

海外の新しいPC

日本のプレストレストコンクリート(PC)技術は、欧米の水準を追い越したとも言われている。たしかに、我が国では桁橋や斜張橋、吊床板橋など橋の分野をはじめとして、貯水槽や卵形消化槽など容器の分野、イベントホールや体育館など建築の分野といった、さまざまな分野で多種多様なPC構造物が数多く建設されてきている。

一方、いま欧米では、日本のPCに比べてなお斬新で個性的なPC構造物が、つぎつぎと建設されていることもまた周知のとおりである。それらの斬新さは、材料の新しい使い方にあたり、構造の新しい組立て方にあたり、あるいは優れた造形にあたりして、どれもが我々PC技術者の目をひきつけるものである。

そこで、この特集号では『海外の新しいPC』と題して、これら海外の魅力的なPC構造物を紹介するとともに、新しいPCが生み出された背景やPCに対する考え方などについて触れてみることにした。全体の構成を、橋と建築についてそれぞれ国別に並べることにより、国によって異なるPCに対する考え方が浮き出るようにしたつもりである。

『新しいPC』にふさわしい構造物を選ぶにあたり、新しさに対してとくに厳密な基準は設けなかったが、「新しい」を「魅力的な」あるいは「個性的な」と読み替えていただくことで、編集者の意図を感じていただけるものと考えている。また、今回取り上げることのできなかつた『新しいPC』も多数あるが、残念ながら頁数の関係で割愛せざるを得なかった。

そして、海外の『新しいPC』には設計者の主張が強く感じられる作品が多く見られることもあり、今回の特集号の原稿をお願いするに当たり、執筆者の方々には、海外でご覧になった『新しいPC』について、ご自身のご意見を取りまとめいただくようお願いした。たとえば、デザインに関する(直接PCに関係のない)視点の報文なども、必ずPCの計画や設計に役立つと考え、執筆者の方々にご無理を言い、原稿をお願いしたことを付け加えておきたい。

魅力的で個性的な構造物を創ろうとすると、PCはとて頼りになる材料ではないだろうか。この特集が『新しいPC』創作のお役にたてば幸いである。

プレストレストコンクリート橋の新しい流れ

池田 尚治*

1. はじめに

橋梁は現代社会の社会基盤施設として絶大なる役割を果たしている。しかし、「橋」という言葉のイメージから連想する橋の姿は、広重の日本画に登場する木橋や渓谷に架かる丸木橋から、古代ローマの石造アーチ橋や鉄道の鋼製トラス橋、さらには海峡を渡る瀬戸大橋などまで様々である。また、都市内に高架構造でネットワークを構成する高速道路高架橋も「橋」である。

橋はまた、風景の中のアクセントとして存在するし、風景の中の主人公となることもある。橋を題材とした絵画も多いし、恰好の絵葉書の構図でもある。

人工物としての「橋」は、このように現代社会の中で確固とした地位を占めているが、あまりにも卑近な存在であり、その用途も日常生活の中に溶け込んでしまうことが多いために時として橋梁の重要性やその発展の意義が忘れられることもあり得るものと思われる。

しかしながら、橋梁は厳しい自然環境や過酷な荷重に曝されて長期間耐久的に役割を果たさなければならないし、風景の中の人工物としてその容姿の質が求められる。しかも橋梁の建設には多大の資材と労力を要するので、その構造は可能な限り経済的であることが求められる。高度に発達した都市およびそれを結ぶ生活空間の中で、橋梁が今後その重要性をますます高めてゆくことは必須であり、プレストレストコンクリート橋（以下、

PC橋とも呼ぶ）は今後ともその役割を大いに果たす責任があると言える。

1928年にフレシネーがプレストレストコンクリートを実用化して以来、PC橋は大いに発展しその地歩を固めてきたことは周知のとおりである。標準化されたPCのJIS桁による比較的小スパンの橋梁の建設から、鋼橋も含めて世界最長の斜張橋となったノルウェイのスカルズンド橋に至るまでPCの適用範囲はますます大きくなってきているが、PCがこのように発展普及してきたのはPC関係者の絶ゆまぬ技術開発の努力によるものであり、現在も大きな発展の流れの中にある。

本文は、ここまで述べてきた「橋」の多面的な役割と状況とを念頭に置きながらPC橋の新しい流れについて述べるものである。

2. PC橋を取り巻く状況

PC橋に求められる性能を列挙すれば、安全性、供用性、耐久性、美観、経済性、施工時の省力化、工期の短縮、長大橋への適用性、維持管理の容易さ、などである。一方、PC橋の最近の技術的展開の例としては、プレキャストセグメント工法（プレキャスト分割工法）、外ケーブル方式、ウェブに鋼波板を用いた複合構造、バイプレストレス方式、PPC（パーシャルPC）方式、PC斜張橋による長大支間化、吊床版橋、エクストラドーズド橋、ボンドコントロール方式によるプレテンション桁、主径間と側径間にそれぞれ鋼とコンクリートとを用いる複合構造、ウェブをトラス形式とした構造、免震支承の採用、新素材によるPCケーブルの登場、高強度あるいは高性能コンクリートの登場などがあげられる。

また、依然として多用されている技術として片持ち張出し工法、押出し工法、移動支保工法などのPC独特の架設工法、などがある。鉄筋コンクリート床版の施工の合理化を図る方法としての埋設PC板による合成床版工法もPCの極めて有効な活用技術である。

PC橋の新しい流れは、上に述べたようにPC橋に対する種々の要求や期待に応えるべく開発されてきた多くの画期的な技術に基づいて具体化される動向によって表



* Shoji IKEDA

横浜国立大学 工学部建設学科教授
本協会理事・副会長

されるものである。

PC という用語自体が外来語をそのまま用いられているように、多くの PC に関する技術は外国で生まれ育ったものである。PC の新しい流れも、したがって現在のところは外国での画期的な技術開発の結果に眼を奪われることになるが、コンクリート技術そのものが言語に例えれば英語のようなもので国際的に共通するものであるから、あまり我が国独自の技術とか外国の技術というように区別して考える必要は今後ともないものと思われる。そこで、PC 橋の新しい流れを概観するには視野を広くして世界における PC 橋の展開の動向を知ることが必要なのである。

ここでは、上にあげた PC 橋の新しい流れに関するキーワードのうちから関心の深いと思われるものをいくつか選んでその動向を探ることとする。

3. PC 橋の美観と耐久性

社会基盤が整備され国民の生活が豊かになるにつれ、構造物に関する美観が重要視されるようになってきた。古来からの構造物は美観と耐久性とが同一の目標となっていたとも考えられるが、現代の構造物は力学を基本とした経済性が優先されるがゆえに美観に対する配慮に欠けることとなり、結果として耐久性に問題が生ずる場合も見られる。PC 橋はその誕生以来、力学に忠実に則った構造物であるため、美観と耐久性に関しては別途に十分配慮することが必要である。

美観は構造物の供用性能として評価されるべきものであり、豊かな時代を象徴して橋梁には美観が優先されるようになってきたのである。

PC 橋は本来、軽快な構造美を発揮し得る特性を有していると思われるし、また、コンクリートのひびわれの発生も少ないので耐久性に対しても有利である。

世界中で建設された最近の PC 橋では、おそらく設計の時点で供用性としての美観と耐久性の向上とが設計の主要目標となったことは容易に認識することができよう。それゆえ、本文では PC 橋の新しい流れとして、まず美観と耐久性とを取り上げた次第である。PC 斜張橋が地域のランドマークとして好んで採用されることは美観重視の現れであると思われる。

後述するハワイのウィンドワード高架橋の建設に際しては、周囲の岩山の色調に合わせるべく、コンクリートに顔料を入れてコンクリート面を暗灰色とする配慮が払われたことも PC 橋の景観との調和を考えた一例である。

PC 橋は長期間、規模の大きな人工物として見る人の心理に無意識な影響を与えるものであるから、美観を供用性能として捉えることは意義の大きいことと思われる

る。当協会では 1991 年に PC 設計者のために「PC 橋のフォルム」なる冊子を出版したので参照されたい¹⁾。

4. プレキャスト分割工法と外ケーブルの適用

PC 橋の建設に際して省力化と高品質化は大きな目標であり、これを解決する方法としてプレキャストセグメント工法（プレキャスト分割工法）が大規模工事に適用されるようになってきた。

我が国でも昭和 40 年代に首都高速目黒架道橋や神島（こうのしま）大橋などで用いられたが、経済性等の理由でその後はあまりこの工法は広く用いられることはなかった。しかしながら欧米諸国では大規模プロジェクトにこの工法を採用する例が急激に増えてきた²⁾。

プレキャスト分割工法に外ケーブルを適用すれば施工が一層合理化される。しかしながら外ケーブルを用いる場合の供用限界や終局限界に対する安全度のとり方を論理的に明確にすることが必要である。

プレキャスト分割工法が急激に最近普及している理由として、コンピューターの普及によるショートライン・マッチキャスト方式の信頼性の向上があげられよう。

ここではこの工法によるいくつかの最近のプレキャスト分割工法の施工例とその特徴を紹介する³⁾。

メキシコのモンテレー鉄道高架橋の建設では、延長 18.5 km の高架橋が平均スパン 27 m、幅員 7.4 m、径間数 619 のプレキャスト分割工法の橋梁として施工された。分割要素数は 6 500 である。上床版は横方向にプレテンションされている。製作はロングライン・マッチキャスト方式である。架設は架設トラスを用い、スパン・バイ・スパン方式で 1 スパン当たり 2～3 日の施工速度で架けられた。

タイのバンコック高速道路高架橋建設工事は、橋梁延長が 66 km で、これを平均支間長 42 m で 1 575 径間の高架橋で構成するものである。構造形式はショートライン・マッチキャスト方式と外ケーブルとを組み合わせたプレキャスト分割工法で、分割要素の長さは 3.4 m、その数は 20 500 個にも及ぶものである。分割要素は月 750 個の割合で製作される。架設はスパン・バイ・スパン方式で、分割要素間の接合はキーと外ケーブルによるドライジョイントである。

ハワイの H-3 ウィンドワード高架橋は、ホノルルの北側に位置する山ぞいの橋梁で、全長 2 040 m の上下線分離併列橋であり、それぞれ 24 径間を有する構造である。ここではプレキャスト分割工法が全面的に用いられたが、外ケーブルは施主により採用が認められなかった。分割要素の製作はショートライン・マッチキャスト方式であり、平均縦断勾配 5 % の曲線変断面橋でありながら十分な精度で分割要素の製作が行われた。1 338 個

の要素は約 20 か月で製作された。分割要素の架設には特殊なトラス桁ガントリークレーンが用いられ、支間約 90 m の連続 PC 橋が 1 支間当たり約 2 週間で架けられ、大幅な工期短縮を図ることができた。

デンマークのグレートベルト海峡横断工事では、その西橋梁に大規模なプレキャスト分割工法が採用され、現在建設が進行中である。全長は 6 611 m で、鉄道橋と道路橋とが並列し、それぞれが独立した 1 箱桁構造となっている。構造は、10 ないし 11 径間連続の PC 連続桁形式が 6 連である。標準支間は 110.4 m であるが、5 つの要素（長さ 18 m～27 m）をヤードで順次製作した後、PC ケーブルとで連結し、7 000 トンの能力を持つフローティングクレーンで一括運搬架設する工法が採用された。海上橋であるためにこのように大規模なブロック架設を行うことができるのである。

フランスにおいては、Ré 島橋、Chevire 橋、Glacieres Sylans 橋などがプレキャスト分割工法と外ケーブルを組み合わせた長大 PC 橋として注目される橋梁である⁵⁾。

米国では、Long Key 橋、Seven Mile 橋、Sunshine Skyway 橋などの長大 PC 橋にプレキャスト分割工法が採用されてその有利性が認識されるようになり、米国分割工法学会 (American Segmental Bridge Institute) が設立されるまでになっている。

我が国でも沖縄の池間大橋では全長 1 425 m の海上橋がプレキャスト分割工法で施工されるに及び、工期短縮と省力化の観点から再びこの工法が大いに関心を集めることとなった⁶⁾。

5. 複合 PC 橋

外ケーブルの技術が信頼を得るに及び、ウェブに鋼板を用いる複合 PC 橋が登場することとなった。コンクリートのクリープ変形の影響を受けないように波形の鋼板をウェブに用いる方法が開発され、合理的に死荷重を

軽減する構造として波板鋼ウェブ PC 橋が新しい PC 橋の形式として登場してきたのである⁷⁾。すでにフランスでは、Cognac 橋や Maupré 橋にこの形式が採用され、多大の関心を集めることとなった。中でも Maupré 橋は下フランジにコンクリート充填鋼管を用い、波板鋼ウェブを斜めに 2 枚配した 3 角形断面として、押出し工法によって 7 径間連続橋としたものである。

我が国でも早速この形式の橋梁についての検討が開始され、現在、新潟県と秋田県とでそれぞれ新開橋および松ノ木 7 号橋の建設が進められている。

波板鋼ウェブに代えて鋼材をトラス状に配置した橋梁として 3 径間連続の Arbois 橋がフランスで建設され、複合 PC 橋としての新しい試みが常に行われていることがわかる。また、これを一層進めた形式としてフランスの Roize 橋では鋼製の立体トラス架構でコンクリート上床版を支える形式が登場した³⁾。外ケーブルの適用により橋梁の下フランジは極めて小断面となり、スラブ橋が鋼トラス架構によって補剛されているようなイメージである。

これらのような複合断面の桁は、軽量であることから斜張橋や吊橋への適用が今後図られるものと思われる。

6. 長大斜張橋について

1991 年 12 月に斜張橋として世界最長支間 530 m を誇るスカルンズンド橋が北欧のノルウェーに完成した (写真-1)。同じノルウェーで同年に既に支間 425 m の PC 斜張橋であるヘルゲランド橋が完成しており、コンクリートによる長大橋の建設が着々と進んでいることがわかる。

この 2 つの斜張橋は同じノルウェーに建設されながら構造形式や使用材料がそれぞれに異なっている。これはこれらの橋梁の建設に際して厳しい国際的な競争があったことに起因するものと思われる。例えば斜張ケーブルについては、スカルンズンド橋はオーストリア製のロッ

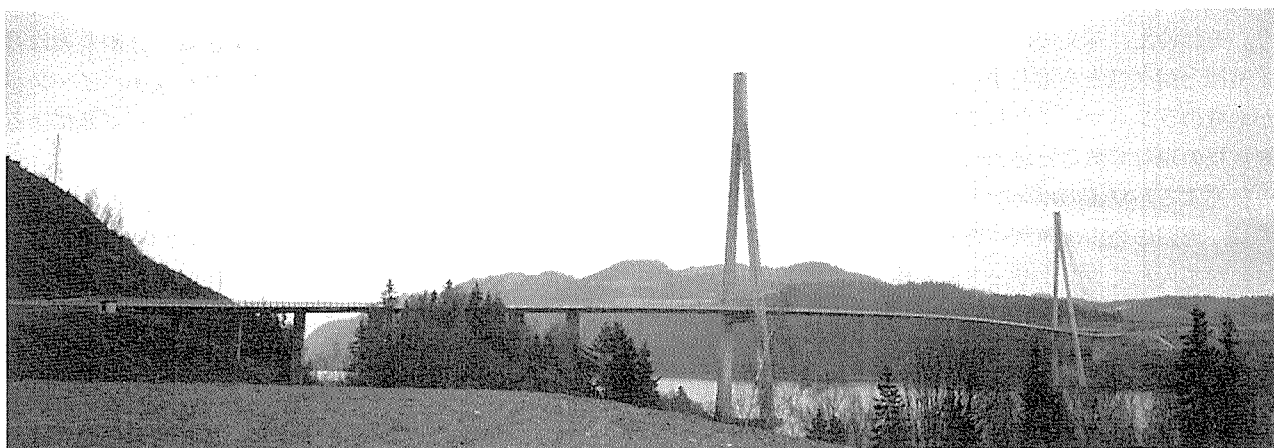


写真-1 斜張橋として最長支間を誇るスカルンズンド橋 (筆者撮影)

クドコイルであり、ヘルゲランド橋はスイス製の Hi-Am アンカーストランドケーブルである。公正な競争が行われる限り技術には国境はなく、特に大規模な工事では多国籍の企業によって業務が進められる場合が多くなるものと思われる。

斜張橋として世界最大支間となるフランスのノルマンディ橋が現在建設中であるが、この橋梁に対してもスウェーデンのコンサルタントが設計に参画している。

ノルマンディ橋は中央支間が 856 m の複合斜張橋であって、中央径間中の 624 m が鋼桁であり、その他の部分が PC 桁である。

今後は長大斜張橋の建設に際し、超高強度コンクリートや複合構造の適用が大いに盛んになるものと思われる。

また、斜張橋と桁橋との中間的な構造としてエクストラードロード橋もある程度の長大橋に適した構造と言えよう⁸⁾。

7. 吊床版橋とアーチ橋

吊床版橋とアーチ橋は、いずれも水平反力を得て成り立ち、かつ、軸方向力が主部材に主として作用している点で類似の構造形式と言える。

吊床版橋はそのままで縦断勾配を有するので歩道橋に適していることから山間部の渓谷やゴルフ場などに多く架けられ、美観的にも高く評価されている。

アラミド繊維によるケーブルを用いた茨城県のパーティ橋や3方向に架けられた三重県の亀甲橋など特徴のある吊床版橋も登場してきた。

また、吊床版橋は架設が容易であることから、これを支保工に兼用して自旋式の PC 橋を建設することも可能と思われる。

アーチ橋は耐久的で美観に優れていることから、長大橋の形式としてしばしば用いられるようになってきた。アーチ橋の架設には PC 橋の架設技術が応用されることが多いが、廻転架設工法のような独特の架設工法も登場してきた。

1990年の FIP ハンブルクの大会において支間 235 m の別府明礬橋が Special Mention 賞を受賞したことは記憶に新しい。世界最大支間のコンクリートアーチ橋はユーゴスラビアの St. Marco-Krk 橋で、その支間は 390 m である⁹⁾。また、上部桁を押し出し工法によって鋼桁としたフランスのランス橋(シャトブリヤン橋)も複合アーチ橋としての新しい可能性を示している。この橋梁は支間 261 m で、架設はアーチのスプリング部より支間側に前進した位置にピロンを立て斜張橋の架設の形式で施工された⁷⁾。

架設に鋼アーチリブを廻転閉合し、これにコンクリー

ト充填およびコンクリート巻立てを行った城址橋(支間 82 m)や福貴畑橋(支間 72 m)もユニークなコンクリートアーチ橋として評価されている。

アーチ橋は古来から用いられている形式であるが、最近の PC の架設技術や複合技術を組み合わせることにより、美観と耐久性に優れていることから今後とも発展する形式であると思われる。

8. おわりに

プレストレス技術を活用した新しい橋梁の開発は世界中で実施されているものであり、これをすべて含めて PC 橋の新しい流れを概観することは極めて困難である。しかし、新しい技術開発に関するモチーフはほぼ共通であるから、いくつかの PC 橋の新しい流れを例にあげて眺めれば、ほぼ全体が把握できるものと思われる。

PC 橋が目指すものは、美観、耐久性、安全性、供用性、経済性、長大支間への適用性、などであることを常に認識しながら PC 橋の新しい流れを概観することが必要であると思われる。

今年 10 月に京都で開催される我が国で初めての PC に関する国際シンポジウム(FIP KYOTO 1993)では、世界の最新の PC 橋に関する情報が報告されるはずである。このシンポジウムに参加しながら改めて PC 橋の新しい流れについて考えてみたいものである。

力学的合理性に裏付けられた PC 橋が、人工物として積極的に美しい環境空間を形成していくことを今後の方向として考えたいものである。

参 考 文 献

- 1) 都市内 PC 橋調査研究委員会：PC 橋のフォルム、PC 技術協会、1991年3月
- 2) 池田尚治：世界のプレストレスコンクリートの動向、PC 構造物の供用性と耐久性の向上(第 21 回 PC 技術講習会テキスト)、1993年2月、PC 技術協会
- 3) J.M. Muller : Precast Segmental Construction, FIP '92 Symposium, Vol. 2, pp. 599~628, 1992
- 4) Annual Reports and Accounts '90, Storebelt, 1990
- 5) M. Virlogeux, et al : The Ré Island Bridge, FIP Notes, 1991/3, pp. 2~8
- 6) 屋良, 野田, 吉野, 岡戸：池間大橋(仮称)の設計と施工——プレキャストブロック工法長大橋——、プレストレスコンクリート, Vol. 33, No. 5, pp. 15~27
- 7) 池田尚治：プレストレスコンクリートの新たな展開、新たな展開を示す PC 構造(第 19 回 PC 技術講習会テキスト)、pp. 1~11, 1991年2月、PC 技術協会
- 8) 城野, 多久和, 春日, 岡本：エクストラードロード PC 橋の計画と設計——西湘バイパス小田原港橋——、橋梁と基礎, Vol. 26, No. 12, 1992年12月号, pp. 11~17
- 9) 河村哲男：世界最長のコンクリートアーチ橋、橋梁と基礎, Vol. 25, No. 8, pp. 144~148, 1991年8月号

【1993年1月29日受付】