

北陸新幹線（長野・金沢間）の主な PC 橋

本特集号担当委員

1. はじめに

2014 年度末に開業予定の北陸新幹線（長野・金沢間）は、工事延長 231km のうち高架橋も含む橋の延長が約半分のを占めており、その中には特徴的な構造や施工方法を採用した橋も多数ある。本資料では、鉄道・運輸機構の監修のもと、この区間の主な PC 橋 40 橋を採り上げ、設計や施

工に携わった方々に当時のエピソードや現時点での見解なども交えて各橋の概要を紹介していただいた。前述の特徴的な 7 橋については 62 頁で紹介している。

また、些少ではあるが駅周辺や沿線の情報についても紹介する。

なお、橋名としての正式な表記は「橋りょう」であるが、本特集号では「橋梁」と表記する。

2. 長野駅－飯山駅－上越妙高駅の橋

長野駅（長野県長野市末広町：117 km400 m）－飯山駅（長野県飯山市大字飯山：147 km330 m）

橋 名	構造形式	橋長（スパン割）	特徴・特記事項	架橋地点（キロ程）
① 鳥居川橋梁 とりいがわ	3 径間連続下路桁	149 m (45.3 + 63.4 + 40.3)	下路桁では事例の少ない PC 押出し架設工法を採用しており、建設当時は同工法を採用した鉄道橋として国内最大スパンを有していた。	長野県長野市 130 km335 m～130 km484 m
② 中島架道橋 なかじま	3 径間連続箱桁	160 m (44 + 72 + 44)	国道 18 号と 117 号の交差点において、全橋長中 72 m は固定支保工、88 m は PC 押出し工法により国道上に架設した。	長野県長野市 130 km749 m～130 km909 m
③ 夜間瀬川橋梁 よませがわ	3 径間連続箱桁	219 m (67 + 85 + 67)	橋脚高が低いため、水平変位による下部工への負担を軽減させるために上下部分離構造とした。ダンパーストッパーにより橋脚への水平力を分散させている。	長野県中野市 140 km110 m～140 km329 m
④ 新町架道橋 しんまち	3 径間連続ラーメン箱桁	170 m (50 + 70 + 50)	工費削減のため、橋脚基礎は地盤改良を前提に直接基礎が採用されている。縦断勾配の大きな県道との交差があり、建築限界確保に留意して架設した。	長野県飯山市 146 km905 m～147 km075 m
⑤ 網切線架道橋 つなきせん	3 径間連続ラーメン箱桁	109 m (34 + 50 + 25)	飯山駅の一部となっているため、軌道とホームを合わせた広幅員（18.4 m）の 2 室箱桁断面を採用している。	長野県飯山市 147 km175 m～147 km284 m

飯山駅（長野県飯山市大字飯山：147 km330 m）－上越妙高駅（新潟県上越市大和：176 km890 m）

橋 名	構造形式	橋長（スパン割）	特徴・特記事項	架橋地点（キロ程）
⑥ 関川橋梁 せきかわ	3 径間連続ラーメン箱桁	185 m (55 + 75 + 55)	橋脚位置の制約から中央径間に対する側径間のスパン長が大きい。中央径間と側径間の桁高を大きく変えることにより、構造成立性を確保している。	新潟県妙高市 173 km265 m～173 km450 m
⑦ 上新 BP 架道橋 じょうしんバイパス	3 径間連続ラーメン箱桁	165 m (45 + 75 + 45)	国道 18 号（上新バイパス）を渡過する橋梁である。国道交通への影響が生じないように、積雪・落雪に対する架設中や完成後の諸対策を講じた。	新潟県上越市 174 km778 m～174 km943 m

注）橋名をゴシック表記：特徴的な構造や施工方法を採用、桁端スパン長は橋梁区間端部までの距離で表記

キロ程：高崎起点

飯山駅の周辺情報

長野駅から最初の駅である飯山駅は、在来線の駅と 300 m ほど離れている。下の写真は在来線の飯山駅のホームから新幹線の駅舎（完成前）を眺めた景色であるが、将来的には在来線の駅が新幹線の駅舎に移設されることとなる。



在来線の飯山駅ホームから新幹線駅を望む

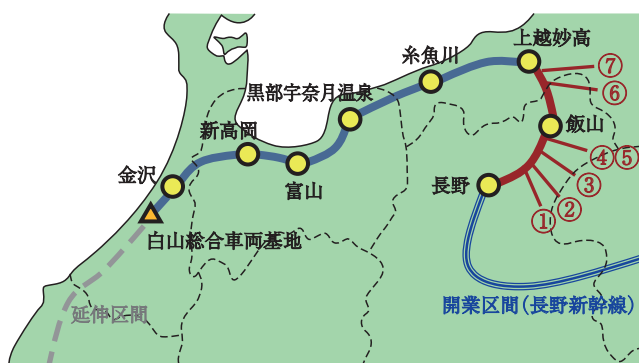
現在、飯山駅からほど近い場所で千曲川を渡河する国道 403 号の中央橋架け替え工事が進められている。新しい中央橋は PC 4 径間エクストラードスド橋であり、新たなランドマークとなるであろう（54 巻 1 号、設計報告掲載）。



厳冬期に建設が進む中央橋（国道 403 号）

PC 橋マップ（長野駅－飯山駅－上越妙高駅）

長野・飯山 間：30 km，飯山・上越妙高 間：30 km



⑦ 上新 BP 架道橋



④ 新町架道橋



⑤ 網切線架道橋



⑥ 関川橋梁



② 中島架道橋



③ 夜間瀬川橋梁



① 鳥居川橋梁

とりのがわ ① 鳥居川橋梁

構造形式：PC 3 径間連続下路桁

橋 長：149 m

1. はじめに

鳥居川橋梁は、北陸新幹線の長野～上越間の長野市に位置する橋長 149.0 m、最大支間 63.4 m の PC 3 径間連続下路桁橋で、押出し架設工法を採用した橋梁である。建設当時は、押出し架設工法を採用された鉄道橋としては国内最大支間であった。

施工位置が一級河川鳥居川を横断するため、河川断面を確保する必要から下路桁を採用しているが、標準的な下路桁断面では、大型となり桁自重が大きくなるため、押出し架設に適していなかった。そこで、床版に横桁を配置し軽量化を図った断面が採用されている。

また、河川の有効河積断面の確保、周辺住民に供給される上水管路橋の保護のため、仮支柱の設置が制限される厳しい状況である。

本稿は、以上のような施工条件に対応するため、反力制御を行った反力分散方式による押出し架設工法（ARC 工法）について報告する。

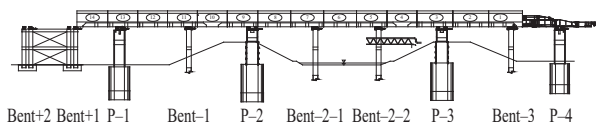
2. ARC 工法の採用

2.1 仮支柱配置

押出し工法用の鉛直ジャッキの最大能力は $P = 8\,000\text{ kN}$ /基のため、通常は鉛直ジャッキの能力を超えないように、架設時における仮支点の数を決定し、仮支点の配置位置は架設時に発生する曲げモーメントを考慮して決定する。

本橋の仮支点配置は、河川等の条件から、仮支柱の設置箇所が制限され、河川内に設置した 1 箇所の仮支柱で押出し架設を行わなければならなかった（図 - 1）。

一般的な仮支柱配置の例



本橋の場合

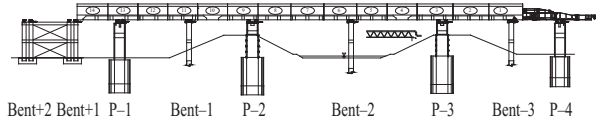


図 - 1 仮支柱配置図

2.2 反力調整

本橋の特徴は、押出し時の最大鉛直反力を $R = 16\,000\text{ kN}$ で反力調整しながら押し出すという考えで設計されている。

反力調整を行わない場合の架設時の支点反力は、図 - 2 に示ように P 2 橋脚および Bent-2 で鉛直ジャッキの能力（ $R = 16\,000\text{ kN}$ ）を超過するため、この反力をジャッキの最大能力以内にする必要がある。解析では支点反力が R

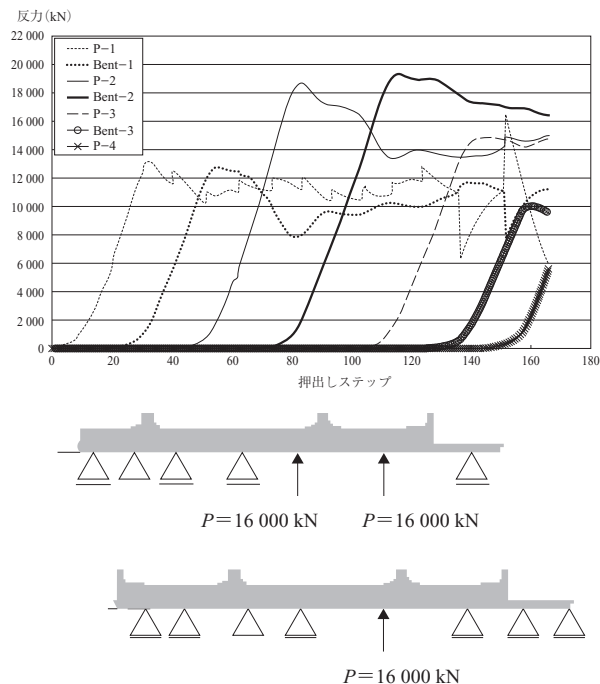


図 - 2 反力調整前反力と解析モデル例

$= 16\,000\text{ kN}$ を超えるものについて、支点の代わりに上向きに鉛直荷重（ $P = 16\,000\text{ kN}$ ）を作用させることにより、他の支点に反力が分散するように考えられている。

2.3 ARC 工法

ARC（Active Reaction Control）工法は SSY 工法（反力分散・中央制御集中管理方式）の一種で、SSY 工法では押出し移動時の反力の確認が不可能である。ARC 工法は、分散方式の押出し工法においてスライド装置上に鉛直ジャッキを設置し、反力の受替えを機械的に行うことが可能である。これにより、反力調整作業が自動化され、反力状態を押出し中も含め常時管理制御できる工法である。

この特徴を応用し、解析時に反力を強制的に調整し、他の支点へ反力を分散させるという架設工法が可能となる。

3. 主桁の施工

3.1 主桁の製作

施工ステップは図 - 3 に示すとおり、架橋地点背面に製作台を配置し、橋長 149.0 m の下路桁を 14 分割にして製作を行った。

1 回あたりの製作長は、標準断面で 12.0 m、支点断面部では 10.0 m で行い、製作は旧ブロック製作完了後、押出し架設を行い、製作スペースを確保したのち新ブロックを打ち継ぐ方法を採用した。

3.2 押出し架設

押出し架設装置は、油圧ジャッキ、制御装置機材、圧力管理計測器機、油圧系統機材、連絡系統機器で構成される。また、油圧ジャッキは反力を分散させるため、鉛直ジャッキ、スライドジャッキ、水平ジャッキの 3 種類で構成されている。

鉛直ジャッキの能力は、 $6\,500\text{ kN}$ および $8\,000\text{ kN}$ の 2 種類でストロークは 50 mm である。水平ジャッキの能力は、

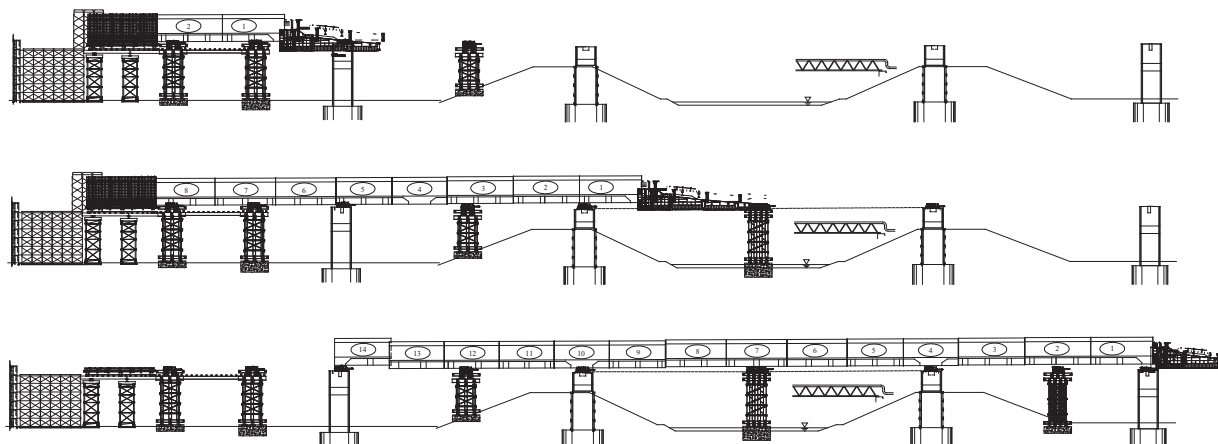


図 - 3 施工ステップ

500 kN, ストローク 500 mm である。本橋では、支間中央支点に 6 500kN ジャッキを 4 台配置して能力 26 000 kN とし、不測の事態にも対応できるように配慮した。

押出し架設工法中は、複数の油圧ジャッキを同時に作動させる必要がある。本橋は、最大で 14 基同時に操作するため、中央制御室に配置した中央制御盤で一括して行い、反力状態の管理も同様に一括管理できるシステムを構築した。



写真 - 1 押出し架設状況

3.3 強制変位と反力制御

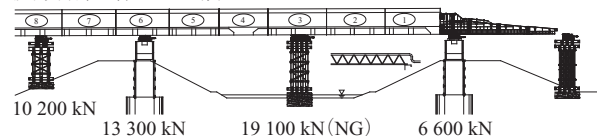
反力制御を行わず押出し架設を行った場合、支間中央支点で最大反力が 19 000 kN を超える。設計では、16 000 kN を上限としているため、3 000 kN 以上の反力の軽減を図る必要が生じる。

各支点の反力は水平押しごとに变化するため、水平押し前に反力超過量を予測し、主桁に強制変位を与えた状態で水平押しを行い、反力超過支点の反力制御を行うため ARC 工法を採用した。

ARC 工法は、すべてのジャッキのストローク制御が 1 mm 単位で可能である。また、スライドジャッキを配置することでスライドプレートでは読取れなかった反力を読取り、反力を把握した状態で水平押しを行うことを可能としている。これを応用し、ストローク制御による反力調整が可能である。

反力制御の具体例を図 - 4 に示す。このときの強制変位量は、P 2 橋脚で 7 mm, P 3 橋脚で 20 mm となった。

反力制御を行わない場合



反力制御を行った場合

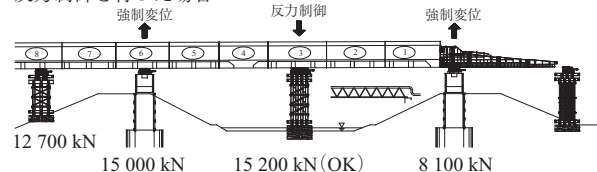


図 - 4 反力制御概略図

3.4 ジャッキダウン

押し出し完了後 800 mm 程度のジャッキダウンの必要が生じるが、当初の計画では各スパン中央に配置した仮支点を含め 14 支点でジャッキダウンを行う計画であった。実施工は、渇水期施工遵守のため、仮支点の早期撤去を行う必要があり、8 支点（4 橋脚の左右）でジャッキダウンを行うこととなった。

仮支点が減るため、P 2, P 3 橋脚の反力が、ジャッキ能力を超過する。検討の結果、押し出し架設工完了後の連続ケーブルの緊張力を 70 % 程度とすることで、P 2, P 3 橋脚に生じる反力がジャッキ能力を超えないように調整した。

4. おわりに

本工事で採用した強制変位による反力制御を行いながらの押し出し架設は、前例の無い方法であった。そのため、懸念事項が山積し不安のなかでの着工であった。また、施工条件の制限により、厳しい工程であったが渇水期間を遵守し、無事故無災害で完工することができた。今から全線開通が待ち遠しく感じる。

(株) 安部日鋼工業 杉本 勝
真水 英和

② 中島架道橋

構造形式：3 径間連続箱桁

橋 長：160 m

中島架道橋は長野県長野市の郊外に位置し、国道 18 号と国道 117 号が交差する交差点上に架かる橋長 160 m の 3 径間連続 PC 箱桁橋である。

架橋場所である国道交差点は急曲線で交通量が多く、長野県内でも有数の事故発生件数が多い場所となっている。

1 ブロックを 10 ～ 20 m 程度として順次押出しを行う一般的な押出し工法では、先端部が片持ちの状態では交差点上に長期間留まるため、一般ドライバーの視線が向いてしまう。そのため、施工にあたっては交通事故の発生要因とならないよう、架橋方法について配慮が必要となった。

そこで、本工事では上記の状態が発生しないように、橋桁本体を大ブロックで製作し、夜間 2 回だけの交通規制で長距離の押出し架設を完了させる方法を採用した（写真 - 1）。

桁押出し架設の諸元を以下に示す。

1) 1 回目桁押出し架設

手延べ桁を対面する既施工の桁まで到達させる。

桁長 50.5 m、桁重量 1 800 t、押出し長 34.5 m

2) 2 回目桁押出し架設

桁本体を対面する既施工の桁まで到達させる。

桁長 88.0 m、桁重量 2 940 t、押出し長 32.0 m



写真 - 1 橋桁押出し架設状況

夜間通行止めは各 9 時間であり、この時間内で約 3 000 t の橋桁を 30 m 以上押し出す必要があった。そのため、押出し工法は押出し速度が速いダブルツインジャッキを用いた反力集中方式とし、最大押出力 440 t、毎分 15 cm の速度で押出し架設を行った。

橋桁を支持する支柱として、2 基の本設下部工のほか、4 基の仮設バント支柱を設置し、合計 6 基の支持により行った。

中島架道橋は国道交差点の直上にあることから、完成後は多くの人々の目に近距離で触れる橋梁となる。ジャンカやコールドジョイントを発生させず、コンクリート面が高品質な仕上がりとなるよう、入念な施工計画と検討、きめ細かな施工管理を行い、本工事を無事完了させた。

清水建設(株) 目黒 達也

③ 夜間瀬川橋梁

構造形式：3 径間連続箱桁

橋 長：219 m

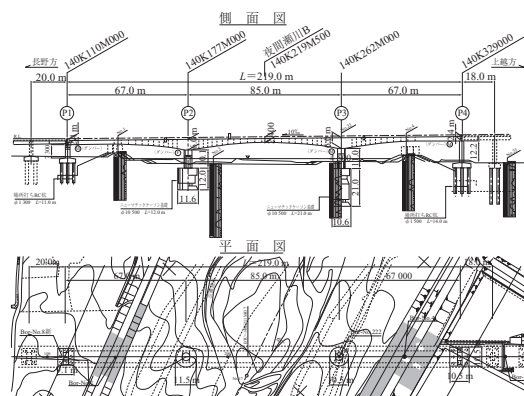
本橋梁は、北陸新幹線 140K219M500（高崎起点）において、1 級河川夜間瀬川を横断する橋長 219 m の河川橋で、橋梁形式は PC 3 径間連続箱桁橋である。下部工は P1、P4 橋脚は場所打ち杭基礎橋脚、P2、P3 橋脚はニューマチックケーソン基礎で橋脚ある。河川と橋梁の斜角が 65 度と大きいため、脚柱の形状は円形としている。河川協議上、ピアバット方式が許容されなかったため、P1、P4 橋脚は工作物の設置制限（2 h ルール）外に設置している。

施工法は、河川内については P2、P3 橋脚からの張出し架設による通年施工、河川外については固定支保工による架設を採用している。

桁式構造の採用と支承形式

近年の整備新幹線における PC 連続箱桁の設計実績としてはまれな、上下部分離構造を採用している。これは、上部工のスパン（中央径間 85.0 m）に対する橋脚の高さ（ $h = 10.1$ m）が小さく、上下部剛結（ラーメン橋）とした場合には、常時における温度変化、乾燥収縮による下部工への影響が過大であったこと、地震時における変形性能の確保が困難であったことに起因している。

支承形式は、ダンパーストッパーを採用し、P2 支承をダンパー固定とした。また、地震時における隣接桁への衝突回避、河川内橋脚への水平力負担の軽減を目的として、P1、P4 支承にもダンパーストッパー（可動）を配置し、4 支点で水平力を分担する構造とした。これら支承の機能については、非線形時刻歴応答解析を用いて、検証を行った。



橋梁一般図



完成写真

パシフィックコンサルタンツ(株) 池端 文哉

④ ^{しんまち}新町架道橋・⑤ ^{つなきりせん}綱切線架道橋
構造形式：3 径間連続ラーメン箱桁
橋 長：170 m, 109 m

新町架道橋は、共用中の県道飯山・野沢温泉線を跨ぎ、張出し架設工法で施工した（写真 - 1）。

架橋地点の飯山市は、豪雪地帯として知られており、12 月～3 月の積雪は最大 1 m を超える。このため冬季は施工が困難なため現場休止期間となっており、4 月から 11 月の 8 箇月間に上部工の施工を全て完了させる必要があり、施工工程の厳密な管理が求められた。

架道橋下の県道は、長野県飯山市周辺唯一の救急総合病院へのルートの一部となっており、この道路の全面通行止めは一切認められなかった。さらに、県道は坂となっており新幹線の路線と斜めに交差するため、県道の建築限界を確保するのが厳しく、低床型移動作業車を採用するとともに、張出し施工の進捗に合せ適宜作業車のクライミングで管理し、空頭制限を確保して施工を行った。

橋梁の基礎は、新幹線延伸事業費削減のため、地盤改良を行ったうえに直接基礎とする工法が採用された。地質的にはおおむね GL-3 m 程度までが *N* 値 5 以下の粘性土、GL-5 m 程度までが *N* 値 20～40 の砂層、GL-5 m 以深は *N* 値 50 以上の砂礫層となっており、支持層までの約 5 m ほどを所定の支持力が得られるまで地盤改良を行った。地盤改良工事には、パワーブレンダー工法を採用した。



写真 - 1 新町架道橋 架設状況

綱切線架道橋は、長野駅から金沢駅に向かう最初の停車駅となる飯山駅の一部となる。このため幅員構成は、新幹線の軌道が二つとホーム桁からなり、幅員は 18.4 m の広幅員である。この広幅員を成立させるため断面形状は 2 室箱桁断面となっている。

綱切線架道橋は、柱頭部、側径間、中央閉合部の 3 つの施工部位からなり、すべて総支保工形式で施工された。施工順序は、① P 2, P 3 柱頭部（26 m）、② P 1, P 4 側径間部（20 m）、③ 中央閉合部（26 m）である。一つ一つの施工部位が長い、広幅員、2 室箱桁で断面が複雑、建屋・電

柱支持梁が約 5 m ピッチで配置されるなど、コンクリート打設に厳しい条件が重なっていたが、打設リフト割りの細分化、コンクリートポンプ車の複数配置などの対策により問題なく施工できた。

また、新町架道橋と同じ架橋地点のため、冬季は現場休止期間となっており（写真 - 2）、同様に施工工程の厳密な管理が求められた。



写真 - 2 冬季の綱切線架道橋

鹿島建設（株） 山口 統央

鉄道に関連する橋の呼称

鉄道路に関連する橋はその用途により、いくつかの呼び名がある。以下に一般的に用いられている呼称を紹介する。

橋りょう、橋梁

河川や海を渡る橋である。「梁」は常用漢字ではないため、正式文書では「橋りょう」とひらがなで書かれる。略称は「B」（Bridge の頭文字）。

高架橋

平野部などで鉄道を地平より高くする場合に用いられる鉄筋コンクリート製連続ラーメン形式の高架橋であり、何かを渡ることには限定はされない。略称は「BI」。

架道橋

道路を渡る鉄道橋である。高架橋だけでなく、地平を走る場合にも道路が線路の下を通っていれば、架道橋と呼ばれる。略称は「Bv」。

線路橋

鉄道を渡る鉄道橋である。路線が分岐する駅などで立体交差にした場合や別系統の鉄道が立体交差する場合に見られる。略称は「Bi」。

跨線橋

鉄道を渡る道路橋である。略称は「Bo」。

せきかわ
⑥ 関川橋梁

構造形式：PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋

橋長：185 m

本橋は、新潟県妙高市（北陸新幹線の高崎起点から約173 km）にて一級河川関川を渡河する橋梁である。河川内の橋脚2基にはニューマチックケーソンを採用している。

河川内での橋脚の施工および上部工の張出し架設は、冬の渇水期（11月～5月）に限定されたため、上越地方特有の豪雪（積雪は3 m 近い）と強風への養生対策が必要であり、移動式作業車は屋根下を含め全面シート張りとし、コンクリート打設後には大型の温風発生装置による寒中養生を実施しながら施工した（写真）。



写真 冬期養生による張出し架設

本橋は関川を76°の角度で斜めに渡河し、堤防道路を横架するという架橋条件から、支間割りは55.0 m + 75.0 m + 55.0 m と中央径間に比べて側径間が長く、アンバランスなものとなっている。このため、側径間と中央径間では桁断面が大きく異なるという構造的特徴を有している（下図参照、桁高の差は1 m 近い）。

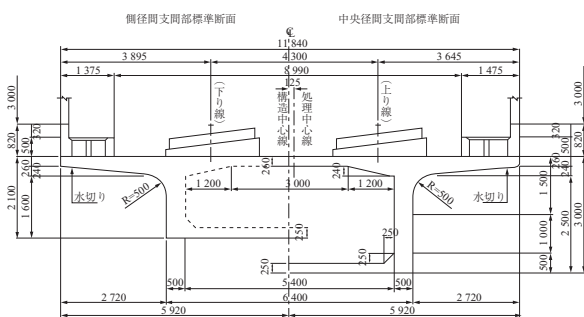


図 径間部の標準断面

また、新幹線の軌道面を低く抑えた縦断線形を有しているため、側径間の桁高を低く抑えて堤防道路の建築限界を確保しているが、堤防道路の建築限界とのクリアランスがきわめて狭隘な施工条件であったため、堤防道路横断時には移動式作業車の作業床をリフトアップするとともに、堤防道路の迂回道路を設置することにより張出し架設を行った。

本工事は、関川 B を含め施工延長215 m、工期2年9カ月を無事故無災害で乗り切り、2008年12月に竣工した。

(株) 銭高組 西尾 嘉洋

じょうしんバイパス
⑦ 上新 BP 架道橋

構造形式：3 径間連続ラーメン箱桁橋

橋 長：165 m

上新 BP 架道橋は、新潟県上越市に位置する PC 3 径間連続ラーメン箱桁形式の橋梁である。本橋の中央径間は75 m を有し、国道18号線上を跨ぐため張出し架設工法により施工を行った。

本橋の架橋位置は全国的にも有名な豪雪地帯であるため、架設時においても雪荷重が問題になる。そのため、一度張出し施工を開始すると降雪前に中央閉合を完了させる必要があった。よって張出し施工は4月に施工を開始し、10月末には中央閉合を完了させた。

張出し施工においては、国道上の施工時に移動作業車からの落物や雨水の落下を防ぐために作業車の床にはゴム製の防水シートと薄い鉄板を敷いて内部にたまる水はポンプで排水するようにした。

施工に伴う国道の規制を最小限にするため、規制は2基の移動作業車の前方足場の解体時のみとし、合計2回の片側交互通行規制を行った。

本工事では橋体施工のみで工事が完了すると、以降の冬に橋体上に積もった雪が国道上に落下するおそれがある。そこで、国道上に関しては橋体の架設完了後、防音壁を施工している。これに伴い、工事による規制を削減するために防音壁の施工には移動作業車の足場を利用することとし、防音壁施工の高さに対応できるような構造とした。

本橋の工事は、平成15年12月から始まり、平成17年4月に無事竣工することができた。冬期の積雪が厳しい場所であるが、本橋が今後の地域発展に寄与することを願う。



写真 張出し施工状況

三井住友建設(株) 笹尾 雄一

3. 上越妙高駅－糸魚川駅－黒部宇奈月温泉駅の橋

上越妙高駅（新潟県上越市大和：176 km890 m）－糸魚川駅（新潟県糸魚川市大町：213 km880 m）

橋 名	構造形式	橋長（スパン割）	特徴・特記事項	架橋地点（キロ程）
⑧ 桑取川橋梁 くわとりがわ	単純下路桁 （スノーシェルター付）	65 m	豪雪地帯におけるトンネル間の短い明り区間の雪害対策として、スノーシェルター一体構造とした下路桁橋である。利用者は橋梁との認識が難しいであろう。 既発表文献：本紙 Vol.54.2	新潟県上越市 189 km060 m～189 km125 m
⑨ 能生川橋梁 のうがわ	3 径間連続ラーメン箱桁	150 m (45+60+45)	冬季施工時の低温対策、天候対策として、12～5月の期間では上屋を設置して固定支保工による分割施工を行った。	新潟県糸魚川市 198 km628 m～198 km778 m
⑩ 早川橋梁 はやかわ	3 径間連続ラーメン箱桁	126 m (43+40+43)	河川内工事を渇水期 3 期をかけて架橋した橋梁である。日本海沿岸では、渇水期は降雪期を意味し、積雪対応可能な屋根などを設置して厳冬期を克服した。	新潟県糸魚川市 208 km704 m～208 km830 m
⑪ 姥川橋梁 うばがわ	3 径間連続箱桁	118 m (32+54+32)	斜交する河川上に PC 押出し工法にて架橋した橋梁である。当工法における平面曲線・縦断緩和曲線への対応や鋼角ストッパーの設置方法などで工夫を講じた。	新潟県糸魚川市 208 km860 m～208 km978 m

糸魚川駅（新潟県糸魚川市大町：213 km880 m）－黒部宇奈月温泉駅（富山県黒部市若栗：253 km140 m）

橋 名	構造形式	橋長（スパン割）	特徴・特記事項	架橋地点（キロ程）
⑫ 姫川橋梁 ひめかわ	7 径間連続箱桁 （フィンバック橋）	462 m (57+69+3@70+69+57)	新幹線では初めての PC フィンバック橋である。大断面となるフィンバック橋の施工性と河川への影響の軽減から、梁式の固定支保工により施工した。 既発表文献：本紙 Vol.47.5, Vol.48.1, 第 14 回シンポジウム、橋梁と基礎 Vol.38.12, Vol.41.7, コンクリート工学 Vol.44.11	新潟県糸魚川市 216 km117 m～216 km579 m
⑬ 須沢高架橋 すざわ いまむらしんてん 今村新田高架橋 ひがしとうみ 東田海高架橋	4～5 径間連続箱桁	1 588 m (32～37 m×4～5 径間×10 連)	スパン 30～40 m の鉄道橋の場合、ラーメン高架橋の採用が一般的だが、交差構造物が多い施工条件より、移動式支保工を採用した等桁高 PC 高架橋とした。 既発表文献：橋梁と基礎 Vo.46.9	新潟県糸魚川市 216 km579 m～218 km167 m
⑭ 小川橋梁 おがわ	3 径間連続ラーメン箱桁	170 m (50+70+50)	兵庫県南部地震の後に改訂された耐震基準により設計した初期の橋梁である。柱頭部近傍の下床版には過密配筋を回避するために無緊張の PC 鋼棒を配置した。	富山県下新川郡朝日町 243 km583 m～243 km753 m
⑮ 船川橋梁 ふなかわ	馬桁一体 2 径間連続箱桁	104 m (56+48)	農道や用水路と斜めに交差することや軌道高さの制約のため、不均等スパンの馬桁一体構造を採用しており、当形式では全国でも最長スパンである。架設術を用いた支保工施工とした。	富山県下新川郡朝日町 245 km144 m～245 km248 m
⑯ 黒部川橋梁 くろべがわ	6 径間連続ラーメン箱桁 （波形鋼板ウェブ橋）	344 m (2@50+2@72+2@50)	鉄道橋では初めての波形鋼板ウェブ橋である。計画にあたり、道路橋に比べ活荷重荷重比率が大きいため、列車荷重に対する疲労耐久性の検討や各種試験を実施した。 既発表文献：本紙 Vol.45.2, 橋梁と基礎 Vol.36.8	富山県黒部市 250 km446 m～250 km790 m
⑰ 第 2 若栗道橋 わかぐり	馬桁一体 2 径間連続箱桁	84 m (42+42)	黒部宇奈月温泉駅の車両保守基地に隣接した市道に架橋した橋梁である。馬桁部の温度ひび割れを抑制するためにクーリングを実施した。 既発表文献：コンクリート工学年次論文集 Vol.27.1	富山県黒部市 252 km196 m～252 km280 m

注）橋名をゴシック表記：特徴的な構造や施工方法を採用、桁端スパン長は橋梁区間端部までの距離で表記

キロ程：高崎起点

糸魚川駅の周辺情報

糸魚川市は新潟県西端に位置する人口約 4 万 8000 人のまちで、海岸、山岳、溪谷、温泉など変化に富み、自然に恵まれたところである。

糸魚川市の魅力のひとつが豊富な「海の幸」。糸魚川沖では一年を通して様々な種類のイカが獲れる。最近注目されている料理が日本海で獲れるイカを使い、イカ墨で真っ黒に仕上げた「糸魚川ブラック焼きそば」。季節等に影響されることなくいただける。イカ以外に使う具材や味付けはお店によって異なるため、食べ比べも楽しめる。糸魚川市を訪れた際には、「糸魚川ブラック焼きそば」をご賞味されてはイカがだろうか。



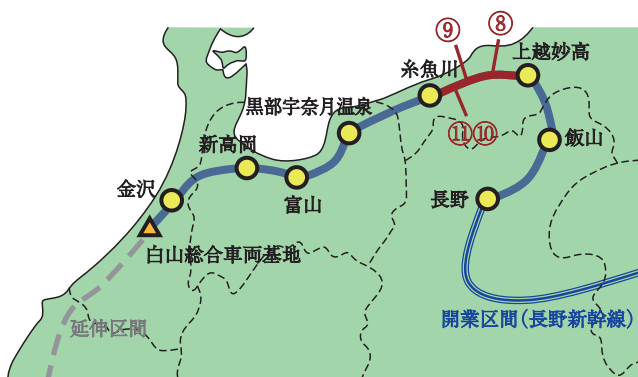
糸魚川ブラック焼きそば

PC 橋マップ（上越妙高駅～糸魚川駅）

上越妙高・糸魚川 間：37 km



⑧ 桑取川橋梁



⑨ 能生川橋梁



⑪ 姥川橋梁



⑩ 早川橋梁

くわとりがわ
⑧ 桑取川橋梁

構造形式：単純下路桁（スノーシェルター付）
橋 長：65 m

1. はじめに

桑取川橋梁は、新潟県上越市大字土口の桑取川に架橋されたスノーシェルター付の単純下路桁橋である。本橋の架橋位置は2年確率積雪深で160 cmとなる超豪雪地帯であり、加えて山間部のトンネル間の短い明かり区間（通称まばたき区間）である。このため、設計値よりも積雪深さが多くなることが予想され、雪害対策としてスノーシェルターの設置対象区間となった。

本橋では、交差条件やライフサイクルコスト（LCC）の検討の結果、スノーシェルターをRC構造とし、PC下路桁と一体構造とした橋長65 mのスノーシェルター付PC単純下路桁が採用された（図-1）。本橋を含む工事区間では、桑取川工区で橋長60 mの1橋、名立川工区と木浦川工区で、橋長40 mと30 mの7橋のスノーシェルター付単純下路桁橋が採用されている。以下に本橋において採用したRC構造のスノーシェルター形式の選定経緯とその設計、施工に関して報告する。

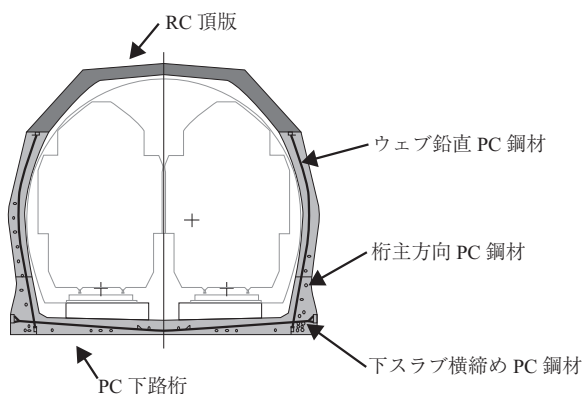


図-1 スノーシェルター付PC単純下路桁

2. 桑取川橋梁の計画・設計

2.1 橋梁形式の選定理由

スノーシェルターを有する橋梁形式としては、一般的なI断面PC桁やPC下路桁に鋼製スノーシェルターを設置する構造が考えられる。しかし、以下の検討の結果、本橋ではRC構造のスノーシェルターを有するPC下路桁を採用した。

① 交差条件に対する桁下空間の確保

交差条件としては、河川、堤防上管理用道路および県道があり、河川規模から河川内への橋脚配置が不可能であるため、橋長が65 mの長大スパンとなった。また、トンネルのまばたき区間と呼ばれるトンネル間の短い明かり区間であるため、縦断線形の変更は難しく、下路桁形式による桁下空間の確保が求められた。

② LCCの低減

鋼製スノーシェルターの設置工は、これまでの実績から

初期コストが110万/m程度であり、さらに維持管理コストも必要となる。シェルター部分をRC構造とし、下路桁断面に付加することで、LCCの低減が図られる。

2.2 上部工構造形式の検討

① 格点部応力集中の改善

既往の同種桁として、PC下路箱桁形式があるが、これらの断面形状は矩形であり、頂版隅角部を含む格点部において、応力集中が生じやすかった。本橋では、これを改善するとともに、ウェブ断面に作用する軸力を有効利用できるアーチ効果が得られる、アーチ形状の断面を採用した。

② 主桁分割構造の採用による合理化

主桁は施工性と主方向のプレストレスの導入効果を向上させるため、断面を上下に分割して、1次施工としてPC下路桁部でプレストレスを導入後に、支保工解体後、2次施工としてRC頂版部を施工する2段階施工が採用されている。この2段階施工により、一括施工を行った従来のPC下路箱桁に比べて、横方向のプレストレス（下スラブ横締め、ウェブ鉛直）による2次力を断面内に発生させないことで、横方向のプレストレスの効率化が図られている（図-2）。

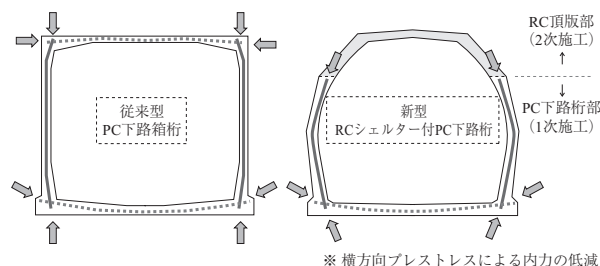


図-2 2段階施工および横方向プレストレスの概念図

一方、桁断面が大きいことから通常の桁に比べて剛性が高いため、コンクリートの材料費の低減と下路桁ウェブ部および頂版の分割施工時の温度上昇による拘束ひび割れ対策（水和熱発生抑制）として、コンクリート強度はPC下路桁部は36 N/mm²、頂版部は27 N/mm²としてセメント量の低減が図られている。さらに、RC頂版部については普通ポルトランドセメントを使用した。

③ 連続化と景観の検討

本橋は、単純桁構造である。他工区では、スノーシェルター付PC下路桁が連続する区間もあり、乗り心地および耐震性を向上（自重軽減）させるだけでなく、支承部の数を減らせるなどのメリットがある連続化についても検討を行った。しかし、本桁については、スノーシェルター機能を付加する目的から桁高（9.4 m）は一定であり、全体断面の曲げ剛性は通常の上路桁に比べて高剛性であるため、連続化によるメリットは少ないといえる。また、曲線ウェブ内における連続PC鋼材の配置が煩雑となり施工性に劣るため、単純桁形式を採用した。

本橋の前後区間には、明かり巻きトンネルや鋼製スノーシェルターが設置されており、景観的な連続性の確保が課題であった。そこで、下記の点に留意した。

- ・トンネルに近いアーチ形状とする。
- ・鋼製スノーシェルターの腰折れに合せた外形ラインとする。
- ・端部拡幅部は複数連の連続性も考慮したダイヤフラム形状とする。

ダイヤフラムは、支点反力やPC鋼材定着における応力集中に配慮し、内空断面を確保して端部外側に設置した。

2.3 設計上の留意点

桑取川橋梁での設計上の留意点を以下に示す。

主桁断面は、下路桁状態で緊張後に頂版部を打設して箱桁断面に移行する複合断面であり、各施工段階時での主桁評価を行うだけでなく、上下の材齢差についても合成桁として評価して設計を行った。

また、大断面の構造であるため、主桁の解析に梁理論の適用が可能であるかを3次元FEM解析にて事前に把握した。横方向の梁モデルの妥当性確認や端部ダイヤフラムの局部応力の評価も3次元FEM解析にて行っている。

打継位置に関しては、主方向の鉛直打継位置はスパン中央部を避け、1日の打設量を考慮して設定した。また、水平方向の打継部は、3次元FEMモデルによる温度応力解析を実施し、打設後の収縮に対して旧コンクリートによる拘束の影響を評価し、ひび割れ防止鉄筋を配置した。

日本海に面した厳しい塩害環境条件に対応するためにかぶり厚も通常より10mm増加して60mmとした。

3. 桑取川橋梁の施工

下スラブ部は河川内に支柱を設置して、トラス材を使用した支保工上で橋軸方向に分割施工した。

ウェブ部は下スラブ上に移動式の内型枠支保工を設置して施工し、水平方向に分割打設するとともに、橋軸方向についても分割打設して施工した。また鉄筋、PCおよび型枠の設置精度の確保および型枠支保工の組立の簡素化および安全性を図った（写真 - 1）。

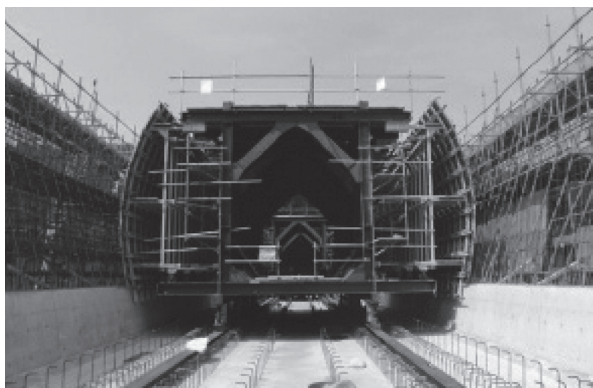


写真 - 1 ウェブ部施工状況

PC鋼材は、緊張により発生する局部応力に配慮して、ウェブ鉛直PC鋼材と下スラブPC鋼材、および桁主鋼材の緊張順序を決めた。緊張後、桁下支保工を解体した。

頂版部は下スラブ上に移動式内部支保工を設置して施工した（写真 - 2）。内部支保工から作用する自重による下スラブ部の変形が箱形断面の出来形精度に影響するため、

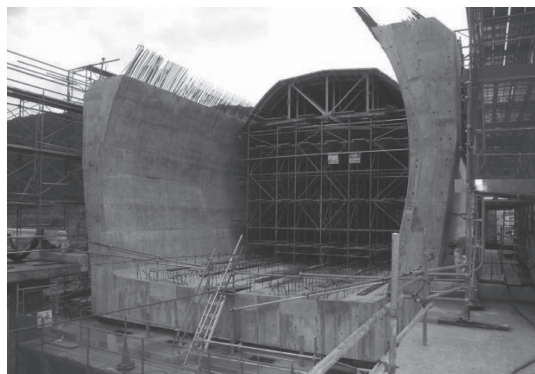


写真 - 2 頂版部施工状況

これを考慮して高さを設定した。

またスノーシェルター上の積雪が交差道路上へ落下することを防止するため、交差道路上にスノーシェルターに沿った三角屋根状の落雪防護工を設置した。施工中も仮設の落雪防護工を設置したが、写真 - 3 のような大雪となり落雪防護工が有効に作用した。



写真 - 3 冬期施工状況



写真 - 4 完成写真

4. おわりに

新潟県上越地区の豪雪地帯であるまばたき区間の雪対策としてRCシェルター付PC下路桁が、北陸新幹線の安全走行とコスト削減の一助となることを期待しております。

八千代エンジニアリング(株) 阿部 雅史
三井住友建設(株) 赤坂 保友

⑨ ^{のうがわ}能生川橋梁

構造形式：3 径間連続ラーメン箱桁橋
橋 長：150 m

能生川橋梁は、北陸新幹線、能生川橋梁他工事（全長 947 m）の内、新潟県糸魚川市の 2 級河川能生川を渡る全長 150 m の PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋である。

その他の工事概要を下表に示す。

表 工 事 概 要

工 期	平成 18 年 9 月 14 日～平成 22 年 6 月 30 日
支 間 長	44.3 m + 60.0 m + 44.3 m
桁 高	3.0 m ～ 4.0 m
架設工法	固定支保工

本橋は上下部を 3 渇水期で施工した。下部工は、兩岸の仮締切堤設置後、河川への進入路を設けて河床を敷ならしたのちにこれを工事用道路とし、基礎（ニューマチックケーソン）ならびに橋脚を 1 渇水期で構築した。上部工は、1 渇水期で全長の施工を完了することはできないため、河川の瀬替えを行いながら 2 渇水期目と 3 渇水期目で支柱式支保工により施工した。

上部工の施工は、当初計画では右岸側部分 57 m を先行施工し、次年度に能生川流心を右岸側に付替えて、左岸部分 93 m を施工する計画であった。河川内を詳細に照査した結果、糸魚川市の水道取水施設の導水管が、比較的浅い位置に右岸側に設置されており、河川流心付替に導水管が支障するため施工区分を見直す必要があった。

そこで、施工区分の変更した場合の設計照査を行った。その結果、構造変更を伴わず施工が可能であることから、2 渇水期目に左岸側 57 m を施工し、3 渇水期目に右岸側 93 m の施工を行った（写真）。



写真 上部工施工状況（3 渇水期目）

また、架橋箇所は冬季の平均気温が 2℃程度となり降雪量も多いことから、コンクリートの品質を確保し、降雪・風雪の影響を受けない施工を行うため、12 月から翌 5 月まで上屋を設置して施工を行った。その結果、コンクリートの品質を安定的に確保でき、天候の影響による工程遅延もなく工事を完了することができた。

オリエンタル白石（株） 酒井 崇行

⑩ ^{はやかわ}早川橋梁

構造形式：3 径間連続ラーメン箱桁橋
橋 長：126 m

早川橋梁は、フォッサマグナの西縁である糸魚川－静岡構造線で知られ、日本で最初に世界ジオパークに認定された新潟県糸魚川市の東側に位置する 3 径間連続ラーメン箱桁橋である。早川は、日本百名山の火打山を源流とする 2 級河川で、夏には鮎釣り、秋には鮭が遡上する清流である。

本工事は、河川内に 2 基の橋脚を有する上下部一体施工であったが、工事は渇水期（10 月から 5 月）に限定されていた。そのため、工期は 3 期にわたる施工となり、1 期目は圧入式オープンケーソン基礎の施工を含む兩岸の橋脚の施工、2 期目は左岸の上部工、3 期目が右岸の上部工となり、その都度、河川内の切り替えを行い、施工ヤードを確保した。この河川切り替え時期は秋の終わりの大雨の時期でもあるとともに鮭の遡上時期でもあり、工事中には現場ならではの出来事もあった。1 期目の秋に、一時的な大雨で河川が増水し、大型土のうで築いた仮設の護岸が一部流失する事態が生じた。構造物等への影響は無かったものの、翌日に復旧調査のため河川内に入ると、大雨により土砂が移動したため、河川内に数箇所の水溜りが出ており、その中に出口を見つけられない鮭が数匹泳いでいた。そのままでは、鮭は死んでしまうので作業員と 2 人で鮭を本流に戻そうとした。当然ながら、魚網等はなく鮭のつかみ取りであり、いざ捕まえてみると、水面から見るとはるかに大きく、2 人がかりでやっとの思いで逃がしてやった。

また、渇水期施工ということは冬季施工ということでもあり、日本海側の厳しい冬に耐えながらの施工であった。雨風はもちろん激しいうえに、海沿いではあるが 1 m 程度の積雪になるため、足場は全面防水シート張り、屋根もクレーンにて移動可能な 50 cm の積雪荷重に耐える鋼製構造とし（写真）、それ以上の降雪時には、屋根の除雪を行ないながら、厳しい冬を乗り越えた。

このように、北陸新幹線は開業後の運行管理もでそうであるが、日本海側の厳しい冬の自然を痛感する工事であった。



写真 早川橋梁施工状況

三井住友建設（株） 赤坂 保友

うばがわ
⑪ 姥川橋梁

構造形式：3 径間連続箱桁橋

橋 長：118 m

姥川橋梁は、新潟県糸魚川市梶屋敷地内の二級河川姥川に架かる橋梁である。本橋の線路線形は姥川に対して 55 度で斜めに交差しているために、最大支間長が 54 m となり、施工方法として押出し工法を採用した。

構造形式は 3 径間連続 PC 箱桁橋で、橋長は 118 m、支間割は 32 m + 54 m + 32 m、幅員は 11.76 m、桁高 3.0 m である。平面曲線半径は $R = 4\,000\text{ m}$ 、縦断緩和曲線半径は $R = 24\,751\text{ m}$ の凸形の勾配である。施工ブロック数は 8 ブロックとし、1 ブロック長は 13.5 ~ 15.0 m とした。

主桁の製作はヤードにて行い、押出し工法は分散式押出し工法を採用して、手延べ桁には 22 m のプレートガーダーを使用した。押出し施工において、主桁製作ヤードに仮支柱 1、P1~P2 間に仮支柱 2、P2~P3 間に仮支柱 3 を設置した。完成時の橋脚天端と主桁下面の間隔が 200 mm と狭く、押出し装置が設置できないため、500 mm 程度の間隔を空けて施工を行い、押出し完了後、ジャッキダウンすることとした。また、落橋防止構造の鋼角ストッパーは、支点に横桁が到達する前に主桁内に吊り込んだ。橋面工（地覆工）は、押出し完了後に道路・河川上で施工することが出来ないため、押出し施工と並行して主桁施工ヤードの前面で施工した。

本橋のように平面曲線と縦断緩和曲線のある主桁を押出し施工する場合は、主桁製作時の型枠セットの高さ調整と、各押出しステップ時の主桁測量管理が重要となる。本橋でも所定の精度を確保するために、これらの点に留意した。

押出し施工は当初、標準的なサイクル工程を 15 日と計画していたが、実施工では平均 21 日を要した。これは前述した主桁の平面線形と縦断線形に対応して各押出しステップで微調整が必要となり、時間を要したためである。また施工時の反力管理は設計反力の $\pm 20\%$ を許容範囲として管理した。押出し完了後、約 300 mm ジャッキダウンを行い、横方向修正を行って設計位置に主桁を設置し、施工を完了した。



写真 押出し施工状況

三井住友建設(株) 岡田 善明

枕木？ マクラギ？

枕木？ マクラギ？ みなさんご存じの線路において二本平行に伸びるレールを支える、砂利（バラスト）に埋まっているアレは、どちらの表記が正しいのだろうか？

枕木は、読んで字のごとく、かつては木製のものがほとんどであった。ところがいつの頃からか、本誌名称でもあるプレストレストコンクリート（PC）製のものが増えてきた。他にも、強化プラスチックやガラス繊維などを用いた合成樹脂製のものもある。それら木製でないものが開発され、実用化されたことから、「枕木」から「まくらぎ」や「マクラギ」といった表記が多くなったようである。英語では、tie（結びつけるもの）や、sleeper（まさしく枕？）と呼ばれる。

写真は、木製枕木と PC マクラギが混在している様子である。マクラギは、レールが沈まないよう支持し、レールの間隔を一定に保ち、車両の重量を効率よく伝達させる目的がある。耐用年数を超えて、機能が不十分になった枕木は交換する必要がある。その途中で写真のような場面に出くわすことがある。



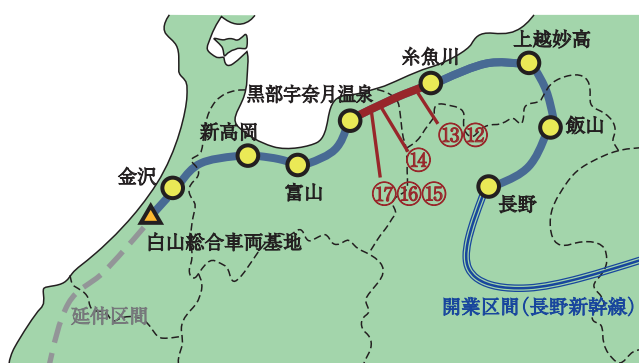
北陸新幹線はもちろん、山陽新幹線以降に建設された新幹線では、これらのマクラギやバラストを使用しない、コンクリート板にレールを固定した「スラブ軌道」が主流となった。しかし、駅の側線や車庫、分岐器の部分には従来のマクラギとバラストの軌道構造が採用されている。スラブ軌道は高価かつ、複雑な構造への適用は難しいためである。

最近では、ラダーマクラギやグリッドマクラギといった新しいマクラギ構造が計画・採用されることも増えてきた。

新幹線に乗車するときは、車両や風景だけでなく、窓下の軌道を見ると、一味違った楽しみがあるかもしれない。

PC 橋マップ (糸魚川駅ー黒部宇奈月温泉駅)

糸魚川・黒部宇奈月温泉 間：39 km



⑫ ひめかわ 姫川橋梁

構造形式：7 径間連続 PC フィンバック橋
橋 長：462 m

1. 橋 梁 概 要

本橋梁の構造形式は、上部構造が7径間連続PCフィンバック中路箱桁、下部構造がP1およびP8橋脚を直接基礎、P2～P7橋脚を1ロットケーソン基礎（ニューマチックケーソン基礎）としている。橋梁全景を写真 - 1 に示す。

フィンバック橋の構造上の特徴は以下のとおりである。

- ① 桁図心に対し、PC鋼材の偏心量を大きくとることができ、長支間に対応が可能である。
- ② 桁下面一定のため、桁下空間を確保できる。
- ③ フィンバック部に曲面形状を採用することにより柔らかなさを表現できる。
- ④ 冬季の厳しい環境（季節風）に対し、フィンによる防風効果が期待できる。



写真 - 1 姫川橋梁

2. 橋 梁 計 画

2.1 上部工構造形式の検討

1級河川の姫川は毎秒5000tの計画高水流量を有し、出水期には飛騨山脈からの雪解け水により上流において過去数回の堤防崩壊を起こしている。

この河川に架橋する際に与えられた条件は、以下のとおりである。

- ① 上流に位置する国道8号姫川大橋を近接橋としてスパン割を行うこと。
- ② ピアアバット形式は極力採用しないこと。
- ③ 河川管理用通路と新幹線桁下離隔は4.5m以上確保すること。
- ④ 右岸堤防上には桜堤（遊歩道）があり、景観を配慮すること。

これらの条件を満たすスパン割から側径間の桁下空頭確保が可能な構造形式として、7径間連続PCフィンバック橋（中路箱桁断面）を採用した。

フィンバック形式は、支点部において中路桁の橋面から飛び出たウェブ部の高さを確保する構造で、橋梁全体の見た姿が魚の背びれ（フィン）に似ていることから名づけられた。この形式は、大偏心ケーブル形式の橋梁に分類され、適用スパンは60～80mであり、エクストラドーズド形式や斜材をコンクリートで保護した斜版橋などの適用スパン（ $L = 120\text{ m}$ 以上）よりは小さい。

本橋架設位置は、海岸線より700m以内と塩害対策も必要であることから、メンテナンス上の問題から外ケーブル方式の橋梁を避けることとした。

2.2 桁形状の検討

鉄道橋として、新幹線橋などの複線桁に対応する場合、フィン部の内面間距離が12m弱と広幅員な形状となる。とくに支点部上ではフィン高が5m以上となることから、フィン部自重による横方向の剛性確保が問題となり、3室箱桁構造を採用した。

さらに箱桁部の形状は、外側ウェブは、景観上の要望から斜ウェブにしておき、底版幅を狭くすることで自重軽減にも配慮した。

フィン高の設定は、除雪可能な高さ $RL + 4.5\text{ m}$ （豪雪時にロータリー式ラッセル車を使用）を限界高さとした。また、側径間のフィン高は、隣接する桁式高架部の高欄天端に一致させ連続性を確保した。

フィン部の天端は、積雪および落雪を防ぐ目的から、外側へ勾配を付けた。また、スパン中央部ではフィン高が $RL + 0.5\text{ m}$ と小さいため、日本海側特有の強風（観測値最大30m/sec）対策として、透明アクリル板（厚さ15mm、ナイロンコード補強）を天端に設置した。

2.3 架設工法の検討

河川上の橋梁の架設方法のなかで、施工時になるべく河川への影響を低減させる工法としては、一般的には張出し架設や押出し工法等が考えられるが、フィンバック形式という桁が大断面であり、かつフィン部が変化する構造のため、施工規模から梁式支保工による固定支保工架設（瀬替え、3渇水期）を採用した。

3. PC フィンバック橋の設計

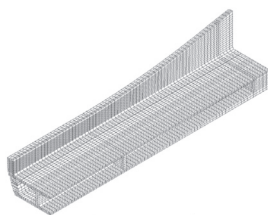
3.1 設計上の留意点

- ① 側径間は、堤防上の管理用通路高を確保するために、箱桁部は標準部に対し1.0m低い断面とする。
- ② 主方向ケーブルはカップリングによる連続配置を基本としているが、1渇水期内で施工される箇所では一部をスルー配置とすることで、フィン断面の欠損率を小さくしている（ケーブルおよび鉄筋の防錆対策が必要となる）。
- ③ 箱桁部の外側ウェブに斜ウェブを採用したことにより、自重およびフィン部に配置したPCケーブルによる腹圧力により支点部上床版には軸引張りが生じるため、上床版に横締めPCケーブルを配置して軸引張力に抵抗させている（立体FEM解析実施）。
- ④ コンクリート打設は1回により行うことが耐久性からは望ましいが、支点部では箱桁部 16.4 m^2 、フィンバック部 9.3 m^2 と大断面であり、箱桁部とフィンバック部の2回打ちとした。このため、打継部の拘束および温度勾配の影響を把握するために、立体FEM解析による温度解析を行い、ひび割れ幅制御用の補強筋量を算出している。

3.2 立体FEMによる構造解析

本橋における構造特性は、図 - 1 に示す3次元モデルを用いてFEM解析を実施し、以下の3点について確認した。

〔構造解析応力用モデル〕
※ 1/4 橋分



〔温度応力用モデル〕
※ 色 赤：引張応力（大）

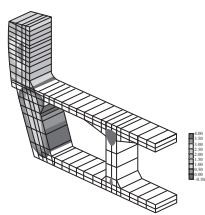


図 - 1 3次元 FEM 解析モデル

（左：構造応力用，右：フィン部の温度応力解析用）

① PC 鋼材定着位置におけるプレストレスの有効領域の評価
広幅員のために実施したが，ウェブ定着 PC 鋼材によるプレストレス分布を確認した結果，通常の上路桁の場合に用いる算出式による影響範囲（＝（桁高＋主桁間隔）/2）とおおむね同じ結果であったため，その式により無効長を評価した。

② 中間支点上の曲げ下げ PC 鋼材による腹圧力の影響（横方向の断面力把握とその影響範囲）

上床版にはフィンの自重および PC 鋼材の腹圧力により軸引張力が生じることが確認されたため，中間支点部の上床版には横締め PC 鋼材を配置した（図 - 2）。また，FEM 解析結果に基づき，これらの荷重の影響範囲を求め，表 - 1 に示した横方向 4 種類の設計断面の境界を決定した。

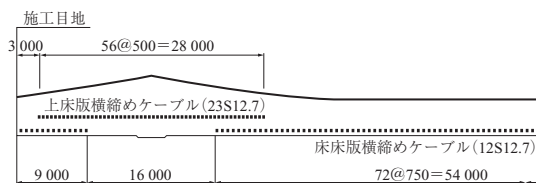


図 - 2 横締め PC 鋼材の配置

表 - 1 各横方向部材の構造

	上床版	下床版	ウェブ
中央径間中央	RC 構造	PC 構造	RC 構造
中間支点	PC 構造	RC 構造	RC 構造
側径間中央	RC 構造	PC 構造	RC 構造
端支点	PC 構造	PC 構造	RC 構造

③ 水平打継面の温度応力

上床版とフィン部との水平打継面（新コンクリート側）には，温度応力によるひび割れのうち，とくに耐久性上問題となる貫通ひび割れが生じる可能性が高いことが確認された（図 - 1）。このため，フィンバック部の温度応力に対する補強鉄筋を配置した。

4. PC フィンバック橋の施工

4.1 施工概要

施工は，非出水期に限定された。施工方法は，固定支保工による分割施工であり，7 施工区分を 3 回の非出水期に分けて施工した。施工段階図を図 - 3 に示す。

4.2 実物大模型による打設試験

本橋は，箱桁部とフィン部が一体となった特殊な形状であり，鉄筋や PC 鋼材の配置が複雑であるため，コンクリート打設の施工性が懸念された。また，フィン部は，部材

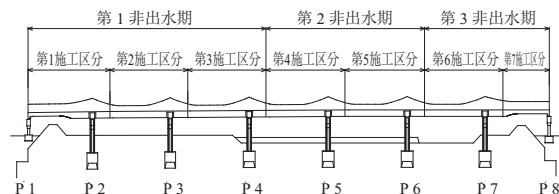


図 - 3 施工段階図

厚が 1 000 mm と比較的厚く，水和熱による温度ひび割れや収縮ひび割れへの対応が必要であった。そこで，実物大模型によるコンクリート打設試験を実施し，コンクリートの充填状況の確認や内部温度の計測を行った。試験の結果から，鉄筋の形状やコンクリートの打設方法，打設時の留意点などについて再検討を行い，実施工に反映した。

4.3 PC グラウト

フィン部における主ケーブルは，最大高低差が 7.37 m，最大傾斜角度が約 24° で配置されており，グラウトを確実に充填できるかが課題であった。そこで，より一層の充填充填度を得るために真空グラウトポンプを併用した注入方法を採用し，事前に注入状況や充填状況に関する確認試験を実施した。試験は，半透明シースを使用して実際のケーブル形状の試験体により行った（写真 - 2）。試験の結果から，実施工におけるグラウトの配合や注入方法を決定した。



写真 - 2 グラウト試験体

4.4 養生および仮囲い

施工する冬季は気温が低く暴風雪の吹き荒れる日が多いため，飛来塩分からの防護，適切な温度でのコンクリートの養生，良好な施工環境を確保する目的で全体を覆う形式の大規模な仮囲いを設置した（写真 - 3）。



写真 - 3 養生仮囲い

4.5 防水工

設計における塩害対策に加えて，コンクリート打設時の発熱による微細ひび割れを考慮して，さらなる耐久性向上を図るために，主桁全周に防水塗装を行った。

八千代エンジニアリング(株) 後藤 孝一
(株)ピーエス三菱 吉田 武

- ⑬ ^{すざわ}須沢高架橋・^{いまむらしんでん}今村新田高架橋・^{ひがしとうみ}東田海高架橋
 構造形式：4 径間連続 PC 箱桁橋・5 連
 5 径間連続 PC 箱桁橋・5 連
 橋 長：1 588 m

1. 橋梁概要

本高架橋は、延長 1 588 m の 4 径間連続 PC 箱桁（5 連）および 5 径間連続 PC 箱桁（5 連）からなる PC 連続箱桁橋である。架設工法は、経済性、工期等より、移動式支保工による架設工法を採用した。全 45 径間のうち、終点方の JR 営業線近接部を含め 16 径間を一般的な固定式支保工、残る 29 径間は 1 基の移動式支保工により架設した。

2. 橋梁計画

2.1 構造計画と景観への配慮

コントロールポイントとなる交差条件を満足する径間割を基本に、地元との協議により周辺景観に配慮し 32 ～ 37 m の径間が連続する径間割とした。

32 ～ 37 m の径間割の場合、鉄道高架橋で標準的なラーメン高架橋ではなく PC 桁による桁式高架橋となる。

市街地に計画されたため、周辺住環境との調和が図れるよう景観性に配慮した。上部工形状は、等桁高多径間連続として直線性を強調し、斜めウェブ、面取りを採用して景観性に配慮した。電柱支持梁は断面形状を台形にすることにより、圧迫感をなくした。橋脚躯体形状は、張出し梁を無くし、傾きを一定勾配とした逆台形橋脚とし、 $R = 300$ mm の面取りを施した。また、橋脚中央部に設けた凹状切り欠き部に角形排水管を採用して景観に配慮した（写真 - 1）。



写真 - 1 完成写真

2.2 上部工架設工法の検討

比較検討は、桁長 4@37 m の 4 径間連続桁の多連高架橋を対象に、移動式支保工架設、固定式支保工架設および押出し架設の 3 工法について比較を行った。検討の結果、以下の理由により移動式支保工架設を採用した。

- ① 対象区間が約 1.6 km と延長が長く、移動式支保工の転用回数が多くなるため、経済性に有利となる。
- ② 一般には桁式支保工の場合、交差道路車道部に支柱を設置する必要があるが、建築限界を確保することが難しい。移動式支保工架設の場合、桁下空間に制約されに

くいため、国道 8 号上の施工が可能となる。

- ③ 日本海沿岸域のため冬季は厳しい施工環境が予想され、外面を防音パネル等で囲った移動式支保工架設が有利である。
- ④ 押出し架設は、押出し延長が長く、設備費が割高となる。

3. 高架橋の設計

3.1 設計上の留意点

本橋は、国道 8 号の交差条件として、建築限界高を完成時で 5.5 m 確保することが求められたため、主桁高は $H = 2.2$ m（桁高 / スパン = 1/17 程度）とした。

また、海岸線に近く、日本海に面した厳しい塩害環境条件に位置するため、新幹線 PC 橋梁の標準仕様である PPC 構造は採用せず、ひび割れを極力発生させない PC 構造とした。鋼材のかぶりは 70 mm（通常より 20 mm 増）として主要部材の最小厚を設定した。また、地覆等、鉄筋かぶりが確保できない部分についてはエポキシ樹脂塗装鉄筋で対応した。

3.2 移動式支保工架設における設計上の留意点

(1) 施工順序の計画

主方向の打継ぎの施工目地位置は、ケーブル接続具の配置と断面力分布（曲げモーメントが交番する 0.2 L 付近、 L ：支間長）を考慮し、各支点から 7.5 m とした。

中間支点横桁の施工は、施工性、工期短縮の観点から、現場打ち先行施工とした（図 - 1）。

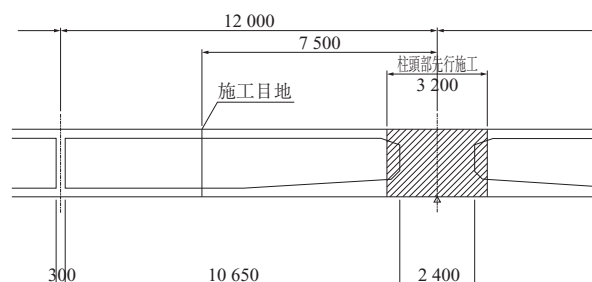


図 - 1 中間支点横桁および施工目地位置

(2) 主方向の解析

主方向の解析は、棒理論による平面骨組解析により行い、移動式支保工架設による施工ステップを考慮した断面力を算出した。移動式支保工荷重は、施工ステップごとに移動する集中荷重として考慮した。

(3) PC 鋼材の配置

移動式支保工架設であることから 1 径間ごとに施工するため、主方向 PC ケーブルはカップリング（接続具）による連続配置を基本とした。

本高架橋の最終径間では施工長が短くなり（最短長 25.6 m）曲げ上げ角度の小さいケーブルではセット量（12S12.7 では 8 mm）の影響が大きく、緊張力が不足する。この対策としてシングルストランド（1S28.6）を下床版に 6 本追加配置した。図 - 2 に平面配置図を示す。

4. 高架橋の施工

4.1 移動式支保工架設の概要

本橋では、桁下空間の余裕、支間割、橋脚形状などの理

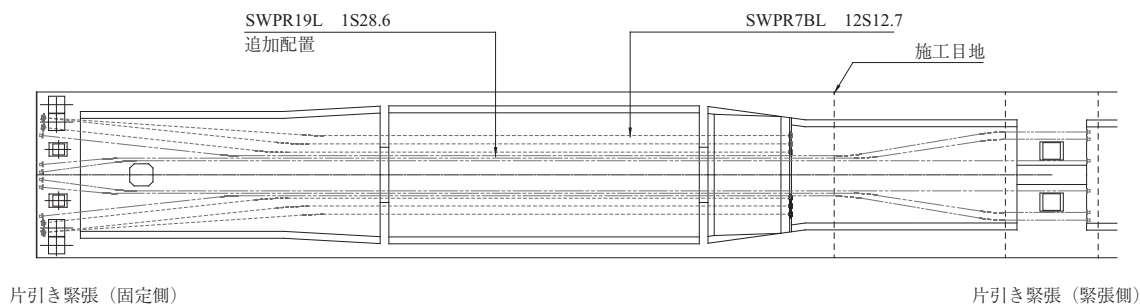


図-2 平面配置

由によりハンガータイプの移動支保工を採用した（写真-2）。ハンガータイプでは、2組の架設桁より吊り下げた型枠で主桁コンクリート荷重を支持する。架設桁は前方部に手延桁を設け、前方R1、後方R2の支持架台に据え付けられる。図-3に連続桁施工ステップを、表-1に移動支保工の標準サイクルを示す。

外型枠は、側型枠と底型枠が一体となっており、移動時に橋脚をかわすため左右に分割され、開閉可能な構造である。



写真-2 移動支保工

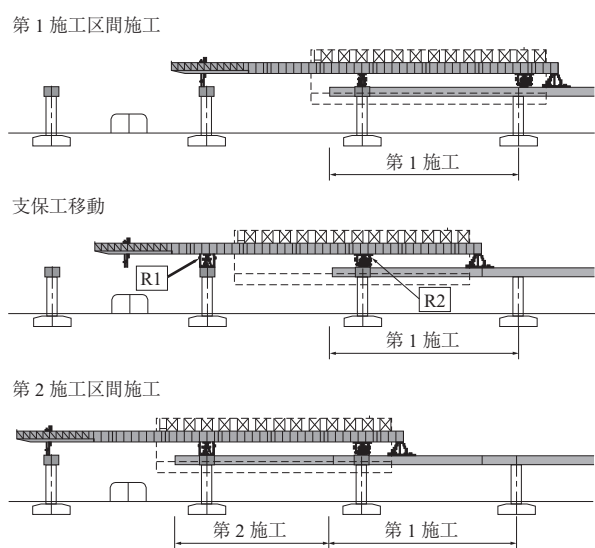


図-3 施工ステップ図

表-1 標準施工サイクル

工種	作業種別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
型枠工	外型枠セット																	
	内型枠セット																	
鉄筋工	下床版鉄筋組立																	
	ウェブ鉄筋組立																	
PC工	主ケーブル組立																	
	横断ケーブル組立																	
コンクリート工	主桁コンクリート打設																	
	養生工																	
緊張工	主ケーブル緊張																	
	横断ケーブル緊張																	
脱枠・支保工開放																		
支保工移動・据付工																		

4.2 施工における課題と対応

(1) 国道交差点での施工上の課題

国道上の桁架設に関して、国土交通省との施工協議で、施工時の安全性を確保するために以下の条件が付された。

- ① 交差点の直前のみに高さ制限門構を設置した場合、高さを超過した車両の転回スペースがないため、大型車両が迂回可能なルートを設定し、迂回を促す高さ警告装置を設置すること。
- ② 高さ制限門構を設置しない場合は、桁下空間高さを4.5m以上確保すること。

また、上記に加え、通行規制は安全上昼間が望ましいとの条件が示された。

経済比較の結果、①の方法は設置箇所が増加し、費用も高額となることが予想されたため、②の方法を採用することにした。

(2) 型枠設備の改造

国道交差点での桁下空間の確保および落下物防護の必要性に対して、型枠構造を改造することとした。桁下空間は、型枠主梁構造を変更することで4.5m以上を確保した。落下物防護は、合板による全面板張り防護を実施した。

(3) 国道交差点の交通規制

国道上での移動支保工の移動時には、交通規制が必要であった。規制形態は、前方のR1支持架台が国道上を通過するときのみ全面通行止めとした。移動支保工全体の移動時は、橋脚部通過時のみ型枠を開き、国道上では型枠を閉じることで片側交通規制とした。一連の移動作業は、長時間の全面通行規制をすることなく、昼間作業で完了することができた。

八千代エンジニアリング(株) 後藤 孝一
(株)ピーエス三菱 小林 和弘

おがわ
⑭ 小川橋梁

構造形式：3 径間連続ラーメン箱桁
橋 長：170 m

小川橋梁は、黒部平野の北端（富山県下新川郡朝日町）に位置し、二級河川小川を横断する 3 径間連続ラーメン箱桁橋である。小川は、定倉山に源流を持ち、黒部川とともに扇状地を形成しながら、富山湾に注いでいる。

本橋は、当初、支承を介して上部工と下部工を分離した 3 径間連続箱桁橋として構造計画されていたが、維持管理の観点からシューレス構造とするために、3 径間連続ラーメン箱桁橋に構造変更された。上部工の施工は、河道内に設置された中間橋脚に柱頭部を構築した後、ワーゲンを設置し、順次左右に張出し施工する張出し工法を採用している。なお、側径間の端部 16.5 m 区間は支保工施工である。上部工の構造は、橋軸方向は PPC 構造、橋軸直角方向は上床版を PC 構造、ウェブと下床版を RC 構造としている。

橋脚く体の平面形状は、橋軸方向が流心方向と 70 度の斜角を有しており、円形状では所定の河積阻害率を満足できないことが判明したため、長軸方向を流心方向に合せた小判形状を採用した。

基礎の構造は、支持層が N 値 50 以上の砂礫層であり、支持力の観点からは直接基礎の採用が可能であったが、床掘り時の止水への対応や、地盤調査段階で確認されていた 1 m を超える転石への対応を考慮して、1 ロットのニューマチックケーソン（ビヤケーソン）工法を採用した。また、ケーソン基礎の平面形状は、支持力に方向性を与えない円形形状とした。

耐震設計については、兵庫県南部地震以降に改定された耐震設計基準を、整備新幹線で初めて適用することとなった。兵庫県南部地震以前の設計基準に比べて設計地震動が大きくなった結果、これまで RC 構造として設計されていた柱頭部付近の下床版で部材耐力が不足することが判明した。RC 構造のまま配置鉄筋を増加させると過密配筋となることから、プレストレスを与えない PC 鋼棒を配置することで対処することとした。



写真 橋梁全景

中央復建コンサルタンツ(株) 今村 年成

ふなかわ
⑮ 船川橋梁

構造形式：馬桁一体 2 径間連続箱桁
橋 長：104 m

船川橋梁は、富山県下新川郡朝日町に位置し、二級河川舟川を渡河する橋梁である。農免農道および舟川に流入する用水路が橋梁と斜めに交差することや、縦断線形などの高さの制約により、馬桁一体連続構造（馬桁：主桁を間接支持する横ばり）が採用されている。支間割りは、交差物との関係から不均等スパン（55.2 m + 47.2 m）となっている。主桁高は 3.2 m、馬桁高は 3.8 m、馬桁長は 29.5 m である。

施工方法は、橋梁下が河川や交差道路であるため、架設桁を用いた支保工施工とした。また、橋体の施工は、コンクリート量が 1 058 m³ であったため分割施工とし、1) 馬桁部、2) 中間支点部主桁（中間支点横桁から両側約 10 m 区間）、3) 起点側側径間主桁（約 43 m）、4) 終点側側径間主桁（約 34 m）の順に行った。

馬桁一体構造では、馬桁が比較的大きな断面となるためマスコンクリート対策が必要となる。本橋においても、馬桁部が高さ 3.8 m × 幅 3.6 m の無垢断面であることや、それに加えて分割施工であることから、温度応力や拘束によるひび割れ対策が必要であった。これに対して、施工ステップを考慮した 3 次元 FEM 解析（温度応力解析）を実施し、補強鉄筋を配置することで対処した。

また、馬桁一体構造では、主桁および馬桁の 2 方向に主ケーブルが配置されるため、緊張順序と支保工撤去のタイミングが非常に重要となる。本橋では、馬桁部および先行施工部の乾燥収縮ひび割れや、縦横 2 方向の主ケーブルの緊張力導入による施工段階での拘束ひび割れ抑制を検討した結果、テンボラリーケーブルを併用した施工段階ごとの緊張力の導入と、導入応力に応じた支保工撤去を行うことで、所用のプレストレスの確保と施工途中での構造物の安全性を確保した。

冬季の施工は、北陸地方特有の風雪が厳しい条件であったため、コンクリートの品質確保に対して、全面防護による養生仮囲いや適切な温度管理によるコンクリートの養生を実施した。

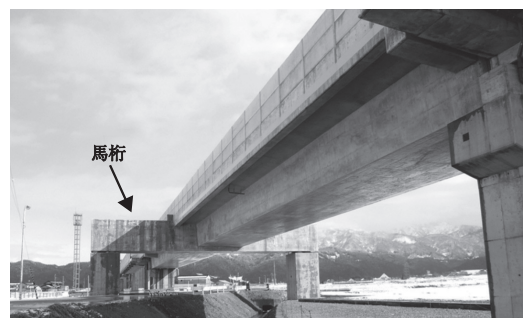


写真 完成写真

(株) ピーエス三菱 吉田 武

くろべがわ
⑩ 黒部川橋梁

構造形式：6 径間連続波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋
橋 長：344 m

1. はじめに

黒部川橋梁は 15 径間、橋長 761 m の橋梁であり、その中央部が橋長 344 m の 6 径間連続波形鋼板ウェブ PC 橋である（図 - 1）。波形鋼板ウェブ PC 橋は道路橋において多くの実績があるが、鉄道橋として採用されたのは本橋が世界初である。そのため、本橋梁が計画されるにあたり、道路橋と比較して活荷重比率が大きい鉄道橋であることを考慮して、疲労耐久性に関する各種試験・検討が行われた¹⁾。その結果、波形鋼板ウェブと上下床版との接合部に帯板を用いた埋め込み接合形式が用いられ^{2~4)}、その接合部に発生することが予想された初期のひび割れをプレストレスを早期に与えることにより防止⁵⁾ するなどの特徴がある。また、本橋梁の架設位置が飛来塩分量の多い地域であることから波形鋼板ウェブの塗装仕様についても検討され、高耐候性鋼材が採用されたことも特徴の 1 つである。

2. 設計概要

2.1 計画設計

上部工の構造形式については、3 径間連続鋼トラスと 3 径間連続 PC 箱桁の 2 案について比較し、経済性・騒音・雪害対策等の理由から PC 箱桁を選定した。その後、下記の特性を有する波形鋼板ウェブ PC 箱桁形式を、騒音等の問題が少ない流域中央部に採用することを基本に支間割を検討して構造形式を決定した。

- ① 主桁自重の軽減
- ② 基礎・下部構造への負担軽減により耐震上の優位性
- ③ 効率的なプレストレスの利用
- ④ 施工の省力化

耐震性・経済性からラーメン構造を検討した結果、不静定力を含む常時の断面力と地震時断面力を勘案し、中間 3 橋脚（P6～P8）上をラーメン構造とし、側径間部を支承支持とした。なお、中間橋脚（P5、P9）の上部工反力が大きく、施工時に支承に生じるせん断変形を除去するためのジャッキアップが困難なため、支承形式は滑りゴム支承とした。最大支間は 72 m、桁高はラーメン橋脚部（P6～P8）で 4.8 m、等桁高区間で 3.3 m である。

2.2 波形鋼板ウェブの設計

波形鋼板ウェブの形状は波高 200 mm、波長 1 500 mm とし、冷間曲げ加工による曲げ半径は板厚の 7 倍以上とした。部材断面に作用するせん断力は全て波形鋼板が受け持つとし、局部座屈、全体座屈および連成座屈を考慮して設

計を行った結果、板厚は 12～25 mm となった。

2.3 波形鋼板接合部の設計

波形鋼板同士の接合は、重ね継手を用いた高力ボルトによる 1 面摩擦接合を採用した。使用するボルトは呼び径 M22、等級 F10T を用いた。ボルトの本数は、使用限界状態においては設計せん断力に対してボルトの許容力を満足するように⁶⁾、終局限界状態においてはボルトのすべり耐力以下⁷⁾ になるように決定した。

2.4 波形鋼板とコンクリート床版接合部の設計

波形鋼板とコンクリートの接合は、波形鋼板をコンクリート床版に直接埋め込む方式を採用し、孔をあけた波形鋼板と平鋼板（以下、帯板とする）をボルトで接合するのが特徴である（図 - 2）。この帯板の役割は、波形鋼板の斜め方向パネルが、ずれ止めブロックとして有効に働き、帯板との接合によって水平せん断力に抵抗するものである。

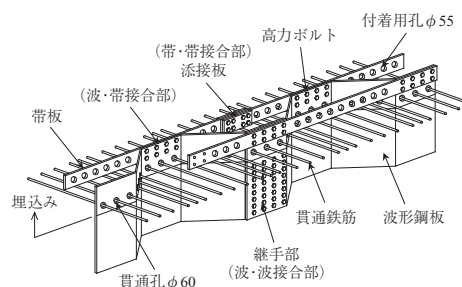


図 - 2 コンクリート床版接合部概要図

帯板の材質・寸法は、各断面に作用する水平せん断力によって変化させた。水平せん断力が最大となるパネルでは、材質 SM490、寸法は板厚 19 mm × 幅 170 mm、その他一般部においては、材質 SS400、板厚 9～19 mm、幅 140 mm となった。なお、帯板にはコンクリートとの付着を図るために φ55 の孔を 125 mm 間隔で設け、さらに下面にはブリージングやエア溜まり防止のためにテーパーを設けた。

波形鋼板とコンクリート床版接合部のパーフォボンドリブの耐力評価ならびに波形鋼板と上床版の接合部に作用する首振りによるモーメントにより、波形鋼板の貫通孔は φ60、基本孔間隔は 125 mm、貫通鉄筋は D29 となった^{6, 8)}。

3. 施工概要

3.1 施工手順

本橋は固定支保工式架設工法により施工を行った。黒部川は昔から洪水を繰り返してきた暴れ川として有名であり、河川敷内での作業は河川管理上の理由から渇水期のみに限られた。施工可能時期は渇水期の 10～6 月であり、河川本流の瀬替えを行って該当施工区間に枠組式支保工を

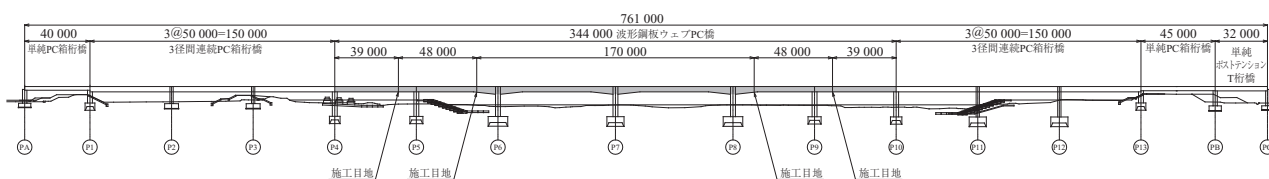


図 - 1 橋梁全体図

組立てた。施工段階図を図 - 3 に示す。なお、12 月～3 月については大雪が予想されたため、良好な施工環境を確保するとともにコンクリートの養生設備としての利用を考慮大規模な上屋設備を設けて施工を行った。

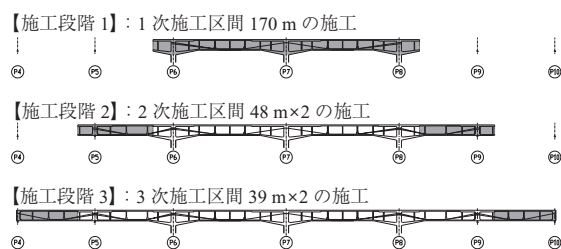


図 - 3 施工段階図

3.2 波形鋼板の架設

現場搬入時の波形鋼板荷降ろし等により、波形鋼板に面外方向の曲げを生じる場合があるが、工場において取り付けられた帯板がその面外曲げに対する十分な耐力を有していないことから、帯板に折れ曲りが生じることが考えられた。そこで、架設の際には写真 - 1 に示す専用の吊具を用意し、面外曲げを低減する対策をとった。

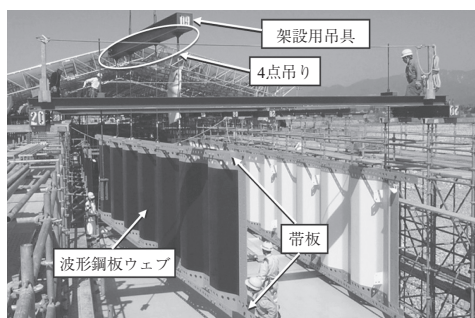


写真 - 1 波形鋼板架設状況

波形鋼板の架設はラフタークレーンにより行った。橋軸直角方向に渡した H 鋼の吊梁から総ネジ鋼棒を吊り下げ、先端に取り付けた吊金具により波形鋼板を所定の位置にセットした。左右の波形鋼板同士をアングルの形状保持材でつなぎ、箱外側からもジャッキベースにより固定した。ボルト締め施工前の波・波接合部にはドリフトピンを打込み、接合部の鋼材の面と面を密着させるとともに、ボルト孔の通りを出して仮固定した。

3.3 下床版接合部の防水工

本橋のような波形鋼板ウェブを直接コンクリートに埋め込む接合構造をもつ橋梁においては、接合部の耐久性がとくに重要となる。とくに下床版接合部は、通常の乾湿繰り返しに加え、日光の直射による極度の高温、風雨による水の供給や飛来塩分など、非常に環境条件が厳しい。また、コンクリート打設時において、コンクリート硬化時の温度上昇により接合部おける拘束ひび割れの発生が予想された。そのため、下床版接合部には温度ひび割れ防止対策として接合部近傍に PC 鋼材（1S17.8 ～ 1S21.8 mm）を配置し、接合部の上側 100 mm から下床版下面 450 mm には写

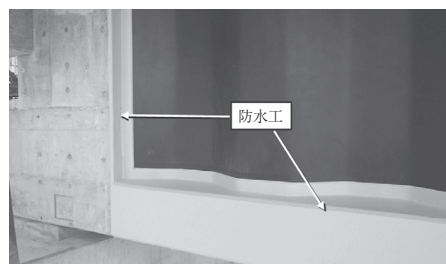


写真 - 2 下床版接合部の防水工

真 - 2 に示すウレタン樹脂系の防水工を行った。

4. おわりに

本橋では、鉄道橋に初めて波形鋼板ウェブを採用することから、「波形鋼板を用いた鉄道橋梁の設計法に関する検討委員会、委員長：横浜国立大学池田尚治教授（当時）」を発足して検討を行ってきた。本橋の設計・施工は、その主旨に沿って行ったものであり、コンクリート接合部の構造に関して独自の方法を採用し、平成 15 年に完成した。平成 25 年 11 月現在、本橋をはじめ主要構造物の最終チェックを行っており、平成 27 年春に予定している長野～金沢間の開通に向けて準備が進められている。

参考文献

- 1) 黒部川 B 波形鋼板ウェブ検討 報告書、鉄道総合研究所、平成 11 年 12 月
- 2) 面外曲げを受ける波形鋼板ウェブ PC 鉄道箱桁橋の接合部の疲労性状に関する実験的研究、杉本・村田・平岡・豊原・溝江・町田、土木学会構造工学論文集、Vol.48A、P1339 ～ P1349、2002.3
- 3) 波形鋼板ウェブ PC 鉄道橋接合部の疲労性状に関する実験的検討（橋軸方向）、西田・平岡・金森・豊原、コンクリート工学論文集、第 13 巻第 3 号、P61 ～ P70、2002.9
- 4) 北陸新幹線黒部川橋梁、金森真、橋梁と基礎、2002.8
- 5) 北陸新幹線黒部川橋梁の設計・施工、梅田・亀田・中沢・阿田・西澤、プレストレストコンクリート、Vol.45、P68 ～ P75、2003.3
- 6) 波形鋼板ウェブ PC 橋 計画マニュアル（案）、波形鋼板ウェブ合成構造研究会、1998.12.
- 7) 鉄道構造等設計標準・同解説 鋼・合成構造物、運輸省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編、丸善株式会社出版、1992.10.
- 8) 孔あき鋼板ジベル・設計マニュアル（素案）、土木学会、平成 13 年 11 月

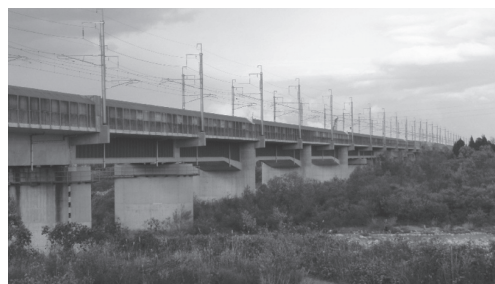


写真 - 3 現在の黒部川橋梁（平成 25 年 11 月撮影）

(株) 日本構造橋梁研究所 塩田 良一
オリエンタル白石(株) 落合 勝

わかぐり
⑰ 第2若栗架道橋

構造形式：馬桁一体2径間連続箱桁
橋 長：84 m

第2若栗架道橋は、風光明媚な黒部川扇状地に位置している。開業予定の黒部宇奈月温泉駅の車両保守基地に隣接した市道を跨ぐ、馬桁一体2径間連続箱桁橋である。

馬桁（橋脚梁）部は、断面が3.5×3.6m、延長が30.0mのPC梁構造であり、部材断面の大きいコンクリート構造物となっているため、ミニマムメンテナンスの観点から、長期にわたり安心して利用できるよう品質・耐久性に配慮し、温度応力制御によるひび割れ抑制対策を実施した。

馬桁の温度応力発生メカニズムは内部拘束作用が卓越するものと考えられ、制御対策としては、内部温度を下げて表面との温度差を小さくする対策と表面から放熱を抑えて内部との温度差を小さくする対策が考えられる。今回は打設後のコンクリート温度を下げるパイプクーリングおよびシース管を利用したエアパイプクーリングを併用して馬桁を構築した。

事前解析によると、クーリングを行わなかった場合、馬桁の中心部の最高温度は74.5℃に達し、外気温との差が60℃以上になり、かなりの確率でひび割れが発生することが予想された。今回の施工ではパイプクーリングおよびエアパイプクーリングを併用することで、部材内部を一様に冷却することができた。馬桁の中心部の最高温度は61.2℃、最大温度差は39.3℃にすることができ、ひび割れは発生しなかった。以下に、完成後の全景およびクーリング対策時の温度計測結果を示す。



写真 完成時の全景

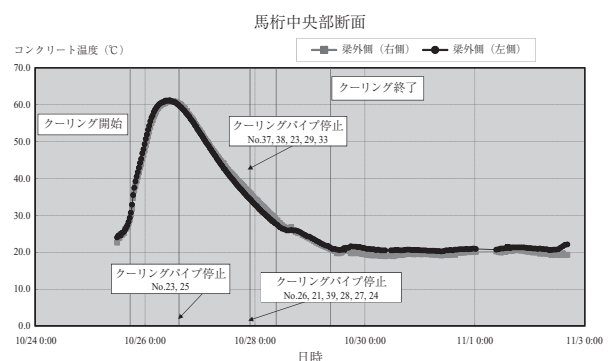


図 温度計測結果グラフ

前田建設工業(株) 田中 久雄

4. 黒部宇奈月温泉駅－富山駅の橋

黒部宇奈月温泉駅（富山県黒部市若栗：253 km140 m）－富山駅（富山県富山市明輪町：286 km920 m）

橋 名	構造形式	橋長（スパン割）	特徴・特記事項	架橋地点（キロ程）
⑱ かたかいがわ 片貝川橋梁	6径間連続ラーメン箱桁	256m (33.5+44.5+2@50.0 +44.5+33.5)	全区間固定式支保工のうち、河川の流心部には支保工支柱を設置できないため、長大スパン（36m）の大型トラス式支保工を用いた架設を行った。	富山県魚津市 259 km813 m～260 km069 m
⑲ とみかわ 富川橋梁	3径間連続ラーメン箱桁	167 m (51+65+51)	周辺には民家などがある丘陵地に架橋した橋梁である。北陸新幹線のなかでは比較的高橋脚（約20m）を有するラーメン橋である。観音堂架道橋などとともに、総延長800mあまりのPC桁式高架橋を構成している。	富山県魚津市 264 km157 m～264 km324 m
⑳ かんのんどう 観音堂架道橋	3径間連続ラーメン箱桁	177 m (51+75+51)	富川橋梁と同一工事にて架橋し、同様の構造を採用した橋梁である。	富山県魚津市 264 km374 m～264 km551 m
㉑ じょうがんじがわ 常願寺川橋梁	5径間連続ラーメン箱桁	478 m (80+3@106+80)	河川内の橋脚基礎には、大口径鋼管矢板井筒基礎を採用している。渇水期の上部工施工では、瀬替えでヤードを確保し、張出し架設を行った。	富山県富山市 280 km132 m～280 km610 m
㉒ とやまいなりちとせ 富山稲荷千歳高架橋	プレテンションU形桁	200 m (20 m単純桁×10連)	新幹線では初めてのプレテンションU形桁橋である。在来線に挟まれた狭隘な区間での高速施工を実現するために、本構造を採用した。	富山県富山市 285 km777 m～285 km977 m

注）橋名をゴシック表記：特徴的な構造や施工方法を採用、桁端スパン長は橋梁区間端部までの距離で表記

キロ程：高崎起点

PC 橋マップ（黒部宇奈月温泉駅－富山駅）

黒部宇奈月温泉・富山 間：34 km



⑲ 富川橋梁



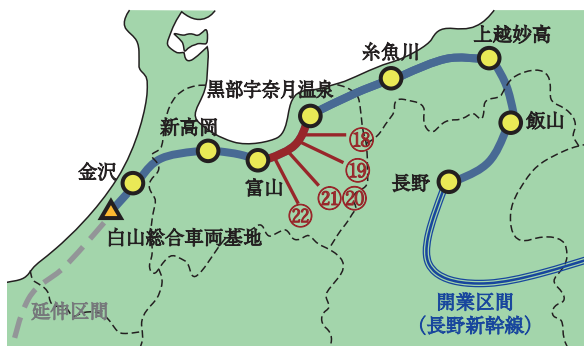
⑱ 片貝川橋梁



⑳ 観音堂架道橋



㉑ 常願寺川橋梁



㉒ 富山稲荷千歳高架橋

かたかいがわ
⑱ 片貝川橋梁

構造形式：PPC 6 径間連続ラーメン橋
橋 長：256 m

片貝川橋梁は、富山県魚津市内を流れ、富山湾へ注ぐ二級河川片貝川を横断する橋長 256 m の橋梁である。本橋梁は河川部に位置するため、施工は 10 月から翌 5 月までの非出水期に限定されており、下部工の施工は 2 非出水期、上部工は 1 非出水期の合計 3 非出水期で施工した。

下部工は、中央部の 3 橋脚（P3～P5）はケーソン基礎で、主桁と橋脚とは剛結合されている。その他の 4 橋脚（P1、P2、P6、P7）は直接基礎であり、主桁はゴム支承で支持されている。

ケーソン基礎は、直径 11.5 m、長さ 6.0～9.0 m の円筒構造であり、ニューマチックケーソン工法にて施工した。ケーソンの施工では、沈設精度の確保が重要な課題であり、固定式 2 軸傾斜計 1 台、ワイヤー式沈下計 4 台を用いた自動計測によるケーソン姿勢の管理・制御に加えて、ケーソン外面および橋脚表面に設置したターゲットをトータルステーションにて計測する絶対座標管理も実施した。

上部工は全区間を固定式支保工により施工し、中央部 119.0 m（P3～P5）、起点側 68.5 m（P1～P3）、終点側 68.5 m（P5～P7）の順序で分割施工を行った。河川部の支保工は、非出水期における河川増水の可能性も考慮し、ベント支柱と桁式支保工の組合せとしたが、P3～P4 間の河川流心部にはベント支柱を設置できないため、仮設土嚢を用いて一時的に河川幅を約 19 m まで制限し、スパン 36 m の大型トラス式支保工を架設したのち、主桁の施工を行った（写真）。



写真 大型トラス式支保工

トラス式支保工区間とその他の区間では、コンクリート打設時の大ききたわみが異なる。このため、主桁の上げ越し量を設定する際には、支保工のたわみ特性のほか、コンクリートの段階施工（下床版+ウェブが 1 段階、上床版が 2 段階）の影響も考慮し、この結果、トラス式支保工区間最大 40 mm 程度、その他区間±10 mm 程度の上げ越し量となった。

本工事は、片貝川橋梁を含め、施工延長 1 018 m の規模であったが、平成 20 年 2 月から約 4 年間の工期を無事故無災害で終え、平成 23 年 12 月に竣工を迎えることができた。

鉄建建設(株) 佐藤 茂美

とみかわ かんのんどう
⑲ 富川橋梁, ⑳ 観音堂架道橋

構造形式：3 径間連続ラーメン箱桁橋
橋 長：167 m, 177 m

富川橋梁、観音堂架道橋は共に、富山県魚津市の海岸から 4 km 程度内陸に入った標高 35 m 前後の丘陵地に位置し、PC 連続ラーメン箱桁橋、PC 単純 T 桁橋で構成された全長約 830 m の高架橋区間にある橋梁である。この高架橋区間の起点・終点側はトンネルになっている。

二つの橋梁はともに内ケーブル方式の 3 径間連続ラメ



写真 - 1 富川橋梁（左）と観音堂架道橋（右）

ン箱桁橋で、スパン割は起点側の富川橋梁が 51 m + 65 m + 51 m、観音堂架道橋は 51 m + 75 m + 51 m で、軌道の曲率半径はともに 4 000 m、施工基面幅は 11.76 m である。柱頭部桁高はすべて 5.0 m、最小桁高は富川橋梁が 2.5 m、観音堂架道橋は 2.9 m となっている。両橋のその他の相違点は、側径間の緊張方法にある。観音堂架道橋では、一般的な両引き緊張であったが、富川橋梁では、起点側に隣接する湯上架道橋の架設が富川橋梁より先行するため、富川橋梁の側径間のプレストレスは桁端部をデッドアンカーにした片引き緊張で設計されていた。

架設方法は移動式作業台車による張出し架設工法と、固定式支保工架設（側径間）で施工し、柱頭部の着手から橋面工（防音壁や路盤等）までの工事期間は平成 21 年 9 月から平成 23 年 9 月までの 25 箇月間である。

本橋の大きな特徴は二つある。一つは、橋脚の高さが 20 m 前後と北陸新幹線の中では比較的高い橋脚を有し、河川と複数の道路と交差しているという、橋梁形式を決定する条件があった。橋脚が高くなる理由は、高架橋区間の起点側に位置する広域農道と、本橋架設地点から約 2 km 終点側にある北陸自動車道交差部でのクリアランス（建築限界）を確保する必要があったためである。架設地点での河川・道路との交差が多いことによるスパン割・フーチング幅の制約と橋脚高が高いという条件下で、経済性、地震時の列車走行性、景観への配慮といった観点から、PC 連続ラーメン箱桁橋の橋梁形式の採用が決定された。

もう一つは、施工に関するものである。建設地が住宅地であり、交差する道路の沿線には民家、保育園、店舗などが立ち並んでいた。本橋の下を通る道路は児童・園児の通学路でもあり、公衆災害防止には万全を期す必要があった。また、橋脚と道路との離隔が数メートルしかないところもあり、張出し架設のための移動作業台車の組立解体な

どの作業には厳しい制約があった。

公衆災害防止のために、①移動式作業台車全体をシートやネットで覆い飛来落下を防止、②作業床面に張り詰めたシートと排水ポンプでコンクリートや汚水の落下を防止、③移動式作業台車からの落雪防止のための給熱、④つららが通行人に落ちないように除去する、などの対策を実施した。作業スペースの制約は、道路管理者や支障電線等を管理する電力会社や通信会社の協力を得られ、道路の占用、支障線の移設などにより、支障なく工事を進めることができた。



写真 - 2 富川橋梁（奥）と観音堂架道橋（手前）

工事中は、移動式作業台車からの水漏れの補修に追われたり、移動式作業台車の屋根が強風で飛ばされそうになったこともあった。また、道路規制を行うことで地元地域の方々にはご不便をお掛けするなど、気を抜けない毎日であったが、みなさまのご協力と温かいご支援のおかげで、無事故で完成させることができた。

(株)大林組 藤原 祐一

富山駅の周辺情報

富山駅の北口から徒歩 10 分の場所に富岩（ふがん）運河環水公園がある。公園内には 3 つの歩道橋があり、その中でも橋長 58 m の天門橋は公園のシンボルとなっている。両側の鋼トラス橋（サイドブリッジ）が中央部の鋼単純非合成箱桁橋（センターブリッジ）にヒンジ結合で支えられているというユニークな構造となっている。天門橋の両端には環水公園全体を一望できる展望塔があり、晴れた日には立山連峰を望むこともできる。環水公園から約 5 km の運河を遊覧船で航行でき、途中の中島開門（パナマ運河式の開門）では水位調整のために 2.5 m の高低差を移動する「水のエレベーター」を体験することができる。



富岩水上ライン（富山県 観光・地域振興局提供）

また、南口から徒歩 10 分のところには城址公園があり、敷地内にある富山城の天守閣内は富山市郷土博物館となっている。

平成 27 年の「第 24 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム」は富山市で開催され、会場となる富山県民会館はこの城址公園のすぐ隣である。

② 常願寺川橋梁

構造形式：5 径間連続ラーメン箱桁橋
橋 長：478 m

北陸新幹線 常願寺川橋梁は、北アルプスの北ノ又岳（標高 2 661 m）を水源として、わずか 56 km で富山湾に流れ出る急流河川の常願寺川（富山県）の河口から 5 km 上流を横断する PC 5 径間連続ラーメン箱桁橋である（写真）。



写真 常願寺川橋梁 (1)



写真 常願寺川橋梁 (2)

橋梁の構造的な特徴として、河川内の橋脚基礎形式は、大口径鋼管矢板井筒基礎で、1 橋脚に鋼管矢板（ $\phi 1200$, $t = 14 \sim 19$ mm, $L = 46.0 \sim 47.5$ m, 28 本）を円形（直径 $\phi 12.9$ m）に打設し、鋼管先端部はセメントミルクを攪拌噴射して根固めを行う基礎である。

基礎底版の厚さは $H = 4.5$ m、橋脚部は小判型の形状で地中から $H = 14.5$ m 立ち上がり、柱頭部は $H = 8.5$ m の高さの構造である。ラーメン箱桁（一室）の桁高 8.5 m、支間長最大 106 m は、鉄道橋では長大な構造物である。

張出し架設で使用する移動作業車は大型に分類され、桁高の変化により、ブロック長は 3.0 m ～ 4.5 m の範囲で変化し、12 ブロックに分割している。

河川内の張出し架設は渇水期に施工するため、河川の流路を大きく瀬替えをして施工ヤードを確保した。2 橋脚から大型移動作業車 4 基が同時に張り出していく姿は、国民経済の発展と国民生活領域が拡大していく躍動を感じさせるものであった。

鹿島建設(株) 山田 泰

とやまなりちとせ
② 富山稲荷千歳高架橋

構造形式：プレテンション方式 PPC 単純 U 形桁
橋 長：200 m

1. はじめに

富山稲荷千歳高架橋は、JR 富山駅から東に約 1 km に位置し、総延長約 1 280 m の高架橋である。千歳町 BL は富山稲荷千歳高架橋の中央付近から富山駅寄りにある橋梁で、延長は 394 m、3 連の RC 高架橋、4 連の RC 桁および 10 連の PPC 単純 U 形桁（以下、PCU 桁と称す）で構成される。

PCU 桁は、常磐新線や成田高速鉄道等の在来線での実績はあるが、新幹線での採用は初の試みである。ここでは、PCU 桁の施工について、概要を紹介する。

2. PCU 桁の選定理由および構造概要

架設地点は、JR 北陸本線と富山地方鉄道に挟まれた狹隘区間であり（写真 - 1）、大型クレーンが使用できないため、桁重量を軽量化し、クレーンの小型化が必要であった。また、桁の橋面を隣接する橋梁の施工ヤードとして利用するため、工程確保上、高速架設が可能な桁構造が必要とされた。以上の課題を解決するため、桁重量が小さく（約 34 t）、主桁を事前に工場で製作することで現場での架設工程を短縮できる PCU 桁が選定された。



写真 - 1 架設地点（着手前）

PCU 桁は、プレテンション方式で工場製作する U 形の主桁と現場施工する床版・横桁の合成構造桁である。また、主桁の断面形状および桁長はすべて統一され、型枠の共通化によるコスト低減、製作効率向上など、プレキャスト化によるメリットが大きい構造となっている。

主桁には 28 本の PC 鋼より線 1S15.2 が配置され、床版および横桁コンクリートを打設後、床版および横桁に配置した横締め PC 鋼より線 1S21.8 を緊張することで、一連の橋梁が完成する。主桁コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ 、床版および横桁は $\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ である。また、床版コンクリート用の埋設型枠として、主桁間には厚さ 80 mm の PC 板、主桁上面にはキーストンプレート（埋設型枠）を使用し、床版施工の合理化が図られている（図 - 1）。

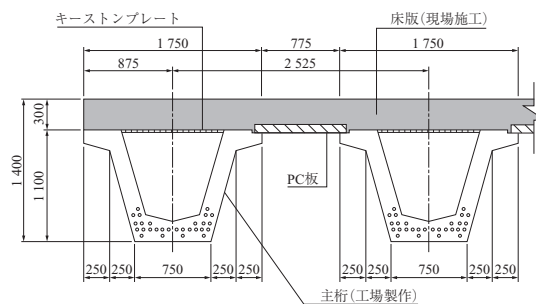


図 - 1 PCU 桁断面構造図（一般部）

3. 主桁の製作（PC 工場）

主桁は、三重県内の PC 工場で作成し、トレーラーにて現場まで運搬した。

主桁の製作は、緊張能力 7 000 kN の 61 m ベンチ中に設置した 1 基の製作台を用いて行った。製作順序は、①鉄筋の組立て、②PC 鋼材の配置・緊張、③型枠の組立て、④コンクリート打設・養生、⑤脱枠・搬出となるが、あらかじめ、地組した鉄筋をクレーンで製作台に設置するなどの製作の効率化および工程短縮を図った結果、月最大 12 本の桁を製作することができた。写真 - 2 に、地組鉄筋の設置状況を示す。



写真 - 2 地組鉄筋設置

主桁の製作にあたり、プレストレス等の荷重やクリープ・乾燥収縮による影響を考慮し、桁製作長やレアー寸法の補正を実施したが、型枠自体の上げ越しは行わず、主桁のたわみ量は、現場施工する床版および路盤コンクリートにて調整することとした。

桁の施工場所への搬送は、架設前日の夜間 21 時から明朝 6 時（特殊通行許可）までに現場近くの待機ヤードまで運搬し、夜間の桁架設まで時間調整を行ったのち、架設場所まで桁 5 本の搬入を行った。

4. 主桁の架設

桁の架設は、鉄道営業線への近接作業となるため、夜間作業（0:30 ～ 5:00）を基本とし、富山地方鉄道直上にある G 1 桁は線路閉鎖間合、他は夜間列車間合での作業である。架設方法は、作業半径や吊荷重などを考慮し、65 t クレーンを 2 台使用した相吊架設とした。写真 - 3 に、主桁の架設状況を示す。

PCU 桁 1 連の桁架設は、基本的に 3 日間で行った。



写真 - 3 主桁の架設

1 日目は、全主桁 5 本を橋脚上に架設する。ただし、G3～G5 の 3 本はクレーンのアーム可動範囲の制限から、設置可能な位置に仮置きする。

2 日目は、仮置きした 3 本の主桁を、横取装置を用いて、所定の位置まで移動し、据付する。

3 日目は、主桁間の PC 板をクレーンを用いて設置する。

なお、10 連中 3 連は、他の 7 連と比較して施工条件が良く、1 日目の桁架設時にすべての主桁を所定の位置に設置可能であったため、架設は 2 日間で終了した。

また、架設にあたり、張出し足場や安全設備（手摺支柱、親綱など）を主桁に事前に設置することで、架設中ならびに架設以降の作業の安全性を確保した。

5. 床版・横桁の施工

床版の埋設型枠となる PC 板と主桁フランジとの接合部および PC 板間の目地部には、ジョイントフィラー（スポンジテープ等）または無収縮モルタルを施工し、営業線への汚濁水の飛散防止対策とした。また、主桁上面のキーストンプレートは、主桁内に設置した木製のフレームにて固定・支持した。

主桁製作時に設置される横桁鉄筋は、運送時の幅制限（2.5 m）や架設時の作業性を考慮して、設計長より短くしており、桁架設後に機械式継手などにより、鉄筋の接続を行った。

コンクリートは、緊張可能強度の早期発現のため早強コンクリートを使用し、打設方法はポンプ車 1 台によるブーム打設を基本としたが、冬期など、屋根養生設備がある場合には、配管打設とした（写真 - 4）。早強コンクリートであることや既設主桁による外部拘束などにより、ひび割れの発生が心配されたが、保水・保温効果が高い高機能養生マットを使用することで、ひび割れ抑制対策を実施した。

6. PCU 桁上の PC 桁の縦移動

千歳町 BL に隣接する稲荷こ線橋 Bv（PCT 桁 2 連）の架設は、クレーン設置スペースが確保できないため、千歳町 BL のラーメン高架橋に桁製作ヤードを設け、PCU 桁上に設置した引出軌条設備にて PCT 桁を運搬し、エレクションガーダーを用いて行った。

PCU 桁上を移動する PCT 桁の最大重量は約 140 t であり、PCU 桁の安全性を確保するため、軌条設備は上下線の路盤コンクリートに支持梁を設置し、構造中心線上を PCT 桁が移動するようにした。図 - 2 に軌条設置図を示す。



写真 - 4 床版・横桁コンクリート打設

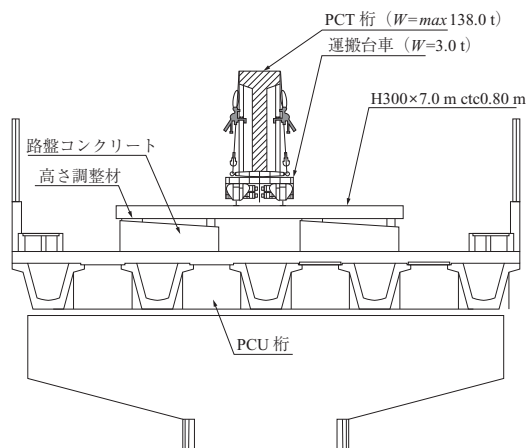


図 - 2 PCT 桁上の軌条設備



写真 - 5 施工完了

7. おわりに（現場担当者より）

当工事は、平成 26 年度末開業の北陸新幹線で最後に発注された工区であり、総工事延長 1 607 m（通路線を含む）、橋脚 46 基、ラーメン高架橋 3 基、PC 桁 34 連および RC 桁 16 連を、実質 2 年間で構築するという超突貫工事であった。

施工当初は、見事なストライプ模様の工程表を前に、目眩がし、呆然とするだけであった。ただし、無我夢中で現場を走り回った甲斐もあり、工程に遅れを出さず、しかも、全工期無事故無災害で竣工を迎えることができたのは、まさに、奇跡といえるものであったが、少なからず、現場技術者としての成長を実感した現場であった。

鉄建建設(株) 佐藤 茂美

5. 富山駅－新高岡駅の橋

富山駅（富山県富山市明輪町：286 km920 m）－新高岡駅（富山県高岡市黒田：305 km810 m）

橋 名	構造形式	橋長（スパン割）	特徴・特記事項	架橋地点（キロ程）
②③ 神通川橋梁 じんつうがわ	4 径間連続エクストラードスド橋	428 m (86+2@128+86)	長野・金沢間では唯一のエクストラードスド橋である。最大スパン 128 m は、鉄道橋としては国内第 2 位であり、当該区間でも有数の長大橋である。 既発表文献：本紙 Vol.54.2, 土木施工 Vol.53.2, 橋梁と基礎 Vol.47.11	富山県富山市 287 km657 m～288 km085 m
②④ 西田刈屋線路橋 にしとかりや	3 径間連続ラーメン箱桁	139 m (36+67+36)	並走する北陸本線が高山本線と分岐する箇所での近接施工において、ケーソン基礎沈設時の在来線路変位対策として影響遮断鋼矢板を設置した。	富山県富山市 288 km408 m～288 km547 m
②⑤ 本郷西部架道橋 ほんこうせいぶ	馬桁一体 2 径間連続箱桁	100 m (50+50)	市道上を鋭角に横過しつつ桁下の建築限界を確保するために、主桁から横梁（馬桁）を張出した構造を採用した。	富山県富山市 293 km331 m～293 km431 m
②⑥ 東鷲塚架道橋 ひがしわしづか	馬桁一体 2 径間連続箱桁	76 m (38+38)	富山駅と新高岡駅のほぼ中間に位置する橋梁である。県道と鋭角に交差するため、馬桁一体構造を採用した。	富山県射水市 295 km409 m～295 km485 m
②⑦ 鷲塚架道橋 わしづか	馬桁一体 2 径間連続箱桁	92 m (46+46)	東鷲塚架道橋と同一工事にて架橋し、同様の構造を採用した橋梁である。	富山県射水市 295 km541 m～295 km633 m
②⑧ 戸破架道橋 ひばり	馬桁一体 2 径間連続箱桁	62 m (31+31)	農道と鋭角に交差するため、馬桁一体構造を採用した。交差道路との離隔や作用荷重の大きさから、合理的な基礎構造を選定した。	富山県射水市 296 km897 m～296 km959 m
②⑨ 第 1 安吉架道橋 やすよし	馬桁一体 2 径間連続箱桁	76 m (38+38)	交差道路の建築限界を確保するため、桁高を低くできる馬桁一体構造を採用した。用地確保の必要性から平面寸法の小さな基礎を選定した。	富山県射水市 300 km586 m～300 km662 m
③⑩ 第 1 東中村架道橋 ひがしなかなら	馬桁一体 2 径間連続箱桁	81 m (40.5+40.5)	県道と鋭角に交差するため、馬桁一体構造を採用した。コンクリートの分割施工に起因するひび割れや充填性確保のための対策を講じた。	富山県射水市 301 km734 m～301 km815 m
③⑪ 和田川橋梁 わだがわ	3 径間連続ラーメン箱桁	118 m (30+58+30)	柱頭部の施工は、堤防外は支柱式支保工、河川内は堤防法面や河川阻害率の関係からブラケット支保工により施工した。	富山県射水市 302 km425 m～302 km543 m
③⑫ 庄川橋梁 しょうがわ	4 径間連続ラーメン箱桁 3 径間連続ラーメン箱桁	598 m (81+2@90+81+83+90+83)	渇水期施工に限定させる河川内工事の工期短縮のため、大型移動式作業車による張出施工や既架設桁の斜吊りを採用し、1 渇水期短縮した。 既発表文献：第 10 回シンポジウム	富山県射水市 303 km581 m～304 km293 m

注）橋名をゴシック表記：特徴的な構造や施工方法を採用、桁端スパン長は橋梁区間端部までの距離で表記

キロ程：高崎起点

富山・新高岡間の沿線情報

新高岡駅から在来線の高岡駅に行き、市内を走るトラム（路面電車、万葉線）に乗り換えれば、射水市にある海王丸パークにアクセスできる。ここでは、海の貴婦人と呼ばれる帆船海王丸が一般公開されており、その優美な姿とペイエリアでのレジャーが楽

しめる（海王丸の総帆展帆は年 10 回開催予定）。また、海王丸パークのすぐそばには日本海側では最大規模の鋼・コンクリート複合斜張橋である新湊大橋が富山新港に架かっている。



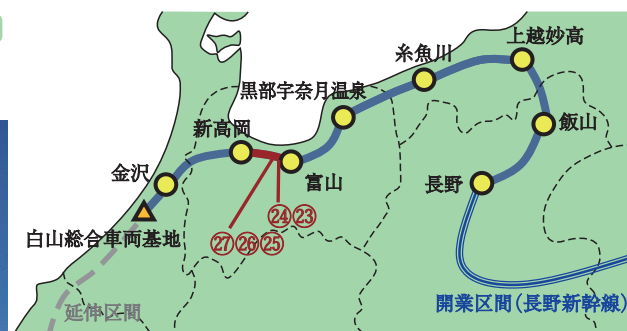
立山連峰を横に見ながら走るトラム（万葉線（株）提供）



海王丸と新湊大橋（（公財）伏木富山港・海王丸財団提供）

PC 橋マップ（富山駅－新高岡駅）その 1

富山・新高岡 間：19 km



②③ 神通川橋梁



②⑤ 本郷西部架道橋



②④ 西田刈屋線路橋



②⑦ 鷺塚架道橋



②⑥ 東鷺塚架道橋

PC 橋マップ（富山駅－新高岡駅）その2

富山・新高岡 間：19 km



②⑧ 戸破架道橋と②⑨ 第1 安吉架道橋の間には、押出し架設後に超薄型ジャッキによる連続桁の支承受替えを行った中本開発架道橋がある（構造：2 径間連続箱桁，橋長：111 m（48 + 63），架橋地点：富山県射水市 299 km 172 m，本紙 Vol.55.3 掲載）。



②⑧ 戸破架道橋



③① 第1 東中村架道橋



②⑨ 第1 安吉架道橋



③② 庄川橋梁



③① 和田川橋梁

② 神通川橋梁

構造形式：4 径間連続 PC エキストラードズド橋
橋 長：428 m

1. はじめに

北陸新幹線神通川橋梁は、JR 富山駅西側に位置し、一級河川神通川を JR 高山本線・北陸本線と平行して渡河する橋長 428 m の 4 径間連続 PC エキストラードズド橋であり、北陸新幹線工事のなかでも有数の長大橋梁である。また、最大支間長 128 m は、鉄道橋の PC エキストラードズド橋としては国内第 2 位である。

橋梁工事は平成 24 年 10 月にしゅん功し、現在は平成 26 年度末の完成に向けて軌道・電気等の設備工事が順次進められているが、本稿は橋梁の施工の概略について報告するものである。

2. 橋梁概要

本橋梁の諸元は以下のとおりである。

橋梁形式：4 径間連続 PC エキストラードズド橋

基礎形式：ニューマチックケーソン基礎

場所打ち杭基礎

橋 長：428 m

支 間 割：86 m + 128 m + 128 m + 86 m

軌道の数：複線

荷 重：P-16 荷重

主塔形式：独立 2 本柱

桁 形 式：2 室箱桁（桁高 3.5 m ～ 6.0 m）

設計最高速度：180 km/h（急曲線区間のため）

本橋の設計にあたっては、① 河川との交差条件、② 非出水期での施工、③ 平成 24 年上期までの本体工事完了（4 非出水期での施工）という条件があり、これを満足するように検討した結果、4 径間連続 PC エキストラードズド橋を採用した。

3. 下部工の施工

河川内の 3 橋脚は、ニューマチックケーソン基礎を採用しており、橋脚の周囲を築島をしたうえで構築を進めた。低水敷に位置する P2 橋脚の施工時には、築島によって流水断面が大きく減少することから、高水敷に切り回し水路を施工し流水断面を確保した。ニューマチックケーソンは、基礎および橋脚躯体を連続して構築・沈下掘削するピアケーソン方式で施工した。写真 - 1 にニューマチックケーソン施工状況を示す。基礎形状は 11.5 × 9.0 m の矩形断面で高さ 22.3 m を有する。沈下掘削機械は函内圧により有人掘削と無人掘削を使い分けた。高気圧作業の安全性および施工効率の観点から、函内圧 0.18 MPa 未満では有人掘削である地上走行型の潜函用ショベルを用い、0.18 MPa 以上では無人掘削の天井走行式のケーソンショベルを用いた。

沈下計測では自動計測による沈設管理システムを採用した。これにより、ケーソンの沈下量および傾斜の結果や経時変化をリアルタイムで把握することができ、より精度の高い施工管理が可能となった。



写真 - 1 ニューマチックケーソン施工状況

4. 上部工の施工

4.1 主 桁 工

上部工施工順序を図 - 1 に示す。主桁については柱頭部と側径間は固定式支保工で施工し、主桁標準部については各橋脚からの張出し施工を行った。なお、柱頭部については、構築した築島を利用して作業を行った。柱頭部コンクリート打設は 3 リフトに分割して施工し、断熱型枠を使用したマスコンクリート対策および過密鉄筋配置によるコンクリートの充填不良に配慮して、高性能 AE 減水材を使用したスランプ 15 cm のコンクリートで施工を行った。主桁の施工には 3 主構大型移動式作業車（以下、作業車）を用いた。本橋主桁の特徴は張出し床版下面に斜材定着突起コンクリートを有することである。そのため、斜材定着突起部分は補強用 PC 鋼材等により過密配筋となるため、柱頭部同様スランプ 15 cm のコンクリートを用いて施工を行った。

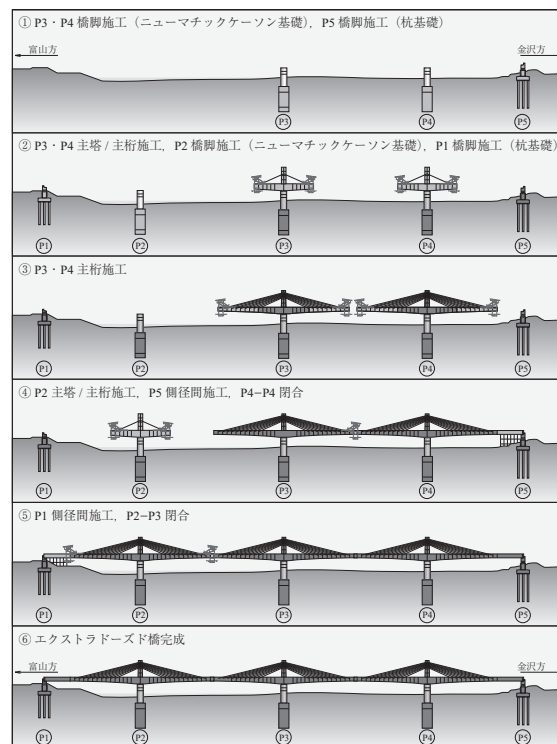


図 - 1 上部工施工順序

側径間部は全長 24.5 m を固定式支保工区間（20.5 m）と吊支保工による張出し施工部との閉合区間（4.0 m）に分けて施工した。

通常作業車は解体可能な位置まで移動し解体するが、エクストラード橋の場合、斜材があるため作業車と斜材が干渉し移動範囲が制限されることから、上部主構と下部作業台を分離後、べつべつに移動し解体を行った（写真 - 2）。



写真 - 2 移動式作業車の分離解体

4.2 主 塔 工

本橋は積雪地域に架橋されることから横梁のない独立 2 本柱が採用され、全高 15 m で主塔内部には斜材定着のためのサドルが配置される。サドルには 1 重管サドルを採用し斜材張力の制限値を $0.4 P_u$ （ $= 0.4 \times 7047 \text{ kN} = 2812 \text{ kN}$ ）に下げることによって PC 鋼材の交換を考慮しない構造としている。主塔の施工は 2 リフトに分割し 1 リフトを約 7.5 m とした。主筋に D 51 を 2 段配置し、2 リフトにはサドルも配置されることからコンクリート打設時の未充填等の施工不良が懸念されたため、高流動コンクリート（30-700-20 N）を用いた。サドル周辺の充填性は透明型枠を使用し確認した。高流動コンクリートの配合を以下に示す。

呼び強度 (N/mm ²)	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	普通ポルトランドセメント (kg/m ³)	石灰石微粉末 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	増粘剤 (kg/m ³)
30	700 ± 50	55 ± 1.5	53.9	310	266	167	0.3

この配合は併用系高流動コンクリートに分類され、増粘剤を添加することで材料状態の変動に起因するフレッシュコンクリートの品質のばらつきを抑えられる。特殊配合ではあったが、数度の試験練りを繰り返して適切な配合を選定することで、実施工時の品質管理も比較的容易に行うことができた。また、普通ポルトランドセメントを石灰石微粉末に置き換えることで、ワーカビリティを維持しつつ、過剰の水和熱の発生を抑え、ひび割れの発生を抑制している。

4.3 斜 材 工

斜材は主桁の外ウェブ外側に定着される 2 面吊形式である。PC 鋼材は主塔部サドルを貫通し、起点終点側 2 箇所定着される。斜材は 3 重防錆構造となっている。まず、緊張材にはエポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線を用い、保護管には白色フッ素樹脂塗装を施した高密度ポリエチレン管を用いた。さらに、緊張材と保護管の間にはグラウトを充填する。保護管外径は 200 mm とし、通常用いられる

140 mm に比べ大きくすることで温度変化による緊張力の変動を低減している。

斜材の架設方法は一般にワイヤー等で吊り上げる方法と足場等で受ける方法に大別されるが、本橋では近接する JR 高山本線への影響を考慮し、長期間架設用資機材を設置する必要のない前者にて施工した。なお、斜材のグラウトでは保護管の高さ調整のために斜材と平行に足場を設置し、グラウト材の充填を行った。

斜材の施工手順は、① 保護管製作、② 保護管吊上げ、③ PC 鋼材挿入、④ PC 鋼材緊張、⑤ 定着部くさび再圧入、となる。

工場製作された高密度ポリエチレン管を現地にて所定の長さによって溶接で接続し、PC 鋼材を挿入できる位置にガイドワイヤーを用いて吊り上げる（写真 - 3）。PC 鋼材はプッシングマシンで 1 本毎に挿入し、緊張は主桁に偏心力が生じないように、4 箇所の定着部で大型緊張ジャッキによる同時緊張を行った。緊張ジャッキは重量が 2.5 t と重く、斜材定着部はブロックごとに角度および高さが異なることから、狭隘な作業環境でも緊張ジャッキの角度および高さ調整が個別に行える架台を製作し施工性の改善を図った。図 - 2 に緊張ジャッキ架台を示す。



写真 - 3 斜材保護管吊上げ状況

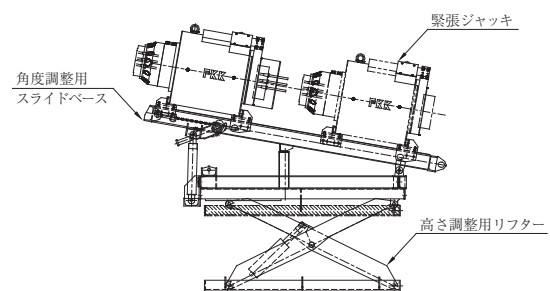


図 - 2 緊張ジャッキ架台

本橋ではエポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線を使用し、PC 鋼材緊張力の制限値も $0.4 P_u$ と小さいことから、くさびの PC 鋼材への噛みこみが弱くなる可能性がある。そのため、張力変動による定着部くさびの緩み防止としてくさびの再圧入を本緊張直後に実施した。これまで多くのエクストラード橋では小型ジャッキにより PC 鋼材 1 本ごとにくさびを再圧入する方法がとられてきたが、本橋では施工効率を考え本緊張に使用した大型緊張ジャッキを用い再圧入を実施した。

大成建設(株) 塚本 英樹

にしたかりや
②④ 西田刈屋線路橋

構造形式：3 径間連続ラーメン箱桁

橋 長：139 m

西田刈屋線路橋は、北陸新幹線が北陸本線と併走する区間で、高山本線と分岐する箇所を跨線する橋梁である（写真）。



写真 西田刈屋線路橋（富山側から金沢側を望む）

交差箇所は、平面的に高山本線と交差する角度が約 10 度と薄く橋脚の設置可能箇所が限定されており、在来列車の走行安全性を確保する必要があることから、橋梁形式や線路近接の施工法検討が重要となった。

橋梁形式の検討では、詳細設計に先立ち概略設計を実施し、高山本線を門型ラーメン橋脚で跨ぐ橋梁スパンの縮小案や鋼桁案など 5 案を比較検討し、耐震性や経済性、コンクリート構造採用によるメンテナンス軽減の維持管理面から 3 径間連続ラーメン箱桁を選定した。

基礎形式は、支持層深度が約 20 m と深く、荷重規模が大きいこと、線路近接の施工条件から周辺地盤の変形抑制や施工ヤードの制約があったことから、新幹線構造物の基礎として実績も多い、ニューマチックケーソン基礎を採用した。線路近接の対策としては、ケーソン沈設時の周辺地盤の共下がり防止と線路変位の抑制を目的として、影響遮断鋼矢板を設置することとした。遮断鋼矢板の断面、設置深度決定にあたっては、矢板の弾塑性解析、ケーソンの円形アーチ効果を考慮した地盤 FEM 解析を行い、地盤変位量を軌道の整備管理値未満に収めるよう各種検討を実施した。

上部工施工は、活線線路上となることから、2 基の中間橋脚から起終点に交互に施工を繰り返す張出し架設工法を採用した。交差する高山本線の建築限界高は 5.9 m を確保する必要があり、交差角度が小さいことから空頭制限は中央径間全般に及んだ。移動作業車は、桁下作業床高の低い特殊な低床式ワーゲンを製作することで、施工条件を満足した。

名所、飛騨高山に富山方面から向かう JR 列車で、北陸本線から分岐する玄関口にアーチゲートのように交差する新幹線の橋梁、それが西田刈屋線路橋である。といえ、覚えやすいかもしれない。

ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 武山 和夫

ほんごうせいぶ
②⑤ 本郷西部架道橋

構造形式：馬桁一体 2 径間連続箱桁橋

橋 長：100 m

本橋梁は、富山県富山市西部に位置する連続 PC 箱桁橋である。市道上を鋭角に横過する（交角 13°）ため、構造全高を 3.7 m 以下に抑えて建築限界を確保する必要がある。このため、中間橋脚部で主桁から張り出した横梁（馬桁）を、市道を挟んで配置した 2 本の柱で支持する、馬桁一体式の PC 2 径間連続桁構造が採用された。基礎形式は比較検討の結果、経済性に優れた場所打ち杭基礎（φ 1 500）を採用した。

主桁部は、正曲げに対して PPC 構造、負曲げに対しては PC 構造、馬桁部は PC 構造として設計した。

主桁と直交する馬桁の剛性評価が主桁・馬桁の設計におけるポイントである。構造解析では、主桁部と馬桁部とで個別の 2 次元骨組みモデルを作成し、永久荷重作用時に両者の接合位置の変位が等しくなるよう収束計算を行い、クリープ変形の影響を考慮したバネ値を設定することで剛性を評価している。

設計の結果、径間部（PPC 構造）の主桁ウェブ PC 鋼材は 12S12.7-24 本、中間支点部（PC 構造）の主桁ウェブ PC 鋼材は 12S12.7-42 本、および、馬桁中央部（PC 構造）の軸方向 PC 鋼材は 12S15.2-46 本の配置となった。

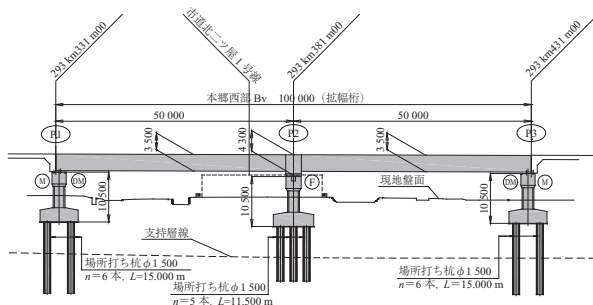


図 - 1 側面図

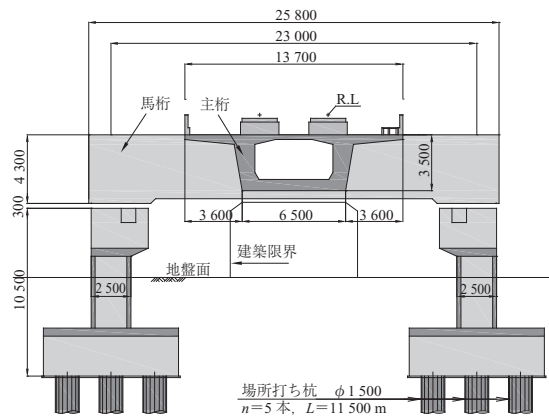


図 - 2 横断面図

(株) 日本構造橋梁研究所 小松 正貴

ひがしわしつか ②⑥ 東鷲塚架道橋, ②⑦ 鷲塚架道橋

構造形式：馬桁一体2径間連続箱桁
橋 長：92 m, 76 m

鷲塚架道橋、東鷲塚架道橋は北陸新幹線の富山駅と新高岡駅のほぼ中間に位置し、県道2本、市道1本、農道15本と交差している。両橋とも、県道と鋭角に交差することから、県道を跨ぐ馬桁一体2径間連続箱桁が採用されており、県道の両脇に2本の橋脚基礎を設置し、その上に道路を跨いで馬桁、その馬桁に剛結する形で橋桁が道路上に配置される構造となっている。



写真 - 1 鷲塚架道橋

本橋の特徴を以下に示す。

架設方法

架設方法は固定式支保工施工を採用した。県道と交差しているため、鷲塚架道橋では県道の通行止めの規制、東鷲塚架道橋では迂回路による県道の切回しにより施工した。

支保工は、かなりの部分を県道の上に設置することになる。馬桁の大きな荷重による道路沈下を防ぐため、敷鉄板と鋼材を使用し、荷重の分散を図った。

施工ブロック割

上部工のコンクリート打設割は、生コンプラントの出荷能力、コンクリートのひび割れ防止を考慮して、馬桁部と主桁接合部で1回、主桁下スラブ・ウェブで4回、主桁上スラブで2回の合計7回打設とした。打継目の位置は、鋼材配置状況と断面力を勘案して決定した。

PC ケーブル緊張

本橋の馬桁構造では、横方向馬桁と主方向主桁が剛結されており、互いのPCケーブルが接合部分で交差した配置となっている。馬桁、主桁のPCケーブルの緊張により、互いの桁の変位が生じ、断面力に影響を与えることになる。従って、PCケーブル緊張作業は主方向と横方向の各ケーブルを交互に行った。

PC グラウト

主ケーブルのグラウト長は、鷲塚架道橋で最大92 m超となり、グラウト圧送による流動性の低下やグラウトポンプの負荷が予想された。そこで、2径間連続ケーブルについては、ステップバイステップによるグラウト注入とし、

排出側には真空ポンプを併用してより確実なグラウト施工を行った。

温度応力解析

馬桁は部材高3 mを越える充実断面のマスコングリートであり、とくに主桁との接合部については、セメント水和熱による温度ひび割れの可能性が高かった。そこで、事前に温度応力解析を行い、その結果によるコンクリート引張応力に対する補強を実施した。温度解析結果では、予想どおり馬桁と主桁の接合部で、とくに上床版付近と桁下付近でひび割れ発生確率の高いことが判明した。上床版、下床版には補強鉄筋を配置し、局所的な部位には繊維ネットを配置してひび割れ発生を抑止した。

鷲塚架道橋、東鷲塚架道橋とも当初計画どおりおおむね6箇月で上部工の施工を完了し、県道の規制条件を満足することができた。心配された馬桁主桁接合部でも、有害なひび割れの発生がなく、健全なコンクリート橋の施工ができたものと確信している。



写真 - 2 東鷲塚架道橋

三井住友建設(株) 山本 一男

新高岡の周辺情報

新高岡駅は、在来線の高岡駅の1駅南方に新設される。新高岡駅のすぐ西方、諏訪佐野架道橋の近くには全国都市緑化フェアの会場として平成8年に整備された高岡おとぎの森公園がある。東京ドーム2.5個分の広さに花や緑のあふれる総合公園である。



高岡おとぎの森公園

ひばり ②⑧ 戸破架道橋

構造形式：馬桁一体 2 径間連続箱桁

橋 長：62 m

戸破架道橋は、高岡駅から東方約 10 km の場所に位置し、射水市戸破地区において市道今井小杉白石線（ふるさと農道）と交差する馬桁一体型の 2 径間連続 PC 箱桁橋である。本橋と県道は鋭角に交差することから、将来形で県道の線形を侵さない馬桁構造が採用された。

本橋の基礎形式は、端部橋脚の道路との交差状況と荷重規模から、端支点ではオープンケーソン基礎、馬桁を支持する中間支点では場所打ち杭が採用された。また、橋脚は壁式橋脚であり、基礎とともに本工事で施工した。

上部工の施工は、上述した市道を切り廻したうえで実施し、固定式支保工で施工した。上部工の施工割りは、①馬桁、②第一径間の下床版およびウェブ、③第二径間の下床版およびウェブ、④上床版の 4 回とした。また、本橋の施工にあたっては、以下の点に留意した。

- ④のコンクリートは、外部拘束や温度応力によるひび割れを抑制するため、膨張コンクリートを使用した。
- PC 鋼材が上・下縁に多数配置される主・馬桁の接合部では、下筋下に充填確認センサーを設置し、コンクリート打設時の充填をリアルタイムに監視した。
- 接合部に鉛直打継目を設ける計画であったため、フィルムタイプの遅延剤による打継ぎ処理後、処理面の凹凸度管理を行って打継ぎ処理の良否を管理した。
- 主ケーブルの緊張順序は、馬桁一体格点部に過大な応力が生じないように、主桁と馬桁の鋼材を交互に緊張した。



写真 戸破架道橋

本橋を含む全長 1 212 m の工事は、平成 21 年 11 月から始まり、平成 24 年 9 月に無事竣工することができた。戸破架道橋については、PC 桁の耐久性にとって重要なコンクリートの品質、緊張管理を重点項目として施工し、不具合なく施工することができた。ここに、本工事の関係者の皆様に感謝の意を表すとともに、「かがやき」、「はくたか」、「つるぎ」の運行を支える屋台骨として、本橋の末永い活躍を切に願う。

三井住友建設 (株) 廣 茂実

やすよし ②⑨ 第 1 安吉架道橋

構造形式：馬桁一体 2 径間連続箱桁

橋 長：76 m

本橋は浅い角度で道路と交差する馬桁一体 2 径間連続箱桁である。単純桁では橋長が長くなるため、桁高が高くなり、交差道路の建築限界を確保できない。そこで、低桁高が可能である本構造を採用した。馬桁の桁高は、交差道路との建築限界を確保できる最大桁高 3.5 m とし、主桁の桁高は、馬桁の PC 鋼材配置を考慮して 3.0 m とした。主桁の下床幅は 6.5 m およびウェブの傾斜は、外観形状の統一を図るため隣接工区の箱桁と統一した。馬桁の幅は、PC 鋼材配置を考慮して 3.0 m とした。



写真 第 1 安吉架道橋

さらに、起終点の基礎形式は橋長を極力短くするため、平面形状の小さいオープンケーソン基礎を採用した。ケーソン径（起点側：P1 橋脚 ϕ 7.5 m、終点側：P3 橋脚 ϕ 8.5 m）は、地震時の横方向の振動変位の照査の限界値 SIL を超えないように、構造物の線路直角方向の固有周期 T を 1.4s 以内となるように決定した。馬桁を支持する P2 橋脚も用地の条件から、基礎の平面形状を極力小さくすることが求められた。そのため、支承条件は下表に示すように、P2 橋脚は線路方向および線路直角方向ともに地震時水平力を分担させない可動支承とし、基礎形状 6.0 m $\times$ 6.0 m の場所打ち杭 ϕ 1.2 m-4 本を採用した。

支 承 条 件

方向	P1 橋脚	P2 橋脚	P3 橋脚
線路方向	ダンパー可動	可動	ダンパー固定
線路直角方向	固定	可動	固定

本構造形式は主桁と馬桁を剛結した PC 構造とし、解析は立体骨組構造解析手法を用いた。施工方法は交差道路を通行止めとし、固定式支保工架設とした。

剛結構造の交差部は骨組構造解析で求めた場合、交差部抵抗断面の的確なモデル化が難しく、実応力度よりも大きな値となる傾向になり、不経済な設計となる。そのため、交差部は 3 次元要素を用いた立体 FEM 構造解析により、応力度の照査を行った。FEM 解析と骨組構造解析による交差部の応力度を比較したところ、FEM 解析は骨組構造解析に比べて約 75 % となった。

(株) 千代田コンサルタント 西澤 知孝

ひがしなかわら
③⑩ 第1 東中村架道橋

構造形式：馬桁一体2 径間連続箱桁
橋 長：81 m

第1 東中村架道橋は、高岡駅から東方約5 km の場所に位置し、射水市中村地区において県道小杉大門線と交差する馬桁一体型の2 径間連続PC 箱桁橋である。本橋と県道は鋭角に交差することから、将来形で県道の線形を侵さない馬桁構造が採用された。また、基礎形式は場所打ちRC 杭、橋脚形式は壁式橋脚でありいずれも本橋の上部工と同一工事で施工した。

上部工の施工は、交差する県道小杉大門線を切り廻して道路機能を確認したうえで、支柱式による固定式支保工で施工した。上部工の施工割りは、1 回あたりのコンクリート量などを勘案して①馬桁を含む第一径間の下床版およびウェブ、②第二径間の下床版およびウェブ、③全上床版の3 回割付けとし、ウェブの拘束によるひび割れが懸念された上床版では膨張コンクリートを採用した。

馬桁構造の特徴として、主桁と馬桁と交差する中間支点では各桁のPC 鋼材が上・下縁に多数配置されるため、目視困難な最下鉄筋に充填センサーを配置したうえでコンクリートの打設を行った。また、緊張時における接合部の応力をバランスさせる必要があることから、主桁・馬桁を交互に緊張している。このため、緊張の進行本数に併せて段階を設けて、各段階で接合部の高さ管理や目視観察を行い、慎重に緊張作業を行った。



写真 第1 東中村架道橋

本橋を含む全長976 m の工事は、平成21 年10 月から始まり、平成24 年10 月に無事竣工することができた。第1 東中村架道橋周辺は田園地帯にあり、支保工施工時の沈下量想定や県道の切り廻しによる前後高架部との工程調整に苦労を要するなど、非常に難易度の高い橋であった。ここに、本工事の関係者の皆様に感謝の意を表すとともに、無骨な形状とは裏腹に繊細な施工を必要とした本橋が、皆様の興味対象になり続けてもらうことを切に願う。

三井住友建設(株) 白木 愛啓

わだがわ
③⑪ 和田川橋梁

構造形式：3 径間連続ラーメン箱桁
橋 長：118 m

和田川橋梁は、高岡駅から東方約4 km の場所に位置し、射水市西部の一般河川庄川水系和田川を跨ぐPC 3 径間連続のラーメン箱桁橋である。

本橋の基礎は、橋長118 m の箱桁の荷重および盤ぶくれの可能性、被圧地下水への対応から、ニューマチックケーソンが選定され、円形橋脚とともに本工事で施工した。

柱頭部施工では、橋脚高が低いことや円形橋脚であることから、堤防外は支柱式による固定式支保工で施工している。しかし、河川側は堤防法面や河川内を侵すことからブラケット支保工による施工とし、ひとつの柱頭部を支柱式とブラケットが共存するという特殊な支保工形式により施工した。

上部工は張出し架設(4 基)で施工され、張出し架設中は和田川堤防の管理用道路、市道轟5 号線の機能を確認(一部付替え)しながら施工するとともに、河川上での張出し架設となることから、移動作業車には集水樋などの落水防止対策を設け、河川上の中央閉合についても移動作業車の作業床を利用して施工した(写真)。側径間は、2.5 m 弱の短い割り付けで計画されており、張出し架設の最終ブロック(8 BL)時において移動作業車の前方解体が必要になることが予見されたため、最終ブロックの施工を想定した作業床の計画等を実施している。なお、側径間については、支柱式支保工により施工を行った。



写真 張出し架設状況

本橋を含む全長976 m の工事は、平成21 年10 月から始まり、平成24 年10 月に無事竣工することができた。思い起こすと、和田川橋梁周辺は住宅地であったため、基礎施工時から騒音発生の低減に努め、冬期の積雪など、非常に厳しい中での施工であった。ここに配慮を賜った地域住民を含め、本工事の関係者の皆様に感謝の意を表すとともに、本橋が高速交通ネットワークとしての一翼を未来永劫担えるよう、切に願う。

三井住友建設(株) 白木 愛啓

③② しょうがわ 庄川橋梁

構造形式：4 径間 + 3 径間連続ラーメン箱桁橋
橋 長：598 m

庄川橋梁は、一級河川庄川を渡河し富山県高岡市と射水市に跨る橋梁である。当初、ニューマチックケーソン工法による河川内の橋脚 6 基と張出し架設工法による主桁を、10 月から翌年 6 月までの渇水期 4 回で築島を設けて施工する計画であった。そこで、渇水期内で確実に施工し、さらに工程を短縮するために以下の方法を採用した。

- (1) 張出しブロック数の低減によって工程短縮を図るため大型移動作業車を設計 段階から採用。
- (2) 寒中における全天候施工と給熱養生によりコンクリート強度の発現を確実にするため、移動作業車の足場外周を防災シートで覆って完全防護。
- (3) 河川堤防上の側径間へ超低床移動作業車を採用。縦断線形から堤防上道路の桁下空頭に余裕がなかったため、河川内橋脚から超低床構造の移動作業車を使用して道路を越える所まで張出し施工した。側径間側張出しが 2 ブロック分長くなるため、橋脚上下端に傾斜計を設置してアンバランスモーメントに対する安全性を計測、確認した。
- (4) 河川内側径間へ斜吊工法を採用して工期短縮。

渇水期終盤には雪解け水による出水の可能性があるた

め、側径間施工の固定支保工が残っていることはリスクであり、当初計画では側径間施工のため 4 渇水期が必要であった。そこで、先に固定式支保工で施工した側径間の両側主桁を橋脚上に建てた仮支柱から総ねじ PC 鋼棒により斜吊りして固定支保工を解体し、吊支保工で閉合する方法を採用し、当初計画工程に対して 1 渇水期分の短縮を図った。

斜吊りされる主桁は、完成後には橋脚位置で分離され別構造になる。そこで、斜吊時にはコンクリート製の仮支承を設け、主桁と橋脚を PC 鋼棒で互いに仮連結して一体化した。



写真 斜吊工法による上部工施工状況

本橋では、河川内側径間の施工方法の変更により 1 渇水期分の工期を短縮し、追加工事となった橋面工を含めて当初工期内に完了することができた。また、庄川は鮎踊る清流としても有名であり、河川内築島工事を 1 回省略したことにより、庄川への環境負荷を低減することができた。

三井住友建設(株) 高橋 錠示

6. 新高岡駅－金沢駅－白山総合車両基地の橋

新高岡駅（富山県高岡市黒田：305 km810 m）－金沢駅（石川県金沢市木ノ新保：345 km430 m）

橋 名	構造形式	橋長（スパン割）	特徴・特記事項	架橋地点（キロ程）
③③ 諏訪佐野架道橋	4 径間連続箱桁	174 m (37 + 55 + 49 + 33)	将来整備される県道と市道の交差橋である。橋脚高が低いため、上部工を支承支持として構造を成立させ、中間橋脚にもダンパー式ストッパーを設置した。	富山県高岡市 307 km593 m～307 km767 m
③④ 坂又川橋梁	馬桁一体 2 径間連続箱桁	70 m (30 + 40)	田園地帯での高架橋区間で、河川と市道の交差部に架橋した馬桁一体構造の橋梁である。マッシブな馬桁部に温度ひび割れ対策を実施した。	富山県小矢部市 318 km756 m～318 km826 m
③⑤ 東小神架道橋	馬桁一体 2 径間連続箱桁	57 m (33 + 24)	坂又川橋梁と同一工事にて、市道と農道の交差部に架橋したの馬桁一体構造の橋梁である。	富山県小矢部市 318 km916 m～318 km973 m
③⑥ 小矢部川橋梁	4 径間連続ラーメン箱桁	293 m (69 + 2@82.5 + 59)	小矢部川と渋江川の合流地点で 2 つの河川を跨ぐ橋梁である。支持層確認の結果をもとに、基礎構造の沈下抑制対策として地盤改良を実施した。	富山県小矢部市 320 km259 m～320 km552 m
③⑦ 金腐川橋梁	4 径間連続ラーメン箱桁	205 m (47 + 64 + 48 + 46)	北陸本線が近接するほか、上空には高压電線、跨架する金腐川のほかに 2 つの地下市道と交差するため、安全対策などにはとくに留意して架橋した橋梁である。	石川県金沢市 341 km893 m～343 km165 m

金沢駅（石川県金沢市木ノ新保：345 km430 m）－白山総合車両基地（石川県白山市北安田町、宮丸町、米永町、宮保町地内）

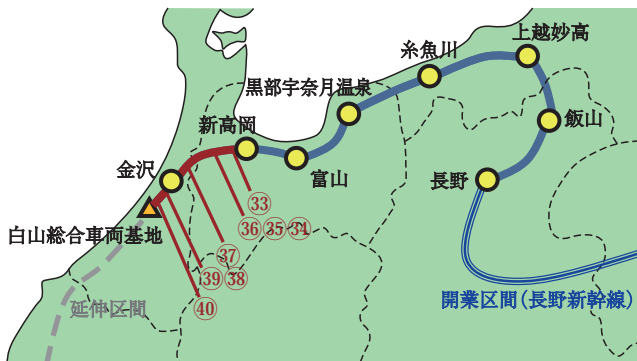
橋 名	構造形式	橋長（スパン割）	特徴・特記事項	架橋地点（キロ程）
③⑧ 加賀犀川橋梁	2 径間連続ラーメン箱桁	160 m (80 + 80)	金沢駅から白山車両基地までの新幹線工事の始まりとなった橋梁である。既設の北陸本線構造物との近接施工であり、既設構造物の健全度評価なども行った。	石川県金沢市 346 km796 m～346 km956 m
③⑨ 伏見川橋梁	3 径間連続ラーメン箱桁	180 m (46.5 + 85 + 46.5)	北陸本線と市道に挟まれた狭隘な場所で行った橋梁である。両側径間を固定式支保工により構築したのち、中央径間を張出し工法により施工した。	石川県金沢市 348 km597 m～348 km777 m
④⑩ 金剣架道橋	馬桁一体 2 径間連続箱桁	86 m (43 + 43)	北陸本線と民家に挟まれた狭隘な場所で行った橋梁である。高架下に建設予定の都市計画道路に対し、中間支点は片側だけ張り出した馬桁構造を採用した。	石川県白山市 355 km064 m～355 km150 m

注）桁端スパン長は橋梁区間端部までの距離で表記

キロ程：高崎起点

PC 橋マップ (新高岡駅ー金沢駅ー白山総合車両基地)

新高岡・金沢間：40 km, 金沢・車両基地間：約 10 km



③③ 諏訪佐野架道橋



③⑤ 東小神架道橋



③④ 坂又川橋梁



③⑥ 小矢部川橋梁



③⑦ 金腐川橋梁



③⑨ 伏見川橋梁



③⑧ 加賀犀川橋梁



白山総合車両基地



④① 金剣架道橋

すわさの
③③ 諏訪佐野架道橋

構造形式：4 径間連続箱桁

橋 長：174 m

諏訪佐野架道橋は、高岡市内に位置し、将来整備される県道（主要地方道高岡環状南線、幅員 65 m）および市道（地下ボックス、幅員 9.0 m）と 50 度の斜角で交差する橋長 174 m の 4 径間連続 PPC 箱桁橋である。

本橋は、設計開始当初は、道路敷内での維持管理の観点からシューレス構造とするために、上下部一体のラーメン構造で検討を行っていた。しかし、橋脚高さが低く、低せん断スパン比となる部材であったため、線路方向の応答震度が高くなる等の設計上多くの問題が生じた。検討の結果、中間橋脚にも、ゴムシュー+ダンパー式ストッパーを設置し、上下部分離の 4 径間連続 PPC 箱桁橋とした。

上部工の設計においては、斜角が 50 度と小さいために、左右の支点反力が異なることや支点上の横桁付近で局所的な応力集中が生じることが懸念された。そこで、一般的に 1 Box の桁で採用される一本棒モデルではなく、左右のウェブをそれぞれモデル化した平面格子解析モデルで断面力を算出し、その差を考慮した。計算より、左右のウェブで最大 5 % 程度の断面力差が生じる結果となったため、大きい方のウェブの断面力を設計断面力として採用し、安全側の設計を行った。また、斜角によるねじれの影響を少なくするため、斜角の支点部の横桁は橋脚を包括するように線路方向に大きくし、隔壁を整備新幹線における一般的な連続桁よりも狭い 15 m 程度の間隔で配置した。さらに、斜角部の支点付近の局所的な応力集中に対する影響を 3 次元 FEM 解析によって確認し、横桁と下床版の補強鉄筋を追加した。

支承部の維持管理は、県道の中央分離帯に設置する 2 橋脚においても必要となるが、橋脚前面は県道の建築限界により余裕がないため、点検施設として、軌道面の防音壁から橋脚天端まで降りるはしごと点検用のブラケットを追加することとした。



写真 橋 梁 全 景

また、本橋の架設は、県道を横断する市道の地下ボックスのみが建設された状態であり、県道については未施工の状態での施工となるため、経済性に優れる場所打ち施工とし、1 径間ずつの分割施工（端径間から打設開始）を採用した。ただし、市道の地下ボックスと交差する径間については、H 形鋼を桁に使用した特殊支保工による施工とした。

中央復建コンサルタンツ(株) 今村 りえ (旧姓 和田)

さかまたがわ ひがしおこ
③④ 坂又川橋梁, ③⑤ 東小神架道橋

構造形式：馬桁一体 2 径間連続箱桁橋

橋 長：70 m, 57 m

現場は、富山県小矢部市の JR 北陸本線石動駅南東に位置する延長 $L = 1\,330\text{ m}$ の高架橋工事である。

坂又川橋梁、東小神架道橋は、当現場の起点側（長野方面）に位置し、ラーメン高架橋を挟んで近接している。

架橋地点は、坂又川橋梁については河川と市道の交差部。東小神架道橋については、市道と農道の交差部である。

地域的な特徴としては、畑と田んぼに囲まれた田園地帯である（所々民家有り）。

構造的な特徴としては、架橋場所の状況から馬桁付の構造が採用されたことである。以前にも同様の橋梁を施工した経験から、馬桁部は、部材厚があり温度応力によるひび割れが発生するおそれがあったため、温度解析を実施した。その結果に基づき内部温度応力による引張力に対応する必要な鉄筋量を馬桁内に追加配置して対応した。養生についても施工時期に応じて適切な処置を行った。その結果ひび割れが生じなかった。

現場は、上下部一体の発注形式であり下部工が終われば上部工がすぐ施工できるメリットがあった。打合せも JV 内で行えるため、資材搬入およびクレーン計画もスムーズに行えた。



写真 坂又川橋梁

また、完成時には現場見学会を開催し、市長を始め多くの小矢部市民の方々に来現していただき喜んでいただけた。皆さんの笑顔を見て、職員一同も笑顔になったことを思い出した。

現場でのエピソードといえば、東小神架道橋の上床版コンクリート打設前日を思い出す。12 月 25 日に打設を予定していたが、前日に雪が降ってきた。橋梁全体に養生屋根を設置して雪対策を施したが、型枠内に雪が入ってしまった。そこで、協力業者と職員で除雪を行った。しかし、鉄筋があるため思うように進まない。すると、様子を見に来た下部工の職長や協力業者が手伝ってくれて、さらに所長

以下職員全員が集まって雪を除去した。なんとその数 50 名になった。結局、除雪し打設できるようになったときには、夜中の 12 時を過ぎていた。養生上屋から、外へ出ると雪は止んでいた。現場内の一体感を感じた三年前のクリスマス・イブであった。



写真 東小神架道橋

最後に、北陸新幹線が開業した際には、ぜひ乗車して当時の記憶を思い出し、新幹線の旅を楽しもうと思う。

(株)安部日鋼工業 久保 誠

新高岡・金沢間の沿線情報

小矢部市は、高岡市と金沢市のほぼ中間に位置し、北陸自動車道と東海北陸自動車道・能越自動車道が十字に交差していることにちなんで命名されたクロスランドタワー（三角形チューブ構造、高さ 118 m）がまちのシンボルとしてそびえ立っている。本タワーは、全日本タワー協議会に加盟している全国 20 のタワーのうちのひとつであり、すべてのタワー展望台を制覇すれば、「完全制覇認定証」がもらえる。金沢に向かって左側の車窓から見れるかもしれない。



小矢部市のシンボル、クロスランドタワー

また、③小矢部川橋梁と④金腐川橋梁の間には、張出しスラブを在来線上空で施工した^{みろく}高架橋～第 1 森本駅高架橋がある（構造：ポストテンション T 形桁（セグメント）、橋長：315 m（25+6@30+26+3@28、すべて単純桁）、架橋地点：石川県金沢市 339 km637 m～ 339 km952 m）。

③小矢部川橋梁

構造形式：4 径間連続ラーメン箱桁橋

橋 長：293 m

本橋は JR 北陸本線石動駅の南東約 500 m の富山県小矢部市茄子島地内～綾子地内に位置し、小矢部川と渋江川の合流付近で 2 つの河川を跨ぐ 4 径間連続 PC ラーメン箱桁橋である。

基礎構造は橋梁端部の P1、P5 橋脚は場所打ち杭、河川内の P2～P4 橋脚はケーソン基礎（直径 10.5～14.0 m、長さ 19.0～22.5 m）であり、ニューマチックケーソン工法にて施工した。

工事着手後、P3、P4 橋脚設置位置に河川内支障物が発見され、計画の見直しが必要となったため、下部工施工は当初から 1 年遅れの平成 21 年 10 月から開始することとなった。この遅れをとり戻すべく、PC 上部工をワーゲン 4 基（2 非出水期施工）から 6 基（1 非出水期施工）の全 3 橋脚同時張出し架設とすることにより、上部工工程を当初の 21 ヶ月から 11 ヶ月とする計画に変更した。上部工の施工は、2010 年 10 月に開始し 2011 年 8 月に計画どおり完了した（写真）。



写真 上部工の張出し架設状況

本橋の設計は、第 2 非出水期で P2、P4 橋脚の張出し架設を行い出水期に側径間を閉合、第 3 非出水期に中央の P3 橋脚の張出し架設と中央閉合を行う計画であったため、上記の工程短縮を実施する際にもこの施工順序は変えず、設計の断面力や反力の大きな変更を回避した。

また、下部工施工時の支持層確認において、基礎の沈下量が大きくなることが懸念されたため、沈下抑制対策として地盤改良工を行った。この地盤改良は、当初は全体工程確保のために上部工施工と同時に作業として計画していた。しかし、P3 橋脚の柱頭部 1 ロット打設時に 2 mm の沈下が認められたため、予定を変更して 2 ロットの打設前に地盤改良を行い、地盤改良効果の発現時期を鑑みて、2 ロット以降の打設を 3 日遅らせて再開することで対応した。その結果、その後の沈下は収まり、各橋脚とも 2 mm 以内の沈下に抑えることができた。

本工事は、小矢部川 B を含む施工延長 550 m の規模であったが、想定外の工事着手遅延を克服し、予定どおり 2012 年 6 月に無事故無災害で全工事を完了することができた。

(株) 銭高組 赤津 基博

かなくさがわ
③⑦ 金腐川橋梁

構造形式：4 径間連続ラーメン箱桁

橋 長：205 m

金腐川橋梁は、東金沢駅の北東方向約 500 m、金沢市の海岸線から約 5 km の沖積低地に位置する橋梁である。標高は洪積丘陵との境界付近で 7.5 m 程度、地質は砂質土 (As) と粘性土 (Ac) 互層状で標高 -30 m 以深は砂礫層 (dg) が主体であり N 値は 50 以上ある。

本橋は、その前後を RC 高架橋と単純 T 桁で構成された高架橋区間にある。橋梁形式は内ケーブル方式の 4 径間連続ラーメン箱桁橋で、スパン割は起点側より 47 m + 64 m + 48 m + 46 m、軌道の線形は半径 4 000 m の緩和曲線区間、施工基面幅は 11.8 m である。

本橋の施工場所の特徴は、新幹線用地が旧北陸本線の跡地であったが、跨架する金腐川を始め、市道の地下道と 2 箇所交差し、移設された営業線である JR 北陸本線が近接するうえ、金腐川上の高圧電線の直下で施工するという難条件下にあった。そのため工事着手前には、各関係機関との協議、検討を重ね、安全対策に多く時間を費やした。

下部工の構造形式はオープンケーソン橋脚であり、沈設にともない前述の地下道および営業線への影響を検討するとともに、施工中にはそれぞれ変位計測を行いながら慎重に施工にあたった。

上部工の架設方法は、柱頭部、側径間および中央閉合部は固定式支保工架設、張出し部は移動式作業車による張出し架設で施工した。固定式支保工の一部には、管理者の了解を得て撤去が計画されていた旧北陸本線の鋼 I 桁橋を補強して転用し、支保の一部として使用した。また、金腐川の跨架部においては、特に工事用水の漏出や落下物に十分配慮し、工事の進入路となる起点側は住宅地であったため、工事車両の出入り等による公衆災害防止には万全を期した。

地元住民の方々のご協力と温かいご支援、ならびに発注者、関係機関のご指導および JV 構成会社のご協力により無事完成させることができた。

開業にともなう石川県のさらなる経済波及効果と、新幹線が通過する本橋がこの金腐川の川面にいつまでも美しく映ることを願い執筆のわりとする。



写真 金腐川橋梁全景

(株)大林組 向川 政明

かがさいがわ
③⑧ 加賀犀川橋梁

構造形式：2 径間連続ラーメン箱桁橋

橋 長：160 m

加賀犀川橋梁は、金沢の市街中心部より金沢駅の西側を流れ、日本海へと注ぐ犀川を渡河する橋梁である。犀川河川敷は、遊歩道として休日には多くの市民に利用されており、金沢駅～白山車両基地への新幹線工事の始まりとして注目された。

本橋は、犀川河川内の橋脚からの張出し施工であり、河川内の施工は、下部工を 1 渴水期、築島からの上部工の施工を 1 渴水期、高水敷を占用しての上部工の施工を出水期に実施した。起点側の張出し施工部は、金沢市道上空を跨ぐため、超低床型ワーゲンを採用して道路規制高さを緩和した (写真)。



写真 超低床型ワーゲンによる張出し施工

本工事は、全長にわたり JR 北陸本線に近接した営業線近接工事である。河川内の橋脚は、在来の北陸本線との構造物間隔が 4.9 m と近接する状況下でのニューマチックケーソン工法による施工であり、既設構造物への影響を最小限にするために以下のような対策を実施した。

- ① 北陸本線の犀川橋梁 (鋼桁スラブ軌道) は、上り線が大正の施工、下り線が明治の施工であり、ともに設計図面が不明であったため、衝撃振動試験により既設構造物の健全度評価を行った。
- ② FEM 解析により、ケーソン沈下施工時の既設橋脚の変形予測を行い、遮断防護工の要否を確認した。
- ③ ケーソン掘削時のエアブロー防止として、函内の水中掘削の徹底とともにエアブロー回収装置をケーソン刃口上部に設置した。
- ④ 北陸本線の既設構造物の計測管理として、半導体レーザーと高精度 CCD カメラを組み合わせた鉛直・水平変位の同時計測を行った。
- ⑤ ケーソンの傾斜状況をリアルタイムで掘削管理に反映させるため、函内モニターを活用した沈下掘削制御を行った。

本工事は、加賀犀川 B を含め施工延長 720 m、工期約 5 年を無事故無災害で乗り切り、2012 年 5 月に竣工した。

(株)銭高組 松谷 満

ふしみがわ
③⑨ 伏見川橋梁

構造形式：PC 3 径間連続箱桁橋
橋 長：180 m

伏見川橋梁は、石川県金沢市内を流れる犀川水系の二級河川伏見川を横断する橋長180 mの橋梁である。本橋梁は、JR 北陸本線と市道に挟まれた狭隘なスペースでの工事であり、営業線、一般車両および通行人への十分な安全対策を実施した上で施工を行った。

基礎構造は、橋梁端部の P1、P4 は場所打ち杭、河川付近の P2、P3 はケーソン基礎である。ケーソン基礎は、直径 8.5 m、長さ 16.0 m の円筒構造であり、ニューマチックケーソン工法にて施工した。ケーソンの沈設精度を確保するために、傾斜計による自動計測を行い、直交 2 方向の傾斜を常時監視し、過度の傾斜を防止するように制御した。また、作業室内の函内気圧計によりリアルタイムに気圧測定を行い、送気コントローラの作動状況を管理・制御することにより、沈設作業の安全性および圧気不足による急激な沈下を防止した。

上部工は、3 径間連続箱桁構造であり、両側径間を固定式支保工により構築したのち、中央径間を張出し工法により施工した。また、中央径間連結部の吊支保工は、移動作業車を連結部まで移動し、移動作業車の梁材および型枠材等を支保工として転用した（写真）。



写真 中央径間連結部吊支保工

上部工の施工では、高品質のコンクリートを打設することが最大の課題であり、①コンタクトゲージ法（JIS A 1129-2）によるコンクリート収縮量の事前確認、②プラントから現場搬入時までのスランプの経時変化の事前確認による打設コンクリートのワーカビリティの確保などのフレッシュコンクリートの品質確保、③保湿性、保温性が優れる高機能養生マットによる養生状態の品質向上ならびに、④静弾性係数試験により得られた実弾性係数を用いた緊張管理値および上げ越し管理値の使用による構造物の品質向上対策を実施した。

本工事は、伏見川橋梁を含む施工延長 1 095 m の規模であり、平成 21 年 3 月から約 3 年間の工期であったが、工事用地の取得遅れなどの影響により工期が延伸され、平成 25 年 7 月に、無事故無災害で全工事を完了することができた。

鉄建建設（株） 佐藤 茂美

かなつるぎ
④⑩ 金剣架道橋

構造形式：馬桁一体 2 径間連続 PC 箱桁橋
橋 長：86 m

本工事は、石川県白山市五歩市町地内から西新町地内において、延長 1 123 m の中に高架橋や橋梁を建設するものであり、全区間にわたり JR 北陸本線と近接し民家と営業線に挟まれた狭隘な場所であった。また、市道を跨ぐ固定支保工での施工では、桁下空頭、道路幅員、防護方法などを十分検討して対策を実施した。

金剣架道橋は、橋長 86 m（43 m + 43 m）の桁中央部に馬桁を有する複線 2 径間連続横梁一体 PC 箱桁橋であり、固定式支保工により施工した。主桁は二室箱桁断面であり、桁高は主桁部 3.8 m、馬桁部 4.1 m となっており、馬桁梁は左側だけが主桁から張り出した構造となっている（写真）。

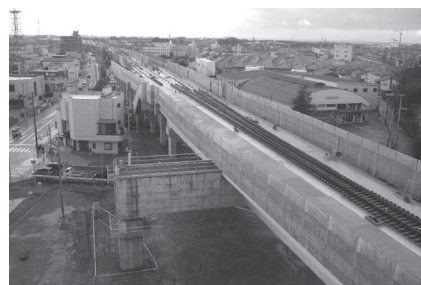


写真 金剣架道橋全景

本橋の構造的特徴としては、水平力の分散および軌道に対する変位の影響に留意して、下図に示すようなダンパーストッパーを設置していることがあげられる。

地震時の水平力の各橋脚への分散は、線路方向については P1、P3 ではオイルダンパーにより弾性支持され、P2（馬桁部）では直接受箱にぶつかり固定支持となる。また、線路直角方向は P1、P3 が受箱により固定支持され、P2 がオイルダンパーにより弾性支持される。また、供用時の温度変化による軌道の変位は、馬桁を線路直角方向に配置しているため、線路方向、線路直角方向ともに主桁、馬桁それぞれの中央を不動点とした伸縮となる。

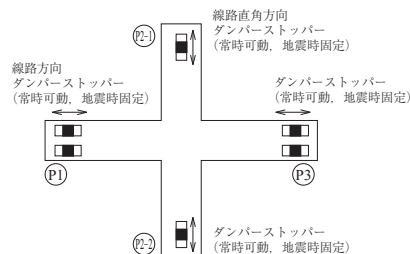


図 ダンパーストッパーの配置と支持条件

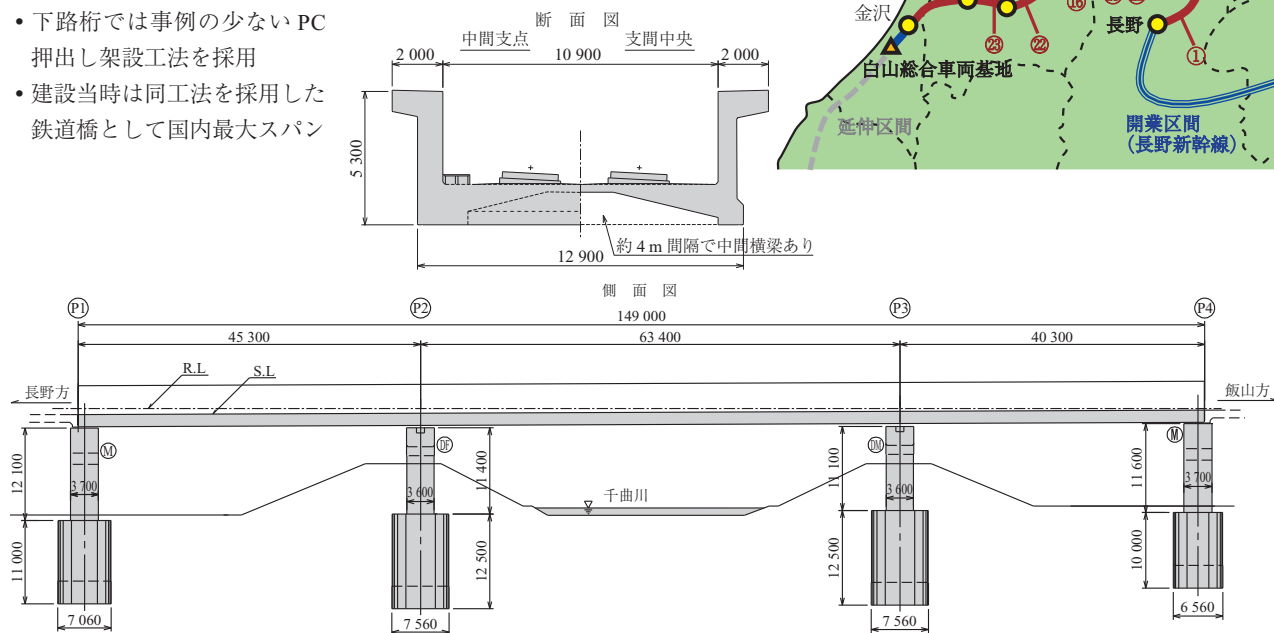
本工事は、2009 年 4 月の工事着手から約 3 年半後の 2012 年 11 月に全構造物が完成した。

（株）銭高組 島村 敬一郎

7. 特徴的な構造や施工方法を採用した PC 橋 一般図

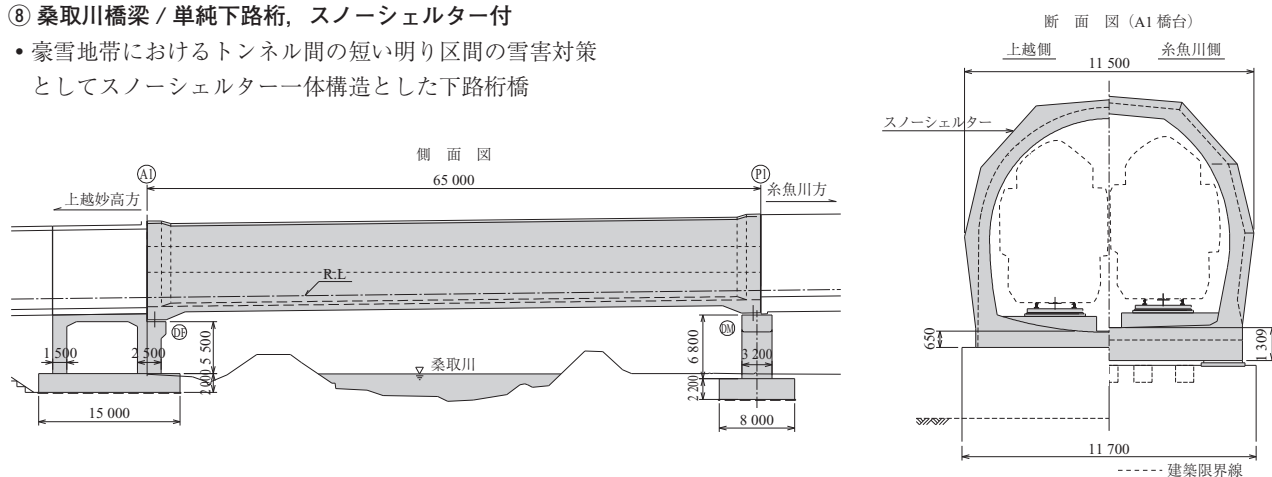
① 鳥居川橋梁 / 3 径間連続下路桁

- 下路桁では事例の少ない PC 押し架設工法を採用
- 建設当時は同工法を採用した鉄道橋として国内最大スパン



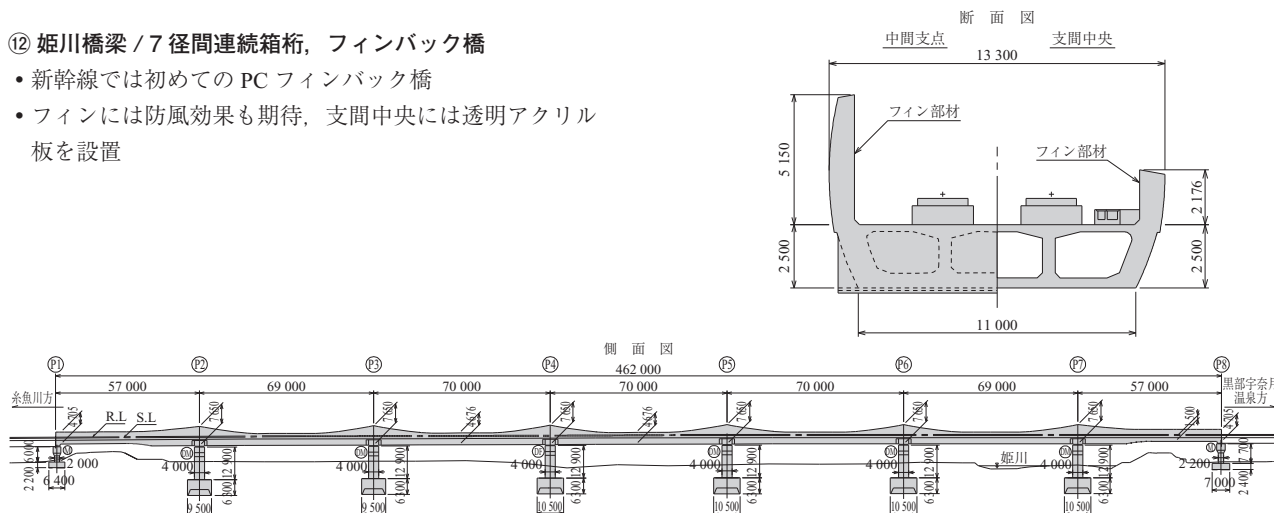
⑧ 桑取川橋梁 / 単純下路桁, スノーシェルター付

- 豪雪地帯におけるトンネル間の短い区間の雪害対策としてスノーシェルター一体構造とした下路桁橋



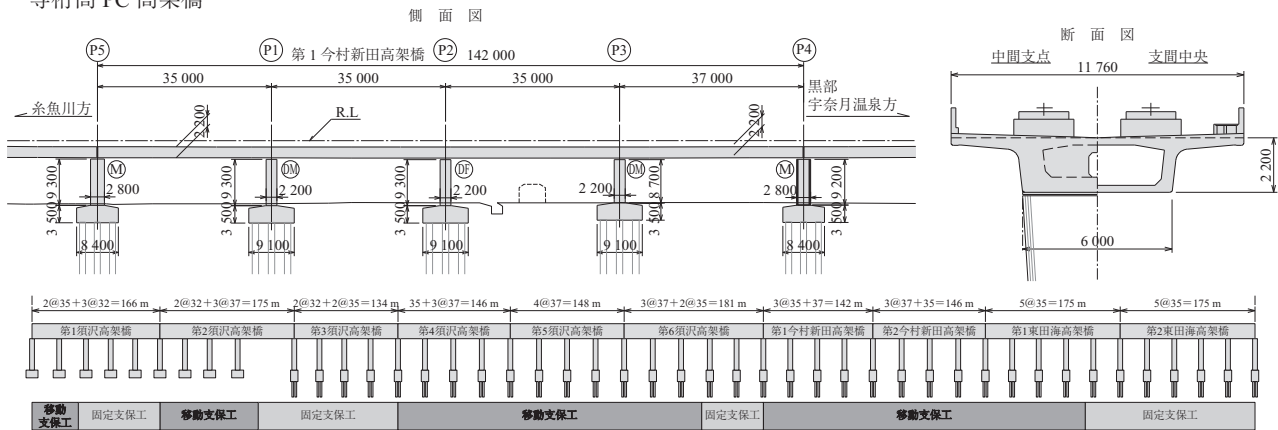
⑫ 姫川橋梁 / 7 径間連続箱桁, フィンバック橋

- 新幹線では初めての PC フィンバック橋
- フィンには防風効果も期待, 支間中央には透明アクリル板を設置



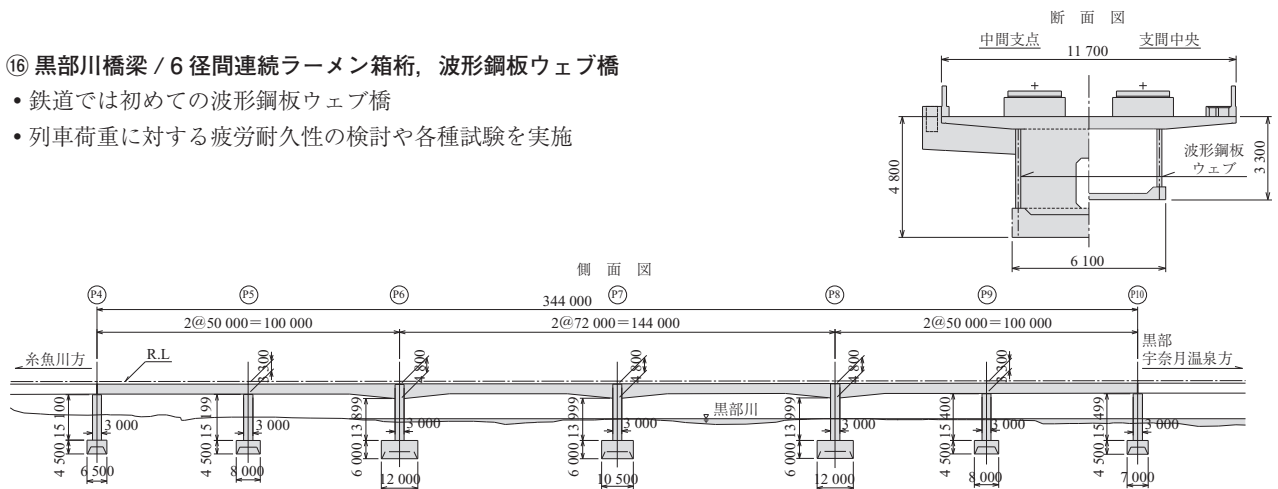
⑬ 今村新田高架橋 / 4～5 径間連続箱桁

- 交差構造物が多い施工条件より移動式支保工を採用した
等桁高 PC 高架橋



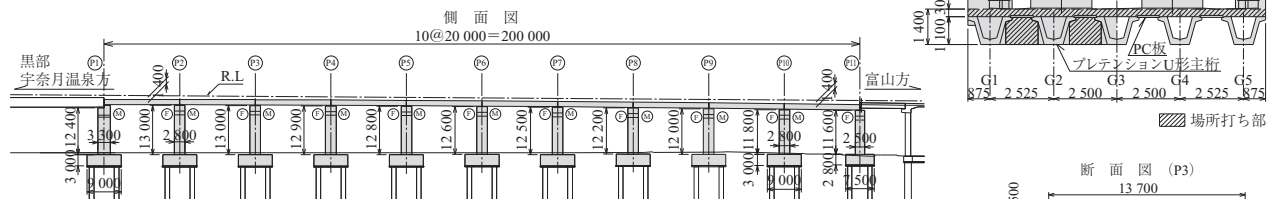
⑯ 黒部川橋梁 / 6 径間連続ラーメン箱桁，波形鋼板ウェブ橋

- 鉄道では初めての波形鋼板ウェブ橋
- 列車荷重に対する疲労耐久性の検討や各種試験を実施



⑳ 富山稲荷千歳高架橋 / プレテンション U 形桁

- 新幹線では初めてのプレテンション U 形桁橋
- 在来線に挟まれた狭隘な区間での高速施工を実現



㉑ 神通川橋梁 / 4 径間連続エクストラード橋

- 長野・金沢間では唯一のエクストラード橋
- 最大スパン 128 m は鉄道橋としては国内第 2 位

