

# 湊町・難波地区鋼製基礎大規模更新工事（先行 3 基）に おける特有の現場条件を考慮した設計・施工

阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部保全事業第二課 中井 勉  
阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部保全事業第二課 小島 直也  
阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部保全事業第二課 田島 祐介

## 要 旨

阪神高速 1 号環状線・15 号堺線の湊町・難波地区に位置する橋脚基礎の一部は地下函体上に設置されており、鋼製基礎が採用されている。供用後の地下水位の上昇により鋼製基礎の内部に地下水が浸入し、腐食が確認されたことから、当該地区において同様の構造形式が採用された鋼製基礎全 9 基を対象に、基礎本体の防食工や支承受取替等により維持管理性及び耐震性の向上に資する構造へ更新を行うこととした。

今般、先行的に着手した 3 基の基礎の本体構造物にかかる工事が完了したことから、地下函体への影響に留意した設計や、狭隘空間での施工等、当該現場特有の設計・施工に関する取組内容について報告するものである。

キーワード: 鋼製基礎, 大規模更新工事, 防食工, 耐震補強, 高力スタッドボルト

## はじめに

阪神高速 1 号環状線・15 号堺線の湊町・難波地区（図-1）では地下街や鉄道等を構成する地下函体上に橋脚が設置されており、荷重低減を目的として鋼製基礎が採用されている（図-2）。供用後の地下水位の上昇に伴い鋼製基礎内部への滞水や鋼製基礎自体の腐食が確認された（写真-1）ことから、これまでに防食工等による腐食対策を実施したが、抜本的な解決には至らなかった。そこで当該地区の鋼製基礎を対象に、地下水の浸入対策や維持管理性及び耐震性の向上に資する構造へ更新を行うこととし、図-3 に示す対象基礎 9 基のうち先行する 3 基（PN-01, PE-02 北, PE-03）の鋼製基礎（以下、「先行 3 基」という。）を対象に施工を実施した。



図-1 工事位置図

# 1. 工事概要

鋼製基礎の更新に際しては、以下の3つの基本方針を基に工事を実施した。

- ・既存の鋼製基礎を活用した止水対策及び防食対策による「長期耐久性の確保」

- ・維持管理用空間を確保した構造への更新による「永続性の確保」

- ・耐震性向上の視点での「最新基準への適合」
- 基本方針を基に策定した更新の基本形の概要図（PN-01）を図-4に示す。工事内容としては、基礎本体の防食工や支承取替、維持管理用空間

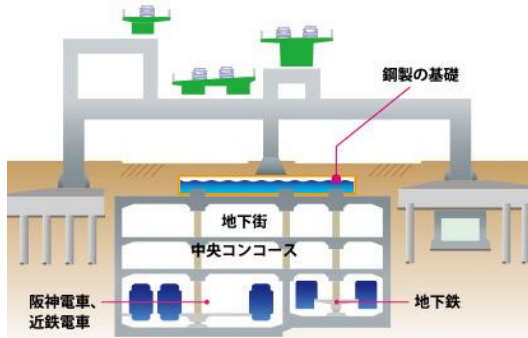


図-2 15号線線湊町付近の断面図



写真-1 鋼製基礎内部の腐食状況

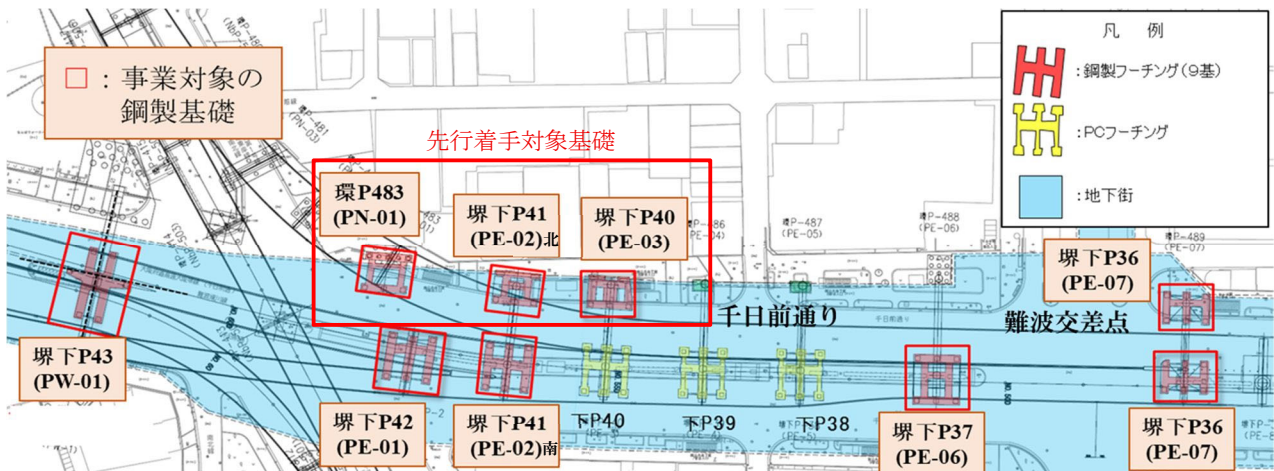


図-3 湊町・難波地区鋼製基礎大規模更新工事 橋脚基礎配置図

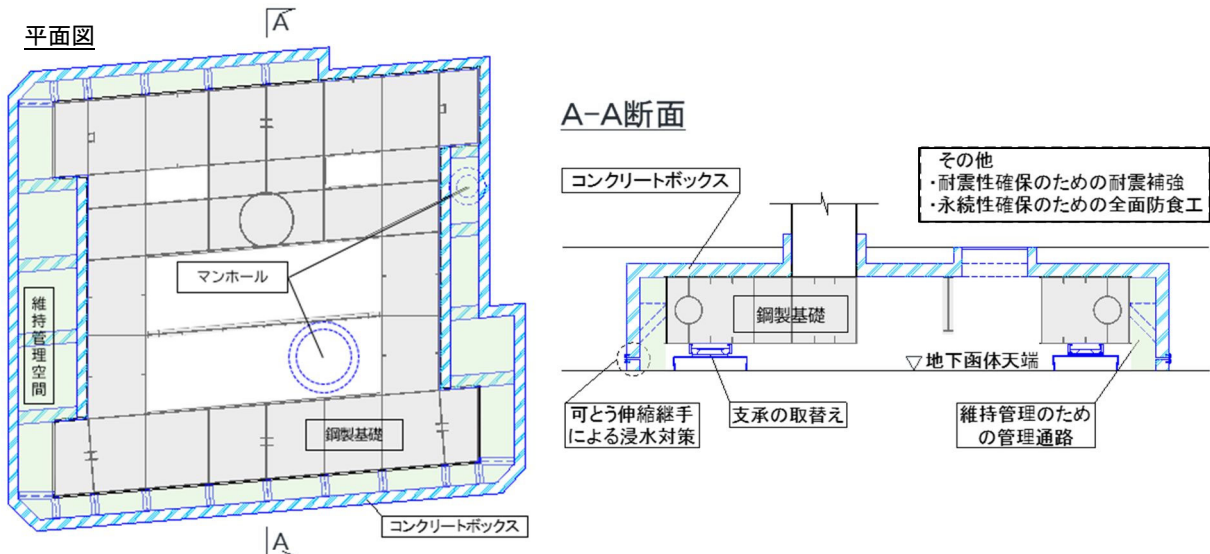


図-4 更新基本形の概要図 (PN-01)

の確保のためのコンクリートボックス（以下、「躯体コンクリート」という。）の構築，さらには耐震補強等を実施することとなるが，鋼製基礎に対しこうした工事の実施例がない．そのため，先行3基をパイロット工事として更新の基本方針に対する施工実現性・妥当性の確認を行うこととした<sup>1)</sup>．

本工事の施工フローを図-5に示す．工事場所は大阪ミナミの繁華街であり，交通量の多い千日前通の掘削を伴うことから，

- ・地上及び地下空間には多くのインフラ施設が存在し支障物移設や近接施工が必要
- ・地下函体上に基礎が設置されているため土被りが小さく，覆工板を設置するためには基礎上面に位置する千日前通の舗装嵩上げが必要
- ・狭隘な施工空間
- ・夜間規制による限られた施工時間
- ・近隣の他工事との調整

等，制約条件も多く，各施工過程において厳しい条件下での施工となった．既存の保護コンクリートの撤去や支承受替に伴う施工上の課題・工夫等については別途報告済みである<sup>2),3)</sup>．

本稿執筆時点ではすでに先行3基への埋戻し・路面覆工板の撤去が完了し，今後は支障移設物等の復旧工及び後続6基の施工に着手する段階となっている．

## 2. 本工事特有の現場条件を考慮した設計・施工

ここでは，本工事での現場特有の条件を考慮し，試験施工を実施した防食工や耐震補強，及び補強設計の妥当性を評価するためのFEM解析について述べる．

### 2-1 防食工

長期耐久性の確保の観点から，鋼製基礎全面に対する防食工を実施した．防食種別はLCC比較において最も優位となった金属溶射を基本とし，施工空間（縦横奥行き1m）が確保できない箇所

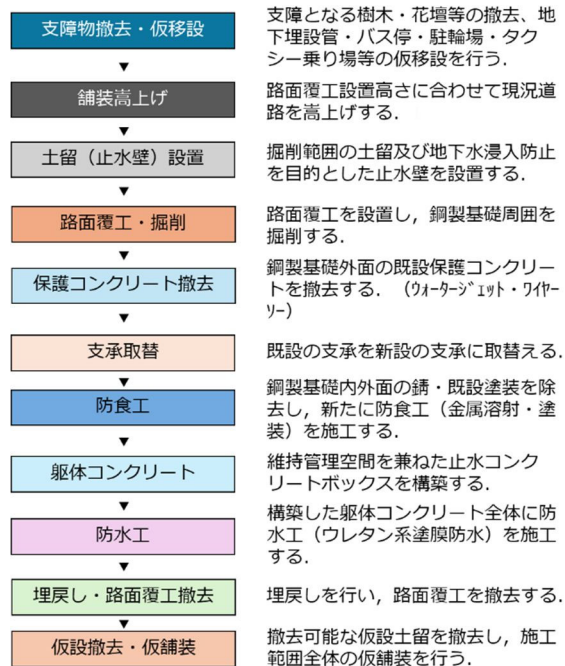


図-5 施工フロー

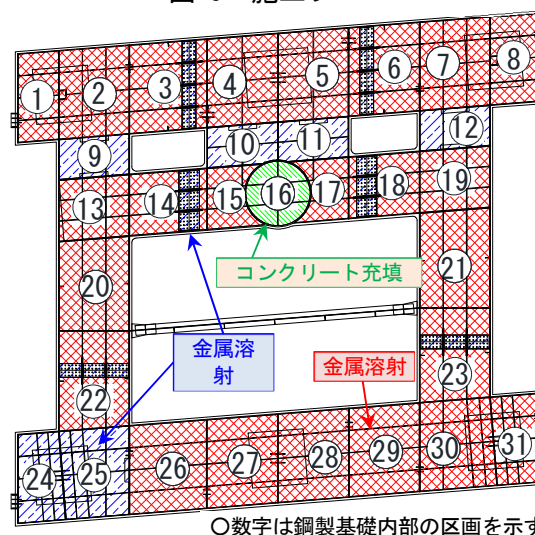


図-6 鋼製基礎内面の防食種別区分（PN-01）

や添接部等の金属溶射が適さない箇所へは金属溶射困難部として重防食塗装を採用した．また，後工程においてコンクリートで被覆される箇所（鋼製基礎上面や耐震補強のためのコンクリート充填部）については，有機ジンクリッチペイントを適用した．なお，素地調整は全てオーブンブラストによる1種ケレンである．図-6は鋼製基礎内面の防食種別区分の一例である（PN-01）．

鋼製基礎の内面には30年以上前にアルミニウム溶射による防食が施されていたが，新たに実施する金属溶射ではアルミニウム以上の防食性を有

する亜鉛・アルミニウム合金を選定した。しかし既存のアルミニウム溶射皮膜を除去したうえで再溶射した事例が少ないことから、適切なブラスト研削材の選定を目的としてブラストによる皮膜除去能力、金属溶射皮膜の密着性等について確認の必要が生じた。そのため、既設基礎と同様にアルミニウム溶射が施された試験体を製作し、ブラスト及び金属溶射に係る試験施工を実施することとした。なお、既存のアルミニウム溶射は現在でも健全な部位が確認されることから、既存のアルミニウム溶射を100%除去せずに防食性能が確保できる可能性にも留意し、試験体のアルミニウム溶射除去率を30%、60%、100%の3段階に設定し比較を行った(表-1)。

試験施工の結果、既存アルミニウム溶射除去率30%と60%では、新たに施工する亜鉛・アルミニウム合金溶射の密着強さが小さく、既存のアルミニウム溶射が健全な箇所でも100%除去が必要なが確認された。また、研削材はガーネットが

適しており、その使用量を90 kg/m<sup>2</sup>とし、溶射面と溶射ガンとの距離を20 cm以下とすることで、所定の品質(表面粗さ、金属溶射の密着強さ)を確保できることを確認した<sup>4)</sup>。これにより所定の品質の防食効果を確保することができた。

## 2-2 局所的な塑性化を許容した耐震補強設計

当初実施した耐震補強設計では、レベル2地震時における鋼製基礎の発生応力度を降伏応力度以下とする場合、橋脚基部付近の補強が過大となり、地下函体へ与える影響が大きく現実的ではないことが明らかとなった。そのためレベル2地震時における鋼製基礎の局所的な塑性化を許容し、鋼製基礎として弾性挙動に留まる場合(鋼製基礎の橋脚基部に作用する荷重と同位置の水平変位との関係がレベル2地震時においても線形とみなせる状態)には耐震性能を満足することとし、以下の手順で耐震性能評価を実施した。

① 対象基礎を含む一連の橋梁を梁要素として、

表-1 防食に係る試験施工での確認内容<sup>4)</sup>

目的	確認項目	試験結果
研削材の選定及び作業能力の確認	4種類の研削材(フェロニッケルスラグ、ガーネット、アルミナ、スチールグリッド)でのブラスト能力	各研削材でのブラスト後の表面粗さを測定した結果、フェロニッケルスラグは算術平均粗さ $Ra \geq 8 \mu m$ に対して $7.9 \mu m$ 、最大高さ粗さ $50 \leq Rz \leq 100 \mu m$ に対して $47.4 \mu m$ と所定の品質を満足しなかった。スチールグリッドは $Ra=8.9 \mu m$ 、 $Rz=77.6 \mu m$ と所定の品質を満足し施工時間も短い、最も高価で湿気による固結で回収しづらいこと等から不適と判断した。ガーネットは $Ra=8.5 \mu m$ 、 $Rz=62.2 \mu m$ 、アルミナは $Ra=13.1 \mu m$ 、 $Rz=62.2 \mu m$ であり、ともに所定の品質を満足し施工時間も同等であったことから、経済的なガーネットを選定した。また、既存アルミニウム溶射部のブラストによるガーネット使用量は $82 \text{ kg/m}^3$ であったことから、現場施工での研削材使用量はロス率10%を見込んだ $90 \text{ kg/m}^3$ とすることとした。
既存アルミニウム溶射の除去率の違いによる金属溶射の密着強さの確認	既存アルミニウム溶射除去率を30%、60%、100%とした試験体で金属溶射の密着強さ	引張試験の結果、既存アルミニウム溶射除去率30%及び60%の密着強さは、除去率100%の場合の半分以下であった。破壊形態については、除去率30%及び60%の試験体は残存溶射部と再溶射部との境界で破壊し、除去率100%の試験体は再溶射部と鉄素地との境界で破壊した。以上より既存アルミニウム溶射の部分的な除去ではなく全面除去とすることとした。
溶射ガン距離による金属溶射の密着強さの確認	溶射面と溶射ガンとの距離を20 cmと30 cmで金属溶射した試験体の密着強さ	引張試験の結果、溶射距離20 cmでは密着強さ $5.2 \text{ N/mm}^2$ ( $\geq 4.5 \text{ N/mm}^2$ ) と許容値を満足するが、溶射距離30 cmでは密着強さ $4.0 \text{ N/mm}^2$ と満足しなかったことから溶射距離20 cmで施工管理することとした。

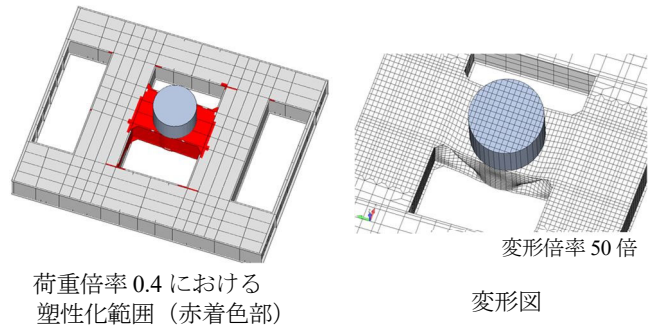
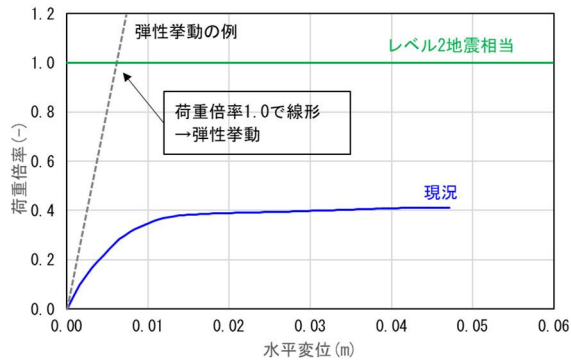


図-7 現況の荷重倍率-水平変位の関係及び荷重倍率 0.4 における塑性化範囲, 変形図 (PE-02 北)

また、鋼製基礎を弾性シェル要素として構築した橋梁全体系モデルに対し動的解析を実施。

- ② ①とは別に基礎構造を対象として材料非線形と幾何学的非線形を考慮した部分モデルを作成。
- ③ ①で得られた対象橋脚基部の最大断面力発生時における各部材の断面力により、②のモデルに対し静的漸増載荷解析を実施。

なお、本解析では鋼板当て板部分のモデル化は、シェル要素の板厚を当て板分の増厚を加味した板厚としている (簡易モデル)。そのうえで当て板部を詳細にモデル化した解析 (詳細モデル) も別途実施し、鋼製基礎の挙動が簡易モデルと同等であることを確認している (2-3 に後述)。

ここでは PE-02 北を対象に前述の耐震性能評価を実施した結果を示す (図-7)。解析の結果、橋軸直角方向に加振した場合が最も厳しくなり、鋼製橋脚基部の水平変位と荷重倍率 (レベル 2 地震時の荷重を 1.0 とする) の関係は、荷重倍率が 0.4 に達するまでに橋脚基部の水平変位が大きく増加

する結果となった。また、塑性化領域は橋脚を直接支持している横桁のウェブ及びフランジ全体に分布し、当該部材が大きく変形する結果となったことから、鋼製基礎の補強が必要であることを確認した。

補強は重量増による地下函体への負担を考慮し、最小範囲のコンクリート充填と補強桁の増設、上下フランジ及びウェブへの当て板補強を行うこととした (図-8)。図-9 に補強後の鋼製橋脚基部の水平変位と荷重倍率の関係及び塑性化範囲を示す。

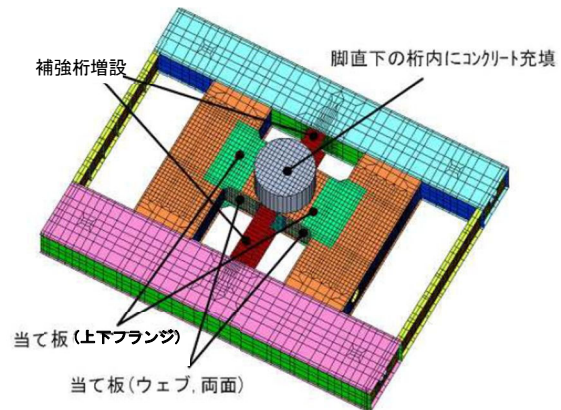
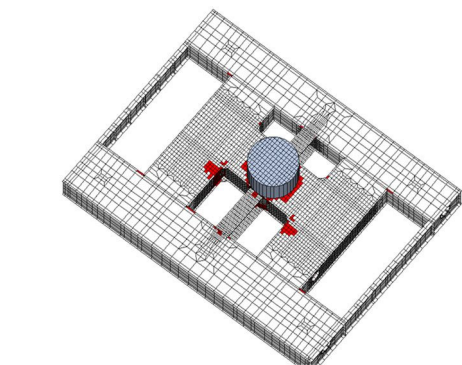
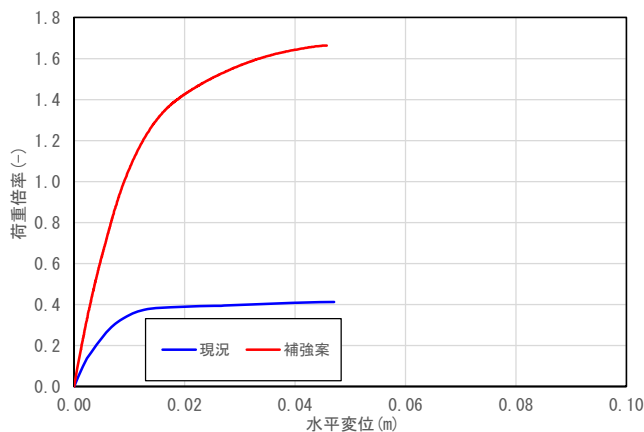


図-8 部分モデル及び耐震補強図 (PE-02 北)



荷重倍率 1.0 における塑性化範囲 (赤着色部)

図-9 補強後の荷重倍率-水平変位の関係及び塑性化範囲 (PE-02 北)

荷重倍率が 1.0 に達しても橋脚基部の水平変位は急増しておらず、概ね線形挙動となっている。また、鋼製基礎は部分的に塑性化するもののその範囲は局所的であった。

以上の対策により、レベル2 地震時においても基礎全体として線形挙動していることから地下函体への影響を考慮しつつ所要の耐震性能を有する耐震補強を行うことができた。

### 2-3 高カスタッドボルトを用いた当て板補強

2-2 で述べた鋼製基礎への補強のうち、当て板補強は鋼製基礎への大量のボルト孔の穿孔による耐力低下が懸念されたため、穿孔が不要で既設部材を傷つけずに片側から施工可能となる高カスタッドボルト工法を採用することとした。同工法はこれまで既設鋼床版の疲労対策等で実績を有するものの、鋼製基礎への適用事例が無いことから、高カスタッドボルトによる「当て板補強の設計」の妥当性を詳細 FEM 解析により検証した<sup>9)</sup>。また、既設部材 (SM400 材、 $t=16\text{ mm}$  及び  $t=19\text{ mm}$ ) に溶接した高カスタッドボルトが所定の品質を有しているかの確認を行うとともに、狭隘な場所で横向き・上向き溶接した高カスタッドボルトが所定の品質を確保可能か確認するために実際と同じ施工条件で試験施工を行った。

当て板補強による設計については鋼製基礎の上フランジへの当て板に着目し、詳細 FEM 解析を実施した。上フランジの母材と当て板とをそれぞれ別々にモデル化し、両部材を 1 本ずつ非線形ばね要素でモデル化したスタッドボルトで接合したモデル (図-10) により FEM 解析を実施した。なお、ボルト孔も 1 箇所ずつ忠実に再現している。

前節で実施した当て板を簡易的にモデル化した解析 (簡易モデル) と、本節の当て板部を詳細にモデル化した解析 (詳細モデル) の結果を図-11 に示す。荷重倍率と水平変位の関係は簡易モデルと詳細モデルで重複しており、同等の耐力が見込めることが確認できる。また、荷重倍率 1.0 での変形図 (図-12) 及び塑性化範囲 (図-13) より、当て板と母材の挙動が一体であることや当て板部

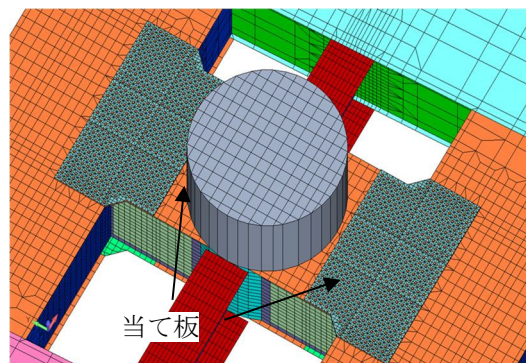


図-10 詳細 FEM モデル (PE-02 北)

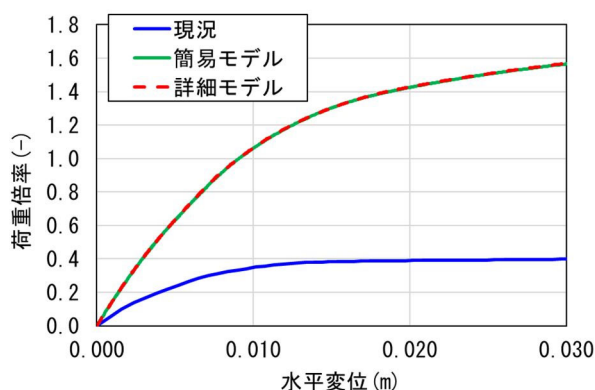
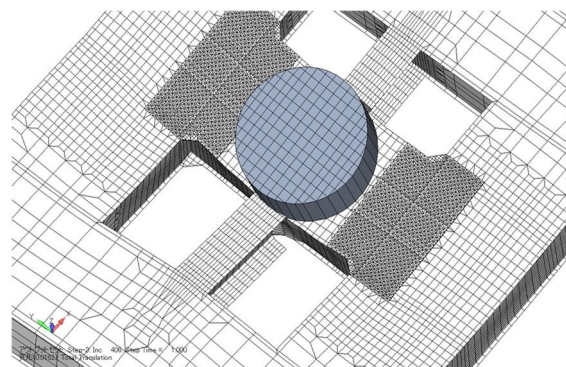


図-11 荷重倍率-水平変位の関係 (PE-02 北)



変形倍率 50 倍

図-12 変形図 (荷重倍率 1.0) (PE-02 北)

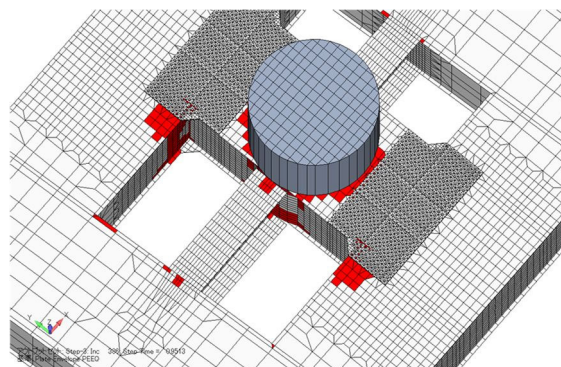


図-13 塑性化範囲 (荷重倍率 1.0) (PE-02 北)

の塑性化範囲が局所的であることが確認できる。以上より、鋼製基礎の塑性化範囲が局所的で、鋼製基礎が弾性挙動に留まることから、鋼製基礎耐力の低下に直結する損傷ではないとして耐震性能を満足することとした。

試験施工では、試験片（□100×100）を鋼製基礎に押し当て、トルシア形高力スタッドボルト（M20，F8T 相当）を溶接し試験体を製作した。ボルトの降伏点まで引張した後、溶接部及び母材の外観確認を行った結果、全ての試験体において割れや変形といった欠陥は確認できなかった。その後、試験体を試験機に再設置し、ボルト破断まで引張した結果、全ての試験体においてボルトのねじ部で破断したことを確認した。

前述した試験施工は、実際の施工条件を踏まえて実施しており、高力スタッドボルト工法が鋼製基礎の当て板補強として適用可能であることが確認できた。

これにより鋼製基礎下面（地下函体との最小離隔が 465 mm と狭隘）に対する上向溶接（写真-2）においても所定の品質を確保したうえで施工することができた。

### 3. まとめ

本工事の施工場所は交通量の多い千日前通の規制を伴うことから社会的影響が大きく、作業時間の制約や狭隘な施工空間、地下函体への荷重の配慮等、制約が非常に多い中での施工となったが、先行 3 基について基礎部の防食工、躯体コンクリートの構築並びに埋戻し工まで無事完了することができた。

写真-3 は鋼製基礎の更新後の外観（躯体コンクリート頂版のコンクリート打設後の状況）である。この後、防水工（超速硬化ウレタン吹付）を施し埋戻しを行っている。写真-4 は躯体コンクリート内部の維持管理用空間の状況である。維持管理用空間は地下埋設管が近接する箇所を除き、600 mm～1000 mm 幅を確保している。

鋼製基礎の更新工事は全国的にも例がなく、ま



写真-2 鋼製基礎下面への高力スタッドボルト溶接状況（上向き）



写真-3 躯体コンクリート外観（頂版）



写真-4 維持管理用空間

た、局所的な塑性化を許容した耐震補強設計や高力スタッドボルトを使用した当て板補強の採用等新たな取組みも実施しており、今後施工予定の後続 6 基の施工指針とすべき観点からも、本稿にて先行 3 基の設計・施工について整理した。

後続 6 基についても「長期耐久性の確保」「持続性の確保」「最新基準への適合」の基本方針に留意するとともに、鋼製基礎内外面に対する詳細

な調査や耐震検討結果を踏まえ、各基礎に適した更新内容とする予定である。安全・安心して利用できる阪神高速道路の実現に向け、着実に更新工事を推進していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 渡邊雅大, 肥田肇, 田畑晶子: 湊町地区の鋼製基礎大規模更新工事におけるパイロット施工について, 第 53 回技術研究発表会論文集, 2021.
- 2) 岡涼太, 田島祐介, 中村敬: 湊町・難波地区鋼製基礎大規模更新工事における設計手法及び狭隘空間を考慮した施工概要～過密都市インフラ状況下での挑戦! 100 年先も安全・安心を守る～, 第 55 回技術研究発表

会論文集, 2023.

- 3) 岡涼太, 田島祐介: 湊町・難波地区鋼製基礎大規模更新工事における支取替施工～1 mm 以内の変位管理～, 第 56 回技術研究発表会論文集, 2024.
- 4) 渡邊雅大, 肥田肇, 田畑晶子: 劣化した金属溶射面の再溶射による品質評価～湊町の鋼製基礎更新工事における取組み～, 第 54 回技術研究発表会論文集, 2022.
- 5) 梅林福太郎, 大竹省吾, 小島直也, 中井勉, 永井久徳: 既設鋼製基礎の当て板補強のボルト接合に関する一考察, 土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会, 2025.
- 6) 小島直也, 中井勉, 岸本成年: 湊町・難波地区鋼製基礎大規模更新工事における厳しい制約下での前例のない挑戦, 第 57 回技術研究発表会論文集, 2025.

## INITIATIVES IN THE LARGE-SCALE RENEWAL PROJECT ON STEEL FOUNDATIONS IN THE MINATO-MACHI AND NAMBA AREAS (FIRST THREE PIERS)

Tsutomu NAKAI, Naoya KOBATAKE and Yusuke TAJIMA

Some pier foundations of Route 1 Loop Line and Route 15 Sakai Line in the Minato-machi and Namba areas are steel structures constructed above an underground casing structure. Rising groundwater levels have been causing ingress in these foundations, resulting in corrosion of steel. To ensure durability, seismic performance, and maintainability, all nine steel foundations will be upgraded with corrosion protection and bearing replacement.

With the first phase of the project completed on three foundations, this report outlines the initiatives employed in design and construction considering impacts to the underground casing structure and operations in the confined space.

中井 勉



阪神高速道路株式会社  
管理本部 大阪保全部  
保全事業第二課  
Tsutomu NAKAI

小島 直也



阪神高速道路株式会社  
管理本部 大阪保全部  
保全事業第二課  
Naoya KOBATAKE

田島 祐介



阪神高速道路株式会社  
管理本部 大阪保全部  
保全事業第二課  
Yusuke TAJIMA