

設計におけるPC橋の将来

小宮 正久*

まえがき

橋梁は、鋼、コンクリート、石、レンガ、木材など多くの材料により建設されているが、現在はいうまでもなく鋼とコンクリートが主流である。鋼には、錆びるという問題はあるが、強さ、重さ、作り易さ、品質の安定性などの点においてコンクリートよりも優れており、理想的な橋梁の材料であるといえる。コンクリート橋に限らずコンクリート構造の技術開発は、鋼に劣る短所（①引張に弱いこと、ひびわれが発生する、②重い、③現場施工による部分が多く面倒である、④品質のバラつきが大きい）を改善するために行われてきた。これらの短所を補うための技術開発は、コンクリートの不変の課題であり、この動向がコンクリート橋の将来の姿を推定する一つの鍵になるとと思われる。

ここでは、PC橋（土木学会標準示方書¹⁾——以下標準示方書という——のプレストレストコンクリートの分類に示されるPC構造ではなく、緊張材を用いてプレストレスを導入したコンクリート橋一般をいう。特に、標準示方書のPC部材を示す場合は、便宜的にFPCと略記することとする）の設計についての現況と将来の動向について、主として道路橋を中心にして設計基準、構造解析法、材料、構造形式などについて述べることにする。

1. 設計基準の動向

設計基準の適用範囲を超える長大橋は別にして、通常の橋梁において新しい工夫を実践しようとする場合、設

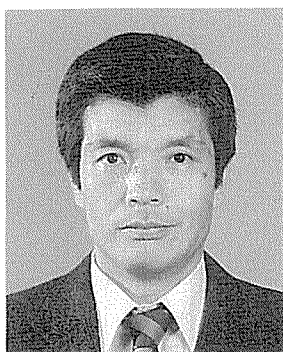
計基準がその適用を許容しないような構造は最初から検討の対象から外れてしまうのが普通である。よって、コンクリート橋の将来を考える場合、設計基準の動向は非常に重要である。

現在、標準示方書および鉄道橋の設計基準²⁾が水準-Iの限界状態設計法を採用しているのに対し、道路橋は許容応力度設計法を主とした基準（以下道示といい、編に応じてI~Vを付して示す）を採用している。しかしながら、近い将来、道路橋の設計基準も限界状態設計法に移行するのは確実と思われる。

限界状態設計法においては、照査の必要な状態と各状態の検討に用いる荷重、材料強度および安全係数が明確に規定される。したがって、設計に対する各種の影響要因の不確かさを安全係数などに反映させることが可能になる。このため、新しい材料や架設方法などの持つ不確かさを反映させた設計が容易になり、技術開発に取り組み易くなる³⁾。しかしながら、この様な自由度の高い設計が一般的に行われるためには、安全係数や修正係数の決め方が示されなければならないが、そのためには技術上の問題のみならず行政に関わる問題など多くの問題を解決しなければならない。したがって、このような限界状態設計法本来のメリットが実際の設計に生かされるまでには相当の時間が必要と思われる。

限界状態設計法への移行により得られる当面の最大のメリットは、曲げ部材の断面がコンクリートの許容曲げ圧縮応力度（以下許容圧縮応力度という）から解放され現在よりは、はるかに自由に設計できるようになることであろう。曲げ部材を許容応力度法により設計する場合、断面は圧縮応力度と引張応力度の許容値を満足するように決定される。

この場合、断面が許容圧縮応力度で決まる場合と鉄筋またはコンクリートの許容引張応力度で決まる場合がある。構造物は、いずれの場合においても安全で耐久的でなければならないし、またいずれの場合においても構造物の経済性に大きな差が生ずるようなことは好ましくない。しかしながら、一般的に断面が鉄筋またはコンクリートの許容応力度で決まる場合に比べ、許容圧縮応力度で決まる場合には、より高強度のコンクリートを用い



* Masahisa KOMIYA
(株)日本構造橋梁研究所
設計第二部

る必要が生じたり、不必要な部材寸法や鉄筋量（引張鉄筋ではなく、圧縮鉄筋として配筋されるため）となるなどの不合理な結果となる。コンクリートの許容圧縮応力度は、許容引張応力度とは異なり、構造物の耐久性や耐荷力を確保するための直接的な指標ではなく、過度なクリープひずみや大きな圧縮応力度に起因する軸方向ひびわれの発生などにより、部材が永久荷重作用時に不都合な挙動を示さないようにするための指標である^{1),4)}。したがって、供用および終局の各限界状態において所要の検討が行われていれば、圧縮応力度の検討は、永久荷重作用時のみについて行えば十分であり、その制限値はコンクリートのクリープおよびヤング係数などの規定が成り立つように定めればよいといえる。

表-1は、地震により断面が決定されるRC柱においてコンクリートの許容圧縮応力度と鉄筋の許容引張応力度の両者を考慮する許容応力度設計法（道示IV）により断面を決定した場合とコンクリートの許容圧縮応力度を

無視し、鉄筋の許容引張応力度のみを考慮して断面を決定した場合（一応限界状態設計法の終局限界状態において断面が決定される場合に相当するものと考えられる）の断面応力度などをまとめたものである。この表から、限界状態設計法に移行し、コンクリートの許容圧縮応力度の規定が変われば断面形状寸法、鋼材量などは、大幅に変化することが予想できる。また表-2は、PC連続ラーメンの中間支点断面を現行の道示IIIのコンクリートの許容圧縮応力度の規定⁵⁾に従い決定した場合と、標準示方書の規定¹⁾に従い決定した場合を示す。この表からも表-1と同様の効果を予想することができる。

これらの例からも明らかのように、曲げ部材の断面が許容圧縮応力度の制約から解放されると、自重の減少と見掛け上より高強度なコンクリートを使用したのと同様の効果が生じ、以下に示す点において、施工性、経済性、景観などが改善される。また、設計の自由度が増すため、新たな構造形式の開発されることも期待される。

表-1 RC柱における設計法の比較
< $\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2, \sigma_{sy}=3 \text{ 500 kgf/cm}^2$ >

鉄筋の考え方	①一方鉄筋（道示IV）		②全周鉄筋	
	$\sigma_{ck}=0.5 \cdot \sigma_{ck}$		無	
許容圧縮応力				
断面寸法	5.60×5.00		5.60×4.00	
	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向
N (tf)	4 414	4 414	4 148	4 148
H (tf)	441	441	415	415
M (tfm)	18 452	18 452	17 734	17 734
使用鉄筋	D 38 @ 150-2.0 段 D 32 @ 150-1.0 段 $A_s=1 \text{ 058.034}$	D 38 @ 150-2.0 段 D 32 @ 150-1.0 段 $A_s=905.350$	D 38 @ 150-2.0 段 D 25 @ 150-1.0 段 $A_s=430.520$	D 38 @ 150-2.0 段 D 32 @ 150-1.0 段 $A_s=1 \text{ 058.034}$
	$\Sigma A_s=1 \text{ 963.4 (1.000)}$ $A_c=14.40 (1.000)$		$\Sigma A_s=1 \text{ 488.6 (0.758)}$ $A_c=12.80 (0.889)$	
σ_c (kgf/cm ²)	115.7	112.5	144.5	126.4
σ_s (kgf/cm ²)	2 190	2 028	2 865	2 137
σ_{ca} (kgf/cm ²)	120.0	120.0	-	-
σ_{sa} (kgf/cm ²)	3 000	3 000	3 000	3 000
破壊抵抗モーメント (M_u)	26 831	27 449	24 760	32 483
M_u/M	1.45	1.49	1.40	1.83

表-2 PC橋における許容圧縮応力度と断面寸法の関係

側 面 図						
	設計時作用時=0.35 σ_{ck} =140 kgf/cm ²			永久荷重作用時=0.4 σ_{ck} =160 kgf/cm ²		
断 面 形 状						
	$A_c=17.015 \text{ m}^2 (1.00)$ $A_p=96-12 \phi 12.7$ $=1 137.12 \text{ cm}^2$			$A_c=15.350 \text{ m}^2 (0.902)$ $A_p=96-12 \phi 12.7$ $=1 137.12 \text{ cm}^2$		
応 力 度		永久荷重作用時	設計荷重作用時		永久荷重作用時	設計荷重作用時
	σ_{co}	18.7	6.3	σ_{co}	12.2	-1.0
	σ_{cu}	112.7	126.5	σ_{cu}	149.0	167.0
曲 げ 耐 力	$\frac{M_R}{M'_{SLS}} = \frac{134 001}{61 102} = 2.19 > 1.70$ $M'_{SLS} = (\Sigma D + L)$			$\frac{M_R}{M'_{SLS}} = \frac{115 310}{60 295} = 1.91 > 1.70$ $M'_{SLS} = (\Sigma D + L)$		

- 1) 従来よりも小さな寸法（部材高，圧縮フランジ幅，厚さなど）の部材が設計可能となる。
- 2) 従来と同一寸法の場合には適用範囲が拡大する（適用支間長，多主桁橋の場合の主桁間隔の増加など）。

もう一点は，許容応力度設計法にはなじみにくいため現行の道示Ⅲでは適用を許容していない PPC 構造（供用状態において，耐久性を損なうことのないひびわれの発生を許す PC 構造）の設計が合理的に行えるようになることである。プレストレスは供用状態の挙動には影響を与えるが，構造系の破壊には無関係であり，断面形状，鋼材量および配置位置などの条件が同一であればプレストレスの導入レベルにかかわらず終局耐力は同一である⁶⁾。この意味において RC，PPC および PC 部材

は，同じ範ちゅうにあるといえる。設計は，必要な終局耐力と供用状態において要求されるべき性能が同時に満足されるように適切に行われるべきである。しかしながら RC 部材と PC 部材のみでは，供用および終局時のすべての条件に適合するバランスのとれた設計は困難であり，このような設計は PPC 部材を導入することにより，はじめて可能になるものである。

表-3 は，カンチレバー架設される連続ラーメン高速道路橋を PC および PPC 構造で設計（概略）した結果をまとめたものである。

ただし，供用状態の検討は，ひびわれ幅（曲げおよびせん断）についてのみ，設計活荷重（含衝撃）の 1/2^{7),8)} が作用した状態で行っている。また，終局状態の検討は，道示Ⅲによっている。この表から PPC 構造とする

表-3 カンチレバー架設橋におけるPC構造とPPC構造の比較

全体一般図							
	PC			PPC			
断面形状							
	引張線応力度	側径間	中央支点	径間中央	側径間	中央支点	径間中央
	ΣD	39~38	18~22	39~49	-7~-8	-24~-25	-1~-10
	$\Sigma D+L$	1~4	0~5	0~4	-43~-44	-39~-44	-46~-50
ひびわれ幅 ($\Sigma D+L/2$)				$A_s=218.3$ $W_c=0.276$ $\leq W_a=0.288$	$A_s=774.2$ $W_c=0.286$ $\leq W_a=0.295$	$A_s=303.1$ $W_c=0.273$ $\leq W_a=0.295$	
主要数量	コンクリート	PC鋼材	鉄筋	コンクリート	PC鋼材	鉄筋	
	1.00	1.00	1.00	0.85	0.57*1, 0.40*2, 0.54*3	1.24	

*1: 主桁, *2: 床版, *3: 合計でPC橋に対する百分率を示す。

ことで、経済性、施工性など大幅な改善を図れることが明らかである。

- 1) 上下床版および腹部の厚さを橋長全体にわたり統一することが可能となるため鉄筋工、型枠工などが単純になる。また、PC鋼材本数が大略1/2に減少するためコンクリート工、PC工も容易になり施工性が大幅に改善される。
- 2) 鉄筋は、若干増加するが、コンクリート、PC鋼材が減少するため経済的となる。また、自重の減少に伴い下部工費も経済的となる。

2. 構造解析の動向

現在、設計における断面力の算定には、一般に線形解析が用いられている。この場合の解析モデルは骨組モデルが一般的であるが、特殊な構造やより厳密な解を求めたい場合には有限要素モデルが用いられる。

ひびわれ発生後の部材の変形性状は、一般に非線形性

を示すので構造解析は非線形解析によるのが合理的である。しかしながら非線形解析法は、まだ十分に確立されたとはいえず、現在すべての構造形式に対して実用化できる状態にはない¹⁾。このため、実績が豊富で、計算が容易であり、汎用性に富みかつ信頼性が確立されている線形解析が一般的に用いられている。

一方、阪神・淡路大震災を契機として地震時の挙動が複雑な橋梁の場合には、耐震設計においては、非線形動的解析結果を用いて震度法や地震時保有水平耐力法によって耐震設計を行った結果を照査することが推奨されている⁹⁾。

これは、市販の解析用ソフトウェアなどを活用すれば簡単に非線形動的解析を行えるとの認識によるものようであるが、実際は、軸力の変化やPC鋼材を考慮できない、自重やプレストレス力などの持続荷重と地震力の共載が不可能であるなどの基本的な問題が解決されておらず実用化されているといえる状態にはない。

しかしながら、多くの問題をかかえる非線形動的解析を実際の設計に適用することが推奨されている現実や、合理的な設計を行うためには非線形解析の適用が不可欠である PPC 構造や外ケーブル構造の普及に伴い、線形解析と同様非線形解析も、一般化するものと思われる。

ただし、静的非線形解析においても、分割施工を考慮した解析やクリープ問題の厳密な解析はおそらく不可能であり、近似解によらざるを得ないことを考慮すると、ここしばらくの間は、非線形解析法は、線形解析法の補助手段として用いられるものといえよう。

3. 材料の動向

コンクリートの改良の動向としては、強度と施工性の改善の二つの要素が考えられる。強度に関しては、主に軽量化を目的としてより高強度のものが使用されるようになり、設計基準強度が、場所打ち方式の場合で 600 kgf/cm²、プレキャスト方式で 800 kgf/cm² 程度が一般的になることが予想される。

一方、PPC 部材の普及に伴い 300 kgf/cm² 未満の低強度領域のコンクリートも使用されるようになる可能性もある。現在の PC 橋には、技術面、行政面などの理由から、比較的狭い範囲の強度のコンクリートしか利用されていない。しかしながら将来は、設計法の限界状態設計法への移行などに従い、低強度領域から高強度領域にまたがる広い強度範囲のコンクリートが利用されるようになり、構造特性、施工上の制約条件などに応じたより合理的な PC 橋が建設されるようになるとと思われる。

施工性の改善に関しては、種々の解決策があると思われるが、最も単純明快な解析策は、ハイパフォーマンスコンクリートであろう。ハイパフォーマンスコンクリートは試験的に実構造物に使用されているが、生コンプラントの整備、品質管理、コストなど解決すべきいくつかの問題があり実用化には、まだ時間がかかるようである。現在、ハイパフォーマンスコンクリートは、設計者の念頭に置かれてはいないが、これが実用化されれば設計上の最小必要寸法で任意の形態の構造物の建設が可能になり、設計者の夢を満たす必要条件が整うことになるので一日も早い実用化が期待される。当面は、場所打ち断面を補強するストラット部材などのプレキャスト部材や、コンクリート・鋼複合構造の接合部などに限定的に用いられるものと思われる。

高強度鉄筋は耐震部材のような断面が終局状態において決定される場合には非常に有効であるが、PC 橋の上部工のような供用および終局のいずれの状態が支配的になるか不明な部材においては必ずしも有利であるとはいえない。ただ、供用状態の検討に用いられる活荷重は、許容応力度設計法において用いられている活荷重より

は、小さ目に設定されるであろうため^{7),8)}、PC 上部工の場合も終局状態でクリティカルになる可能性が高いこと、外ケーブルやアンボンド PC 緊張材を用いた部材の耐荷力を補うためには高強度鉄筋が有利であるなど、使用される可能性は高い。

PC 緊張材は、PC グラウトの施工上の信頼性が改善されないならば、在来形の PC 緊張材からアフターボンドタイプ、アンボンドタイプ、新素材からなる PC 緊張材などの代替形の PC 緊張材へと移行するものと思われる。ただこれらのタイプにも、施工面、コスト面などそれぞれ解決すべき問題はあり、必ずしも万全とは言えない。特にいずれのタイプも主桁の緊張材として使用できるような大容量テンドンが開発されておらず PC 橋の緊張材として一般的に用いられる段階には至っていないのが現状である。

ここに述べた方式のうち、施工、コスト、耐久性、実績などの点で最もバランスのとれている緊張材は、アンボンドタイプと思われる。亜鉛メッキ PC 鋼材を用いればアンボンド方式の耐久性はより一層改善され、さらに高強度な PC 鋼材（現在の 40% 増）を用いれば通常の PC グラウトを注入する PC 緊張材とほぼ等しい曲げ耐力が得られるのでより以上に有効であろう。

いずれにせよ、PC 緊張材としては、在来形の大容量 PC 鋼材と調達可能な代替形の PC 緊張材が、使用目的に応じて併用されるようになるものと思われる。

4. 将来の PC 橋

将来の PC 橋の構造形式として一般的になるであろうと思われるものをごく大雑把にまとめて図-1 に示す。この図は、ごく一般の環境条件における PC 橋についてまとめたものであり、もとより海浜部などの特殊な環境条件については配慮していない。

将来の PC 橋の上部工は、プレテンション方式およびポストテンション方式とも FPC 構造の持つ経済性、供用性、施工性などにおける種々の欠点を解消し得る PPC 構造が一般的になる。

また、鋼とコンクリートの特性を生かした負のモーメント領域を PC 構造、正のモーメント領域を鋼構造（一般的に合成桁）とした複合橋も増加するものと思われる。

外ケーブルプレストレッシングは、死荷重の軽減や応力状態の改善に役立ち、経済化が図られる場合に多用されるものと思われる。

PPC 部材は、供用中および地震時において要求される諸性能（ひびわれの制御および復元力特性など）に優れており、橋脚特に高橋脚に利用される可能性がある。

以下に、図-1 に示す構造形式の特徴などについて簡

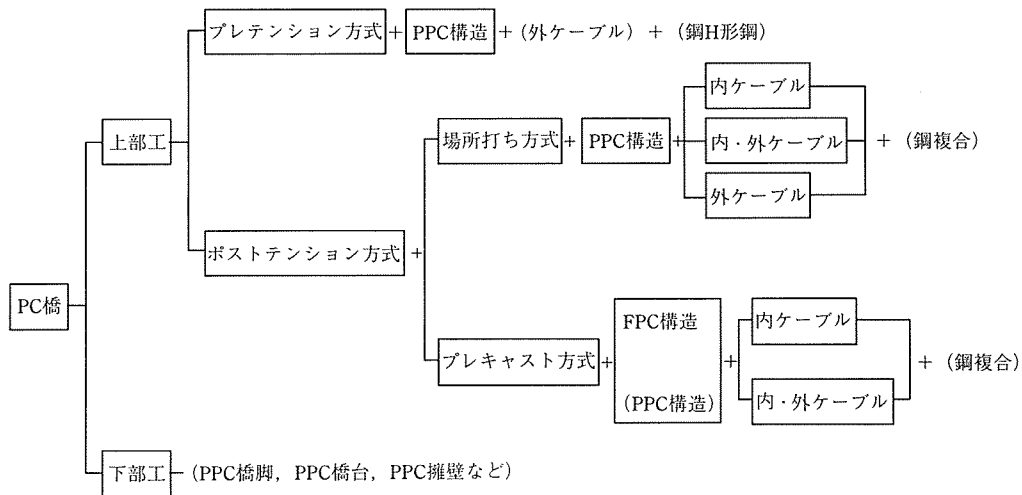


図-1 将来のPC橋構造形式一般

単に述べることにする。

(1) プレテンション方式 PPC 橋

プレテンション桁を PPC 構造とすると、在来の FPC 構造の欠点のほとんどを改善することが可能であり、将来のプレテンション桁は、大半が PPC 構造に移行するものと予想される。プレテンション桁を PPC 構造とすることにより、次のような利点が得られる。

1) 経済的になる

- ・大きな引張フランジが不要になるため桁重量が減少する。
- ・最も経済的な PC 鋼材量と鉄筋量の組合せを選択できる。
- ・ベントアップやボンドコントロールを省略することも可能になる。

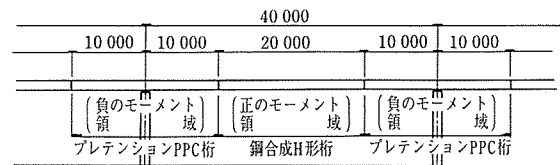
2) 供用性、破壊性状が改善される

- ・所要のプレストレス量が減少するため過度なクリープたわみが生じなくなる。
- ・異形鉄筋の適正な配置により、ひびわれ制御機能が向上する。
- ・上記と同じ理由により、じん性が向上する。

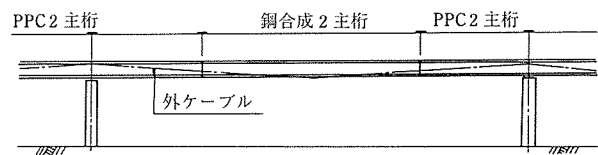
3) 適用範囲が拡大される

- ・同じ容量の製作台であれば FPC 構造よりも長支間の主桁を製作できる。
- ・一般に FPC 構造よりも桁高を低くできる。

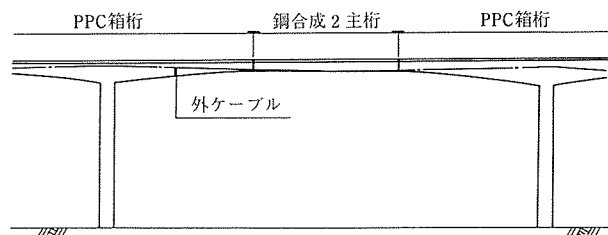
従来、プレテンション桁は、大部分が単純桁として用いられており、図-2 (a) に示すような PC・鋼複合桁の中間支間に用いられた例は無く、このような PC・鋼複合構造を実現させるためにはプレテンション桁の製作、運搬、架設などに若干の工夫が必要と思われる。このようなコンクリートと鋼の純粋な工場製品を組み合わせた複合構造は、大量の生産方式によるコストの低減、施工の急速化、省力化などに優れており、30 m~40 m



(a) 工場製品を組み合わせた複合橋の例



注) 1: 移動支保工、押出し工法の場合には、コンクリート桁と鋼桁を同時施工する。
注) 2: 固定支保工、移動支保工の場合、コンクリート桁部を要高断面とすることも可能。
(b) 中規模場所打ち橋の複合橋の例



注) : 鋼桁部は、PC桁のカンチレバー架設作業車を利用して一括架設する。

(c) 大規模場所打ち橋の複合橋の例

図-2 PPC 桁と鋼合成桁の複合橋

の中規模径間の連続高架橋として利点を発揮するものと思われる。

また、多径間連続構造で鋼桁部に軸引張力が作用するような場合には、外ケーブルを併用すると経済的になることが多い。

(2) ポストテンション方式場所打ち橋

設計法が限界状態設計法に移行した後のポストテンション方式場所打ち橋（以下、場所打ち橋）は、特殊な

場合を除き、ほとんど PPC 構造となり、当面はこの構造がすべての支間長の領域で鋼橋に競合し得る PC 橋の主流を占めるものと思われる。

自重を軽減するために外ケーブルプレストレッシングが活用されるであろうが、当面は道示Ⅲの規定（せん断設計において採用されているトラス理論の引張弦材を形成するために、必ず付着のある引張鋼材を配置しなければならない）により、内ケーブルとの併用になるものと思われる。表-4 は、ポストテンション方式場所打ち橋の一例として連続 2 主桁橋を示す。

設計条件は、コンクリートの設計基準強度が 500 kgf/cm² である以外は、すべて表-3 と同一である。外ケーブルと PPC 構造を併用することにより、従来の 2 主桁橋よりも、大幅に自重、材料の低減を図ることができる。なお、本例における自重は、鋼 2 主桁橋とほとんど等しい結果¹⁰⁾となっており、鋼橋と比べても遜色の

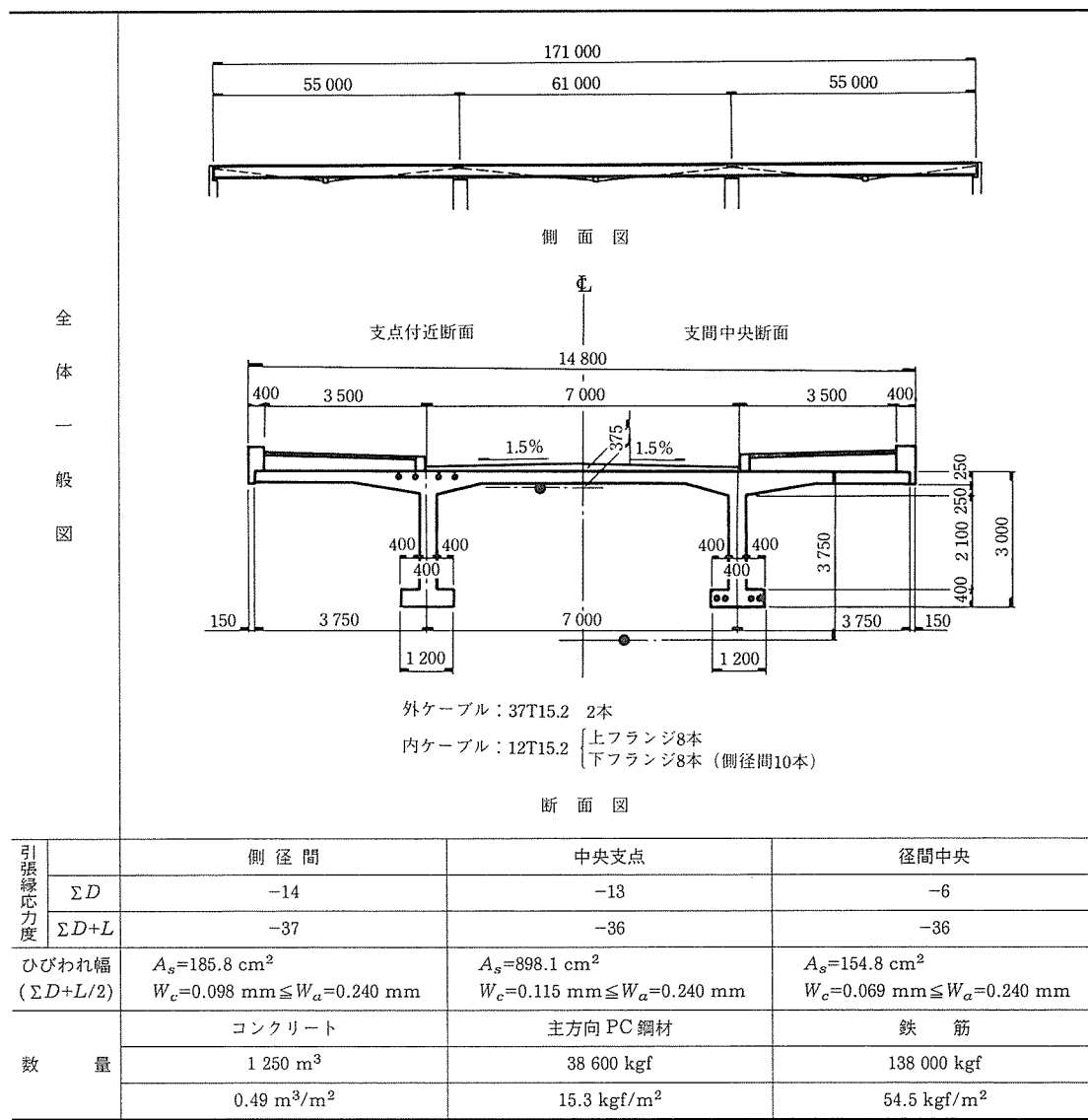
ない軽い構造を達成し得ることを示している。この断面の場合、ウェブは全断面の 24% を占めているに過ぎない。したがって、自重を軽減するためにウェブを鋼部材で置換えた波形ウェブ PC 橋の利点はあまりない。

40 m 以上のスパンにおいては、正の曲げモーメント区間に鋼構造を用いた複合橋が代替案になるものと思われる。

- ・中規模橋： { 固定支保工 } (PPC 構造) + 鋼合成 2 主桁橋 (図-2 (b))
- ・大規模橋：カンチレバー架設 PPC 構造 + 鋼合成 2 主桁橋 (図-2 (c))

この形式は、コンクリート桁部に支承を設置できるため、任意の支承構造に容易に対応することができる。特にラーメン構造が可能な場合には、十分な経済性が発揮される。

表-4 PPC 3 径間連続 2 主桁橋の計算例



場所打ち橋の究極的な形は、自重の軽減、施工性の改善および安定的な品質の確保を経済的に達成することにあるといえる。このためには、断面形状の単純化、配筋の単純化（例えばU形スターラップをコの字形2本で構成するなど）、プレキャスト埋設型枠（例えばFRC型枠など）の採用、高強度ハイパフォーマンスコンクリートの採用などが有効と思われる。これらが実現すれば、まえがきに示した項目のほとんどはクリアされることになり鋼橋と十分に競合してゆけるものと思われる。

(3) ポストテンション方式プレキャスト橋

ここにいうポストテンション方式プレキャスト橋（以下、プレキャスト橋という）とは、あらかじめ製作されたコンクリート部材（プレキャストセグメント）を架橋現場においてプレストレス力によって一体化した橋梁をいう。現在のプレキャスト橋の利点は、場所打ち橋に比べ自重を大幅に軽減できる点にある。このためプレキャスト橋の施工コストの増分がある程度は相殺され、場所打ち橋と競合し得るコストに落ち着いている。しかしながら、近い将来(2)項に述べたような軽量化が図られ、合理化された場所打ち橋に対しては、この自重軽減のメリットは、場所打ち橋を大幅に上回る高強度コンクリートを使用したスパインビーム方式(図-3参照)¹¹⁾のような極端な軽量化を図らない限り通用しなくなる。さらにプレキャスト橋には、セグメント間に継目があり継目部では鉄筋が切断され連続していないという弱点を補うため、継目部は設計活荷重作用時にフルプレストレス状態を保つように設計するのが建前である。設計法が限界状態設計法へ移行した後も、この原則が踏襲されるならばプレキャスト橋のメリットは、高品質の確保と工期の短縮程度となり、特に経済性においては、場所打ち橋に

対し競合し得なくなるものと思われる。

以上に述べたような場所打ち橋を上回る高強度コンクリートの使用による軽量化と継目部の設計法の問題は、プレキャスト橋の将来に重大な影響を持つものと推定される。一般に設計活荷重が載荷されるのは希有のことであり^{7),8)}、そのような希有な状態においてフルプレストレスとする必要はないといえる。例えば、表-5に示すように継目部を設計してもよいものとする。

表-5 プレキャスト橋継目部の設計法の一例

検討する状態	荷重の組合	限界状態
一般的な常用状態	$\Sigma D+L/2$	引張応力発生限界状態
設計活荷重が作用する状態	$\Sigma D+L$	ひびわれ発生限界状態

ただし、設計活荷重が作用する状態においては、コンクリート引張応力を無視して求めた付着あるPC鋼材の引張応力度の増加が1000 kgf/cm²以下とする。付着あるPC鋼材としては、1T22などの太径ストランドを引張フランジ内にできるだけ均等に配置するなどの工夫が必要である。

いずれにせよ、プレキャスト橋は、場所打ち橋と競合し得る条件が整った場合（特に、事業規模が大きい場合など）にのみ適用されるものと思われる。

ただし、労務の確保が困難となるなどの社会情勢に変化が生じた場合には、省力化の利点から多用されるものといえる。また、断面の補剛ストラット、鋼橋の床版などの断面を構成する部材の部分的なプレキャスト化は、大きく発展するものと思われる。

5. ま と め

PC橋の将来について設計に主眼を置き、思うところ

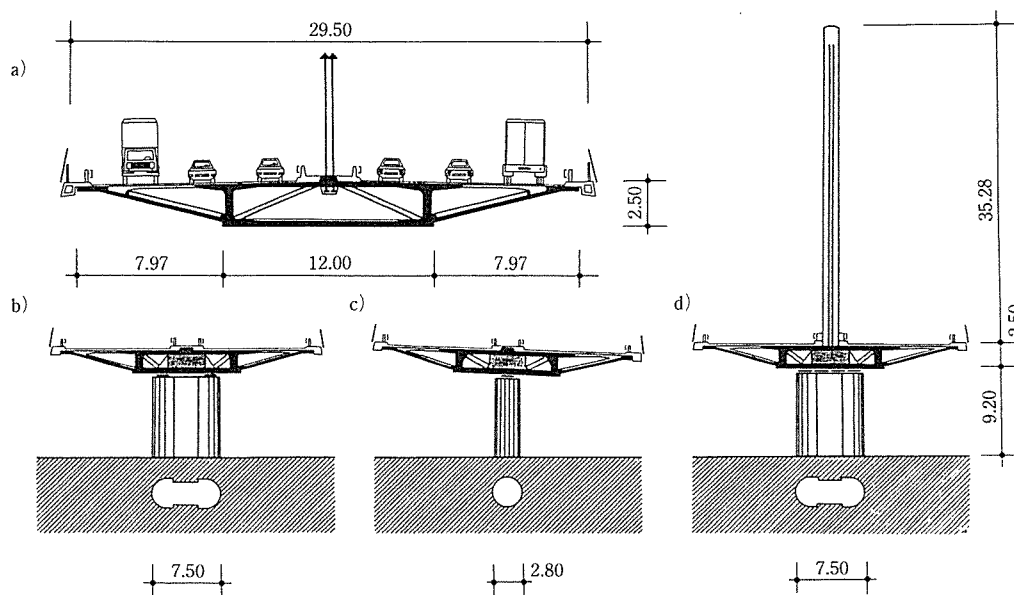


図-3 ゴルソヴィチ橋：(a) 標準断面、(b) 断面図(橋脚6)、(c) 断面図(橋脚2～5, 7, および9)、(d) 断面図(橋脚8)

を示した。

その趣旨をまとめると次のとおりである。

- 1) 設計基準は許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行する。これによる当面のメリットは、曲げ部材の断面が許容圧縮応力度から解放されることと、PPC 橋の設計が合理的に行えるようになることであり、PC 橋の経済性、施工性、耐久性、景観などが大幅に改善され、適用分野が拡大するものと思われる。
- 2) PPC 構造や外ケーブル構造の普及に伴い、非線形解析が広く取り入れられるようになる。しかしながら分割施工を考慮した解析やクリープ問題などの厳密な解析はおそらくは不可能であり、当分の間線形解析法の補助手段として用いられる。
- 3) コンクリートは、低強度領域 ($\sigma_{ck} \leq 300 \text{ kgf/cm}^2$) から高強度領域 ($\sigma_{ck} \leq 800 \text{ kgf/cm}^2$) にまたがる広い強度範囲のコンクリートが利用されるようになる。また、ハイパフォーマンスコンクリートの実用化が期待される。より一層の経済性を得るために高強度鉄筋も利用されるようになる。PC 緊張材は、在来型の PC グラウトを用いる緊張材と亜鉛メッキを施したアンボンド緊張材などの代替型の PC 緊張材が合理的に組み合わせられて使用されるようになる。また、代替型緊張材の大容量化のために超高強度 PC 鋼材の開発が期待される。
- 4) 将来の PC 橋は PPC 橋が主流となる。PPC 橋と外ケーブルの組合せにより重量的にも鋼 2 主桁橋と大差のない PC 橋の設計が可能になる。さらに、合理的な設計による断面の単純化、高強度ハイパフォーマンスコンクリートや埋設し型枠の利用、配筋の単純化などの合理化施工により、まえがきに示したコンクリートの持つ重大な欠点のほとんどを改善することが可能になる。また、鋼とコンクリートの特性を生かした負のモーメント領域を PC 構造、正のモーメント領域を鋼構造とした複合橋も増加するものと思われる。

プレキャスト橋は、労務の確保が困難になるなどの社会情勢に変化が生じない限り、場所打ち橋と競合し得る条件が整った場合にのみ適用される。

あとがき

何か書けるであろうと、わりあい安易な気持ちで引き受けてしまったが、いざ書き出してみると難しさが序々にわかり、ついには全く力不足であることを痛感する羽目となった。

編集方針に適う水準には到底到達していないと思われるが御容赦願いたい。

それはさておき、鋼橋の分野は、2 主桁橋に代表されるリコンストラクションが進行中であり、驚くべき低コスト化が図られている。これには、PPC 床版が大きく貢献しているわけであり、PC の適用分野の拡大という点では喜ばしいことではある。しかしながらこのために PC 橋本体のシェアが減少するようなことになれば、軒を借して母屋をとられるの諺どおりの結果となり、むしろ悲しむべきことといえる。現状は、母屋をとられかねない相当危うい状態にあるといえる。PC 橋の分野も早急に、鋼 2 主桁橋に匹敵するリストラを図る必要がある。

しかしながら、PC の分野が革新をなし得る柔軟性を持っているかどうか、例えば PC 有鉸ラーメン橋から PC 連続ラーメン橋への移行時の頑迷さ、カンチレバー橋における場所打ち方式や緊張材へのかかわりの深さなどを見ると首をかしげざるを得ない点が多々ある。また、真剣にコストを下げる努力をしてきたかについても疑問に思われる。もし、今までと変わらない状態が続くようであれば、PC の将来は暗いといわざるを得ない。ここに述べた事項が達成された程度では、PC 橋は鋼橋に十分競合し得ない可能性もあるが、それほど大きな譲歩を強いられることはまずないものと思われる。この拙文が、いささかなりとも PC の発展に寄与することがあれば幸甚である。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成 8 年制定）設計編，pp. 128~129, p. 215, p. 86, p. 50
- 2) 鉄道総合技術研究所編，運輸省鉄道局監修：鉄道構造物等設計標準・同解説，コンクリート構造物，平成 4 年 11 月
- 3) 長尚：基礎知識としての構造信頼性設計，山海堂，pp. 184~188, 1993
- 4) CEB-FIP : CEB-FIP MODEL CODE, 1990, DESIGN CODE, p. 243, 1991
- 5) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅲコンクリート橋編，p. 154, 平成 6 年 2 月
- 6) 小宮正久：PC 構造の供用時及び終局時の挙動解析に関する基礎的研究，pp. 159~161, 1996
- 7) 建設省土木研究所，構造橋梁部橋梁研究室：橋梁活荷重の信頼性解析，土木研究所資料第 1865 号，p. 39, p. 66, p. 70, 1982
- 8) 建設省土木研究所，構造橋梁部橋梁研究室：限界状態設計法における設計活荷重に関する検討Ⅱ，土木研究所資料第 2700 号，p. 49, 1989
- 9) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編-第 1 次案-，pp. 2-1~2-4, 平成 8 年 7 月
- 10) 日本道路公団札幌建設局，室蘭工事事務所：ホロナイ川橋技術パンフレット，1995
- 11) Jiri Strasky : Design and Construction of Cable-Stayed Bridges in the Czech Republic, p. 28, PCI Journal, Vol. 38, No. 6, Nov./Dec., 1993

【1996 年 9 月 24 日受付】