

新幹線鉄道の PC 技術

金 森 真*

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下 PC と記す）鉄道橋は、昭和 28 年（1953 年）大阪駅構内にスパン 4.9 m のポストテンション方式の桁が、列車を支持する橋桁として初めて建設された。

昭和 29 年には本格的な PC 桁である第一大戸川橋梁（スパン 30 m）が信楽線（現、信楽高原鉄道）に完成した。

この記念すべき橋梁のコンクリートの設計基準強度は 45 N/mm²、示方配合は単位セメント量 450 kg、単位水量 162 kg、W/C = 36 % でスランブは 3 cm であった。

初期のコンクリート構造物は練混ぜ、運搬、打込みなど、人力によるところが多く、大量に施工することはできなかったが、技術者の目の行き届いた施工がなされたようである。

その後、わが国の発展に伴い、大量の施工が必要になったため、セメント・混和剤の発達、施工の機械化（コンクリートミキサ、コンクリートポンプ、パイプレータ、など）がなされた。この間、骨材の諸問題（海砂の塩害、アルカ

リ骨材反応）の発生、グラウト未充填による PC 鋼材の破断などの問題の発生があった。

鉄道橋は道路橋に比べて、スパンの大きなコンクリート橋は少ないが、スパン 100 m 以上の主なコンクリート鉄道橋（施工中のものを除く）を表 - 1 に示す。

2. 新幹線用 PC 鉄道橋の設計

昭和 39 年に開業した東海道新幹線には多くの PC 桁が採用された。新幹線用の橋梁に要求される特徴はつぎの 2 点であるが、いずれも PC 橋の適用の上で問題となることはない。

- ・たわみ制限が厳しいこと
- ・普通鉄道よりスパンが大きくなる場合があること

2.1 たわみ制限

新幹線は高速走行における乗客の乗り心地と列車の走行安定性を確保するために、桁のたわみを厳しく制限している。

PC 桁は、もとより剛性の高い構造であるので、たわみの制限により桁高が決まることは少ない。たわみが問題になるのは、桁下空頭の確保のため極端に桁高を小さくした

場合や、極端な PRC 構造とした場合である。

なお、列車による加振と桁の固有振動数が近づくと列車編成の後尾部の車両の乗り心地が悪くなる場合があるので、たわみの絶対値を小さくするなどの配慮が必要である。

2.2 長大スパン

(1) 平成 9 年 12 月から施行された河川法の改正以前は、新幹線の橋梁の径間

長は普通鉄道の場合に比べて径間長を 10 m 加算するルールになっていたため、長野新幹線以前の新幹線は、河川橋梁が比較的大きなスパンとなった。

(2) 新幹線は最小曲率半径を原則として 4 000 m としているため、ルート選定の自由度が少なく、中規模河川に対して相当な斜角で渡らざるをえない場合があり、中規模河川に対しても比較的大きな径間長になる場合がある。

(3) 阪神大震災以降、地震などの振動により、河川堤防に悪影響を与えないように、橋脚を堤体に設置しないことを要望されており、堤体まわりの制約を満足するために、

表 - 1 コンクリート鉄道橋（スパン 100 m 以上）

最大スパン	橋梁名	線区	橋梁形式	竣工年
133.9 m	第二千曲川橋梁	北陸新幹線(高崎・長野)	PC 斜張橋 (2 径間)	1996 年
120.0 m	北浦港橋梁	本四備讃線	PC 連続桁橋 (5 径間)	1988 年
116.0 m (アーチ支間)	赤谷川橋梁	上越新幹線	アーチ橋 (逆ランガー)	1979 年
110.0 m	太田川橋梁	上越新幹線	PC 連続桁橋 (3 径間)	1978 年
109.5 m	吾妻川橋梁	上越新幹線	PCT ラーメン橋 (2 径間)	1978 年
108.0 m	名取川橋梁	東北本線	PC 斜張橋 (2 径間)	1995 年
105.0 m	第二阿武隈川橋梁	東北新幹線	PC 連続桁橋 (5 径間)	1975 年
105.0 m	屋代南架道橋	北陸新幹線(高崎・長野)	エクストラードズド橋 (4 径間)	1996 年
100.0 m	中部国際空港連絡橋	中部国際空港連絡線	PC ラーメン橋 (3 + 4 + 4 径間)	2003 年



* Makoto KANAMORI

鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部 設計技術室

堤体を跨ぐ径間が長くなる傾向にある。

3. 橋梁形式

新幹線鉄道のPC橋として使用されているものを紹介する。

3.1 ホロースラブ桁橋

極端に桁高を低くしたい場合に用いられ、場所打ち施工が一般的である。中空部は薄肉鋼管などが用いられるが、中空部の下にコンクリートを確実に充填するには流動化コンクリートを用いるのが良い。

列車荷重によるたわみが大きくなることが多い。

3.2 単純T形桁橋

長野新幹線以前は、下フランジがあるI形桁で、ウェブの厚さも、スパンの中央から支点に向かって拡幅していた。

最近では、施工性向上のため、I形桁と比べて下フランジがないT形桁とし、ウェブの拡幅もしないこととして、型枠形状やスターラップ形状を単純化した。下フランジがないため、コンクリートの打込みが確実にでき、さらにPC鋼材がスターラップを横切ることがないため構造的に望ましい。

新幹線複線の場合は、スパン、桁高の制約により4～8主桁としており、主に、架道橋、流水の多い河川および深い谷などで、施工に接地式の支保工を採用できない場所に採用している。

通常、主桁部分を地上で製作し、クレーンあるいはエレクションガーダーで架設後、その主桁間に場所打ちコンクリートでスラブ、横桁を施工する。

この型式は、東海道新幹線の頃は、単線分離で設計されていたが、現在では荷重分担上有利な複線一体の桁として設計している。この構造は、製作ヤードで集中的に製作されるため品質も良く、クレーンなどにより短時間で架設できるメリットがあるため、今後も多用される構造である。

3.3 単純箱形桁橋

単純箱形桁は、単純T形桁と違って、場所打ち施工の可能な都市計画道路や河川用の橋梁などに使用されており、移動支保工を使用する場合にも実施例が多い。また、押出し工法を採用する場合も安定性のある構造である。鉄道橋では橋幅が12m程度なので1室箱形断面が多い。

施工時にウェブ下側のコンクリートの充填を目視確認できるように、ウェブは直にするのが望ましい。また、上床版の横締め鋼材にプレグラウト鋼材を採用し、主ケーブルの上縁定着をやめ、PCグラウトをノンブリーディング型にするなど耐久性向上を図っている。

3.4 単純下路桁橋

単純下路桁(写真-1)は、鉄道橋特有のU字形の内側を列車が走行する構造である。桁長にかかわらず、下スラブの厚さは0.7m程度であり、路面高さを低くすることができる構造である。そのため、前後の構造物を全体的に低くできるが、桁自体は箱形桁よりも工事費が高い。通常、複線構造までに使われている。

一般に、支保工上で場所打ちしているが、押出し架設することも行われている。

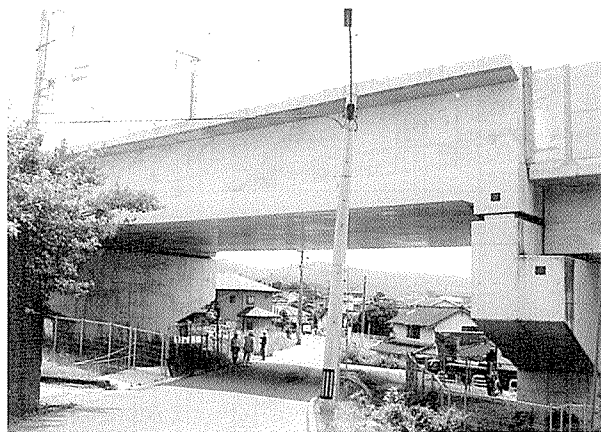


写真-1 PC下路桁（九州新幹線の例）

現在、この型式は線路の外側に主桁があるため桁幅が前後の構造物に比べて広く、前後の構造物とのバランスが悪い欠点があり、外形の工夫が求められている。

また、大スパンになった場合、主桁高さが高くなり列車高さに近いものになるので、箱形断面の中を列車が走行する方が構造的に安定である。この構造の例はすでに上越新幹線戸座川橋梁などにみられる。また、スパンが60mを越える場合はPCランガー桁も有望である。

3.5 ランガー桁橋

都市内では、従来から鋼ランガー（あるいはローゼ）桁が使用されてきたが、これをコンクリート橋にした初めての鉄道橋がJR東日本五日市線にある。その後、九州新幹線原田架道橋にも採用された(写真-2)。

この構造の特徴は、①たわみが小さい、②都市内の景観を阻害しない、③PC下路桁と同様に桁高を小さくできる、などである。

架設は、固定式支保工が必要なため、工期が比較的制限されない場合は、アーチ部が完成してから支保工を撤去した方が設計的に合理的である。しかし、都市内などでは、早期に支保工を撤去することを期待される場合が多いので、多少、設計的に不利でも、補剛桁（下路桁）の施工後、アーチ部施工前に支保工を撤去できる設計とすることもある。

ランガー桁の鉛直材は、引張部材であるため、鋼材を使用することも普通鉄道では行われている。



写真-2 PCランガー橋（九州新幹線原田架道橋）

3.6 連続箱形桁橋，ラーメン橋

PC 連続箱形桁は，大河川や，大スパンで架橋しなければならぬ道路上で，主として張出し架設により施工され，施工場所の高さが低く障害のない場合は支保工施工をしている。また，一般に曲げモーメントとせん断力の大きな中間支点付近で断面を大きくする変断面としているが，スパンが小さい場合には等断面を採用している。

鉄道橋は一般に橋脚の高さが低いため，連続桁橋として橋脚頭部に支承・ストッパーを設置した橋梁が多かったが，長野新幹線以降は可能な限りラーメン橋としている。ラーメン橋は耐震性に優れ，支承，ストッパー，支承点検足場，張出し架設時の仮固定装置が不要となるため経済的なだけでなく，保守点検作業も軽減できる利点がある。したがって，橋脚高が低い場合や，地盤が悪く橋脚間の不等沈下が懸念される場合は連続桁橋，その他の場合はラーメン橋が採用されている（写真-3）。



写真-3 PC ラーメン橋（九州新幹線球磨川橋梁）

3.7 波形鋼板ウェブ PC 橋

PC 箱形桁のウェブに波形鋼板を用いる波形鋼板ウェブ PC 橋は，軽量化できること，およびウェブが波形のため軸力に抵抗しないのでプレストレスが効率よく上下のコンクリート床版に導入されるなどの長所がある。

鉄道橋で初めて北陸新幹線黒部川橋梁（6 径間連続，最大スパン 72 m）で施工された（写真-4）。

この構造は，理論的には大変合理的であるので，実績を重ねて適切なディテールなどを明らかにしていけばおおいに期待できる構造である。

また，PC 箱形桁のウェブに鋼トラスを用いる構造も，波形鋼板を用いる PC 橋と同様なメリットが予想され，長大橋に用いれば経済的と思われる。

これらの複合構造は，鋼構造特有の高い精度の確保のため，慎重な施工が求められ，それによって，PC 構造物のおおらかさが失われ，コストアップになる場合があるので，経済性と施工性に配慮した構造の確立が望まれる。

3.8 斜張橋

PC 斜張橋は，PC 桁を斜材で吊る構造である。そのため，荷重を桁と斜材で分担することになるが，その比率について自由度が高く，斜材間隔も含めて多様な設計ができる。

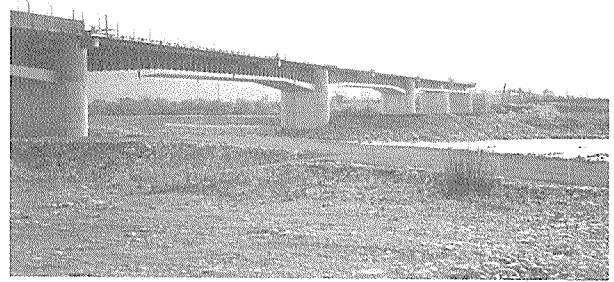


写真-4 波形鋼板ウェブ PC 橋（北陸新幹線黒部川橋梁）

PC 斜張橋の特徴は，①景観が優れている，②桁高を小さくできる，③自重が軽く，一般に長周期構造物のため耐震上有利である，などである。

鉄道橋の PC 斜張橋は，三陸鉄道北リアス線小本川橋梁のように，斜材を PC 部材として，疲労の問題をなくし，主桁のたわみが小さくなるように設計した例と，北陸新幹線第二千曲川橋梁のように斜材を PC 鋼材とした例がある。

小本川橋梁のように斜材を場所打ちする方法は，大規模な橋梁の場合，施工上適用困難である。このため，斜材を大容量の PC 鋼材（工場製作）にしたのが第二千曲川橋梁である。この橋梁では，高速走行する新幹線の厳しいたわみ制限を満足するために 3 m の桁高が必要になった。これは，たわみを少なくするためには，斜材を大きくするより，桁高を大きくする方が効果的なためである。斜張橋は，斜材の引張性能を活用し，桁は補剛桁として剛性を低めに設定するのが合理的であると思われるが，厳しいたわみ制限がある場合は，桁の剛性に頼ることになり，構造特性を發揮するのが難しい。また，斜材を有効に働かせるには高い塔が必要であるが，高い塔と塔に支持された斜材は，保守・点検および補修などが困難な場合もある。

したがって，たわみと保守の問題から，高速走行する新幹線には，次に述べるエクストラロード橋の方が適しているようである。

鉄道用の PC 斜張橋，エクストラロード橋，斜版橋，などの主なものを表-2 に示す。

3.9 エクストラロード橋

主塔の高い本格的な PC 斜張橋は，前述のとおり斜材の保守・補修の困難な構造物である。この点，エクストラロード橋は，鉄道橋の実績では主塔高も 14 m 以下で，主塔・斜材の位置が低く，保守上の問題のない構造である。解析上は PC 斜張橋と同じであるが，斜材の疲労の考え方や使用する定着具は異なる。

主塔が低いため，桁を吊り上げる効果より桁に軸力と曲げを加える外ケーブル的な働きが大きい。エクストラロード橋は，①保守上の問題がない，②たわみが小さい，③桁高を比較的小さくできる，④自重が軽いので耐震上有利，などの長所があるので，今後おおいに使用される可能性が高い。

表-2 鉄道用の主な吊構造のコンクリート橋

構造形式	橋梁名	設計・施工	支間 (m)	断面	記事
斜張橋 (斜材は鋼材)	第二千曲川橋梁	日本鉄道建設公団	133.9 × 2	3室箱形	新幹線複線 河川上, 主塔高 65 m
斜張橋 (斜材はPC部材)	小本川橋梁	日本鉄道建設公団	45.65 + 85.0 + 45.65	1室箱形	在来線単線 河川上, 主塔高 18 m
	第一玉川橋梁	JR 東日本	51.5 + 85.0 + 51.5	1室箱形	在来線単線 河川上, 主塔高 10 m
	西三条架道橋	JR 北海道	64.3 + 59.3	6室箱形	在来線4線 道路上, 主塔高 19 m
	新牛朱別川橋梁	JR 北海道	48.15 + 57.0 + 48.15	1室箱形	在来線単線 河川上, 主塔高 17.7 m
エクストラード ズド橋	屋代南架道橋	日本鉄道建設公団	64.23 + 105.0 + 105.0 + 64.23	3室箱形	新幹線複線 道路上, 主塔高 12 m
	屋代北架道橋	日本鉄道建設公団	49.33 + 90.0 + 49.33	3室箱形	新幹線複線 道路上, 主塔高 10 m
	新川架道橋	JR 北海道	51.375 + 51.375	下路桁	在来線複線 道路上, 主塔高 14 m
	界川橋梁	JR 東海	55.328 + 70.000 + 55.328	下路桁	在来線複線 河川上, 主塔高 9.3 m
斜版橋	名取川橋梁 (4連)	JR 東日本	102.8 + 108.0 51.5 + 51.6 (2連) 40.5 + 51.1	下路桁	在来線複線 河川上, 主塔高 22.5 m および 11 m
	川内川橋梁	日本鉄道建設公団	76.3 + 68.5 + 96.0 + 94.8	下路桁 (床版は3室箱形)	新幹線複線 河川上, 主塔高 15 m
	須川橋梁	JR 東日本	71.25 + 54.0	下路桁	在来線単線 河川上
交差型単弦アーチ PC 下路桁橋	除沢川橋梁	JR 東日本	48.5	下路桁	在来線単線 河川上 アーチはコンクリート充填鋼管
PC 斜吊橋	姉ヶ崎川橋梁	JR 東日本	79.5	下路桁	在来線複線 河川上, 斜材高 17.3 m



写真-5 エクストラードズド橋 (北陸新幹線屋代南架道橋)



写真-6 PC 斜版橋 (九州新幹線川内川橋梁)

また、すでに道路橋で実績のあるスパン中央部を鋼構造とする複合構造も期待できる (写真-5)。

3.10 斜版橋

PC 斜版橋は、エクストラードズド橋の斜材をコンクリートで被覆したような構造である。エクストラードズド橋に比べてさらにたわみが小さく、保守上の問題もとくになく、斜材の応力変動も小さいので内ケーブル用の定着具を使用できる。ただし、斜版重量が問題になるような軟弱地盤には適さない。鉄道橋で初めての PC 斜版橋は JR 東日本の東北本線名取川橋梁である。その後、九州新幹線川内川橋梁

(写真-6)にも採用された。

斜材をコンクリートで巻く必要性により、エクストラードズド橋と斜版橋を使い分けていく必要がある。

4. おわりに

鉄道橋に PC 桁が使用されて 50 年経ち、いくつかの問題点はあるが、鉄道橋として揺ぎない地位を占めている。

今後、さらに信頼性の高い構造物になるように設計・施工に留意して参りたい。

【2003 年 12 月 15 日受付】