

HEP & JES工法でのトンネル工事に伴う CurveX工法による遮水壁の築造

河田 誠¹・岩井昭夫²・小林正志³

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 (〒274-0825 船橋市前原西 1-30-1)

² 鉄建建設(株) 東関東支店 (〒288-0042 成田市南平台 1115-1)

³ ケミカルグラウト(株) (〒107-8309 東京都港区元赤坂 1-6-4)

曲がりボーリングの高精度化を利用して、JR 営業線直下の道路トンネル工事において列車運行への影響もない、HEP & JES工法の施工時における周辺地下水の低下を防止する目的で遮水壁工を施工した。削孔は曲がりボーリングの特色を生かして地中障害物を回避しながら $L \approx 110\text{m}$ の長さを高精度で削孔し、注入区間 55.2mを薬液注入することにより遮水壁を築造した。本報告ではこの工事例を紹介する。

キーワード：曲がりボーリング、トンネル、遮水壁、薬液注入、地中障害物、営業線、道路

1. はじめに

曲がりボーリングの施工法は現状多種存在するが、削孔位置の計測に関しては、地上からの計測がその殆どである。近年、技術開発により実用化された CurveX 工法は、方向センサーと高精度・小型ジャイロを組み合わせる事により削孔の軌跡を計測する事と方向制御ができ、薬液注入工法と組み合わせた地盤改良工法である。

その特色は以下に示す通りである。

- ① 既設構造物を傷めることなく構造物直下の地盤改良が可能。
- ② 既存施設の稼働を止めることなく地盤改良が可能。
- ③ 削孔精度としては、削孔長 100mで半径約 30cm 以内の精度確保が可能。
- ④ 削孔径の小口径化により最小曲率半径 30mの削孔が可能。
- ⑤ アタッチメントの変更により薬液注入以外の工種に対応できる。

本報告は、上記の特色を踏まえ、県道・市道及び JR 営業線直下で土被り 3.0~8.0mにおいて横断距離約 50m間の HEP&JES 工法による道路トンネルの築造工事に関連して CurveX 工法にて施工した薬液注入工による遮水壁築造工事の報告である。

2. 工事概要

本工事は、国道 51 号線より成田ニュータウン間を結ぶ都市計画道路 3・3・4 号郷部線建設工事のうち図-1 に示す JR 営業線横断部 ($L=112\text{m}$ 、その内 HEP & JES 工法^{1) 2)} は延長 $L=49.2\text{m}$) を施工するものである。その概要は以下の通りである。

工事名：成田駅構内不動ヶ岡こ道橋新設工事
事業主：千葉県成田市
発注者：東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所
施工者：鉄建・西松建設工事共同企業体
工 期：平成 12 年 3 月～平成 17 年
(遮水工：平成 15 年 6 月末～平成 15 年 9 月末)

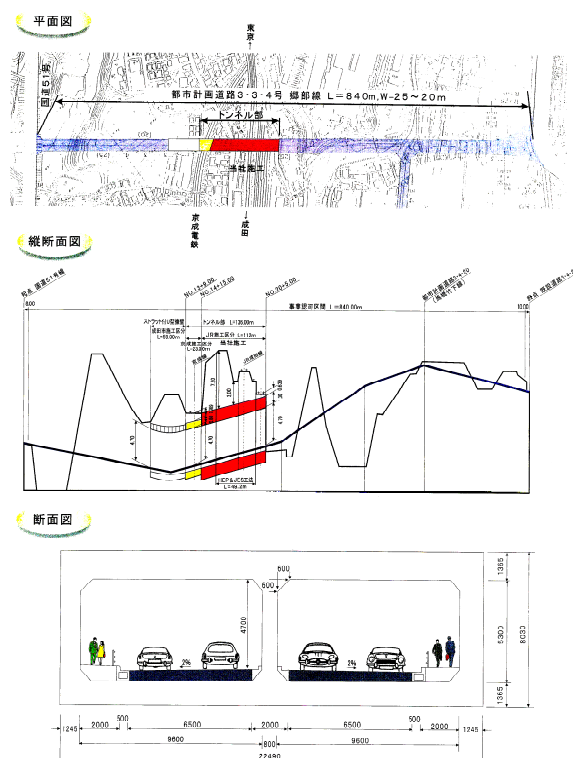


図-1 全体工事説明図

3. 対象地盤

本遮水壁工事の対象となる地盤は、N 値 30～50 の成田砂層で細粒分が非常に少なく、均等係数の小さな地盤であり、地下水位(TP+21.5m)は下床エレメントの上部に位置している。

4. 遮水壁工の計画

(1)採用までの経緯

HEP&JES 工法牽引に伴うエレメント部の切羽の安定は、当初ディープウェルによる水位低下工法が計画されていたが、周辺地域全体の地下水位低下の影響を考慮して遮水壁を築造することとした。遮水壁築造工法の与条件は、以下の通りである。

- ① 既設杭，土留めアンカーを回避できる事。
- ② 本体工事（側壁部エレメント牽引）と並行作業可能な事。

これらの与条件と、道路作業とした場合の時間的な制約の中で適用工法を比較検討した場合、薬液注入工法のうち、通常の二重管ストレーナー及び二重

管ダブルパッカー工法は、発進・到達立坑が必要になると同時に完了までエレメントの牽引が不可能となる。また、立坑後方より施工する場合、立坑両側の土留めアンカーが障害物となりアンカーに対して悪影響が懸念される。結果として CurveX 工法による遮水壁築造工を採用するに至った。

なお、本工法採用には、この施工に先立ち実施した HEP&JES 工法区間における立坑土留壁安定の目的のタイロッドアンカー工 ($L \approx 50.0\text{m}$ /本 $\times 10$ 本/段 $\times 3$ 段 $\approx 1,500\text{m}$) で CurveX 工法が採用され、削孔精度等満足できた実績が採用理由の要因となった。タイロッドアンカー工も当初は、小口径推進工法にて計画していたが、工程上及び施工条件の中で既設中間杭等を回避しながら削孔できる工法として優位性が認められ、大幅な工程短縮が図れた。

以上より、本工事計画を立案し、試験工事を実施した後、本工事の施工を開始した。

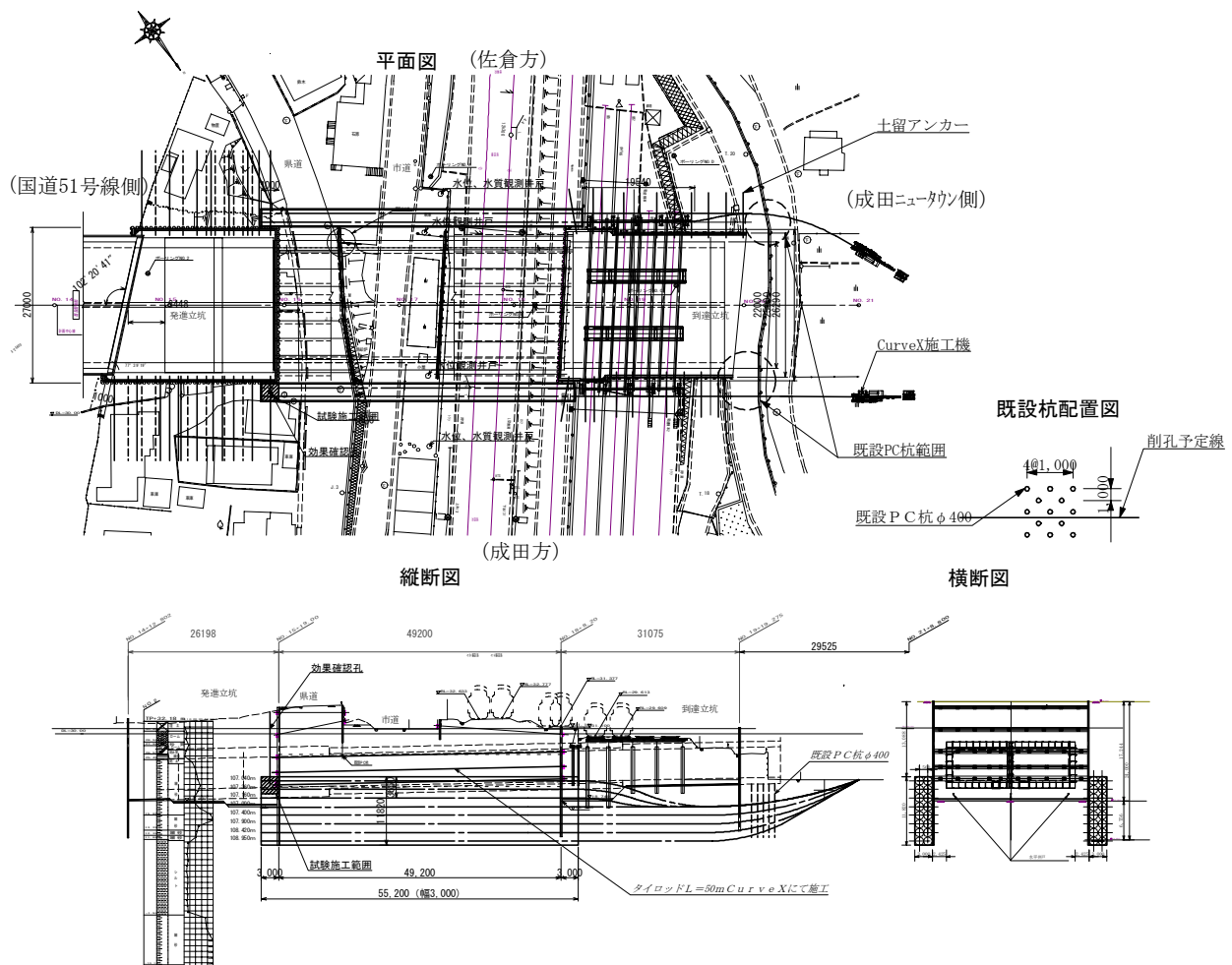


図-2 遮水壁工計画図

(2) 遮水壁工の内容

遮水壁工の計画内容は以下の通り。

a) 遮水壁工の範囲

遮水壁工の改良範囲については、改良延長はHEP & JES 区間(L=49.2m)から発進及び到達立坑に各 3.0mラップする範囲を注入延長とした。注入深さについては現状地下水位より+1.5mから土層の不陸を考慮し、下部粘性土層に 1.0m 貫入した深度までとした。なお、改良幅は 3.0mとし、複列配置とした。(図-2 参照)

改良長 : 55.2m

改良幅 : 3.0m×2 箇所

改良深 : 11.82m

改良対象土量 : 3,915 m³

b) 注入率

対象土層 N>30 の砂質土であることから 31.5%とした。

c) 計画数量

計画本数 : 8 本/列×2 列/断面×2 断面=32 本

削孔工内訳

削孔延長 : 106.5m/本×32 本≒3,408m

注入工内訳

シール注入 : 0.2 kℓ/Step×1,184Step= 237 kℓ

本注入 : $3,915 \text{ m}^3 \times 31.5\% = 1,233 \text{ kℓ}$

計画注入量の合計 1,470 kℓ

d) 注入緒元

注入材 : 中酸性水ガラス系薬液

注入方式 : 2 ショット方式

ステップ長 : 1.5m

ステップ方式 : ステップアップ方式(引抜き注入)

注入速度 : 200/min

ゲルタイム : シール 2～3 分・本注入 60 分程度

管理方式 : 定量管理

e) 施工フロー

削孔及び注入の施工フローは、図-3 に示す通り。

表-1 施工機械諸元

本体	寸法(mm)	7,250×2,006×4,240
	質量(kg)	8,000
	動力(HP)	ディーゼルエンジン 125
削孔ヘッド	先端ビット	プレート状(標準用)
	機能	削孔・注入切替ヘルプ付 ビームコン内臓可能
計測器	形式	位置信号検知 挿入計測併用

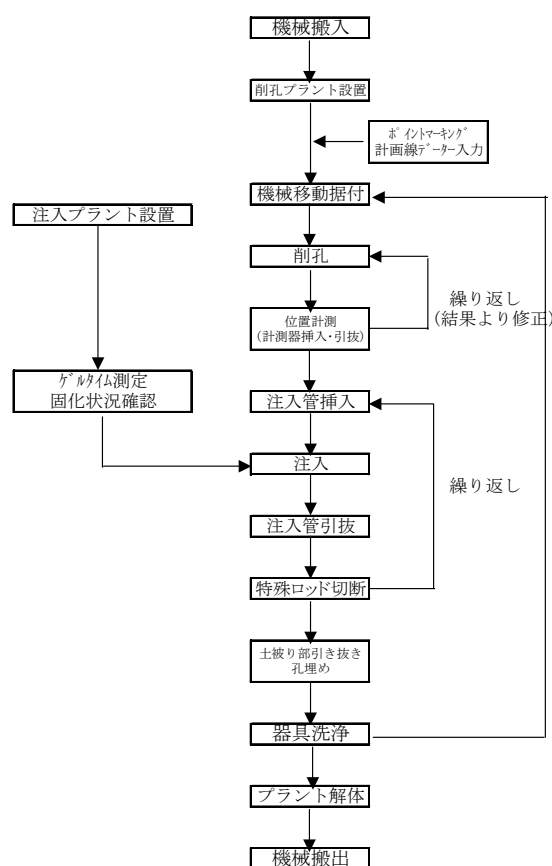


図-3 施工フロー

(3) 施工機械及び削孔・注入システム

施工機械を図-4、機械の諸元を表-1 に示す。施工機械は既存の曲がりボーリング機械を改造し、位置検知システムと薬液注入システムの機能³⁾を加えたものである。

削孔位置検知システムは、削孔ビットの位置を確認するものであり、表-2 に示す内のケーブル通信型を新規に開発して使用した。

削孔位置検知システムの構成は、大別して測定器、ケーブル、PC に区分され、計測器には先端ビットの方向センサーと位置センサー(ジャイロ)が搭載され、一般的な無線通信型を使った場合に比べて電波障害に左右されることなく計測が可能となっている。

削孔の方向制御は、直線削孔はロッド回転+押込みとし、曲線部では曲る方向にビット先端部の方向制御板を向け圧入のみで行う。(図-5 参照)

注入システムについては、削孔完了後注入管を挿入する事により、削孔時の泥水通過ルートを遮断しモニターの注入孔から注入材が均等な浸透注入可能な構造となっている。

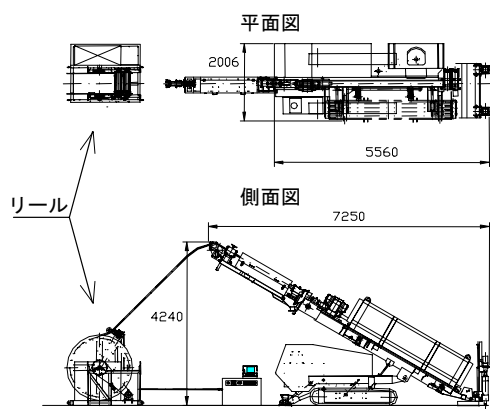


図-4 施工機械平面図・側面図

表-2 曲りボーリングの削孔技術

	無線通信型	ケーブル通信型
概要図		
概要	先端ビット部に取り付けられたセンサーから発信された電磁波を受信器（ロケータ）で受け、位置及び姿勢を確認し、受信器方向に削孔を誘導する。	ケーブルで繋がった先端の位置検知センサーからの信号を手元PCで処理し削孔経路を管理する。
特徴	・位置計測の作業速度が早い。 ・削孔中でも計測が可能。	・地上に障害物があっても計測可能。 ・大深度でも計測可能。 ・電波障害の影響を受けない。

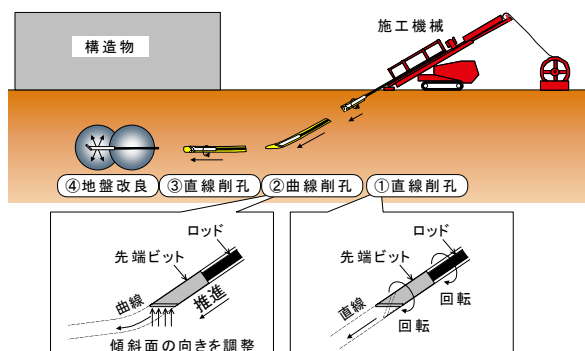


図-5 削孔手順

(4) 試験施工の概要

CurveX 工法による遮水効果を確認する目的で、本施工に先立って、試験施工を実施した。

効果確認の方法としては、以下の通り。

- ① 現場透水試験
現位置での改良後の透水係数の確認を確認する。
- ② コア-採取
コアを採取し改良状況を確認する。
- ③ 二次元浸透流解析
改良前後の透水係数を用いて水平井戸からの湧水量と水位低下量を解析する。

(試験施工範囲は、図-2 遮水壁計画図参照)

(5) 試験施工結果

前述の項目に関して実施した結果を示す。

a) 透水試験結果

施工後の透水係数は、

$$\text{注入前 } k = 3.0 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$$

$$\text{注入後 } k' = 5.1 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$$

となった。

当初 $1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 低減で計画していたが、上記実際の試験結果を基に解析を実施した。

b) コア-採取結果

効果確認孔で現場透水試験を実施した後、改良地盤をサンプリングし、試薬を噴霧して、改良状況を目視確認した。

その結果、地盤中に薬液が均一に浸透している事が確認された。

c) 二次元浸透流解析

現場透水試験結果を基に二次元浸透流解析を行い、本工事完了後の湧水量と水位低下を検討した結果、当初の要求品質が、現状仕様において達成できると判断した。

以下にその詳細を記述する。

d) 解析結果の内容

① 検討条件

- ・砂層 透水係数 $k = 3.0 \times 10^{-3} \text{ (cm/sec)}$
- ・薬液注入部 透水係数 $k = 5.1 \times 10^{-5} \text{ (cm/sec)}$
改良幅 3.0m
- ・地下水位面 TP+21.50m
- ・排水孔 TP+18.45m × 3 本

② 水位低下量

水抜き孔位置より 23m 離れた地点(改良体背面位置)での水位低下量は 1.1m。

③ 湧水量

- ・定常状態になる日数は 4 日。
- ・排水開始直後の湧水量は約 130ℓ/min/25m。
- ・定常状態の湧水量は約 14ℓ/min/25m である。

計算結果を、表-3 二次元浸透流解析結果表と図-6 解析結果水位低下予測図に示す。

なお、解析による周辺地盤の水位低下量は 1.1m となった。

表-3 二次元浸透流解析結果表

	奥行き1mあたりの湧水量 $q(m^3/sec/m)$				湧水量	
	左側パイプ	中央パイプ	右側パイプ	合計	奥行き1m $q(m^3/sec/m)$	奥行き25m ($\frac{m^3}{min}/25m$)
定常解析	3.71E-06	1.90E-06	3.73E-06	9.34E-06	9.34E-06	14
非定常 初期値	0	0	0	0	0	0
0.1日	3.14E-05	2.29E-05	3.14E-05	8.56E-05	8.56E-05	128.5
0.5日	5.24E-05	2.73E-05	5.27E-05	1.32E-05	1.32E-05	19.8
1.0日	4.66E-05	2.39E-05	4.70E-05	1.18E-05	1.18E-05	17.6
4.0日	3.95E-06	2.00E-06	3.91E-06	9.86E-06	9.86E-06	14.8
16.0日	3.77E-06	1.91E-06	3.74E-06	9.42E-06	9.42E-06	14.1
45.0日	3.76E-06	1.91E-06	3.73E-06	9.40E-06	9.40E-06	14.1

非定常解析 水位低下詳細図

STEP7 T=4.0 日

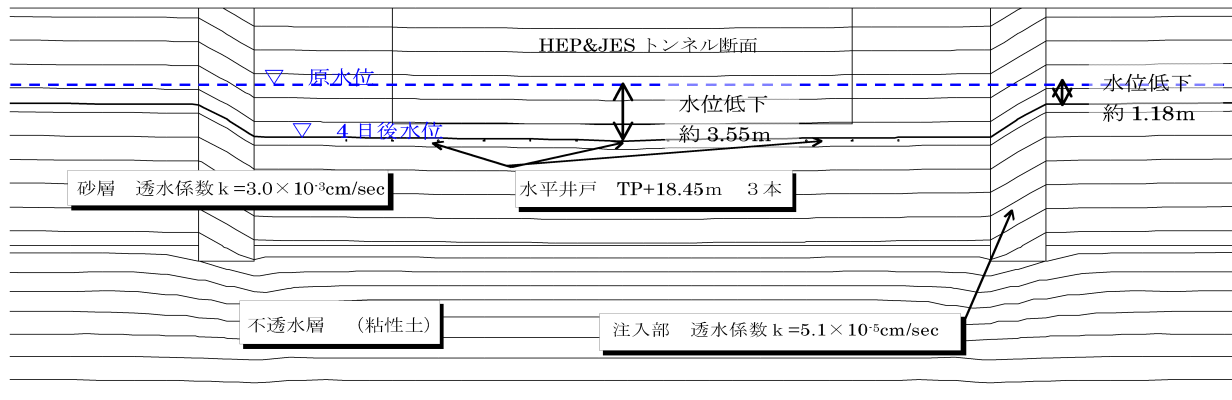


図-6 解析結果水位低下予測図

5. 遮水壁工の本工事

2交代で実施した。現場状況を写真-1に示す。

試験工事の結果を踏まえて本工事施工を行った。

(2) 施工サイクル

本工事における1本当りの施工サイクルは、削孔長の長さで計画注入量より、概ね3日間を要した。

(1) 作業編成

工期の制約から施工機械を2セット投入し、昼夜

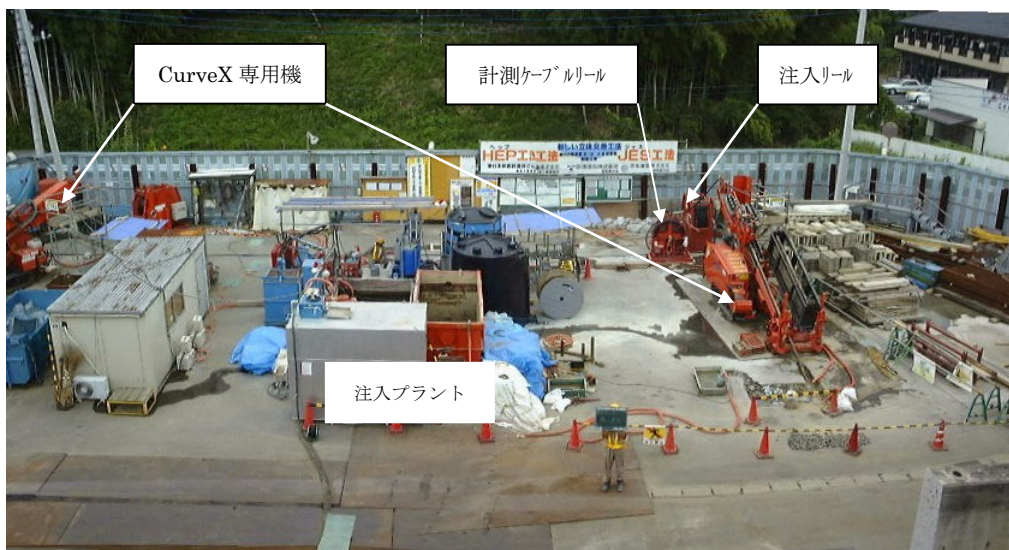


写真-1 現場状況写真

6. 削孔精度

削孔精度を、図-7に示す。部分的に計画線と違う軌跡があるが許容範囲内であり、注入範囲は±30cm程度の精度で削孔ができた。

一方削孔途中では軌道修正の難しい場所も存在したが、注入範囲内においては削孔精度を確保して、施工を完了させた。

また、計画における最小曲率半径は $R=30\text{m}$ であり、本工事施工中は特に曲率半径が $R=30\text{m}$ 以下にならない様に管理した。

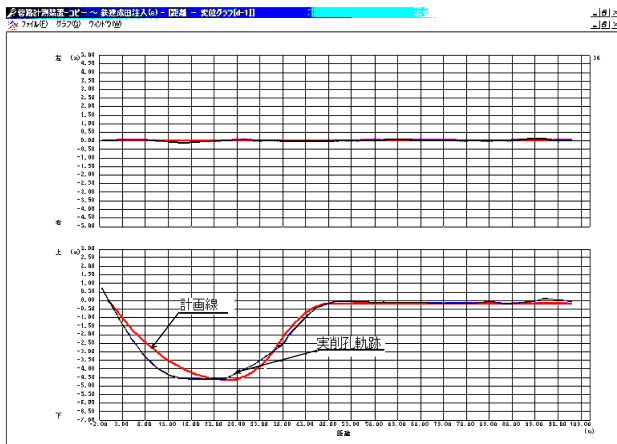


図-7 削孔軌跡測定図

7. 地表等の変位

施工中 HEP&JES 工法の既設上床エレメント及び地表・軌道の変位等については、計器により計測しながら施工したが、大きな変位は計測されなかった。

8. 工事終了後の効果の確認

遮水壁築造後、立坑内より水平井戸を掘削し、さらに遮水壁内側に水位観測井戸を設置した後で水平井戸から排水を開始した。

水平井戸の排水量測定結果を図-8に示す。排水量は予測値 14.0ℓ/分に対し、実測値も同程度であった。

排水開始後の遮水壁外側の既設観測井と内側の井戸の水頭差を計測した結果を図-9に示す。遮水壁内部の水位は下床エレメント下端より下がり、外側水位も解析値(+20.40m)とほぼ同程度の水位を示しており注入による効果が確認された。

9. おわりに

今回の施工は、営業線や道路交通の制約の下で、既設杭や土留めアンカー等の地下障害物を回避しながらの地盤改良工事であったが、周辺地盤の地下水へ

の影響を最小限にして無事完了し、当初計画した目的を充分達成したと言える。

今回は、施工条件より施工機を固定として削孔と注入を連続作業としていたが、条件によっては削孔専用機機と注入専用機を分けることによって別工程とすれば、さらに工期短縮が可能と考えられる。

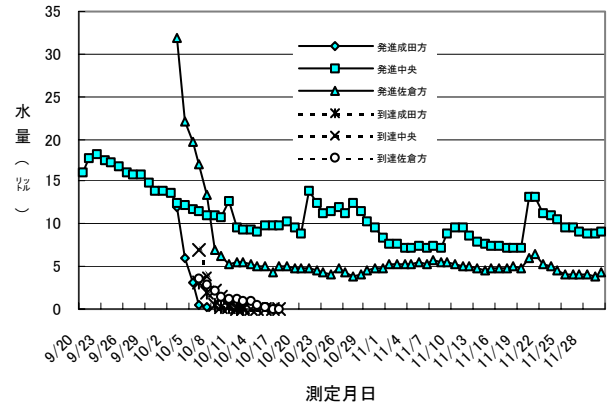


図-8 水平井戸排水量測定結果図

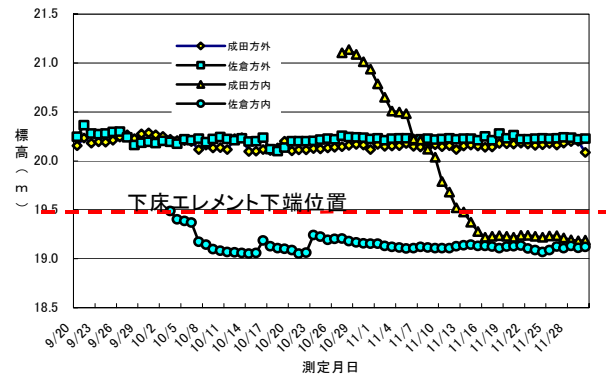


図-9 水位低下測定結果図

参考文献

- 1) 横山力, 辻浩一, 山中正, 桑原清: HEP&JES工法による大規模駅構内の線路下横断構造物の施工, 第57回土木学会講演概要集, VI-80, 2002
- 2) 千々岩三夫, 齋藤雅春: 地下空間での交通機関の新しい立体交差法, 地下空間シンポジウム論文報告集, 8, 2003
- 3) 山崎浩之, 向井雅志, 山田岳峰, 三原孝彦, 横尾充: 曲りボーリングを用いた薬液注入による液状化対策の実証試験, 第59回土木学会論文集 No756/VI-62, 89-99, 2004.3