

小名浜港のシンボル、エクストラロード橋の設計

— 東港地区臨港道路橋梁 —

万名 克実*1・岡村 希望*2・栗山 照雄*3・大波 修二*4

本橋は、小名浜港の3号埠頭と新たに建設される東港地区国際物流ターミナル（人工島）を結ぶ臨港道路のうち、航路部を跨ぐ5径間連続エクストラロードPC箱桁橋である。小名浜港は、福島県内最大の港であり、いわき市における水辺の玄関口、海辺の賑わい空間の拠点として位置付けられていることから、「小名浜港の新しいランドマークとして眺望や利用を通じて愛着が感じられる橋」をデザインコンセプトとして橋梁計画および細部デザインを行った。また、海上の航路部を跨ぐ橋梁であることから、種々の塩害対策を施し、耐久性の高い橋梁を目指すとともに、航路上での維持管理作業を軽減するため、中間支点に支承を設けないラーメン構造を採用した。

本稿は、デザインコンセプトを踏まえた形状、形式の決定、ならびに実施設計における検討経緯を報告するものである。

キーワード：エクストラロード橋、海上橋、景観、塩害対策

1. はじめに

本橋は、小名浜港東港地区国際物流ターミナル整備事業の一環である3号埠頭から東港地区（人工島）に至る臨港道路のうち、航路部を跨ぐ橋梁であり（図-1）、地域のランドマークとなるべく、日本の臨港道路としては初となるエクストラロード橋が採用された。このため、橋梁デザインおよび構造計画・設計は、有識者から成る技術検討委員会により検討が進められた。

設計荷重：B活荷重

橋 長：510 m

支 間 長：75 m + 3@120 m + 75 m

縦断勾配：+5.000 % ~ -5.000 %

横断勾配：3.000 % ~ 1.500 %（拌み勾配）~ 2.0 %

平面線形：R = 280 ~ R = ∞ ~ A = 160 ~ R = 480

架設工法：張出し架設工法

そ の 他：塩害対策区分 S



図 - 1 橋梁位置図¹⁾

2. 橋梁概要

路 線 名：小名浜港東港地区臨港道路

橋梁位置：福島県いわき市小名浜港内

発 注 者：国土交通省東北地方整備局

構造形式：5径間連続エクストラロードPC箱桁橋

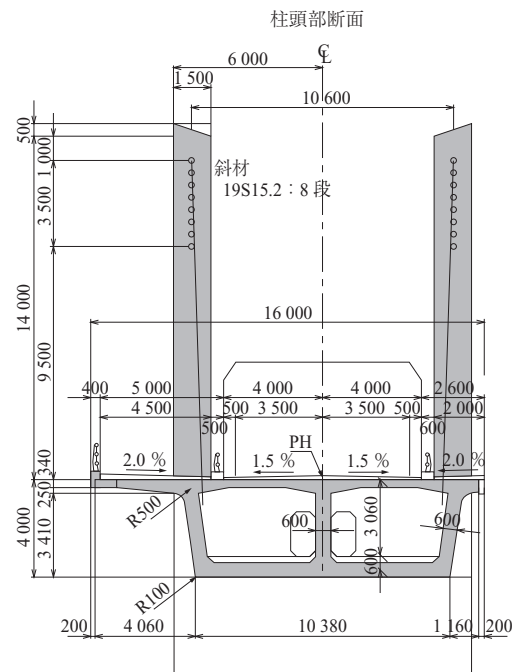


図 - 2 上部工標準断面（中間支点部）

*1 Katsumi MANNA：(株)オリエンタルコンサルタンツ 関東支店

*2 Kibo OKAMURA：(株)オリエンタルコンサルタンツ 関東支店

*3 Teruo KURIYAMA：(株)オリエンタルコンサルタンツ 国土整備事業・高度化推進室

*4 Shuji ONAMI：(株)オリエンタルコンサルタンツ 関東支店

本橋の上部工標準断面を図 - 2 に、橋梁全体一般図を図 - 3 に示す。

3. 橋梁計画

3.1 当該地区の特性

小名浜港は、福島県内最大の港であり、港湾内には工場の建屋やガントリークレーン等、直線的な構造物群が周辺に多く存在し、埋立て地ならではの平坦な地形で、水平基調の広がりのある景観が特徴である。

また、県内有数の観光地であり、架橋地に隣接する第1、2埠頭には、観光客や家族連れの方々が訪れる観光スポットにもなっている観光物産館（いわき・ら・ら・ミュウ）や水族館（アクアマリン）があり、その施設周辺に整備されている親水公園・デッキからは、本橋の全貌をパノラマ的に眺めることができる（図 - 4）。小名浜港全体を一望できる港北端側の丘陵に建てられたマリンタワー展望台から、本橋が港湾施設群と市街地と一体的に眺められる。

架橋位置はいわき市における水辺の玄関口や海辺の賑わい空間の拠点として位置づけられ、新しい橋も地域のシンボルのひとつになることが望まれた。そこでデザインコンセプトを、「小名浜港の新しいランドマークとして眺望や利用を通じて愛着が感じられる橋」として掲げ、検討が進められた。

3.2 デザインの方向性の整理

デザインコンセプトをもとに、本橋の橋梁形式に求められる要件を整理した（表 - 1）。とくに、伸びやかな上部

工のラインの美しさ、海上部のエクストラード橋の4基の主塔・橋脚が橋梁の群としての美しさ、アクアマリンをはじめとする視点場から見たときに桁下の解放感を阻害



図 - 4 完成予想図

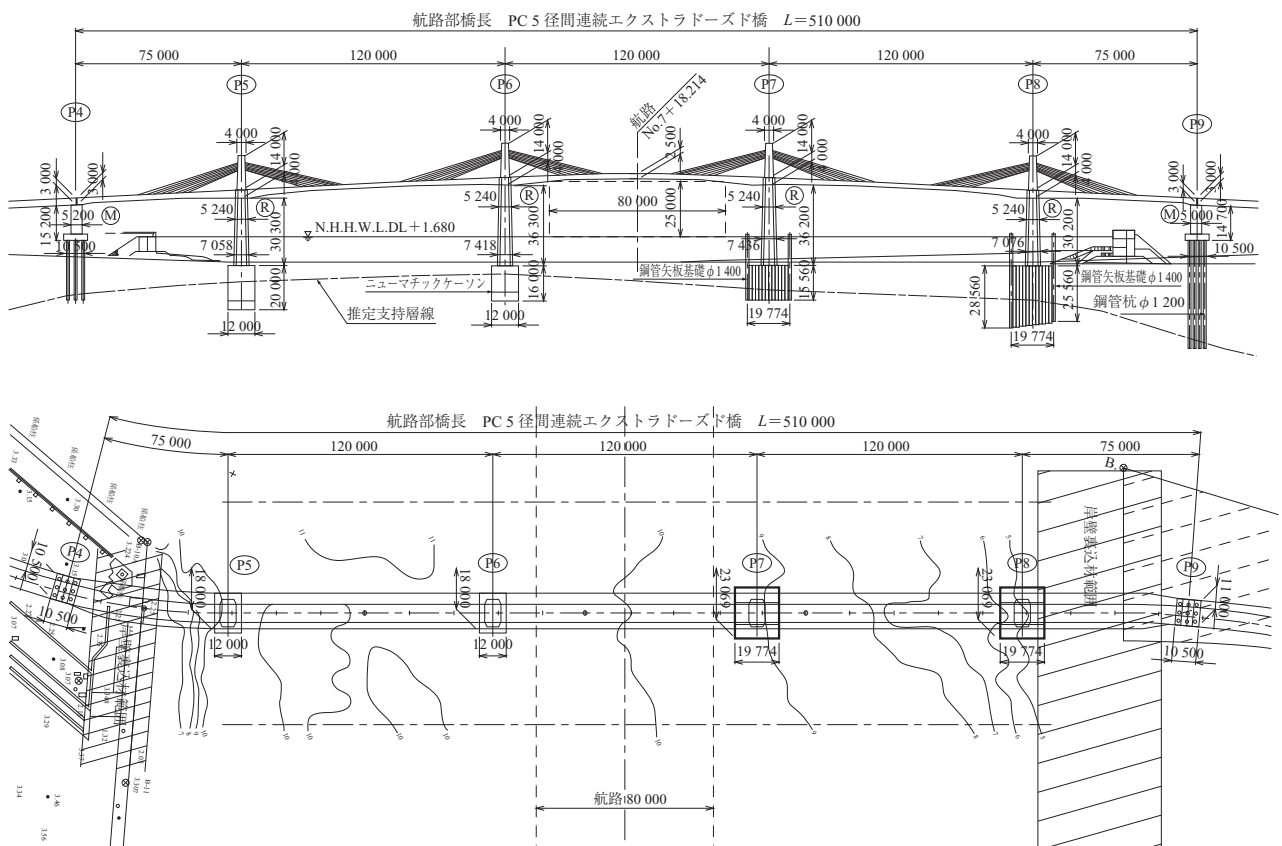


図 - 3 橋梁全体一般図

表 - 1 本橋の橋梁形式より求められる要件の整理

	橋梁形式の特徴	求められる要件
線形	・上部工の伸びやかな線形 ・アプローチ部と航路部が一体的に見える	→伸びやかな水平ラインを美しく見せる（フェイスラインの連続性） →アプローチ部と航路部の橋脚デザインのまとまり
上部工	・歩道が塔の外側に設置 ・ケーブルの桁内定着	→歩道側（湾内側）のフェイスラインは塔に遮られることのないラインを描く →付属物は極力露出させない
橋脚・主塔	・4基の橋脚・主塔が連続する ・橋上に主塔・ケーブルが連続する	→群の美しさ+桁下の開放感を阻害しない →リズムカルな橋上空間の創出

しないことなどを重視した。

3.3 基本形態の検討

海上部のエクストラードード橋は、多様な方向から見られる4基の主塔・橋脚が橋梁の形態を特徴づける。エクストラードード橋における橋脚・主塔の形の成り立ちの分類から形の方向性を抽出し、比較評価した。表 - 2 に比較案の一例を示す。景観面では周囲から見上げ視点で見られることが多いことから桁下の解放感を阻害しないことを重視した。

表 - 2 形態分類を基にした一次比較案の一例

	面壁橋脚案	Y型橋脚案	2柱式(V型)
形の成り立ち			
想定される形状			
イメージパース			
特徴	面壁が桁下の解放感を阻害	橋脚がスレンダーになることで、桁下の解放感を得やすい	

エクストラードード橋のデザインについては、学識経験者および地元代表者を委員に含んだ技術検討委員会において審議を図りながら検討を進めた。

地域の意見としては小名浜港における新たなシンボルとして地元からの期待が大きく、デザイン面への関心が高い状況を踏まえ、特徴のある本橋の形式にあった構造として、基本案「2柱式(V型)」が技術検討委員会で選定された。

3.4 デザインの洗練

採用した基本案に対し、実施設計では、構造的・施工性の合理化を図るため、委員会提示のデザインを踏襲しつつ、主塔の鉛直化や橋脚のスレンダー化など、より合理的で美しいデザインにした(図 - 5)。

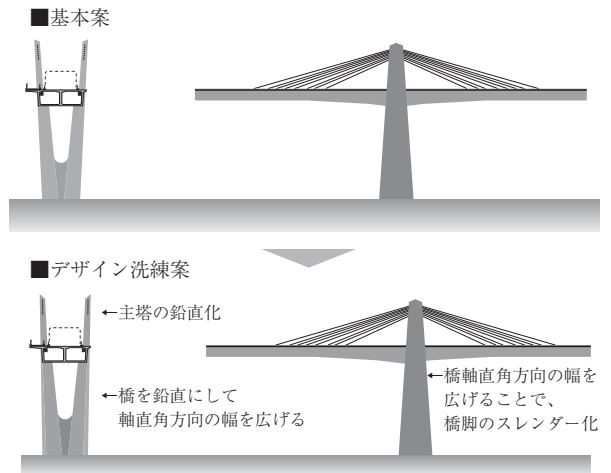


図 - 5 基本案に対するデザインの洗練

とくにデザイン上重視した点は以下の2点である。

① 形の成り立ちがわかりやすいデザイン

本橋は、桁を貫通して橋脚から塔に向かって連続する形状が特徴である。そこで、図 - 6 のように橋脚と主塔のテーパや断面変化が連続するような橋脚および塔の断面形状とし、正面および側面から見たときに橋脚と塔の面取りラインが連続し上に向かって伸びやかな印象となるようにした。断面形状は施工性に配慮し、断面がねじれないように模型で検証しながら検討した(図 - 7)。塔頂部は内側に傾斜をつけ、主塔の伸びやかさを強調させた。

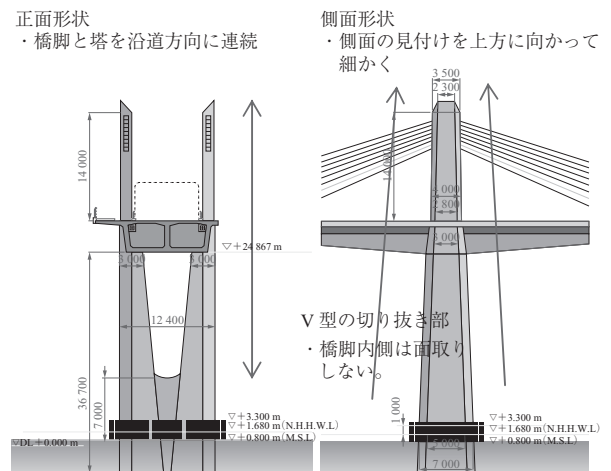


図 - 6 橋脚・主塔形状のデザイン

② 4基の橋脚に統一感のあるプロポーショナル

塔部の4基の橋脚は、桁の接続高さが変化することにより橋脚の高さも変化するため、V型形状のプロポーショナルが異なってくる。そこで、4基の橋脚で統一感のある印象

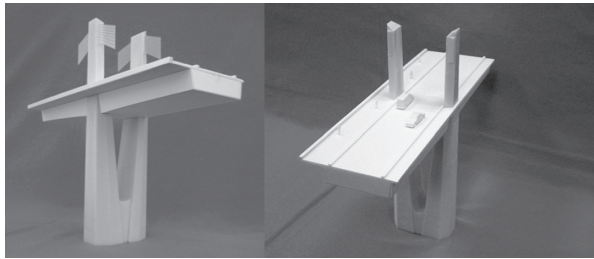


図 - 7 橋脚・主塔形状のスタディ模型

とするため、V型の抜け空間が相似形となるようにおのおのでV型の角度や付け根部の天端高さを設定した(図-8)。

また、付け根部を凹みのある円形とすることで、橋脚のまとまり感と上への伸びやかさの両立を図った。

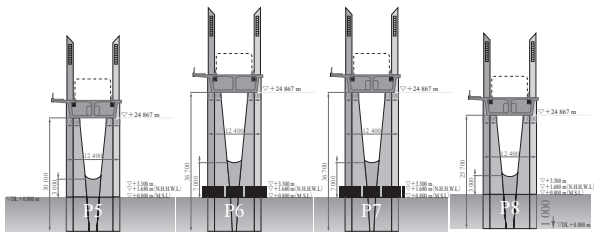


図 - 8 4基の橋脚のプロポーション

4. 構造計画・検討

4.1 全体計画

(1) ラーメン構造の採用

本橋は海上橋であるため、支承や橋座面には塩分を含んだ水が溜まりやすく、劣化・損傷が進展しやすくなる。また、V型橋脚の頂部が狭小であるため落橋リスクも懸念される。以上より、支承のないラーメン構造を採用することとした。

しかし、本橋のように固定支間に対して高さが低い橋脚を有する構造に適用すると、桁の温度変化やクリープ・乾燥収縮、プレストレスによる弾性変形の拘束により、とくにP5、P8の橋脚基部に過大な断面力が発生し、構造が不成立となる。

そこで、図-9に示すように、P5-P6間およびP7-P8間を閉合する前に、ジャッキで外側に水平反力を

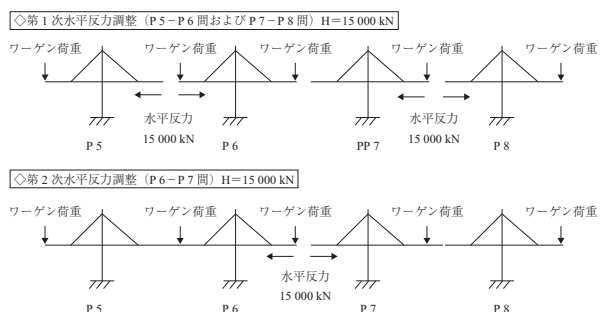


図 - 9 水平反力調整エステップ

与えることにより、P5、P8に発生する曲げモーメントを軽減する水平反力調整工を採用してラーメン構造を実現した。導入力は橋脚橋軸方向鉄筋(SD345)が温度時および施工時の許容引張応力度を満足する値として15000kNとした。

(2) 基礎形式

架橋位置周辺の支持層は、換算N値が100~300を示す砂岩・泥岩互層の軟岩層であり、P5、P8が深く、P6、P7が浅い山なりの分布を示している。

基礎形式は、荷重規模が大きいことや海上施工となることから、鋼管矢板基礎(打撃工法)とニューマチックケーソン基礎(鋼殻ケーソン工法)を抽出した。次に、橋梁内で支持層深度が異なること、陸上からの距離や航路確保などの施工条件に応じて仮設工法(栈橋、独立栈台、台船)の適用性が異なることから、橋脚ごとに基礎形式や仮設工法の組み合わせを変えたケースで、施工性・経済性に着目した比較を実施した結果、P5、P6にはニューマチックケーソン基礎を、P7、P8には鋼管矢板基礎を採用した。

4.2 上部工の計画

(1) 桁高比較

桁高は柱頭部および支間中央部に対して、それぞれ文献・実績の桁高/支間長比より柱頭部桁高3.5~4.5m(1/35~1/25)、支間中央部桁高2.0~4.0m(1/60~1/40)の6つの組合せで検討した。主ケーブルは12S15.2、斜材19S15.2とし、図-10に示すとおり、もっとも経済的となる柱頭部=4.0m(1/30)、支間中央部=2.5m(1/48)を採用した。

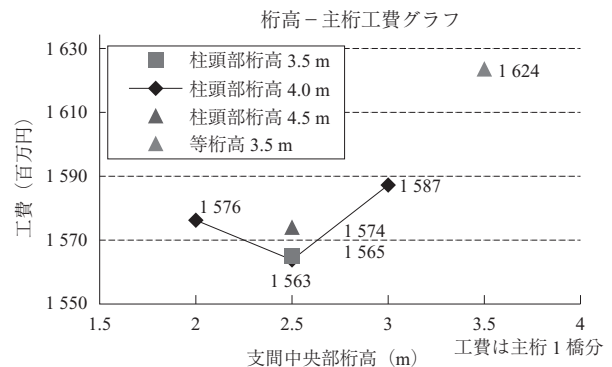


図 - 10 桁高 - 主桁工費グラフ

(2) 主塔高比較

主塔高は文献、実績の塔高/支間長比より $H = 10 \sim 16$ m(1/12~1/7.5)の4ケースで検討を行い、図-11に示すとおり、もっとも経済的となる $H = 14$ m(1/8.6)を採用した。

(3) 塔定着構造

斜材の塔固定方式には、分離固定方式と貫通固定方式があり、分離固定方式には、クロス定着方式とセパレート定着方式、貫通固定方式にはサドル定着方式がある。本橋ではエクストラロード橋で実績が多く、形状のコンパクト化により経済性に優れた貫通固定方式のサドル定着方式を採用した(表-3)。

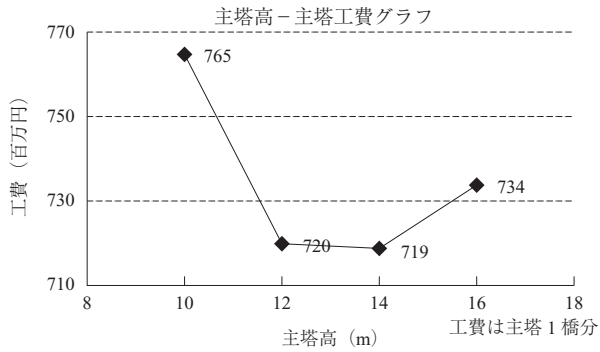


図 - 11 主塔高 - 主塔工費グラフ

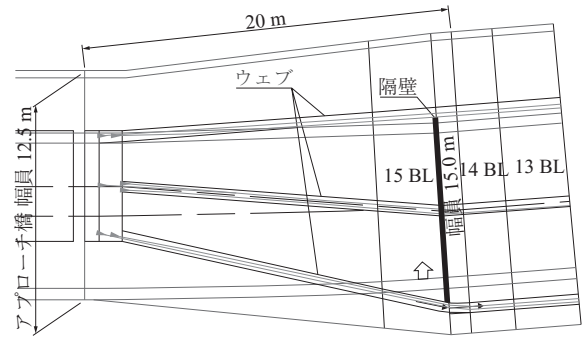


図 - 12 桁端部擦付け平面図

表 - 3 斜材の主塔固定方式比較表

	分離固定方式		貫通固定方式
	クロス定着	セパレート定着	サドル定着
概念図	最小幅 5000	最小幅 3500	最小幅 3000
構造概要	・塔を充実断面として、斜材を交差定着させて配置。 ・一般ケーブル用の定着具を用いる。	・塔内部に鋼殻を埋設して中空断面とし斜材を鋼殻に定着。 ・相互に定着された斜材張力に対し、鋼殻で補強。	・塔を充実断面として、斜材を貫通させて配置。 ・塔出口部等で、左右の斜材張力差を固定。
構造的性	▲斜材偏心量が小さくなり不利	▲斜材偏心量が小さくなり不利	○斜材偏心量が大きくとれるため有利
施工性	▲配筋が煩雑	○配筋が単純	○配筋が単純
斜材交換	○二重管構造	○二重管構造	○二重管構造
施工実績	▲斜張橋でも用いられる	▲斜材径が大きい場合に採用されている	○実績が多い
経済性	▲もっとも高価	▲高価	○安価
評価			○採用

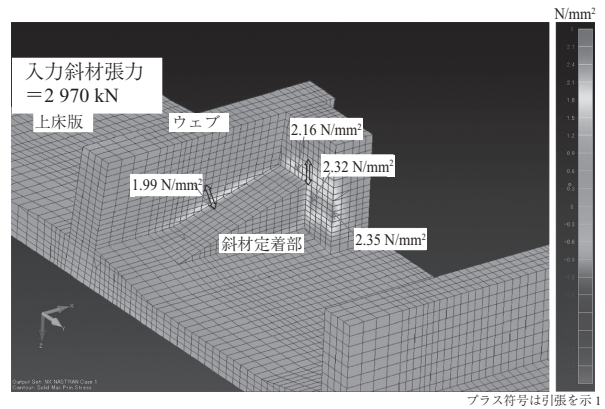


図 - 13 FEM 解析結果 (主応力図: 箱桁内部)

(4) 斜材の選定

斜材は、現場製作鋼材と工場製作鋼材の大きく2つに分類される。さらに、工場製作鋼材には定着具を工場一体加工し完全パッケージ化した完全プレファブ鋼材と、定着具を別途現場で組み立てるセミプレファブ鋼材に区別される。本橋は施工工程の制約があることや海上での施工で現場条件が厳しいことなどから、工場製作鋼材を採用した。また、塔の斜材固定方式に採用しているサドル定着方式に対して施工誤差を吸収しやすいセミプレファブ鋼材とした。

(5) 桁端部の擦付け

本橋は塔を配置する関係で総幅員が前後のアプローチ橋よりも広がる。このため掛違ひ橋脚付近では幅員の擦付け (15 m から 12.5 m へ 2.5 m 縮小) が必要となる。斜材定着が終わる 15 BL から端部までの約 20 m という短い区間で擦付けるため断面が急変し、主ケーブルによる腹圧力が懸念された。よって、これに抵抗できるよう隔壁を設置した (図 - 12)。

(6) 斜材定着部

斜材定着突起には、局部的に大きな力が作用することから、FEM 解析を行い、発生する局部応力の大きさを把握した。発生応力度は図 - 13 のとおり、引張応力度が 3.0 N/mm² 以下であり、有害なひび割れが発生する確率は低いことを確認した。発生する引張応力度に対しては鉄筋

による補強を行った。

(7) 曲線への対応

一般に、張出し架設をする場合、移動作業車は、打設コンクリート荷重や型枠荷重によるモーメントを、既設ブロック端部に設置したメインジャッキと後方のアンカー PC 鋼材で受けもつ抵抗機構になっている。したがって、メインジャッキ下には大きな圧縮反力、アンカー PC 鋼材には大きな引張り荷重を受けるため、メインジャッキはウェブの直上に置くように計画するのが一般的である。しかし、本橋の起点側側径間部は、 $R = 280 \text{ m}$ の曲線区間に位置し、通常どおりウェブ直上に移動作業車を設置すると、歩道側の斜材と移動作業車が干渉する。

そこで、可変式移動作業車を採用しメインジャッキ位置を変化させて干渉を避けることとした。また、メインジャッキの斜材定着部付近への設置により局部応力が生じるが、図 - 14 に示すように補強リブを設けることにより、図 - 15 のとおり 3.0 N/mm² 以内に抑えた。

(8) 塩害対策

本橋は道路橋示方書の規定により塩害対策区分 S となるため、かぶり 70 mm を確保した上で、すべての鉄筋をエポキシ樹脂塗装鉄筋としたが、耐久性のさらなる向上のため、表 - 4 に示す塩害対策を実施した。

4.3 耐震設計

本橋の耐震性能は、レベル 1 地震動に対して耐震性能 1 を、レベル 2 地震動に対して耐震性能 2 をそれぞれ確保した。また、斜材を有する橋であり、道路橋示方書・同解説

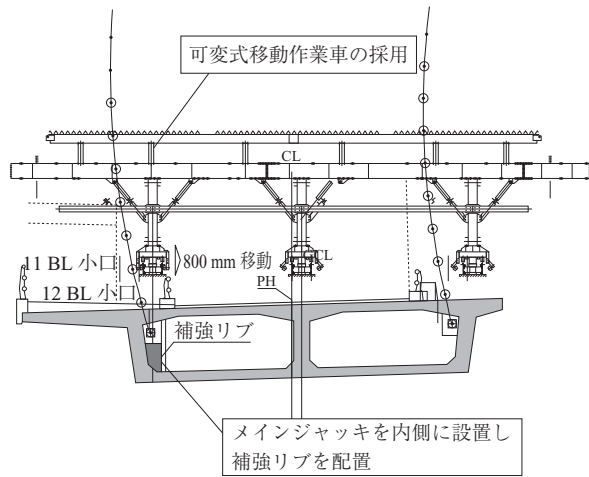


図 - 14 可変型移動作業車と補強リブ

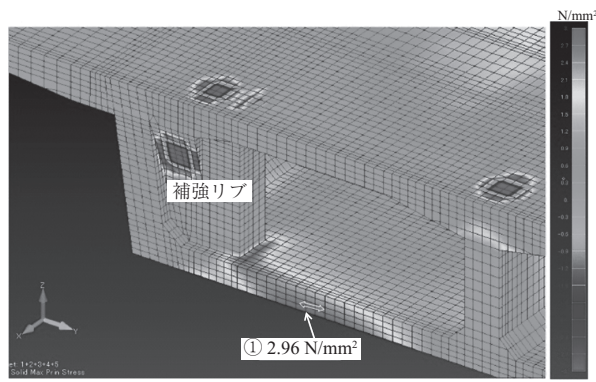


図 - 15 FEM 解析結果 (主応力図: 補強リブ)

表 - 4 塩害対策一覧

部材名	対策内容	
コンクリート	$\sigma_{ck} = 40\text{N/mm}^2$, 水セメント比を 43% 以下に設定する	
使用鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋 (断面内の鉄筋すべて)	
鋼材かぶり	外気と接する面のかぶりを 70 mm 確保	
主ケーブル	シースはポリエチレン製	
斜材ケーブル	エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材 + ポリエチレン被覆の 2 重防錆	
横締めケーブル	プレグラウト PC 鋼材	
定着具	主ケーブル	樹脂製グラウトキャップ
	斜材	定着部を桁内に設置
	横締め	樹脂被覆定着具 (エポキシ粉体塗装) 樹脂製グラウトキャップ
桁端部	桁外面塗装 (橋座上の桁端部とウェブ)	
ウェブテーパー	1:0.14 に傾けることで飛来塩分の付着を軽減	
サークルハンチ	上床版とウェブの付け根: $R = 500\text{ mm}$ 下床版とウェブの角: $R = 100\text{ mm}$	
ひび割れ対策	主方向の設計荷重作用時の応力度をフルプレストレス	

V 耐震設計編で示す複雑な振動挙動をする橋であるため、レベル 1, 2 地震とも、道示波とサイト特性を考慮して作成した地震波を入力波とする動的照査法により各断面を決定した。

本橋の設計完了後に発生した東日本地震の観測地震波を用いた修正設計で主桁および主塔の補強を行った。主桁は曲げ応力増加に対して中央径間の下床版ケーブルを 2 本追加した。主塔は地震波による応答値が大きく鉄筋では補強不可であり、断面形状を大きくすると自重増加により施工済みの基礎に影響するため、中空 PC 鋼棒を配置して補強した (図 - 16)。

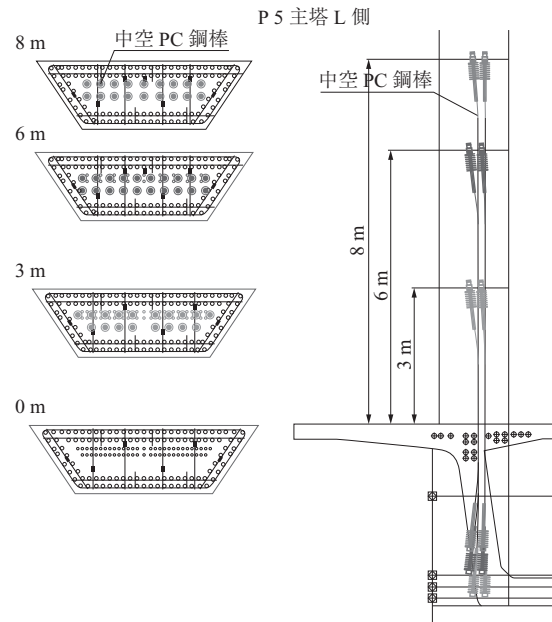


図 - 16 主塔の補強

5. おわりに

本稿は、小名浜港東港地区臨港道路の航路部橋梁について、地域に即したデザインコンセプトを踏まえた形状決定と構造的、耐久性に関する設計について報告した。

景観面では地域のランドマークとして親しまれるデザイン、構造面では平面曲線への対応、塩害環境や耐震性への対応などの課題を解決し、臨港道路では日本初となるエクストラード橋の実設計を完了することができた。ご指導をいただいた小名浜港東港地区臨港道路技術検討委員会 (委員長: 齋藤 潮教授 (東京工業大学)) の委員の方々、関係各位にこの場を借りて感謝いたします。

なお、本橋は、基礎工事中に東日本地震による地震と津波の影響により被災を受けたものの、平成 27 年 3 月時点、上部工の張出し架設が進められている。

参考文献

- 1) 国土交通省小名浜港湾事務所ホームページ
<http://www.pa.thr.mlit.go.jp/onahama/port/onahama/index.html>
- 2) PC 斜張橋・エクストラード橋設計施工基準 (社) プレストレストコンクリート技術協会編技報堂出版

【2015 年 3 月 4 日受付】