

◆ 特 集 ◆

鉄道における PC 技術

鉄道における PC 技術の発展

石橋 忠良*

1. はじめに

鉄道では現在、長大橋の多くはプレストレストコンクリート（以下、PC という）橋が採用されている。これは、新幹線の騒音問題のため、それまでの長大橋の主流だった鋼橋から PC 橋に変わったことによる。しかし、わが国の PC 橋は、戦後に始まったものである。現在に至る PC 鉄道橋の発展の歴史を代表的な橋梁を中心に紹介するとともに今後の展望について述べる。

2. PC の発展（昭和）^{1), 2), 3)}

PC 桁の研究は、第二次世界大戦の始まる前から国鉄鉄道技術研究所にて始められており、プレテンション桁の試験が行われていた。戦後、本格的な研究が進められ、昭和 23 年に枕木にプレストレストコンクリートを適用することの試作、研究が始まった。当時の定着工法は、マグネル式である。

昭和 26 年に国鉄から PC 枕木が発注されたことがプレテンションの実用化の始まりである。

昭和 29 年には、信楽高原鉄道の第一大戸川橋梁⁴⁾（スパン 30 m、写真 - 1）が最初の本格的な PC 鉄道橋として造られた。桁高 / スパンは 1 / 23、設計基準強度 45 N/mm² である。この橋梁は、現在も非常に健全である。

また、昭和 29 年、建築における初の PC 構造として浜松町駅上屋が着工した。

昭和 32 年には、最初の PC 連続桁晴海橋梁（21.3 m × 3）が完成した。これは I 形単純桁を架設し、支点上で連結したものである。

昭和 35 年には、3 径間連続箱形桁 4 連の赤穂線吉井川橋梁（33.2 m × 3、4 連、単線）がレオンハルト工法にて建設された。固定支保工架設、場所打ち工法である。

昭和 34 年に着工した東海道新幹線の高架部には大量の PC 桁が採用された。大部分は T 形、I 形の桁を並べた方式である。この時期、在来線にも各種の PC 桁が採用された。

下路桁は、昭和 35 年に鹿児島本線石堂川橋梁（スパン

11 m）が、昭和 36 年に七尾線羽昨川橋梁（スパン 19 m）が施工された。

昭和 37 年には、東北本線鬼怒川橋梁⁵⁾（30 m × 3、33 m × 2 + 30 m、36 m + 30 m + 33 m）がフレシネー工法による連続桁として総足場にて完成した。

また、同年には、北上線鶯の巣川橋梁⁶⁾（24 m + 44 m + 24 m）、昭和 39 年には東北本線那珂川橋梁（26.4 m + 46 m + 26 m）がディビダーク工法にて張出し施工された。

昭和 39 年には東海道新幹線が開通した。山陽新幹線の岡山までが昭和 47 年、博多までが 50 年に開通した。東海道新幹線の開通により、鉄桁の列車走行に伴う騒音が大きな社会問題となり、その結果 PC 桁の長大橋への採用が一般化した。

昭和 40 年に完成した東北本線荒川橋梁では、スパン 38.6 m の複線下路単純桁が 24 連架設された。昭和 44 年総

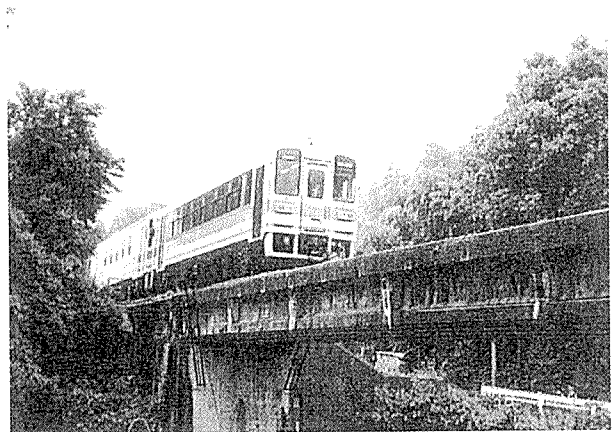


写真 - 1 信楽高原鉄道第一大戸川橋梁

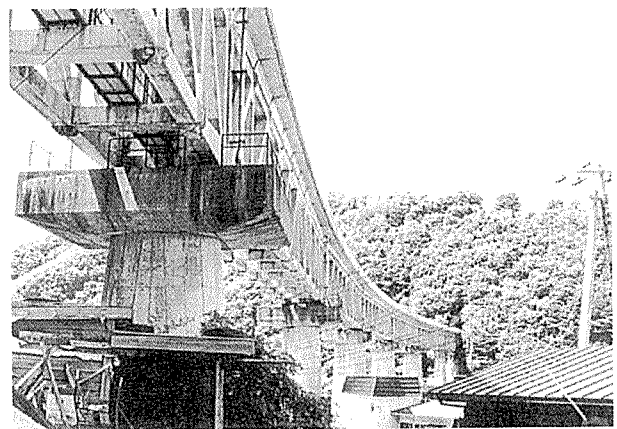


写真 - 2 三陸鉄道安家川橋梁



* Tadayoshi ISHIBASHI

東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター所長

表 - 1 PC トラス橋の施工実績

橋梁名	施主	所在地	橋長 (m)	最大支間 (m)	構造形式	プレキャスト部材 コンクリート強度 σ_{ck} (N/mm ²)	施工方法
岩鼻架道橋	国鉄	広島県	46.3	45.0	単純下路ワーレントラス	80	プレキャスト、 支保工上架設
太田名部架道橋	日本鉄道建設公団	岩手県	25.0	24.0	単純上路ハウトラス	80	プレキャスト、 支保工
安家川橋梁	日本鉄道建設公団	岩手県	305.1	45.0	単純上路ハウトラス	80	プレキャスト、 支保工上架設
横木沢橋梁	日本鉄道建設公団	岩手県	81.5	36.0	2 径間連続下路ワーレントラス	40	プレキャスト、 張出し架設

武線中川放水路橋梁 (37.4 m + 48 m + 37.4 m) はわが国最初の PC 下路連続桁である。

また、この時期にはプレキャスト工法の開発、採用が盛んに行われた。昭和 42 年には北陸本線名立川橋梁 (31 m × 2) が箱型桁を 21 個のブロックに分割し、接合面にはエポキシ樹脂が用いられ架設された。昭和 44 年には山陽新幹線の加古川橋梁 (56 m × 3, 2 連) が、目地にエポキシ樹脂を用いプレキャストカンチレバー工法で施工された。同年に奥羽線米代川橋梁 (56.3 m × 3, 2 連) がコンクリート目地を用いてプレキャストブロック工法にて完成した。

この時代にダンパー式ストッパーが世界に先駆けて実用化された。地震時の水平力を全橋脚で分散支持することが可能となったので、長大な連続桁の建設が経済的にも可能となった。

昭和 48 年に完成した山陽新幹線第 2 綾羅木川橋梁はコンクリートの設計基準強度 60 N/mm² を用いたスパン 49.0 m の I 形単純桁である。

昭和 48 年には山陽新幹線岩鼻架道橋 (45 m)、三陸鉄道太田名部架道橋 (24 m) が、昭和 50 年には三陸鉄道安家川橋梁 (45 m × 6 + 27 m, 写真 - 2) が PC トラス橋として完成した。いずれも設計基準強度 80 N/mm² の高強度コンクリートを用いている。PC トラス橋の施工実績を表 - 1 に示す。

軽量コンクリートを用いた PC 桁として昭和 40 年に東北本線金山架道橋 (15.8 m) がわが国で初めて施工された。昭和 42 年～43 年に総武線の線増工事の PC 桁 (16 m～31 m) に大量に採用され、また山陽新幹線の倉敷付近の軟弱地盤地帯の PC 桁 (22 m～32 m) にも軽量コンクリートが採用されている。

昭和 49 年から 50 年にかけて東北新幹線第一北上川橋梁の PC 箱型桁が移動支保工により施工された。この橋梁は総延長 3 870 m となる。桁長は 31 m と 33 m の 2 種類で桁高、断面は同一に設計された。桁長 31 m が 45 連、33 m が 48 連施工された。

長大橋梁は、東北新幹線第 2 阿武隈川橋梁 (104.9 m + 105 m × 3 + 104.9 m) が昭和 50 年に、上越新幹線太田川橋梁 (55.4 m + 110 m + 55.4 m)、吾妻川橋梁 (110 m × 2) が昭和 53 年に完成した。これらはいずれも箱型断面で、カンチレバー工法により施工された。昭和 63 年には、本四備讃線の北浦港橋梁 (85 m + 120 m × 2 + 85 m + 40 m) もカンチレバー工法で施工された。

昭和 50 年には、東北新幹線猿ヶ石橋梁 (30 m × 7 + 30 m × 6) で押出し工法が初めて鉄道橋に採用された。

昭和 53 年の宮城県沖地震により建設中の東北新幹線の構造物に被害を生じた。とくに支承部の被害が大きかった。この結果、鋼製支承をやめてゴム支承を全面的に採用し、鋼製のストッパーと併用することとなった。

昭和 54 年には、上越新幹線赤谷川橋梁が最大スパン 126 m のコンクリートアーチ橋で完成し、三陸鉄道小本川橋梁 (45.7 m + 85 m + 45.7 m) が、斜材を PC 部材とした PC 斜張橋として施工された。この頃、撤去した PC 桁を解体調査した結果、鉛直 PC 鋼棒の腐食破断と主ケーブル定着部でグラウトの不完全な状況が発見された。鉛直 PC 鋼棒のグラウトが不完全なことで、上縁定着部の後埋め部の打継目から水がシース内に浸透したことが原因であり、これらの施工を確実にすることは難しいと判断し、それ以降、鉛直 PC 鋼棒を原則用いない設計となった。箱形桁や下路桁のウェブのせん断設計は、PC 構造とはせず鉄筋コンクリート構造として設計された。やむを得ず鉛直 PC 鋼棒を使用するときは、グラウトの施工の不要なアンボンド PC 鋼棒が用いられた。また、主ケーブルの定着もすべて端部定着か、ウェブか下スラブに定着するようにし、上縁定着の設計を原則行わないようにされた。

グラウトの問題点が発見されはじめたことから、グラウトに関する配合、施工試験が実施された⁷⁾。その結果、ノンブリーディングタイプ以外の材料は、シース内に空隙が残りやすく、またブリーディングを追い出すのも非常に難しいことがわかった。昭和 62 年の鉄道の規定では、PC グラウトの未施工をなくすべく、グラウトの注入圧力記録などの施工報告書の提出を義務づけるなどの管理が強化された。グラウトの品質については、平成 5 年の JR 東日本の基準で初めてそれまでのアルミ粉末の膨張でブリーディングを追い出すタイプのもをやめて、ノンブリーディングタイプのグラウトの使用が基本となった。

PRC 桁が昭和 57 年に桜井線のボケラ橋梁 (16.2 m) に施工された。その後、大宮、上野間の東北新幹線、埼京線で 46 連の PRC 桁が施工された。現在は全面的に PRC 桁が採用されている。

3. PC の発展 (国鉄分割後)

昭和 62 年に国鉄が民営分割された。その後の主な鉄道構造物を紹介する。斜張橋、斜版橋、フィンバック橋という

ような大偏心ケーブルの構造が多く施工されている。

北陸新幹線第2千曲川橋梁（135 m + 135 m）、屋代橋梁（65 m + 105 m × 2 + 65 m, 55 m + 90 m + 55 m）は鉄道橋としては初めて斜材をケーブルとした斜張橋である。札沼線の新川架道橋（55 m × 2）は、押し出工法で架設された斜張橋である。

東北本線名取川橋梁^{8) 9)}（40.9 m + 51.5 m, 108.4 m + 108.6 m, 51.9 m + 52.9 m, 51.9 m + 52.0 m, 写真 - 3）は、斜材をPC版とした橋梁である。PC版のケーブルは主塔部に定着体を設けないスルー構造となっている。秋田新幹線第一玉川橋梁¹⁰⁾（51.5 m + 85.0 m + 51.5 m）は、斜材をPC部材にし、ワーゲンによる張出し架設工法と架設用一次斜材を併用して桁架設を行った橋梁である。根室線帯広駅付近の西三条架道橋¹¹⁾（64.3 m + 59.3 m）は、斜材をPC部材としており、橋梁の一部が駅部となり、幅員が25.0m ~ 32.6 mに変化する広幅員橋である。主桁は6室箱桁断面となっている。主塔は、降雪地帯を考慮して横梁を設けない独立柱形式としている。宗谷本線の牛朱別川分水路に架かる新牛朱別川橋梁（48.15 m + 57 m + 48.15 m, 写真 - 4）は、3径間連続1室箱桁PC斜材橋である。斜材施工には、プレキャスト工法が採用されている。仙石線鳴瀬川橋梁（75.8 m + 85.0 m × 4 + 71.3 m, 写真 - 5）は高欄部分を景観性に配慮した構造部材として取り入れた橋梁で、PCケーブルの偏心を大きくする構造となっている。九州新幹線川内川橋梁¹²⁾（77.5 m + 68.5 m + 96 m + 96 m, 写真 - 6）

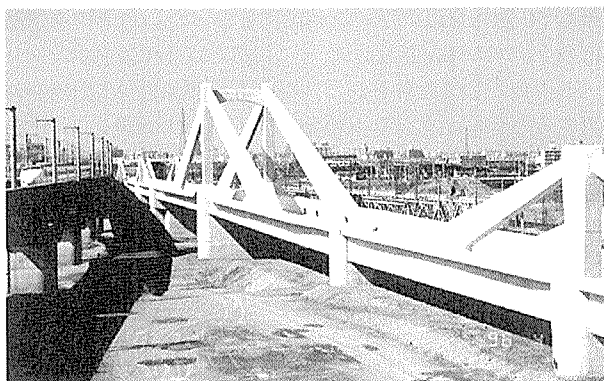


写真 - 3 東北本線名取川橋梁（PC斜版橋）

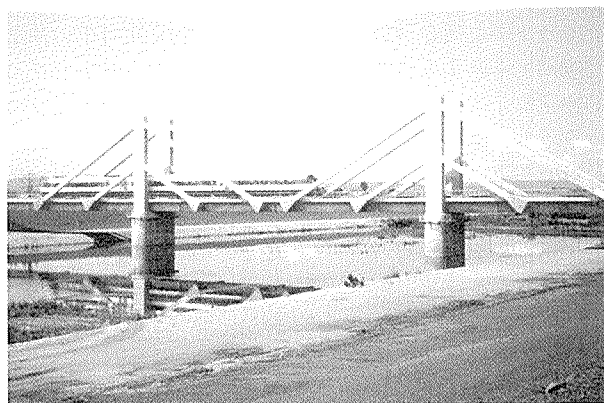


写真 - 4 宗谷本線新牛朱別川橋梁

では、斜版構造とフィンバック構造を併用した4径間連続PC斜版橋が採用された。

平成8年に完成した東京駅付近の中央線の重層化工事（写真 - 7）では、景観に配慮したデザインにするとともにPRC桁を後からラーメン化した高架構造としている。本高架橋では、4種類のスパン（スパン種別：17 m, 19 m, 21 m, 27 m, 全19連）のPC桁が架設された。このうちスパン17 mと19 mで計10連の桁は、約1年半の期間を単純桁で供用し、その後正規の位置に横移動させ、下部工と剛

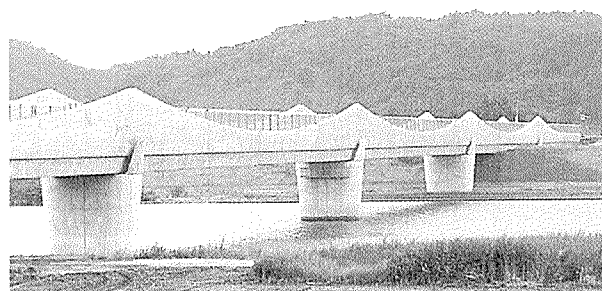


写真 - 5 仙石線鳴瀬川橋梁



写真 - 6 九州新幹線川内川橋梁



写真 - 7 中央線東京駅付近高架橋

結することでラーメン構造としている。

五日市線武蔵五日市駅付近の高架化では、地域の幹線道路と立体交差するところに PC ランガー橋¹³⁾ (40 m) が施工された。これは、主桁高さを前後の高欄高さに合わせ、桁高の足りない分を主桁に圧縮部材としてのアーチ部材を取付けたものである。内房線の姉ヶ崎橋梁¹⁴⁾ (79.5 m, 写真-8) は、U 型断面主桁に直線的に配置した圧縮部材を取付けて、その頂部から 2 本の吊材で主桁を支持する構造形式の橋梁である。

このように、最近の PC 橋は景観面を強く意識した構造形式が多く採用されている。

平成 15 年に完成した羽越線山倉川橋梁 (51.8 m, 写真-9) は、PC 下路桁のウェブをコンクリートを充填した鋼管斜材に置き換えた構造とした橋梁である。降雪地帯を考慮して、下床版は開床式としている。

現在、施工中の中央線三鷹・立川間の連続立体交差化工事では、桁式高架橋をやめて、すべて支承のないラーメン高架橋としている。スパンによっては、一部の梁部材を PRC 構造とした PRC ラーメン高架橋が計画されている。

4. 今後の展望

構造計画では、長大橋に対しては今後とも主要な構造形式として PC 構造は採用されるであろう。都市部では景観や環境への配慮から、下路桁形式はランガー、斜版、フィ



写真-8 内房線姉ヶ崎橋梁

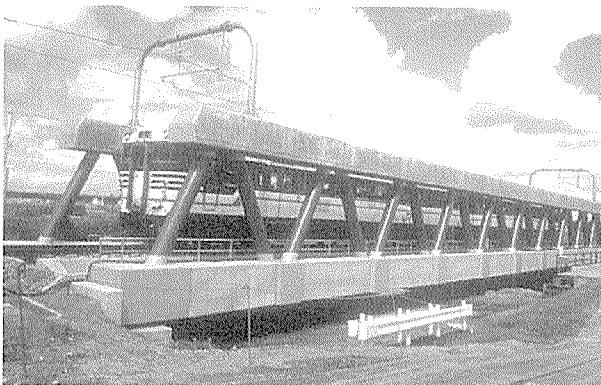


写真-9 羽越線山倉川橋梁

ンバック形式など桁高を感じさせない構造の選定が増えることと思われる。このような景観への配慮から新しい形式の構造が生まれることを期待している。また、桁構造とした場合、支承部が弱点となるため、ラーメン構造として支承のない構造形式が選ばれるであろう。

設計では、一部のスパンを RC 構造や鋼構造、合成構造とし、PC 構造のスパンと一体化した混合構造や、断面の一部に、これら別の構造を用いた複合構造が増えるものと思われる。材料ではプレグラウト鋼材をはじめグラウト作業のない工法や被覆鋼材にグラウトを施工するなど、信頼性の高い防食対策のなされた鋼材を用いることが一般化することと考えられる。

施工においては、品質の信頼性向上への要求はより強まっていくと思われる。コンクリートの水セメント比の現場での検査や、かぶりの非破壊検査などはすでに実施され始めている。施工時のジャンカやコールドジョイントなどの施工欠陥の対処方法などしっかりとしたルールを作っていくことも必要と考えている。緊張管理やグラウト管理といった専門技術を必要とする手法から作業員が容易に、かつ確実にできるシステムに変更されると考える。難しくしている施工管理をわかりやすくしていくことも大切である。たとえば、付着と定着のしっかりしている鋼材を使用しているのであれば、緊張力が構造物の耐力に与える影響は小さく、緊張管理はひび割れ制御のための管理であり、一般の人にわかりにくい方法で厳密に行っても多くの場合意味は少ないと考えている。PC 鋼材、定着具、緊張管理、グラウトなど、PC 特有の材料、作業についても、省力化や合理化して、他の構造に対してコスト競争力を高める努力も期待している。

メンテナンスの面では、PC グラウトの未充填や不完全な充填に対するの検査方法と再グラウト等の対策技術が望まれている。

5. おわりに

PC 構造は優れた構造形式であり、現在グラウトなどいくつかの問題点が明らかになっているがこれら問題点を克服することで、よりいっそうの発展を期待している。

参考文献

- 1) 日本鉄道施設協会：鉄道施設技術発達史，1994.1
- 2) 宮本：プレストレストコンクリート鉄道橋の耐久性評価，東京大学学位論文，1999.3
- 3) 石橋：鉄道における PC の歴史について，プレストレストコンクリート，vol.42, No.6, 2000.12
- 4) 仁杉巖：支間 30 m のプレストレストコンクリート鉄道橋（信楽線第一大戸川橋梁）の設計，施工及びこれに関連して行った実験研究の報告，土木学会論文集，No27, pp.1-56, 1955.7
- 5) 大八木武雄：東北本線鬼怒川橋りょう PC 桁製作架設について，第 29 回土木工事施工研究会記録，pp.211-230, 日本国有鉄道，1962.2
- 6) 山本強：横黒線鶯の巣川橋りょうディビダーク工法について，第 30 回土木工事施工研究会記録，pp.50-91, 日本国有鉄道，1963.2
- 7) 石橋，中原，西山：PC グラウトの配合および注入方法に関する研究，プレストレストコンクリート，Vol.27, No.6, pp.58～69, 1985

- 8) 石橋：鉄道橋における大偏心PCケーブル橋，プレストレストコンクリート，vol.39，No.2，1997.3
- 9) 石橋，大庭，竹内：PC斜張橋の計画と設計，橋梁 Vol.25，No.7，1989
- 10) 津吉，菅原，大庭，石橋：第一玉川橋梁の設計，プレストレストコンクリート，vol.38，No.3，1996
- 11) 吉野，小澤，菊池，菅原：西三条架道橋の設計，プレストレストコンクリート技術協会第5回シンポジウム論文集，1995.10
- 12) 川野，古賀，中村，上杉：4径間連続PC斜版橋の計画と設計，プレストレストコンクリート，vol.42，No.1，2000.1
- 13) 小林，中山：武蔵五日市高架PCランガー橋の設計と施工，プレストレストコンクリート，vol.38，No.5，1996
- 14) 青木，柳原，津吉，鎌田：内房線姉ヶ崎橋梁の設計，プレストレストコンクリート，vol.43，No.5，2001.9

【2004年1月5日受付】



刊行物案内

第1回 *fib* コンGRES 2002 — 21世紀のコンクリート構造 — 論文集

(平成14年10月)

平成14年10月に大阪で開催された標記コンGRESの講演論文集です。
下記の3種類となります。

- | | |
|--|---|
| (1) プロシーディングス1(印刷物 全2巻)：
全ての招待講演論文および採用論文の要旨
(1論文あたり2ページ)を掲載
頒布価格：10 000円(送料1 200円別途) | (3) プロシーディングス3(印刷物 全8巻)：
プロシーディングス1および全ての採用論文を掲載
頒布価格：30 000円(送料2 000円別途) |
| (2) プロシーディングス2(CD-ROM 全3枚)：
全ての発表論文を掲載
頒布価格：2 000円(送料400円別途) | |