

新幹線初 道路橋と下部構造が一体の7径間連続PC箱桁橋の設計・施工

— 北陸新幹線^{くずりゅうがわ}九頭竜川橋梁・福井県道^{くずりゅう}新九頭竜橋 —

Design and Construction of 7-Span Continuous PC Box Girder Bridges Share with Substructures Both Road and Shinkansen for The First Time

— Hokurikushinkansen Kuzuryu River Bridge · Fukui Prefectural Road Shin-Kuzuryu Bridge —

Takahashi Gentaro
高橋 源太郎*

Yoshizumi Ichiro
吉住 一郎**

Abe Masashi
阿部 雅史***

Noda Takushi
野田 卓史****

Yanagizawa Yoshiki
柳沢 義貴*****

Awazu Seiji
栗津 成司*****

はじめに

鉄道・運輸機構（以下、JRTT）が整備する北陸新幹線（金沢・敦賀間）の「九頭竜川橋梁」ならびに福井県の県道福井森田丸岡線「新九頭竜橋」は、一級河川九頭竜川を渡河する7径間連続PC箱桁橋であり、鉄道橋と道路橋が下部工を共用した一体橋である（写真-1）。鉄道と道路の一体橋は、在来鉄道に複数橋あるが整備新幹線では初めてである。本橋梁の周辺は、カジカ科の淡水魚である「アラレガゴ生息地」として国の天然記念物に指定されている^{1),2)}。このため、河川への環境負荷の低減に向けて事業主体のJRTTと福井県が社会資本整備に連携して取り組み本橋梁は実現した。橋梁の施工は下部工を一括してJRTTが行い、上部工の架設は先にJRTTが鉄道橋を、続いて福井県が道路橋を施工した。本稿は、河川環境に配慮した鉄道・道路一体橋の設計施工ならびにその成果について報告する。



図-1 北陸新幹線と福井森田丸岡線



写真-1 九頭竜川橋梁と新九頭竜橋

1. 事業概要

北陸新幹線（金沢・敦賀間）は、JRTTが2012年6月に工事実施計画の認可を受け、長野・金沢間の開業（2015年3月）からおおむね10年強後の完成を予定して工事に着手した約125 kmの線区である。現在は2023年度末の開業に向けた設備工事を行っている。九頭竜川橋梁は、高崎起点415 km 332 m～415 km 746 mにある全長

414 m、最大支間65 mの7径間連続PC箱桁橋であり、福井駅の約6 km 起点側に位置する。

一方、福井県は、北陸新幹線のルート付近に一般県道福井森田丸岡線を計画している。福井森田丸岡線は、福井市開発町を起点とし、坂井市丸岡町舟寄で福井港丸岡インター連絡道路に接続する幹線道路である。福井市内の約4 kmは新幹線に並走しており、県道橋の九頭竜橋が2022年10月に開通したことで九頭竜川渡河部の並行する道路の交通渋滞が緩和されている（図-1）。

2. 橋梁の構造計画

2-1 河川環境への配慮事項

本橋梁は当初、道路橋と新幹線橋は別々に計画されていたが2006年に都市計画の変更によって一体構造となった。図-2に橋梁の縦断および平面図を示す。A1・A2橋台は堤防方向に、P1～P6橋脚は流下方向に設置しており、上部工に対して斜角を有している。図-3に橋梁断面を示す。上部工は新幹線の両側に道路の上下線が並ぶ配置である。九頭竜川に取りつく堤内地側は、新幹線は高架橋、道路は盛土となるため、堤体中に設置する下部工は、

* (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北陸新幹線建設局 福井工事部 工事第三課 課長
 ** 鉄建・安部日鋼・清水組JV 鉄建建設(株) 名古屋支店 JV九頭竜作業所 元所長
 *** 八千代エンジニアリング(株) 事業統括本部 構造・橋梁部 専門課長
 **** 福井県 福井土木事務所 道路第一課 北部グループ 主任
 ***** (株)日本ピーエス 北陸支店 技術グループ 新九頭竜橋(左岸側) 作業所 監理技術者
 ***** (株)構造設計研究所 代表取締役社長

キーワード：鉄道・道路併用橋、新幹線、環境対策、連続PC箱桁、ケーソン

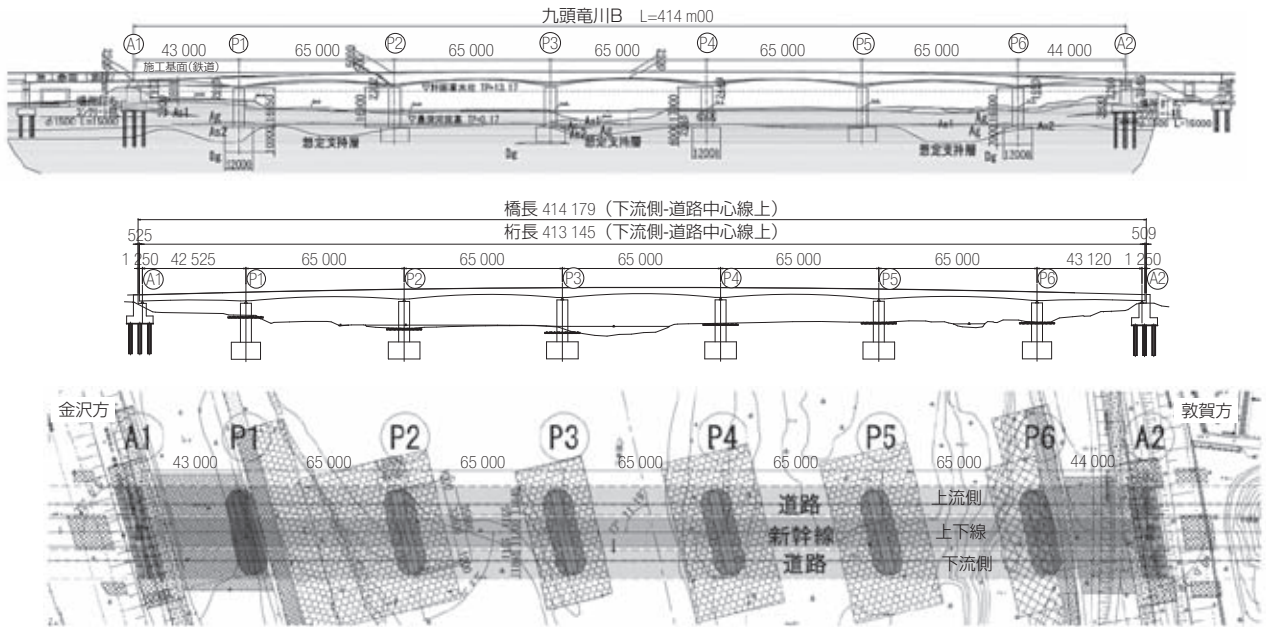


図-2 橋梁の縦断（上段：鉄道橋，下段：道路橋）と平面

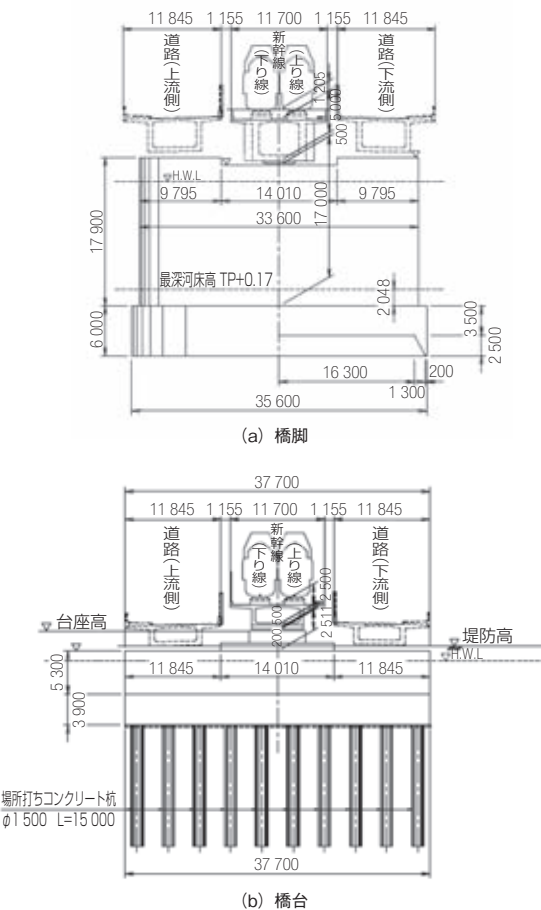


図-3 橋梁断面

鉄道・道路は一体構造の橋台とした（河川管理施設等構造令第61条³⁾）。

河川の占用許可を受けるにあたっては、福井県文化財担当課および福井市教育委員会を通じて文化庁に天然記念物の現状変更等許可申請を行う必要があった。さらに、国土交通省による自然再生事業が進められており、環境への配慮が求められた。そこで、申請に際して有識者の助言を踏まえて以下の対策を検討した^{1),2)}。

①橋脚位置の選定にあたって流れを阻害せず、魚類遡上への影響を軽減するよう配慮する。

表-1 全体工程

構造部位	年	2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023											
		非出水期		第1	第2	第3	第4	第5	第6	第7	第8		
下部工	A1～P3												
	P4～A2												
上部工	鉄道	左岸											
		右岸											
	道路	左岸											
		右岸											
護岸工・護床工													

非出水期：10月16日～翌6月15日 8カ月
 ※ 堤内地施工

②濡筋（みおすじ）を含む低水敷の流水部では瀬替えによる施工を避け、スパンを広くとった仮橋・仮設構台による施工とする。

③施工中の魚類遡上経路確保を目的として河川内に素掘り水路を設置する。

④橋脚護床工および護岸根固め工には生態系への配慮、景観および周辺環境との調和に着目し、自然石型の大型連節ブロックを設置する。

⑤仮橋・仮設構台周辺にシルトフェンスを設置し、ケーソン築島に耐候性土のうを使用して濁水防止策を図る。

⑥水質や動植物の生育環境に関し、定期的にモニタリング調査を行う。

これらを橋梁の設計施工に反映することで文化庁から「現状変更等の許可」が2014年10月に、河川管理者から「河川占用許可」が2014年11月に下り、2015年10月から河川内の工事を開始した。工事工程を表-1に示す。

2-2 基準径間長とスパン割り

渡河部における九頭竜川の河川幅は398.4 m、計画高水量Qは5 500 m³/sである。基準径間長Lは、河川管理施設等構造令第63条³⁾により $L = 0.005 \times Q + 20 = 47.5$ m、最大径間数は、 $398.4 \text{ m} \div 47.5 \text{ m} = 8.39$ であり8径間となる。一方、橋脚の位置を決定するにあたり、アラレガコの生息範囲を調査した結果では、生息は左岸側のみ確認され、右岸側の砂州部には確認されなかった。そこで、橋脚の配置は、河川環境への影響を考慮して低水敷の流水部にP2、P3橋脚を、土砂堆積部にP4、

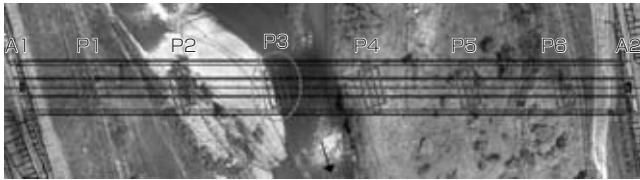


図-4 橋脚と溝筋の位置関係

P5, P6橋脚を配置し、河川の主流がP3, P4橋脚の間を流れる7径間とした。これにより図-4に示すように生息が確認された溝筋付近への橋脚配置を回避した(対策①)。

以上の結果、本橋梁の河積阻害率は6.9%となった。河川管理施設等構造令第62条の解釈によると道路橋の河積阻害率は原則5%までであるが、新幹線や高速道路などの重要構造物については7%まで許容されるため³⁾、道路橋については一体構造の利点が活用されている。

2-3 護岸・護床

河川内に橋脚を設置することによる水位の上昇、流速の増大、河床変動、局所洗掘による河川管理施設の影響については流況解析を行い、河川管理者との協議によって対策工を決定した。流況解析結果を図-5に示す。解析の結果、橋脚の設置による水位の上昇は5 cm以下であるが、橋脚周辺と下流部の河床変動に対する洗掘防止工、護岸部の一部で流速が増加することによる護岸工(条件護岸を含む)を行った。河川環境に配慮した護岸工の仕様を表-2に、実施状況を写真-2に示す(対策④)。

2-4 橋梁設計

(1) 橋脚・橋台

本橋梁の下部工は、鉄道橋と道路橋が一体となった構造であるため、下部工の設計は、鉄道構造物等設計標準・同解説^{4)~7)}ならびに道路橋示方書・同解説^{8)~10)}を満たす



(a) 低水護岸根固め工(自然石系) (b) 低水護岸根固め工(コンクリート)

写真-2 護岸工の実施

表-3 設計基準等の比較

項目	鉄道橋	道路橋
橋種	7径間連続PC箱桁	
重要度	重要構造物	B種
地盤種別	橋脚：G1地盤 橋台：G2地盤	橋脚：I種地盤 橋台：II種地盤
適用基準	鉄道構造物等設計標準	道路橋示方書
支承条件	ゴム支承+ダンパーストッパー	免震支承
基礎	橋台：場所打ち杭φ1500, L=15.0m 橋脚：1ロットケーソン, h=6~10m	

ように実施した。表-3に設計基準等の比較を示す。

橋梁基礎の支持層は、最深河床から約1~8m以深に分布する洪積砂礫層とし、橋脚の根入れ深さは最深河床高から2m以上、橋台は河川管理施設等構造令第61条³⁾に基づき堤防地盤高以上とした。また、耐震設計上の基礎面(せん断弾性波速度が400m/s以上)より上の表層地盤は、鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計⁴⁾では河川内橋脚がG1地盤であり、堤体位置の橋台がG2地盤である。道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説^{8),9)}では、河川内橋脚がI種地盤、橋台がII種地盤である。

河川内工事が許可される非出水期は10月16日~翌年6月15日までの8カ月であり、地盤条件、瀬替えを行わずに1非出水期で施工可能な基礎形式を検討した。検討の結果、橋脚は幅35.6m×12mの小判形のワンロットケーソン6基を1非出水期に3基ずつ施工することとした。ワンロットケーソンは、鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物⁵⁾に基づき、直接基礎に準じて設計している。非出水期に川表側に仮締切りを設置・撤去する橋台については、通年施工が可能であり、杭基礎を採用した。

橋脚躯体について上部工の桁受け部は、高水時に下向きの偏流が生じて河床が洗掘されるのを防ぐため、桁受け梁を設けない形状とした。これにより、躯体の幅は橋軸直角方向が33.6m、橋軸方向が4.5mの小判形となった。橋の桁下高は、河川管理施設等構造令第20条³⁾より、計画高水位H.W.Lに加える余裕高は、 $5000\text{ m}^3/\text{s} \leq Q < 10000\text{ m}^3/\text{s}$ の河川は1.5mである。橋梁付近のH.W.Lは14.574mであり、余裕高 $1.960\text{ m} \geq 1.5\text{ m}$ を確保し、躯体高は16.4~17.0mとした。

図-6にA2橋台の桁座平面を示す。橋台の設計は背面に道路盛土の土圧が作用することから、橋台として行い、鉄道の上部工は橋台天端に桁受け台を設けて支持する構造とした。道路橋上部工の支承は、下部工に合わせた斜角配置としている。一方、新幹線の軌道構造はスラブ軌道であること、ならびに列車の走行性の観点から、桁にねじり変

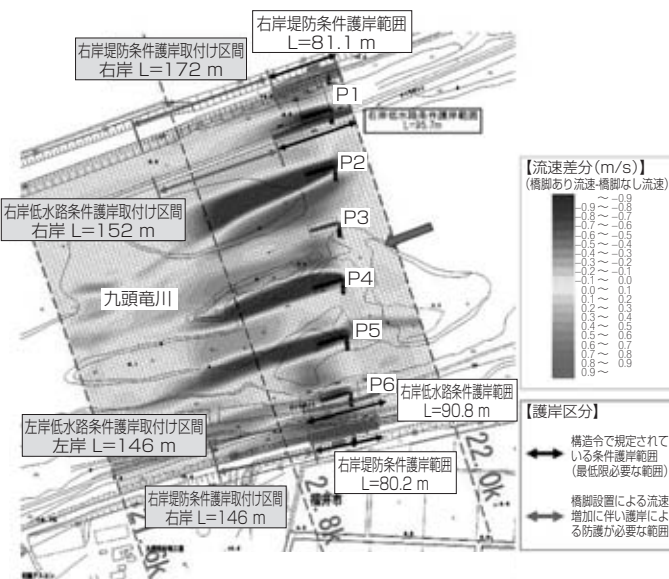


図-5 河川流況解析結果(流速差分)

表-2 護岸工の仕様

護岸工種	仕様	
高水護岸工	大型連節ブロック	
高水敷保護工	コンクリートブロック	
低水護岸根固め工	右岸方	自然石系ブロック
	左岸方	コンクリートブロック
橋脚護床工	P1・P6	コンクリートブロック
	P2~P5	自然石系ブロック

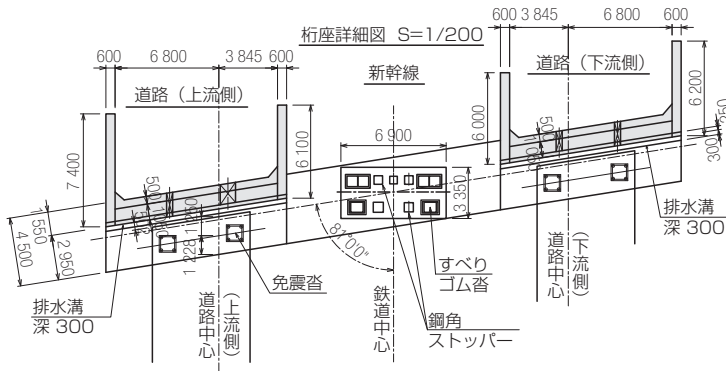


図-6 A2橋台桁座平面

表-4 かぶりと水セメント比 (W/C)

構造部位	設計基準強度 (N/mm ²)	セメントの種類	かぶり (mm)	W/Cの上限值 (%)
ケーソン	30	早強	70	55
中埋め	18	高炉	—	—
下部工躯体	30	高炉B種	90	45
PC桁	鉄道	普通/早強	70	43
	道路	早強	35	55

表-5 橋軸方向の支承構造

項目	項目	A1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	A2
		鉄道橋	支承条件*1	M	DM	DM	DM	DF	DM
	支承	滑りゴム	滑りゴム	滑りゴム	ゴム	ゴム	ゴム	滑りゴム	滑りゴム
	常時	可動	可動	可動	可動	固定	可動	可動	可動
	地震時	可動	固定	固定	固定	固定	固定	固定	可動
道路橋	支承条件*2	E	E	E	E	E	E	E	E

*1 DM: ダンパーストッパー (可動), DF: ダンパーストッパー (固定), M: 鋼角ストッパー (可動), *2 E: 免震支承

形が生じないことが望ましいため、支承は橋軸直角方向に配置している。

(2) 塩害対策

本橋梁は海岸から14 km以上離れており、鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物⁶⁾によると塩化物イオンに関する検討は不要となるが、積雪寒冷地にあるため、道路橋は塩化物イオンを含む凍結防止剤を散布する可能性があった。そこで、道路橋については道路橋示方書 (Ⅲコンクリート橋編)・同解説¹⁰⁾に基づき、水セメント比の低減、鋼材かぶりの増および表面含浸剤の塗布による対策を施した。鉄道橋についても道路橋からの凍結防止剤の飛散による塩害対策として箱桁外側の鋼材かぶりを増やし、さらに表面含浸剤を塗布した。

下部工については塩害対策に有利な高炉セメントコンクリートを使用した。なお、整備新幹線では下部工の鉄筋にSD390を標準的に使用するため、道路橋示方書¹⁰⁾に準拠してコンクリートの設計基準強度は30 N/mm²とした。表-4に鋼材のかぶり、水セメント比W/Cの上限值を示す。

(3) 支承構造

橋軸方向の支承構造を表-5に示す。下部工は支持層が浅く固有周期が短いため、道路橋の支承には地震時に桁の振動周期を長くすることで下部工の負担を緩和できる免震支承を採用した。免震支承には「鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB)」と「高減衰積層ゴム支承 (HDRS)」がある。LRBは鉛の塑性変形によって減衰機能を発揮し、HDRSはゴム材料自体の粘性抵抗や摩擦抵抗によって減衰機能を発揮する。本橋梁の免振支承は、図-7(a)に示すスプリング拘束型鉛プラグ入り高減衰積層ゴム支承 (SPR) を適用した。SPRは鉛プラグ周囲のゴム層に小型のスプリングを入れてゴム層を補強することで2つの減衰部材 (鉛プラグと高減衰ゴム) を集約した支承である¹¹⁾。SPRの適用により、鉄道基準のL2地震においても道路橋の移動量は500 mm程度であり、HDRSより桁遊間を100 mm程度縮小することができた。これに伴い、伸縮装置が縮小され経済化が図れた。また、支承形状もゴム本体の体積は約20%の減となった。

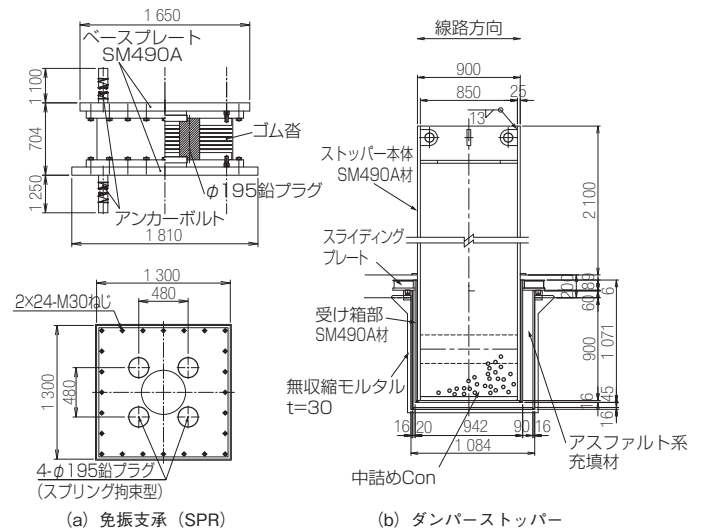


図-7 各橋の支承構造

一方、スラブ軌道を適用している新幹線橋梁では、橋軸方向の桁遊間が250 mmを超えると特殊な軌道構造の検討が必要になるほか、軌道の維持管理性についても低下する。そこで、地震時においては支承部が固定ストッパーとして機能し、水平力を多脚で分担できるダンパーストッパー (図-7(b)) をP1~P6橋脚に採用した。これによりL2地震において可動側のA1・A2橋台の橋軸方向変位は220 mmであり、桁遊間を250 mm以下に抑えることができた。

本橋梁は、表-5に示すように支承構造が道路橋と新幹線橋と異なるため、地震時の桁の挙動が相違する。そこで、静的非線形解析による耐震設計に加え、地震時の上部工どうしの衝突が生じないことを確認するため、道路基準のL2地震動および鉄道基準のL2地震動 (スペクトルⅡ) の適合波による時刻歴応答解析を行った¹²⁾。解析の結果、道路橋と鉄道橋の最小離隔は、橋軸直角方向に各橋が逆位相で接近した場合においても600 mm以上 (常時の橋梁離隔は1155 mm) あり、上部工どうしの衝突が生じないことを確認した。橋脚躯体の配筋量を決定する設計水平震度は、道路基準が支配的となった。

(4) 新幹線橋梁の走行安全性

設計最高速度260 km/hで走行する新幹線は、L1地震

表-6 軌道面の角折れと振動変位

項目	構造物	1P	2P	A1	A2	3P	4P
角折れ $\theta/1000$	種類	平行移動	折れ込み	折れ込み	折れ込み	折れ込み	平行移動
	応答値	3.29	3.60	2.23	1.75	3.54	2.93
	限界値	5.10	(5.25)	3.50	3.50	(5.25)	5.10
振動変位 s/mm	照査値	0.65	0.69	0.64	0.50	0.67	0.58
	応答値	2 580	2 910	1 400	1 400	2 500	2 500
	限界値	4 100	4 100	4 100	4 100	4 100	4 150
	照査値	0.63	0.71	0.34	0.34	0.61	0.62

注) () は振動変位の照査値で緩和した値を示す

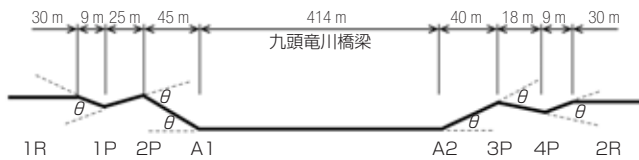


写真-4 ケーソンの掘削

が生じた際に列車の走行安全性を確保する必要がある。鉄道橋の地震時の走行安全性の照査は、鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限⁷⁾に基づき、慣性力によって軌道面に生じる折れ角および振動変位の照査を行っている。照査結果を表-6に示す。いずれも照査を満たしている。なお、A1・A2橋台は橋軸直角方向の幅が広いので、地震時の応答変位は極めて小さいが、A1・A2橋台に隣接する堤内地側の橋脚(表-6の2P・3P)は橋軸直角方向の幅が狭い。そのため、応答変位および固有周期の差は大きくなるがA1・A2橋台の限界値は、振動変位の限界値に対する応答値の比率で緩和できるため、その措置を講じた。

3. 下部工の施工

3-1 仮設栈橋工

第1非出水期にはP4～P6橋脚を、第2非出水期にはP1～P3橋脚を施工した。瀬替えによる施工を避けてスパンの広い仮栈橋による施工を行うため、仮栈橋(H鋼杭+プレートガーダー)を右岸側に設置した(条件②)。クローラクレーン等の作業床と覆工板は、非出水期の最高水位よりも高い位置とした。H鋼杭の施工は、河川の汚濁を低減できる岩盤杭打ち工法(ウォータージェットを併用したパイプロハンマ工法)を採用した。写真-3に打設状況を示す。この工法は、岩砕粉の洗浄除去に低圧の水ジェットを使用するため周辺地盤を乱さないといった特徴がある^{13),14)}。

3-2 築島工

ケーソン基礎の施工では、沈下掘削時に冠水しないように築島を構築した。刃口構築および沈下掘削時の荷重で築島が円弧すべりによる崩壊を防止するため、抑止工と

して法尻にH鋼杭(H-400×400, L=6.5～7.5 m, @2.0 m)を打設した。さらに冠水時の築島の洗掘および流失を防止するため、上流側を鋼矢板で防護した。鋼矢板の配置形状は、河川の流れを阻害しないように鋭角に締め切った。

3-3 沈下掘削工

ケーソンの諸設備は、増水時に水没しないように堤内地に配置した。ケーソンの艀装は、マンロック、マテリアルロックを各2カ所設け、沈下掘削に応じてシャフトを継ぎ足した。掘削は作業床内に天井走行式掘削機を4台設置して有人掘削とした(写真-4)。掘削深度は14.2～20.8 m、最大函内圧力は0.18MPaである。沈下掘削時の傾斜は、橋軸方向(短辺方向)で最大約50 mm、上下流方向(長辺方向)で最大約100 mm、偏心量は許容値50 mmに対して最大27 mmであった¹⁵⁾。

4. 上部工の施工

4-1 鉄道橋の施工

(1) 施工概要

鉄道橋の架設は、移動作業車による張出し架設を第3非出水期および第4非出水期に行った。工程短縮を図るために最大4基の移動作業車が2橋脚から同時に張り出し、3カ所の中央閉合を移動作業車で施工した¹⁶⁾。移動作業車の足場は、河川への汚濁水および資材等の落下防止として防水シートを貼り、シートのラップ部を溶着して一体化した(写真-5)¹⁵⁾。なお、側径間の施工は全支保工で架設した。

(2) 上げ越し管理

新幹線橋梁は新幹線車両が高速で走行するため、床版面



写真-3 仮栈橋H鋼杭の打設

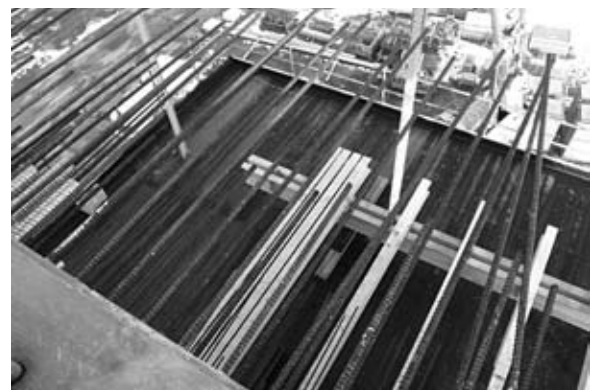


写真-5 シート防水

表-7 上げ越し管理に用いた弾性係数

上部工コンクリート強度 σ_{ck}	40 N/mm ²	
弾性係数 E_p	設計計算	31 kN/mm ²
	上げ越し計算	33 kN/mm ²



写真-6 グラウト充填性試験

および軌道面の高さ管理には高い精度が求められる。そこで、上げ越し管理の精度向上策として上部工の施工開始前にコンクリートの静弾性係数を測定試験から得た値（表-7）を用いて上げ越し計算を行い、軌道敷設時に計画高になるように管理した¹⁵⁾。

(3) PC鋼材の耐久性向上

PC鋼より線は、工場出荷からグラウト充填までの防錆対策として工場出荷時に一時防錆処理を行った。グラウト注入には、通常のグラウト設備に加えて排出側に真空ポンプを接続してシー管内を1/10気圧に保持した状態で注入を行い、グラウト材に内在する気泡を圧縮して微細化することにより空気溜まりの発生を抑制した。本橋梁は、中間支点部においてPC鋼材の曲げ下げ角度が最大35°の箇所があるため、参考文献17)に準じて事前に実物大によるグラウトの充填性に関する試験を実施した(写真-6)。充填試験では実際の施工時に使用する真空ホンプも併用した結果、充填状況は良好であった^{12),13)}。

4-2 道路橋の施工

(1) 施工概要

道路橋の架設は、移動作業車による張出し架設を行った。左岸側は新幹線の橋梁工事がおおむね完了しており、先に左岸側を架設した。架設における課題としては、①新幹線橋が隣接した中での施工、②工程短縮、③中央閉合部の出来形管理であった。

(2) 架設順序と移動作業車の干渉防止

1シーズン目(第4非出水期)は、橋脚に斜角がある構造を生かし、新幹線の移動作業車から離れた位置からの施工となる下流側から張出し架設を行った。柱頭部を含めると最大5橋脚から同時に張出し架設を行い、工期短縮を図った¹⁸⁾。2シーズン目(第5非出水期)以降は、隣り合う橋脚から張り出す移動作業車どうしが干渉による作業待ちが生じないように施工位置が上下線で互い違いとなるように張出し架設を行った。

(3) 電柱基礎と移動作業車の干渉防止

道路橋と鉄道橋の上部工は、1 m以上の離隔をとっているが鉄道橋の張出し床版下には約43 m間隔で電柱基礎コンクリートがあり、移動作業車の移動を行う際に足場が施工中に接触する懸念があった(図-9)。そこで、事前に道

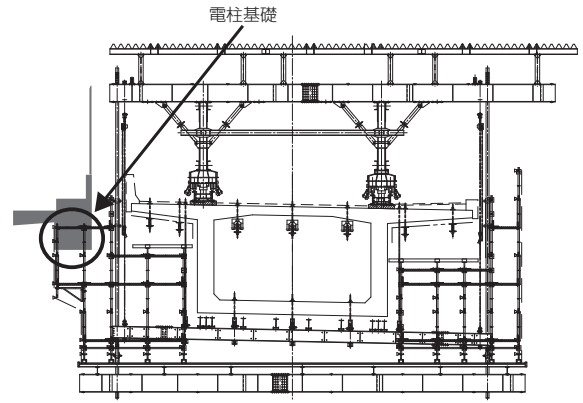


図-9 移動作業車と足場の位置関係



写真-7 移動作業車の荷振り

路橋と鉄道橋の基準高を確認し、移動作業車の足場の組換えを最小限にするため、スパンおよび支柱割りを検討し、移動作業車の移動前に足場を組み換えることで鉄道橋への接触を回避した。

(4) 翌シーズンに向けた工程短縮

出水期は移動作業車の下段作業台まで計画高水位が達するため、出水期前に移動作業車をいったん解体する。しかし、次のシーズンも張出し施工を行うため、次のシーズンに施工する箇所に移動作業車の上部(レール・ジャッキ関係・トラス・上部横梁)を組み立てた状態で仮置きし、残りの部材は張出し施工が完了した橋面に仮置きした。

次のシーズンの移動作業車の組立ては、移動式クレーンによって移動作業車の部材を所定の位置まで荷振りして組み立てた(写真-7)。これにより、一度すべての移動作業車を解体して再度組み立てた場合の15日間よりも1橋脚当たり5日間短くなり¹⁸⁾、6橋脚全体では約1カ月の工程短縮の効果があつた。

(5) 上げ越し管理

非出水期限定施工の場合、一般的に出水期間は橋面に荷重がかからず、上げ越しの際はクリープ変化のみを考慮している。本橋梁では1シーズン目に張出し施工が完了したP5上流側・P4およびP6下流側の橋面に移動作業車以外を仮置きするため、桁端でのたわみが大きくなり、閉合時の高さ調整が困難になることが懸念された。そこで、重量物の仮置きは柱頭部付近とした。移動作業車の撤去後に桁天端高を測定した結果は、変化量が大きい箇所では約10 mmの変化であり、出来形規格値±20 mmの範囲内であった。上げ越し計算では約9 mmのクリープ変化を考慮していたため、誤差はほとんどなかった¹⁸⁾。

5. 橋梁付帯設備と維持管理

5-1 新幹線橋梁の防音壁

防音壁の設置状況を写真-8に示す。新幹線の防音壁の構造は、地覆コンクリートが防音壁H鋼支柱を支持し、支柱間に遮音板をはめた構造である。支柱間は塩害対策として溶融亜鉛めっきを施し、地覆コンクリートの鉄筋にはエポキシ樹脂塗装鉄筋を適用している。遮音板はR.L.+2mの高さまでは空洞PC板、R.L.+2mから上部は透明なポリカーボネート板を使用して景観や車窓に配慮した。

新幹線の防音壁の形状と雪害対策の方法は相互に関係する。新幹線の雪害対策には、貯雪式や散水消雪式などがあり、本橋梁には貯雪式を適用した。貯雪式は、路盤鉄筋コンクリートの高さを高くすることで、降った雪を橋面上に



写真-8 新幹線橋の防音壁



写真-9 道路橋の積荷転落防止柵

貯める方法である。防音壁の形状には直型と半雪覆型がある。半雪覆型は半雪部分に積もった雪を橋面の外へ落とす構造となるため、道路橋に隣接する本橋梁には適用せず、直型を採用している。

5-2 道路橋の積荷転落防止柵

道路橋に設置する積荷転落防止柵は、道路を走行する自動車から落下した荷物等が新幹線側へ入るのを防ぐための防護柵である(写真-9)。積荷転落防止柵の防錆は、溶融亜鉛めっきとしている。

6. 工事の成果

6-1 温室効果ガス排出量の削減

コンクリートの材料であるセメントは、製造過程で多くのCO₂が排出される。その結果、コンクリート1m³当たりのCO₂排出量は約270kgとの試算がある¹⁹⁾。また、本橋梁は下部工に普通セメントコンクリートよりもCO₂排出割合が約40%低い¹⁹⁾とされる高炉セメントコンクリートを使用している。

表-8に都市計画変更前の単独橋(ケース1)と併用橋(ケース2)それぞれのコンクリート数量およびCO₂排出量を示す。橋脚基数は単独橋が12基で併用橋の6基よりも多いが、コンクリート数量は併用橋のほうが多い。併用橋のコンクリート数量が多くなった理由は、本橋梁のH.W.Lが桁受け梁の位置にあり、桁受け梁があると高水時に下向きの偏流が生じて河床が洗掘されるのを防ぐために直壁とし、橋脚の躯体幅が拡張したためである。単独橋についても偏流による洗掘防止は河川管理者から要求されると考え、桁受け梁(TypeA)を直壁(TypeB)にして試算を行った。その結果、併用橋のコンクリート数量は単独橋の直壁と比較して2%の増にとどまり、CO₂排出量については同等であった。

6-2 時間距離の短縮

新九頭竜橋は2022年10月22日に開通した。開通1カ月後の11月15日~17日の午前7時半~8時半および午後5時半~6時半に、一般国道8号の福井大橋を通る南北約4kmと、県道福井丸岡線の九頭竜川を通る南北約4kmの車両通過時間を計測した。10月平日の通過時間

表-8 単独橋と併用橋のCO₂排出量比較

項目	ケース1 単独橋 (都市計画変更前)		ケース2 併用橋 (都市計画変更後)	
概略図				
項目	コンクリート	CO ₂	コンクリート	CO ₂
下部工	鉄道	12 428 m ³	2 485 t	7 697 t (A : 1.12, B : 0.99)
	道路	A : 21 818 m ³ B : 26 134 m ³	A : 4 395 t B : 5 326 t	
上部工	鉄道	5 184 m ³	1 400 t	1 464 t (1.05)
	道路	8 106 m ³	2 189 t	2 189 t (1.05)
計	A : 47 536 m ³ B : 51 852 m ³	A : 10 469 t B : 11 400 t	52 696 m ³ (A : 1.10, B : 1.02)	11 350 t (A : 1.08, B : 1.00)

注) TypeA : 桁受け梁あり, TypeB : 桁受け梁なし, () は単独橋との比率

は13～23分を要していたのに対し、開通後は7～14分であり、開通前に比べて40～50%短縮した。新九頭竜橋の開通で交通量が分散したことにより、朝夕時間帯の渋滞が緩和されている。

北陸新幹線については、金沢・敦賀間が開業することで大阪・金沢間は約30分の短縮予定である。東京・福井間は、現在の最速3時間14分が2時間52分となり、22分の短縮予定である。

新設構造物の完成による時間距離の短縮効果に加え、施設を建設した場合（With ケース）と建設されなかった場合（Without ケース）で算出されるCO₂を比較することで温室効果ガス排出量の削減に向けたカーボンニュートラルの評価法の研究に発展することが期待される。

おわりに

本橋梁は整備新幹線では初めて道路橋と下部工を併用した橋梁であり、本稿では併用橋の適用が河川環境の影響低減、工程短縮、温室効果ガス排出量の削減に対して有効であることを示せたと考える。また、住宅地域と新幹線の間には道路があるため、新幹線の騒音や振動の影響がどの程度、低減されるのかについては今後の検証が必要である。

北陸新幹線の既開業区間は、2018年および2021年の大雪時においても安定輸送を果たすなど、沿線地域の方々や利用者に安心を約束できる交通機関といえる。JRTTと福井県は、共同で一日も早い新幹線の開業と福井森田丸岡線の全通に向けて鋭意事業を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 伊達真生:鉄道道路一体橋である北陸新幹線、九頭竜川橋りょうの設計・施工, 日本鉄道施設協会誌 (2016.4)
- 2) 伊達真生:新幹線初となる鉄道道路一体橋の設計・施工, 土木施工 (2016.8)
- 3) (社)日本河川協会:解説・河川管理施設等構造令, 山海堂 (1978.3)
- 4) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善 (2012.9)
- 5) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 丸善 (2012.1)
- 6) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 丸善 (2004.4)
- 7) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限, 丸善 (2006.2)
- 8) 日本道路協会編:道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (2012)
- 9) 日本道路協会編:道路橋示方書 (I共通編・IV下部構造編)・同解説 (2012)
- 10) 日本道路協会編:道路橋示方書 (I共通編・IIIコンクリート橋編)・同解説 (2012)
- 11) 炭村 透, 鶴野禎史, 金井宏司:各種ゴム支承の引張限界性能に関する研究, 第27回地震工学研究発表会梗概集 (2003.12)
- 12) 玉本学也, 西 恭彦, 阿部雅史, 遠藤文美男:下部工を道路橋と併用する新幹線鉄道7径間連続PC箱形桁橋—北陸新幹線, 九頭竜川橋りょう—, コンクリート工学 (2017.12)
- 13) 平田惣一, 畠中 保, 山本 淳:北陸新幹線九頭竜川橋りょうの施工, 建設機械施工 (2019.8)

- 14) 植嶋俊博, 山根秀則, 吉住一郎, 国枝邦由:北陸新幹線九頭竜川橋りょう他の施工, 第29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論文集 (2020.10)
- 15) 大野俊平, 吉住一郎, 中村健太:北陸新幹線九頭竜川橋梁の施工—下部工を道路橋と併用する橋梁—, プレストレストコンクリート (2021.3)
- 16) 山根秀則, 加藤 威, 中野雄哉, 西 恭彦, 平田惣一, 吉住一郎:下部工を道路橋と併用する北陸新幹線, 九頭竜川橋りょう上部工の連結, 橋梁と基礎 (2019.9)
- 17) プレストレストコンクリート工学会:PCグラウトの設計施工指針—改訂版— (2012)
- 18) 若島弘昂, 柳沢義貴, 藤井浩司:道路橋と新幹線橋の下部工一体構造の新九頭竜橋 (仮称) の施工, 第29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論文集 (2020.10)
- 19) (一財)建設経済研究所:日本経済と公共投資, 建設経済レポート (2022.3)

プロジェクトデータ

橋 名:北陸新幹線 九頭竜川橋梁
 所 在:福井県福井市
 橋 長:414 m
 支 間 長:43 m+5×65 m+44 m
 構造形式:複線用PC7径間連続一室箱桁橋
 荷 重:標準列車荷重P-16
 事業主:鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北陸新幹線建設局
 適用示方書:鉄道構造物等設計標準(コンクリート)平成16年
 鉄道構造物等設計標準(耐震設計)平成24年
 鉄道構造物等設計標準(変位制限)平成18年
 鉄道構造物等設計標準(基礎構造物)平成24年
 基本計画:八千代エンジニアリング(株)
 基本設計:八千代エンジニアリング(株)
 詳細設計:八千代エンジニアリング(株)
 施 工:下部工・上部工
 鉄建・安部日鋼・清水組 北陸新幹線, 九頭竜川橋りょう他
 特定建設工事共同企業体 所長:遠藤 文美男
 施工協力:下部工 丸十工業(株), 鉄名建設(株), 愛知産業(株)
 上部工 (株)黏活
 メーカー:支承 (株)川金コアテック
 工 期:基本設計 2011年10月~2012年 2月
 詳細設計 2013年 6月~2015年 2月
 施 工 2015年 3月~2020年 3月

プロジェクトデータ

橋 名:新九頭竜橋
 所 在:福井県福井市中藤新保町~上野本町
 橋 長:(下り線) 416.688 m (上り線) 414.179 m
 支 間 長:(下り線) 43.374 m+5@65.000 m+44.780 m
 (上り線) 42.525 m+5@65.000 m+43.120 m
 構造形式:7径間連続PC箱桁橋
 荷 重:B活荷重
 事業主:福井県 福井土木事務所
 適用示方書:道路橋示方書・同解説, 平成24年3月
 詳細設計:(株)構造設計研究所
 施 工:(左岸側工事) (株)日本ピーエス 所長:渡邊 輝政
 (右岸側工事) (株)日本ピーエス 所長:清水 秀樹
 施工協力:(株)スガナミ, 清和建設(株)
 メーカー:支承 (株)川金コアテック
 工 期:詳細設計2013年 6月~2015年 3月
 施 工(左岸側工事) 2018年 3月~2020年 6月
 (右岸側工事) 2019年 3月~2021年 6月