

川崎港臨港道路低主塔複合斜張橋の技術的検討

秋本 泰治*・安原 晃**・作中 淳一郎***

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

**国土交通省 関東地方整備局 京浜港湾事務所 川崎臨港道路担当 課長補佐

*** 国土交通省 関東地方整備局 京浜港湾事務所 川崎臨港道路担当 港湾施設監査官

川崎港臨港道路東扇島水江町線の主橋梁部は、5径間の連続複合斜張橋であるが、主塔が羽田空港の制限表面の関係から低く設定されている。また、地盤が軟弱であり、L2地震動も大きいため、様々な工夫が求められている。本稿では、本橋特有の技術課題に対する検討事項の一部を報告する。

キーワード：臨港道路、低主塔、斜張橋、設計要領、異種基礎

1. はじめに

川崎港臨港道路東扇島水江町線は、平成26年度に主橋梁部の実施設計が行われるとともに、下部工については平成27年度に工事が現地着工している。

沿岸技術研究センターでは、実施設計が行われるにあたっての設計プロセス及び実施設計結果について、技術評価を行ってきた。本稿では、本橋の技術的特徴を述べるとともに、本橋特有の技術課題に対する検討事項の一部を報告する。

2. 橋梁概要

本事業は、東扇島から水江町に至る、延長およそ3kmの往復4車線(一部2車線)の道路橋を整備するものである。本線には京浜運河を渡河する長大橋が位置するほか、東扇島側では一般国道357号との取付ランプがある。

京浜運河を横過する主橋梁部は、可航幅と桁下空間の確保及び東京国際空港の制限表面から決まる空頭制限より、低主塔の斜張橋を採用している。主橋梁部以外のアプローチ部は一般的な桁構造の橋梁である。

主橋梁部の基本諸元を以下に示す。また、位置図を図-1に、主橋梁部の側面図を図-2に示す。

【主橋梁部の基本諸元】

- ・橋梁形式：5径間連続複合斜張橋
- ・橋長：870m (87.5+85+525+85+87.5m)
- ・幅員：20.2m(鋼桁区間), 19.0m(PC桁区間)
- ・桁高：3.0m(鋼桁区間), 4.0m(PC桁区間)

さらに、本橋では、用地の厳しい制約に対応するため、MP1・MP4・MP5・MP6をニューマチックケーソン基礎、MP2・MP3を鋼管矢板井筒基礎とする異種基礎を採用している。

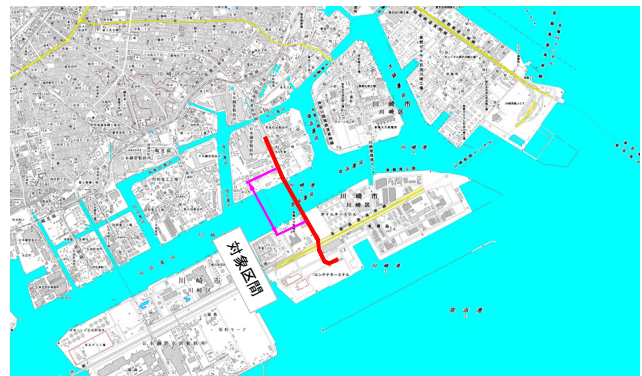


図-1 川崎港臨港道路 位置図

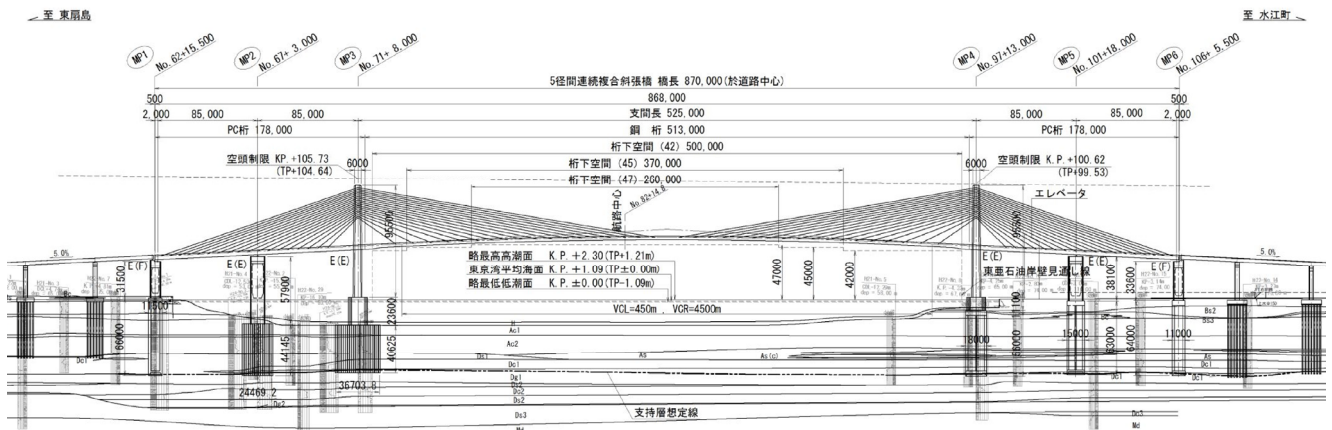


図-2 主橋梁部 側面図

3. 技術的特徴

本臨港道路の位置付け、当該地の自然条件や周辺環境、供用後に想定される利用状況などから、本臨港道路は以下に示す特徴を有する。

- ・ 東扇島基幹の広域防災拠点を含む港湾における耐震強化施設に接続する道路であることから、その使用性においては、災害時に機能を損なわずに継続して使用することに影響を及ぼさないことが求められる。
- ・ 埋め立て地であるため地盤条件がよくない。
- ・ 海岸地域であることや工業地帯であるため腐食環境がよくない。
- ・ 計画交通量が多く重交通も多いと想定されるため厳しい荷重状態に置かれる。
- ・ また、主橋梁部については以下の特徴を有する。
- ・ 京浜運河を跨ぐため、大きな桁下空間を確保する必要がある。
- ・ 羽田空港の航空制限表面があるため、厳しい上空制限を受ける。
- ・ 道路橋示方書の適用範囲を超える長大橋梁である。

4. 本橋特有の技術課題に対する検討

平成 26 年度川崎港臨港道路東扇島水江町線橋梁技術・施工検討会（委員長：早稲田大学 清宮教授）では、実施設計業務で決定された具体的な橋梁諸元のディテールについて、その設計過程～結果について審議を行った。

技術課題は、大きく分けて耐震検討、上部工、鋼管矢板井筒基礎、ニューマチックケーソン基礎の項目に分類される。以下に、本検討会に諮られた技術課題のうち、主たるものを報告する。

4.1 2方向免震構造の支承細部構造

本橋はR=2700mの曲線橋であり、常時橋軸直角方向に水平荷重が作用するため、支点を弾性支持とすると、アプローチ部で直角方向に位相差が生じる。そのため、全支点において面外方向固定構造としている。ただし、常時及びL1地震時に固定化された構造を、L2地震時には地震力低減を目的に、中間支点部（MP2～MP5）を全方向免震化させる。すなわち、L2地震で中間支点部の固定構造を確実に破壊させて免震化させるため、L1地震力に対してせん断耐力で設計する（L1地震時以外の荷重ケースは許容応力度法により設計）。

図-3は、固定ボルト耐力と地震力の関係を示したものである。③は、想定外の事象として、固定ボルトが破壊しなかった場合を想定して、支承を固定とした状態でL2地震に対する動的解析を実施した結果の水平力である。固定ボルトの耐力と③の水平力を比較すると、概ね2倍以上の差がみられることから、L2地震に固定ボルトは確実に破壊されると考えられる。なお、支承設計はボルト強度の下

限值での設計となるため、支承製作時には取付けボルトの破壊試験を行い、過度な耐力を有しないように調整が必要となる。なお、別案としてロックオフボルト構造案もあったが、直角方向の持続荷重と変動荷重の常時作用によって、ノッチ部の強度低下が懸念されること、また、ロックオフボルトの曲線橋への採用事例がないことから、実施設計段階では採用を見送ることとなった。

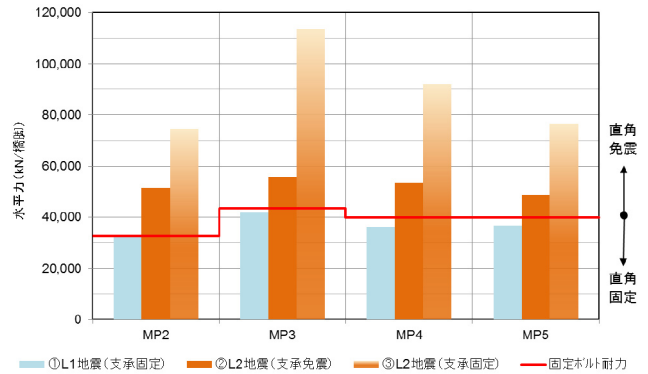


図-3 支承の固定ボルト耐力と地震力の関係

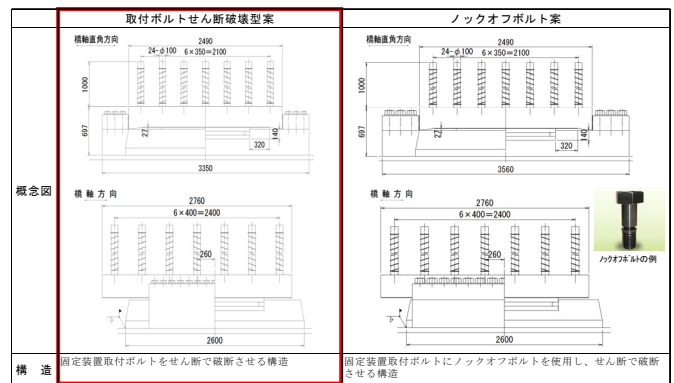


図-4 支承固定構造概念図

4.2 剥離干渉法を適用した主桁形状の耐風安定性

本橋は平成 22 年度にケーブル定着部にフェアリングを設置した断面で風洞試験が実施され、耐風安定性が確認されているが、ケーブル定着部の目視点検を常時できないこと、メンテナンス時のフェアリングを取り外す必要があるなど、維持管理上の課題があった。これを受けて、平成 25 年度にフェアリングを廃止し、図-5に示す剥離干渉法を適用した断面に見直しが行われたため、主桁部分模型による風洞試験を実施した結果、耐風安定性が確認された。

本橋で適用した「剥離干渉法」は、図-6に示すように2つの剥離点を設けることで、剥離に伴う渦の回り込みを抑制し、物体があたかも流線形になったような効果を作り出す空力的制振手法のことである。空力的に有効となる剥離干渉角及び鉛直突起高は以下の通りである。

- ・ 有効な剥離干渉角 θ : $\theta=30^\circ$ 程度
 - ・ 有効な鉛直突起高さ : 断面高の 20%程度 ($H=0.2D$)
- (※H:鉛直突起高, D:断面高)

本橋の主桁断面は、桁上面に鉛直板タイプに類似した剥離干渉法を、桁下面に隅切りタイプの剥離干渉法をそれぞれ

適用した断面を設定した(図-7)。

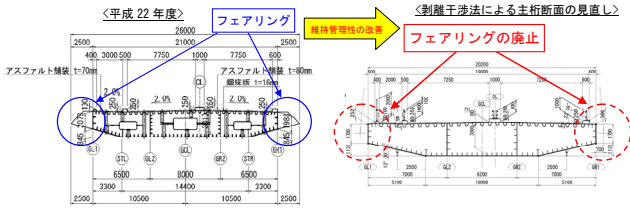
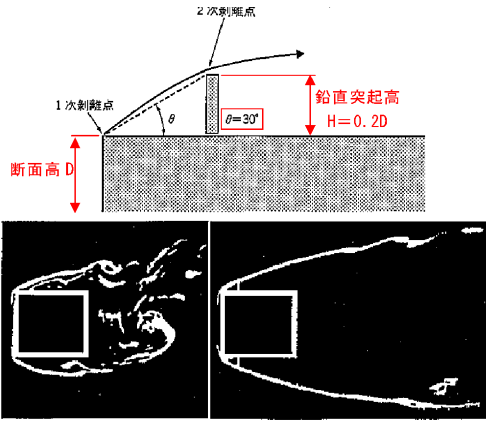


図-5 主桁断面の見直し (フェアリングの廃止)



(a) 正方形角柱周りの流れ (b) 剥離干渉法による正方形角柱周りの流れ

図-6 剥離干渉法のイメージ

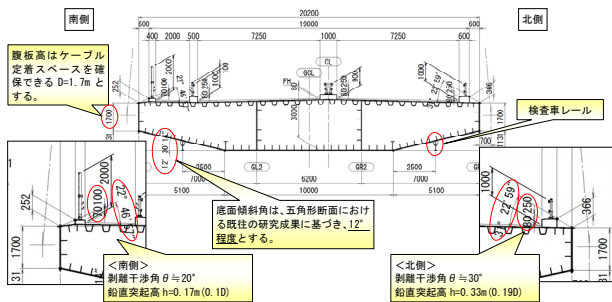


図-7 剥離干渉法を適用した主桁断面形状 (鋼桁区間)

4.3 ケーブルの制振対策

ケーブルの制振対策は、過去の実橋および実験での振動・対策事例を調査し、本橋における対策の参考とし、制振対策の規模の検討や、対象とする目安・基準の違いによる影響を確認した。

ケーブルの風による振動現象は、ケーブルの断面形状および配置方法(単列配置)から、過去の実橋で発現が確認された「渦励振」と「レインバイブレーション」に着目するものとした(図-8)。

本橋では全てのケーブルにおいて制震対策が必要であることから、制振対策は、空力対策(表面加工)と付加減

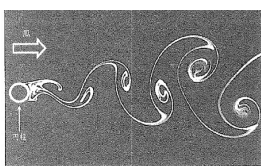


図-8-1 物体背後に形成されるカルマン渦 (円柱)²⁾

(渦励振)

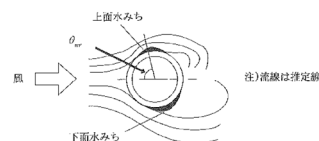


図-8-3 降雨によるケーブル表面の水みち形成¹⁾

(レインバイブレーション)

図-8 本橋のケーブルに発現する可能性がある振動現象

衰対策(角折緩衝材または高減衰ゴムダンパー)を併用して相互効果を図るものとした。また、本橋では、風向が振動しやすい範囲にあること、完成後の構造減衰の変更が、足場の設置等を勘案すると容易に行えないことなどから、建設当初からケーブル構造減衰は0.03以上確保するものとした。

4.4 架設時の地震に対する安全性の検討

東京湾で過去10年に観測された地震波に対して、本橋の架設時の動的挙動および構造安全性を確認した結果、観測された最大地震は、設計L1地震の1/2と同等または下回る応答であることが確認された。なお、橋の架設期間中に発生する確率の低い地震として、東北地方太平洋沖地震を除くものとした。

架設時の想定地震を設計L1地震の1/2とし、資機材については架設時の対策事例を調査し、本橋の架設時に考慮すべき対策案を抽出した。

4.5 杭の現地試験計画 (MP2, MP3 鋼管矢板井筒基礎)

実施設計における机上検討では、現地試験により設計値以上の支持力が確認できた場合は中打ち単独杭の省略が可能であることから、施工段階で杭の鉛直載荷試験を行うものとした。載荷試験は、精度の高い極限抵抗力が得られ、必要な伝達エネルギーを確実に試験杭に与えることが可能な急速載荷試験により行う。試験杭は支持力のみを期待している中打ち杭を利用し、基礎工1基につき最大3本とする。杭の支持力機構を把握するため、試験杭の頂版上面及び地層境界にひずみ計及び加速度計を設置する。図-9に、試験杭の位置及び諸元を示す。また、急速載荷試験の試験内容及び測定項目を表-1に示す。

図-10に杭の現地試験フローを示す。(STEP2)及び(STEP3)で実施する載荷試験は、中打ち単独杭の削減を目的として極限支持力の確認を行うものであるため、精度の高い極限抵抗力を得る必要がある。

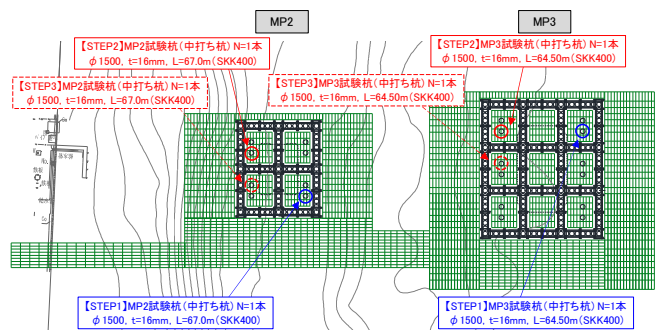


図-9 試験杭の位置及び諸元

表-1 試験内容及び試験項目

急速載荷試験		
打撃装置	重錘落下装置(重錘質量100t)	
目標試験荷重	MP2: 27,050kN/本 MP3: 24,600kN/本	
測定項目	ひずみ量	ひずみ計
	加速度	加速度計
	変位量	光学式変位計

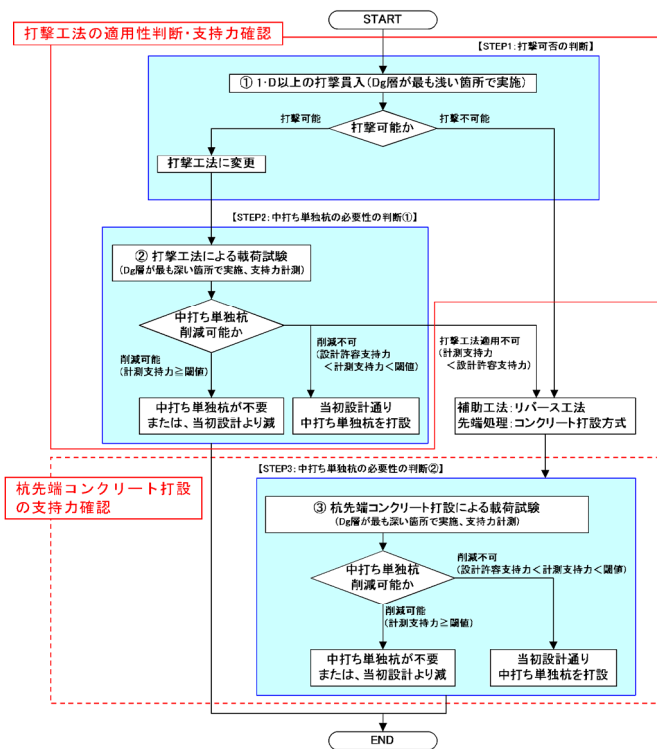


図-10 杭の現地試験フロー

4.6 ニューマチックコンクリート基礎のマスキング対策（標準配合を想定した温度応力解析結果について）

主塔部の橋脚及び基礎頂版は部材平面寸法、部材厚の大きなコンクリートとなるため、コンクリート打設時の温度ひび割れが懸念される。主塔部橋脚及び基礎頂版（MP3, MP4）を対象に、3次元 FEM 解析による温度応力解析を実施し、温度ひび割れの抑止対策について検討した。躯体表面はひび割れ指数 1.0 が確保されるが、躯体内部や MP3

頂版コンクリート下面でひび割れ指数 1.0 を下回ること、実施工では本解析条件と異なる可能性があることから、施工段階で考慮すべき対策案を抽出した。温度ひび割れ対策・耐久性向上策と取りまとめたものが表-2である。また、実施工では種々の要因でひび割れが生じるとも想定される。特に飛沫帯に位置し、酸素が供給される橋脚については、鉄筋腐食によるひび割れの進捗が耐久性の低下を引き起こす懸念もあることから、ひび割れの発生原因やひび割れ幅に応じて適切な対策を講じることが望ましい。

7. おわりに

川崎港臨港道路東扇島水江町線に整備される5径間連続複合斜張橋主橋梁部の技術課題について報告した。今後、類似の構造物を設計・計画する際の参考となることを期待する。

謝辞

本稿は、国土交通省関東地方整備局京浜港湾事務所発注の川崎港臨港道路東扇島水江町線技術評価業務の成果の一部をまとめたものである。実施にあたっては、川崎港臨港道路東扇島水江町線橋梁技術・施工検討会（委員長：早稲田大学 清宮教授）の各委員、関東地方整備局の関係者、並びに川崎市の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。また、実施設計を担当した大日本コンサルタント株式会社・日本工営株式会社設計共同体からは資料をご提供頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局京浜港湾事務所：川崎港臨港道路東扇島水江町線技術評価業務，2014
- 2) 国土交通省関東地方整備局京浜港湾事務所：川崎港臨港道路東扇島水江町線主橋梁部実施設計，2014

表-2 温度ひび割れ対策・耐久性向上策

	対策案	適用部位	内容	備考(本解析条件・実施工に向けた提案)
コンクリート配合	① 単位セメント量の低減	全部材	高性能AE減水剤による単位水量を低減する	セメントの水和発熱による温度上昇を抑制する点において有効。
	② 低熱セメントの使用	〃	温度上昇が小さくなる低熱ポルトランドセメントを使用する。	解析で低熱ポルトランドセメントの使用を想定。
	③ 膨張材の使用	〃	膨張材により温度低下によるコンクリートの収縮量を低減する。	解析では膨張材は考慮していない。
	④ 添加材料の選定	〃	水和熱低減型材料の使用	水和熱抑制型膨張剤、水和熱抑制型超遅延剤の適用により温度上昇を抑制する点において有効。(解析上は考慮できないため、現場での温度測定等の効果確認が必要)
コンクリート打設	⑤ コンクリートの打設時期・時間	〃	外気温の低い夜間や早朝、冬季にコンクリート打設する。	外気温の低い時期・時間に打設し、打込温度を下げるのが有効。また、夏季施工を避けることで単位セメント量の低減が図れる。(打設時期の限定による全体工程の調整が必要)
	⑥ 打設方法の検討	〃	打設リフト高、打ち込み区画を小さくし、打設時の発熱量を低減する。	コンクリート打設時の温度上昇を抑制する点において有効。(全体工程の調整、打ち継ぎ目の品質管理が必要)
	⑦ 養生方法・期間	〃	養生方法の工夫により躯体表面の放熱を避けて収縮量を低減する。	解析では合板型枠の適用、養生期間7日間と仮定。断熱性の高い発泡スチロール型枠が効果的であるが、コストを踏まえた適否の判断が必要
	⑧ 打込温度の低減	〃	圧送管・ポンプ車・ミキサー車の日陰配置 練り混ぜ水の冷却	解析では外気温+3℃と仮定。材料のフレージング等、可能な限り打込温度を下げるのが有効。
	⑨ バイククーリング	〃	躯体内部に配置したクーリングパイプ内に冷水を通水し、温度上昇の抑制を図る。	解析で温度ひび割れ対策の効果は期待できるが、コスト、工期等を踏まえた適否の判断が必要
耐久性向上	⑩ ひび割れ発生の抑制	躯体表面	躯体表面部にひび割れ防止筋を網目状に配置する。	網径のひび割れ防止筋を配置することで、ひび割れ発生を抑制する。
	⑪ エポキシ樹脂塗装鉄筋の採用	頂版	塩害対策として飛沫帯となる橋脚に採用しているエポキシ樹脂塗装鉄筋を頂版部にも適用する。	耐腐食性に優れたエポキシ樹脂塗装鉄筋を適用することで、万一のひび割れ発生時においても鉄筋の発錆を抑制し、耐久性を確保する。