

東京港臨海大橋(仮称)に係る技術的課題の概要

Some Technical Subjects and Discussion on the Construction of Tokyo Port Seaside Bridge

小野幸一郎*・成瀬英治**

ONO Koichiro and NARUSE Eiji

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼第二調査部長

The present paper describes the outline of technical subjects on Tokyo port seaside bridge that has been discussed and examined from 2002. The substance of the study is the application of LRFD and BHS, sliding type seismic isolation bearing, lightweight concrete at top slab of bridge pier, and the structural analysis using shell elements.

Key Words : continuous truss bridge, LRFD, BHS, waste ground, Tokyo Port Seaside Bridge

1. はじめに

東京都品川区城南島から中央防波堤外側埋立地を經由して江東区若洲に至る東京港臨海道路は、図-1 に示すとおり、現在、城南島から中央防波堤外側埋立地までの第一期工事が完了し、中央防波堤外側埋立地から若洲に至る第二期工事を実施中である。この道路が横断する東京港第3航路上には、図-2 に示す中央径間長 440mの橋梁が計画されており、その建設にあたっては、設計の合理化とコスト縮減を目指した様々な検討が行われている。

本稿では、本橋梁に係る技術的課題を紹介するとともに、主要な検討結果について報告する。



図-2 東京港臨海大橋イメージ図

2. 検討体制について

東京港臨海道路の調査においては、平成 13 年度に学識経験者等から構成された「東京港臨港道路技術検討委員会（委員長：三木千壽東京工業大学教授）」が設置され、技術課題に関する検討が開始された。本格的な検討は平成 14 年度から開始し、廃棄物地盤に関する検討から上部工の細部構造に関する検討までの多岐にわたる課題について、委員会及び分科会を設置して検討を行ってきた。図-3 に平成 16 年度の検討体制を示す。

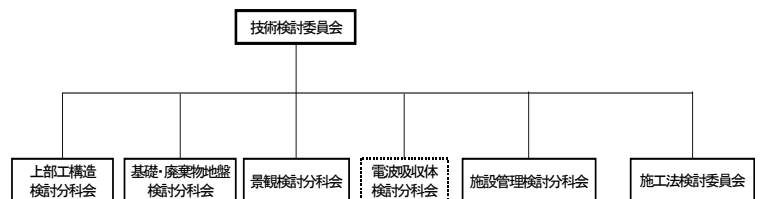


図-3 東京港臨海道路検討体制



図-1 東京港臨海道路位置図

2.1 平成 14 年度の検討課題について

本格的な技術検討を開始した平成 14 年度は、技術検討委員会と耐震・基礎工構造検討分科会及び廃棄物地盤検討分科会を設置し以下の課題について検討を行った。

- ① 上部工関係
 - ・ 荷重抵抗係数設計法 (LRFD) 適用の可能性 (死荷重・活荷重に対して導入の効果を確認)
 - ・ 高性能鋼材 (BHS 鋼材) 採用の妥当性の検討 (材料特性の調査をもとに採用を決定)
- ② 耐震・基礎工構造関係
 - ・ 入力地震動の設定
 - ・ 軽量コンクリートに関する検討
 - ・ 基礎工形式の選定
- ③ 廃棄物埋立地盤対策の検討
- ④ 施工法の検討
- ⑤ 電波反射障害対策の検討
 - ・ 羽田空港と VOR/DME の関係
 - ・ 電波吸収体の適用性
 - ・ 電波吸収技術の現状調査
 - ・ 適用可能な電波吸収体技術の検討

2.2 平成 15 年度の検討課題について

平成 15 年度は、前年度に設置した委員会・分科会に加えて、上部工構造検討分科会、景観検討分科会及び電波吸収体検討分科会を新たに設置し、以下の課題について検討を行った。

- ① 上部工関係
 - ・ LRFD における安全係数の設定 (荷重係数, 抵抗係数などの安全係数を決定)
 - ・ 鋼床版構造の疲労耐久性向上の検討
 - ・ トラス格点部の構造検討 (FEM 解析等によるトラス格点ディテール (板組等) の検討)
 - ・ トラス格点部の製作施工性試験の計画 (BHS 鋼材による模型製作試験を計画)
 - ・ 風洞試験の実施, 動的耐風安定性の評価 (上部構造断面の決定)
- ② 耐震・基礎工構造関係
 - ・ 機能分離型支承の摩擦特性に関する検討
 - ・ 縞鋼板継手の耐荷力に関する検討
 - ・ 鋼管杭の支持力に関する検討
 - ・ 軽量コンクリート採用に関する検討
 - ・ 下部工コンクリート仕様に関する検討
- ③ 廃棄物埋立地盤対策の検討
 - ・ 基礎工形式の検討
 - ・ 廃棄物地盤の物性, 力学的性質の検討
 - ・ 廃棄物地盤の変形特性の検討
 - ・ 土質定数の設定
 - ・ 浸出水の浸透流解析の実施

- ④ 景観の検討
 - ・ 主橋梁トラスプロポーシヨンの検討
 - ・ 中央径間吊り桁部の検討
 - ・ アプローチ橋の検討
 - ・ 昇降施設の検討
 - ・ 歩行者空間の検討
 - ・ 防護柵の検討
 - ・ 眺望施設の検討
- ⑤ 電波反射障害対策の検討
 - ・ 羽田空港と VOR/DME の関係
 - ・ 電波吸収体の適用性
 - ・ 電波吸収技術の現状調査
 - ・ 適用可能な電波吸収体技術の検討

2.3 平成 16 年度の検討課題について

平成 16 年度は、耐震・基礎工構造検討分科会と廃棄物地盤検討分科会を統合して基礎・廃棄物地盤検討分科会とし、新たに施設管理検討分科会を設置し、以下の課題について検討を行った。

- ① 上部工関係
 - ・ 上部工設計要領の検討 (設計手法, 設計条件 (荷重・載荷方法, 構造細目等) を設定)
 - ・ 製作施工性試験の実施・結果の評価 (トラス格点部の溶接施工性の確認)
 - ・ トラス格点部の構造検討 (FEM 解析等によるトラス格点ディテール (板組等) の検討)
 - ・ アプローチ橋梁の設計における BHS 鋼材の許容応力度の設定 (材料降伏点に対して安全率 1.7 を設定)
 - ・ 塗装仕様の選定 (鋼道路橋塗装便覧の C-4 塗装系を選定)
- ② 耐震・基礎工構造及び廃棄物埋立地盤関係
 - ・ 廃棄物地盤の物性値の設定について
 - ・ アプローチ部の設計定数の設定について
 - ・ 中防外側土工部の物性値の設定について
 - ・ 発泡ビーズ軽量混合土とジオグリッド併用法確認実験
- ③ 施工法の検討評価
 - ・ 鋼管矢板支持力確認及び打ち止め管理方法
 - ・ 温度ひび割れ制御対策検討
 - ・ マスコンクリート品質管理方法
- ④ 景観の検討
 - ・ 昇降施設の形態
 - ・ 夜間景観の検討
 - ・ 色彩計画
- ⑤ 施設管理の検討
 - ・ 維持管理検討対象
 - ・ 主要部位の維持管理アクセス手段
 - ・ 維持管理設備の計画について

3. 各種検討結果について

平成14年度から行ってきた各種検討結果のうち主要なものについて以下に述べる。

3.1 荷重抵抗係数設計法 (LRFD) の適用

国内において特定の橋梁を対象として限界状態設計法の適用が検討された事例としては、ケーブルおよび主塔の設計において本設計法の導入を検討した明石海峡大橋(吊橋)がある。一方、海外では、欧米の設計基準に、限界状態設計法の一つである荷重抵抗係数設計法 (LRFD: Load and Resistance Factor Design) が規定されており、国際的な趨勢としては許容応力度設計法が適用される事例は少なくなっている。国内においても将来的には限界状態設計法への移行が進むものと考えられることから、本橋においては将来を見据え、LRFD の導入を検討するのが適当と判断された。

特に長大トラス橋では固定荷重である死荷重による作用力が変動荷重である活荷重作用力に比べ大きくなることから、荷重種別ごとに荷重係数を設定することで合理的な安全性確保を図ることが出来る。また、その結果としてコスト縮減効果も得られる。

LRFD の導入にあたっては、荷重係数、抵抗係数および全体の構造物係数の設定が課題となるが、基本的には土木学会ならびに道路協会での研究成果より各安全係数を設定する方向で検討している。

なお、試設計の結果ではあるが、LRFD の導入によりトラス主構部材において約1割程度の重量軽減・コスト縮減効果が得られている(表-1 参照)。

表-1 設計法による鋼重比較 単位:kN

	許容応力度法	LRFD
SM400A	8, 536	7, 379
SM490Y	22, 628	24, 980
BHS500	42, 944	42, 855
BHS700W	12, 505	3, 126
合 計	86, 613	78, 340
(比率)	(1. 00)	(0. 90)

3.2 BHS 鋼材 (高性能鋼材) の適用

BHS(bridge high performance steel)鋼材は、米国で開発された HPS 鋼材と同等のもので、本来、日本国内での研究が先行して進められていたものであるが、我が国での採用の実績はない。BHS 鋼材の大きな特徴は、炭素量を大幅に低下させ、溶接割れ感受性組成 (P_{eq} 値) を低く抑え、溶接時の予熱を軽減している点であり、これによ

り加工工数の大幅な低減が可能となる。工場製作費、すなわち鋼材の材料費と製作費の合計をみた場合、SM570 材を上回る降伏点を有する BHS 鋼材の工場製作費を SM570 材の工場製作費以下に低減することを可能にしている。また、BHS500 材は、引張強さを SM570 材と同等とし、降伏点を SM570 材の 450N/mm^2 ($16 < t \leq 40\text{mm}$) から 500N/mm^2 まで高めている(表-2 参照)。なお、試設計の結果ではあるが、BHS 鋼材の導入によりトラス主構部材において約1割程度のコスト縮減効果が得られている。

表-2 BHS 鋼材の強度特性

鋼材	鋼板の厚さ mm	降伏点・耐力 N/mm^2	引張強さ N/mm^2
BHS500 BHS500W	$6 \leq t \leq 100$	500 以上	(570~720)
BHS700W	$6 \leq t \leq 50$	700 以上	(780~930)
SM570 SM570W	$6 \leq t \leq 100$	460 以上 ~420 以上 (板厚による)	570~720
HPS485W	$6 \leq t \leq 100$	485 以上	585~760

3.3 すべり型免震支承の採用

兵庫県南部地震以降、橋梁構造物の耐震設計では部材の塑性化を考慮した設計が行われている。しかし、本橋のような中 lộ式のトラス橋梁では、塑性ヒンジとなる橋脚部が全体構造の規模に対して小さく有効な塑性ヒンジを形成させることが難しい。また、大規模橋梁であることから橋脚基部に発生した残留変位を地震後に復旧することについても困難が予想される。このため、免震支承を採用し地震力を低減するとともに地震時の塑性変形を免震支承に集中させ、地震時の構造部材の損傷を極力少なくすることとした。支承反力は、約 90,000kN でこれまでの免震支承の実績の約3倍に達する大規模なものとなる。支承構造としては、大型化により製造が困難となるため、図-4 に示すように水平力と鉛直力を分離して負担し、それぞれの支承規模を小さくできる機能分離型ゴム支承を採用した。機能分離型ゴム支承は、鉛直支承がすべり支承となっており、地震時の摩擦による減衰効果を期待している。解析の結果では、レベル2タイプⅡの地震時においても橋脚下端での水平震度が $K_h=0.4$ 程度となり、大きな減衰効果を発揮することが確認できた。

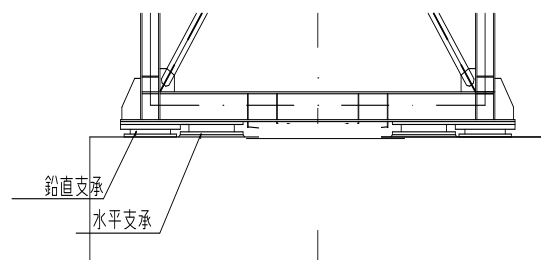


図-4 機能分離支承における支承配置

表-3 縞鋼管継手に関する載荷実験結果

試験体	鋼管径 D (mm)	板厚 t (mm)	モルタル強度 σ_{ck} (MPa)	鋼管仕様	継手耐力 S_{max} (kN/m)	破壊モード
HPJ-1	165.2	12	24.3	素管	200.1	界面ずれ
HPJ-2	165.2	12	17.4	縞鋼管	1826.2	界面ずれ
HPJ-3	165.2	16	23.4	縞鋼管	1375.5	界面ずれ
HPJ-4	165.2	16	20.9	縞鋼管	1375.8	界面ずれ
HPJ-5	216.3	16	23.6	縞鋼管	1850.0	鋼管せん断
HPJ-6	165.2	16	49.2	縞鋼管	2287.0	界面ずれ
HPJ-7	165.2	19	52.1	縞鋼管	1606.5	界面ずれ
HPJ-8	216.3	16	35.7	縞鋼管	299.6	鋼管せん断

3.4 鋼管矢板継手への縞鋼管継手の採用

本橋梁の基礎工は、基礎工の深さに比べ幅が広く、鋼管矢板相互のせん断変形が卓越した構造である。従来型の継手を用いた安定計算結果では、地震時において大きなせん断変形を受け、鋼管に作用する断面力が増加し、これらを許容値内におさえるためには鋼管の本数や肉厚を増加させる必要があった。縞鋼管継手は、継手鋼管に縞鋼板を採用するほか、継手に充填するモルタルの強度を $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ に高めることにより従来型の継手と比べ約4倍以上のせん断耐力が確保できる。このため、井筒全体の剛性が増し、鋼管矢板本数を20%以上減少させることが可能となった。表-3に縞鋼管継手の載荷試験結果、写真-1に縞鋼管継手の概要を示す。



写真-1 縞鋼管継手

とともに多軸応力状態を適切に求め、LRFDによる降伏点を照査対象とした設計と併せ、降伏点を高めたBHS鋼材の特性を有効に利用できることになる。

4. おわりに

本橋においては、以上紹介した検討項目のほかに、トラス部材の有効座屈長、格点部の合理的な構造詳細、疲労に対する鋼床版構造詳細の改善など、種々の検討を行っている。これらの項目を含む検討を今後も継続して実施する予定であり、各項目の検討結果については改めて各論として報告したい。本検討においては、東京工業大学三木千壽工学部長を委員長とする東京港臨海道路技術検討委員会の委員の方々にご審議、ご指導をいただいております。ここに謝意を表します。

3.5 立体シェルモデルによる構造解析

道路橋の設計は骨組解析によるのが一般的で、基本的に一軸方向の応力解析により設計がなされている。実際の最大応力となる多軸応力の組み合わせに対しては、降伏点以上の終局耐力までの余裕により安全性を担保したものとなっており、許容応力度設計法では、高強度鋼材の降伏比が小さいことを考慮して許容応力度を設定している。今回、立体シェルモデルによる構造解析を行うことにより、せん断遅れなどの応力分布を的確に把握する