北陸新幹線鉄道橋の技術

宮 林 秀 次*

概 要 北陸新幹線高崎・長野間 117 km は、東京と長野を約 1 時間半で結ぶ路線である。この区間に施工されたコンクリート橋のうち、霧積川橋りょうは、三径間連続の PC 方杖ラーメン橋で、斜の橋脚部の施工にロアリング工法、けた部の施工に張出し架設工法を用い、国立公園内の現地形に与える工事中的影響を最小限にするように努めたものである。また、第二千曲川橋りょうは、新幹線鉄道に初めて PC 斜張橋を採用したものであり、スパン 133.9 m はコンクリート鉄道橋として最長のものである。屋代南・屋代北橋りょうは中央スパンがそれぞれ 105 m および 90 m のエクストラドーゾード橋で、中程度のスパンの鉄道橋のけた高を低くするための最適な構造として採用されたものである。

キーワード：鉄道橋、PC 斜張橋、方杖橋、エクストラドーゾード橋、ロアリング工法、張出し架設工法

1. 北陸新幹線（高崎・長野間）の計画概要

北陸新幹線は、上越新幹線高崎駅から長野市付近、富山市付近、小浜市付近を経由して、東京と大阪を結ぶ延長約 700 km の新幹線鉄道で、21 世紀に向けての日本の高速交通体系の基幹をなし、国土の均衡ある発展に大きく寄与する重要な路線である。

この北陸新幹線高崎～長野間は線路延長 117.4 km の路線（図-1、図-2）で、平成元年 6 月に認可を受けた高崎～軽井沢間は、高崎市大八木地区で上越新幹線から分岐して榛名山麓を西進し、烏川を渡ったのち、丘陵・山岳地帯をトンネルで通過し、霧積山付近から南下して軽井沢駅に至る。設置される駅は新安中（仮称）、軽井沢の 2 駅で、高崎駅は既設の上越新幹線高崎駅であり、都心ターミナルとして東京駅に北陸新幹線用乗降場 1 面 2

線を増設する計画である。

平成 3 年 8 月に認可された軽井沢～長野間は、軽井沢駅より約 2 km の間信越本線に並行して進んだのち、御代田町を経由して佐久市の中心部に至り、その後、千曲川沿いの御牧原、八重原の台地をトンネルで通過し、千曲川を渡って上田駅に至る。上田駅から約 3 km の間信越本線に並行して進み、坂城町、戸倉町、更埴市にまたがる五里ヶ峯の山麓をトンネルで通過し、篠ノ井駅より再び信越本線に並行し長野駅に至る。設置される駅は、佐久（仮称）、上田、長野の 3 駅で、長野駅の北方約 8 km の長野市赤沼地区に車両基地を新設する計画である。

現在、上野～長野間は特急「あさま」により最短 2 時間 39 分で連絡されているが、新幹線の完成により東京～長野間が約 1 時間半で結ばれることになる。

図-1 路線概要図

* みやばやし・ひでつぐ／日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局 計画課長

図-2 線路縦断概要図

2. 新技術の採用

北陸新幹線（高崎・長野間）は、厳しい財政事情の中で建設がスタートしたことから、建設費の低減が重要なテーマになっている。

計画の面では、高崎駅付近の上越新幹線との分岐部分に 160 km/h で走行できる高速分岐器を開発・導入した。

また、車両技術の進歩の成果を取り入れることなどにより、急峻な碓氷峠に従来の規格 (15/1 000) を上回る 30/1 000 の急勾配を連続して採用し、路線延長の大幅な短縮を図っている。

施工の面でもできるだけ新しい技術を導入し建設費の低減に努めているが、土路盤、トンネル、橋りょうにおける主な新技術は以下のとおりである。

2.1 土路盤における新技術

土構造物の新技術としてはスラブ軌道用の路盤構造の開発と補強盛土の採用が挙げられる。

新幹線軌道の基本構造は保守量の少ないスラブ軌道であるが、土構造物にスラブ軌道を敷設するには噴泥、盛土の沈下などの問題を克服する必要があった。このため、学識経験者を含めた委員会を設け、安中の路盤工事で試験を実施するなどして研究開発を行い、地質条件の

比較的良好な区間に採用した。

補強盛土は、碎石を巻き込みながらジオテキスタイルを敷設して盛土を自立させた後、コンクリート壁を打設する構造である。長野車両基地において粘性土を用いた補強盛土を採用し、建設費の低減を図っている。

2.2 トンネルにおける新技術

秋間トンネル（延長約 8.3 km）の東工区で、新幹線断面に初めて ECL 工法（掘削覆工併進工法）を採用した。この工法は、シールドで保護された空間の前面で地山を掘削し、その後部で掘削と併行して内型枠を組み立て、コンクリートに圧力を加えながら打設し、地山に密着した覆工コンクリートを構築する施工法である。こうした ECL 工法の採用のほか、掘削によって発生した大量のブリの搬出のため、空気流によりパイプライン中をカプセルで搬送するシステムをトンネル工事に初めて採用した。

また、約 15.2 km の長大トンネルである五里ヶ峯トンネルにおいて、限られた工期の中で建設しなければならないことから、高速施工のための各種の対応が必要となった。全長を 4 工区に分割し、各工区の特성에応じて「長孔発破システム」、「単機能大型機械による急速施工システム」、「大型電動ショベルとコンテナや大型ダンプによる急速ズリ出しシステム」などを採用し、最大月進

The New Technique of Railway Bridges in Hokuriku Shinkansen

By Hidetsugu Miyabayashi

Concrete Journal, Vol. 34, No. 9, pp. 5~11, Sept. 1996

Synopsis Hokuriku Shinkansen's Takasaki-Nagano section is 117 kilometer long and it will bring a new service between Tokyo and Nagano in one and half hour. This article, I introduces three characteristic concrete bridges in this section. On constructing Kirizumigawa bridge, a prestressed concrete strutted beam bridge, two technical methods were adopted to control the effect against the environment : the lowering erection method for the slant piers and the cantilever erection method for the main girder. Daini Chikumagawa bridge, the first cable-stayed prestressed concrete bridge in Shinkansen, set up the record of the longest span of the concrete railway bridges (133.9 meters). Yashiro Minami and Yashiro Kita bridges (main span : 105 and 90 meters each) are extradosed prestressed concrete bridges and this structural type can decrease the beam height of middle-sized concrete railway bridges.

Keywords : railway bridge, cable-stayed prestressed concrete bridge, strutted beam bridge, extradosed prestressed concrete bridge, lowering erection method, cantilever erection method

281 m を記録するなど、34 カ月で全体の貫通を達成した。

2.3 橋りょうにおける新技術

霧積川橋りょうは、一ノ瀬トンネルと碓氷峠トンネルを深い渓谷で隔てる霧積川に架かる橋で、施工に当たっては橋脚を鉛直の状態で施工し、所定の位置まで回転させるロアリング工法を採用した。ロアリング工法は国内の道路橋のアーチ構造への適用はあるが、橋脚柱への適用は初めてである。

また、千曲川を薄い角度で渡る第二千曲川橋りょうや長野自動車道更埴 I.C 付近に設置される屋代南・北橋りょうは、スパンが長くなることなどから新幹線で初めて PC 斜張橋を採用した。この橋りょう形式では新幹線の厳しいたわみ制限などの課題があり、学識経験者を含めた技術検討委員会を設けてさまざまな検討がなされている。

このほか、鋼トラスげたとして新幹線で最長スパンである 103 m を有し、保守の低減のため耐候性鋼材を使用した第三千曲川橋りょう、通年施工のため押出し工法を採用した烏川橋りょうなどがある。河川や道路を渡る単純げたとして PPC げた、RC げた、および高架構造のためのラーメン高架橋は、施工の省力化を図るため表-1 に示すような形状・配筋とした。

以下に、新技術を採用した橋りょうについて、詳細を述べることとする。

3. 霧積川橋りょう

3.1 橋りょう概要

霧積川橋りょうは、軽井沢間近の山間部に建設された

表-1 軽井沢～長野間で省力化に配慮した主な変更点

ラーメン高架橋	RC げた	PPC げた
1) 縦ばりハンチの廃止 ・ハンチ筋が不要 ・スターラップ形状の統一 ・型枠の単純化	1) 主げた断面形状の変更 (I 形から T 形) ・はかま筋が不要 ・型枠が単純化 ・スターラップ量の減少	1) 主げた断面形状の変更 (I 形から T 形) ・はかま筋が不要 ・型枠が単純化 ・スターラップ量の減少
2) はり高、はり幅の増加 ・柱上側主鉄筋のフックが不要 ・くい主鉄筋のフックが不要	2) 中間スラブハンチの廃止 ・型枠形状の単純化 ・ハンチ筋が不要になり鉄筋組立が容易	2) 支点付近のウェブ拡幅の廃止 ・型枠形状の単純化 ・スターラップ形状の統一
3) 縦ばりおよび線路方向スラブの折曲げ鉄筋の廃止 ・配筋作業の単純化	3) 線路方向スラブ折曲げ鉄筋の廃止 ・配筋の単純化	3) スラブ横締鋼材の廃止 ・横締鋼材の減少 ・緊張およびグラウチング作業等の減少
4) 線路方向スラブハンチの廃止 ・型枠形状の単純化 ・ハンチ筋が不要になり鉄筋組立が容易		

新幹線鉄道橋として初めての 3 径間連続 PC 方杖ラーメン橋である (図-3、写真-1)。架橋地点は、利根川源流の霧積川が刻んだ V 字渓谷に位置し、風光明媚なことで上信越高原国立公園に指定されている地域である。橋りょう形式の選定に際しては、このような急峻な地形条件下での施工性・経済性を検討するとともに国立公園内であることから景観には十分配慮した。

本橋は、現地形に与える工事中的影響を最小限にするため方杖ラーメン橋としては国内で初めて橋脚をロアリング工法により施工し、橋脚と側径間主げたにより構成されるトラスを支えとして中央径間部を張出し架設した。

3.2 ロアリング工法の採用

近年、コンクリートアーチ橋のリブまたはメラン材をアーチの支点上で鉛直方向に製作し、それを中央径間方向に回転降下して架設するロアリング工法が採用されている。この方法は、アーチリブの施工のための支保工あるいはケーブルクレーンなどの設備を少なくでき、安全性および経済性の高い工法である。

本橋では、急斜面の山腹に斜めの橋脚を支保工で施工

図-3 霧積川橋りょう全体図

写真-1 霧積川橋りょう全景

写真-2 橋脚のロアリング終了

することは、国立公園内の斜面を著しく損うこと、および安全性、施工性、経済性を考え、橋脚をフーチング上で鉛直に製作したのち、回転降下して最終位置に設定するロアリング工法を採用することとした。方杖橋の橋脚は、曲線であるアーチリブに比べて、鉛直に製作するのは極めて容易であり、これを回転して斜めに設定するロアリング工法は合理的な方法である(写真-2)¹⁾。

3.3 ロアリング施工

本工事のロアリングにはロアリングケーブルとして12 T 15.2を4本使用し、引き寄せケーブルとして1 T 21.8を2本使用した。施工順序を図-4に示す。ロアリ

ング施工時には、計測管理を行い安全を確かめながら実施した。

3.4 けた部の施工

側径間の総足場により施工する部分は、地山の掘削を少なくするため、地山とけた下との間隔がワーゲンを入れられない部分(橋台付近)のみとした。残りの大部分は、橋台側よりワーゲンによる逆張り出し施工を行った。この張り出し施工は橋台にけたを固定し、けたを仮支柱で支持した状態で行った。

また、主げたには、架設時に必要なPC鋼材は取扱いの便利なPC鋼棒を用い、完成系に必要なPC鋼材には、大容量のプレストレスを与えることができ、後挿入することにより腐食の心配のないPC鋼より線を採用した。

4. 第二千曲川橋りょう

4.1 橋りょう概要

本橋は、一級河川千曲川に架設される、新幹線鉄道としては初めて採用された、本格的な2径間連続PC斜張橋である。スパン133.9 mはコンクリート鉄道橋として我が国最大のものである(表-2、図-5)。

鉄道橋にPC斜張橋を採用するため、特に「列車(新幹線)の走行安全性」、「乗客の乗り心地の確保」、「列車による衝撃」について、技術検討委員会の指導のもと検

	施工要領図	施工手順
①		① P ₁ , P ₂ 橋脚の鉛直施工 ② P ₁ , P ₂ 柱頭部の施工 ③ 側径間支保工部の施工
②		① 側径間支保工部型枠解体 ② ロアリングケーブル、引き寄せケーブル配置 ③ P ₂ 橋脚ロアリングの施工 ④ P ₁ 橋脚ロアリングの施工
③		① 側径間支保工部上にワーゲン組立 ② 側径間部逆張り出し施工 ③ 側径間・柱頭部連結ブロックを吊支保工にて施工
④		① 橋台と側径間を仮固定 ② 側径間PC連結鋼棒(φ32mm)緊張 ③ 柱頭部上ワーゲン通過移動 ④ 橋脚下部部剛結 ⑤ ロアリングケーブル解放 ⑥ 仮支柱解体・撤去 ⑦ 中央径間部ブロック張り出し施工
⑤		① ワーゲン解体 ② 中央径間連結部吊支保工施工 ③ 完成ケーブル(12T15)緊張

図-4 施工要領

討を進めた²⁾。

4.2 基礎、橋脚

橋脚の位置は一軸圧縮強度が 100 kgf/cm² 程度の軟岩の露頭があり、橋りょうの基礎として好条件である。基礎は大口径深礎ぐいとし、主鉄筋は基礎と橋脚を通し

写真-3 第2千曲川橋りょう全景

表-2 主なコンクリート鉄道橋

線路名	橋りょう名	橋長(m)	最大支間(m)	備考
北陸新幹線	第2千曲川橋りょう	270	134	PC斜張橋
本四備讃線	北浦港橋りょう	450	120	けた橋
上越新幹線	赤谷川橋りょう	298	116	アーチ橋(アーチ支間)
〃	太田川橋りょう	222	110	けた橋
〃	吾妻川橋りょう	220	110	ラーメン橋
東北本線	名取川橋りょう	512	108	PC斜版橋
北陸新幹線	屋代南橋りょう	340	105	PC斜張橋
東北新幹線	第2阿武隈川橋りょう	527	105	けた橋
三陸北リアス線	小本川橋りょう	178	85	PC斜張橋(斜材がPC部材)

図-5 第2千曲川橋りょう全体図

で3段配筋した。

基礎の施工は、機械掘削を主とし、孔壁には吹付けコンクリートを施工した。

4.3 主げた

列車による衝撃の値を検討するため、PC斜張橋を立体モデルとし、その上を新幹線車両の荷重列が想定速度で移動するシミュレーションを行った結果、衝撃係数はスパン 133.9 m の単純げたの値を用いれば十分安全側にあると判断した。

列車の走行安全性および乗客の乗り心地について検討するため、斜張橋を立体モデルとし、車両を車体、台車、輪軸からなるリンクモデルとして、(財)鉄道総合技術研究所の開発した「列車と構造物の動的相互作用プログラム」を用いてシミュレーション解析を行った結果、けた高 3 m の3室箱形断面とすることで、許容値を満足することが確認できた。

けた幅が小さいにもかかわらず3室にしたのは、列車荷重が直接ウェブに載荷されること、斜材定着部をけた内に納めて耐久性の向上を図るためである。

施工は、河川上で通年施工するために、1径間 135 m のうち柱頭部約 8 m、側径間端部約 7 m を場所打ちしたほかは2フレームの大型特殊ワゲンによる張出し架設工法を採用した。ブロック長は斜材間隔が 10 m なので 5 m とし、定着部のあるブロックとないブロックの2ブロック左右合わせて4ブロックで約1カ月の工程であった。

外側ウェブは、景観上の配慮および斜材定着部をけた内に納めるため、半径 2 m 厚さ 25 cm の薄い円形状になっている。このため、コンクリートの打設時にパイプレータの挿入が困難となり、空気が抜けにくいので、確実な施工を行うため実物大の施工試験を行い、流動化剤の使用、型枠パイプレータの使用、外型枠にステンレスの使用、内型枠に透水シートの張付けを実施することとした。

4.4 主塔

主塔の形状は種々あるが、施工性、経済性、景観を考慮してH形を採用した。

主塔は静的な耐震設計により断面が決まっているが、時刻歴応答解析も行い塔中間部などの補強を行った。

配筋は主筋に D 51 を用い、鉄筋継手には高所での施工性を考慮して機械継手を採用した。

鉄筋、型枠組立て、定着具の位置保持のため断面内に鉄骨架台を設け、コンクリートはポンプ車と配管により 5 m ブロックで施工した。

4.5 斜材

斜材は、耐久性を第一に考え亜鉛メッキされた素線(φ 7 mm)を張力の大きさにより 199 本、223 本、241 本の3種に区分した。これを束ね 7 mm 以上の厚さのポリエチレン被覆を施した。また、発生応力度を引張強度の

写真-4 高減衰ゴムダンパー

40% 以下とした。定着具については、疲労性能が良く、実績も多い HiAm アンカーとした。これらの斜材と定着具は工場で一体として製作され架橋位置に搬入された。

施工は、タワークレーンとトラッククレーンにより取り付け、主塔側にセットした 600 t ジャッキ 4 台により斜材 4 本を同時に緊張した。けた完成後、調整緊張を行い設計張力の $\pm 5\%$ 以内を目標とした。張力測定は加速度計によるケーブルの振動測定から換算する方法によった。

レインバイブレーションの発生が予測される斜材（上から 9 段目まで）については高減衰ゴムを使用した制振装置（写真-4）を用いた。

5. 屋代南・屋代北橋りょう

5.1 橋りょう概要

屋代南橋りょうは長野自動車道更埴インターチェンジと国道 18 号線の上を、屋代北橋りょうは長野自動車道本線の上を横断する PC 斜張橋である。

本橋は、盛土上の高速道路を越えるため通常の連続げたではけた高が高くなり、前後の構造物も高さの高い構造となり工事費の高む区間となる。このため、けた高の低い PC 斜張橋を採用することとしたが、スパンが中規模であることから、けた剛性が高く、主塔高の低い新しいタイプの斜張橋（エクストラードズド橋）を採用した（図-6）。

このタイプの PC 斜張橋は、たわみが小さく鉄道橋に適しており、主塔高が低いいため保守点検あるいは補修が容易である。また、橋りょう全体に占める斜材の荷重分担が少ないため、多少の張力の誤差は全体の設計に及ぼす影響が少ないので調整緊張が不要である等の長所がある。

また、斜材を主塔で定着せず貫通させて配置することにより定着具を必要とせず、主塔頂部に集中的に配置することができ設計上有利である。

本橋では、主塔貫通部は将来における取替えを考慮して二重管方式とした。しかし、施工中の左右の荷重のア

写真-5 屋代南橋りょう（中央径間部）

図-6 屋代南・屋代北橋りょう全体図

図-7 貫通固定部

ンバランス、完成後の列車走行、地震時の左右の斜材張力の差により斜材が滑らないように図-7に示すような「貫通固定方式」を開発し、実物大模型試験により性能の確認後、本橋に採用した³⁾。

5.2 主塔

主塔の設計は一般の PC 斜張橋と変わらないが、塔高が低いので地震時の動的解析は実施しなかった。

施工は、貫通固定部の構造が複雑で、精度を要するので地平においてプレキャストブロックとして製作し、クレーンにより設置した。

5.3 主げた

主げたは、斜材吊り点をスパンの 1/3 付近に設定し、フレシナー張出し架設工法を採用した。1 ブロック長を 4 m とし、2 フレームの普通型ワーゲンをを用いた。

斜張橋で中央のけた連結部付近でワーゲンを解体できない道路上等の場合、通常の張出し架設工法と違って、ワーゲンを支点側へ後退させて解体するには、ワーゲンの後退時に斜材が支障する。このため、ワーゲンのフレームと作業床の部分を分離し、各々、斜材を避けて後退できる構造とした。

5.4 斜 材

本橋りょうのような構造の場合、荷重に対して斜材の負担割合が小さいことから、斜材の列車荷重による応力振幅が小さい。このため、通常の斜張橋の定着具ではなく、フレッシュ外ケーブル用の定着具を使用し、取り替えが可能なものとし経済化を図った。

斜材にはSWPR 7 B 15.2 mm-19本を使用し、保護管にはFRP管を使用し、PC鋼材との間にはセメントグラウトを充てんした。

6. あとがき

北陸新幹線高崎・長野間の工事は平成9年秋の完成をめざして順調に進捗しております。

ご協力をいただきました地元の皆様をはじめ、種々ご指導を賜りました委員会の皆様、関係官庁の皆様に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 稲葉紀昭ほか：霧積川橋梁の設計と施工、プレストレストコンクリート、第37巻1号、1995年1月
- 2) 宮崎修輔ほか：第2千曲川橋梁の設計（上）、（下）、橋梁と基礎、第28巻5号、6号、1994年5月、6月
- 3) 宮崎修輔ほか：北陸新幹線屋代南・北橋梁の斜材主塔部固定構造の実物大試験について、プレストレストコンクリート、第36巻5号、1994年9月

＜お知らせ＞

公益信託 斎藤記念プレストレスト・コンクリート技術研究奨励基金 平成8年度「助成」候補者の募集

公益信託制度にもとづく標記奨励基金の本年度「助成」候補者が下記により公募されています。

●募 集 要 領●

1. 目 的 プレストレスト・コンクリート技術およびその関連技術について、今後一層の発展が期待できる研究を奨励「助成」することを目的とする。
2. 助 成 金 1件当たり20万円から100万円までとし、内容により金額を決定する。ただし、総額は100万円以内とする。
3. 応 募 資 格 原則として40歳未満（平成8年10月31日現在）の民間人とし、次のいずれかに該当するもの（個人または団体）とする。ただし、公務員であっても教職および研究職にあるものは助成対象とする。
(1) 日本国民（外国籍の者は除く）で、わが国の建設業界にあってプレストレスト・コンクリート技術およびその関連技術の研究・実務に携わるもの。
(2) 日本国民（外国籍の者は除く）で、わが国の大学（大学院を含む。以下同じ）または研究所でプレストレスト・コンクリート技術およびその関連技術の研究に携わるもの。
(3) 建設関係団体、大学または研究所等で、プレストレスト・コンクリート技術およびその関連技術の調査・研究にかかわる国際交流の目的で、海外留学または外国人の招聘を行うもの。
4. 申 込 方 法 指定申込書（請求先は下記のとおり）に所定事項を記入し、来る10月31日までに提出すること。郵送の場合は、同日の消印まで有効とする。
5. 審 査 ・ 発 表 当公益信託の助成規定に則り、運営委員会の意見にもとづき助成対象者を決定する。その結果は、平成9年1月上旬までに応募者全員に通知するとともに、本誌に発表する。
6. 贈 呈 日 平成9年1月24日（金）の予定
7. そ の 他 (1) 助成を受けた者は、次の書類を所定の期限までに提出する。
 - ① 研究の進捗状況報告書
 - ② 研究成果論文および調査研究レポート
 - ③ 海外留学または外国人の招聘を行うものにあつては、その成果についての報告書(2) 助成対象物件にかかわる工業所有権は拘束しない。
(3) 助成金は免税の対象とならない。
8. 申込書請求・提出先および照会先
〒100 東京都千代田区丸の内1-4-4
公益信託 斎藤記念プレストレスト・コンクリート技術研究奨励基金
〈事務局〉住友信託銀行㈱東京営業部
公益信託事務局
電話 (03) 3286-8527 / Fax (03) 3286-8780