

第 2 回 橋梁分野への適用例

講師：河村 直彦*1・中山 良直*2・諸橋 明*3

1. PC 橋梁の概要

1.1 橋梁の分類

橋梁とは、Wikipedia によれば「谷などの地面やより低い位置を通る道路・鉄道路線，川・湖沼・海といった水面などを跨ぐ形で，高い場所に設けられた構築物」を示します。古代には垂れ下がったツルを使って谷を渡るかざら橋や倒れた木を用いた丸太橋のようなものが橋として使われたと考えられます。

近代では，強度の高い材料が安価に供給されるようになり，大規模な橋梁が登場します。現代では，橋梁の主要な材料は鋼とコンクリートが大半であり，そのほかに木材，非鉄金属，連続繊維材料なども使用されています。

鋼橋は自重が軽く工場で作成するため製作期間が短い利点がありますが，腐食に対する対策が必要です。一方，コンクリート橋は現場で作成することが基本であり一般に製作期間は長くなりますが，疲労や腐食に強い利点があります。そのほかの材料については，それぞれの材料特性を活かした橋梁が出現していますが，まだ主流になるには至っていないようです。

1.2 コンクリート橋梁の分類

コンクリートは圧縮には強いが引張に弱く，また破壊性状が脆性的であるため，橋梁材料として単独で用いられることはほとんどなく，鉄筋などの材料と組み合わせて使用されます。コンクリート橋では，引張力に対する抵抗により，以下のように分類されます。

鉄筋コンクリート橋（RC 橋）：引張力は部材内に配置された鉄筋により抵抗するもの。

パーシャルプレストレストコンクリート橋（PPC 橋）：引張部にプレストレスを与えて抵抗するが，ひび割れは許容し，そのひび割れに対しては鉄筋によりひび割れ幅制御を行うもの。PRC 橋と称することもある。

プレストレストコンクリート橋（PC 橋）：引張部にプレストレスを与えることでひび割れを発生させないもの。

RC 橋では引張部のコンクリート断面は無視する設計法であるのに対し，PPC 橋・PC 橋では全断面を有効としますので，より合理的な設計が可能となりスパンを長くするこ

表 - 1 コンクリート橋の特徴

項目	RC 橋	PPC 橋	PC 橋
ひび割れの発生	する	する	しない
引張部の断面	無視	有効	有効
適用可能なスパン長	短い	長い	長い
腐食に対する抵抗	低	中～高	高
施工に要する技術	低	高	高
プレキャスト化	難しい	難しい	可能

とが可能となります。また，腐食に対する抵抗性はひび割れ数やひび割れ幅により決定されますから，一般的には PC 橋が有利となります。それぞれの特徴を表 - 1 に示します。

2. PC 橋梁の歴史

2.1 海外の歴史

PC 鋼材の定着には多種多様な工法がありますが，代表的な定着工法の 1 つにフレシネー工法があります。フレシネー（Freyssinet）は，1879 年にフランスで生誕した技術者で，定着工法を考案し PC 構造を実用化させた第一人者です。フレシネーが作った代表的な橋梁に，パリ東方のマルヌ川に建設されたマルヌ（Marne）川 5 橋があります¹⁾。

マルヌ川 5 橋は，1947 年から 1951 年に架けられた PC 単径間アーチ橋で，5 橋とも同じ構造寸法でプレキャストセグメント工法が採用されています。

ポータルフレームの原理により支間中央の曲げモーメントを減少させることで，単純桁ながら支間長 74 m で支間中央桁高を 2.4 m に絞っており，写真 - 1 のようにスレンダーな形状です。



写真 - 1 マルヌ川 5 橋（ユスイー橋）

2.2 わが国の歴史

フレシネーが日本で特許を取得したのが 1932 年，昭和

*1 Naohiko KAWAMURA：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 技術部会

*2 Yoshinao NAKAYAMA：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 技術部会

*3 Akira MOROHASHI：(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 技術部会

7年のことで、第二次世界大戦より前のことです。

日本で初めてのPC橋は、1952年に完成したプレテンション方式の長生橋です。当時の全景は写真-2のとおりで、現在は公園に移設されています。その翌年の1953年には初めてのポストテンション方式の十郷橋が施工されました。1954年に完成した第一大戸川橋梁は、写真-3のとおり鉄道橋で、本格的なPC橋の第1号といわれています。これらの橋梁の概要は、表-2のとおりです²⁾。

表-2 わが国の初期のPC橋

橋梁名	場所	完成	橋梁規模
長生橋	石川県	1952年	3径間、橋長11.8m
十郷橋	福井県	1953年	橋長7.35m
第一大戸川橋梁	滋賀県	1954年	橋長31m



写真-2 長生橋

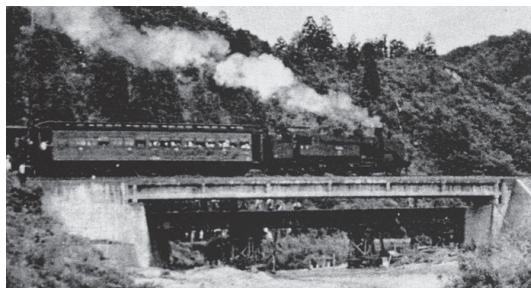


写真-3 第一大戸川橋梁

3. 用途や断面形状による分類

3.1 用途による分類

PC橋は、何が通るかという用途によって、自動車や歩行者が通る道路橋、列車が通る鉄道橋、水を通す水道橋などに分類できます。

3.2 断面形状による分類

PC橋を、製作方法や構造形状によって分類することもできます。いつPC鋼材を緊張するかによって、コンクリートを打設する前に緊張するプレテンション方式と、打設後に緊張するポストテンション方式があります。また、どこでコンクリートを打設するかによって、架設現場から離れた工場で作るプレキャスト工法と、架設現場で打設する場所打ち工法があります。工場から架設現場まではトレーラなどで運ぶこととなりますが、大きさや重量に制限があるという課題に対して、主桁を輪切りにしたセグメント部材の状態の小部材として運搬する方法や、架設現場

の隣りにプレキャスト製造工場を設けるサイトプレキャスト工法という方法もあります。

どんな主桁断面形状かによって、スラブ桁、T桁、コンボ桁、中空床版、箱桁、版桁などがあり、緊張時期や断面形状の組合せをまとめると、表-3のとおりです。

表-3 断面形状による分類

プレストレス導入方式 施工法	プレテンション		ポストテンション			
	プレキャスト		場所打ち			
主桁の断面形状	スラブ桁	T桁	コンボ桁	中空床版	箱桁	版桁
単純桁	○	○	○	○	○	○
連結桁	○	○	○			
連続桁				○	○	○
連続ラーメン				△	○	△

○：適している架設工法

△：あまり適していないが適用が可能な架設工法

3.3 架設方法

プレキャスト桁の架設方法には、トラッククレーン架設や架設桁架設などがあります。

プレキャストセグメントの架設方法には、片持ち架設やスパンバイスパン架設などがあります。エレクションガーダーという架設機材を使った事例を写真-4に示します。このときは、海上だったので、セグメントは架設済みの主桁の上にレールを敷いて移動させました。



写真-4 エレクションガーダー架設

場所打ち桁の架設方法でもっとも一般的なのは、型枠を地上からの支保工で支える固定支保工架設です。橋梁規模が大きい場合や桁下空間の利用に制約がある場合は、写真-5のような片持ち架設や、押し出し架設などが採用されます。



写真-5 片持ち架設

4. 構造による分類

4.1 概 要

橋に作用する種々の荷重に対してどのような部位あるいは構造で抵抗させるか、ということから構造形式が考えられてきました。この作用には、死荷重、活荷重（自動車、鉄道車両や歩行者）などの上載荷重のほか、温度変化あるいは地震など水平方向の荷重がありますが、メインとなる上載荷重の抵抗機構に応じて構造形式が分類されます。

4.2 桁 橋

上載荷重に対して、梁部材のみで抵抗する構造です。この梁部材を下部構造に載せただけの橋梁形式が桁橋となります。桁のみで抵抗させるため、上載荷重や支間長が大きくなると、発生する曲げモーメントに応じて桁断面の高さ（桁高）や部材厚も大きくなります。橋梁でもっとも多い一般的な構造形式であり、比較的支間の短い橋に採用されますが、200 m を超える長大支間を有する実績（写真 - 6）もあります。



写真 - 6 桁橋（新旅足橋）

4.3 アーチ橋

梁の形状を上向きの曲線（アーチ）とすることにより、上載荷重によって梁に作用する断面力は軸圧縮力が卓越し、曲げモーメントを桁橋より低減できます。このことで、支間長の増大が可能になります。アーチは曲線形状のため、車両等の路盤として直接使用することは困難です。このため、アーチ上に支柱を立てるか（上路式）、鉛直材を吊り下げて（下路式）路盤部材を支持する構造が大半です。圧縮に強いコンクリートに有利な構造で多数の実績があり、国内では最大アーチ支間 250 m を有した橋梁（写真 - 7）もあります。



写真 - 7 アーチ橋（富士川橋）

4.4 吊構造による橋梁

主桁を上方から吊ることにより、上載荷重を吊部材と分担して抵抗させるのが吊構造です。コンクリート橋の吊構造で多いのが PC 斜張橋です（写真 - 8）。橋脚上に建てた塔から斜めに張り渡した吊部材（斜材）にて主桁を支持します。上載荷重に対して、主桁と斜材で分担して抵抗させますが、PC 斜張橋の場合、半分以上を斜材に受けもたせ、主桁の剛性を下げることで軽量化を図り、飛躍的に支間を増大させることが可能となります。

また、斜材の分担度合いを下げ、梁の剛性を上げて主桁により多く分担させる形式がエクストラード橋と呼ばれています（写真 - 9）。この構造形式はわが国で開発されたもので、桁橋と斜張橋における適用支間の中間規模橋梁において、現在では世界中で採用実績を伸ばしています。



写真 - 8 PC 斜張橋（矢部川橋）

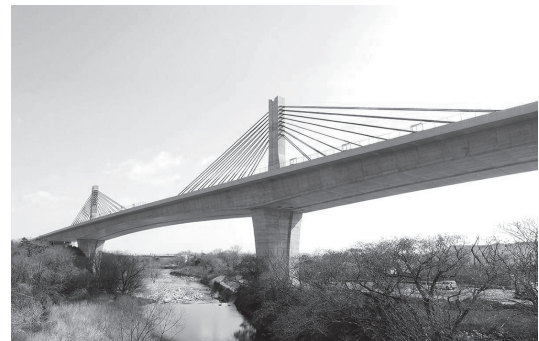


写真 - 9 エクストラード橋（菟野第二高架橋）

4.5 複合構造による橋梁

上述の3形式は、主に上載荷重の抵抗機構により分類したのですが、梁部材を構成する材料の観点から分類したのが複合構造です。もっとも多いものが鋼とコンクリートの複合構造であり、断面を構成する部材について組み合わせた合成構造、桁を構成する部材について組み合わせた混合構造があります。

断面の複合構造としてもっとも多いのが、コンクリート箱桁のウェブを波形に加工した鋼板で置き換えた波形鋼板ウェブ橋です（写真 - 10）。軽量化による長支間化・施工の合理化が図れる合理的な構造として、とくに高速道路において多く採用されています。

混合橋には、長大支間を有する PC 橋の径間中央部を鋼桁に置き換えて軽量化を図ったもの、短い側径間を PC 斜張橋に置き換え橋梁全体として合理化を図った複合斜張橋（写真 - 11）などがあります。



写真 - 10 波形鋼板ウェブ橋（鬼怒川橋）



写真 - 12 UFC 橋梁（アキバブリッジ）



写真 - 11 複合斜張橋（生名橋）



写真 - 13 Dura-Bridge（別楚谷橋）

5. 高耐久化を目指した橋梁

昨今では、インフラストックの点検と更新が本格化する的同时に、新設橋梁に対しても維持管理性と高耐久化が要求されるようになりました。PC 橋においても耐久性向上のための技術開発が進められており、さまざまな新技術が採用されています。

写真 - 12 は、設計規準強度 200 MPa を有する超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を用いた PC 橋です。コンクリートに鋼繊維を混入し高強度化を図り、プレストレスを導入することで鉄筋は配置しません。自己充填タイプのコンクリート、配筋作業の省略、工場製プレキャストセグメントによる施工の省力化と同時に高耐久化を実現した PC 橋です。

また写真 - 13 は、Dura-Bridge と称された超高耐久橋梁です。UFC 同様、鋼繊維補強コンクリート（設計規準強度 80 MPa）を用いて鉄筋の配置を無くし、アラミド FRP ロッドによりプレストレスを導入します。鉄筋や PC 鋼材といった腐食性の材料を一切使用しない究極の高耐久 PC 橋で、2020 年にわが国で世界で初めて建設されました。

6. 最後 に

わが国では 1950 年代に PC 橋が導入されてから 60 年を越える実績があり、その間多くの技術者の努力によって適用例を増やしてきました。これらの橋梁は経年の供用により損傷を受けているものもありますが、現在でも国土の発展に寄与しています。

今後は環境負荷低減・高耐久性・ライフサイクルアセスメントといった新たな事項にも対応しなければなりません。PC 技術者の取り組むべき課題はますます多岐にわたるものとなっており、一層の活躍が望まれています。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：プレテンションウェブ橋梁技術欧州調査報告書, 2002.3
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 建設業協会 50 年史, 2005.5

【2021 年 9 月 10 日受付】