

鉄道建設分野における技術開発と実用化

清水 満

鉄道事業者は鉄道施設の新設や更新を継続的に進めている。これらの工事はそのほとんどが線路に近接した工事であるため、列車運行の安全性確保のため列車の走行しない夜間線路閉鎖間合いで行われていることが多い。

このようなことから、日中の列車運行時間帯でも施工可能な工法を開発し、安全性が確認されたものから順次現地で適用をしている。

今回は技術開発を行い実用化に至った工法のうち、線路に近接した場所打ち杭工法と線路下横断工法について報告する。

キーワード：近接施工、場所打ち杭、線路下横断工法

1. はじめに

鉄道事業者にとって駅と鉄道は、お客様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り、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ことになっている。

このようなことから、営業線に近接した狭隘な箇所でも列車走行の安全性を確保でき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箇所において適用をしてきている。

今回は開発した工法の中から、線路に近接した場所打ち杭工法と線路下横断工法について報告する。

2. 線路に近接した場所打ち杭工法

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様が利用され、また駅周辺は高度利用された地区であることが多く、仮設ヤードなどの空間確保が困難で、非常に狭隘な条件下で施工することとなる。

その一方で、駅には商業施設などが併設されることが多く、多様な機能が求められている。そのため、柱スパンを大きくとり、快適で利用しやすい駅にする必

要があり、これは、その支持杭が大口径化することを意味しており、狭隘空間で大口径の基礎杭の施工を求められている。

本稿では、この課題への対策として開発を行った孔壁防護併用場所打ち杭工法、超低空頭場所打ち杭工法、及びこれらの周辺技術について、その概要と施工事例を述べる。

(1) 孔壁防護併用場所打ち杭工法の開発

(a) 工法の概要（機械名：ポータル JET-32）

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のない夜間の短時間施工となり、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」を開発した。

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 10 m 程度）に孔壁防護用ライナープレートを掘削と同時に沈設。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。
- 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。
- ④掘削管理システムを搭載し、施工データを自動記録。
従来、オペレータの感覚に頼っていた施工データを
数値化し、品質管理に利用。また、孔内水位管理シ
ステム (後述) とも連動可能。

孔壁防護併用場所打ち杭工法の概要を図-1に、
仕様を表-1に、全景を写真-1に示す。

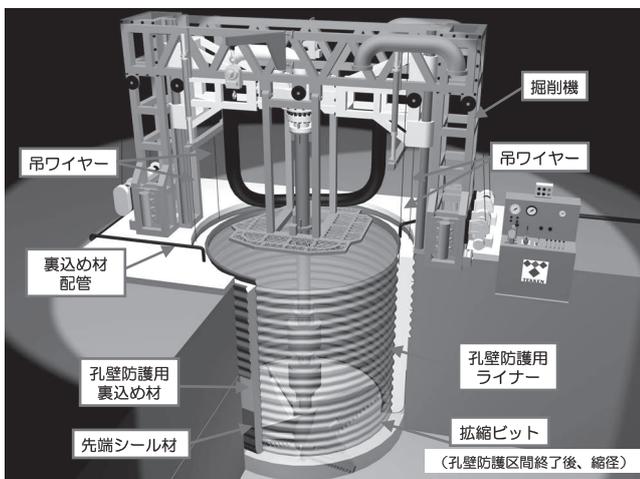


図-1 孔壁防護併用場所打ち杭工法

表-1 ポータル JET-32 の仕様

形式	トップドライブ式 リバースサー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φ 800 ~ 3000mm 孔壁防護部掘削径 ~φ 3400mm
掘削機重量	約 10 tf
リバースロッド	8B, L = 1500 mm (120 kgf/本)



写真-1 ポータル JET-32 全景

(b) 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。

この工事で施工する杭のうち軌道に近接する 5 本に
おいて、ホーム内で杭径φ 3000 mm, 杭長約 25 m の
孔壁防護併用場所打ち杭の施工を行った (図-2)。

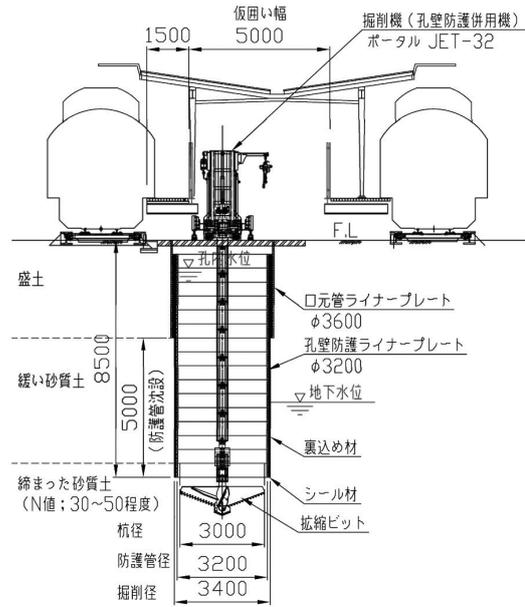


図-2 孔壁防護併用杭施工断面図

杭の施工に先立ち、ホーム上に線路直角方向 5.0 m
× 線路方向 8.0 m の仮囲いを設置し (写真-2), 大
型クレーン (500 t 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φ 3200 mm のライナープレートを杭壁
崩壊の危険性が高い口元管下端から 5.0 m の範囲 (地
表面からは 8.5 m) に、φ 3400 mm の掘削を行うのと
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



写真-2 仮囲い設置状況 (5m × 8m)



写真-3 施工状況

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 20 cm ～ 40 cm 以内に収まるよう管理した。

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 12.5 mm/分（40 分/防護管 1 段）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 $\phi 3400$ mm から杭設計径の $\phi 3000$ mm に縮径し，所定の深度まで掘削を行った。掘削速度は，平均 11.6 mm/分であり，昼夜間関係なく，列車運行時間帯においても行った。また，掘削中の軌道への影響を把握するために，リンク型変位計を設置し，軌道の高低と通りを常時計測し，変位はほとんど発生せず，軌道へ影響を及ぼすことなく施工することができた。

(2) 超低空頭場所打ち杭の開発

(a) 杭工法の概要（機械名：コンパクトリバース JET-18)

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ことから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 2.0 m，幅 4.0 m の施工空間があれば， $\phi 800$ mm ～ 3000 mm 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。また，搬入時の運搬機械類の小型化も可能。
- ③駆動方式は，ターンテーブル方式+特殊ケリーロッ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。

コンパクトリバース JET-18 の仕様を表-2 に，外観を図-3 に，駆動方式を写真-4 に示す。

表-2 コンパクトリバース JET-18 の仕様

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

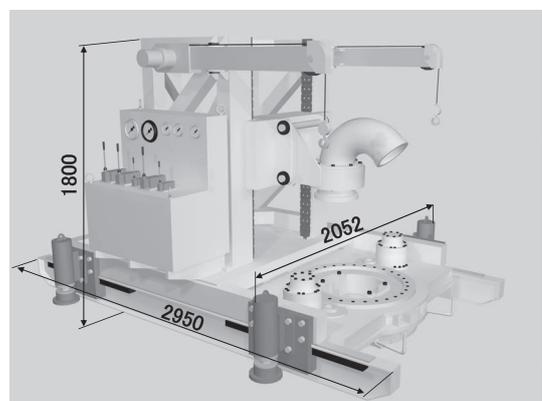


図-3 コンパクトリバース JET-18 の外観

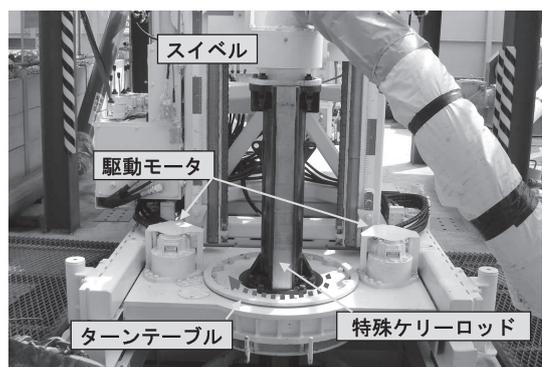


写真-4 コンパクトリバース JET-18 の駆動方式

(b) 施工事例

孔壁防護併用場所打ち杭と同様に、千葉駅において杭径φ3000mm、杭長25.7～33.8mの計47本の施工を行った(図-4)。

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)の仮囲いを(写真-5)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。

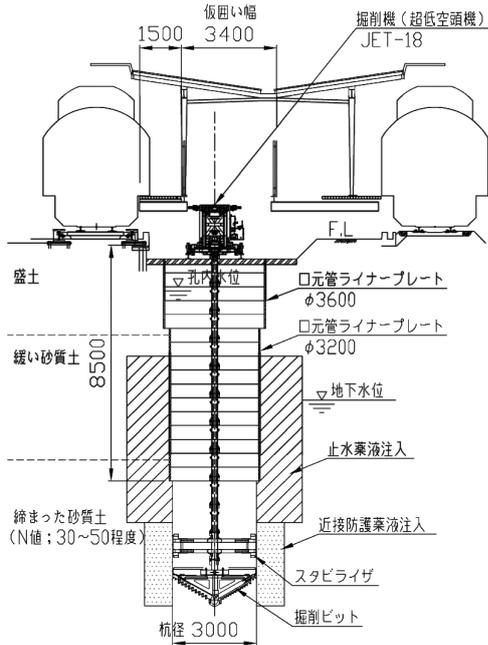


図-4 超低空頭杭施工断面図

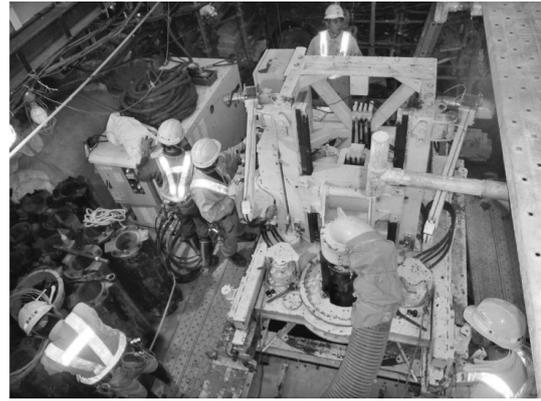


写真-6 掘削状況

したが、変位はほとんど発生せず、軌道へ影響する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。

3. 線路下横断工法

(1) 地盤切削 JES 工法の開発

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、工事桁を架設して躯体を構築する開削工法や非開削で線路下を推進する工法など、多くの施工工法が提案されている。JR 東日本においても、非開削でエレメントを推進し、継手で一体化してボックスカルバートを構築する HEP&JES 工法(図-5)を開発し、これまでに多くの施工を行っている。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



写真-5 仮囲い (3.4m×6.5m)

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φ3200mmのライナープレートを深度8.5mまで設置した。

掘削作業は昼夜間関係なく、列車運行時間帯においても行った(写真-6)。

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

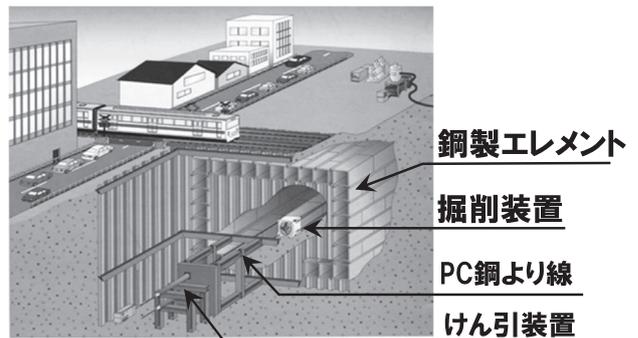


図-5 HEP & JES 工法の概要図

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）が小さいと、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 2.0 m 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、もしくは列車が走行しない深夜の時間帯（夜間線路閉鎖間合い時間）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いに限定することは、工事費や工期の増大を招くのみならず、軌道下に掘削装置を長期間存置することになり、安全性の面でも懸念があった。そこで、自立性の良い地盤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。

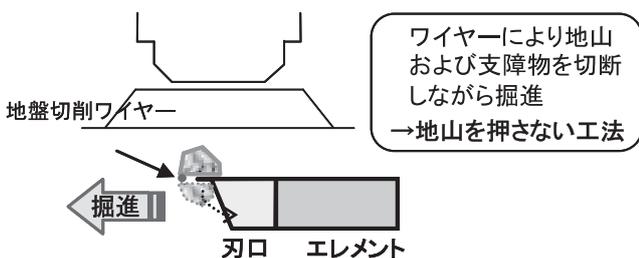
(a) 地盤切削 JES 工法の概要

地盤切削 JES 工法とは、非開削工法に用いられる刃口先端に、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人力掘削することで、従来工法で懸念された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基に刃口先端のルーフを従来工法より長くしており、刃口上部の地盤の緩みを防止することを可能としている。

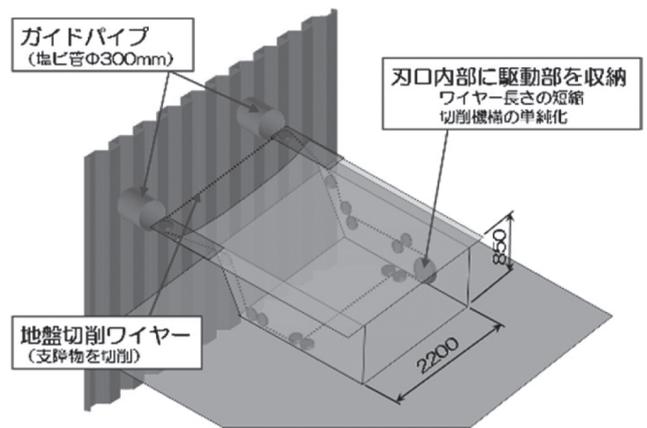
本工法の特徴は以下のとおりである。

- 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、地盤の隆起や沈下が抑えられる。
- ②刃口ルーフを伸ばし、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。

図一 6, 7 に地盤切削 JES 工法の概要を、写真一 7 に発進直前時の刃口の状況を示す。



図一 6 地盤切削 JES 工法のイメージ



図一 7 地盤切削 JES 工法の概要



写真一 7 地盤切削 JES 工法の刃口

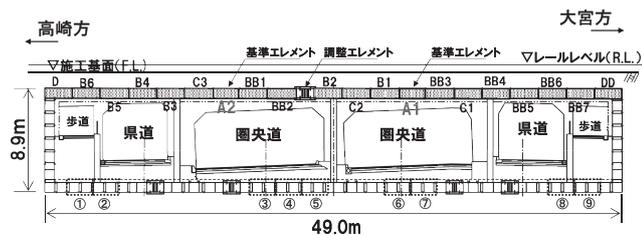
(b) 施工事例

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工事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 径間ボックスカルバート（図一 8）であり、幅が 49 m と長大なことから従来のように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。

施工状況を写真一 8 に示す。上床エレメントの施工は平成 24 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



写真一 8 ニツ家 Bv 施工状況



図—8 ニツ家 Bv 断面図



玉石 木製電柱下部

写真—9 切断撤去された支障物

鎖間合いの通常 JES 工法では 10 ヶ月の計画であったので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。

①施工速度

施工時間帯を施工開始時より、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変えて行った。その結果エレメント 1 本の施工期間をおおむね 1/2 ~ 1/3 に短縮できた (表—3)。

表—3 施工ステップごとの施工速度

	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 ~ 1.2 m	0.9 ~ 1.5 m	2.0 ~ 4.0 m ※2方合計
到達までの平均作業日数	14日	13 ~ 17日	4 ~ 7日

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写真—9 に示す。施工では玉石や地中に存在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部の押上げなどは発生せず、軌道変位も管理値の 15 mm に対し 3 ~ 4 mm であり、本工法が軌道に対して影響が小さいことが確認できた。

4. 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として、場所打ち杭工法と線路下横断工法について報告した。

線路に近接した工事が昼夜で可能になると、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実用化されているが、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。

JCMIA

【筆者紹介】
清水 満 (しみず みつる)
東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター
次長

