

7径間連続PCフィンバック橋の設計 —北陸新幹線 姫川橋梁—

八千代エンジニアリング (株)	正会員	工修	○小島	岳生
鉄道建設・運輸施設整備支援機構	正会員		金森	真
鉄道建設・運輸施設整備支援機構			宮地	惇隆
八千代エンジニアリング (株)	正会員		河瀬	日吉

1. はじめに

姫川橋梁は、新潟県糸魚川市と青海町の行政境に位置し、一級河川姫川を渡河する地点に架橋される延長462.0mの橋梁であり、新幹線橋梁形式として初めてフィンバック形式を採用している(図-1)。本橋の架橋地点は、日本海側の豪雪地帯、かつ海岸線から約700mの塩害環境下という厳しい環境条件にあるため、温度応力などによる有害なひび割れが生じないように留意して設計を行った。本稿は、7径間連続PCフィンバック橋の設計について報告するものである。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁概要を以下に示す。また、全体一般図を図-1に、完成予想図を図-2に示す。

線 名：北陸新幹線(長野・富山間)

橋梁形式：7径間連続PCフィンバック橋

橋 長：462m

支 間：57+69+70+70+70+69+57m

総 幅 員：13.3m

主桁構造：標準部；中路箱桁断面 桁高2.50m

側径間；中路箱桁断面 桁高1.50m

フィン高さ；2.176～5.150m

平面線形：直線

縦断勾配：6.0‰～level

斜 角：中間橋脚部 87°

起点側・終点側 90°

列車荷重：標準活荷重P-16

軌道構造：スラブ軌道

支承構造：ゴム支承+ダンパーストッパー

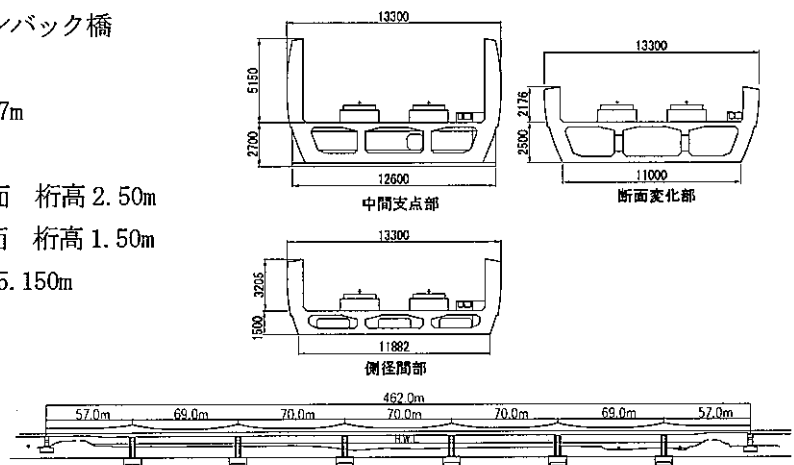


図-1 全体一般図

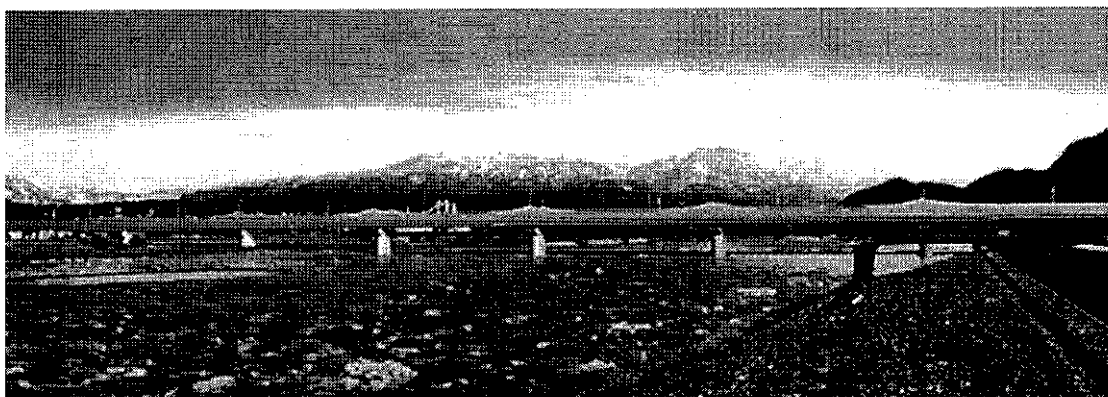


図-2 完成予想図

3. フィンバック形式の特徴

フィンバック形式とは、桁支点部に魚の背びれ（フィン）のような壁状ウェブを突出させた形式であり、フィン上縁に偏心配置されるP C鋼材により長大支間への対応が可能な構造である。フィンバック形式の特徴を以下に示す。

- (1) フィンバック部にP C鋼材を配置することにより偏心量を大きくとることで桁高を抑えることができ、桁下の建築限界が厳しい場合に縦断線形を変更することなく桁下空間を確保することが可能である。
- (2) 魚の背びれのイメージさせるフィンバック部を曲線形状とすることにより、柔らかさを表現でき、また背景の北アルプスの山並みにマッチした優れた景観が得られる（図-2）。
- (3) フィンバック部は高欄を兼ねるため、冬季の厳しい環境（季節風）に対し、防風効果が期待できる。

4. 設計概要

4.1 設計上の留意点

設計上の主な留意点を以下に示す。

(1) 桁高の決定

- ・フィン高さは、除雪可能なRL+4.5mを限界高さとする。
- ・側径間のフィン高さは、隣接する桁式高架橋の高欄天端と一致させ連続性を図る。
- ・堤防上の管理用通路高を確保するために、側径間の桁高は標準部の桁高に対し1m低くしている。

(2) 施工目地位置の決定

上部工は施工規模および河道切替を考慮し3湯水期にわたり施工される。桁式支保工により1径間ごとの分割施工とする。打継ぎ位置は完成時の曲げモーメントが交番する0.2L（L＝支間長）付近に設ける場合が多いが、支間長が長く施工時に正の曲げモーメントが卓越することから打継ぎ位置を0.25L付近として、発生断面力を小さくした。

(3) P C鋼材配置

P C鋼材配置はカップリングによる連続配置を基本としているが、カップラーによる断面欠損、およびカップリング継目付近でのプレストレスの非線形分布性状等の原因によるひび割れ発生が懸念されるため、P C鋼材の一部を施工目地位置でカップリングせず連続配置としている。

4.2 主方向の設計

(1) 主方向の設計は、棒理論による平面骨組解析により行い、施工順序を考慮した解析を行った。なお、クリープ・乾燥収縮の影響は、打設部材（区間）の材令差により考慮した。

(2) 桁全体を格子構造として解析し、版上荷重・列車荷重など構造系完成以降に作用する荷重に対して、内桁・外桁の断面力分担、および支承の反力分担比を算出した。設計荷重時における主梁の曲げ応力度図を図-3に示す。

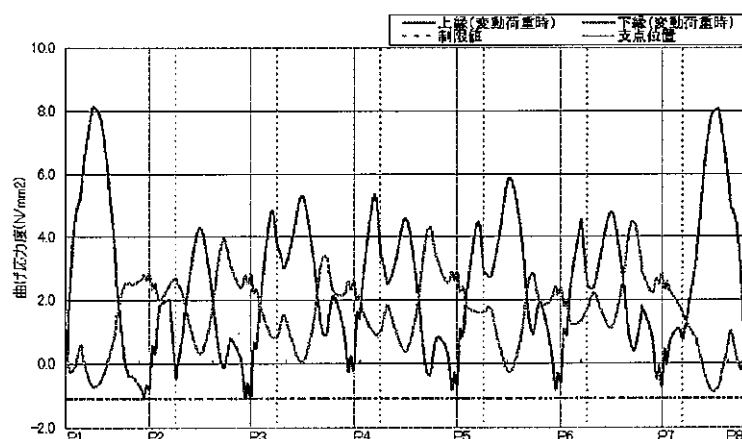


図-3 曲げ応力度図

4.3 横方向の設計

横方向の設計における設計断面力の算出は、ボックスラーメン骨組解析により行った。主桁断面寸法が変化しているため、各部材の剛性に着目して中央径間中央、中間支点、側径間中央、端支点の4断面について検討を行った。

景観への配慮から箱桁部の外側ウェブを斜ウェブとした結果、フィン自重およびフィン上縁に配置した主ケーブルの作用により中間支点近傍の上床版には軸引張が生じるため、上床版に横締PCケーブルを配置することとした。また、径間中央部の下床版には、自重・列車荷重等により生じる曲げモーメントに対し横締PC鋼材を配置する。

なお、ボックスラーメン骨組解析の妥当性および横締PC鋼材の配置範囲について3次元FEM解析により検証した。

4.4 3次元FEMによる構造解析

本橋における構造特性を把握するため、3次元ソリッドモデルを用いてFEM解析を実施し、以下3点について検証を行った。

(1) プレストレスの有効領域の評価

本橋は大断面であるため、ウェブ定着PC鋼材のプレストレス分布状況の確認を行った。定着位置からプレストレスが有効となる断面までの距離は、各部位の応力度分布を指標として評価した結果と、RC標準式 $[(h+b_f)/2]$ により算出した結果が、概ね同じ値となったため、RC標準式を用いて設計を行った。

(2) 中間支点上の曲げ下げPC鋼材による腹圧力の影響

中間支点部において、フィン自重、およびフィン上縁に偏心配置される主ケーブルの腹圧力が上床版(直角方向)に及ぼす影響を算出し、横方向の設計の妥当性について検証を行った。上床版には骨組解析結果と同程度の軸引張力が生じており(図-4)、骨組解析結果は妥当であると確認されたため、中間支点部の上床版に横締PC鋼材を配置した。また、FEM解析により上記荷重が橋軸方向へ及ぼす影響を把握し、中間支点PC鋼材を配置する範囲を決定した。

(3) 水平打ち継ぎ面の温度応力

耐久性を考慮した場合、コンクリート打設は1回打ちで行うことが望ましいが、本橋梁の支点部では箱桁部16.4 m^2 、フィンバック部9.3 m^2 と大断面であることから、箱桁部とフィンバック部の2回打設で計画している。上床版とフィンバック部との水平打ち継ぎ面(新コンクリート側)には温度応力による貫通ひび割れが発生することが予想されるため、温度応力解析を行った。その結果、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ため、水平打ち継ぎ面に温度応力に対する補強鉄筋を配置した。

ひび割れ幅の制限値を、厳しい塩害環境を考慮して0.15mm以下とし、補強鉄筋はD19etc125を配置した(表-1)。なお、温度ひび割れ幅の算定式は、以下に示す海外の基準を適用した。

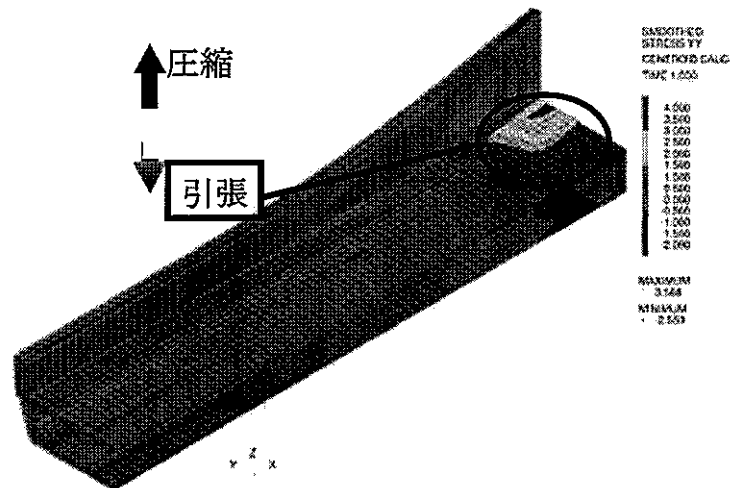


図-4 腹圧力による応力分布状況

【ひび割れ幅 W 算定式】

$$W = s \cdot \epsilon$$

W : ひび割れ幅

s : ひび割れ間隔

(英国基準¹⁾を採用)

$$s = \phi / 2.5 \rho$$

ϕ : 鉄筋径

$$\rho = A_s / A_c$$

ϵ : 拘束によるひずみ

(温度ひずみ)

$$\epsilon = R \cdot T1 \cdot \alpha / 2$$

R : 拘束度

T1 : 硬化温度上昇値

$$\alpha : 10 \times 10^{-6}$$

1/2: 若材齢時におけるクリープ

の影響 (英国文献²⁾)

表-1 ひび割れ幅検討結果一覧

補強鉄筋	D16 ctc 100	D16 ctc 125	D19 ctc 100	D19 ctc 125
かぶり c(mm)	78.0	78.0	79.5	79.5
ひび割れ間隔 (m) ($s = \phi / 2.5 \rho$)	0.75	0.94	0.63	0.79
硬化温度上昇値 T1 (°C)	38.0	38.0	38.0	38.0
温度拘束ひずみ ϵ ($\epsilon = 1.0 \cdot T1 \cdot 10 \times 10^{-6} / 2$)	1.90 E-04	1.90 E-04	1.90 E-04	1.90 E-04
ひび割れ幅 W(mm) ($W = s \cdot \epsilon$)	0.14	0.18	0.12	0.15
				採用

4.5 塩害塗装

本橋は、寒冷地かつ塩害環境下に架橋され、さらに施工期間が3 越冬期と長い為、完成後および施工期間中の防錆処理等の塩害対策が重要な課題となる。これに対し、以下の対策を講じている。

- (1) 水セメント比の制限、かぶりの増厚 (鉄筋・P C 鋼材・定着具の保護)
- (2) 施工を中断する打継面の防護コンクリートによる保護およびエポキシ鉄筋の使用
- (3) 無色透明な塩害防水塗装の全周塗装

4.6 支承構造

鉄道橋の長大橋には一般的にテフロン板を使用したすべりゴム支承が採用されている。本橋においても、すべりゴム支承を採用しているが、反力が大きい為桁とゴムシューの間の摩擦抵抗力が大きくなり、ゴムシューの水平せん断抵抗力を上回る為ゴムシューが滑動せず、ゴムシュー本体に大きなせん断変形が生じるおそれがある。このため、ゴムシューのせん断変形を鋼製のサイドブロックで拘束してゴムシュー上面と桁下面で滑らせるような構造とした。

5. まとめ

本橋は、新幹線橋梁では初めてのフィンバック形式の橋梁であり、厳しい環境条件下で施工される橋梁であるため、温度応力対策、塩害対策など、特に耐久性に留意して設計を行った。性能照査型の設計体系への移行に伴い、構造物の耐久性に対する検討がさらに重要性を増すものと考えられる。今後においても、温度応力解析等の手法を積極的に活用し、耐久性の高い構造物を設計していきたいと考えている。

最後に、本設計にあたり、多大なるご指導をいただきました関係各位に深く謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) BS5337(1976) 液体貯蔵用コンクリート構造に関する英国基準
- 2) Watertight Concrete Construction, R. Colin Deacon Cement and Concrete Association