

支持層が傾斜する複雑な地層条件や狭隘な空間での橋脚基礎の施工 —高速横浜環状北西線青葉地区下部・基礎工事—

Construction for the Pier Foundation of Steel Pipe Soil Cement Pile under the Conditions of Complicated stratum and Inclined bearing stratum, and Caisson Type Pile in Narrow Working Area

深澤 道博*1 山下 省二*1 新谷 清明*1
 Michihiro Fukasawa Syoji Yamashita Kiyooki Niiya
 村下 富雄*2 神田 勇二*2
 Tomio Murashita Yuji Kanda

要旨

高速横浜環状北西線青葉地区下部・基礎工事は、東名高速道路（横浜青葉 IC）と第三京浜道路（港北 IC）とを結ぶ延長約 7.1km の自動車専用道路のうち、横浜青葉 IC における橋脚下部工・基礎工を新設する工事である。

その中で、鋼管ソイルセメント杭基礎の施工では支持層上面の深さの変化が大きいこと、深礎杭基礎の施工では狭隘な場所での施工となることが大きな課題であった。

本報告は、これらの課題を克服するために本工事で実施した対策について報告する。

キーワード：近接施工 鋼管ソイルセメント杭 深礎杭 3次元地層モデル 軽量盛土材

1. はじめに

横浜環状道路は、横浜の都心から半径 10km～15km を環状に結ぶ自動車専用道路で、横浜環状北線と横浜環状北西線が事業として進められており、横浜環状北線は既に開通している。現在工事中の横浜環状北西線は、横浜市と首都高速道路株式会社により事業が進められている。本工事は、供用中の東名高速道路の横浜青葉 IC において橋脚下部工・基礎工（鋼管ソイルセメント杭基礎、深礎杭基礎、直接基礎）を構築するものである。図 1 に現場位置を示す。

鋼管ソイルセメント杭基礎の施工の課題は、支持層上面の深さの変化が大きい地層条件下で杭を確実に支持層へ貫入させることであった。

また深礎杭基礎の施工の課題は、新設橋脚の位置が供用中の高速道路本線盛土やランプ橋が近接した狭隘な場所（本線盛土法面）になるため、狭いヤードでの施工効率の向上や掘削による既設構造物（本線盛土と既設橋脚）への影響を抑制することであった。

2. 工事概要

本工事は、合計 34 基の基礎工と橋脚下部工を構築する工事である。支持層深さの高低差が大きいため、基礎工の内訳は、鋼管ソイルセメント杭基礎 16 基、深礎杭基礎 9 基、直接基礎 9 基となっている。橋脚下部工は、RC 構造の橋脚 7 基であり、残りの 27 基の橋脚下部工は、上部構造と一体



図 1 現場位置¹⁾

表 1 工事概要

工事名	横浜環状北西線青葉地区下部・基礎工事
発注者	首都高速道路 株式会社
施工者	株式会社 鴻池組
工事場所	神奈川県横浜市青葉区下谷本町
工期	平成27年3月27日～平成30年4月27日
基礎内訳	RC橋脚 7基
	鋼管ソイルセメント杭基礎 16基
	深礎杭基礎 9基
	直接基礎 9基
	切廻し道路 1式

となったラーメン形式の鋼製橋脚（別途工事）である。表 1 に工事概要、図 2 に平面図を示す。

*1 東京本店 土木部 *2 技術本部 土木技術部

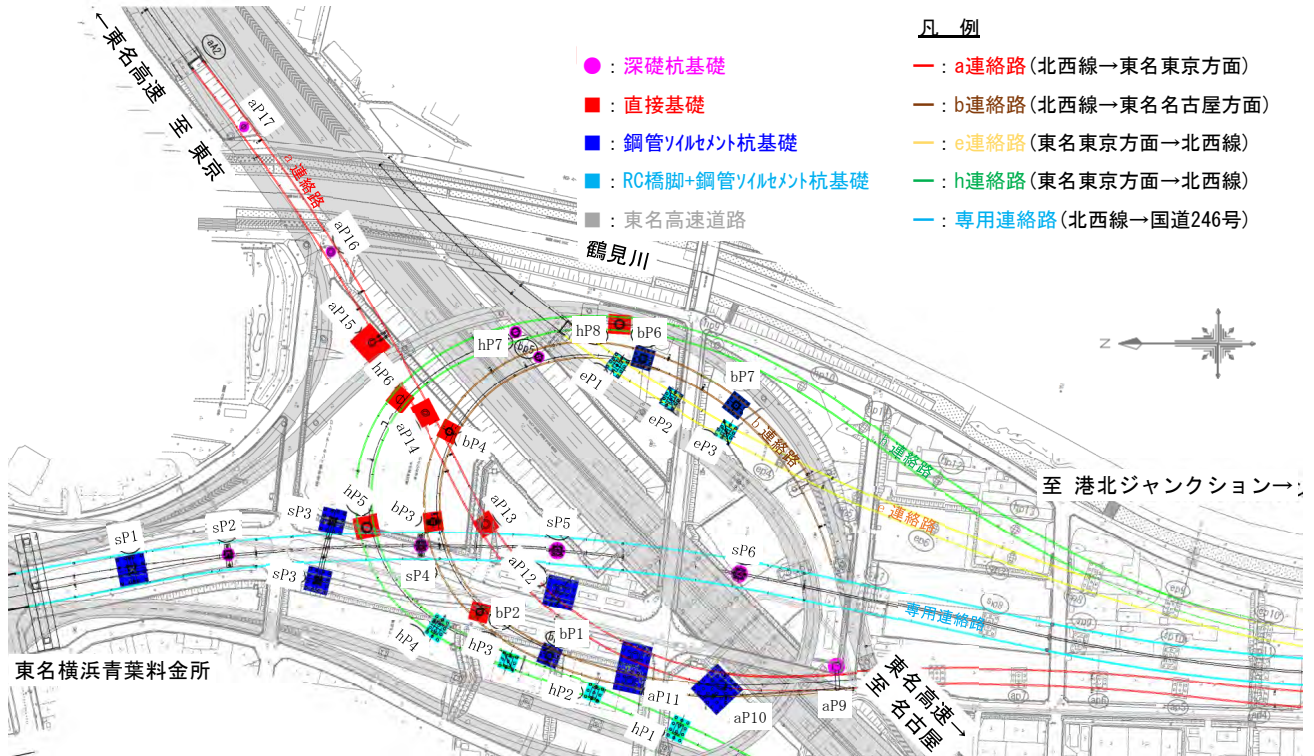


図2 平面図

3. 鋼管ソイルセメント杭基礎の施工

鋼管ソイルセメント杭工法は、原地盤中に掘削攪拌ヘッド先端より所定配合のセメントミルクを注入し、攪拌混合して造成したソイルセメント柱内に、外面に突起（リブ）を有する鋼管を沈設し、両者を一体化させる工法²⁾である。施工方式には、ソイルセメント柱の造成と同時に鋼管の沈設を行う同時沈設方式と、ソイルセメント柱を造成した後に鋼管の沈設を行う後沈設方式がある。本工事では、後沈設方式を採用した。写真1に鋼管ソイルセメント杭の施工状況を示す。

図3に支持層コンター（設計時）、図4にhP2橋脚の支持層想定ライン（設計時）を示す。主な地層構成は、上位より盛土を含む粘性土層（Bs、Ac）、砂礫層（Ag）、支持層となる細砂層（Kas）である。設計は、支持層上面の深さの変化が大きいため、橋軸方向および橋軸直角方向において、支持層コンター図を基に杭の支持層への貫入を必要貫入長（ソイルセメント径）以上とする計画であった。

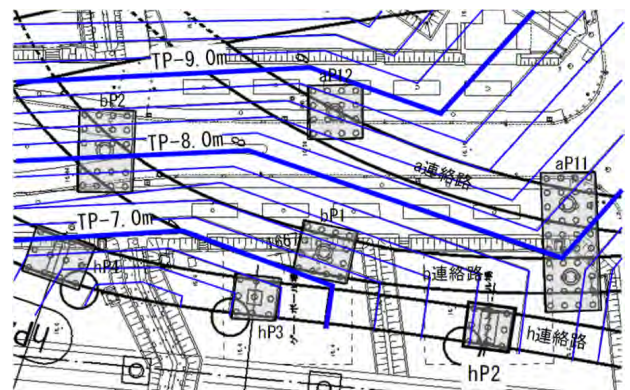


図3 支持層コンター図（設計時）

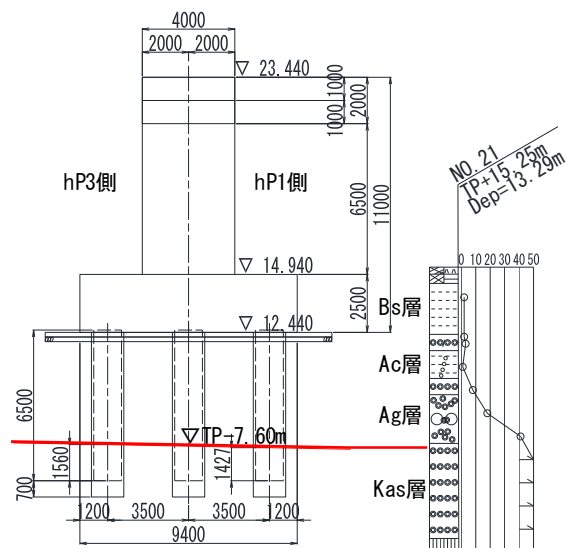


図4 hP2橋脚の支持層想定ライン（設計時）

3.1 施工時における課題

3.1.1 傾斜した支持層への杭の貫入長の確保

16基の鋼管ソイルセメント杭基礎において、支持層上面の高低差が大きく、杭の支持層への貫入長不足が懸念されたため、杭基礎ごとに支持層上面の深度を事前に精度良く推定する必要があった。

3.1.2 鋼管ソイルセメント杭の打設精度の確保

全杭基礎について、支持層が傾斜しているため支持層への貫入長を確保するためには杭の施工精度の管理が重要である。そのため、杭の杭芯位置および鉛直性に自主管理値



写真1 鋼管ソイルセメント杭の施工状況

を設けて施工精度の向上を図った。

3.2 各課題への対策

3.2.1 3次元地層モデルの利用

支持層への必要貫入長を確保するため、各橋脚のフーチング中心位置でボーリング調査を追加で実施した。既往のボーリング柱状図と追加調査のボーリング柱状図を基に高精度な3次元地層モデルを作成して、各橋脚について支持層の傾斜や深さを確認し、杭長の照査を行うこととした。図5に3次元地層モデルを示す。

3次元地層モデルを用いて各杭基礎の支持層への貫入長を照査したところ、hP2橋脚基礎は貫入長不足となるおそれが生じたため(図6)、杭長を設計長より0.5m長くすることとした。

図7にhP2橋脚杭基礎の掘削電流値の施工記録を示す。推定した支持層深さ付近で電流値が100A以上(支持層以浅は90A程度)であり、支持層への必要貫入長を確保できたことを確認した。

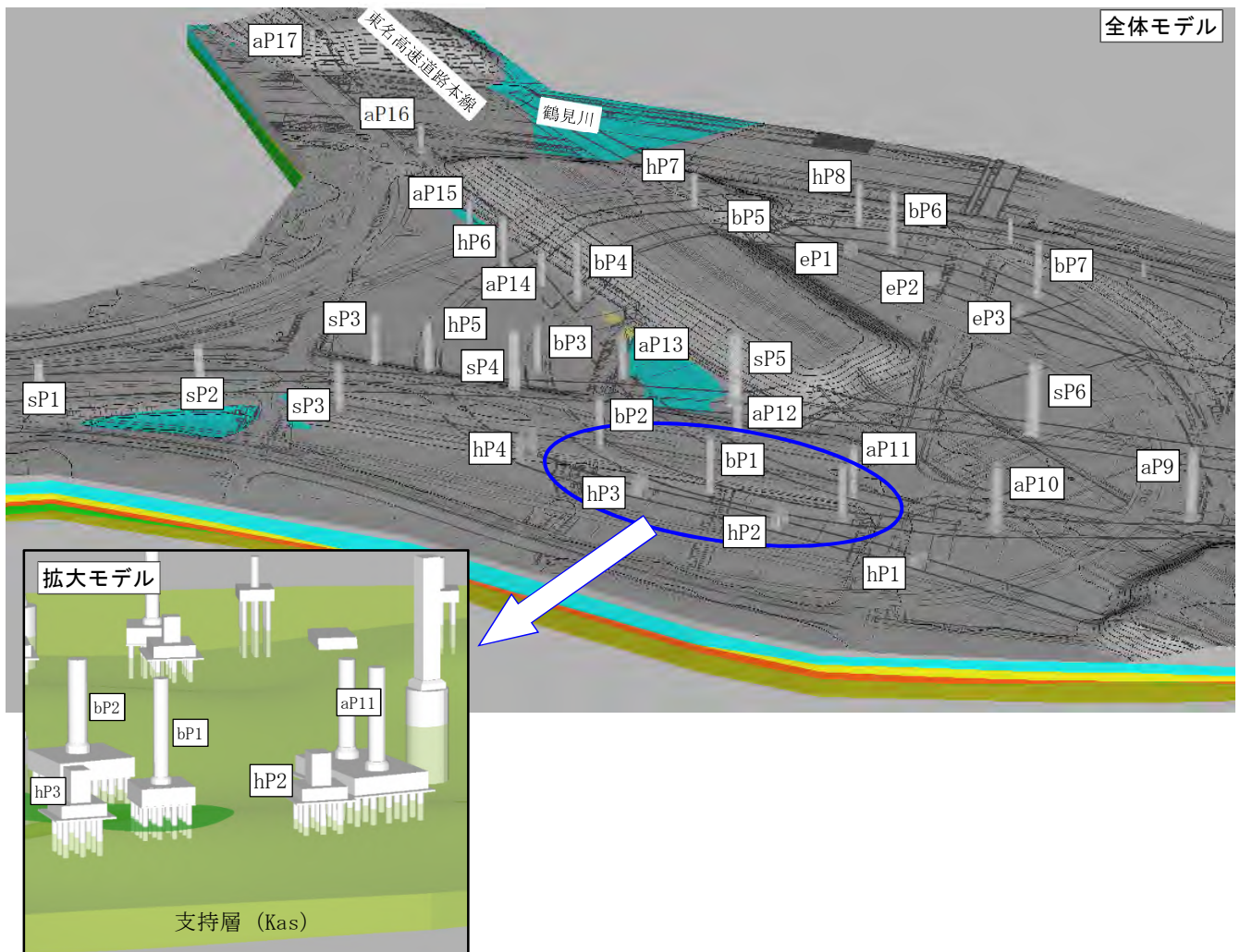


図5 3次元地層モデル

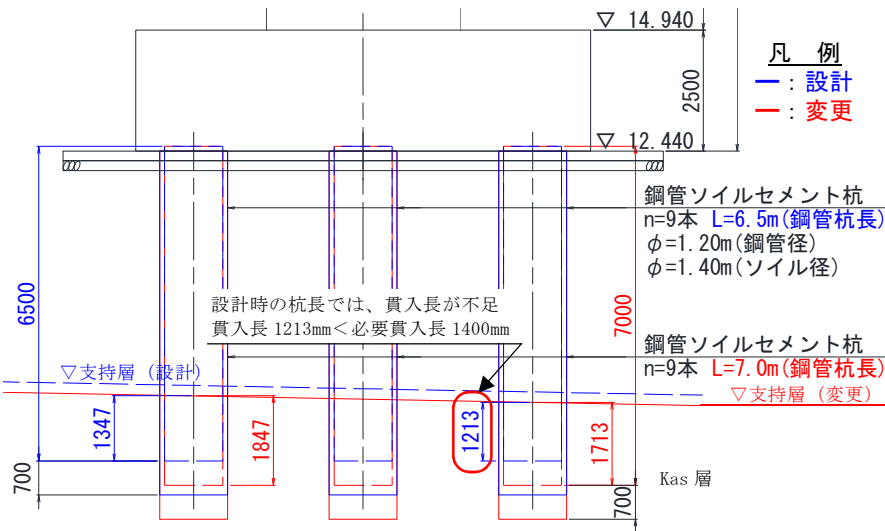


図6 支持層の見直し (hP2 橋脚)

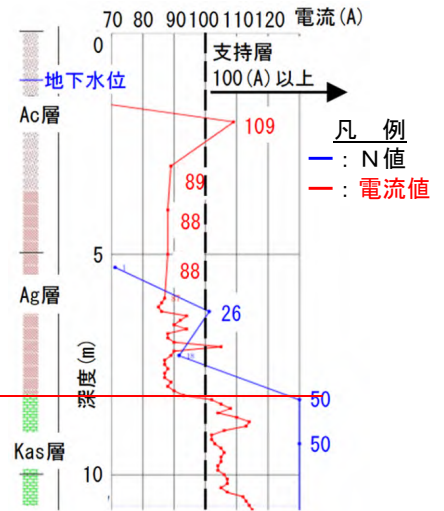


図7 掘削電流値記録 (hP2 橋脚)

3.2.2 リアルタイムでの杭精度管理

トータルステーションにデジタルカメラを内蔵したIS(Imaging Station)チュービングにより、リアルタイムで杭芯の平面位置管理、杭の傾斜管理および深度管理を行い、杭の打設精度を向上させる対応を行った(図8)。ISチュービングの採用により、作業を一時停止しての測量確認が不要となり、施工中の安全性の向上にも寄与した。

杭精度例として、hP2 橋脚の結果を示す。杭の最大偏芯量は許容値の73%(図9)、杭の鉛直精度は最大で1/250(一般的に1/100)であり、打設精度の高い杭基礎の施工を行うことができた。写真2に杭偏芯の測定状況を示す。

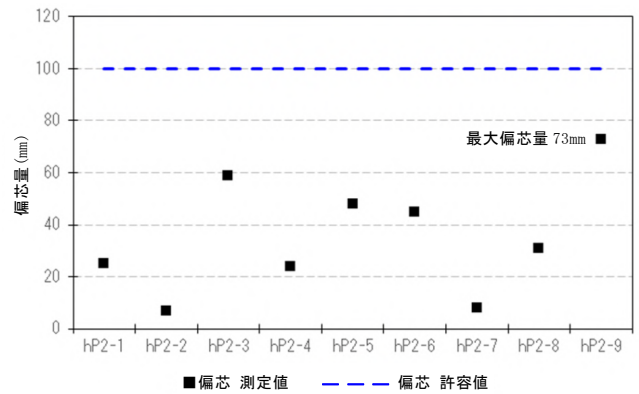


図9 杭の偏芯量一覧 (hP2 橋脚)

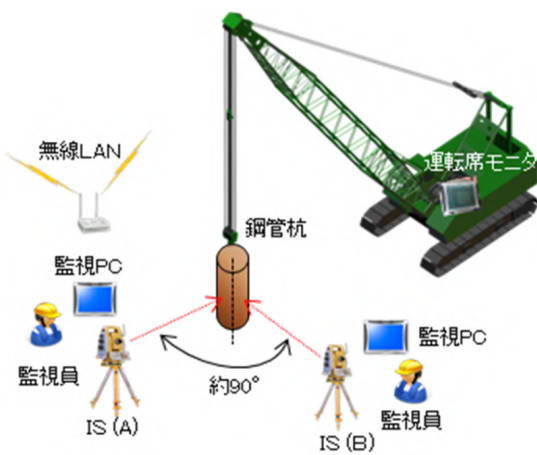


図8 ISチュービング概念図



写真2 杭偏芯測定状況

4. 深礎杭基礎の施工

深礎工法は、地下水位の低い比較的堅固な地盤において土留めを用いて地盤を掘削して、支持層の状況を目視などで直接確認し、気中と同様の施工条件および施工管理にて

鉄筋コンクリート杭を構築する工法³⁾である。本工事における土留構造は、軟弱な粘性土層やゆるい砂層を掘削するため、ライナープレートを採用した。

新設橋脚下部工は、図10と写真3に示す東名高速道路本線と既設ランプ橋に挟まれた本線盛土の法面上に位置し、

深礎杭基礎と鋼製橋脚（別途工事）から構成される。

深礎掘削は、上方の鋼製橋脚の本体部（φ6.5m、掘削深さ10.0m）と下方の深礎杭基礎部（φ5.5m、掘削深さ9.0m）に区分して行う計画であった。地層構成は、上位より盛土を含む粘性土層（Bs、Ac）、支持層の土丹層（Kam）である。

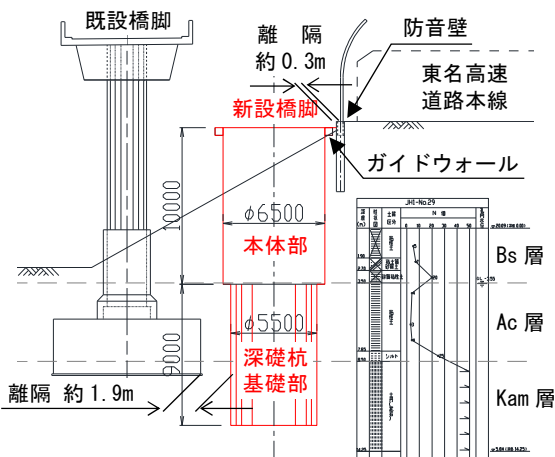
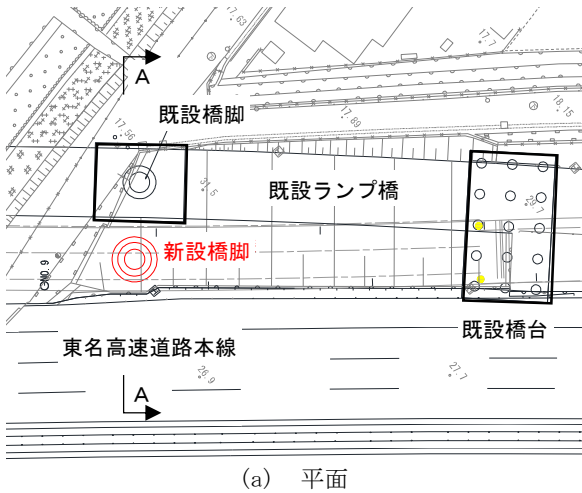


図 10 位置関係



4.1 施工時における課題

4.1.1 高速道路通行車両への影響

揚重作業時、クレーンブームが高速道路本線の防音壁やランプ橋の高欄の高さ以上となると、通行車両の視界に入り安全走行への影響が懸念された。掘削土の搬出時や基礎構築時における揚重作業の低空頭化が課題であった。

4.1.2 本線盛土と既設橋脚への影響

作業ヤードは盛土により造成する計画としたが、軟弱粘性土層が本線盛土直下に存在するため、荷重増加による圧密沈下が懸念された。

また、深礎掘削において、余掘り量は通常 20~30cm であること、さらに、裏込め注入は掘削完了後に行うため背面側地山の空隙が長期間放置されることから、背面側地山の緩みによる地盤変位の発生が懸念された。

以上より、供用中の本線盛土や既設橋脚への影響を抑制することが課題であった。

4.2 各課題への対策

4.2.1 揚重作業の低空頭化

（鋼製構台とホイストクレーンの適用）

防音壁や高欄よりも低い定置式の組立鋼製構台と 2.8t 吊ホイストクレーンを用いて揚重作業を行うことにした（写真 4）。この低空頭化した揚重設備により、通行車両の走行安全性を阻害することなく、掘削時や基礎構築時の揚重作業を行うことを可能とした。



4.2.2 軽量盛土材による作業ヤード造成

作業ヤード造成用の盛土材料は設置撤去が容易であり材料特性に優れた軽量盛土材（ $\gamma=12\text{kN/m}^3$ 、 $\phi=40^\circ$ ）を用いることにした。軽量盛土材の使用により、軟弱粘性土層の圧密沈下による本線盛土や既設橋脚への影響の低減を図った。

4.2.3 深礎掘削時の地山緩み防止

背面側地山の緩みは、1 リング掘削毎に裏込め注入（早強タイプの裏込め材）を実施して抑制するとともに、その効果をトータルステーションにて真円度や鉛直性を計測して確認した。

4.2.4 事前解析と計測管理

以上の対策について、作業ヤード造成に伴う圧密沈下による影響と深礎掘削時の地盤変位による影響を事前の解析により推定した。

作業ヤード造成に伴う圧密沈下量は、2次元の圧密沈下計算により推定し、本線盛土のガードレール位置において5.2mmであった。また、深礎掘削時の地盤変位は、盛土法面での施工や深礎杭の円形掘削などを考慮した3次元モデルとした。施工ステップは、支持層（Kam層）以浅が軟弱地盤のため掘削深さ0.5m毎（1リング毎）とし、支持層以深は2.0m毎とする弾性FEM解析により推定した。本線盛土のガードレール位置での推定沈下量は、11.6mmであった（図11）。圧密沈下量と推定沈下量との合計沈下量は、16.8mm（本線盛土ガードレール位置付近）であり、供用中の高速道路の許容値（20mm）未満であることを確認した。

さらに施工中は、本線盛土や既設橋脚の変位計測（図12）を行ってリアルタイムに常時監視を行った。図13に本線盛土のガードレール位置での鉛直変位を示す。最大沈下量は9mmであり、地山の緩み防止措置や作業ヤードの軽量化などの対策の効果が発揮されたと考えられる。

既設橋脚の最大変位は、沈下2mm、水平変位3mmであり、許容変位量（5mm）未満であった。本線盛土と既設橋脚について、表2に事前解析および計測値の変位の一覧を示す。

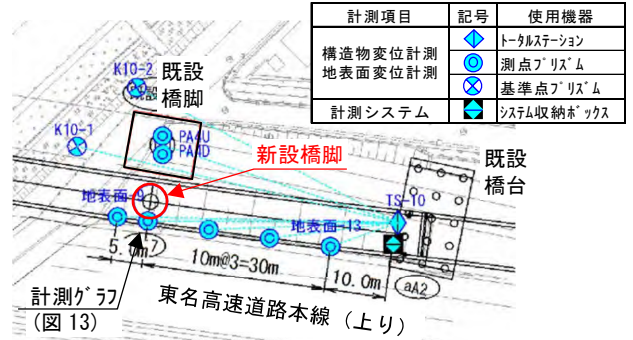


図12 計測位置平面

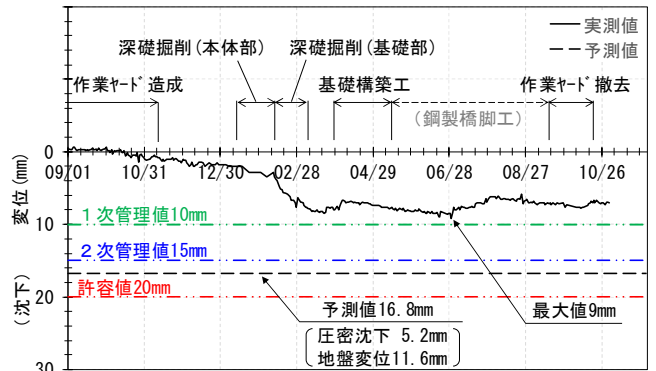


図13 計測結果（本線盛土の沈下）

表2 解析と計測の変位一覧

	水平変位 (mm)				鉛直変位 (mm)			
	解析	計測	許容	判定	解析	計測	許容	判定
本線盛土	5.0	-	-	-	16.8	9.0	20.0	OK
既設橋脚	0.1	3.0	5.0	OK	0.3	2.0	5.0	OK

5. まとめ

支持層深さの変化が大きく、高い施工精度が要求された鋼管ソイルセメント杭基礎の施工は、3次元地層モデルやISチューピングの利用により、杭長不足や杭の傾斜などのトラブルもなく完了した。法面上での深礎杭基礎の施工も同様に、軽量盛土材の利用や地山緩み防止措置により、本線盛土や既設橋脚へ影響を及ぼすことなく完了した。

最後に、首都高速道路（株）をはじめとする関係各位に、多大なるご協力ならびにご指導・ご鞭撻をいただいたことに心より謝意を表す。また、本報告が同様の工事の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 横浜市道路局：ほくせいせん p.4、2014.10
- 2) 日本道路協会：杭基礎設計便覧 p.23、2015.3
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、IV下部構造編 p.508、2012.3

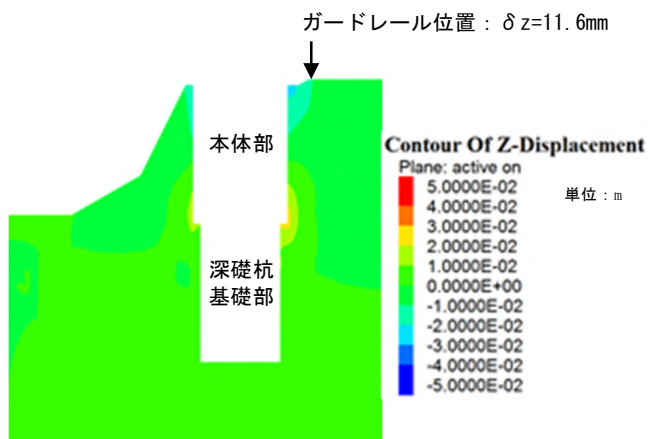


図11 FEM解析結果（鉛直変位分布）