

北陸新幹線、第2竹田川橋梁の計画・設計

(独) 鉄道・運輸機構	○筒井 康平
(独) 鉄道・運輸機構	藤村 卓司
(独) 鉄道・運輸機構	山本 尚文
八千代エンジニアリング(株)	正会員 阿部 雅史

キーワード：長大橋梁，ラーメン箱桁構造，河川条件，北陸新幹線

1. はじめに

現在、金沢・敦賀間で建設中の北陸新幹線は、福井県あわら市内の JR 芦原温泉駅の南側において、一級河川竹田川と3箇所で交差する計画となっている。この竹田川は、将来計画河川として図-1に示すような大規模化が計画されている。河川と交差する3橋はいずれも、現況河川および計画河川両方の治水安全性を満足するための構造形式として、3径間連続PC箱桁ラーメン橋を採用している。なかでも第2竹田川橋梁は、河川との交差角が約25度と非常に鋭角になるため、橋長311m、中央径間長125mを有し、同構造形式の鉄道橋としては国内最長スパンとなる見込みである(表-1)¹⁾。本稿では、第2竹田川橋梁の計画・設計について報告する。

表-1 近年の鉄道PCラーメン橋の最大支間長

最大スパン	橋梁名称	路線区	完成年
125m	第2竹田川橋梁	北陸新幹線	工事中
109.5m	吾妻川橋梁	上越新幹線	1978年
106m	常願寺川橋梁	北陸新幹線	2009年
100m	中部国際空港海上連絡橋	名鉄空港線	2003年

2. 設計

2.1 設計条件

第2竹田川橋梁の諸元を表-2、側面図を図-2、平面図を図-3、正面図を図-4に示す。平面線形は、R=4,000mの左曲線区間中であり、単曲線から緩和曲線の変化部となっている。縦断線形は、約1.3km起点側に位置する芦原温泉駅から5‰で下り勾配となっている。また、全域にわたって軟弱な地盤となっており、支持層はGLから-50m以深となる箇所もある。竹田川の管理者との協議の結果、治水安全の観点から現況の河川内に橋脚を配置しないこと、また、将来計

表-2 第2竹田川橋りょうの諸元

線路名	北陸新幹線(金沢・敦賀間)
橋梁形式	3径間連続PC箱桁ラーメン橋
橋長(支間割)	311m(93m+125m+93m)
軌道形式	スラブ軌道
軌道本数	複線(上り線, 下り線)
軌道線形	平面線形: R=4000m(左曲線) ~ (左緩和曲線) 縦断線形: -5‰
設計速度	V=260km/h
列車荷重	標準列車荷重 P-16
環境条件	スラブ上面: 腐食性環境 桁内面・桁下面・側面: 一般の環境
地盤種別	G4地盤
施工条件	張出し架設
詳細設計	八千代エンジニアリング株式会社
施工	大林・大本・道端北陸新幹線竹田川橋りょう他 JV

画河川についても河積阻害率が法令上の許容判断の目安値(8%)以下に収めることを設計条件とされた。この河川交差条件および新幹線の線形を考慮すると、第2竹田川橋梁における交差角度は約25度という非常に浅い角度での交差となり、中央径間長を長く設定(L=125m)することを余儀なくされた。最大径間長がこれより大きい整備新幹線のPC橋梁は、斜張橋もしくはエクストラドーズド

橋 (以下, ED 橋) のいずれかしかない。この中央径間とのバランスを考慮し, 側径間はいずれも $L=92m$ とした。

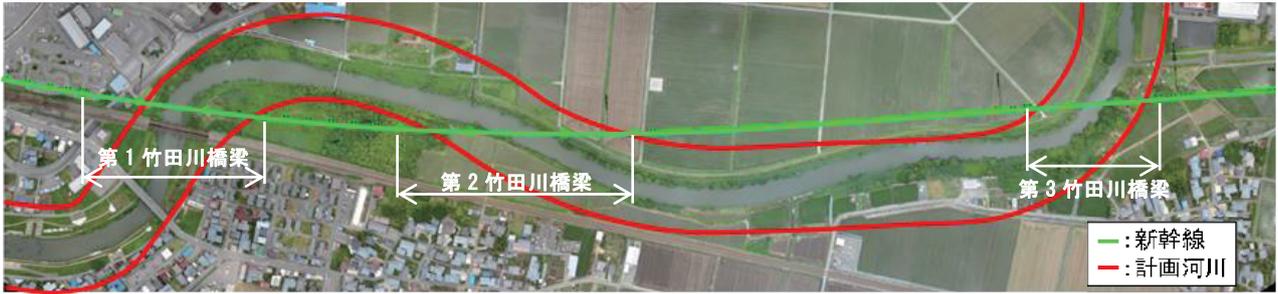


図-1 竹田川橋梁工区と計画河川

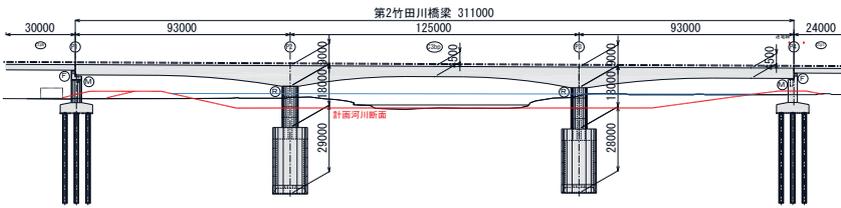


図-2 第2竹田川橋梁側面図

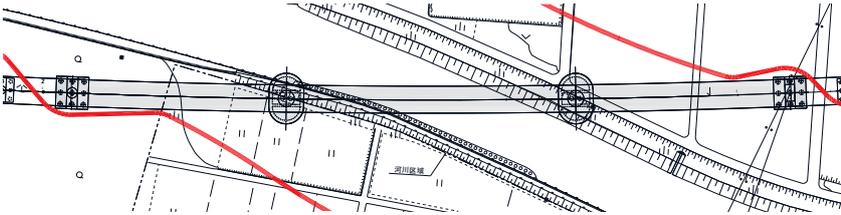


図-3 第2竹田川橋梁平面図

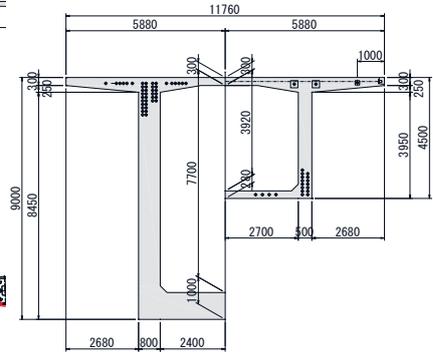


図-4 第2竹田川橋梁正面図

2.2 構造形式の検討

法令上, 河川内に配置する橋脚の形状は, 流水に支障を与えないように, できるだけ細長い楕円形またはこれに類する形状として小判型としなければならない。しかし, 竹田川の場合は, 現況河川と計画河川の流水方向が異なること, 計画河川の河川形状が蛇行しており複雑な流向を示すことを考慮して, 交差する3橋の河川内は円形橋脚とし, 将来計画においても, 河川の流れを阻害しないことに配慮した。

北陸新幹線 (金沢・敦賀間) の計画当初は, 芦原温泉駅を地平駅とする計画であった。芦原温泉駅から第2竹田川橋梁までの距離は約1km程度であり, 縦断勾配は終点方に向かって13%の上り勾配と大きくなっているが, 第2竹田川橋梁付近の河川管理用通路に対して十分な空頭を確保するため, 同程度のスパンで整備新幹線での採用実績があり, 桁高を薄くできる3径間連続ED橋を採用することが検討されていた。しかし, ED橋で中央径間を125mとすると, 中間橋脚に反力が集中することとなり, 試算した結果, 円形の橋脚では寸法が大きくなり, 計画河川断面において河積阻害率8%以下を満足することができなかった。ところが, 芦原温泉駅を高架駅とする計画変更に伴い, 芦原温泉駅を中心とした約2.6kmの区間において縦断勾配が上方に変更となったため (図-5), 第2竹田川橋梁の位置においても河川管理用通路の空頭に余裕ができたことから, ED橋に比べて桁高の高い3径間連続PC箱桁橋も採用可能となった。3径間連続PC箱桁橋は, ED橋に比べて桁高が高く死荷重は大きくなるが, 中間橋脚への過度な応力集中が解消され, 中間橋脚をスリム化することができ, 河積阻害率を8%以下とすることができた。

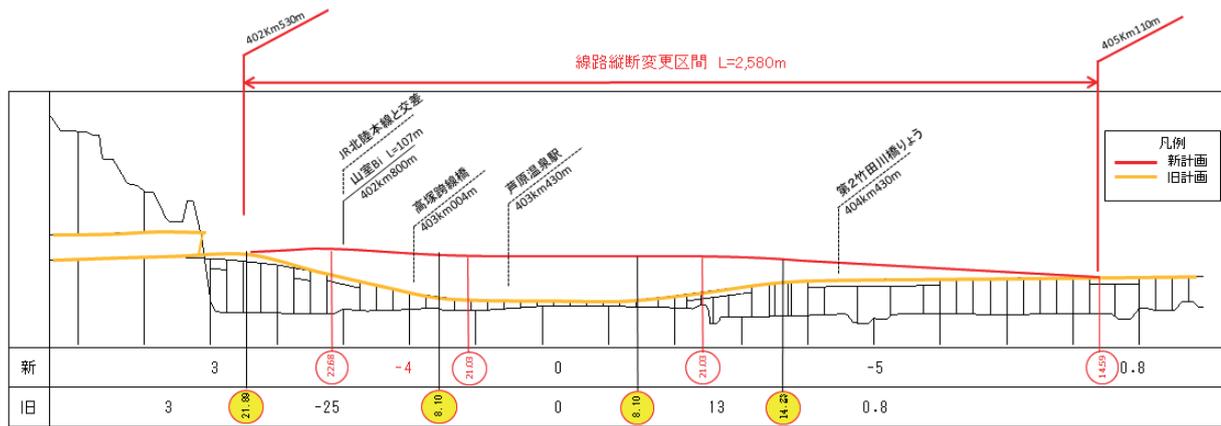


図-5 縦断勾配変更図

2.3 構造形式の照査

第2竹田川橋梁でラーメン構造が採用可能か検討を行った。ラーメン構造は、橋脚く体と桁が剛結されるため、橋軸方向地震時の検討において橋脚く体が低せん断スパン比の部材となり、橋脚の耐震設計上、非合理的となることがある。第2竹田川橋梁のP2橋脚の場合、ラーメン構造であることを考慮すると、せん断スパンは柱の高さの1/2で $L_a = 18.0 / 2 = 9.0\text{m}$ 、有効高さは橋脚柱の直径で $d = 7.0\text{m}$ であり、せん断スパン比は $L_a/d \approx 1.29$ となる。結果として1.5を下回るため、低せん断スパンの部材となり、地震時においても橋脚を損傷レベル1以下とする必要が生じる。しかしながら、橋脚く体とケーソン基礎を一体と考え、発生曲げモーメント分布より反曲点位置までの距離をせん断スパン長とみなし、 $L_a = 13.6\text{m}$ と評価した結果、 $L_a/d = 1.94 > 1.5$ となるため、地震時の損傷レベルを1以下に抑える必要がなくなり、結果として河積阻害率を満足することができるようになった(図-6)。

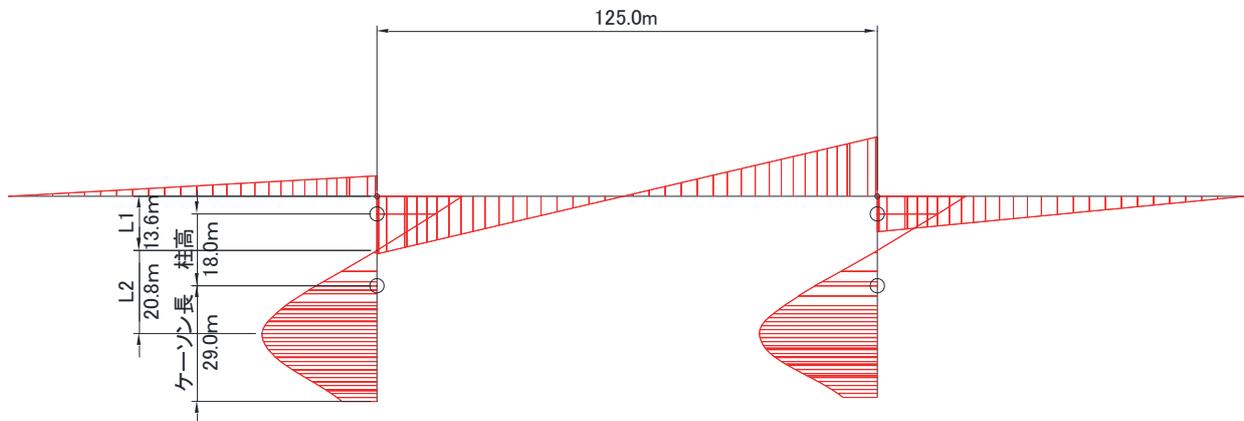


図-6 く体とケーソンを一体と考えた中立軸の算定

2.4 変位制限の照査

本橋は、新幹線のPCラーメン橋の最大支間を有するため、鉄道橋特有の軌道に対する変位制限照査が重要と考える。鉄道橋の主な変位制限項目としては、桁のたわみや角折れの照査があり、それぞれ設計速度によって制限値が異なる。

桁のたわみおよび端部の角折れの照査は、乗り心地と走行安全性の照査があるが、長大橋の側径間のたわみ照査については、40m弦たわみの照査を追加し、乗り心地の向上を図っている。また、長期変形のとわみ照査では、軌道設置後のクリープ変形を制限することで、軌道の維持管理の容易性に配慮している。本設計の変位制限の照査結果を表-3に示す。これにより、ラーメン構造は支承構造と比べて、桁の変形を小さくできるため、長支間の橋梁には適した構造であると考えられる。

2.5 PC 鋼材配置の工夫による耐久性の向上

張出し架設を行う PC 橋では、ブロック目地部において、架設時に配置された PC 鋼材 (A) に対して閉合時の途中定着 PC 鋼材 (B) が配置される場合がある。その目地部には逆方向にプレストレス力が導入されるため、局部的な軸引張力が生じることになる。本橋においては、スパンが大きいことから途中定着した PC 鋼材が多く配置される点に着目し、耐久性の向上の観点から、PC ケーブルが目地部を跨ぐ形 (PC 鋼材 (C)) になる様に PC 鋼材配置に十分配慮した (図-7)。

表-3 桁変形量の照査

支間長	側径間			中央径間		
	92.0m			125.0m		
①たわみ照査	応答値	制限値	安全率	応答値	制限値	安全率
・走行安全性	27.9	65.7	0.42	26.5	89.3	0.3
・乗り心地	11.9	54.1	0.22	11.3	73.5	0.15
・40m 弦たわみ	6.0	7.0	<u>0.86</u>	---	---	---
・長期変形	7.6	54.1	0.14	44.1	73.5	<u>0.6</u>
②角折れの照査	応答値	制限値	安全率	応答値	制限値	安全率
・走行安全性	1.26	3	<u>0.42</u>	0.34	3	0.11
・乗り心地	0.54	3	0.18	0.15	3	0.05
・軌道損傷 (常時)	1.26	3	0.42	0.34	3	0.11

※下線は決定ケースを示す

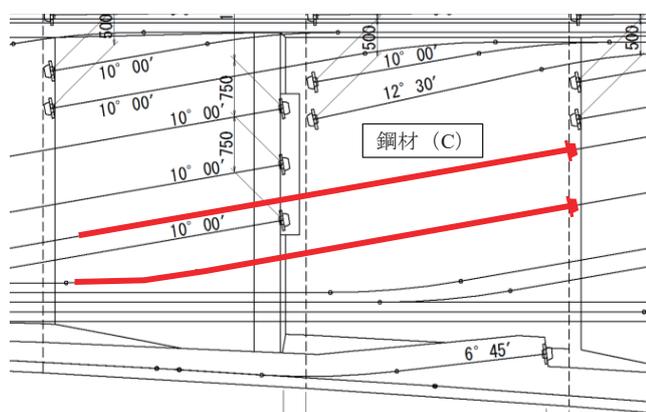
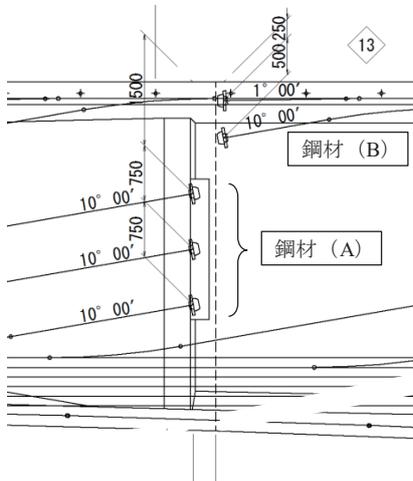


図-7 PC 鋼材の配置

3. おわりに

第2竹田川橋梁を含む「北陸新幹線、竹田川橋りょう他」工区は、平成28年7月に工事着手し、平成32年4月のしゅん功に向けて鋭意工事を進めているところである。平成31年4月時点の進捗は工区全体で60%を越え、同構造の第1竹田川橋梁および第3竹田川橋梁においても上部工の張出し架設を行っているところである。本報告が、今後の同構造の橋梁の計画・設計の一助となれば幸いである。最後に、本報告の作成にあたり、多大なるご協力をくださった関係者の皆様に厚く御礼を申し上げます。



写真-1 第2竹田川橋梁の施工状況

参考文献

- 1) 玉井真一, 築嶋大輔, 柏原茂, 岡本大: 鉄道橋におけるPC技術の進展, プレストレストコンクリート Vol. 61, No2, pp, 38-43, 2019