

[CS3]

2021年9月10日(金) 14:40 ~ 16:00
CS-5(Room46)

座長 今西 修久(株式会社エイト日本技術開発 国土インフラ事業部 東京支社 国土インフラ部 道路・構造グループ)

14:40 ~ 14:50

C000303

日本語



詳細設計および施工計画段階での鋼・コンクリート複合構造部のスケールモデルの活用

*山崎 啓治¹、若林 大²、萩原 直樹²、原田 拓也²(1. 鹿島建設株式会社、2. 中日本高速道路株式会社)

14:50 ~ 15:00

C001101

日本語



昭和2年竣工当時を復元した聖橋の長寿命化設計

*丹羽 信弘¹、中山 健¹、坂本 眞徳¹、篠原 晴彦²、富内 俊介²(1. 中央復建コンサルタンツ株式会社、2. 東京都第一建設事務所)

15:00 ~ 15:10

C003127

日本語



国道246号渋谷駅東口デッキの架替え設計

*坂本 眞徳¹、坪村 健二¹、中山 健¹(1. 中央復建コンサルタンツ株式会社)

15:10 ~ 15:20

C002673

日本語



都市内制限下におけるデザイン性の高い人道橋の設計 – 水辺を開く橋 –

*水津 紀陽¹、谷口 和昭¹、堀内 深¹、西山 健一²(1. 八千代エンジニアリング、2. イー・イー・ユー)

15:20 ~ 15:30

C002577

日本語



気仙沼湾横断橋の設計段階における危機耐性向上の取組み

*吉岡 勉¹、松浦 雅史¹、竹田 竜一¹、渡辺 歩¹(1. 大日本コンサルタント株式会社)

15:30 ~ 15:40

C002712

日本語



環境に配慮した(仮称)羽田連絡道路の橋梁計画・施工計画

鈴木 伸也¹、本田 卓士¹、*石原 大作²、土田 隆司²、渡邊 史²、山本 晃久³、榎本 修二³(1. 川崎市、2. パシフィックコンサルタンツ株式会社、3. 五洋・日立造船・不動テトラ・横河・本間・高田共同企業体)

15:40 ~ 15:50

C002996

日本語



大阪湾岸道路西伸部の長大斜張橋(神戸西航路部)に対する橋梁形式の選定

*西原 知彦¹、小坂 崇¹、杉山 裕樹¹、寺岡 正人¹、深谷 茂広²、舘 浩司²、織田 敏彰²(1. 阪神高速道路(株)、2. 長大)

15:50 ~ 16:00

C002810

日本語



大阪湾岸道路西伸部における多径間連続斜張橋の剛性改善に関する検討

*杉山 裕樹¹、岡上 政史¹、佐藤 彰紀¹、中村 正人²、松浦 雅史²、吉岡 勉²(1. 阪神高速道路、2. 大日本コンサルタント)

詳細設計および施工計画段階での鋼・コンクリート複合構造部のスケールモデルの活用

鹿島建設(株) 正会員 ○山崎啓治

中日本高速道路(株) 正会員 若林 大 萩原直樹 原田拓也

1. はじめに

土木構造物の設計および施工は、品質を確保するために、それぞれに関する専門技術や維持管理に関する技術を有する技術者を含む執行体制のもとで実施することが求められている¹⁾。鋼・コンクリート複合構造は鋼とコンクリートという単一材料では得ることのできない経済的かつ合理的な構造を自由に組み合わせることが可能であるが、その設計および施工は、鋼構造、コンクリート構造それぞれを専門とする技術者が分担して行っていく状況になりがちで、維持管理段階までを踏まえた高品質な構造物を建設するには、設計・施工計画段階にてそれら技術者間での摺合せ、相互理解および合意形成が不可欠である。

本報文では、河内川橋（仮称）のスプリングング鋼殻部に対して設計・施工計画段階にて製作したスケールモデルの活用について報告する。

2. 検討対象のスプリングング鋼殻部

河内川橋（仮称）のアーチスプリングング部には、施工の合理化の観点から外面を鋼板とし内部にコンクリートを充填する外鋼殻構造を有する複合構造とした²⁾。これを対象とする（図-1、写真-1）。

3. スケールモデル

スケールモデルは建築模型材料として実績のあるスチレンペーパー厚さ2mmおよび1mmを用い、鋼部材の主要板厚31mmと22mm以下を表現した。複合構造内の多室構造の鋼殻セル、リブおよび横構などの鋼部材を認識できるようにコンクリート充填前・充填後をそれぞれ半断面とし、縮尺を1/40とした。モデルの寸法は850mm×550mm×250mmである³⁾（写真-2）。

4. スケールモデルと3次元CIMモデル

詳細設計段階では、通常の2次元にて表現する設計図面のほか、3次元CIMモデル（図-2）およびスケールモデルを準備し、鋼・コンクリート技術者間での議論に活用した。施工計画段階では、さらに3Dプリンタによるモデル（写真-3）を作成・準備し、検討事項・活用の場面に応じて、適宜、適切なモデルを使い分け活用した。

5. 詳細設計および施工計画段階でのスケールモデルの活用の中とその効果

スケールモデルの活用の中を表-1に、その様子の中一例を写真-4および写真-5に示す。当初は鋼およびコンクリート構造の設計を担当する技術者らによる活用であったが、施工計画段階に至っては、工事職員のみならず、協力会社（鋼部材の製作・架設、生コンプラント、ポンプ圧送業者、鉄筋・コンクリート工事など）



図-1 河内川橋（仮称）



写真-1 スプリングング鋼殻部（仮組立時点）

キーワード 複合構造、スケールモデル、設計段階、施工段階、施工計画、合意形成

連絡先 〒231-0011 神奈川県横浜市中区太田町4-51 鹿島建設(株)横浜支店土木部 TEL045-641-8882

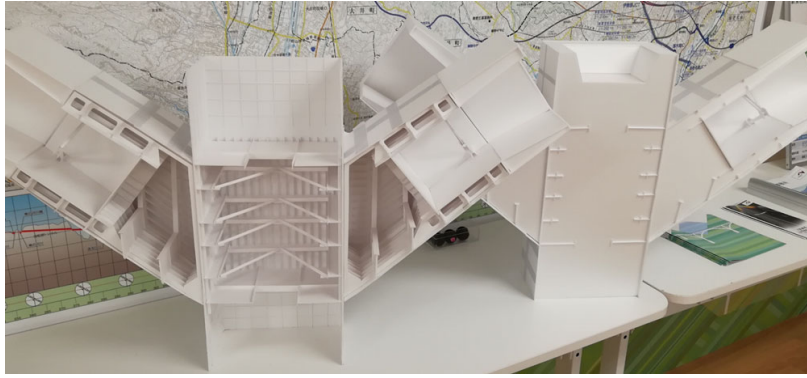


写真-2 スプリング鋼殻部のスケールモデル
 (向かって左側：内部構造可視可, 右側：コンクリート充填後)

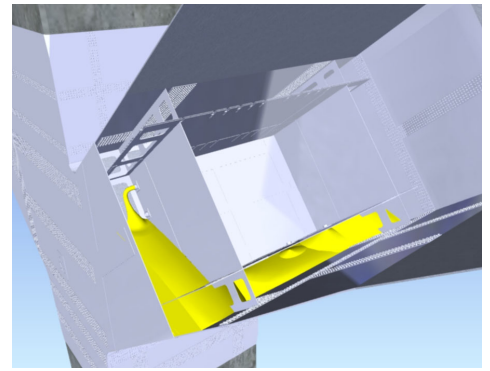


図-2 3次元CIMモデル
 (高流動コンクリート打設時の検討)



写真-3 3Dプリンタモデル
 (高流動コンクリート打設時の検討)

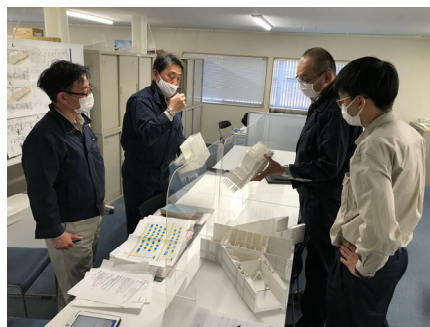


写真-4 所内での活用
 (設計技術者と施工技術者の議論)



写真-5 技術検討委員会での活用
 (学識経験者らへの説明の補足)

表-1 詳細設計および施工計画段階でのスケールモデルの活用とその効果

活用の場	活用の効果
鋼・コンクリート構造設計者間での対話	鋼構造, コンクリート構造それぞれ設計技術者が分担されがちな状況での摺合せ, 合意形成
詳細設計段階における景観検討	アーチ橋の主要景観要素であるスプリング部の検討 ²⁾
コンクリート材料技術者への説明	自己充填コンクリートの配合計画, 自己充填性ランクの設定において, 設計図上での理解の補足
施工技術者・施工協力会社への説明	仮設構造, 鋼部材架設, コンクリート工および鉄筋工の計画立案時の設計図上での理解の補足
社内検討会	詳細設計, 施工計画に対する照査会にて, 実物模型を併用した深い議論
技術検討委員会	学識経験者を招聘した技術検討委員会の場合にて, 実物模型を併用した深い議論 ³⁾
維持管理技術者との対話	(今後) 維持管理計画, 維持管理マニュアル作成における設計図上での理解の補足

の担当者らと交えても、適宜活用し、2次元上の図面からだけでは分かりにくい部位・状況の理解の補足に、その効果をあげている。今後、維持管理計画・維持管理マニュアルを作成することになっており、その段階でも活用していきたい。

6. おわりに

当初、スケールモデルの製作は主として技術検討委員会へ向けた取組みであったが、予想を遥かに上回る頻度にて各所にて活用できている。土木分野ではスケールモデルを作成することは稀であるが、前例のない構造、複雑な施工計画立案が必要な場合、いわゆるCIMモデルの活用はいうまでもないが、このようなクラシックな模型もまだまだ捨てきれない。

謝辞：スケールモデルの製作において日本大学理工学部土木工学科構造・デザイン研究室（関文夫教授、浅川奈美さん、青木真人さん）に、3次元CIMモデルの製作において横河ブリッジ(株)に多大なご協力を頂いた。厚く謝意を表す。

参考文献

- 1) 例えば, (公社) 土木学会: 2014年制定 複合構造標準示方書[原則編・維持管理編], pp. 6-8, 2014. 5.
- 2) 中村, 山崎, 平山, 若林, 萩原: 新東名高速道路河内川橋(仮称)の詳細設計における景観検討, 第16回景観・デザイン研究発表会, 2020. 12.
- 3) 中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株): 令和元年度 新東名高速道路 特殊橋梁の維持管理に関する技術検討(その1) 報告書(中日本高速道路(株)東京支社委託)(令和2年2月), 2020. 2.

昭和2年竣工当時を復元した聖橋の長寿命化設計

中央復建コンサルタンツ株式会社 ○中山健, 正会員 坂本眞徳, 正会員 丹羽信弘
東京都第一建設事務所 篠原晴彦, 富内俊介

1. はじめに（聖橋と長寿命化設計の概要）

東京都では、橋梁の管理に関して、従来の対症療法型管理から戦略的な予防保全型管理への転換を図るため、2009年（平成21年）3月に「橋梁の管理に関する中長期計画」を取りまとめ、2010年度より計画的な橋梁の長寿命化対策が推進されている。ここでは、著名橋（小区分Ⅱ）に該当する“聖橋（ひじりばし）”における延命200年を目標とした長寿命化設計について、一部を紹介するものである。

聖橋は、JR御茶ノ水駅上を横断し、神田川、外堀通りを跨ぐ橋梁である。神田川を跨ぐRCアーチ部が特に印象的であるが、鋼鈹桁形式による側径間部まで全て含めて聖橋である。竣工年次は古く、関東大震災後の復興橋梁として1927年（昭和2年）7月に完成した。すぐ上流の鋼ラーメン橋のお茶の水橋、下流のアーチ橋の昌平橋、万世橋とともに「東京都の著名橋」に選定され、神田川の名所となっている。橋名の由来は、東京府東京市（現：東京都）が公募し、両岸に位置する2つの聖堂（湯島聖堂とニコライ堂）を結ぶことから「聖橋」と名付けられた。

意匠・構造設計は、当時を代表する山田守、成瀬勝武による。アーチリブから伸びる垂直壁もアーチ状になっているが、山田守が東京中央電信局¹⁾に採り入れた「リズム式」の「パラボラ」と呼ばれた尖頭（せんとう）アーチを導入したものである。また、表面仕上げは、当時の建築界でようやく産声をあげたコンクリート打放し風による手法²⁾が採用されており、建築モダニズムの系譜を辿る上でも貴重である。交差条件より鋼鈹桁となった側径間部についても、耳桁をコンクリート被覆することで、RC橋として外観の統一が図られている。

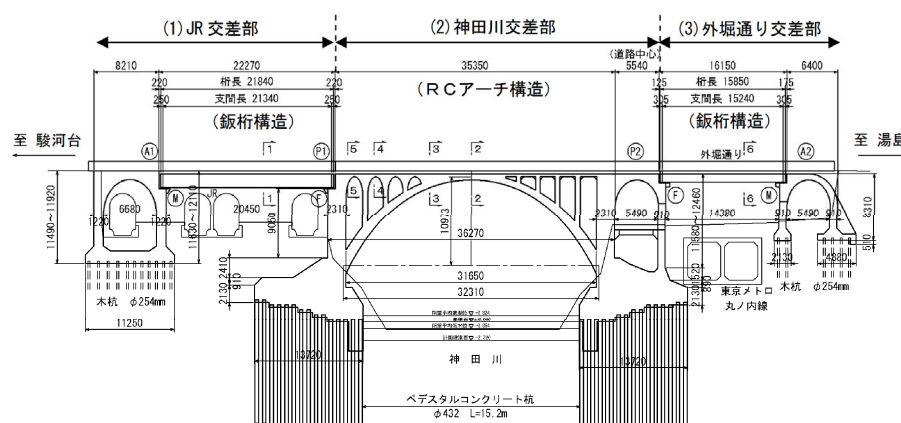


図1. 聖橋全体一般図



写真1. 聖橋とニコライ堂



写真2. 東京中央電信局

2. 平成初頭の“聖橋”修景整備工事

聖橋は1989年～1991年に大規模な修景整備工事³⁾を実施している。整備方針は竣工当時の『原型の復元』を基本⁴⁾としつつ、竣工当時の設計ポリシーを十分に汲み取った上で、現代の景観にもなじむように配慮された。主な整備内容は、①壁面を石吹付工に改装、②高欄の復元（万成石）、③デザイン横断防止柵の設置、④橋灯の復元整備（改良型）、⑤天然石による歩道舗装、⑥橋のライトアップである。壁面工は、自然石風吹付けにスリットを入れることで、現代的な高級感がある石張り風に仕上げられた。



写真3. 平成の聖橋（石張り風仕上げ）

キーワード 長寿命化、耐震補強、補修設計、橋梁景観、意匠設計、土木遺産

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株)構造系部門 TEL 06-6160-3414

3. 聖橋の長寿命化設計

(1) 性能照査

耐荷性能はFEM解析を用いて、耐震性能は道路橋示方書に示す複雑な振動挙動を示す構造に該当することから、動的解析を用いて性能照査を行った。解析の結果、道路橋示方書に基づく耐荷・耐震性能を満足していることを確認した。RCアーチを形成するために鋼アーチリブが用いられていること、コンクリート強度が60N/mm²以上（詳細調査にて確認）あることから、昭和2年に建設された橋梁であっても現行基準に対応できる高い耐荷・耐震性能を有していた。

(2) RCアーチ躯体の補修設計

RCアーチ躯体で採取したコアボーリングのうち1箇所、幅0.4mmのひび割れが見つかった。このひび割れは平成初頭に施工された表面処理材を除くRCアーチ躯体から生じているため、外観では確認できない同様のひび割れが生じていることが懸念された。そのため、今後200年の長寿命化を目的として、既設の吹付工を除去したのちに躯体本体のひび割れ注入・断面修復による補修を行った上で、ポリマーセメントモルタル乾式吹付工法（コテ仕上げ）による表面処理工を施す方針とした。

(3) 意匠設計に配慮したコンクリート

RCアーチ躯体の長寿命化対策として改めて表面処理工を施す方針としたが、表面処理方法の選定にあたっては、長期的な耐久性があつて付着強度、桁下面への剥落が生じない材料とした上で、歴史的な著名橋に相応しい景観に配慮した仕上げとすることにも着目した。竣工図及び文献等によると、コンクリート打放しの表面に1インチのモルタル左官仕上げが施されており、近年の打放しとは異なるものの、当時では珍しいRC構造をデザインとして表現されていた。この表面モルタルは経年劣化し、平成初頭の大規模な修景整備により美しさを取り戻すことになるが、石吹付にスリットが施され石張り風を模した仕上げに様変わりしていた。この仕上げに関しては、「歴史的なRCアーチ構造として竣工当時の設計コンセプトを継承していない」⁵⁾、「竣工当時のコンクリートの肌合いが懐かしい」²⁾など意見がみられた。そこで今回の長寿命化設計におけるデザインコンセプトは、平成初頭の修景整備の考え方を継承して『原型の復元』とし、表面処理工に関しても聖橋が固有するRCアーチ橋としての歴史観を踏まえた竣工当時の設計思想に立ち返り、「昭和2年竣工当時のコンクリート表面（打放し風）を復元する」ことを基本方針とした。

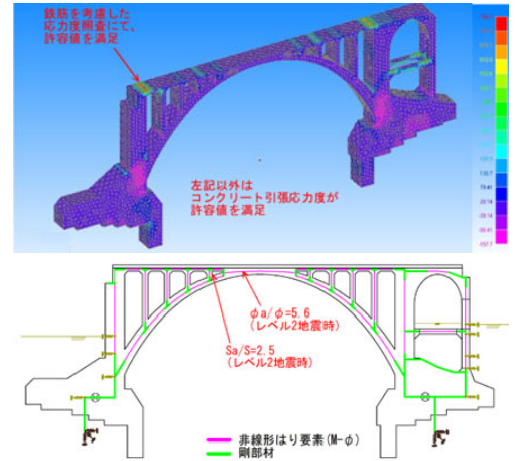


図2. 性能照査結果



写真4. RCアーチ躯体のコア写真



4. おわりに

写真4. 竣工当時(左)と長寿命化工事後(右)の外観

選奨土木遺産でもある聖橋の長寿命化工事は2019年度に完成し、山田守がデザインした竣工当時を彷彿とさせる姿が約100年振りに蘇った。今後更なる200年に向けて、これからも暮らしや経済の発展を支える誇れるインフラとして地域に愛され、都市空間・都市景観の魅力的向上に寄与することを期待する。

参考文献1) 伊東孝：東京の橋-水辺の都市景観- (1986), 2) 中井祐：お茶ノ水・聖橋 土木学会誌 Vol189 (1997)

3) 益満弘昭：景観を考慮したリフォーム-聖橋-REFORM (1993.4), 4) 東京都建設局：著名橋の整備検討委員会報告書 (1988), 5) 国土技術政策総合研究所：景観デザイン規範事例集 (道路・街路・橋梁・公園編) 国総研資料第433号 (2011)

国道 246 号渋谷駅東口デッキの架替え設計

中央復建コンサルタンツ株式会社 ○正会員 坂本 眞徳, 正会員 坪村 健二, 中山 健

1. はじめに

国道 246 号渋谷駅東口デッキは、渋谷駅東口の国道 246 号線と明治通りとの交差点に位置し、1 日に約 9 万人が利用する歩道橋であった。しかしながら、幅員が狭く複雑な動線のためピーク時には渋滞が発生し、更に老朽化にも課題があった。そこで、渋谷駅周辺整備事業に絡み、人の利便性向上、バリアフリー化ならびに耐震性の向上を目的として架け替える運びとなった。仮設通路・仮設 EV を併設しながら部分撤去・架設・供用を繰り返す施工計画としたが、施工に関しては別途報告に委ね、ここでは新設デッキの設計に着目し、その概要を報告する。

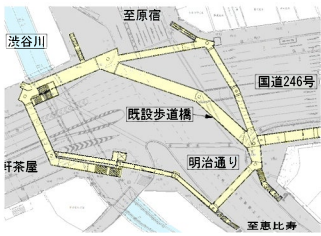


図-1 既設歩道橋平面図

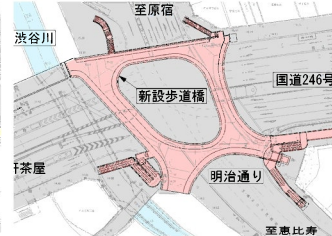


図-2 新設歩道橋平面図

2. デッキ全体計画

橋脚配置を行う歩道敷内には、地下構造物(東横線・地下通路・東京電力函体など)、地下埋設物(下水管・幹線清水管・NTT など)が過密状態で存在し、橋脚配置できる箇所は限定された。地中内の状況を精度高く 3D 化し、基礎との離隔状況を確認しながら 5 基の橋脚位置を決定した。デッキ形式は、上記で決めた橋脚位置、スムーズな動線への適合性、施工性など踏まえ、四隅を円滑に繋ぐロの字形状の鋼 5 径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋とした。

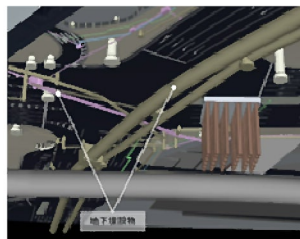


図-3 地下埋設物の 3D 化

幅員は、通勤・通学利用が集中する朝 8~9 時の 1 分間ピーク率を適用し、径間毎に設定した(4.5~7.0m)。

上部工断面は、主構造で景観美を表現でき、経済性にも優れる舟形(逆台形)断面とした(図-4)。外側は斜フランジによる主構造とし、内側(吹き抜け側)はブラケット構造として下面にルーバー(化粧材)を配置した。箱断面内には構造上必要となる中間ウェブを配置し、下フラン

ジと斜めフランジとの鈍角による折れ部は製作性を確認した上でエッジの無い突合せ溶接構造(完全溶け込み)とした。また、斜フランジ上端のウェブは、景観への配慮より傾斜角 20° で統一して地覆天端まで立ち上げ、舗装厚の調整代とした。また、内側にも外面と同形状の側板を配置し、フェイスアラインとして連続性を確保した。

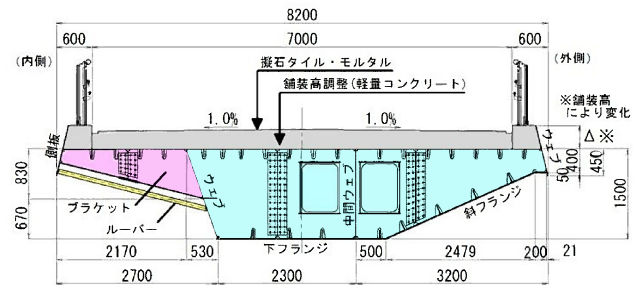


図-4 上部工断面の基本形状

全体平面形状は、渋谷周辺整備事業「デザイン会議」で示されていた“円滑な曲面によってすり付ける”という基本方針に配慮しつつ、構造的、製作性など踏まえ設定を行った。舟形断面の鋼箱桁を円滑な曲面ですり付けるにあたり、製作性への配慮からロの字形状の四隅部分の鋼床版はフラットとして橋面勾配は舗装厚で調整するものとし、また、図面化・製作が容易となるよう単曲線(R)と直線(∞)の組合せを基本とした。利用者が非常に多い駅街区~渋谷警察、南街区~渋谷警察は複数の単Rを接点折れが無いよう緩和曲線に近似した形状とした。



図-5 単 R でのすり付けによる全体平面線形

3. 構造物設計

断面力の算出は、任意形立体骨組による断面力解析ソフト「APOLLO Analyzer」により、橋面の中心付近にある

キーワード：歩道橋設計、架替え設計、鋼連続ラーメン箱桁橋、橋梁景観、意匠設計

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-10-13 中央復建コンサルタンツ(株) TEL 03-3511-2007

実剛度を持つ主桁骨組み線とこれに直交するダイヤフラム・横桁で構成する百足骨組、これを鉛直支持する鋼製脚との立体骨組モデルにより解析した。主桁は環状構造であり交差部主桁の有効幅は無限大となるため、交差範囲の主桁は剛域断面とし、剛結部の設計は各主桁との二軸応力部材として設計した。固有振動数は $2.419\text{Hz} > 2.3\text{Hz}$ であり、歩行者荷重による振動が人に不快感を与える振動 ($1.5 \sim 2.3\text{Hz}$) の範囲外にあることを確認した。

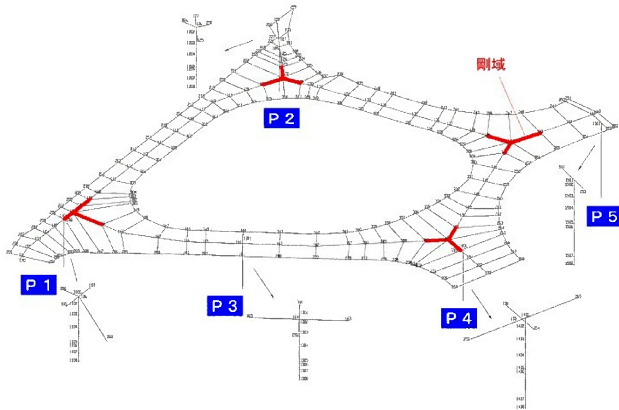


図-6 解析で用いた立体骨組モデル

橋脚形式は、夜間架設が可能で耐震性にも優れる鋼製脚(円形)を採用し、全橋脚について $\phi 1.9\text{m}$ とした。

基礎は、地下埋設物への影響が小さく、昼間は交通規制を解除できる深礎杭 ($\phi 3.5\text{m}$) を採用した。地下函体が近接する P1, P3 は地下函体底面より深い位置まで杭を根入れさせ、地下躯体上に橋脚が配置される P4, P5 は地下躯体との一体構造、分離構造を比較し、経済性及び構造性に優れる一体構造による方法を採用した。

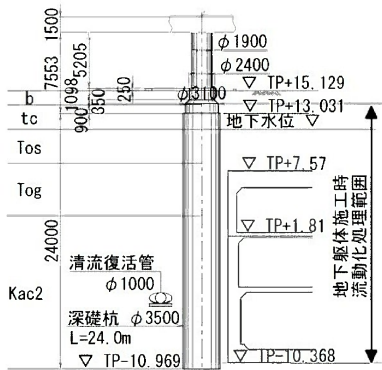


図-7 P3 橋脚構造図

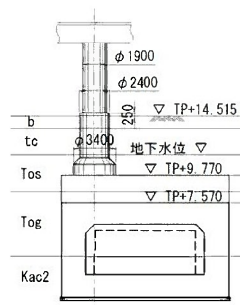


図-8 P4 橋脚構造

4. 階段・斜路付き階段・スロープ

デッキ北側には A・C 階段、南側には B・D 斜路付き階段、さらに南東側には既設橋と同様に D スロープを配置した。B 斜路付き階段は、歩道、交差道路、渋谷川が近接し橋脚を配置できる位置が限定的であったため、1本の深礎杭 $\phi 2.0\text{m}$ の天端に底版を設けて鋼製脚 2 基を支持する構造とし、上部工は車道、歩道の建築限界を確保

するため U 型形状による片持ち構造とした。また、接続部の受台は渋谷川の橋梁上に直接基礎による構造とした。

5 橋面排水

橋面排水は、デッキの四隅部分は非常に広いことから、主桁の製作性も踏まえ鋼床版面には横断勾配は設けず舗装厚調整により排水勾配を確保する方法とした。両側の地覆部に幅 10cm の側溝を設け排水柵に集水し、排水管は景観への配慮から全て桁内配管とし、橋脚の化粧パネル内に配置した縦引き管から道路柵へ流末処理した。排水装置は、維持管理性への配慮から、排水柵はステンレス製、排水管は SGP 管(メッキ仕様)とした。

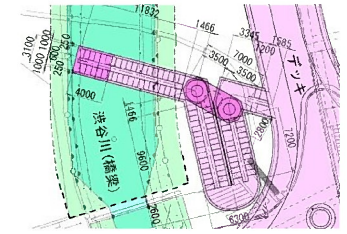


図-9 B 斜路付階段平面図

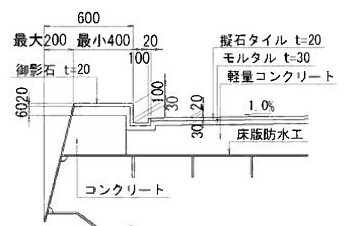


図-10 地覆部詳細図

6. 高欄・照明

高欄は、国道上の歩道橋では事例の少ない合わせガラスを採用し、材質は経済性、施工性に優れるアルミ高欄とした。高欄高は、デッキ部及び斜路、斜路付き階段は自転車利用に対する安全性に配慮して 1.2m とし、階段部もトップレールの接続性を踏まえ同様に 1.2m とした。

照明は、デザイン調整部会等の方針に基づき、高欄の支柱内に LED 光源を直線的に埋設する方法とした。

7. おわりに

本工事は、大都市の重交通による交差点内において、昼間はバリアフリー動線を確保しながら、夜間に既設橋撤去・新設橋架設を繰り返すという殆ど例を見ない計画であった。本工事は平成 31 年 3 月に全面開通したが、この難工事をやってのけた施工者である東急建設(株)・JFE エンジニアリング(株)共同企業体の努力の賜物であると考えている。ここに、深く感謝の意を表します。



図-11 3D による鳥瞰図

参考文献：1) パンプ「LINK! SHIBUYA PROJECTS」

関東地整 東京国道事務所, 2014. 3

都市内制限下におけるデザイン性の高い人道橋の設計 ー水辺を開く橋ー

八千代エンジニアリング株式会社	正会員	○水津	紀陽
同上	正会員	堀内	深
同上	正会員	谷口	和昭
株式会社イー・エー・ユー	非会員	西山	健一

1. はじめに

さくらみらい橋は、北仲通北地区の民間開発、横浜市新市庁舎の開庁に伴い、周辺の混雑緩和と安全な歩行者ルート確保の確保、大岡川の水辺の回遊性・利便性向上、さらには災害時の緊急避難路としても機能が発揮できるよう計画された、JRおよび市営地下鉄桜木町駅と新市庁舎を結ぶ人道橋である。(図1)

本稿では、都市内制限下におけるデザイン性の高い人道橋について、計画・設計の内容を紹介する。

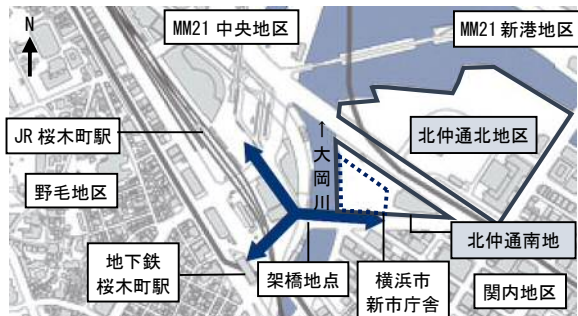


図1 位置図



図2 平面線形の考え方

2. デザイン・橋梁計画

(1) 「水辺を開く橋」の提案

架橋地は景観的にも「横浜の都市ブランドへの貢献」が求められる場所であった。山下公園に代表されるように、横浜の都市デザインは港や河川沿いの水辺空間を人々に開いてきた歴史を持ち、加えて横浜新市庁舎のデザインコンセプト¹⁾において、低層階は「水辺“に”開く」ではなく「水辺“を”開く」というコンセプトのもと、市民活動が水辺と一体で賑わうように計画されている。そこで、現在まで受け継がれてきた横浜の水辺に対する思想を継承し、橋梁のデザインコンセプトを「水辺を開く橋」とし、平面線形を計画した(図2)。風景の主役となる大岡川、みなとみらい地区の水辺と高層ビル群、新市庁舎が印象的に眺められる場所となることを目指し、橋梁のシルエットは水平方向に伸びやかに拡がり、

キーワード 人道橋、屋根付橋、景観デザイン、近接施工、長支間

連絡先 〒460-0004 愛知県名古屋市中区新栄2-9 スカイオアシス栄9階 TEL052-950-2601



図3 全体デザイン (イメージパース, 模型写真)
周りの風景を引き立てる橋梁デザインを提案した。

(2) 支間割

橋脚位置は新市庁舎、民間ビルおよび既設歩道橋との接続位置、大岡川、首都高団地、市道との交差条件、駐車場出入口や地下埋設物等の条件により決定された。特に河川利用者の安全性確保を目的に河川内に橋脚を設置しない方針のもとで、最大支間長68mの支間割計画とした。

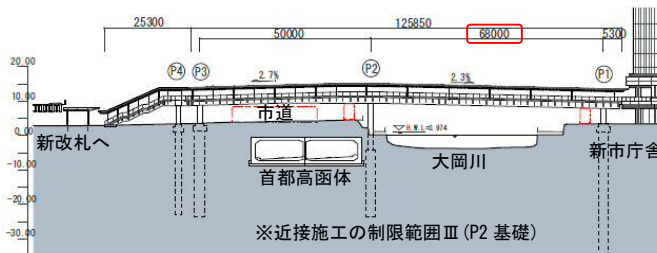


図4 主橋梁部(渡河部)の支間割

(3) 平面線形

接続先や主動線の設定で、関係機関協議の結果から、その基本的な条件の変更が何度かあった。① JR 新改札設置に伴う主動線の変更、②河川内橋脚設置不可に伴う、大岡川左岸側橋脚の設置位置の制限（首都高函体との近接）、③富士ソフトビルからクロスゲートビルへの接続先の変更の3点である（図5）。

本橋では、こうした与条件の変更も想定し、桁橋の上に屋根を載せるという変更の自由度の高い構成としていたため、当初のデザインコンセプト（図3）を活かしたまま柔軟に対応することができた。

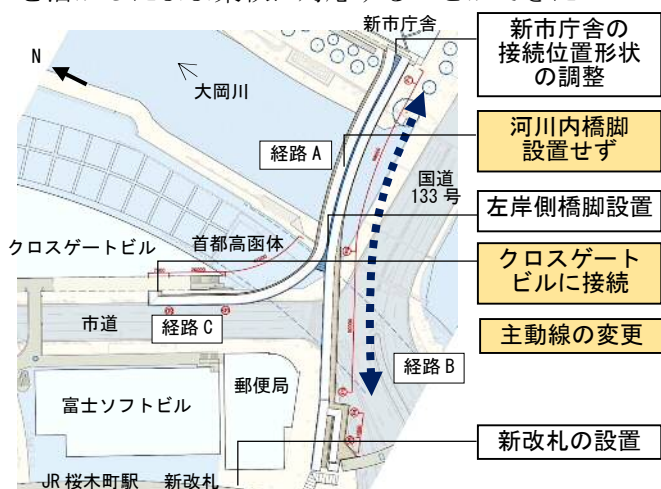


図5 最終計画（平面線形、動線）

3. 詳細設計

(1) 上部構造

桁下余裕（建築限界）の確保、都市内での狭隘なヤード条件に対して、平面線形の自由度が高く、長支間・低桁高への対応、下部工規模の低減と架設期間の短縮を目的に鋼床版箱桁形式、橋脚と剛結する連続ラーメン構造とした。径路 A（最大支間部）は桁高 2.0m で、径路 B（市道交差）、径路 C（民間ビル接続）の桁断面は幅員も桁高も異なるため、逆台形箱桁の斜ウェブの勾配を一定とし曲線形状のブラケットを採用することで、見た目のねじれが生じないように桁高変化部ですり付けている（図6）。

(2) 桁の固有値解析

固有値解析の結果、径路 A（最大支間部）の鉛直固有振動数は 1.251Hz で、立体横断施設基準²⁾で示される「回避すべき固有振動数の範囲（1.5Hz～2.3Hz）外」となる（図7）。同基準は道路を横断し階段で昇降する一般的な横断歩道橋を対象としたもので、既往の研究成果をまとめた指針³⁾では、ある程度規模の大きい歩道橋では歩行者による相対的な振動レベ

ルが小さくて振動振幅が大きくなり、「単位長さ当たり死荷重が 2.0tf (20kN)/m 以上であれば問題となるような振動は発生しない」という結果が得られている。本橋も、径路 A：51.6kN/m を確認した。

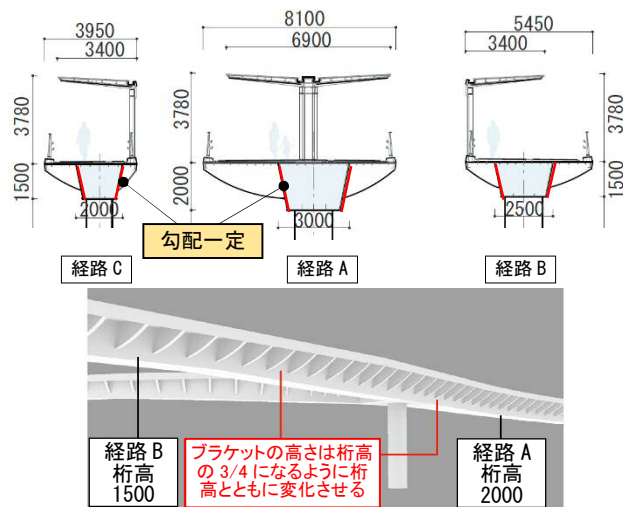


図6 各径路の桁断面と桁高変化

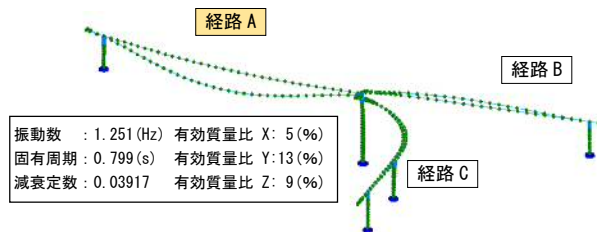


図7 鉛直方向卓越モード図（1次モード）

(3) 基礎構造

分岐部の P 2 橋脚は首都高函体に対して近接施工の制限範囲Ⅲに位置する（図4）。基礎工掘削時の地盤変形が首都高函体へ与える変状を 2 次元線形 FEM 解析で検討した結果⁴⁾、最大変位 3.9mm (<制限値 5.0mm) となり施工時の安全性を確認した。

4. おわりに

さくらみらい橋は 2020 年 6 月に開通し、多くの方々に利用されている⁵⁾。本稿では、都市内制限下における人道橋について、基本的な条件に変更があっても、柔軟に対応が可能なデザインコンセプトの設定と橋梁計画の一例を提示した。

参考文献

- 1) 横浜市：新市庁舎デザインコンセプトブック，2015
- 2) (社)日本道路協会：立体横断施設技術基準・同解説，1979
- 3) (社)日本鋼構造協会：これからの歩道橋 付・人にやさしい歩道橋計画設計指針，1998
- 4) 建設図書：橋梁と基礎第 54 巻第 12 号，2020
- 5) 日経 BP 社：日経コンストラクション 2020.11.9，2020

気仙沼湾横断橋の設計段階における危機耐性向上の取組み

大日本コンサルタント 正会員 ○吉岡 勉 松浦雅史
非会員 竹田竜一 渡辺 歩

1. はじめに

東日本大震災を契機に、設計で考慮する事象を超えた事象への対応として「危機耐性」という概念が共有されつつある^{1),2)}。H29 道路橋示方書・V耐震設計編においても「2.7.2 構造設計上の配慮事項」として、設計で考慮した地震力を上回る場合に脆性的な破壊を回避することへの配慮の考えが明記されている。

三陸沿岸道路において2020年3月に開通した気仙沼湾横断橋（鋼3径間連続斜張橋、L=680m）は、「維持管理しやすく、想定外の事象に対しても損傷が制御され、かつ美しい形態の橋」を設計コンセプトとして、ダメージコントロール設計やケーブルのリダンダンシー設計等が導入された^{3),4)}。これらは、設計基準で標準的に定められた事象以外を想定した設計例であり、広義には「危機耐性」に分類される事例と考えられる。

今後、同種の長大橋設計において参考となることを期待して、本稿は、気仙沼湾横断橋での取組みを「危機耐性」を入り口として再整理し、費用対効果について考察を加えるものである。

2. 危機耐性の概念

危機耐性という概念は提唱されてから間もないため、まだ定義が定まっていないが、既往文献を参考に本稿では以下と定義する（図-1）。

危機耐性：狭義の耐震設計等では制御できない事象を考慮し、社会への影響をより小さくする性質

危機耐性を議論する場合、そのわかりやすさから設

計地震動を超える地震動を例示することが多いが、本報では地震動だけに留めず、津波発生時や斜面変状、火災などの事象も対象とする。

3. 気仙沼湾横断橋における危機耐性の取組み

図-2に示すL2地震時限界状態を目標に耐震設計された本橋に対して、危機耐性に関して取組まれた内容を表-1に整理する。耐震設計では、ロバスト性の高い構造として免震構造を採用し、液状化層に対する基礎の安定化や、軟弱地盤との共振性の検証が行われた。

しかし、L2地震動を超える超過地震動や地盤変状等の不測の事象により免震支承やケーブルが破断する可能性もあるため、本橋では危機耐性に関する①～⑦の取組みが実施された。以下では①、②、⑥について紹介するが、詳細は文献3、4を確認されたい。

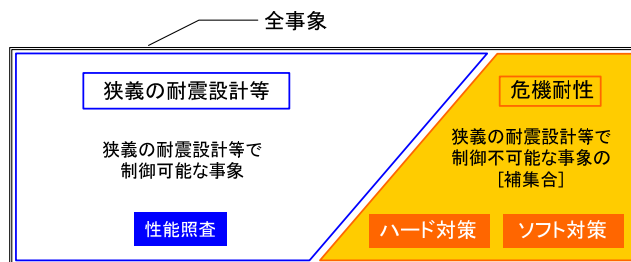


図-1 危機耐性の概念（文献2を参考に作成）

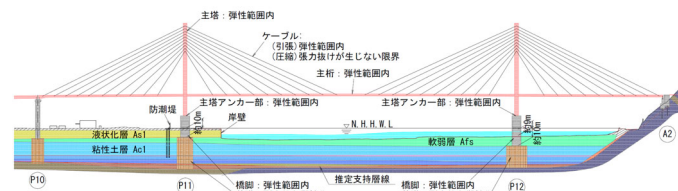


図-2 気仙沼湾横断橋のL2地震時限界状態

表-1 気仙沼湾横断橋の設計段階における危機耐性向上の取組み一覧

分類	事象	求める橋の状態	設計における取組み内容
耐震設計	レベル2地震時	◆上部構造・下部構造は弾性状態 ◆基礎構造は副次的な塑性化	◆ロバスト性の高い構造として免震構造を採用（液状化層の下に基礎を床付け） ◆軟弱地盤との共振性を動的相互作用解析より検証し、免震効果を確認
危機耐性	想定外地震時 (M9～M10級)	◆超巨大地震時にねばり強い構造 ◆弱部は維持管理が容易な構造	①漸増動的解析（IDA）による鋼製主塔の損傷制御を実施 橋全体系として致命的な主塔柱の圧壊を回避するため、横梁上にストッパーを設置
	L1・L2津波時	◆津波による漂流船舶を鋼部材に直接衝突させない ◆洗堀による安全性を確保	②海中橋脚は有害なせん断ひび割れが卓越しないよう海中部分の充填高さを調整 ③漂流船舶を鋼製主塔に直接衝突させないようにRC橋脚の天端高さを決定し、RC橋脚は船舶衝突時に弾性域に留まることを照査 ④津波による海底の洗堀に対して基礎の安定性を損なわないように床付け位置を設定
	火災や車両衝突時	◆ケーブル1本破断があっても橋全体の崩壊には至らない	⑤静的リダンダンシー解析を行い、ケーブル破断時の冗長性よりケーブル本数を決定 ⑥動的リダンダンシー解析を行い、ケーブル1本破断時の橋全体の安全性を確認
	斜面変状時	◆橋台の安全性を確保	⑦斜面の安定性照査より不安定な土層の地盤抵抗を無視して深礎基礎を設計

キーワード 斜張橋、危機耐性、耐震設計、漸増動的解析、ダメージコントロール、リダンダンシー

連絡先 〒330-6011 さいたま市中央区新都心11-2 大日本コンサルタント(株)関東支社 TEL048-600-6691

①漸増動的解析 (IDA) による鋼製主塔の損傷制御

加速度波形倍率 (Scale Factor, SF) を変化させた漸増動的解析 (IDA) を実施し, L2 地震動を超える想定外地震時において, 脆性的な破壊に至らしめる弱部の把握, 余剰耐力及び対策後の効果の検証を行った。

橋軸直角方向加振時の IDA 解析結果 (図-3) より, SF = 1.29~1.32 にて主桁が主塔の柱に衝突することにより, 主塔下部の柱が終局に至ることがわかった。主塔柱が圧壊すると脆性的な崩壊に至るリスクが高まるため, 横梁上の主桁側に緩衝装置を設置し, 衝突力は支承台座を介して横梁が受ける対策とした (図-4)。対策後は, 横梁が損傷した後に下柱の圧壊に至る破壊順番となったことで, L2 地震動の 2 倍程度まで余剰耐力を有しており, 損傷制御の効果が確認された。

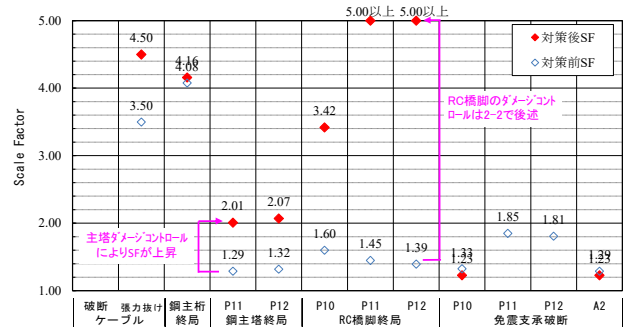


図-3 IDA 解析による各部材損傷時の SF 値

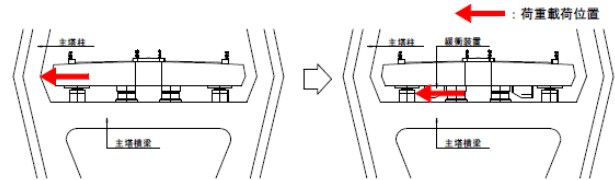


図-4 鋼製主塔の損傷制御策

②Push Over 解析による海中橋脚の損傷制御

P12 橋脚の海中部は点検補修が容易でないことから, Push Over 解析により L2 地震時のひび割れ状況を確認した (図-5)。中空断面部は有害な斜めせん断ひび割れが広範囲に発生するが, 充実断面に変更することで海中部に斜めせん断ひび割れはほぼ発生しないことを確認した。主塔基礎の鋼管矢板基礎は鉛直支持力に余裕があったことから, 海中部までを充実断面とした。

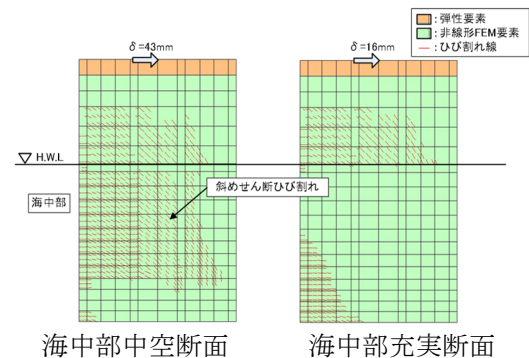


図-5 Push Over 解析による L2 地震時のひび割れ状況

⑥動的リダンダンシー解析によるケーブル破断時照査

火災や車両衝突によりケーブル 1 本が破断する事象を想定し, 動的リダンダンシー解析により周辺部材や橋全体系の安全性を照査した (図-6)。活荷重満載状態でケーブル 1 本が破断した場合は主桁下フランジに $1.37 \epsilon_y$ のひずみが発生するものの, 実事象として起こり得る活荷重半載状態でのケーブル 1 本破断では, 周辺の主桁も降伏しないことを確認した。

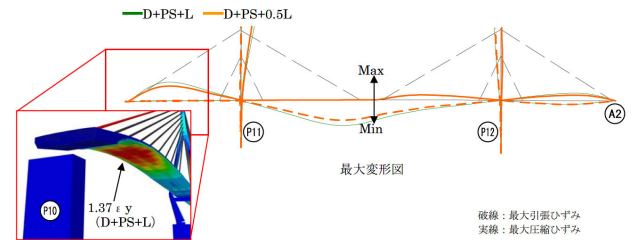


図-6 ケーブル破断時の挙動(動的リダンダンシー解析)

4. 危機耐性向上によるコスト影響

以上のような危機耐性の取組みによる各部材のコスト影響を表-2 に示す。3%程度のコスト増となる取組み②⑦がある一方, 橋全体のじん性向上に寄与した①鋼製主塔の損傷制御策は 0.4%増であり, 費用対効果が高い。また, 工事費全体で見てもコスト増は 0.7%であり, 狭義の耐震設計に留めず, 脆性的な破壊を回避するための危機耐性に取組む意義は大きいと考えられる。

参考文献

- 1) 高橋, 秋山, 片岡, 本田: 国内外の道路橋の設計指針に見られる「危機耐性」の分析, 土木学会論文集 A1, Vol. 72, No. 4, pp. I_821-I_830, 2016.
- 2) 武田, 西村: 橋梁耐震への危機耐性導入に関する一考察, 土木学会論文集 A1, Vol. 75, No. 4, pp. I_688-I_700, 2019.
- 3) 向田, 浦田, 竹田, 渡辺, 池田, 太田: (仮称) 気仙沼湾横断橋鋼斜張橋部の設計コンセプトと計画, 橋梁と基礎, Vol.54, pp.12-18, 2020.10.
- 4) 平山, 吉岡, 松浦, 石井, 末松, 平野: (仮称) 気仙沼湾横断橋海上部の耐震・耐風設計と架設計画, 橋梁と基礎, Vol.54, pp.20-26, 2020.10.

表-2 危機耐性確保によるコスト影響

事象	設計における取組み内容	コスト比 [※]	備考
想定外地震時 (M9~M10級)	①鋼製主塔の損傷制御	1.004	主塔工2基分
	②主塔RC中空橋脚の損傷制御	1.034	橋脚工1基分
L1・L2津波時	③主塔橋脚の船舶衝突時照査	1.000	橋脚工1基分
	④洗掘対策 (床付け位置設定)	1.005	基礎工1基分
火災やケーブルへの車両衝突時	⑤冗長性によるケーブル本数設定	1.000	ケーブル材料費
	⑥ケーブル 1 本破断時照査	1.000	ケーブル材料費
斜面変状時	⑦斜面変状を考慮した深礎基礎設計	1.026	橋台工1基分
斜張橋工事費に対する比率		1.007	上下部工事費

※コスト比は備考に記載の工種における対策工と標準工のコスト比のこと

謝辞: 仙台河川国道事務所には本稿の発表にあたりご支援いただいた。ここに記して謝意を表する。

環境に配慮した(仮称)羽田連絡道路の橋梁計画・施工計画

川崎市 非会員 鈴木 伸也, 本田 卓士
パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○石原 大作, 土田 隆司, 渡邊 史
五洋・日立造船・不動テトラ・横河・本間・高田共同企業体 正会員 山本 晃久, 樫本 修二

1. はじめに

本橋梁は川崎市のキングスカイフロントと羽田グローバルウイングズをつなぐ(仮称)羽田連絡道路¹⁾として整備され、両地区の連携を強化し成長戦略拠点の形成を支えるインフラとして多摩川に架橋されるものである(図-1)。架橋位置は河口干潟が広がる多摩川河口部(0.8Kp)に位置し、多摩川河川環境管理計画²⁾における機能空間区分のうち「生態系保持空間」に設定され、周辺ではシギ・チドリ類の生息が確認される等、豊かな自然環境のみられる場所である。道路延長約840mのうち、多摩川渡河部は橋長約602mの鋼3径間連続鋼床版箱桁複合ラーメン橋を採用している(図-2)。

本稿は、完成時に国内最大支間長を有する多摩川渡河部の橋梁に関して、自然環境に配慮した橋梁計画及び施工計画について報告するものである。

2. 橋梁計画における制約条件・課題

本橋梁の計画にあたっては、以下の制約条件を踏まえた橋梁を計画した。特に、生態系保持空間及び航路により橋脚位置や桁下高をコントロールするとともに、航空法による高さ制限(転移表面)を考慮し橋梁の計画を行った。

- ・生態系保持空間及び多摩川航路部には施工時を含め構造物を配置しない
- ・架橋位置の地盤は、上層30m~40mはN値10未満の軟弱な粘性土層が広がっており、支持層は40m~50mと深い
- ・航空法による高さ制限によりAP+48.1m~52.5mを超える構造物は設置できない

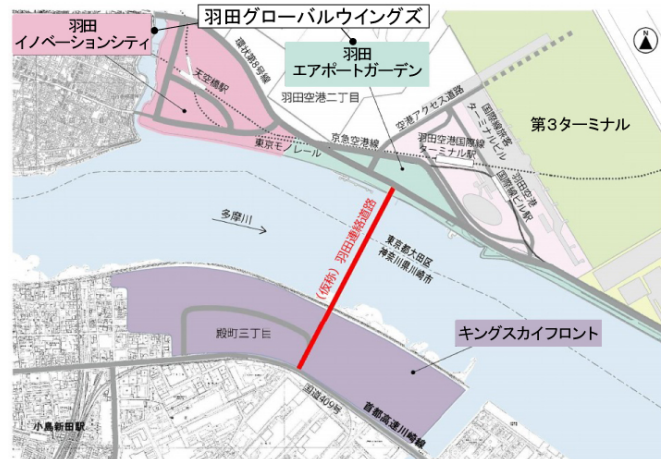


図-1 位置図

3. 環境に配慮した橋梁形式の選定

前項の制約条件に対し環境性、施工性、維持管理性、景観性及び経済性など総合的な観点から橋梁形式は鋼3径間連続鋼床版箱桁橋を選定した。特に、多摩川に広がる干潟やこれらを餌源とする鳥類の飛翔や、水平基調の景観など自然環境への配慮や調和を考慮し、鋼上部工とRC橋脚を剛結する複合ラーメン構造を採用した。

環境面においては、複合ラーメン構造の採用により、支承を有する桁橋と比較し基礎の規模が縮小され多摩川河床の掘削量低減が可能となった。あわせて、中央支間長は約240mと複合ラーメン構造として国内最大でありながら、桁高については支点部で最大7mであり、支承を有する場合と比較して桁高を抑制することができ、上部工の側面積の低減により鳥類の飛翔への影響の低減を図った。

施工面においては、はじめに基礎及び橋脚を施工し、



図-2 橋梁完成予想図(フォトモンタージュ)

keywords : 複合ラーメン構造, 鋼床版箱桁, 台船架設, 送出し架設, 張出し架設, 橋梁計画

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3-22 テラススクエア パシフィックコンサルタンツ株式会社 03-6777-4693

その後、柱頭部→中央径間部→側径間部の順に上部工架設を行うこととし、特にベント等の仮設部材を設置できない多摩川の生態系保持空間に該当する範囲については張出し架設と送出し架設の併用とすることで、生態系に配慮した施工が可能となった（次章にて詳述）。

維持管理面においては、支承を省略することによる維持管理性の向上や、斜張橋やアーチ橋と比較し部材数・格点数の縮減による点検箇所を低減を図った。

4. 環境に配慮した施工計画

本橋梁の架設ステップ図を図-3 に示す。はじめに中央径間部を台船による架設を行い（台船架設①～③）、次に P4～P5 間の台船架設を行った（台船架設④、⑤）。最後に P2～P3 間の張出し架設及び送出し架設を両方向から実施すると同時に P4～P5 間の張出し架設を実施する計画となっている。これにより、架設時においても可能な限り桁に生じる曲げモーメントが釣り合う状態とすることで、施工時においても剛結部を有する P3・P4 橋脚にかかる負担を最小限とした。

これらの架設計画とすることで、多摩川に設置するベントを最小化し、支間長 173m の P2～P3 間において生態系保持空間にはベントも設けず架設を可能とした。

また、施工にあたっては、「多摩川における干潟の保全・回復計画及び環境モニタリング計画³⁾」を取りまとめ、四季調査による工事中のモニタリング調査を実施するとともに、浚渫した一部の干潟の保全と回復に努めながら工事を進めている。

5. 環境に配慮した橋梁計画上の工夫

構造形式に複合ラーメン構造を採用する他に、以下の橋梁計画上の工夫を行った。

排水計画は、縦引き管及び横引き排水管による排水とした場合、桁側面に配置される排水管の維持管理性が容易でないこと、ならびに景観上は煩雑な印象となり水平基調の景観との調和に劣る点などを考慮し、橋面上での集水を基本とした鋼製排水溝を歩道のマウントアップ下に配置し、必要最低限の排水管とすることで、維持管理性及び景観性に優れた排水計画とした（図-4）。

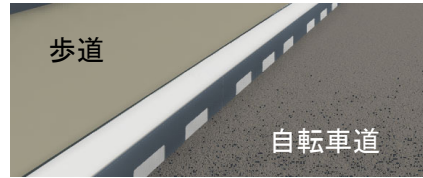


図-4 鋼製排水溝イメージ図



図-5 色彩現地確認状況（左：塗装板、右：模型）

吊足場用の金具については、一般的に用いられる鋼板による吊金具を桁側面に設置した場合、桁側面が煩雑となり、水平基調の景観との調和に劣ることや、発錆の起点となり易いことから、未使用時は吊金具部を桁内側に配置し、使用時のみ金具を桁外側に配置可能な、アイボルト方式の吊金具を採用した。

色彩については、周辺環境との調和を踏まえ、色彩調査を実施し環境色を確認した上で、関連する上位計画等に示される色彩範囲を満足し、環境色の大部分を占める空や水面の背景景観への溶け込みと、橋梁単体としての存在感のバランス（釣り合い）が取れている 5PB7.5/0.5 を、80cm×90cm の塗装板等を用いた現地確認により選定した（図-5）。

主桁断面形状については、桁側面の圧迫感低減のため、張出し長 3m を確保し、フェイスラインの見付け幅を低減し、水切り形状にも優れる形状とすることにより、水平基調の景観との調和に配慮した。

参考文献

- 1) <https://www.city.kawasaki.jp/530/cmsfiles/contents/0000097/97966/jigyougaiyou.pdf>
- 2) 多摩川河川環境管理計画：国土交通省関東地方整備局，2001
- 3) 多摩川における干潟の保全・回復計画及び環境モニタリング計画：川崎市建設緑政局，五洋・日立造船・不動テトラ・横河・本間・高田共同企業体，2017

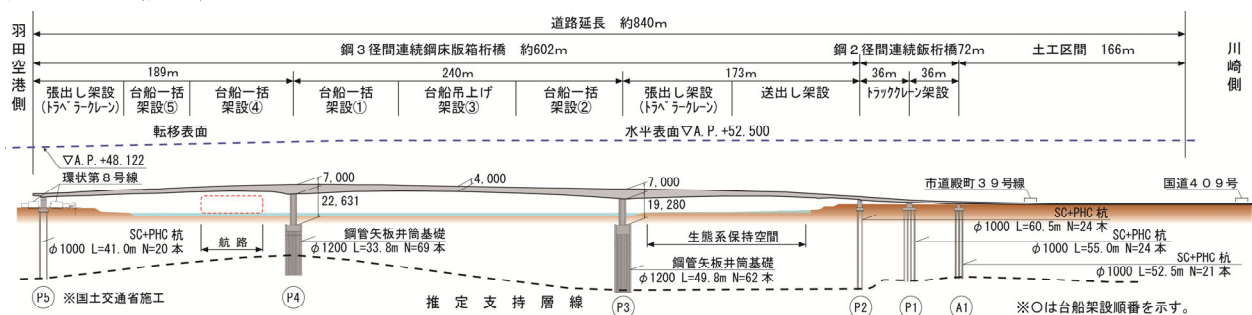


図-3 架設ステップ図

大阪湾岸道路西伸部の長大斜張橋（神戸西航路部）に対する橋梁形式の選定

阪神高速道路 正会員 ○西原 知彦, 正会員 小坂 崇
正会員 杉山 裕樹, 正会員 寺岡 正人
長大 正会員 深谷 茂広, 正会員 館 浩司, 正会員 織田 敏彰

1. はじめに

大阪湾岸道路西伸部では橋に求められる真の性能を具現化した計画コンセプトを立案し、それに基づく橋梁計画を行っている。本稿では図-1 に示すポートアイランドと和田岬の間に位置する神戸西航路部に架かる長大橋を対象に橋梁形式選定の取り組みを示す。



図-1 検討対象橋梁

2. 計画コンセプト

神戸市に位置する本路線は、阪神淡路大震災の被災地故の取り組み、ユネスコのデザイン都市である神戸らしい elegant な橋を目指す、将来にわたって健全な状態を維持することが重要と考え、耐災害性・景観性・維持管理性の三本柱で図-2 に示す計画コンセプトを立案した。次章の橋梁形式の検討では、計画コンセプトへの適合性と経済性を総合的に勘案した。

災害時においても、人流・物流ネットワーク機能を確保できる道路	「みなと神戸」にふさわしい世界に誇れる景観を創出する道路	将来にわたって健全な状態を維持し、時代の変化に対応できる道路
<ul style="list-style-type: none"> ■設計の想定と異なる状況に対しても、致命的な状態になりにくいこと ■非常時においても、地域の道路ネットワークとして速やかに機能すること ■これまでの橋梁技術の知見の蓄積に、先進的な技術を組み合わせ、より効率的に性能を確保できる構造とすること 	<ul style="list-style-type: none"> ■地域をつなぐ線としての連続性を意識し、「みなと神戸」にふさわしく、まちの魅力づくりに貢献できること ■百年先の土地利用の変化も考慮されたものであること ■社会環境や自然環境と調和すること 	<ul style="list-style-type: none"> ■百年、さらにその先においても、健全で快適な状態を維持しやすいこと ■将来の社会環境の変化にも対応が可能な構造とすること ■維持管理しやすい構造であるとともに、先進的な技術の活用により、高度化及び効率化が図られた構造とすること

図-2 計画コンセプト（案）

3. 橋梁形式の検討

(1) 比較案の抽出

神戸西航路部は航路幅の制約から最小支間長が 480m となる。橋梁形式比較案は図-3 に示す斜張橋を選定し、2主塔案と1主塔案(和田岬側、ポートアイランド側)の3案を立案した。1主塔案(和田岬側)はポートアイランド側の海上高架橋区間において、道路線形の改善により走行性に優れる案である。1主塔案(ポートアイランド側)は和田岬断層に関する現地調査により、とう曲帯幅が航路部の西側(和田岬側)に約 700m 位置することが明らかとなったため¹⁾、主塔がとう曲の直上に位置することを避けた案である。橋梁形式の選定においては、本橋に交差するとう曲の影響を踏まえ橋梁形式の優劣を判断することとした。また、支間長 480m の1主塔斜張橋は世界最大規模となるが、近年の技術動向を踏まえると十分に実現可能性はあると考えられる。なお、トラス橋やアーチ橋は支間長 480m と規模が大きく、耐震性や維持管理の観点から計画コンセプトへの適合性が低いと考えられるため比較対象に選定していない。

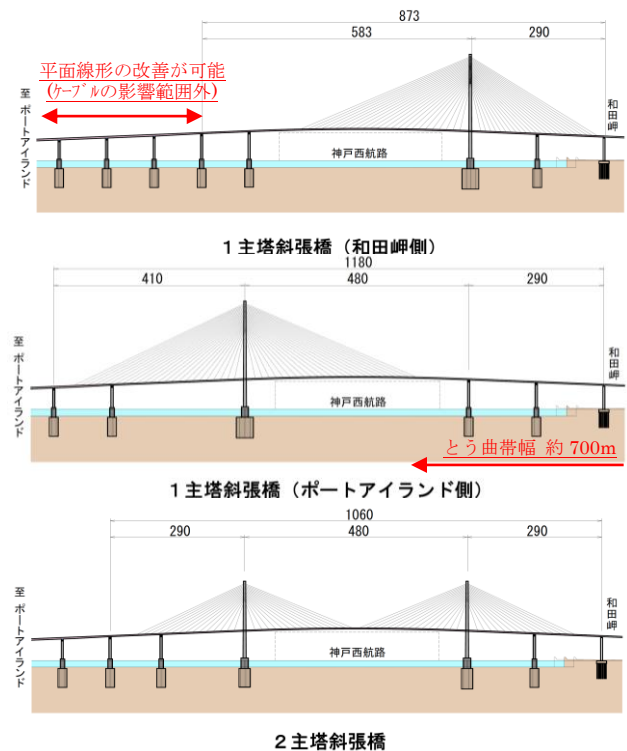


図-3 橋梁形式の比較案

キーワード 1主塔斜張橋、橋梁計画、計画コンセプト、橋梁形式、大阪湾岸道路西伸部

連絡先 〒650-0041 兵庫県神戸市中央区新港町 16-1 阪神高速道路(株)神戸建設部 TEL 078-331-9801

(2) とう曲の影響検討

和田岬とう曲の影響検討では、とう曲変位量の推計から得られた橋梁基礎天端の変位量を算出し¹⁾、橋梁の3次元骨組モデルに強制変位として静的に入力し応答を確認した²⁾。その結果、全てのケースにおいて、致命的な変形・損傷は確認されなかった。しかし、本検討に用いたとう曲変位量の推計はとう曲の不確定性を含んでいるため、主塔がとう曲の直上に位置することを避けた1主塔斜張橋（ポートアイランド側）が最もとう曲に対するリスクが小さいと評価した。

(3) 各部材形式に関する検討

斜張橋の各部材（主塔、主桁、主塔基礎）の形式を比較検討した。経済性および計画コンセプトの適合性の観点から、主塔は図-4に示す鋼製ダイヤ型主塔、主桁は鋼1箱桁、主塔基礎は鋼管矢板基礎を選定した。

(4) 橋梁形式の選定

上記、詳細検討を踏まえた橋梁形式の比較を表-1に示す。経済性では、2主塔斜張橋に対する初期コストおよびライフサイクルコスト(LCC)の比率は0.99~1.01の範囲であり、3案ともほぼ同等の結果となった。計画コンセプトに対する適合性は、1主塔斜張橋（ポートアイランド側）が最も高い結果となった。①耐災害性では、主塔位置がとう曲帯幅の直上に位置しないためとう曲変位に対するリスクが小さいことを評価した。②景観性では、1主塔斜張橋が将来の視点場からの眺望においてよりデザイン性が高いことを評価した。③維持管理性では、一般的に点検が困難な海上部の主塔、橋脚数が最も少ないことを評価した。

以上より、計画コンセプトの適合性が高い1主塔斜張橋の2案に対して、平面線形の改善が可能な和岬側と、とう曲のリスクが小さいポートアイランド側を比較衡量した結果、とう曲リスクを相対的に最も小さくできる

第2案の1主塔斜張橋（ポートアイランド側）を橋梁形式として選定した。

5. まとめ

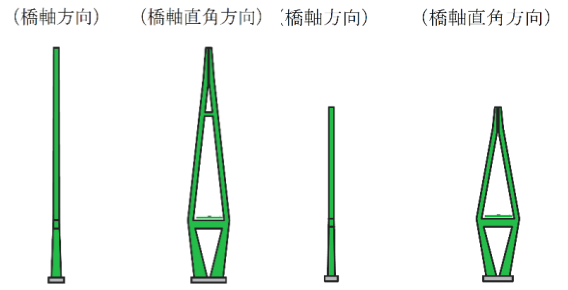
本稿では、大阪湾岸道路西伸部の神戸西航路部における橋梁形式の選定について報告した。今後は選定した世界最長の支間長を有する1主塔斜張橋に対して、耐震検討や耐風検討、景観検討などの詳細検討を行い、計画コンセプトにより適合した橋梁の実現に取り組んでいく所存である。

謝辞

本検討にあたっては、大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会（委員長：城西大学藤野陽三学長）の委員の方々に貴重なご意見をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 安積ほか：大阪湾岸道路西伸部の橋梁設計において考慮する断層変位量の検討，土木学会第76回年次学術講演会，2021.9.
- 2) 西村ほか：大阪湾岸道路西伸部の長大斜張橋（神戸西航路部）に対すとう曲変位の影響検討，土木学会第76回年次学術講演会，2021.9.



1主塔斜張橋の主塔形状 2主塔斜張橋の主塔形状
図-4 鋼製ダイヤ型主塔

表-1 橋梁形式比較案の計画コンセプトへの適合性と経済性の比較

計画案	計画コンセプトに係る各案の特徴		
<p>【第1案】1主塔斜張橋（和岬側） 鋼製主塔（ダイヤ型を基本） 鋼管矢板基礎 初期コスト 0.99 LCC 0.99</p>	<p>① 災害時においても、人流・物流ネットワーク機能を確保できる道路</p> <p>【地盤変位】とう曲の不確定性に対するリスクがある</p>	<p>② 「みなと神戸」にふさわしい世界に誇れる景観を創出する道路</p> <p>【都市景観】1本主塔のシルエットは海上部の開けた海と空の開放感を演出する。また、主塔が海上西部に位置し、和岬を明示するシンボル性が高い。</p> <p>【先進性】世界最長の支間長と世界最大の主塔高を有する1主塔斜張橋として、先進性を有する。</p> <p>【将来の発展性】将来の視点場からの眺望において、よりデザイン性が高い</p>	<p>③ 将来にわたって健全な状態を維持し、時代の変化に対応できる道路</p> <p>【腐食・塩害】海面付近の塩害が課題となる橋脚の基数が少ないため、他案に比べて腐食・塩害に対するリスクが低い。</p> <p>【確実な点検】一般的に点検が困難な海上主塔が2主塔斜張橋と比べて1基少ない。さらに海上橋脚が1主塔斜張橋（和岬側）と比べて2基少ない。</p>
<p>【第2案】1主塔斜張橋（ポートアイランド側） 鋼製主塔（ダイヤ型を基本） 鋼管矢板基礎 初期コスト 1.01 LCC 0.99</p>	<p>【地盤変位】とう曲の不確定性に対するリスクが小さい</p> <p>【緊急時の点検性・修復性】アクセス困難な主塔や海上橋脚の基数が少ない</p>	<p>【先進性】世界最長の支間長と世界最大の主塔高を有する1主塔斜張橋として、先進性を有する。</p> <p>【将来の発展性】将来の視点場からの眺望において、よりデザイン性が高い</p> <p>【社会・自然環境との調和】構造規模の大きい主塔が1基であり、また、橋脚基数が他案に比べて少ないため、土地収束への影響は最も小さい。</p>	<p>【使用性-変形・振動】2主塔斜張橋は、1主塔斜張橋に比べて、活荷重たわみが小さく固有振動数が大きいため、想定しない変形や振動を生じにくい。</p> <p>【確実な点検】一般的に点検が困難な海上主塔が1主塔斜張橋と比べて1基多い。</p>
<p>【第3案】2主塔斜張橋 鋼桁 鋼製主塔（ダイヤ型を基本） 鋼管矢板基礎 初期コスト 1.00 LCC 1.00</p>	<p>【地盤変位】とう曲の不確定性に対するリスクがある</p>	<p>【都市景観】2本主塔のシルエットは海上部の開放感を阻害しやすい。</p> <p>【路線の連続性】2本の主塔が船道に存在するため、他案に比べて桁の連続性が低い。</p> <p>【先進性】国内でも実績のある規模の斜張橋であり、先進性は低い。</p> <p>【社会・自然環境との調和】構造規模の大きい主塔が2基あるため、土地収束への影響が若干大きい。</p>	<p>【使用性-変形・振動】2主塔斜張橋は、1主塔斜張橋に比べて、活荷重たわみが小さく固有振動数が大きいため、想定しない変形や振動を生じにくい。</p> <p>【確実な点検】一般的に点検が困難な海上主塔が1主塔斜張橋と比べて1基多い。</p>

長所 短所

大阪湾岸道路西伸部における多径間連続斜張橋の剛性改善に関する検討

阪神高速道路

正会員 ○杉山裕樹 岡上政史 正会員 佐藤彰紀

大日本コンサルタント

正会員 中村正人 正会員 松浦雅史 正会員 吉岡 勉

1. はじめに

大阪湾岸道路西伸部（図-1）では、計画コンセプトに基づき、世界最大規模の多径間連続斜張橋¹⁾を計画している。本橋の課題のひとつとして従来の斜張橋に比べ橋全体の剛性が低い構造特性がある。そこで、本稿では図-2に示す多径間連続斜張橋に対して合理的な剛性改善策の検討を行った結果を示す。

2. 構造特性の把握および改善対策の検討

図-3に多径間連続斜張橋の構造特性を示す。従来の斜張橋では本橋の側主塔と同様に中間橋脚や端橋脚によってケーブルを介して主塔の変形が拘束されるが、本橋の中央主塔ではその効果が小さくなり、中央径間中央の主桁の鉛直変位が大きくなる。この剛性改善対策として、既往の事例ではケーブルによる工夫と主塔形状による工夫があげられる。表-1にケーブル改善に対する効果の検証を行った結果を示す。ケーブルクロス案および塔頂主桁ケーブル連結案は既往の事例で対策された案ではあるが、いずれも3主塔の多径間連続斜張橋であり、本橋のように4主塔の場合には効果が小さいことが確認された。また、タワーサポートケーブルは効果的ではあるが、景観上の観点から採用を見送っている。主塔形状による剛性改善対策効果の検証結果を図-4に示す。同じ剛性改善効果に対する経済性などの観点から橋軸方向にA形状の主塔が最も効果的であることを確認した。

3. 改善対策の効果検証

(1) 検討条件

橋軸方向A形状とした主塔の効果を主塔剛性の違いにより検証を行う。比較検討案は、図-5に示した無対策案（ダイヤ型主塔）と剛性改善対策となる橋軸A型主塔案とし、橋軸A型主塔は主塔基部間隔をパラメータ（基部間隔20m, 33m）として主塔剛性を变化させた2つの案に対して検証を行う。主塔は鋼製主塔、主桁は鋼床版1箱桁とするが、橋軸A型主塔は主桁中央に開口を有する上下線分離構造である。荷重は道路橋示方書に基づきB活荷重とし、影響線載荷を行った。着目箇所は変形特性から変動の大きい中央径間中央の主桁交番応力、中央径間中央の主桁鉛直変位、中央径間側最上段ケーブルの張力変動と初期建設費とした。なお、比較として従来からある2主塔斜張橋（支間長600m）での試算結果も示す。



図-1 検討対象橋梁

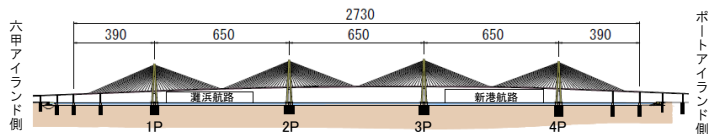


図-2 検討対象橋梁

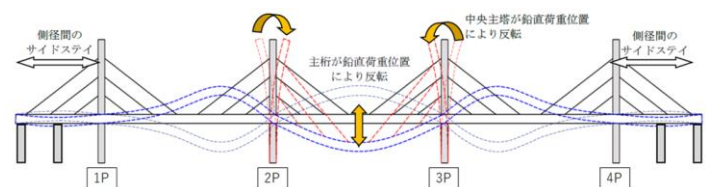


図-3 多径間連続斜張橋の構造特性計画コンセプト

表-1 橋梁形式案の計画コンセプトへの適合性と経済性の比較

対策案	タワーサポートケーブル案	ケーブルクロス案	塔頂主桁ケーブル連結案
構造概要			
鉛直変位*1	0.46 ○剛性改善大	0.71 △剛性改善小	0.40 ○剛性改善大
経済性*2	1.07 ○コスト小	1.24 △コスト大	1.23 △コスト大
評価	効果的だが、景観、維持管理性、船舶航行リスクに課題 △	鉛直変位の改善効果が小さい ×	構造性に課題（ケーブル振動） ×

*1: 活荷重による主径間中央部の主桁の鉛直変位。無対策時を1.00とした比率

*2: 無対策時を1.00としたケーブル工の初期コスト

主塔形状 (左: 橋軸直角, 右: 橋軸)			
経済性	1.00	1.01	1.12

図-4 主塔形状の比較

キーワード 多径間連続斜張橋、剛性改善、活荷重たわみ、大阪湾岸道路西伸部

連絡先 〒650-0041 神戸市中央区新港町16-1 阪神高速道路(株) 神戸建設部 TEL078-331-9801

(2) 検討結果

中央径間中央の主桁デッキの交番応力結果を図-6 に示す。無対策に比べ、主塔を橋軸 A 型とすることで、応力は 115N/mm² から 84N/mm² に 27%の低減効果が確認された。さらに剛性を上げることで 84 N/mm² から 77 N/mm² に 6%低減するが、その効果は鈍化する。また、基部間隔 20m とすることで従来斜張橋と比べ 3 割程度の違いにまで改善している。

次に中央径間中央の主桁鉛直変位を図-7 に示す。無対策に比べ、主塔を橋軸 A 型とすることで、鉛直変位は 48%低減する。さらに剛性を上げることで 16%低減するが、その効果は鈍化する。また、基部間隔 20m とすることで既往の多径間連続斜張橋のうち、最大支間長を有する Queensferry Crossing Bridge (イギリス)²⁾ の鉛直変位を下回ることが確認できた。

中央径間側最上段ケーブルの張力変動を図-8 に示す。無対策に比べ、主塔を橋軸 A 型とすることで、張力変動は 525N/mm² から 319N/mm² に 39%の低減効果が確認された。さらに剛性を上げることで 319 N/mm² から 263 N/mm² に 11%低減するが、その効果は鈍化する。また、基部間隔 20m とすることで道路橋示方書に示されているケーブルの調査・解析係数、部材・構造係数の適用範囲の上限値を下回ることが確認できた。

斜張橋全体の初期建設コスト比と主塔及び主塔基礎のみのコスト比を図-9 に示す。主塔を橋軸 A 型とすることで建設費は増加し、さらに剛性を上げることでほぼ比例してコストが増加していく。

以上より、橋軸 A 型主塔 (基部間隔 20m) とすることで、従来の長大橋と比較して遜色なく、また、同種の既往橋梁とも同等レベルに構造特性を改善することが可能であることを確認した。橋軸 A 型主塔の基部間隔が広いほど改善効果は高いが、橋軸 A 型主塔の基部間隔と改善効果は鈍化する一方で経済性はほぼ比例して増加することから、橋軸 A 型主塔の基部間隔 20m の方が合理的である。

4. まとめ

本稿では支間長 650m の多径間連続斜張橋の剛性改善対策について検討を行った。ケーブルシステムや主塔形状による対策の検討を行った結果、主塔を橋軸方向に A 形状とすることが有効な対策であることを示した。また、橋軸 A 型主塔の基部間隔をパラメータとして、従来の一般的な主塔形状と比較した結果、基部間隔が広いほど改善効果は高いが、その効果は鈍化する一方、経済性はほぼ比例して増加するため、橋軸 A 型主塔の基部間隔 20m の方が合理的であることを示した。

謝辞

本検討にあたっては、大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会 (委員長: 横浜国立大学藤野陽三上席特別教授) の委員の方々に貴重なご意見をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献 1) 杉山ほか: コンセプト設計に基づく長大橋の橋梁計画~みなと神戸に架かる橋~, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020. 9.
 2) Hussain N., Carter M., Kite S., Minto B.: Forth Re-placement Crossing - Concept Design, IABSE Symposium London 2011, 2011.9.

ケース	ケース1	ケース2	ケース3
概要	無対策案 (ダイヤ型主塔)	橋軸A型主塔案 (基部間隔20m)	橋軸A型主塔案 (基部間隔20m)
主塔形状 (左: 橋軸直角, 右: 橋軸)			
主桁形状			

図-5 検討対象主塔形状

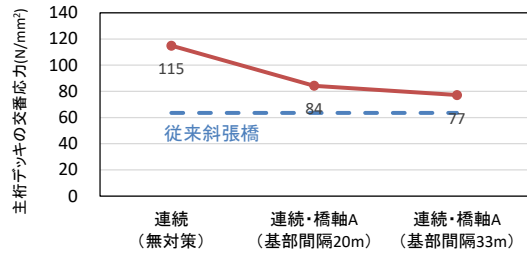


図-6 主桁デッキの交番応力の比較

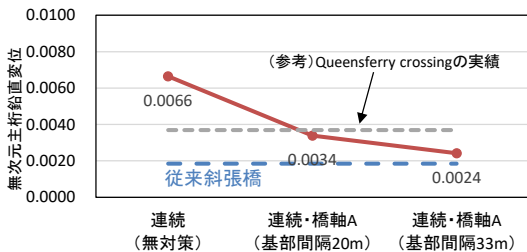


図-7 主桁鉛直変位の比較

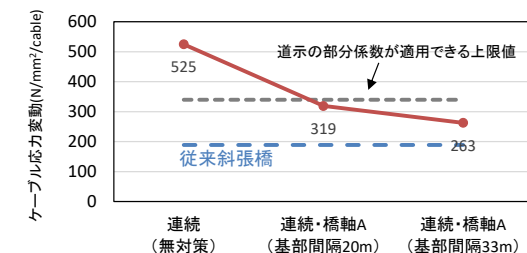


図-8 ケーブル応力変更の比較

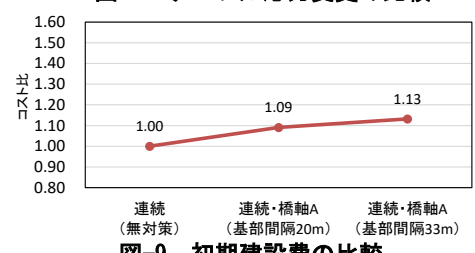


図-9 初期建設費の比較

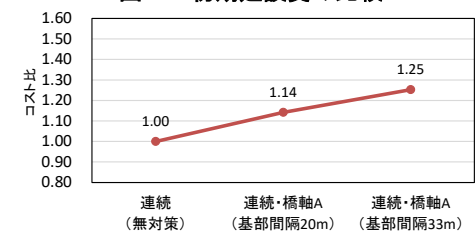


図-10 初期建設費 (主塔・基礎のみ) の比較