

上下2段・小土被りの近接雨水貯留管推進工事

Construction of Rainwater Retention Pipe in Microtunneling Method with Small Clearance between Twin Pipes of Top and Bottom, Small Earth Cover

藤分 雅己*1
Masami Fujiwake

山内 佳樹*1
Yoshiki Yamauchi

神田 勇二*2
Yuji Kanda

要旨

本工事は、埼玉県川口市桜町3・5丁目浸水常襲地区の浸水対策事業の一環として貯留管（貯留能力3,600m³）を泥水式推進工法により敷設するものである。貯留管は内径3.0m、上下2段の離隔1.1m、最小土被り3.5mと過去に類のない上下2段・小土被りでの推進工事である。本報告は、後施工の上段管施工時において、先行敷設された下段管に悪影響を与えず、かつ地表面に大きな沈下を与えずに施工を完了した推進工事の紹介である。

キーワード：上下2段近接施工 小土被り 切羽の安定対策 濃縮式推進工法 周辺環境対策

1. はじめに

埼玉県川口市鳩ヶ谷地区の雨水排水施設整備は、幹線系統が一部整備されているものの既設水路に依存しており、都市化の進展に伴い増大する雨水流出量により都市型浸水被害が発生している。このため川口市では、雨に強い都市づくりを目指すべく雨水対策事業が展開されており、本工事もその一環として川口市桜町3・5丁目浸水常襲地区に貯留施設を泥水式推進工法により築造するものである。

本工事は戸建住宅が密集している住宅地内の幅員約6mの狭隘な市道下に貯留能力3,600m³の貯留施設を造るため、内径φ3.0mの上下2段管渠という構造となり、上下段管の純離隔1.1m（0.31D、D：推進管外径3.5m）の近接施工が求められた。

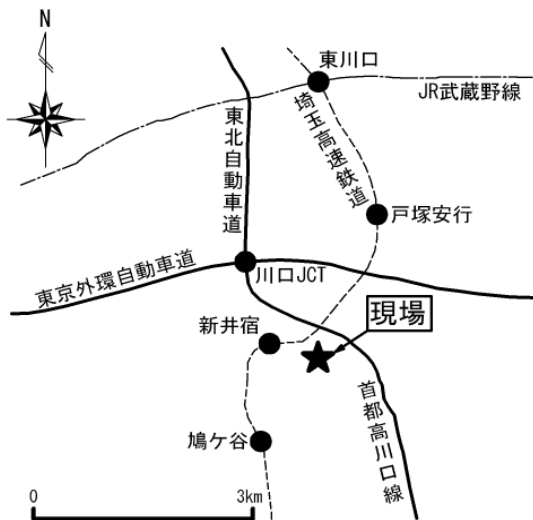


図1 工事位置図

このような上下2段の大口径推進工事は、これまでに類のない計画であり、過去の実績もない。さらに、上段管の最小土被りが3.5m（1.0D）と非常に小さく、民家と管渠の水平離隔は最近接部で約3mと掘削外径より小さい。

対象土質は下段がN値40程度の細砂層が主体であるが、上段はルーズな粘土質細砂～砂で崩壊性が高い。

このような条件下で推進工事を行うにあたり、周辺地盤へ影響を与えず、精度よく高品質な推進管を敷設するための施工上の課題とその対策の実施について報告する。

図1に工事位置図を示す。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：桜町排水区浸水対策貯留管工事
発注者：川口市
施工者：(株)鴻池組
工事場所：埼玉県川口市桜町地内
工期：平成23年6月22日～平成25年6月28日
内径：3.0m 上下2段
上下管離隔：1.1m
推進延長：260.75m(1スパン)×2段
土被り：3.5m～9.5m(上段管)
線形：R=700m
勾配：上り0.2‰(上下段共)

施工路線図を図2、貯留管概要図を図3に示す。

*1 東京本店 土木部 *2 土木事業本部 技術部

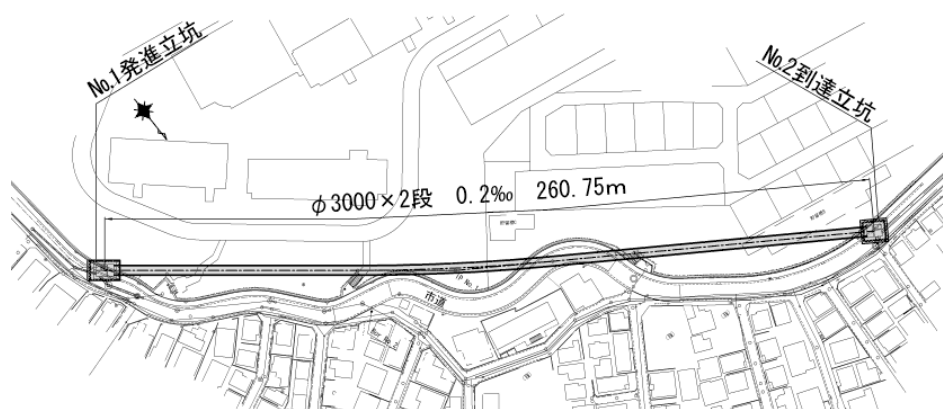


図2 施工路線図

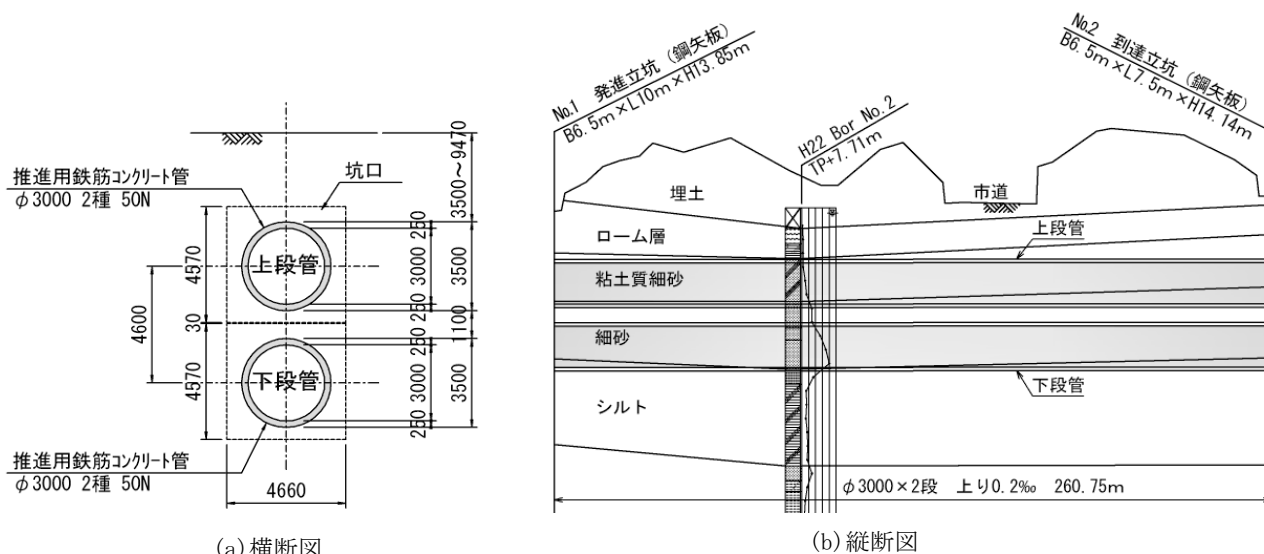


図3 貯留管概要図

3. 施工上の課題

3.1 切羽の安定

前述のような厳しい土質条件において、大口径推進工事の切羽安定の難度は高い。

さらに下段（先行施工）で切羽を乱すと推進管上部の地山が緩み、上段を施工する時には切羽安定が非常に難しくなる。上下2段の切羽の乱れが重ね合わされると、地表面に大きな影響が出るのが懸念されるため、特別な切羽管理方法が要求される。

3.2 テールボイドの保持

地表面の沈下は、切羽の緩みによる先行沈下と掘進機後方のテールボイド部（地山と推進管の隙間）に発生する後方沈下に大別される。

テールボイド部分は、地山と推進管の摩擦による地山の緩みや滑材の地山への逸散に伴う収縮などにより減少する。したがって、このボイド部分の保持が重要である。

3.3 上段管推進時の姿勢制御

下段管推進時に上部の地盤を緩めると上段管推進時の地盤反力が取れなくなり、姿勢制御が困難となる恐れがある。

このため、上段管施工時には小さな地盤反力で姿勢制御できる方策を準備しておく必要がある。

3.4 下段管渠の挙動

これまでに類を見ない推進管同士の間上下2段での近接施工であるため、上段管施工時の下段管渠への影響が懸念される。

そこで、上段発進直後の区間で下段管渠の挙動を計測し、大きな影響が及ばないように上段の切羽管理に反映させる必要がある。

3.5 発進基地の周辺環境

本工事の発進基地における周辺環境は、戸建住宅が密集しており、近接民家との離隔約7.0mの位置に泥水プラントヤードを配置する計画となっており、推進工事に伴う騒

音・振動に関する環境対策は非常に重要である。
 写真1に発進基地の状況を示す。



写真1 発進基地全景

4. 対策の実施と効果

4.1 切羽の安定対策

周辺地盤の緩み防止や地表面への影響防止対策としては、切羽の安定性向上を図ることが最も重要である。

切羽安定の一つの方法として切羽圧力を上昇させる方法があるが、当該地盤の最上層には軟弱なローム層が存在し、地盤隆起を生じさせる可能性があるため、むやみな圧力上昇管理はできない。

残る方法は泥水の品質管理である。本工事において更なる切羽の安定性を確保するためには、通常の泥水品質管理では不足と考え、鴻池組・南野建設で共同開発した濃縮式推進工法＝CCモール(Circulate Concentration Mole)を適用することとした。

CCモールは送泥水に高性能分散剤 AK-2000（東亜合成・鴻池組共同開発）を添加することで、粘性上昇を抑制し、 $\gamma = 1.3$ 以上の高比重低粘性泥水を還流させて掘削する工法である。

分散剤を添加された泥水は、その中に含まれる微細粘土粒子の電気的結合が切断されることで粘性が落ち、さらに地山の土の間隙に未結合の小さい粘土粒子が入り込み不透水性の泥膜を速やかに形成できる性質がある。

本工法の本来の目的は、高比重まで泥水を使用し余剰泥水量の削減を図る（仮に $\gamma = 1.2$ と $\gamma = 1.35$ で泥水管理した場合は、土粒子の真比重に左右されるが、概ね発生する余剰泥水は半分となる）ことであるが、本工事では、粘土粒子量が倍増した高比重泥水を切羽に送り、泥膜の形成能力を高めることで、副次的に切羽の安定性を向上させる特徴に着目して適用した。

図4に濃縮式推進工法（CCモール）の概念図を示す。

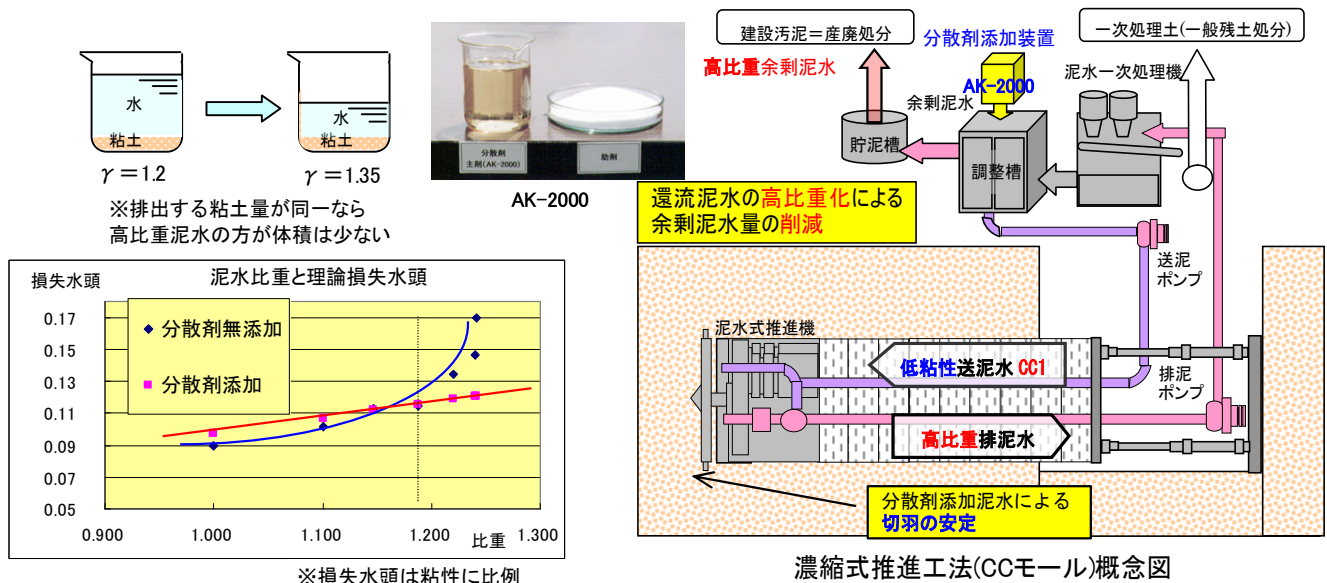


図4 濃縮式推進工法（CCモール）概念図

実際の適用では造壁性の向上を確認するため、加圧ろ過試験(API規格:圧力0.3MPa、ろ過時間30分)を実施した。写真2、写真3に加圧ろ過試験実施状況、表1に試験結果を示す。試験結果は、添加ありの場合がなしの場合に比べて、ろ水量が約50%、泥膜厚さが約70%と十分な造壁性の向上効果を確認できた。

なお、AK-2000の添加により、還流泥水の高比重化(1.2→1.35)による余剰泥水量の削減を図ることができた。

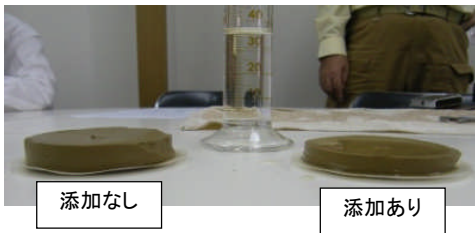
表1 加圧ろ過試験結果

試験泥水性状	比重	ろ水量	泥膜厚さ
	-	(cc)	(mm)
AK-2000添加なし	1.35	156	13.5
AK-2000添加あり(20kg/m ³)	1.35	72	9.6



AK-2000 添加による造壁性の向上を確認するための試験装置。鋼製の円筒内に泥水を入れ圧力をかける。初期はフィルターを通過した水がシリンダーに落ちるが、やがてフィルター上に泥膜が形成され通過する水が少なくなる。

写真2 加圧ろ過試験装置



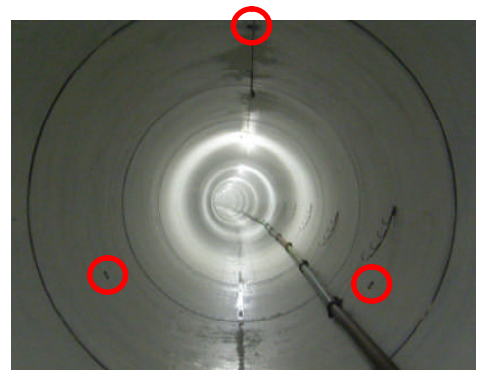
上記試験装置の円筒内に形成された泥膜。左がAK-2000添加なし、右がAK-2000添加あり。添加ありの場合は、シリンダーに落ちた水量も少なく、薄い泥膜が早期に形成されたことがわかる。

写真3 形成泥膜状況

4.2 テールボイド保持対策

テールボイド部から生じる周辺地盤の緩み防止対策としては、掘進機後端から裏込めの効果を目的とした一次滑材を速やかに充填し、一次滑材が地山に浸透・定着して層を形成した後に減摩効果を目的とした二次滑材を注入する2段階の滑材管理を行う方法を採用した。

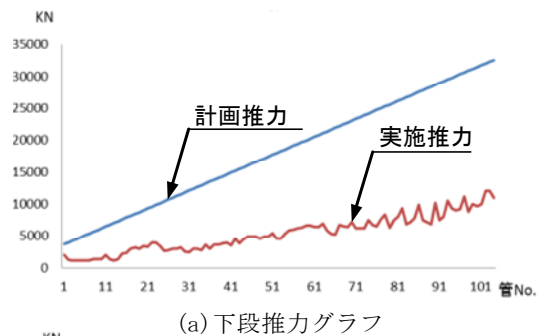
一次滑材としてはチキソトロピー性(塑性状の固体であるゲルに外力を加えると流動性のあるゾルに変わり、外力がなくなるとゲルに戻る性質)を有することで裏込めの効果を発揮するゲル滑材を使用した。さらに、このゲル滑材を大口径管外周全体に確実に充填させるため、注入孔を推進管1本当たり3箇所(通常1箇所)設置した多孔管を製作し、先端管より2本目で充填を行った。以後25m毎に多孔管を設置し、二次滑材として推力低減効果を主とする高分子系滑材は75m後方の多孔管から注入した。多孔管敷設状況を写真4に示す。



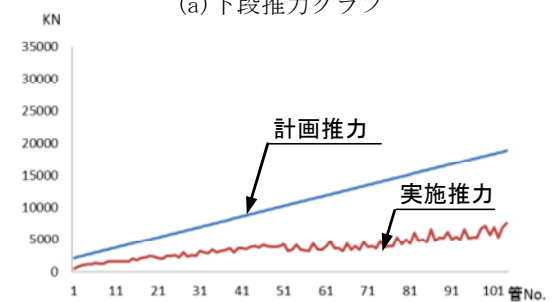
○: 多孔管(注入孔3箇所/推進管1本)

写真4 多孔管敷設状況

その結果、下段管推進時の推力は計画推力の約1/3、上段管推進時の推力は計画推力の約1/2で施工することができた。推力実績グラフを図5に示す。また、地表面の変状等も見られなかったことから、滑材の裏込め効果と推力低減効果が十分得られたものと考えられる。



(a) 下段推力グラフ



(b) 上段推力グラフ

図5 推力実績グラフ

4.3 上段管推進時の姿勢制御対策

泥水式大口径掘進機は外径に比べ機長が短いため、姿勢制御時に地盤反力を受ける面積が小さい(写真5)。そこで上段管推進時の姿勢制御対策として急曲線用開口調整装置(UCS: Unit Curve System)を掘進機後方の管継手部に追加設置した。

UCSは通常急曲線施工(曲率半径 $R=75D$ 以下: $D=3.5m \Rightarrow R=262.5m$ 以下)に使用するものであり、管継手部に8本のスクリージャッキを設置し、ジャッキの伸縮長を調整することにより上下左右の姿勢制御が自由に行えるものである(図6、写真6)。

さらに、下段管先行施工時に発生する上部土層の緩みにより上段施工時の掘進機が沈下傾向となることが懸念された。自沈による鉛直方向の修正は、掘進機に装備された方向修正装置だけでは機長が短いため地盤反力を受ける鋼殻面積が不足し、修正が困難となる可能性が高い。また、修正箇所が掘進機後方だけでは微修正がきかず、安定した方向修正が困難になることが懸念された。

そこで、掘進機からの後続管4箇所(継手部)にUCSを設置し、あらかじめ下方部のスクリージャッキを約2mm伸ばし、この管列全体(2.43m×4=9.7m)で地盤反力を受ける面として推進工事を施工した(図7)。

結果として新たにUCSを作動させることなく、掘進機による修正作業のみで精度よく到達することができた。これは前項に記載した切羽とテールボイドの安定対策の効果が出たものとする。

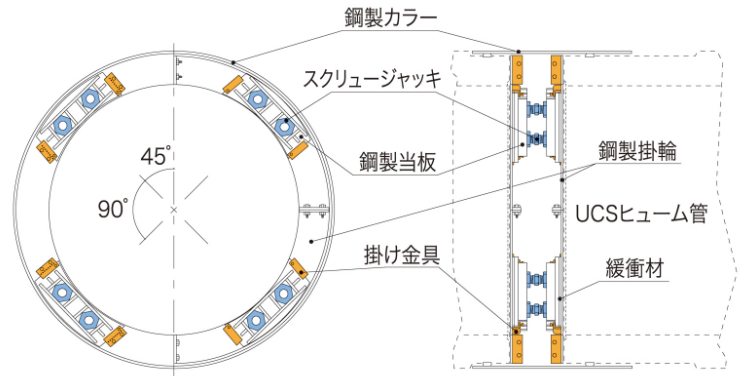


図6 開口調整装置(UCS)設置図



写真5 φ3000mm用泥水式掘進機



写真6 開口調整装置(UCS)設置状況

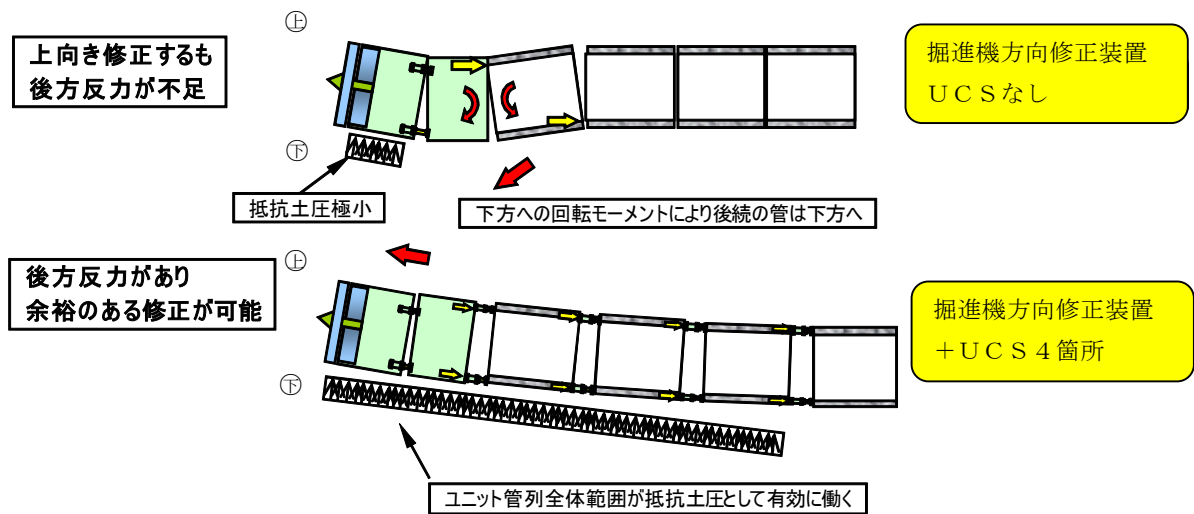


図7 開口調整装置(UCS)使用状況図

4.4 下段管挙動計測等の実施

4.4.1 下段管の挙動計測

上段管推進時の既設下段管の挙動を把握するため、発進直後の区間で以下の計測を実施した。

- ①管の内空変位（鉛直、水平）
- ②管の鉛直変位（沈下、隆起）
- ③管の発生応力（上下、左右）
- ④継手部目開き量

計測機器の設置位置を図8に、設置状況を写真7に示す。

上段管推進開始から早期に挙動を把握するために発進立坑から25mを計測区間とした。なお、各計測項目のうち①～③は自動計測、④は手動計測で行った。

4.4.2 地表面沈下計測

下段管推進開始から上段管推進完了まで、地表面の沈下測定（レベル測定）を毎日2回（作業開始前、終了後）実施した。測定位置は、推進管直上で延長方向20m間隔を基準とし、上段管推進時に小土被りとなる発進部と市道部は2m間隔に測点を設け、緻密な測定を実施した。

計測を実施するにあたっての管理基準値は、事前に実施した影響検討解析（二次元FEM解析、図9）結果および管の許容曲げ引張応力度等から定めた。

4.4.3 計測結果

表2に計測結果一覧を示す。計測結果は一部解析値を超えているが、管理基準値以下で推移し、下段管にクラックや継手部の目開き等の上段管推進の影響は発生せず、無事推進工を完了できた。

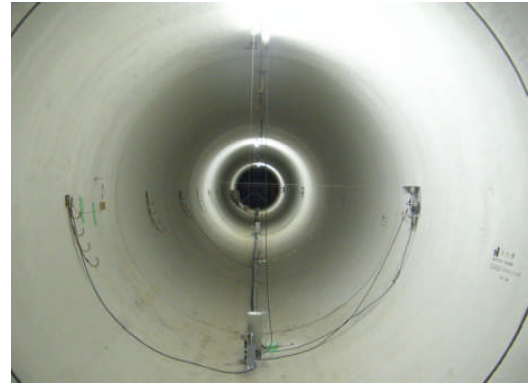


写真7 計測機器設置状況

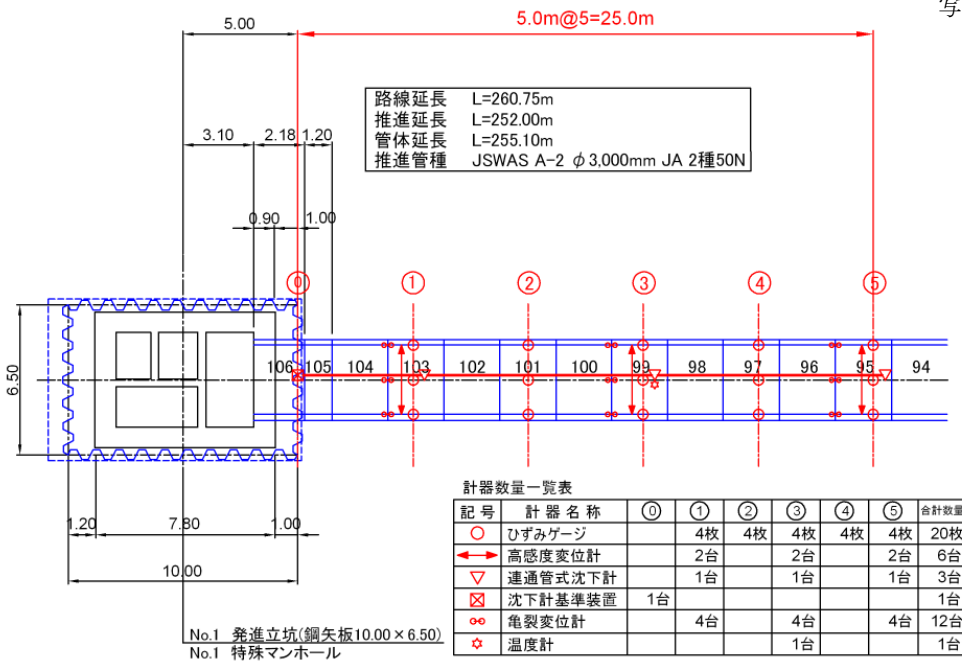


図8 計測機器設置平面図

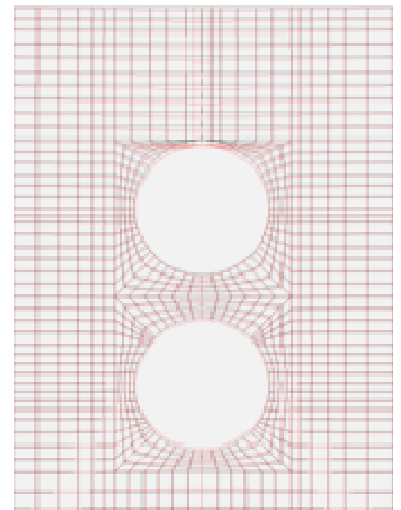


図9 FEM解析図(変位図)

表2 計測結果一覧(上段管施工時)

計測項目	解析結果	管の許容曲げ引張応力度	管理基準値	計測値(実測値)
下段管の内空変位 (mm)	0.3拡大(鉛直) 0.3縮小(水平)	—	1.0 (鉛直・水平)	0.3~0.8拡大(鉛直) 0.2~0.4縮小(水平)
下段管の鉛直変位 (mm)	0.13沈下	—	1	0.5沈下
下段管の曲げ引張応力度 (N/mm ²)	0.67(側部内側)	7.5	5.0	2.1(側部内側)
地表面沈下量 (mm)	最大9.5	—	5	2

4.5 発進基地の周辺環境対策

4.5.1 振動対策

本工事では、大口径掘進機の泥水一次処理機（振動ふるい）から発生する振動が大きな懸念事項であった。外径4.0m級のシールドに適用する能力を持つ振動ふるいと近接民家との離隔は約7.0mしかなく、しかも前述の軟弱粘土層の上部に設置することとなる。

そこで、振動ふるい脚部にエアダンパーを使用し、さらに振動ふるい下部に基礎コンクリート（H=60cm）を設置し減衰効果による対策を施した。本施工に入る前のプラント試運転時に官民境界部において振動測定を行った結果、振動レベル60dBまでは減衰できたが、近隣住民との協議の中で室内において僅かな微振動を感じるとのことから、更なる対策が必要となった。追加対策としては、基礎コンクリートと振動ふるいとの間に防振ゴムシートを設置した。結果として振動レベルは57dBとなり、3dBの低減効果が得られ、住民からも振動がほとんど感じられないとの評価を受け、本施工に着手した。振動対策実施状況を写真8～10に示す。

4.5.2 騒音対策

騒音対策としては、泥水一次処理機（振動ふるい）を防音ハウス（TYPE B）で覆うことにより、官民境界部において騒音レベルを53dBまで低減することができた。また、作業用重機の騒音対策として、土砂搬出用バックホウに極低騒音型（NETIS登録CG-100015-A、KK-100065-A）を採用した結果、官民境界部での騒音レベルは65dBとなり、超低騒音型より5dB程度の騒音低減効果が得られた。これらの対策効果により、沿道住民から騒音・振動の苦情もなく工事を完了させることができた。騒音対策実施状況を写真11に示す。



写真8 振動ふるい

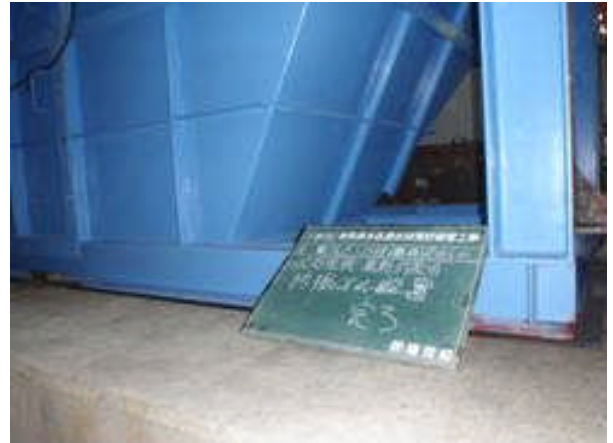


写真9 防振ゴムシート設置状況

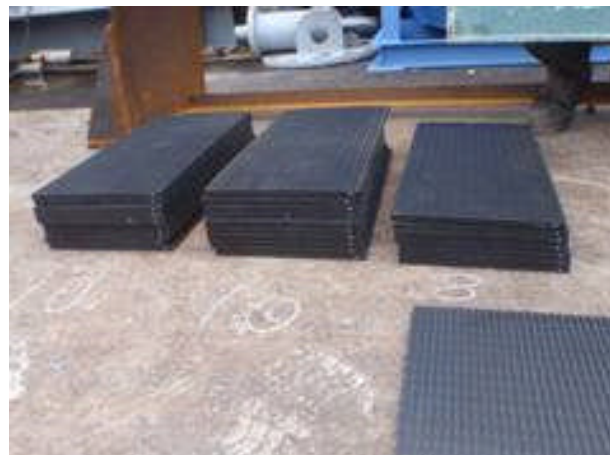


写真10 防振ゴムシート



写真11 騒音対策実施状況
(防音ハウス、極低騒音型バックホウ)

5. 施工状況

施工状況を写真12～16に示す。



写真 12 掘進機設置状況（下段管施工時）



写真 13 初期掘進状況（上段管施工時）



写真 14 推進工管内状況

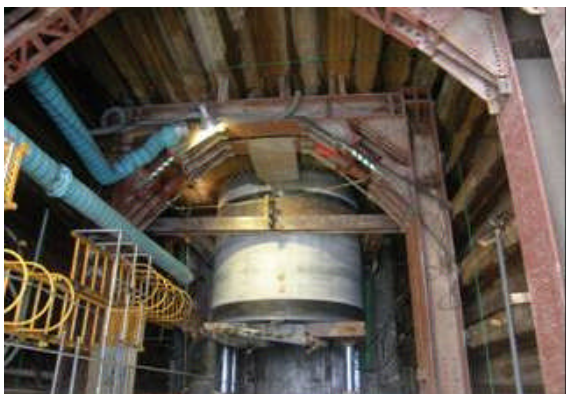


写真 15 発進立坑内状況（下段管施工時）



写真 16 上下2段推進管敷設完了

6. おわりに

本工事は小土被り、小離隔での上下2段近接施工というこれまでに類のない厳しい施工条件での推進工事であったが、地山の緩みを防止する対策を何重にも講じ、周辺地盤および先行推進管の挙動を観測・把握しながら施工を行った結果、安全かつ高精度に推進を完了することができた。本工事で採用した対策の一つが欠けたとしてもこの結果は得られなかったものと予想され、万一の場合を想定し何重にも対策しておくことが重要であることを再認識した工事であった。

なお、本工事は地域住民の方々の浸水対策事業に対する強い要望に基づいて開始され、住民説明会においてその趣旨を充分ご理解頂いた上で着手し、順調に施工を行うことができた。

最後に、発注者をはじめとする関係各位の皆様の多大なるご協力ならびにご指導、ご鞭撻を頂いたことに心より御礼申し上げます。また、本工事が今後の計画・設計・施工の一助となれば幸いである。