

列車運行時間帯の近接施工を可能とする開発工法

Developed Construction Methods which are able to work nearby existing rail tracks during the operational period of trains



齋藤 貴*



藤原 寅士良*



清水 満*

East Japan Railway has been constructing and renovating railway infrastructures and station buildings continuously. Most of constructing and renovating works need to be carried out during the no-operational period of trains for the safety so that they are nearby railway tracks. Therefore, we have been trying to develop construction methods which are able to secure the safety during the operational period of trains in order to reduce cost and period of construction works. This report introduces present conditions and achievements of non-open cut and cast-in-place piling methods which were developed and applied, and less influent nearby railway tracks.

●キーワード：近接施工、非開削トンネル、場所打ち杭

1. はじめに

鉄道事業者にとって駅と鉄道は、お客さまサービスのための重要な資源であり、この資源の有効活用のために鉄道施設の新設・更新を継続的に行っている。一方、鉄道事業者の本務は輸送業務であり、輸送の安全の確保は何よりも優先される。これまで、お客さまにご迷惑をおかけした事例から、輸送の安全・安定輸送確保のため、JR東日本では「列車運行時間帯の近接工事設計施工マニュアル」を定め、営業線に近接した列車運行時間帯で行う工事に関しては、厳しい制約条件を要求している。

このため、施設の新設・更新工事は列車運行時間帯を避けた短い時間帯で行うことが前提であるため、このことから施設の完成まで長期間と多くの資金を要する傾向が高い。

以上の背景から、JR東日本では営業線に近接した狭隘な個所でも列車走行の安全性を確保でき、かつ工期短縮コストダウンを可能とする各種の施工法の技術開発を行い、日中の列車運行時間帯でも作業が可能な個所において適用してきている。また、営業線に近接した工事では施工空間も非常に狭隘となるため、そのような環境でも施工可能な工法も求められる。

今回は開発した工法の中から、線路に近接した線路下横断工法と場所打ち杭工法の開発経緯と施工実績について報告する。

2. 線路下横断工法

2.1 地盤切削JES工法開発の背景

線路下に道路や水路を設置する工事（線路下横断工）においては、工事桁を架設し躯体を構築する開削工法や非開

削で線路下に函体を推進する工法など、多くの施工法が提案されている。JR東日本においても、非開削で小さな箱型鋼管（エレメント）を推進し、継手で一体化したエレメント内をコンクリート充填しボックスカルバートを構築するJES工法（図1）を開発し、これまでに130件近い施工を行っている。

非開削工法による線路下横断工事では、列車運行に支障しないことが大前提であるが、軌道とエレメントとの深さ方向の離隔（土かぶり）が小さい場合には、地中の障害物や地盤の強度不足などによりエレメント推進時に軌道の隆起や沈下といった軌道変状を発生させるおそれがある。HEP&JES工法においては、軌道の位置からエレメント天端までの離隔を土かぶり厚さと定義して、土かぶり厚さ2.0m以下の場合には軌道変状リスクが高いとして、施工区間の列車速度を落とすか（徐行）、もしくは列車が走行しない深夜の時間帯（夜間線路閉鎖間合）に限定して作業するというルールになっている。

しかしながら、線路下横断工を夜間線路閉鎖間合に限定することは、軌道下での掘進作業が長期間にわたることによる工事費や工期の増大を招くのみならず、掘削装置自体を軌道下に長期間存置することによる安全性の面での懸念が

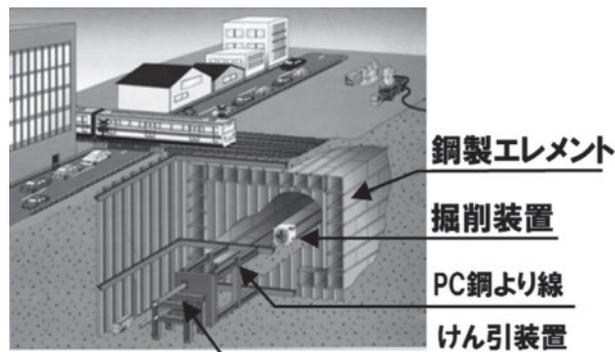


図1 HEP&JES工法の概要図

あった。そこで、自立性の良い地盤条件、地下水位条件などの安全性を確認することを前提として、軌道変状を抑えた「地盤切削JES工法」開発し実用化した。

2.2 地盤切削JES工法の概要

地盤切削JES工法とは、非開削工法に用いられる掘削用刃口先端上部に、地盤および玉石などの支障物を切削するワイヤーを回転させる機構をもった新しい掘進方法である。

地盤切削ワイヤーにより地盤および支障物を切削しながら刃口内部で人力掘削することで、従来工法で懸念されたエレメント推進時の支障物の押込みによる軌道隆起や過掘りによる沈下を防ぐことができる。また、3次元円筒すべりの検討をもとに刃口先端のルーフを従来工法より長くしており、刃口先端上部の地盤の緩みを防止することを可能としている。

本工法の特徴は以下のとおりである。

- (1) 地盤や支障物をワイヤーにより切削しながらエレメントを掘進するため、地盤の隆起や沈下の抑制が可能
- (2) 刃口先端ルーフを伸ばし、エレメント掘進時の切羽の崩壊防止が可能
- (3) エレメント幅を従来工法より拡幅したため、エレメント本数、継手箇所が減少し、工期短縮、コストダウンが可能
- (4) 刃口下面をテーパ形状とし、エレメント推進時の沈下対策が可能

図2に地盤切削JES工法の概要を、図3に発進直前時の刃口の状況を示す。

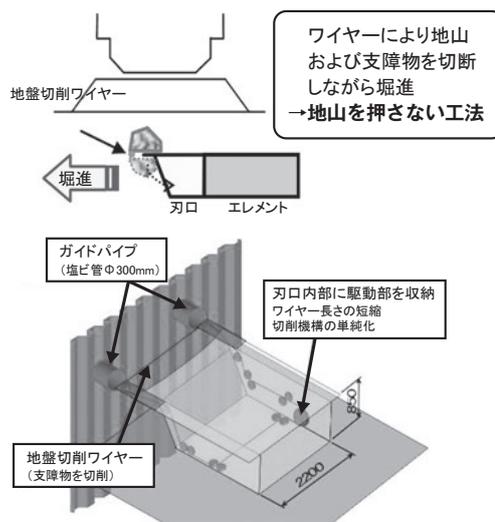


図2 地盤切削JES工法の概要

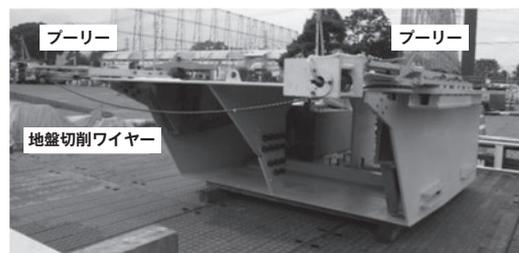


図3 地盤切削JES工法の刃口

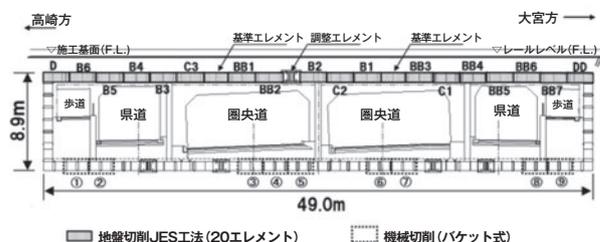


図4 高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋断面

2.3 施工事例

JR高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋は、圏央道とJR高崎線の交差部であり、当社が国土交通省より設計施工を受託した線路下横断工事である。本こ道橋の構造は1層4区間ボックスカルバート(図4)であり、幅が49mと長大であるため上床版エレメントの施工本数も多かった。また、前後のアプローチ部の縦断線形の関係からJR高崎線交差部の土かぶり厚は1.4mであった。このような施工条件下で従来のように上床版エレメントを夜間線路閉鎖間合いで施工した場合、工期の長期化が課題であった。そこで、地盤切削JES工法を用いることで列車運行時間帯も施工を行い、工期の短縮を図ることとした。

施工状況を図5に示す。上床版エレメントの施工は2012年9月下旬から12月下旬の3ヶ月であり、準備期間を含めて5ヶ月であった。当初の夜間線路閉鎖間合いの通常JES工法では10ヶ月の計画であったため、工期の半減を達成できたことになる。主な施工結果は以下のとおりである。



図5 ニツ家こ道橋 地盤切削JES工法施工状況

2.3.1 施工速度

作業時間帯の制約により工期の長期化が懸念される上床版エレメントの施工時間帯について、施工開始時より、夜間線路閉鎖間合施工→夜間施工→昼夜施工と、軌道変位を

監視しながら段階的に変更した。その結果エレメント1本の施工期間を約1/2～1/3に短縮できた(表1)。

2.3.2 支障物の切削状況

掘進中に切削ワイヤーにより切断撤去された支障物の状況を図6に示す。施工では玉石や地中に存置されていた木製電柱、電車線の引き止め基礎(コンクリート製)などが出現したが、いずれも問題なく切断・撤去できた。これにより刃口による支障物の押上げ、過掘りによる沈下、陥没などは発生せず、軌道変位も管理値の15mmに対し3～4mmであった。土かぶり小さい施工条件下においても、本工法が軌道に対して影響が小さいことが確認できた。

表1 施工速度

	線路閉鎖施工	夜間(21:30)施工	昼夜施工
1日あたり掘進長	0.9～1.2m	0.9～1.5m	2.0～4.0m ※2方式合計
到達までの平均作業日数	14日	13日～17日	4日～7日



玉石

木製電柱

図6 支障物切削状況

3. 孔壁防護併用場所打ち杭工法(P-JET32)

3.1 孔壁防護併用場所打ち杭工法開発の背景

大都市圏などの駅改良プロジェクトにおいて、駅構内では多くのお客さまが利用され、また駅周辺は高度利用された地区であることが多く、新設する杭は非常に狭隘な条件下で施工する事例が多い。

また、線路に近接して場所打ち杭を施工する際に軌道への影響を極力防止するため、薬液注入などの補助工法を杭の施工前に行うのが一般的な方法であった。しかし、これらの補助工法は、その施工自体が近接施工となることから列車運行していない夜間短時間での施工となり、工期の長期化・工事費の増大につながっていた。そこで、安全性を確保しつつ工期短縮とコストダウンを実現するため、掘削と同時に孔壁防護を施工できる「孔壁防護併用場所打ち杭工法」を開発し、実用化した。

3.2 孔壁防護併用場所打ち杭工法の概要

孔壁防護併用場所打ち杭工法は、表層部の盛土層や緩い砂層などの孔壁崩壊の危険性が高い地盤に対して、掘削と同時に防護管を継ぎ足しながら沈設することで、孔壁崩壊を防止しながら場所打ち杭の施工を行う工法である(図7、8)。本工法の特徴は、以下のとおりである。

- (1) 軌道への影響範囲(地上より深度10m程度まで)に掘削と同時に孔壁防護用ライナープレートの沈設が可能である。またライナープレート背面に裏込め材を満たしながら沈設するので、杭掘削の安全性は飛躍的に向上する。なお、ライナープレート下端には、孔壁の凹凸に追従できる裏込め材漏れ防止用のシールを取付けている。
- (2) 市販のライナープレートを使用し、また孔壁防護区間以

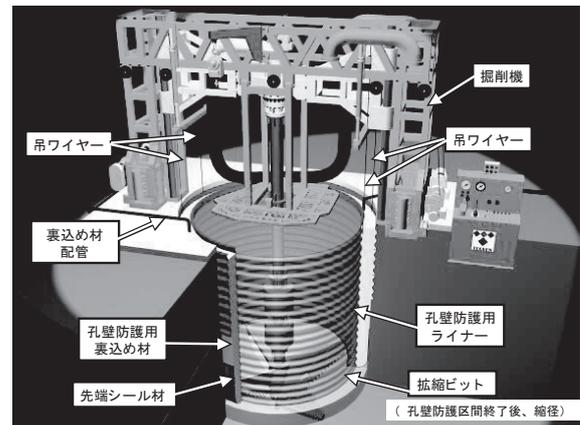


図7 孔壁防護併用場所打ち杭工法概要



図8 孔壁防護併用場所打ち杭工法機械全景

深はビットを縮径し設計杭径で掘削できるので、低コストとできる。

- (3) 空頭制限を想定した門型フレームの採用によりコンパクトとなり、ホーム上に設置した仮囲い内(5m×8m程度)に機械の設置が可能である。
- (4) 掘削管理システムを搭載し、施工データの自動記録が可能であり、品質管理にも利用可能である。

3.3 施工事例

JR東日本では、千葉駅において既存5面のホーム直上に人工地盤を構築し、橋上駅施設・商業施設を新設し、合わせて既存駅ビルの建替え工事を実施中である。

この工事で軌道に近接して施工する杭のうち5本の杭（杭径3.0m、杭長約25m）を孔壁防護併用場所打ち杭工法を用いて施工した（図9）。

杭の施工に先立ち、ホーム上に線路直角方向5.0m×線路方向8.0mの仮囲いを設置し（図10）、大型クレーン（500t吊トラッククレーン）により掘削機を投入・設置した。

孔壁防護はφ3.2mのライナープレートに孔壁崩壊の危険性が高い口元管下端から5.0mの範囲（地表面からは8.5m）に、φ3.4mの掘削を行うと併行して沈設した。防護ライナーは地上で人力組立し、順次積上げ、門型フレームから吊り下げられるワイヤーを緩めることにより沈設した。

沈設のための孔壁面とライナープレートとの隙間には、自己充填性の裏込め材（比重1.13程度、36時間程度流動性確保）を充填、防護管下端部には裏込め材料の流出を防ぐためのシール材を装備した。

掘削時には、掘削ビットとの接触による孔壁防護ライナーとの損傷防止、また先掘防止のため、孔壁防護ライナー管下端と掘削ビットとの離隔を常時20cm～40cm以内となるように管理した。

3.3.1 施工速度

孔壁防護ライナーの組立時間は、1リングあたり最短で9分、平均17分であり、掘削速度は孔壁防護区間で平均12.5mm/分（40分/防護管1リング）で、掘削速度を抑制することなく、孔壁防護ライナーの組立が可能であった。

孔壁防護ライナー沈設完了後、掘削ビットをφ3.4mから杭設計径のφ3.0mに縮径し、所定の深度まで掘削を行った。掘削速度は、平均11.6mm/分であり、昼夜間関係なく列車運行時間帯においても行い、約25mの掘削は休憩による作業休止時間を除いて、約32時間で完了した。

表2 ポータルJET-32の仕様

形式	トップドライブ式 リバースキュレーションドリル
寸法	(H) 3200 × (L) 5000 × (W) 2200
穿孔能力	深度 50m, 杭径φ800～3000mm 孔壁防護部掘削径 ～φ3400mm
掘削機重量	約 10tf
リバースロッド	8B, L = 1500mm(120kgf/本)

3.3.2 軌道への影響について

今回の施工は、図9に示す通り、ホーム端からの距離1.5mを確保して施工した。最も近接するレールから孔壁までの距離は約2mであるため、掘削中の軌道への影響を把握するために、リンク型変位計を軌道脇に設置し、軌道の高低と通りを常時計測した。結果として、軌道変位はほとんど発生せず、列車運行に影響を及ぼすことなく施工することができた。

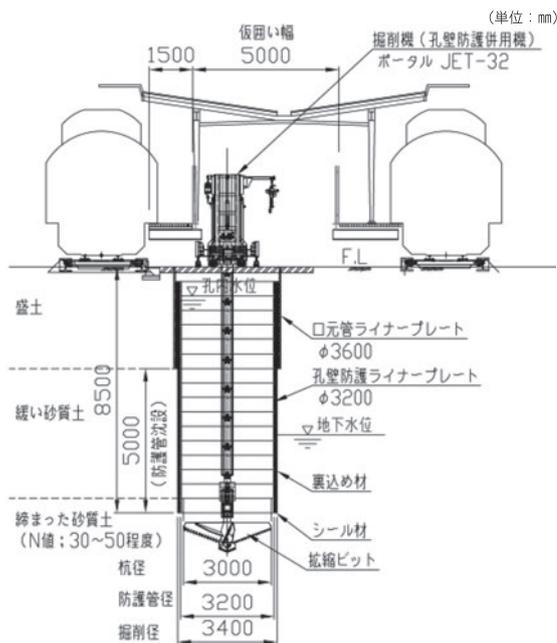


図9 孔壁防護併用場所打ち杭 施工状況

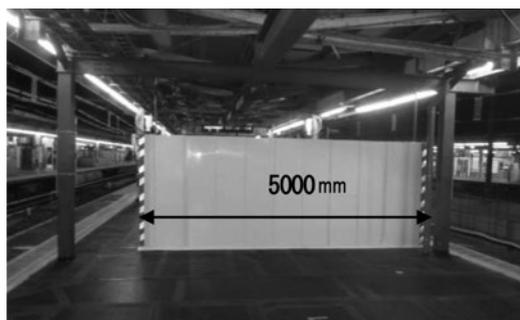


図10 ホーム上仮囲い



図11 施工事例

4. 超低空頭場所打ち杭工法 (JET-18)

4.1 超低空頭場所打ち杭工法開発の背景と概要

ホームで場所打ち杭を施工する場合、従来はホーム上に仮囲いを設置し、その中に杭打ち機を配置し施工を行ってきた。しかし、既往の杭打ち機は機械寸法が大きいため設置する仮囲いが大きくなり、お客様にご迷惑をおかけしてきていた。そこで、大口径の施工が可能な施工能力を有しながらも、軽量で小型の「超低空頭場所打ち杭工法」を開発した。

本工法の特徴は以下のとおりである。

- (1) ホーム下、ホーム上の階段下などの狭隘な場所で、空頭2.0m、幅4.0mの施工空間があれば、 $\phi 0.8 \sim 3.0$ mの杭掘削が可能。
- (2) 軽量小型ゆえに、狭隘空間での施工を得意とし、結果として仮設工事の省力化による工期短縮とコストダウンが可能となる。また、搬入時の運搬機械類を小型化できる。
- (3) 駆動方式は、ターンテーブル方式+特殊ケリーロードを採用したことにより、従来機と同等の作業性を確保。
- (4) 孔壁防護併用場所打ち杭工法と同様、掘削管理システムを標準搭載し、孔内水位管理システムとも連動が可能。

コンパクトリバーズJET-18の仕様を表-3に、外観を図12に、駆動方式を図13に示す。

また、図14に、コンパクトリバーズJET-18と従来型の小型機の断面比較を示す。従来機は駆動モーターが上部に位置しているトップドライブ方式であるのに対し、コンパクトリバーズJET-18はターンテーブルを用いたロータリッドドライブ方式を採用することにより、機械高さを半分以下にすることができた。

4.2 施工事例

孔壁防護併用場所打ち杭工法と同様に、千葉駅改良工事において計47本の杭（杭径3.0m、杭長25.7~33.8m）を、超低空頭場所打ち杭工法により施工した（図15）。

盛土ホーム上に線路直角方向3.4m×線路方向6.5m（場所によっては、5.0m×8.0m）の仮囲い（図16）を設置し、大型クレーン（500t吊りトラッククレーン）によりビット・スタビライザー・掘削機を投入、設置した。

口元管は、掘削ビットのセット・支障物の撤去のため、事前に $\phi 3.2$ mのライナープレート深度8.5mまで設置した。

掘削作業は、緩い砂質土層に止水のための薬液注入工を実施することにより、昼間の列車運行時間帯においても行った（図17）。

また、掘削中の軌道への影響を把握するために、リンク型変位計を軌道脇に設置し、軌道の高低と通りを常時計測し

表3 コンパクトリバーズJET-18の仕様

形式	ターンテーブル式 リバーシキュレーションドリル
寸法	(H) 1800 × (L) 2950 × (W) 2052
穿孔能力	深度 50m 杭径 $\phi 800 \sim 3000$ mm
掘削機重量	約 4tf
特殊ケリーロード	8B, L = 1000mm(125kgf/本)

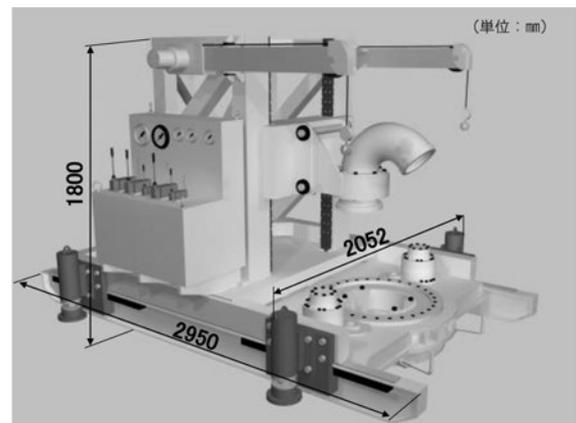


図12 コンパクトリバーズJET-18の外観

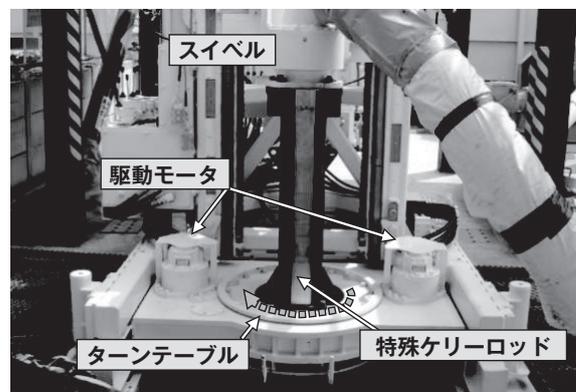


図13 コンパクトリバーズJET-18の駆動方式

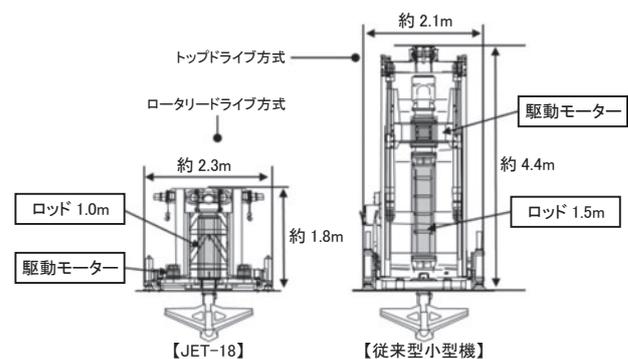


図14 JET-18と従来機の比較

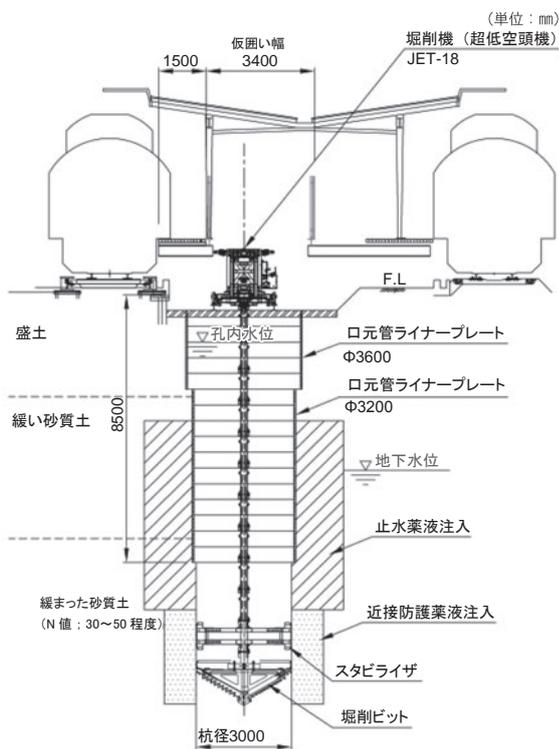


図15 超低空頭杭施工断面



図16 超低空頭杭仮囲 (3.4m×6.5m)

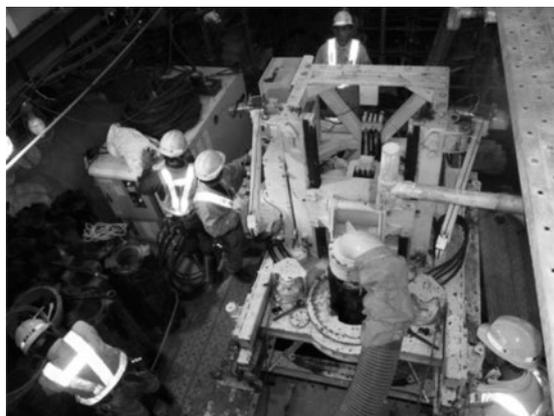


図17 超低空頭杭 掘削状況

たが、位はほとんど発生せず、列車運行に影響を及ぼすことなく施工することができた。

掘削時は、掘削管理システムのモニタにより常に監視し、リアルタイムで表示される貫入力、掘削速度、回転速度および回転トルクを把握しながら施工した。

これらのデータと土質柱状図を比較し、照らし合わせることで、適切な掘削速度と回転速度を選定することができ、孔壁を崩壊させることなく作業を行うことができた。掘削速度、回転速度の実績は、緩い細砂層で50mm/分、6回転/分程度、硬質細砂層は、掘削速度20mm/分、回転速度6回転/分程度であった。

5. おわりに

JR東日本においては、耐震補強工法をはじめ様々な構造物や施工法に関する技術開発を行っている。今回は近接施工をキーワードに、列車運行時間帯でも施工が可能な工法の技術開発例として、線路下横断工法と場所打ち杭工法について報告した。

線路に近接した工事が昼夜で施工可能になると、効率的な施設の新設・改築が可能となり、鉄道を利用されるお客様のサービスの向上に寄与できることとなる。一方、列車運行の安全性の確保という観点からみると、工法の小さな欠陥が安全を脅かす大きな要因となるおそれがある。このため、これらの技術開発においては、安全性に対し十分な検証を行った上で実用化されたものである。

現在、技術開発に成功した工法は現地で適用されているが、まだまだ改良の余地はあると感じている。既開発の工法の改良を進めるとともに、お客様へのサービス向上の観点からさらに現場のニーズに目を向け、新しい技術開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター編;列車運行時間帯の近接工事設計施工マニュアル, 2014.6.
- 2) 清水 満;鉄道建設分野における技術開発と実用化、建設施工機械、vol.66、No.12、2014.12.
- 3) 本田諭、齋藤貴、井上宏和、尾関聡司;地盤切削JES工法で大規模函体を活線下施工、トンネルと地下、516、Vol.44号、No.8、2013.8.
- 4) 鈴木啓晋、石田真、渡邊久智;鉄道ホーム部における駅ビル大口径場所打ち杭の施工、基礎工、Vol.42、No.11、pp.68~72、2014.11.
- 5) 藤原寅士良、鈴木啓晋、小林寿子、竹田茂嗣;近接環境・超低空頭環境における場所打ち杭施工方法の開発、基礎工、Vol.43、No.8、pp.56~59、2015.8.