果を正しいと見做す人が増えつつあるという点である。計算機は設定された構造モデルと計算法に対してはまったく忠実であるが、構造モデルが対象としている構造を忠実に表現しているかどうか、計算の方法が正しいかどうかは問題で、この点についての批判を怠ってはならない。また、人間のつくるプログラムやインプットデータにミスがないともいえない。このためになんらかの方法で計算機によって得られた結果をチェックすることの必要性の声が聞かれるようになった。プログラムが完全に公表されていない現状では種々むずかしい点もあると思うが、国の機関等でプログラムの良否をチェックし橋梁の設計計算に用いてよいプログラムの登録制度なども真剣に考えるべきであろう。

また、解析手段の進歩によって、これまでわからなかった構造細部における局所的な応力状態が明らかにされつつある。このような従来無視されていた局部応力が明らかになったばかりに、従来の計算応力のほかにこの局部応力をさらに加えなければならないことになった。このため、従来の設計では安全だとされていたにもかかわらず、局所的には許容応力度をこえるような場合がかなりあり、従来の許容応力度との関係をどうするのかという新しい問題が生じている。

4. 新しい材料

橋梁を軽量化したいという要望に応え、また最近の天然砂利の不足という事態に対処するために、人工軽量骨材を用いたコンクリートの道路橋への利用が増えつつある。

現在では、比重 1.6 t/m^3 程度でも PC 道路橋として十分な強度を出せるような軽量コンクリートをつくることのできるようになり、このような軽量コンクリートを PC 道路橋へ用いるということもすでに二、三試みられている。しかしながら、このような軽量コンクリートのクリープ係数、乾燥収縮度などについては、天然砂利を用いたコンクリートほど長期間にわたる実測データはない。プレストレスの減少あるいは橋の変形の計算において、従来からの天然砂利を使用したコンクリートと同じような諸数値を用いてよいかどうかを明らかにすることが今後の課題である。

一方、PC 鋼材についても非常に強度の強いものが製作されるようになってきた。PC 鋼材の価格は、PC 鋼材の強度に比例して高くなるものではないので、PC 鋼材として強度の大きいものを使用するほど工費は安くなる。しかしながら、非常に高い応力を受けたままの状態での PC 鋼材の腐食については未解決の問題が多い。

数年前、鋼橋の部材接合に用いられる高力ボルト摩擦接合継手において、締めつけ後 1～2 年経過したのちに高力ボルトが破断するという事故が起こった。いわゆるおくれ破壊と呼ばれる現象である。PC 鋼棒はその機械的性質においては、この高力ボルトとかなり似かよったものであるため、この種のおくれ破壊についても十分検討を要すると思われる。熱処理によって強度を出した PC 鋼棒の中には、現在鋼橋の摩擦接合継手用の高力ボルトで、おくれ破壊に対して一応安全と目されているものに比して、このおくれ破壊耐力のかなり低いものがあるという実験の結果もある。

鋼橋の摩擦接合用高力ボルトと PC 鋼棒とは使用方法が異なり、したがって、腐食環境がまったく異なっているが、高強度の PC 鋼棒の中には、このようなおくれ破壊の感受性の強いものがあるということを忘れてはならない。

5. 軽量化

橋梁のスパンを大きくしたり、また耐震性を向上させたりする点からも、橋梁をできるだけ軽量化しようとする努力がはられてきた。この軽量化を目標に材料、構造、設計法は進歩を遂げてきたともいえる。

上述したような人工軽量骨材コンクリートの使用は、コンクリート橋の軽量化に大いに貢献することはいうまでもない。

橋面舗装については現在までのところ厚さ 5 cm 以上のものが慣用されているが、薄層舗装に関する開発研究も行なわれ、厚さ 1.5 cm 程度のものがすでに使用された例がある。コンクリート橋の場合、もともと死荷重が

問題点シリーズ・1

大きいので、鋼橋ほどの影響はないにしても、薄層舗装もコンクリート橋の軽量化に貢献している。なお薄層舗装の場合には、床版表面の凹凸をなくすよう仕上げを入念に行なうことが不可欠である。このための簡易な施工機械の開発が望まれる。

また高強度のコンクリートの使用とか、曲げに対する抵抗の点ではあまり役立たぬウェブをできるだけ薄くして軽量化をはかるなどの手段もとられている。この場合、ウェブを薄くするとせん断に対してもたなくなる恐れがあるので、ウェブに鉛直方向あるいは斜め方向にプレストレスを与えるなどの方法がとられている。

長大PC橋の場合には、このような方法のとられることが多い。

電子計算機の利用による構造解析法の進歩のために、個々の部材がそれぞれ独立して荷重に抵抗するとしていた慣用の設計法にかわって、橋梁を平面構造として、あるいは立体構造として解析し、設計することが可能となった。こうした設計法の進歩も橋梁の軽量化をうながしている。

コンクリート橋で鋼橋に比してもっとも大きな欠点とみなされるものはその重量が重いということであり、これがコンクリート橋の下部構の工費増大の原因となり、またスパンの長大化をはばんでいたといえる。したがって、PC道路橋の設計もこの軽量化という強い要望に応えられるような方向に向うべきであると考えられる。

6. PC道路橋の設計に用いられる示方書

PC道路橋の設計には次の示方書が用いられる。

- (1) 道路橋示方書 昭和46年12月 日本道路協会
- (2) プレストレストコンクリート道路橋示方書
昭和43年 日本道路協会

上記(1)は、道路橋の設計に用いる荷重、材料などについて規定した共通編と、鋼橋編とからなっており、昭和47年4月より発効した。これに伴い、上記の(2)と(1)とで同じ項目に関して規定してある条文については、当然(1)のほうが優先することになる。また上記の(1)に規定された条文の中には、その内容から判

断して、PC橋にも、当然適用したほうがよいと思われるものもある。したがって、このような条文の意図するところののっとり、PC道路橋の設計を行なわなければならないことは当然である。上記(1)の制定に伴って、PC道路橋の設計において、従来のものより改められるべき主要な点を列挙すると、以下のとおりである。

1) T荷重の橋軸直角方向の車輪中心の載荷位置は従来、車道部分の端部より50cmであったが、これが25cmと改められた(図-1参照)。

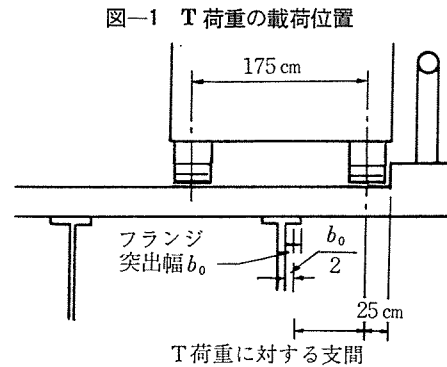


表-1 歩道等に負載する等分布荷重

支間 (m)	$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$430 < L$
荷重 (kg/m ²)	350	$430 - L$	300

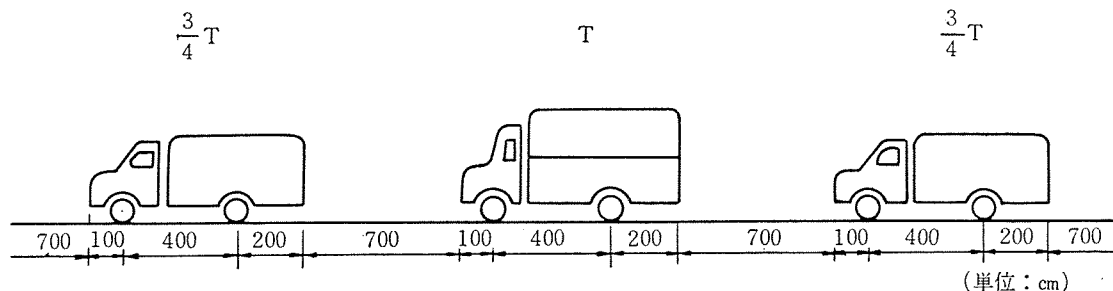
L: 支間 (m)

2) 主桁を設計する場合の歩道部の等分布荷重は、従来スパンのいかににかかわらず一率に 350 kg/m^2 であったのが、表-1に示すごとく、スパンの増加とともに荷重強度を低減させるように改められた。

3) スパンのとくに長い床版橋は、従来どおりのL荷重によるほか、図-2に示すような連行自動車荷重についても検討することになった。

4) 鉄筋コンクリート床版を有する、鋼桁橋の活荷重(衝撃の影響をのぞく)によるたわみの許容量は、表-2のように改められ、短スパンの場合には、かなりきびしい規定となった。これは、支持桁のたわみが鉄筋コンクリート床版へ与える悪影響を考慮して定めたものである。PC橋の場合でも、この趣旨にしたがうのがよい

図-2 連行自動車荷重



(単位: cm)

表-2 鉄筋コンクリート床版をもつプレート
ガーダーのたわみの許容量

	単純支持桁および連続桁	ゲルバー桁の片持部
$L \leq 40 \text{ m}$	$\frac{L}{20000/L}$ だが $\frac{L}{2000}$ 以上	$\frac{L}{1200/L}$ だが $\frac{L}{1200}$ 以上
$L > 40 \text{ m}$	$L/500$	$L/300$

と考えられる。すなわち、橋軸方向と橋軸直角の2方向にプレストレスの与えられた床版を有する場合を除き、PC橋のたわみの許容量は表-2を準用するのがよい。

5) 橋軸および橋軸直角の2方向にプレストレスの与えられた床版を除いて、PC橋の床版の設計には以下の規定を適用するものとする。

- ① 計画交通量のうち大型車両が1日1方向1000台以上の場合には、T荷重によって計算した床版の断面力に次の係数を乗じた値を設計に用いる断面力とする。

$$L \leq 4 \text{ m} \quad 1.2$$

$$4 < L \leq 10 \text{ m} \quad 1.2 - \frac{1}{30}(L-4)$$

$$10 \text{ m} < L \quad 1.0$$

ここに、L：床版のスパン

- ② 床版の最小厚さは表-3によるものとする。

表-3 車道部分床版の最小全厚

(単位：cm)

版の区分	床版の支間の方向		
	車両進行方向に直角		車両進行方向に平行
一等橋	単純版	$4L+11$	
	連続版	$3L+11$	
	片持版	$0 < L \leq 0.25$	$28L+16$
$L > 0.25$		$8L+21$	
二等橋	一等橋の値から3cm減じた値		

注：LはT荷重に対する床版の支間 (m)

表-4 鉄筋の許容応力度

(単位：kg/cm²)

鉄筋の種類	許容引張応力度	許容圧縮応力度
SD 24	1400	1400
SD 30	1400	1800

- ③ 車道部分の床版に用いる鉄筋の許容応力度は表-4のとおりとする。

- ④ 鉄筋は異形鉄筋とし、その直径は13, 16, 19mmを標準とする。

- ⑤ 鉄筋のかぶり厚は3cm以上とする。

- ⑥ 鉄筋の中心間隔は30cm以下、10cm以上とする。

- ⑦ 鉄筋は断面内の圧縮側にも、引張側の少なくとも1/2の量を配置するのを原則とする。

- 6) 橋軸および橋軸直角の2方向にプレストレスの与えられた床版の場合でも、その設計にあたっては上記の5) ①の規定を適用するものとする。

7. 標準設計

建設省では業務の簡素化をはかることを目的に使用頻度の多い形式の橋梁について設計の標準化を進めているが、昭和44年土木研究所によって作成されたポストテンション方式PC単純T桁橋の標準設計¹⁾においては、図化、材料数量の計算まで計算機に行なわせるという、わが国では初めての完全な自動設計システムが採用されこのためのプログラムが開発された。

すなわち、インプットデータとして橋格(一等橋か二等橋か)、スパン、幅員を与えれば、アウトプットとして図面と材料数量が得られるというシステムである。

このポストテンション方式PC単純T桁橋の標準設計は、次の範囲の組合せ(合計860種類)に対して作成されている。

支間：14~40mの範囲	17種類
幅員：6.5~13mの範囲	10種類
斜角：90°から60°まで10°きざみ	4種類
等級：一等橋および二等橋	2種類

さらに土木研究所では、47年2月プレテンション方式PC単純T桁橋の標準設計²⁾を発表したが、これも完全な自動設計によって図面が作成された。

T桁橋用プレストレスコンクリート橋桁については、昭和35年にJIS A 5316が定められ今日に至っていたが、最近スパン20m程度のものにもプレテンション桁が用いられるようになり、実状にそぐわない点が見受けられるようになった。このため、昭和46年、JISの改正が行なわれた。

今回改正になったJISでは対象とするスパンは10mから21mまでとなり、断面の外形の寸法は5種類(桁高60cmから100cmまで10cmおきの5種類)にまとめられている。とくに上・下フランジの幅、長さ、傾斜およびウェブ厚はすべて同一とし、ウェブの高さが異なるだけで型わく工における合理化をはかっている。スパン19m以上の長スパンのものについてはPC鋼材を折り曲げて配置している。

47年2月に発表されたプレテンション方式PC単純T桁橋の標準設計は、このJIS A 5316に定められた桁橋用プレストレスコンクリート橋桁の使用方法を具体的に示したものと考えてよい。この標準設計は、次の各場合(合計1968種類)について作成されている。

支間：10mから21mまで1mきざみ	12種類
幅員：道路構造令第3種のうち、2車線までのも	

問題点シリーズ・1

ので、比較的よく使われると思われるもの 41 種類（すなわち、一等橋では本線幅 6.0~9.0 m と歩道幅 0.75~2.5 m の範囲内での各種組み合わせ 39 種類、二等橋では本線幅 4.0, 5.0 m の 2 種類）

斜 角：90° から 60° まで 10° きざみ 4 種類

いずれにしろ電子計算機の利用によって支間、幅員、斜角など、かなり細かくわけて標準設計を作成することが容易になり、適用の範囲は非常に広くなったので、標準設計の寸法に合わせて橋を計画するというような前向き姿勢で標準設計の活用をはかるべきである。

なお、建設省土木研究所では、上述したポストテンション方式およびプレテンション方式の P C 単純 T 桁橋の標準設計の作成に際して開発した自動設計プログラムを所有している。これらのプログラムは官公庁、公団等の発注者側から建設省土木研究所長あての文書による申し込みがあれば、いつでも自由に使用できる道が開かれていることを申し添えておく。

8. 省 力 化

最近の P C 道路橋にみられる省力化の方策として、プレハブ化と、現場での施工の機械化があげられる。

橋梁をプレハブ化するということの利点としては、① 工期が短縮できる、② 品質管理が容易になる、③ 危険を伴う現場での作業を減らせる、④ 大量生産と結びつく場合には大幅なコストダウンが期待できる、⑤ 作業を単純化、機械化しやすいので人手、とくに熟練工を減らせる、⑥ クリープ係数、乾燥収縮度の値を小さくとれる、などの点をあげることができる。このため橋梁のプレハブ化に対する要望は、今後も加速度的に増大するものと思われる。

わが国における P C 道路橋の典型的なものは、プレキャスト桁を架設、並列し、しかるのち、これらの桁間の床版部および横桁部のコンクリートを打設し、横締めを行なって一体にするという構造形式である。このような構造形式は、プレストレスト コンクリートの技術がわが国へ導入された当初から使用されてきた。したがってわが国の P C 道路橋ではすでにかなり前からプレハブ化が進んでいたといえる。

これに対し、P C 橋のプレハブ化という点で最近、P C 橋を橋軸直角方向に切ったブロックいわゆるセグメントを利用した工法が大きな脚光をあびるようになった。

このようなブロック工法には 2 つの方法があり、プレキャストのセグメントとセグメントの間に所要の目地間隔をとり、この部分で両セグメントから突出した鉄筋をつなぎ、目地コンクリートを打設してセグメントを継ぐ方法と、接合するセグメントとセグメントとの端面にエ

ポキシ系の樹脂を塗り、プレストレスを与えることによって、はり合わせてゆく方法とがある。

わが国の道路橋では、後者のほうがよく用いられているが、この場合セグメントの製作には非常な精度が要求され、現場において相互のセグメントが密着するようにすでにできている前のセグメントの端面にはく離剤をぬり、これを型わくがわりに用いて次のセグメントを製作してゆくという方法がとられている。

プレキャストセグメント 1 個あたりの重量は、わが国の道路橋では 20~40 t 程度のものが用いられている。

セグメントの組立架設の方法は、支保工上にセグメントをならべ、プレストレスを与えて一体にするもの（写真-1 参照、兵庫県の釜屋橋、スパン 52.6 m の単純桁橋）と、橋脚から順次継ぎ足しながら片持式に架設するもの（写真-2 参照、岡山県の神島大橋、スパン割 41+86+41 m の 3 径間連続桁橋）とがあるが、わが国の道路橋では後者のものが多く用いられている。このような

写真-1 釜屋橋

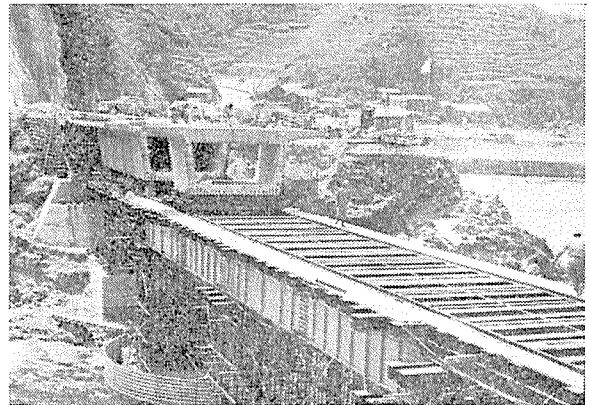
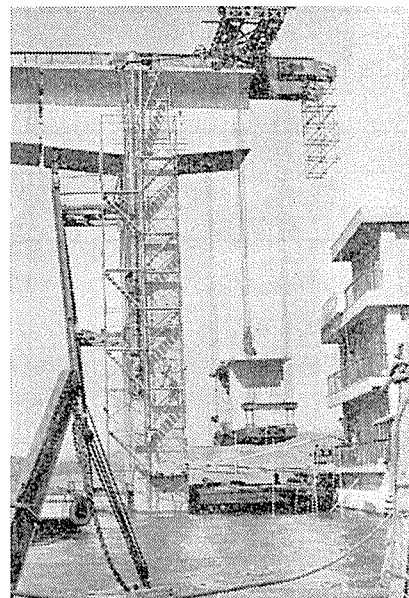


写真-2 神島大橋



プレキャストセグメントを用いる場合、これが大量生産と結びつく場合には経済性はきわめて大きい。このようなブロック工法の考案国であるフランスなどでも1000m程度以上の橋長にならないと、あまり経済性が発揮できないといわれている。わが国の道路橋の場合、このようなブロック工法による施工の実績はかなりあるが、残念ながらいずれも橋長が短く、経済性を最大限に生かしているとはいいがたい。

このようなプレキャストセグメントを使用する場合の設計上の問題点として、セグメントの継目の強度をあげることができる。

プレキャスト桁間あるいはプレキャストセグメント間にすき間をあげ、この部分で鉄筋をラップさせ、コンクリートを打つという場合の、これらの継目の強度については、すでに相当以前からこの種の継手が道路橋に用いられており、施工さえ入念に行なえば一体打ちのものに比べて、強度の点でそれほど劣るものではないということが実証されている。

しかしながら、プレキャストセグメント相互を直接エポキシ系の接着剤とプレストレスによってつなぎあわすという場合には、この継目を横切って、鉄筋を配置することがむずかしい。とくに連続桁の支間中央付近では、PC鋼材は、桁の下側の位置に配置されるのが普通であり、このような場合には桁の上フランジの継目の部分には、この継目を横切る鋼材は、まったく存在しないことになる。道路橋の場合、桁の上フランジは、また自動車輪荷重を直接支持する床版としての働きも果たさなければならない。したがって、このような連続桁の支間中央付近の桁の上フランジの部分にあるセグメント相互の継目には、活荷重の載荷状態いかんによっては、桁作用としての曲げモーメントのために、引張応力が生じ、さらに、自動車輪荷重の載荷によって床作用としての曲げモーメントのために引張応力が生じる。このような桁作用と床作用との重ね合わせによる引張応力に対して設計しなければならないことは当然であるが、上述したとおり、この継目を横切って鉄筋を配置することがむずかしいので、プレストレスのみによって抵抗させなければならない。

道路橋の床版は自動車輪荷重によるおびただしい頻度でのくり返し載荷を受ける部材であって、設計輪荷重を越えるような自動車輪荷重の通行の事実も報告されている。したがって、プレストレス以上の引張応力が生じた場合には、この継目を横切って鉄筋が配置されていないだけに非常に危険な状態になる。

このため、PC道路橋のセグメントの継目の設計においては $1.05 \cdot D + 1.2 \cdot L$ の荷重に対して、継目に引張応

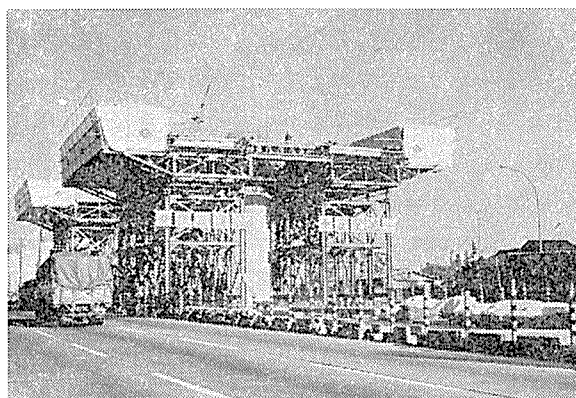
力がでないようにしているが、上記のような上フランジの継目では、さらに安全を期すために、この継目を横切るように上フランジの下面に鋼板を接着するようなことも最近行なわれている（本誌 Vol. 13, No. 4, p. 10, 首都高速道路3号線Ⅱ期参照）。

このようなプレキャストブロック工法は、長大PC橋の省力化工法として非常に有望なものの一つであり、セグメント継目の設計法や構造細目に関する研究が必要である。一方、PC道路橋にみられる省力化の方策として、能率のよい移動式の支保工による現場施工の機械化をあげることができる。

移動式の支保工には、すでにディビダーク工法としてよく知られているフォルパウワゲンと、1径間全部を一度に施工できる大型の移動式支保工がある。これらの移動式の支保工は、また、サイクリックな単純なくり返し作業によって、施工が行なえるという利点もある。フォルパウワゲンは周知のとおり、数mのブロックごとに施工してゆくものであるが、最近では1ブロックの最大長さ5mまで施工できるというような大型のワーゲンも用いられるようになり、工期の短縮に貢献している。

また、一径間全部を一度に施工できる大型の移動式の支保工には、地上から支持される形式のもの（写真—3

写真—3 東灘第5工区に用いられた移動式支保工



参照、阪神高速道路公団東灘第5工区、スパン35~36m、18径間のゲルバー式高架橋）と吊り形式のものがあり、もちろん、いずれの形式でも型わく建込み、配筋、打設、養生、脱型、支保工移動という一連の現場作業を一定のリズムでくり返しながらか、能率よく行なうことができるような器材を設備している。スパンの長大なものについては移動式の支保工の製作費に金がかかり過ぎるが、スパン30~40m程度で橋梁延長の長い場合には、将来、非常に有望なものではないかと思われる。したがって、現場打ちでの施工が予想される橋では、このような移動式支保工の利用に便利なような設計が望まれる場合が多くなるであろう。

9. フルプレストレスかパーシャルプレストレスか

PC道路橋をフルプレストレスかパーシャルプレストレスのいずれで設計するかは設計の基本となるべき、きわめて重要な事項である。フルプレストレスでもパーシャルプレストレスでも、道路橋として使用するうえでの安全性の点では、両者でそれほど明確な差があるというわけではない。

しかしながら、ひびわれ、くり返し载荷に対する抵抗の点では明らかに前者は後者よりすぐれており、この点が将来の橋梁の維持管理にある程度の影響を及ぼすものと考えられる。したがって、いずれの設計態度をとるかは、橋の架橋位置の条件、将来の保守の状態、载荷の度数、部材の種類、経済性を考えて決めるべきである。

一般に海岸地帯や、工場地帯で、コンクリートにひびわれが生じた場合、これが橋の耐久性に悪影響をおよぼすと考えられるようなときにはフルプレストレスとしたほうがよい。

以前は、主桁は橋全体の安全性を左右する重要な部材であるから一次部材として、フルプレストレスの設計が、また床版のような部材は橋全体としての安全性には関係しないという考えから二次部材として、パーシャルプレストレスの設計が行われてきた。しかしながら、設計のときに想定したような荷重の载荷する度数、また輪荷重の増大によって、ただちに影響を受けるという点からは、床版のほうははるかに過酷な状況にさらされている。したがって、最近では、床版などのおびただしい载荷頻度で輪荷重の影響を直接的に受ける部材は、フルプレストレスで、主桁のように設計で想定した荷重の载荷する頻度の少ない部材は、パーシャルプレストレスで設計するという例がふえはじめている。

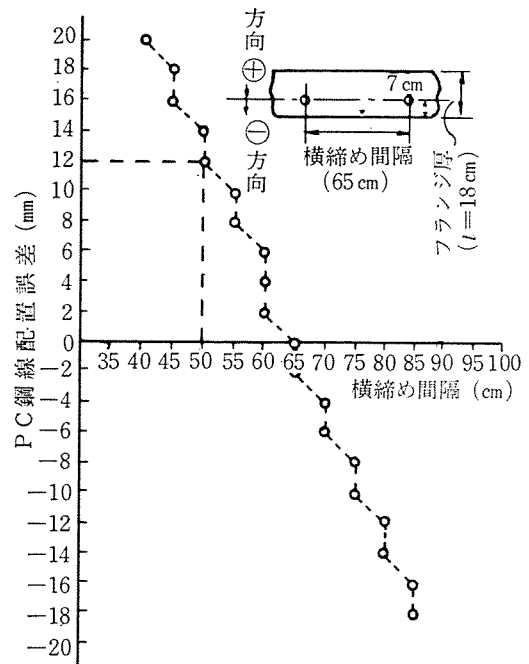
10. 施工誤差と設計との関係

断面寸法、PC鋼材の配置、PC鋼材の緊張力における狂いなどのような施工上の誤差が設計に及ぼす影響が最近問題視されるようになってきた。

たとえば、いま鉛直方向のPC鋼材の配置誤差を取り上げてみると、単純支持の道路橋として、一般によく用いられている程度の寸法のT型断面桁では、PCケーブルの配置誤差が桁高の1/100程度の場合、プレストレスの誤差は1.5%前後になるといわれている。

しかしながら、床版のように厚さの小さい部材では、床版中に配置するPC鋼材や鉄筋の鉛直方向の位置の狂いが耐力に及ぼす影響はかなり大きいので、床版の施工には細心の注意を払わなければならない。床版中にお

図-3 PC鋼材の配置誤差が横締め間隔におよぼす影響



けるPC鋼材位置の狂いと、それに応ずるような横締めPC鋼材の間隔の変化の関係の一例は図-3に示すとおりである。すなわち、12 mm 上方向に位置が狂っていると横締めPC鋼材の間隔は65 cmから50 cmへと15 cmほど狭くしなければならないことになる。いずれにしろ床版部ではPC鋼材や鉄筋の配置、床版厚の誤差が耐力にいちじるしい影響を与えることを忘れてはならない。プレキャストの桁を並列するとき、各桁の間でそりが異なるために、床版中に配置する横方向PC鋼材の通し作業に際して苦勞することが多いし、またこのためにPC鋼材を直線的な配置として設計したときでさえ、実際には横方向のPC鋼材はシースの穴の中で上側にくっついたり、下側にくっついたりして、PC鋼材の位置に狂いが生ずるのが普通である。したがって、床版中の橋軸直角方向のPC鋼材は、曲げ上げ、曲げ下げは行わず、まっすぐに配置し、ある程度の余裕を見込んだ安全側の設計をしておくのがよい。

11. 維持、管理上の問題

最近、運送業界では、運送コストの低減をはかるための合理化に取り組んでいるが、その結果として車両はますます大型化の傾向を強めている。車両制限令に定められた車両より大きい重量の車両でも、道路管理者の許可を得ることができれば、特認車両として通行できるようになっている。

このため、申請を受けた道路管理者は特認重量車両の通行の許可、不許可に対して、なんらかの答を出さなければならない。鋼橋の場合には、設計荷重以上の重量車

に対しても、これによって生ずる応力が一応、鋼材の降伏点応力度あるいは座屈応力度以下の値であれば、橋梁は弾性的な挙動を示し、重量車両の載荷の前後においても橋梁にはなんらの性状の変化も生じない。したがって重量車両の許可限度の算出のベースとして鋼材の降伏点応力度あるいは座屈応力度をとることができる。

しかしながら、P C道路橋の場合、設計荷重以上の重量車両が作用すると、重量車両の通行の前後で、ひびわれがでたとか、変形が残ったとかの性状の変化がみられるのが普通である。P C橋では、上記の鋼橋の降伏点応力度とか座屈応力度に相当するような点が明確でなく、したがって、重量車両の許可限度の算出のベースとしていかなる状態をとればよいか、よくわからない。この点が管理上の最大の問題となっている。

また、道路橋の中には破損するものや耐荷力の不足するものが目立ちはじめたが、P C道路橋を補修したり、補強したりするという事は、鋼橋とくらべて、非常にむずかしい。年とともにP C道路橋の数は増えつつあるが、これらの橋がある程度の年数を経たあとには、当然補修、補強の方法が大きな問題になるのではないかと思われる。

さらに交通量の増大に対処する拡幅、あるいは交通安全施設としての歩道の添架などの工事が、最近行なわれるようになったが、新旧部分の一体化の方法、あるいは両者の間でのクリープ、乾燥収縮の差の影響の解析などで、鋼橋の場合には見られないような困難な問題に直面することが多くなってきた。

このような管理上の問題が、橋種の選定（鋼橋かコンクリート橋か）のときの一つの条件として考慮されるようになりつつあるので、新しい橋の設計だけではなく上記のような管理上の問題点についても解決をはかる努力を怠ってはならない。

12. 長大橋

地震の多いわが国においては、死荷重の大きいコンクリート橋は長大スパンには不向きで、100 m を越えるようなスパンとなった場合には、まず鋼橋というのが従来からの常識であった。

しかしながら、数年前における天草3号橋（最大スパン 160 m）および4号橋（最大スパン 146 m）（いずれも日本道路公団）の架設によって、この常識は破られ、スパンが 150 m の長大スパンになっても、P C橋は他の鋼構造形式の橋と十分競合でき、場合によってはより経済的に架設できるものであるということが示された。これ以後、名護屋大橋（最大スパン 176 m、佐賀県）、上ノ関大橋（最大スパン 140 m）と着実に長大橋への努

力が続けられてきた。

完成間近かの浦戸大橋（日本道路公団）は 55+130+230+130+50 m の5径間連続のP C橋で、その中央スパン 230 m は、P C桁橋としては世界最大のものである。このほかにも、現在計画中の道路橋でスパン 200 m を越える規模のものがある。このように世界における長大スパンのP C桁橋の大部分は日本において架設され、また計画されているといっても過言ではない。橋梁のスパンは、その技術水準をあらわす一つの指標と考えてよい。地震国というわが国の悪条件を考えたとき、このような長大橋が架設されているということは、この分野におけるわが国の技術水準が世界に誇るにたるものであることを示している。

上記の長大橋はいずれも海上にかかるものであって、架設の容易さという点から、わが国における過去の実績にもとづき、ディビダグ工法による片持式の架設が採用されている。

自重の大きいコンクリート橋でそのスパンを大きくするためには、それに適した力学系を選ぶことが不可欠である。長大スパンに好都合な力学系は支点到近いところに大きな曲げモーメントが生ずるような力学系である。このような力学系では、支点近くでは大きな曲げモーメントに抵抗するために、大きな断面を必要とするようになり、自重は増加するが、これが死荷重曲げモーメントの増大に及ぼす影響はきわめて少なくなる。このような観点から上記の橋ではいずれも桁と橋脚脚柱は剛結され、主径間のスパン中央には鉛直力のみを伝え水平方向の移動を拘束しないヒンジを設けた一種のラーメン構造が採用されている。

これらの橋では長大スパンであるため、与えるプレストレス量が非常に多くなる。したがって、従来一般に用いられてきた $\phi 27$ mm のP C鋼棒であるとその数が非常に多くなり、しかもこれを主として上フランジという非常に限られた範囲内に配置しなければならないので、施工の面倒さを避けるため、できるだけP C鋼棒の数を減らすように心がけて $\phi 33$ mm という太径のP C鋼棒を用いている。

また、曲げに対してあまり抵抗しないウェブを薄くして、自重の軽減に留意している。このため、ウェブには斜めあるいは鉛直方向にプレストレスを与えてウェブに生ずる斜引張応力に抵抗させている。

また、既存のこの種の構造系のP C道路橋で、完成後のクリープ変形が当初予想した以上に進み、中央ヒンジの位置でたれ下がりを生じて、著しく美観を害した橋がある。このため、上記の橋では、日中は日射の影響で橋はたれ下がるということ、および少々の上がりすぎはそ

問題点シリーズ・1

う美観を害するものではないが、わずかの桁のたれ下がりでも美観は、はなはだ害されるので、たれ下がりはどうしても防ぎたいということを念頭において、美観上の上げ越しとして中央ヒンジ位置で最大 10~15 cm となるような上に凹なパラボラ状の上げ越しを余分に加えている。

13. あとがき

周知のごとく、橋梁の設計においては、現在使用材料の降伏点あるいは破壊強度から定めた許容応力度を基準にした方法が用いられている。

このような許容応力度設計に対するもう一つの設計法として構造物のある特定の限界状態を基準にし、これに対して所要の安全度をもつように構造物を設計しようとする新しい動きがみられるようになってきた。

このような限界状態設計法は、示方書に規定された設計荷重にある係数を乗じた設計計算用荷重を受けたときに橋梁が限界状態に達する確率を所定の値以下にするように設計する方法である。したがって、この設計方法によると、安全率の値が規定の設計荷重に乗ずる係数として表面にあらわれてくることになり、安全率の概念が、より明確にされることになる。また、終局限界状態をもとにした設計法によると、橋梁としての終局強度を、よ

り合理的に設計に反映させることができるという長所もある。

諸外国においては、このような限界状態設計法は、すでにコンクリート部材については、EIP-CEB あるいは ACI-ASCE の基準にとり入れられている。また、鋼橋に対しては、AASHO (1971 年中間示方書) において採用されている。

このような限界状態設計は現行の許容応力度設計にかわって将来の道路橋の設計の基本態度となるのではないかということは、わが国においても十分考えられるところである。

以上においては、PC 道路橋の設計において最近問題になっていると思われる点を紹介したが、これらの問題点については、まだ解決を見ていないものも多い。したがって、本文が単なる問題点の提起にとどまった中途半端なものになったということをおことわりする。

参 考 文 献

- 1) 建設省：土木構造物標準設計 13, 14, 15, ポストテンション方式 PC 単純 T けた橋, 昭和 44 年
- 2) 建設省：土木構造物標準設計 19, プレテンション方式 PC 単純 T けた橋, 昭和 47 年

1972.6.26・受付

PC 構造物設計図集発売について

当協会では、先に「PC 構造物設計図集」の出版を企画し、本会編集、(株)技報堂発行の形で出版しておりますのでお知らせします。

本書は、本協会誌「プレストレスト コンクリート」の末尾に掲載致しております折込付図を、協会誌編集委員会の手により、PC の設計・施工にたずさわの方々のご使用に便利なように、土木編 (32 編)・建築編 (28 編)・その他 (4 編) の三部門にわけ、それぞれに写真・説明等を入れ、わかりやすく編集したものです。皆様のお手元にぜひお備え下さいませよう、おすすめ申し上げます。

体 裁：B 4 判 133 ページ 活版印刷

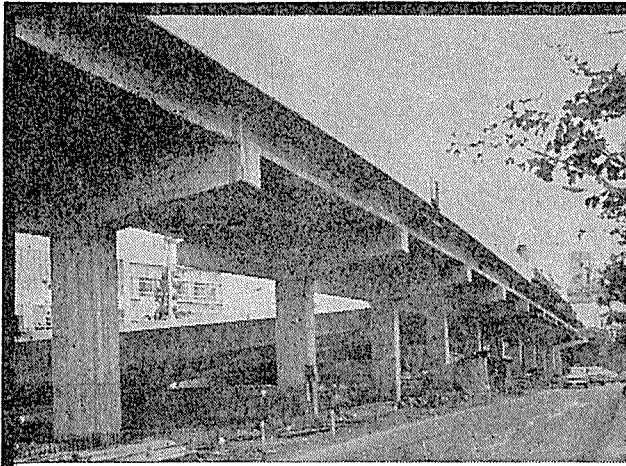
定 価：1500 円 会員特価：1200 円

送 料：200 円

申 込 先：東京都中央区銀座 2 の 14 の 4 銀鹿ビル 3 階

プレストレスト コンクリート技術協会

TEL (541) 3595 振替 東京 62774 番 ㊦104



首都高速度道路高架橋

プレストレスト
コンクリート
建設工事 フレシナー工法
MDC工法

設計・施工
部 材
製造・販売

豊田コンクリート株式会社

取締役社長 西田 赫

本社 愛知県豊田市トヨタ町6 電話 0565 (2) 1818(代)
 名古屋販売本部 名古屋市中村区笹島町1-221-2 電話 052 (581) 7501(代)
 東京販売本部 東京都港区西新橋2-16-1 電話 03 (436) 5461 ~ 3
全国タバコセンタービル2階
 工場 豊田第一工場、豊田第二工場、海老名工場



阪神高速道路 / 守口高架橋

プレストレストコンクリート

構造物の設計・施工
(BBRV・フレシナー・SEEE工法)
 製品の製造・販売
(けた、はり、パイル、マクラギ、版類)

RSC 北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社 (東京営業社)	東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)	☎ (03)918-6171
札幌営業所	札幌市北三条西4丁目(第一生命ビル)	☎ (011)241-5121
大阪営業所	大阪市北区万才町43番地(浪速ビル西館)	☎ (06)361-0995
福岡営業所	福岡市大名1丁目1番3号(石井ビル)	☎ (092)75-3646
仙台事務所	仙台市本町1丁目1番8号(日本オフィスビル)	☎ (0222)25-4756
名古屋事務所	名古屋市中区錦3丁目23番31号(栄町ビル)	☎ (052)961-8780
広島事務所	広島市立町1番20号(広島長銀ビル)	☎ (0822)48-3185
美唄工場	美唄市字美唄1453の65	☎ (01266)3-4305
幌別工場	北海道登別市千歳町130番地	☎ (01438)5-2221
掛川工場	静岡県掛川市富部	☎ (05372)2-7171
京都工場	京都市南区久世東土川町6	☎ (075)922-1181