

# れいめい橋（2期線）の計画・設計

## — 1・2期線一体基礎を有するラーメン橋 —

東田 典雅\*1・齋藤 正司\*2・渋谷 智裕\*3・小張 裕介\*4

上信越自動車道（信濃町IC～上越JCT）では交通渋滞の緩和や冬期の円滑な交通確保を主たる目的とした四車線化事業を行っている。この区間のうち、長野県と新潟県のほぼ県境に位置するれいめい橋は、平成7年に架橋され1期線として平成9年に供用されている。下部工は2期線施工を見越し、1・2期線一体の基礎および2期線橋脚基部が構築されているため、2期線計画に際してはこれらの耐震性能照査および補強工法検討を踏まえた橋梁形式選定の必要があった。

本稿は、既存の基礎および橋脚の性能評価と適用性の検討を踏まえた橋梁形式の選定、1期線との離隔を考慮した橋梁計画、既設橋脚の補強方法および凍結防止剤の散布など寒冷地特有の条件に配慮した耐久性向上策について報告を行うものである。

キーワード：PC 多径間連続ラーメン箱桁橋、既設基礎、1・2期線一体基礎

### 1. はじめに

現在1期線として供用されているれいめい橋（PC 5 + 3径間連続ラーメン箱桁橋）は、橋軸直角方向の地震力に対して経済性で有利となることから1期線整備の際に1・2期線一体の基礎が採用された（写真 - 1、図 - 2）。適用基準は平成2年発行の道路橋示方書（以下、道示と称す）および設計要領第二集であり、基礎形式は、P1～P4橋脚が直接基礎、P6、P7橋脚はケーソン基礎で、2期線の橋脚は躯体の一部（基部）が構築されている。またP5橋脚については、基礎形式が場所打ち杭として1期線単独で施工されている。

1期線施工時の2期線計画では、1・2期線で同支間・同型式の橋梁として計画されていたが、後述の既設構造の耐震性評価および橋梁形式検討結果を踏まえ、A1～P5間は1期線と同じ支間割り（支間長約42m）のPC 5径間連続ラーメン箱桁橋、P5～A2径間は一級河川関川を跨ぐ位置



写真 - 1 2期線 P6 橋脚基部



図 - 1 橋梁位置図

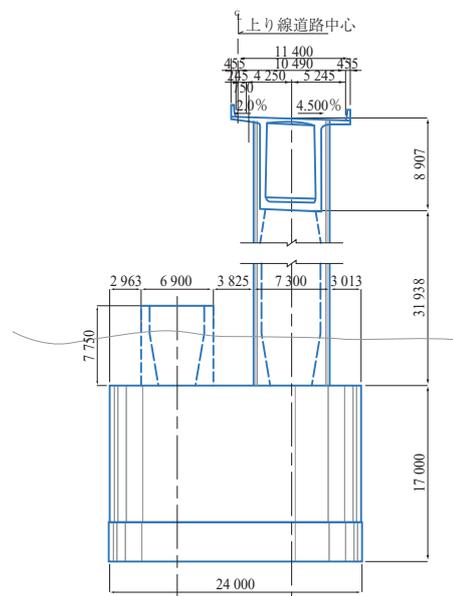


図 - 2 P6 橋脚正面図

\*1 Norimasa HIGASHIDA：東日本高速道路(株) 新潟支社 技術部

\*2 Masashi SAITO：東日本高速道路(株) 新潟支社 道路事業部

\*3 Tomohiro SHIBUYA：八千代エンジニアリング(株) 大阪支店 道路・構造部

\*4 Yusuke KOBARI：八千代エンジニアリング(株) 総合事業本部 構造・橋梁部

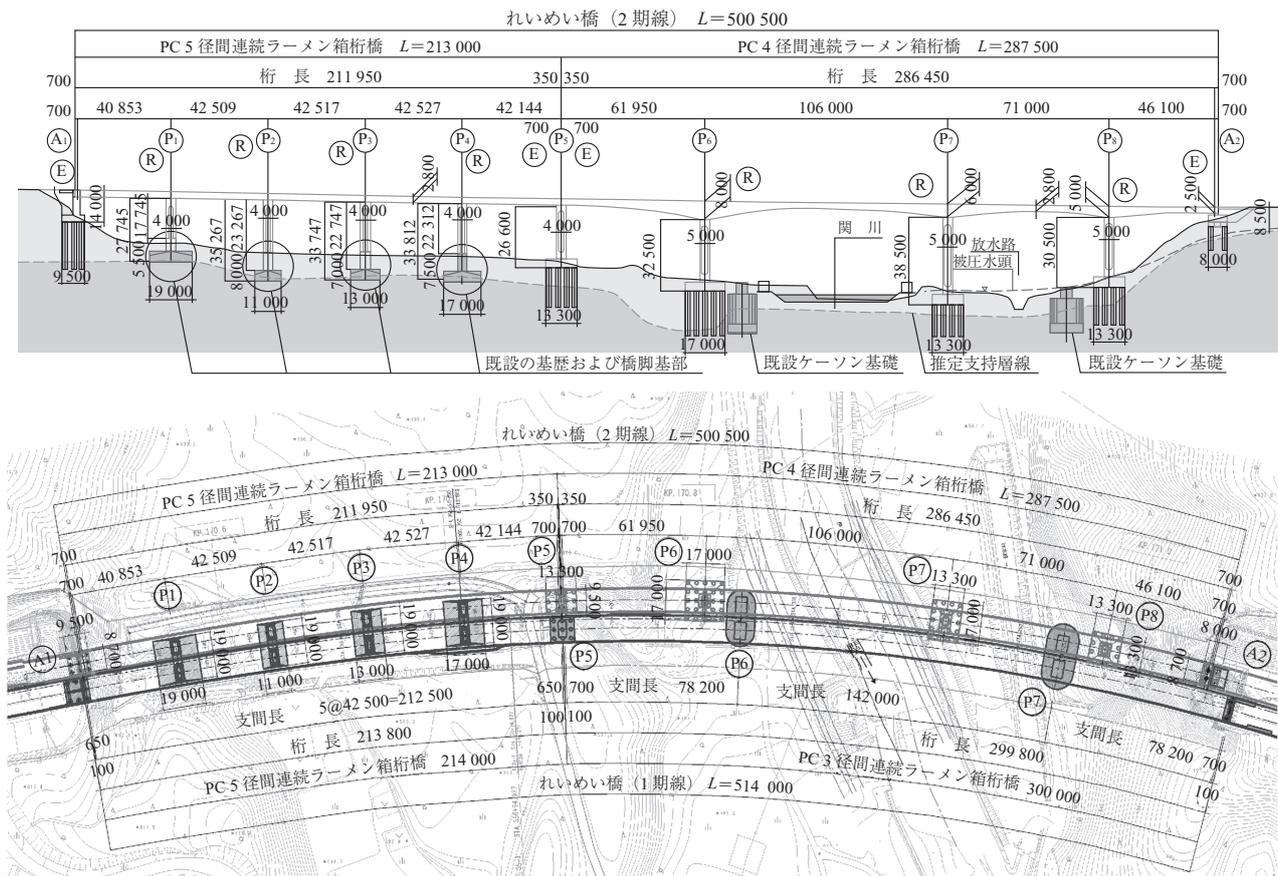


図 - 3 れいめい橋 (2期線) 橋梁一般図

表 - 1 橋梁諸元 (2期線)

路線名	関越自動車道 上越線
橋名	れいめい橋
橋梁位置	自) 長野県上水内郡濃町大字野尻 至) 新潟県妙高市大字関川
道路規格	第1種第3級 B規格
構造形式	(A1 ~ P5) PC 5径間連続ラーメン箱桁橋 (支保工架設) (P5 ~ A2) PC 4径間連続ラーメン箱桁橋 (張出し架設)
設計荷重	B活荷重
橋長	500.5m (A1 ~ P5 : 213.0m, P5 ~ A2 : 287.5m)
支間長	(A1 ~ P5) 40.853m + 42.509m + 42.517m + 42.527m + 42.144m (P5 ~ A2) 61.950m + 106.000m + 71.000m + 46.100m
有効幅員	9.410m
縦断勾配	1.750% ~ 1.200%
横断勾配	2.667% ~ 4.500%
平面線形	A = 457.019 ~ R = 1000.790m

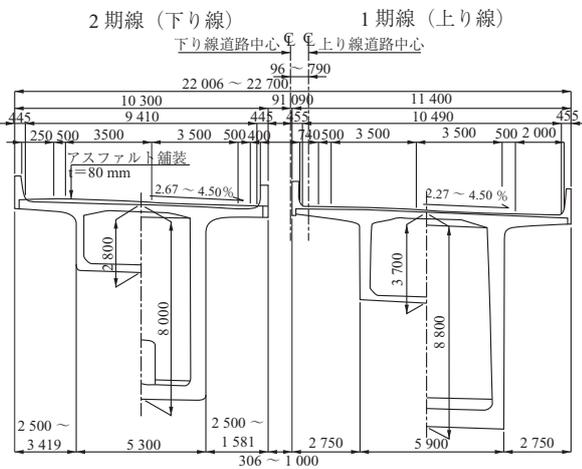


図 - 4 主桁断面図

において最大支間 106 m を有する PC 4 径間連続ラーメン箱桁橋を採用した。架設方法は A1 ~ P5 径間で固定支保工架設, P5 ~ A2 径間で張出し架設として計画を行った。本橋の橋梁一般図を図 - 3, 主桁断面図を図 - 4, 橋梁諸元を表 - 1 に示す。

## 2. 橋梁計画上の課題と対応方針

本橋 2 期線の計画・設計は、道示などの設計基準改定を踏まえ、既設下部工を最大限に有効利用しながら実施して

いく必要があり、以下の課題に対して、おのこの対応方針を定めて橋梁計画を進めた。

### (1) 既設の基礎および橋脚基部の耐震性確保・補強方法

既設橋脚は、横拘束筋の水平方向配置間隔などの構造細目が H24 道示を満たさないことから、文献 1) に基づき、現行の許容塑性率算出方法は適用せず、H14 道示に基づく耐震性能照査を実施し、必要となる補強量を算定する。なお地震動については H24 道示を適用する。

### (2) 既設ケーソンの耐震性評価と P5 ~ A2 径間の上部工形式および支間割り

既設ケーソンの 2 期線基礎としての活用可否を判断する

とともに、補強が必要となる場合には基礎を新設する案についても検討を実施する。なお現況照査においては、上下線一体の基礎に対して橋軸直角方向の偏載荷、非対称性の影響を考慮するため、1・2期線一体の基礎および既設の2期線橋脚基部までをモデル化した立体解析を行い、基礎先端に作用する断面力を算出する。

(3) 上部工架設計画

耐久性向上の観点から、構造物に生じる初期ひび割れを極力抑えた架設計画を立案する。とくに、基礎を新たに構築する場合には、支間バランスの悪さから上部工の非対象張出し架設が必要となるため、上部工の架設手順を検討し、架設時に橋脚に生じる応力を抑える。

(4) 隣接した1・2期線橋梁どうしの桁衝突（橋軸直角方向）

支承を配置する橋台および掛け違い橋脚では、レベル2地震時においても橋軸直角方向を固定するものとして、1・2期線の桁衝突を防止する。

また、新たに基礎を構築し、1・2期線間で支間割りを変える場合には、橋軸直角方向の固定に加え、1・2期線双方の振動特性を把握したうえで桁衝突が生じないように平面線形を見直し、必要な隔離を確保する。

(5) 構造物の高耐久化および維持管理性向上策

東日本高速道路(株)新潟支社管内における橋梁本体および検査路の損傷事例をもとに、検査路配置計画、橋梁本体の構造細目等について必要な対策を施す。

### 3. 橋梁計画

#### 3.1 P5～A2 径間の橋梁計画

P5～A2 径間の橋梁計画においては、既設ケーソンの活用可否が第一の課題である。既設ケーソンの補強が必要となる場合には、基礎および橋脚を新設することも最も最適な橋梁形式の検討を行うこととした。

また、1・2期線間の上部工の隔離は210mmと近接しており、基礎の新設に伴い1・2期線で支間割りが変わる場合には、振動特性が異なる橋梁が隣接することとなるため、桁同士の衝突に対して隔離が十分であるか検討するものとした。検討の手順は図-5に示すとおりである。

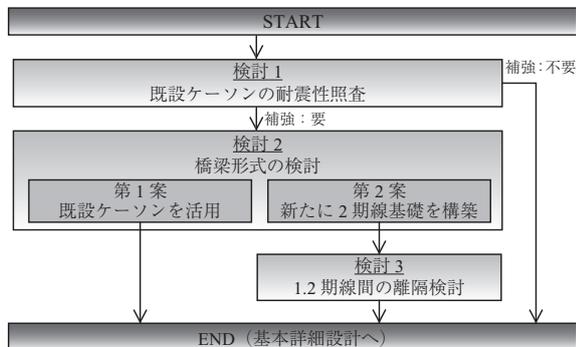


図-5 P5～A2 径間の検討フロー

(1) 既設ケーソンの耐震性評価

平成8年度以前の道示に基づいて設計されたケーソン

は、現行基準に基づく設計に比べ、側壁の鉛直方向の鉄筋量が少なく、レベル2地震時の耐震性能を満足しない状況にある。本橋既設ケーソンの側壁鉛直方向鉄筋についてもD19ctc300が配置されている程度であり、基礎本体の終局曲げモーメント(Mu)が鉄筋コンクリートのひび割れモーメント(Mc)よりも小さいため、側壁が脆性破壊する可能性があった。また、L2地震に対する曲げ耐力不足や、基礎前面地盤の塑性化、基礎底面の浮上がりにより耐震性を満足できないことも懸念されたため、現行基準による耐震性を動的解析により確認した。

図-6にL2地震時の非線形動的解析モデル図を示す。解析条件：

- 解析方法：立体骨組モデルによる橋梁全体系の非線形動的解析
- 上部工：線形要素（全断面有効）  
損傷が生じる部材は非線形梁要素
- 支承：すべり支承
- 橋脚：非線形梁要素
- 橋台：線形梁要素（全断面有効）
- 基礎～地盤の抵抗：線形バネ要素
- 減衰マトリクス：Rayleigh減衰

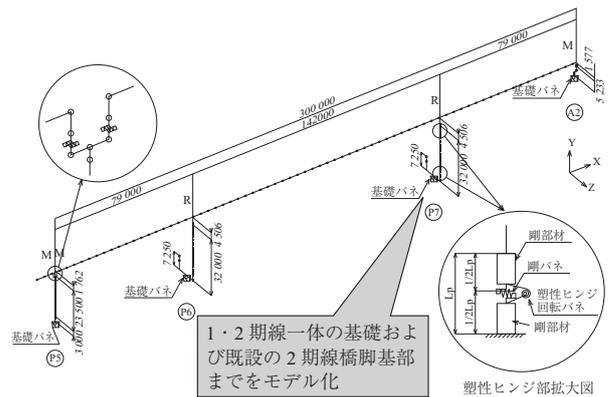


図-6 非線形動的解析モデル図（現況）

橋軸方向の既設ケーソンの耐震性は、道示V編に基づき基礎前面地盤の塑性率、底面浮き上がり率、最大曲げモーメントについて、2期線荷重を1期線に対する荷重増分比率により評価するものとする。結果を図-7に示す。これより、1期線のみでは耐震性を有するが、曲げ耐力に2割程度の余裕しかなく、2期線に軽量の橋種を採用しても補強が必要なることを把握した。

(2) 橋梁形式の選定

既設ケーソンを利用する場合には補強が必要となることから、支間割りを変更し、2期線の橋脚を新設する案との比較を行った(表-2)。橋脚新設案では、交差・近接条件(一級河川関川、東北電力放水路、1期線基礎)および張出し架設のブロック割りを考慮して橋脚位置を決定し、4径間連続箱桁橋とした。橋種は各案の最大支間長および既設ケーソンの補強量軽減を勘案し、第1案：PC3径間連続波形鋼板ウェブ橋、第2案：PC4径間連続ラーメン箱桁橋とした。なお、第1案は地盤条件と経済性より鋼管

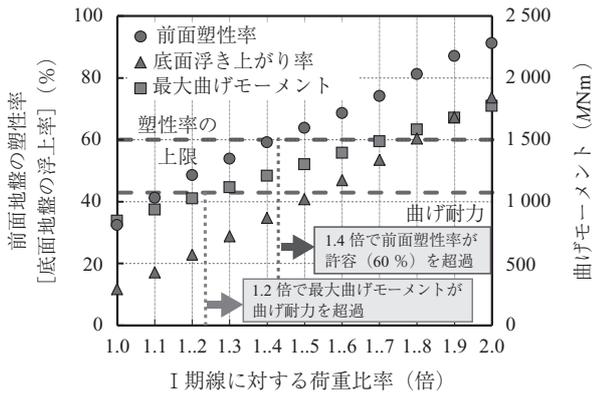


図 - 7 既設ケーソンの耐震性能照査結果 (橋軸方向)

矢板基礎増設工法によるケーソン基礎の補強を行うものとしたが、既往の実績が少なく、設計手法も確立されていない。このため既設ケーソンを無視し、増設する鋼管矢板基礎が水平力をすべて分担するものと仮定して試算を行い、既設ケーソンの周囲に鋼管矢板基礎 ( $\phi 1000, t = 16 \text{ mm}$ ) を配置することとして概算工費を算出した。

橋梁形式の比較の結果、上部工の維持管理性および経済性の観点より第2案を選定し、既設ケーソンの補強を回避するものとした。

(3) 上部工架設計画

選定された橋梁形式における上部工の施工順序を図 - 8 に示す。張出しブロック数が最大となる P6 橋脚は左右対称の張出し架設で計画するものとし、それ以外の P7 橋脚

表 - 2 橋梁形式比較 (P5 ~ A2 径間)

案	側面図	概算工事費		評価		
		上部工	下部工	下部工	上部工	
第1案		1 087 000 千円	242 000 千円	既設基礎の補強が必要である。	△	
		基礎補強	616 000 千円	支間割については特に問題がない。	○	
		仮設工	63 000 千円	長支間のため波形鋼板ウェブを適用する必要があります。維持管理性が劣る。	△	
		合計	2 008 000 千円 (1.07)	その他	転石層のため基礎補強時に補助工法が必要となる可能性がある。	△
第2案		932 000 千円	659 000 千円	新規に下部工を構築するため、下部工費が大きくなる。	△	
		基礎補強	0 千円	支間割上、アンバランスな上部工張出し施工が必要となる。	△	
		仮設工	281 500 千円	維持管理	支間長が抑えられるため、コンクリート橋で対応可能である。	○
		合計	1 872 500 千円 (1.00)			

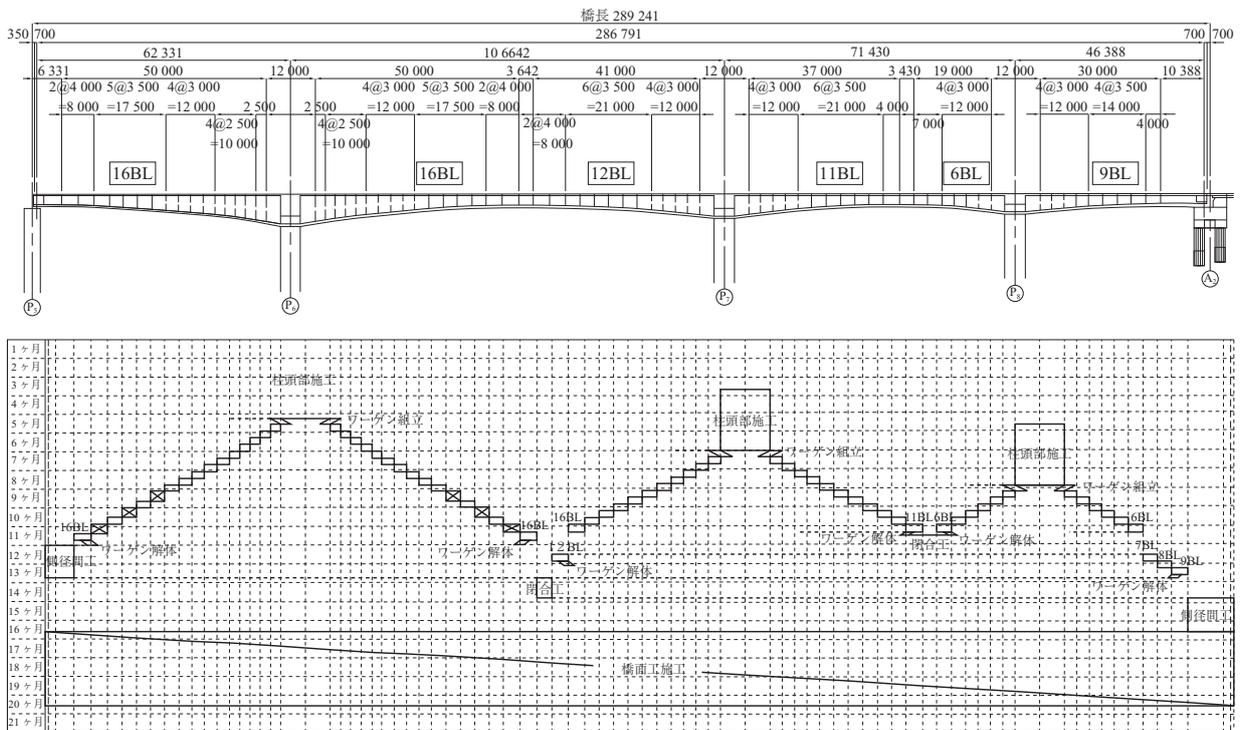


図 - 8 P5 ~ A2 径間の閉合順序

では1ブロック、P8橋脚では3ブロックの非対称張出し架設を行うものとした。非対称張出し架設を行う場合には、下部工に作用するアンバランスモーメントが大きくなり、とくに軸力が小さい橋脚天端におけるひび割れの発生が懸念されたため、アンバランスで架設するブロック数の多いP8橋脚を対象に以下の2案の検討を実施した。

〈第1案：アンバランス架設〉

対称ブロック（6ブロック）を張出し架設した後、終点側の3ブロックを通常どおり張出し架設し、その後P7～P8間を閉合する。

〈第2案：二次張出し架設〉

対称ブロック（6ブロック）を1次張出し架設した後、P7～P8径間中央を閉合し、その後終点側の3ブロックを二次張出し架設する。

上記2案において、最大張出し時に橋脚天端に生じる断面力および応力を表-3に示す。ここで、コンクリート標準示方書による曲げひび割れ強度は $\sigma = 1.0 \text{ N/mm}^2$ 程度であるが、両案ともコンクリート縁応力度がこれを超過し、架設時にひび割れが発生することが懸念される。このため、張出し架設時のアンバランスモーメントによる影響を極力抑えることが可能な第2案を採用することとした。なお、第2案は鉄筋応力度が $54 \text{ N/mm}^2$ であり、第1案に比べ $20 \text{ N/mm}^2$ 程度の低減が可能であるとともに、道示における鉄筋の死荷重時許容応力度 $100 \text{ N/mm}^2$ に対して十分小さい値となっている。

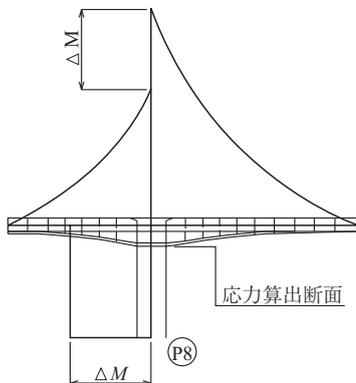


図-9 架設時曲げモーメント模式図

表-3 橋脚天端に生じる断面力・応力（最大張出し時）  
中空橋脚 5.0m × 5.9m (DS1CTC150-外2段内1段) (検討時)

		第1案 非対称架設	第2案 二次張出し架設
橋脚天端断面力	$\Delta M(\text{kN}\cdot\text{m})$	92 000	75 000
	$N(\text{kN})$	16 000	16 800
発生応力	コンクリート縁応力度	$\sigma^+(\text{N/mm}^2)$	5.26
		$\sigma^-(\text{N/mm}^2)$	-3.47
	RC断面計算	$\sigma_c(\text{N/mm}^2)$	3.98
		$\sigma_s(\text{N/mm}^2)$	76.30

(4) 1・2期線間の離隔検討

2期線P5～A2径間の橋梁形式を隣接する1期線(PC3径間連続ラーメン箱桁)と異なるPC4径間連続ラーメン

箱桁としたことで、橋軸直角方向に振動した際、振動特性の違いにより桁同士が衝突する可能性がある。このため、必要な離隔が確保できているか確認を行った。必要離隔の確認は、1・2期線おのおの非線形時刻歴応答解析により算出された橋軸直角方向の相対変位量と、1期線計画時の離隔を比較することにより行った。

確認の結果、もっとも相対変位が大きくなるのは、図-10に示すとおり1期線P6～P7間支間中央付近であり、互いが近づく方向に1期線が712mm、2期線が8mm変位したときである。このため、当初の計画時の離隔210mmでは桁同士が衝突することから、1・2期線間の離隔を1000mm確保するよう2期線の平面線形を見直した。これにより最大近接時の離隔が280mmとなり、桁同士の衝突を回避することが可能となった(図-11)。

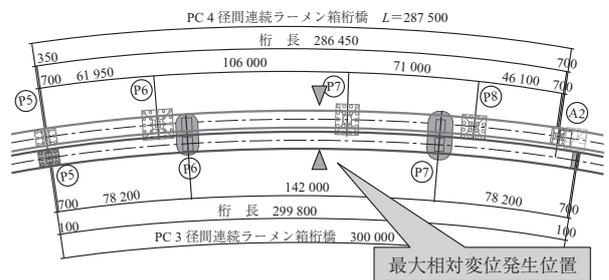


図-10 1・2期線の最大相対変位発生位置

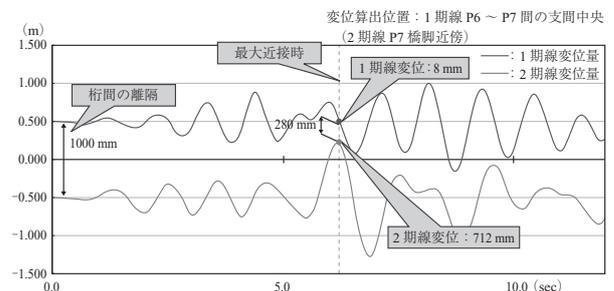


図-11 線形見直し後の時刻歴変位波形図（直角方向）

3.2 A1～P5径間の橋梁計画

(1) 既設下部工の補強検討

2期線A1～P5径間の既設部分はH2道示V編に準拠した設計であり、H24道示V編の地震波を使用しH14道示V編に基づく耐震性照査を行った。この結果、図-12に示すとおり、P1～P4橋脚の基部で曲げ・せん断耐力不足、フーチングでせん断耐力不足となったため、補強を行い既設橋脚を利用することとした。補強方法の概要を図-13に示す。橋脚基部の曲げ・せん断耐力不足に対しては、RC巻立て工法およびPC貫通鋼材(PC鋼棒φ32)の配置、フーチングのせん断耐力不足に対しては、フーチング上面を増厚して耐震性能を満足させることとした。

ここで既設橋脚内に配置された主鉄筋は、図-14に示す通り、既設橋脚の上端部分に施工済みである保護コンクリートをウォータージェットではつり、既設主鉄筋を露出させたうえで、新設鉄筋を圧接する計画とした。また巻立

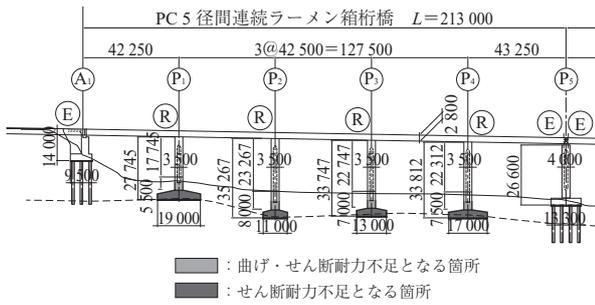


図 - 12 耐力不足となる2期線橋脚位置

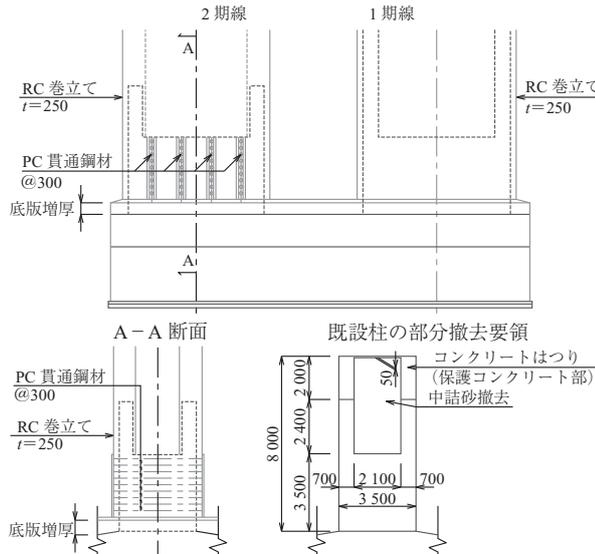


図 - 13 既設橋脚の補強方法

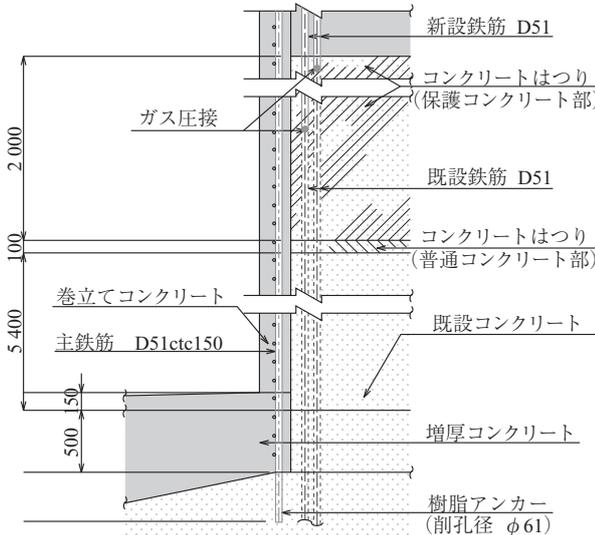


図 - 14 既設橋脚の補強方法

てコンクリート内に配置する主鉄筋はフォーチングに樹脂アンカーで定着する計画とした。

また PC 貫通鋼材を配置するための削孔にあたっては、既設鉄筋位置の探査を行い、既設鉄筋を傷つけることなく削孔を行う必要がある。しかし、鉄筋探査では表面付近の

鉄筋の確認は可能であるものの、二段目の鉄筋位置の探査は困難であるなど、既設鉄筋位置の調査には不確実性を含む。本橋では削孔により主鉄筋が切断された場合を想定し、削孔する方向に1列分の鉄筋本数を、実際の配置本数より減じて解析を行うことで構造物の安全性を確認した。

(2) 上下部工の剛結に必要な橋梁形状

1・2期線間の離隔を確保するため平面線形を見直したことに伴い既設橋脚の中心と上部工の構造中心位置にずれが生じることとなった。このため、上下部工を剛結するためには、橋脚上端部分に張出し部を設けて接合する、もしくは上部工の下床版中心と橋脚中心を揃え左右の張出し床版長を変化させることが考えられる。橋脚上端部分に張出し部を設けることは重量増加につながり既設下部工の補強量が増加することから、本橋では上部工張出し床版長を2.3～3.2 mへと変化させることとした(図 - 15)。なお、張出し長が長くなる範囲については、横締め鋼材(1S21.8)のピッチを750 mmから625 mmに狭めることで張出し床版付根に発生する応力を制限値内に収めた。

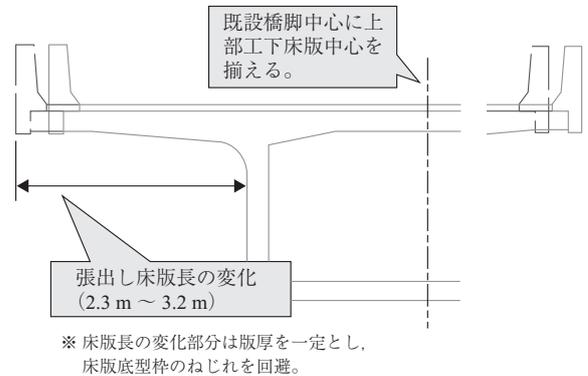


図 - 15 張出し床版長の変化

3.3 耐久性向上・維持管理効率化への配慮事項

積雪寒冷地である新潟県内の橋梁においては、凍結防止剤を含んだ路面水の漏水、撒上げや飛散により桁端部や壁高欄などに損傷が生じている。また検査路の歩廊上への積雪により、検査路の損傷も多く確認されている。これらを踏まえ、構造物の耐久性向上・維持管理への配慮として、下記のとおり計画を行った。

1) 凍結防止剤の影響が懸念される箇所(上部工箱桁外面および壁高欄)にエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することで構造物の耐久性を向上させた(図 - 16)。

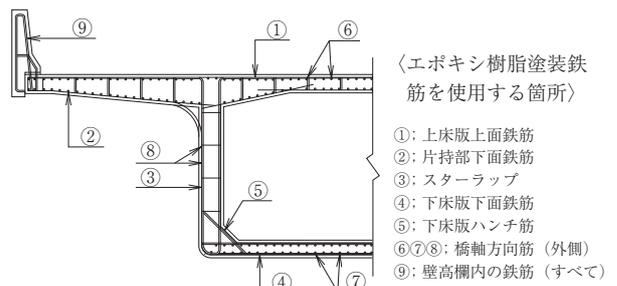


図 - 16 エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用箇所

2) 本橋の伸縮装置は非排水型の鋼製フィンガージョイントを採用し、二重止水構造となっているが、万が一の漏水に対して、上部工桁端部・パラペット・橋座面の表面保護（コンクリート塗装）により、上部工桁端部および橋台の耐久性向上を図った。橋座面の排水は、橋台前面に導水するのではなく、パラペット側に集水したのち、橋座面および橋台側面に設けたコンクリート塗装を施した排水スリットに流す計画とした（図 - 17）。

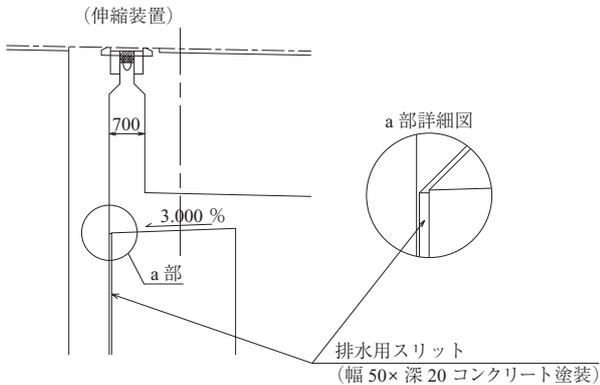


図 - 17 排水スリットによる漏水対策

3) 張出し式の橋台とすることで下部工検査路を張出し床版下に収め、歩廊上への堆雪を防いだ（図 - 18）。このほか桁端遊間を 700mm を確保し、遊間部の点検に配慮したほか、桁内検査路を設置し（図 - 19）、従来点検が困難であった高い箇所位置する定着部の近接目視点検が可能となるよう検査路を設置した。

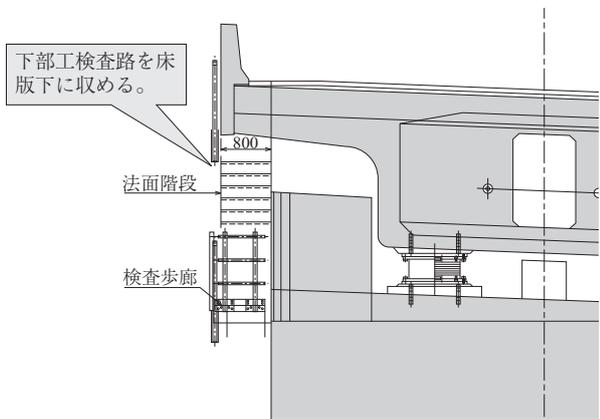


図 - 18 堆雪に配慮した下部工検査路配置

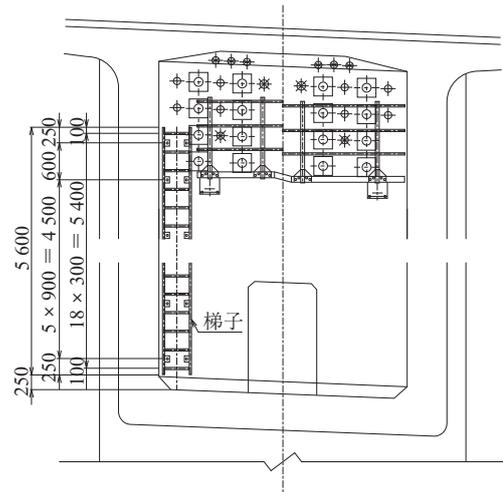


図 - 19 定着部点検用の桁内検査路

#### 4. おわりに

本稿は既設の基礎および橋脚基部を有する橋梁計画を中心に報告したもので、現在は上部工詳細設計および下部工工事が進んでいる。阪神淡路大震災および東日本大震災を経て、道示の改定が進むに従い、既設構造の耐力に留意した橋梁計画や補強設計の必要性が高まっている。本報告が、同種の橋梁計画の一助となれば幸いである。



図 - 20 れいめい橋完成予想図  
(関川下流側から上流側を望む)

#### 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人土木研究所：既設橋の耐震補強設計に関する技術資料，November 2012
- 2) 東日本高速道路株式会社：設計要領第二集 橋梁建設編；H24.7

[2015年11月2日受付]