HEP&JES工法による道路トンネル工事に伴う 軟弱地盤での立坑の地盤改良

村下富雄1·亀川信2·縄田晃樹3·吉田知史4·高橋淳5

¹工修 株式会社鴻池組 東京本店土木部(〒136-8880 東京都江東区南砂2-7-5)
 ²株式会社鴻池組 東京本店土木技術部(〒136-8880 東京都江東区南砂2-7-5)
 ³東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所(〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号)
 ⁴ジェイアール東日本コンサルタンツ株式会社 施工技術部(〒171-0021 東京都豊島区西池袋一丁目11番1号)
 ⁵ケミカルグラウト株式会社 名古屋支店技術営業部(〒460-0004 愛知県名古屋市中区新栄町2-3)

本報告は、HEP&JES工法によるJR営業線直下を横断する道路トンネルの築造工事において、線路両側に 設置する軟弱粘性土地盤での立坑部の地盤改良工事についての報告である.

立坑掘削に伴う課題は、ヒービングに対する底盤安定、リバウンドによる立坑直下に存在する供用中の 下水幹線への影響,地盤改良施工による軌道への影響等がある.これらの課題に対して、立坑の底盤改良 の形状,地盤改良工法の組み合わせや造成順序の工夫等を行った.発進立坑においては、想定以上のリバ ウンドが発生して下水幹線への影響が懸念されたが、グラウンドアンカーを用いたリバウンド対策工を実 施することにより、下水幹線や軌道に悪影響を及ぼすことなく、立坑掘削を無事完了した.

キーワード:軟弱地盤,立坑掘削,リバウンド,営業線近接,地盤改良

1. 工事概要

県道葛飾吉川松伏線バイパスは,東京都葛飾区か ら埼玉県を南北に結ぶ幹線道路である.

当工事は,武蔵野線(73k500m 付近)と都市計画 道路の交差部において,図-1及び図-2に示す,道 路構造物(ボックスカルバート及びU型擁壁)を構 築するものである.施工は,線路脇に発進立坑と到 達立坑を設け,ボックスカルバート(幅24.7m×高 さ8.2m×長さ35.1m,1層4径間)をHEP&JES工法 により構築した.HEP&JES工法は,非開削で地下構 造物を構築する路線下横断工法である.U型擁壁は 立坑部に構築した.

当現場区域は、N値 1~3 程度の非常に軟弱なシ ルト層が堆積している.また立坑直下には供用中の 既設下水幹線が,道路縦断方向と並行して存在して いる.発進立坑及び到達立坑は、この軟弱な地盤を 掘削するため、様々な課題が挙げられた.解決策と して、地盤改良工を立坑内に適用した.

発注者 東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所施工者 鴻池組鉄建建設共同企業体工 期 平成 17 年 12 月~平成 22 年 3 月



図-2 ボックスカルバート断面図

2. 立坑掘削時の課題と地盤改良の形状



図-3 ボーリング調査位置平面図

武蔵野線 BOT.B BOT.C 100227EL 12021EL 福 被压木層 -21.0 Bor. C Bor.A -8.8 - 2010 Bor.B -750 発進立坑側 到達立坑側 -4300 -150 -58.20

図-4 地層縦断想定図

立坑内の地盤改良は,地盤条件及び立坑に関する 様々な課題に対応し,また経済的となるように計画 された.

(1) 地盤条件

発進立坑側は武蔵野線操車場跡地であり,工事着 工以前に盛土を撤去しており,着工時には平地の状態になっていた.この点が到達立坑側と異なる.

ボーリング調査位置を図-3,地層縦断想定図を図 -4に示す.地盤調査は,鉄道盛土付近(上り線側及 び下り線側)及び到達立坑側の現地盤部である.発 進立坑側のみ洪積層まで土質調査を行っている.

発進立坑側の土質定数を**表-1**に示す.

到達立坑側の土質定数を表-2及び表-3に示す.

表-1 発進立坑側土質定数一覧表

土質	平均	γ	φ	С	Е
記号	N値	(kN/m^3)	(°)	(kN/m^2)	(MN/m^2)
B _{s-c}	3	16.5	-	38.0	10000
B _{s-s}	17	17.0	35.0	_	42000
A _{c1}	7	16.5	-	45.0	12000
A _s	14	18.0	33.0	_	27000
A _{c2}	1	16.5	-	57.0	10000
A _{c2}	3	16.5	-	57.0	10000
D _{c1}	12	17.0	-	75.0	15000
Dg	50	20.0	35.0	_	125000
D _{c2}	18	17.0	_	110.0	23000
D _s	50	20.0	34.0	_	125000

表-2 到達立坑側土質定数一覧表(盛土部)

土質	平均	γ	φ	С	Е
記号	N値	(kN/m^3)	(°)	(kN/m^2)	(MN/m^2)
B _{s-c}	3	16.5	-	38.0	10000
B _{s-s}	17	17.0	35.0	_	42000
A _{c1}	7	16.5	-	45.0	12000
A _s	14	18.0	34.0	-	27000
A _{c2}	1	16.5	_	57.0	10000

表-3 到達立坑側土質定数一覧表(一般部)

土質	平均	γ	φ	С	Е
記号	N値	(kN/m^3)	(°)	(kN/m^2)	(MN/m^2)
A _{c1}	0	16.0	-	17.0	1000
As	6	18.0	31.0	-	6000
A _{c2}	0	17.5	-	20.0	5000

図-4より、N値が1~3と非常に軟弱な沖積粘性土 が厚く堆積していることがわかる.両立坑は、この 軟弱な沖積粘性土層から沖積砂層(As層)までを掘 削する.

鉄道盛土付近は,盛土層下面が下がっていること, 到達立坑側において盛土部と一般部の同一層の土質 定数を比較することにより,沖積粘性土層が盛土に より圧密されていると思われる.

発進立坑側の沖積粘性土層は,盛土荷重の履歴を 受けていることから,地山の強度が到達立坑側より も大きい.

両立坑とも沖積砂層は,液状化の判定より液状化 層であることが分かっている.立坑部に構築するU 型擁壁下面が,この沖積砂層となる.

表-4 検討結果一覧表

検討箇所		計算値	安定性
発進	鉄道盛土部	3.16	塑性域の拡大
立坑	一般部	2.12	弾性範囲内
到達	鉄道盛土部	9.42	底部破壊の
立坑	一般部	6.32	限界を超える

(2) 立坑掘削における課題と対策

掘削における課題は,掘削に伴う底面の安定及び 法面部の安定,立坑掘削による供用中の下水幹線へ のリバウンドの影響,鋼矢板の安定である.

a) 掘削底面及び法面の安定問題と対策

掘削に伴う底面の安定は,軟弱粘性土層のため, ヒービングが問題となる.

ヒービングについて,原地盤におけるPeckの安定 係数を(1)により求め,その結果を**表-4**に示す.

$$N_b = \frac{\gamma \times H \times q}{C} \tag{1}$$

発進立坑側及び到達立坑側ともに,床付時に掘削 底面の崩壊が懸念された.そこで,掘削底面におけ る原地盤の粘着力を地盤改良により増加させること で,掘削底面の安定を確保した.

法面の安定は、地盤改良の有無と法面のすべり面 の形状から、5 つのケースについて円弧滑りの検討 を行った. ヒービングの問題と同様に、発進立坑側 及び到達立坑側、鉄道盛土部及び一般部について検 討している. 図-5 において、法肩の鉛直部分は遮 水鋼矢板を示す.

発進立坑側は比較的地盤が良いため,底盤改良を 行うことにより,円弧滑りの検討において全てのケ ースで必要安全率を満たすことができた.

到達立坑側一般部は、底盤改良に十字型の深い地 盤改良体を追加し、さらに遮水矢板を抑止杭とみな すことで、円弧滑りの検討において全てのケースで 必要安全率を満たすことができた.

b)下水幹線のリバウンド問題と対策

立坑掘削に伴う地盤の想定リバウンド量は,法面 の安定から得られた必要地盤改良体を考慮し,下水 幹線縦断方向に関するFEM解析により求めている.

下水幹線の許容変位量は、地盤隆起に伴う二次覆 エコンクリートのひび割れ防止を目的として、設計 段階において30mmに設定された.

地盤の想定隆起量を許容変位量の30mm以下に収め るため、下水幹線両脇に門型の地盤改良体を設け、



図-5 法面安定検討断面図

門型の地盤改良深さを決定している.この対策により,想定隆起量は,発進立坑側28.0mm,到達立坑側 16.7mmであった.

c) 鋼矢板の安定問題と対策

軟弱な粘性土が厚く堆積しているため、原地盤の 状態では根入れ長が20m以上となること、また下水 幹線付近は最小根入れ長を確保できないため、受動 抵抗土圧の増大及び止水防護を目的とした底盤改良 が必要であった.

d)液状化対策

立坑掘削底面付近は沖積砂層となるため,液状化 防止対策が必要と判定された.なお,ボックスカル バート部については,自在ボーリング工法による薬 液注入工にて沖積砂層の液状化防止対策を計画した.

(3) 地盤改良体形状の決定

これら複合的な課題について,地盤改良工を立坑 内に適用することにより対応した.

地盤改良体の基本構成は、立坑内底盤の全面改良 (改良厚3m),及び下水幹線両側に門型地盤改良 (発進立坑側改良長2m,到達立坑側改良長10.5m) の造成である.

発進立坑側と到達立坑側において相違点は,以下 の通りである.

- ・到達立坑側一般部において,底盤改良上部に法 面の浅いすべり対策の地盤改良体を追加.
- ・到達立坑内中央部付近において,道路直角方向 に法面の深いすべり対策の地盤改良体を追加.

・下水幹線リバウンド対策の地盤改良体の長さ.

発進立坑側及び到達立坑側の地盤改良配置図を図 -6,図-7に示す.





図-6 発進立坑側地盤改良図

表-5	地盤改良工法比較表
衣-0	地盆以及上伝比牧狂

工法名	施工概要	概略 工期	概算 工費	評価
CDM+JSG	改良体造成の 間詰めに,J SG工法併用. 100%ラップ改良 が不可能.	350日	7.0億	× 辺に 影響有
JACSMAN + JSG	改良体造成の 間詰めに,J SG工法併用. 100%ラップ改良 が可能.	240日	6.8億	◎ 周辺に 影響無
Superjet	単独 100%ラップ改良 が可能.	165日	11.6億	○ 周辺に 影響無

3. 地盤改良工法選定と施工時の配慮事項

(1) 工法選定

地盤改良の工法選定は,立坑底盤部に着目した. 地盤改良工法比較表を**表-5**に示す.

工法選定の結果,機械攪拌併用高圧噴射工法であるJACSMAN工法を底盤部及び下水幹線リバウンド対



図-8 地盤改良工法の適用図

策に採用した.下水幹線直上部は,下水幹線への影響を考慮して超大型地盤改良工法であるSuperjet工法を適用した.立坑部線路側付近の間詰め底盤改良は,超高圧噴流工法であるJSG工法を適用した.

立坑底盤部における地盤改良工法の適用範囲を図 -8に示す.



図-9 近接状況図



図-10 施工フロー図

(2)施工時の配慮及び計測

地盤改良施工時は,鉄道施設物への配慮,地盤改 良造成順序の工夫を行った.

a) 鉄道施設部への配慮

線路側鋼矢板の打設及び立坑内の線路側付近の地 盤改良造成は,鉄道施設物に支障するので,分割施 工を行うことにより工程遅延になることを回避した. I期施工(一般部)とⅡ期施工(線路側)に分ける ことにより,本工事の施工と鉄道施設物移設が,同 時可能となった.

図-9 に近接状況図,図-10 に施工フロー図を示す. また JACSMAN 工法による地盤改良施工状況をを写真 -1 と写真-2 に示す.



写真-1 発進立坑側JACSMAN工法施工状況



写真-2 到達立坑側JACSMAN工法施工状況

b) 地盤改良造成順序の工夫

地盤改良が周辺地盤に及ぼす影響は,側方変位が 考えられる.本工事において地盤改良は,線路側の 施工が鉄道施設物の支障によりⅡ期目の施工となり, 地盤改良による軌道への影響が懸念された.

そこで、過去の施工実績及びFEM解析による推定を行った.**表-6**に推定結果を示す.

推定された変位量は軌道管理値以内となったが, 事前検討条件と現実との整合性の不一致や,予想外 の不可抗力による軌道変状(列車の運休や遅延の発 生)等に関するリスクが完全に払拭されたとはいえ ないため,計測工を用いた軌道の全体監視を行った.

地盤改良の施工上における工夫は,線路側鋼矢板 を遮断壁として利用すること,地盤改良の施工順序 を線路直角方向に離れる方向とした.

計測工配置を図-12に示す.

表-6 推定変位量一覧表

検討方法	推定到(m	を位量 m)	軌道管理値
	水平	鉛直	(mm)
過去の施工実績	僅か	—	6
FEM解析	3.4	1.3	0



施工順序 I

図-11 地盤改良施工順序図



図-12 計測工配置図

計測工は,ハイポスによる軌道変状監視,多段式 傾斜計による周辺地盤の地盤変状計測,無線式層別 沈下計による下水幹線の隆起量計測である.

立坑内の地盤改良施工は,軌道へ影響を及ぼすこ となく完了した.

4. 発進立坑のリバウンド対策

発進立坑において,立坑掘削中に下水幹線の隆起 量の進行が急激な状況となった.下水幹線の隆起量 推定,対策工の比較検討及び計画を行った.



図-13 発進立坑掘削順序図



図-14 下水幹線隆起量経時変化図



図-15 地盤隆起量推定結果図

(1) リバウンド発生状況

3段目タイロッドの施工から4次掘削に移行した段 階において、下水幹線の隆起量が急激に進行する状 況となり、発進立坑内の地盤隆起の状況を把握する ため、立坑掘削を一時中断した.

発進立坑側の掘削順序を図-13に示す.発進立坑 側及び到達立坑側の層別沈下計による下水幹線隆起



図-16 リバウンド対策工平面図



図-17 リバウンド対策工断面図

量の経時変化を図-14に示す.

立坑掘削を継続すると下水幹線の隆起量が許容変 位量を超える恐れがあるため、床付時における下水 幹線の隆起量推定を行った.推定結果を図-15に示 す.床付時の下水幹線の隆起量は、3次掘削におけ る計測値と合致する土の変形係数をFEM解析によ り求め、得られた土の変形係数を用いて推定した.

下水幹線の推定隆起量は約40mmとなり,許容変位 量30mmを超える結果となった.この検討結果により, 対策工計画を行った.

(2)対策工の計画

リバウンド対策工は、複数の工法について施工上 の制約条件、施工性や経済性等について比較検討を 行い、決定した.リバウンド対策工の候補として、 3案を選定した.

1案 部分掘削+グラウンドアンカー

2案 JPEX工法(盤ぶくれ防止工法)3案 地盤改良による遮断壁工法

選定にあたって以下の制約条件が考えられた.

・施工性

架設完了した仮設桟橋による支障を受けない 掘削途中段階における施工が可能 立坑内全面に対策工を実施が可能

- ·経済性,工期
- ・追加対策工施工時の懸念
 施工によるリバウンド量の進行が生じない
 確実なリバウンド抑制効果,即効性が得られる
 (全体工程延長を最小限に抑える)

リバウンド対策工は,施工性,工期及び即効性に 優れる1案を採用した.この対策工は底盤改良体を 耐圧版として利用し,立坑掘削面を小面積に分割し



写真-3 部分掘削及びアンカー緊張状況

て底盤改良上面まで掘削して, グラウンドアンカー を鋼製受圧板により緊張及び定着する方法である. 掘削土は立坑内に仮置きすることにより, 立坑内の 土の重量バランスを図る.

リバウンド対策工図を図-16及び図-17に示す.

(3)対策工の施工

リバウンド対策工の施工は様々な配慮を行い,層 別沈下計の計測頻度を増やし,対策工施工中におけ る下水幹線の隆起量監視を強化した.

線路側土留壁の変形を抑えるため,掘削に先行し て4段目タイロッドの施工を行った.薄型タイプ鋼 製受圧板を採用することにより,早期緊張力導入, U型擁壁底版部に支障させない計画とした.また部 分掘削を可能にした.

リバウンド対策工の施工状況を写真-3に示す.



図-18 下水幹線隆起量経時変化図



写真-4 発進立坑側全景

下水幹線隆起量のリバウンド対策工完了までの経時変化を図-18に示す.

床付完了後において、下水幹線の隆起量は一定となっていることから、この対策工が有効であると考えられる.

リバウンド対策工を追加することにより供用中の 既設下水道幹線の隆起量を許容変位量未満に抑えて, 立坑掘削を完了した.



写真-5 到達立坑側全景

5. まとめ

工事完了後の状況を**写真-4**及び**写真-5**に示す. 無事に立坑掘削工を完了できたことは、多くの 方々のご指導やご鞭撻を頂いた賜物である.