既設推進管を地中拡幅(トンネル工事)したシールド発進基地の築造

竹田　英樹[1]・内藤　将史[2]・中山　卓人[3]・石濱　侑起[4]

[1]正会員　戸田建設㈱首都圏土木支店土木工事２部（〒104-8388東京都中央区京橋1-7-1TODAﾋﾞﾙ2F）
E-mail:hideki.takeda@toda.co.jp

[2]正会員　戸田建設㈱首都圏本社土木工事技術部（〒104-8388東京都中央区京橋1-7-1TODAﾋﾞﾙ9F）
E-mail:masashi.naitou@toda.co.jp

[3]正会員　戸田建設㈱首都圏本社土木工事技術部（〒104-8388東京都中央区京橋1-7-1TODAﾋﾞﾙ9F）
E-mail:takuto.nakayama@toda.co.jp

[4]正会員　戸田建設㈱首都圏土木支店土木工事２部（〒104-8388東京都中央区京橋1-7-1TODAﾋﾞﾙ2F）
E-mail:yuuki.isihama@toda.co.jp

本工事は，横浜市鶴見区獅子ケ谷地区における，局所的な短時間大規模降雨による浸水被害を軽減することを目的として，一部の雨水を貯留するための雨水貯留管をφ3,000㎜泥水式シールド工法で施工するものである．シールド発進基地は，φ8.0mライナー深礎掘削(深さ31.3m)で，φ3,000㎜既設推進管に割込み立坑を築造する計画であった．しかし，埋設管や架空線が輻輳し，住宅密集地及び交通量の多い交差点部の施工で多くの問題点があったことから，既設推進管の内部からトンネル工事で地中拡幅し，シールド発進のための空間を確保する方法の立案・検討をした．

本稿では，既設推進管の拡幅によるシールド地中発進立坑の築造によって，近接家屋の傾倒や埋設管の損傷防止，近隣住民の生活環境への影響を低減した施工実績について報告する．

Key Words : *underguround widening，shield starting base，tunnel construction*

1. はじめに

近年，都市型降雨といわれる局所的な短時間大規模降雨による浸水被害が大都市を中心に頻発しており，獅子ケ谷地区においても市街化の進行に伴い流出量が増大し，大雨時には浸水被害がたびたび発生している．その対策として，シールド工法や推進工法で一部の雨水を貯留するための雨水貯留管を新設し，浸水被害を軽減する方法が採用されるが，シールドおよび推進掘削機の発進立坑の施工箇所は，住宅密集地で狭隘な場所であることや，埋設管および架空線などの支障物が輻輳している場合が多い．このような状況のもとで施工する場合には，支障物・近接家屋・地質条件に対応した発進立坑の築造計画立案が肝要である．

本稿では，呼び径3000㎜の既設推進管内から地中を切拡げ，シールド機を発進させるための空間を確保する方法に関して，報告する．

2. 工事概要

工事名称：北部処理区獅子ケ谷雨水幹線
　　下水道整備工事（その４）
発 注 者：横浜市環境創造局
工　　期：平成26年11月25日～平成28年8月31日
施工形態：戸田建設㈱・岡田建設㈱共同企業体
工事目的：浸水被害軽減の雨水貯留管の新設
工事内容：泥水式シールド工法　マシン外径φ3.48m
　　一次覆工（仕上り内径3000㎜、L=311m、
　　最小曲線半径R=30m）
　　地中内発進立坑（NATM）L=15.603m
　　導坑　18.7㎡～26.2㎡　(H-125)12基
　　本坑　62.0㎡　(H-150)10基
　　発進立坑工(φ8.0m H=31.3m)
　　地盤改良工(JSG工法:V=253㎥)

図-1に工事位置図，**図-2**に平面図，**図-3**に断面図を示す．

図-1 工事位置平面図

図-2 平面図

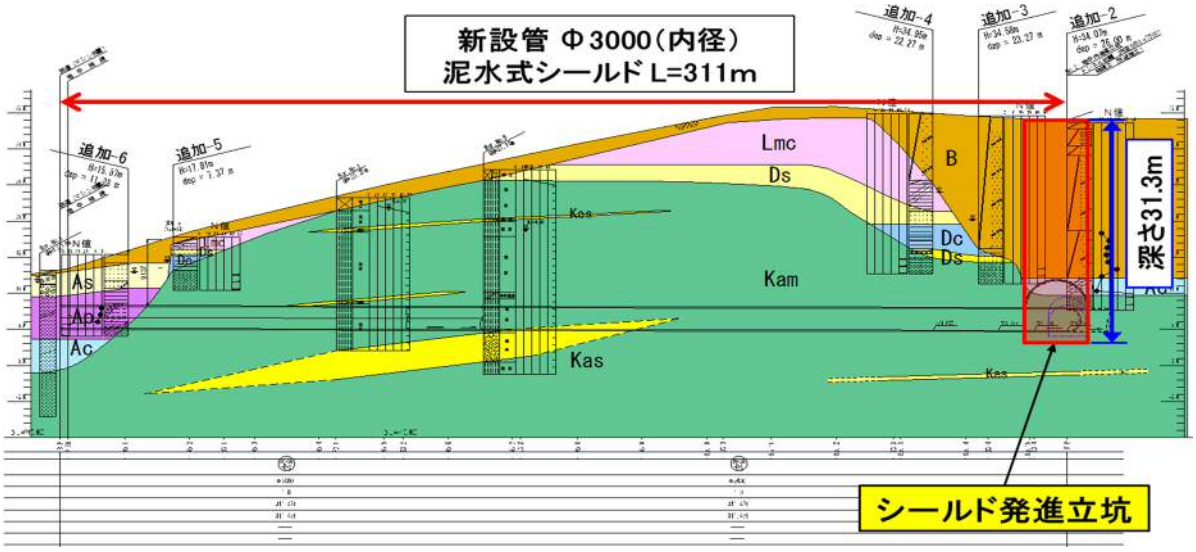

図-3 断面図

3. 施工箇所の地形・地質概要

施工箇所は，ＪＲ京浜東北線「鶴見駅」の北西約 2km に位置し，国道 1 号線(第二京浜)と環状 2 号線に挟まれた住宅密集地である．旧地形が谷地であったため，図 2.3 に示すように宅地造成の盛土が厚く堆積している．

地形は，**図-4** に示すように三浦丘陵，多摩丘陵，下末吉台地，相模原台地および沖積低地に分けられる．施工箇所はこのうちの「下末吉台地」と「沖積低地」に区分される．

下末吉台地は，横浜市沿岸部に海を臨んで分布し，平坦面を残している 40m前後の台地である．この台地の構成層は，下末吉海進時に堆積した海成のシルト・砂層からなり，溺れ谷部分では厚く埋積し，下末吉ローム層以降のローム層で覆われている．また，施工箇所はかつて深い谷を形成しており，現在の地形は谷を埋めて形成している（**図-5** 参照）．

地層構成は，現世の埋土層(B)，沖積層粘性土層(Ac)，上総層群泥岩層（Kam），上総層群砂質土層（Kasi）である（**図-6**，**図-7**，**表-1** 参照）．

図-4 横浜の地形概念

図-5 施工箇所周辺の旧地形図

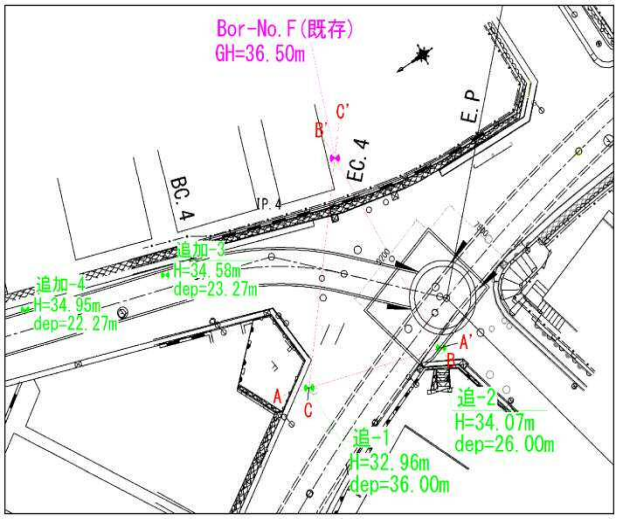

図-6 調査箇所平面位置図

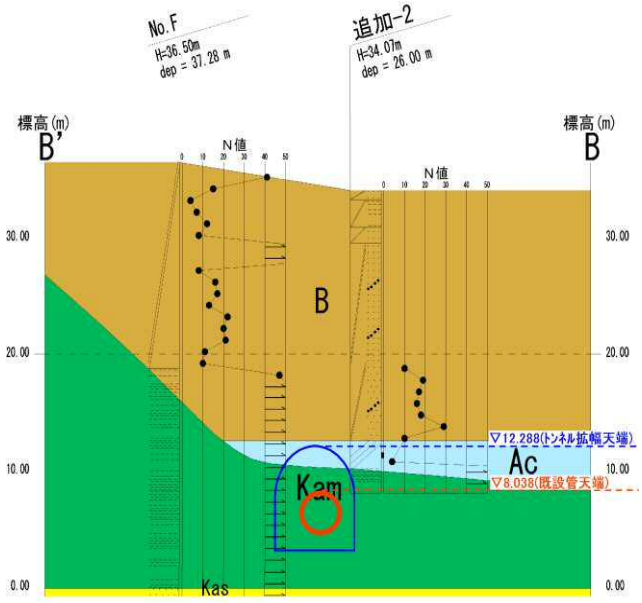

図-7 施工箇所の地質断面

表-1 地質層序表

地質年代区分		地層名	地層記号	土な上質	N値範囲(平均)	確認層厚(m)
第四紀	現世	埋上層	B	礫混り細砂 砂礫 泥岩 シルト	1～45 (17.6)	18.50～21.50
	完新世	沖積層上部層群 粘性土層	Ac	粘土質シルト	3～6 (4.5)	2.40～3.40
	更新世	泥岩層	Kam	泥岩	50 (50.0)	2.10～13.25
		砂質土層	Kas	細砂	50	0.75

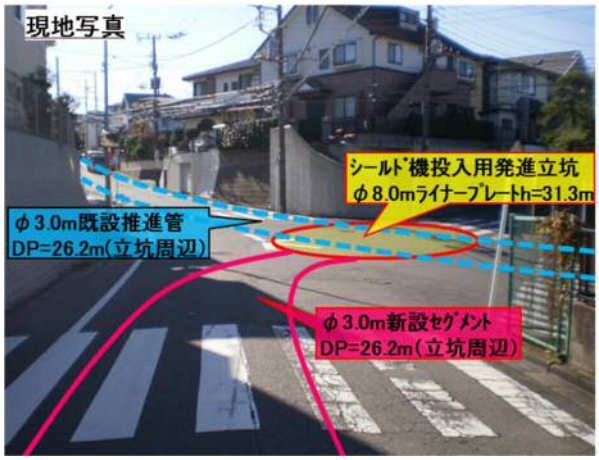

写真-1 施工箇所現況

4. 施工上の問題点

当初計画のシールド機投入用立坑は直径 8.0mの円形で，ライナープレートを組みながら掘り下げ，呼び径3000 ㎜の既設推進管を割込むかたちで構築する深さ31.3mのものであったが（**写真-1** 参照），施工に際して以下の課題があった．

①立坑施工位置は，埋設管（水道管φ700・φ150・φ100，ガス管φ100，下水道管φ300～700）や架空線(低圧・高圧電線，電話線，通信線，ケーブル TV)が輻輳し，住宅が密集した交通量の多い交差点である(**図-8** 参照)．

②埋設管や架空線の移設から発進立坑築造までに約７か月を要し，周辺住民の生活環境に多大な悪影響を与える．

③土質調査から施工箇所の地質は，宅地造成による盛土(礫混じり細砂主体で粘性土および腐植土が混在，Ｎ値1～20)が約 21.5mの厚さで堆積しており，立坑掘削時に周辺地盤が沈下し近接家屋の傾倒や埋設管の損傷が懸念される(**図-9** 参照)．

図-8 計画平面図

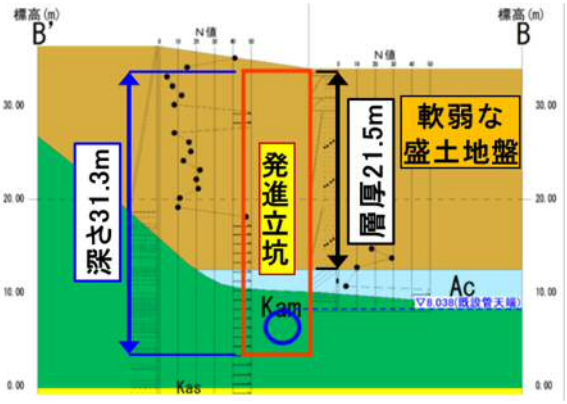

図-9 土質断面図

5. 対策と施工方法

(1) NATMによる地中拡幅

本工事では，山岳トンネル工事で採用される NATM をベースとし，既設推進管からシールド機発進のための空間を確保するために段階的に拡幅する導坑部とシールド機組立用の空間である本坑部からなる．施工ステップを**図-10** 及び**図-11** に示す．まず，既設推進管をコア削孔及びワイヤーソーで撤去しながら掘削→支保工→吹付コンクリートの手順で導坑上半部分を施工する(地盤改良については後述)．導坑上半施工は 15° の勾配で切り上がるとともに，50cm/mの角度で左側を徐々に拡幅していき，既設推進管外部の本坑上半部を施工する（**図-12** 参照）．その後，掘削方向を戻すように施工した導坑上半を撤去しながら残りの本坑上半部を施工し(**図-13** 参照)，下半部を 2.5mずつの 2 段階で切り下がり，既設推進管を撤去しながら上半同様の手順で施工する(**図-14** 参照)．本坑部の断面は幅 7.90m，高さ 8.68m，断面積は 62 ㎡である．トンネル用支保工は二次元 FEM 解析を行い決定した．本坑の断面図を**図-13** に示す．また，施工状況を**写真-2**，**写真-3** 及び**写真-4** に示す．

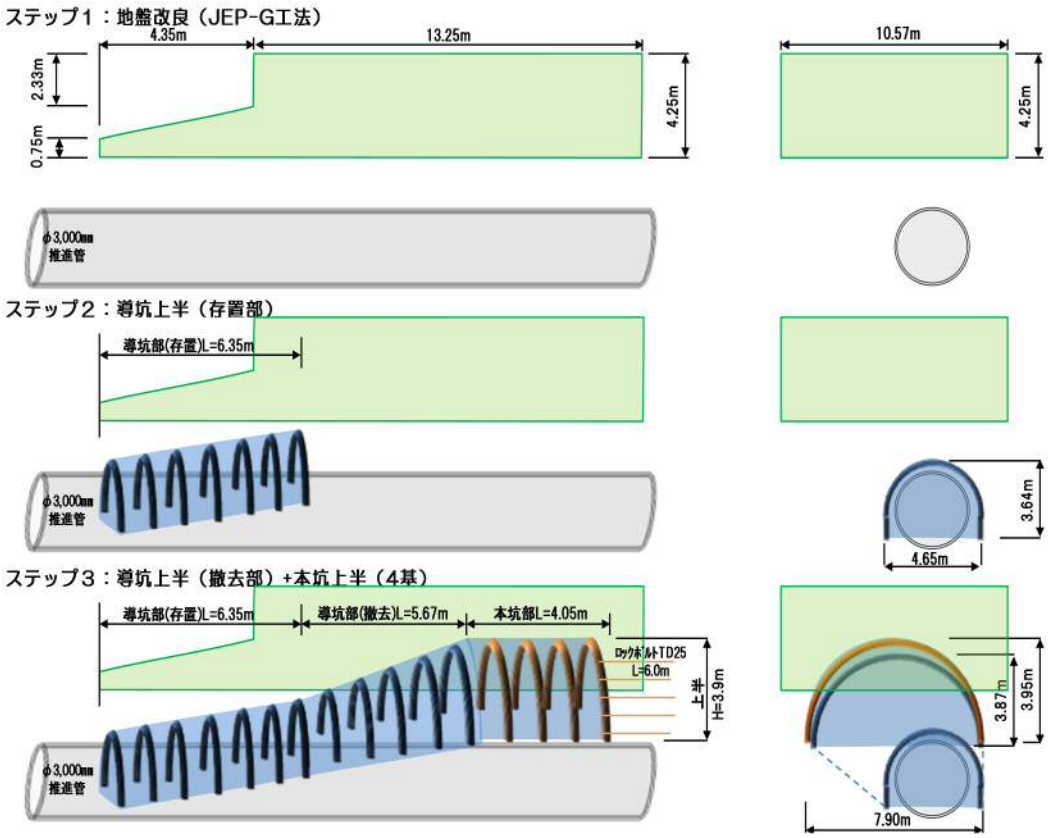

図-10 地中拡幅施工ステップ図（ステップ 1～3）

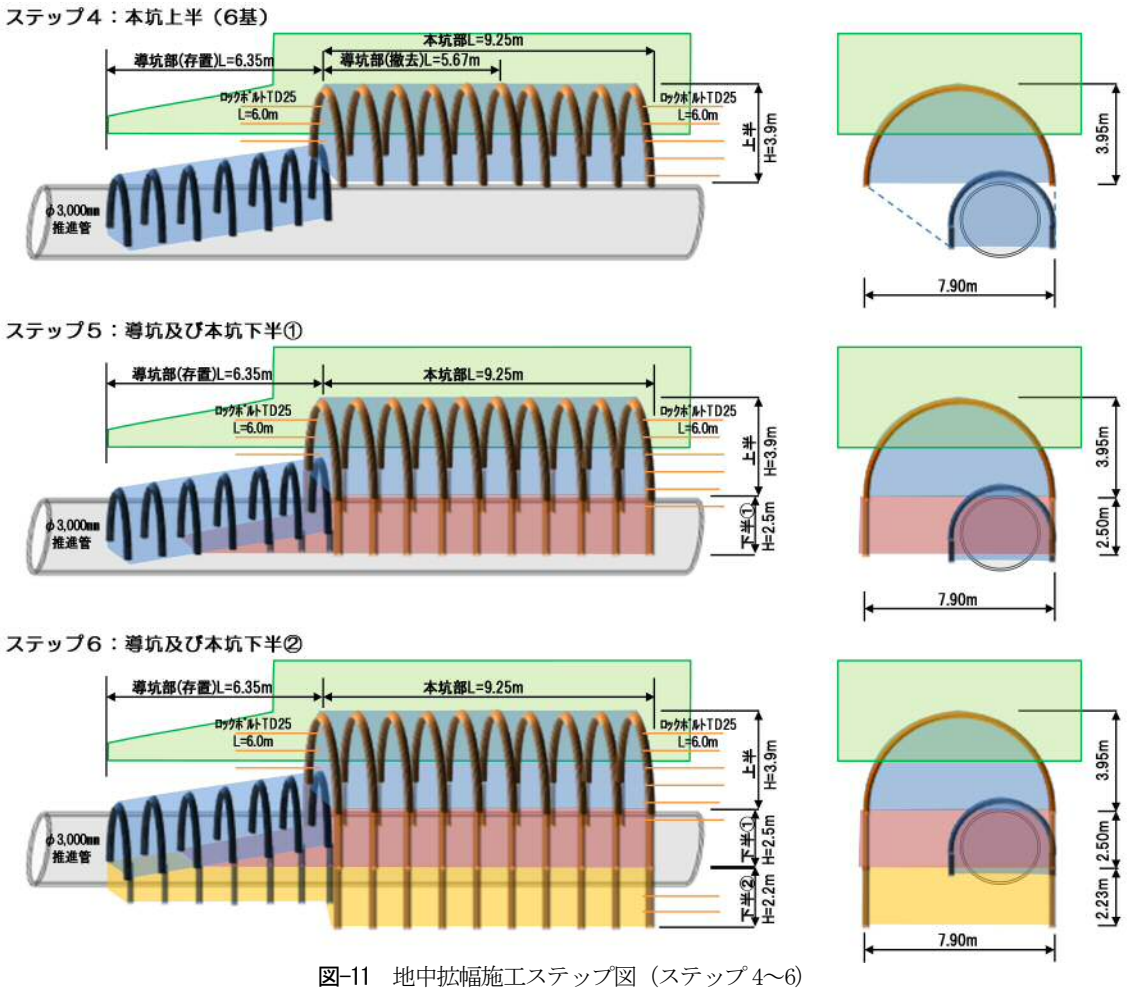

図-11　地中拡幅施工ステップ図（ステップ 4～6）

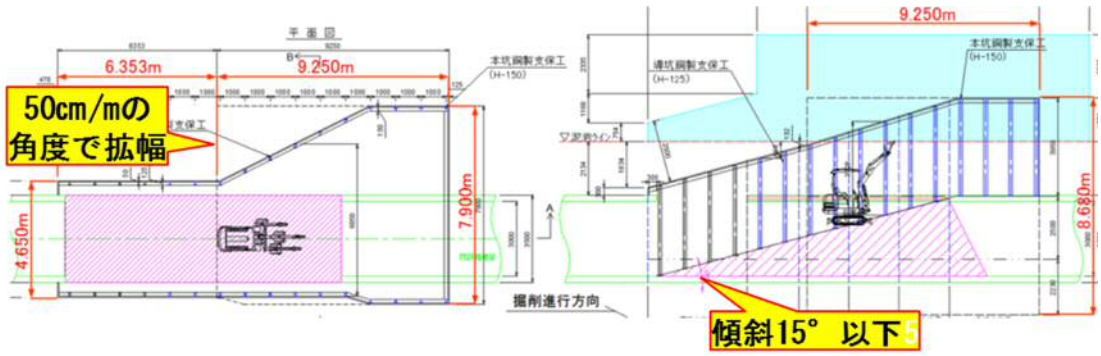

図-12　導坑上半施工図

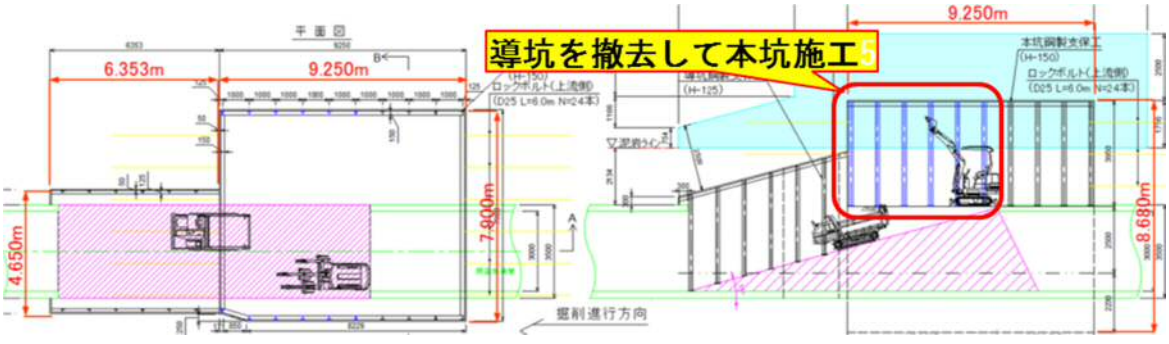

図-13　本坑上半施工図

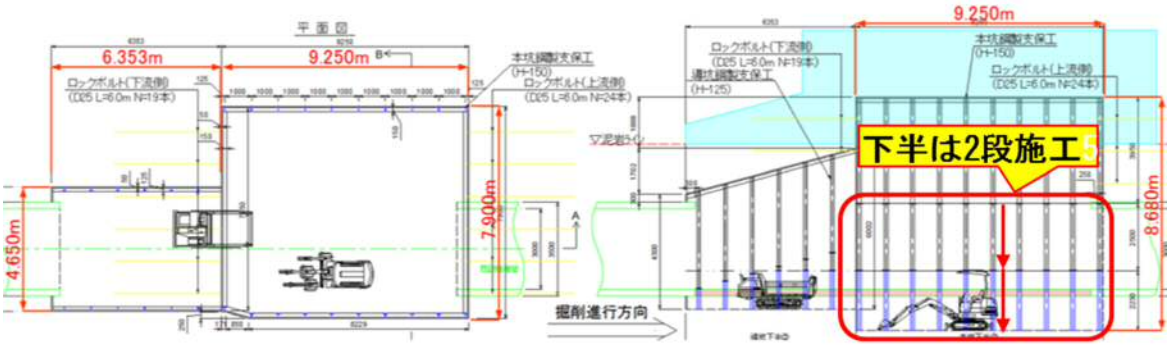

図-14　下半施工図

写真-2 導坑上半施工状況(ステップ 2)

写真-3 本坑上半施工状況(ステップ 3, 4)

写真-4 本坑・導坑下半施工状況(ステップ 5, 6)

写真-5 吹付コンクリート施工状況

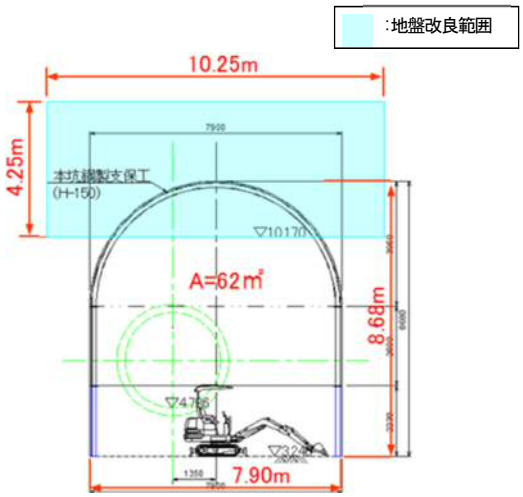

図-15 施工断面図

表-2 吹付コンクリート配合表

コンクリートの配合 18-18-13N						
W/C	S/A	単位量(kg/m3)				
(%)	(%)	セメント	水	細骨材	粗骨材	高性能AE減水剤
59.5	75	375	223	1201	413	3.75

(2)　吹付コンクリートの施工について

吹付コンクリートの製造は，生コンプラントからの購入とし，施工箇所までの運搬方法は，アジテータ車などで坑内搬送する方式とコンクリートポンプで圧送する 2 案が考えられた．呼び径 3000 ㎜の既設推進管内を搬送できるアジテータ車は，3 ㎥級が最大となり連続的な吹付施工が困難であるためコンクリートポンプで圧送し，吹付ロボット一体型装置(吹付機・吹付ロボット・急結材供給装置)で吹付けを行う圧送方式を採用した．圧送距離は，285m(垂直 15m，水平 270m)であり，コンクリートの長距離圧送実績からも十分可能と判断した．

吹付コンクリートの配合については，生コンプラントでの試験練および現地での圧送・試験吹付を行い，配合を決定した(**表-2**)．施工状況を**写真-5** に示す．

(3) 盛土層における地盤改良

地中拡幅による施工では，トンネル天端部に脆弱な盛土層(埋土層)がある範囲において周辺環境への影響やトンネルの構造への影響が懸念されるため，その対策として，盛土層をトンネル断面天端部の泥岩層不足部分に高圧噴射攪拌工法(JEP-G 工法)による地盤改良を行うことでトンネル掘削に必要な地盤強度を確保することとした．

a) 二次元 FEM 解析

地盤改良施工にあたり，トンネル施工に必要な地盤改良範囲として，改良幅と改良厚の検討を行った．検討方法として，「JEP-G 工法技術・標準積算資料(第 2 版)」[1]に従い必要改良範囲を設定した(**図-16**，**表-3** 参照)．次に地中拡幅断面での二次元 FEM 解析を行い，施工に伴う地表面沈下およびトンネル坑内変位，トンネル支保工応力，トンネル周辺地山のひずみに着目した安定性評価を行い，設定した地盤改良範囲の有効性を確認した．

図-17 及び**表-4** に沈下量の確認位置と各地点での最大沈下量の検討・予測と施工後の結果を示した．未改良時は沈下量が許容値を超えるが，改良時は全ての地点で許容値以内となり，施工後の計測でも許容値を大きく下回る結果となった．

b) 高圧噴射攪拌工法(JEP-G 工法)による地盤改良

改良箇所は埋設管が輻輳しており，埋設管をかわして改良体を効率よく配置し(**図-18**，**図-19** 参照)，1 回の改良範囲を大きくすることで，本数削減，工程短縮となり経済性に優れる大口径の工法を選定した．本工事では，その中で JEP-G 工法を採用した．

表-3 シールド発進部における改良厚さ

D	$D<1.0$	$1.0\leqq D<3.0$	$3.0\leqq D<5.0$	$5.0\leqq D<8.0$
B	1.0m	1.0m	1.5m	2.0m
H_1	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m
H_2	1.0m	1.0m	1.0m	1.5m

表-4 各地点での最大沈下量

測点	許容値	計測沈下量(mm)				実測沈下量(mm)	
		未改良	判定	改良時	判定	施工後	判定
①		177.8		24.0		12	
②		177.8		24.0		12	
③	－	13.7	－	10.9	－	6	－
④		13.7		10.9		7	
⑤		7.0		5.7		3	
⑥		7.0		5.7		2	
⑦		52.2	×	11.7	○	4	○
⑧		47.6	×	10.8	○	3	○
⑨	15 (mm)	36.5	×	8.6	○	2	○
⑩		24.2	×	5.9	○	2	○
⑪		14.4	○	3.6	○	1	○
傾斜(家屋)	0.0010(rad)	0.0022	×	0.0005	○	0	○
上水道	20 (mm)	54.1	×	12.1	○	0	○
ガス	15(mm)	53.7	×	12.0	○	2	○

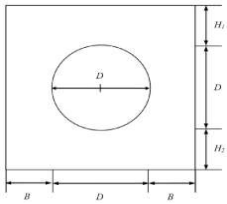

図-16 発進・到達防護の最少改良厚

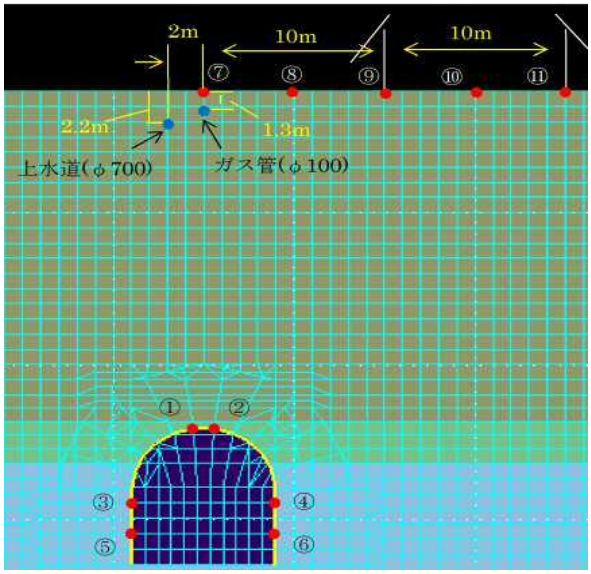

図-17 沈下量確認位置図

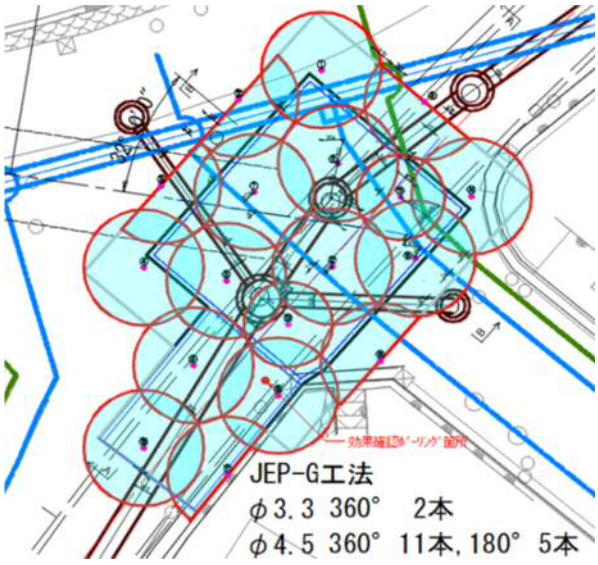

図-18 地盤改良平面図

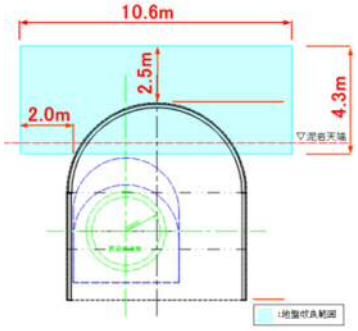

図-19 地盤改良断面図

写真-6 トンネル拡幅施工完了全景

6. おわりに

本シールド発進立坑施工箇所における対策の施工実績として，高圧噴射撹拌工法は 2.5 ヶ月，NATM 施工に 2.5 ヶ月を要し，平成 28 年 2 月に無事施工が完了した(**写真ー6**)．懸念された掘削による地表面沈下は対策を講じたことで最大で 4 ㎜であった．本工事では，地山の土質は泥岩が主体で自立性に富み，肌落ちも少なく，湧水量も毎分 4～10ℓと少量であったため，安全に施工できた．反省点として，呼び径 3000 ㎜と狭小な推進管内の搬送可能な掘削機械は 0.1 ㎥級以下のバックホウで，ブレーカーを併用して掘削したが，余掘りが大きくなり吹付量が 250%と多かった（通常 150～200%）．0.25 ㎥級のツインヘッダを地上で解体・坑内運搬し組立する方法など，本工事のデータと比較検討し，掘削効率や経済性も含めた重機選定に今後活かしていきたい．

住宅が密集し，埋設管や架空線なども輻輳する市街地での立坑の施工は，非常に困難である．シールド発進立坑は，地上から土留め掘削して構築する方法が主流ではあるが，今回のように地中内から地盤改良を併用して NATM で拡幅し，シールド機発進のための空間を確保する工法は，周辺住民の環境負荷を低減し，様々な用途に採用できると考える．今回の試みがシールド工事の発展へ寄与することを願う．

参考文献

1) 特殊 JEP 工法研究会：JEP-G 工法技術・標準積算資料(第 2 版)，2014.

(2017.8.11 受付)

CONSTRUCTION OF THE SHIELD DEPARTURE BASE THAT PERFORMED UNDERGROUND WIDENING OF AN EXISTING PROMOTION PIPE

Hideki TAKEDA, Masashi NAITOU, Takuto NAKAYAMA and Yuki ISHIHAMA

This construction constructs a local rainwater retention pipe to reduce inundation damage caused by the large-scale rain for a short time in φ 3,000mm muddy water type shield tunneling. It was a plan that the shield departure base cut in on the φ 3,000mm existing promotion pipe by φ 8.0m liner and constructed a shaft, but because an undergrounding pipe and overhead wire were congested, and there were many problems by construction of the crossing region where there were many house crowd ground and traffic, I widened it by tunnel construction among the ground from the inside of the existing promotion pipe, and the drafting of the method to find space for shield departure examined it.