

横2連型泥土圧重合円式シールド工法による下水道工事の施工

Construction of a Sewerage Tunnel by Double-O-Tube Method (DOT)

浅沼 清*
Kiyoshi Asanuma

要 約

本工区（習志野市菊田川2号幹線管渠建設工事その3工区）は、管渠布設の上下方向に制約がある。つまり下限に対しては潮位と管底高の関係、上限に対しては鉄道下の横断（2カ所）である。これらを満足してなおかつ計画流量を確保するには、断面積の点で円形シールドでは不可能である。そこで横2連型泥土圧重合円式シールド（DOT）工法が採用された。

本報文は、当工区の種々の制約条件を踏まえてのシールド機の特徴と仮設備そして補助工法、また地盤および重要構造物への影響を避けることのできたシールド掘進管理等についての施工報告である。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. 地質概要
- §4. 工法の選定
- §5. セグメント
- §6. シールド機
- §7. 仮設備概要
- §8. 補助工法
- §9. 施工結果
- §10. おわりに

ち、本流域の主要幹線である菊田川2号幹線は、総延長約4.1kmの計画で、昭和59年度より着手されている。当工区（菊田川2号幹線その3工区）は、これらの上流にあたり、日本下水道事業団が習志野市より委託を受け、延長585.531m（仕上がり内径φ3.500mm×W6.700mm）のシールド工事である。

本工事は、掘削対象土質ならびに潮位の影響を受けることのない管底高、また鉄道下横断からの土かぶりの制限、さらに計画流量能力を可能とするトンネル断面積の確保等の検討から、首都圏初の横2連型泥土圧重合円式シールド（DOT）工法で施工を行った。以下本シールド工事の施工報告を行う。

§1. はじめに

菊田川流域における下水道幹線の整備は、JRおよび京成津田沼駅周辺の整備を図るとともに、流域内の浸水被害を防止するうえで重要な役割を担っている。そのう

§2. 工事概要

当工区は横2連型泥土圧重合円式シールド（DOT）の工事である。路線内には重要構造物であるJR総武線、京成線および新京成電鉄線下の横断があり、また到達側400mは路線に沿って民家が点在する。この区間は腐植

*東関東(支)茨木土木(出)工事主任

土層が介在する沖積砂層で、土かぶりは1 D(4.45 m)以下の掘進となる。なかでも京成、新京成電鉄線の横断前後の約200 mは土被りが2.5 m以下(最小土かぶり2.15 m)となり非常に厳しい条件下での施工となる。平面図を Fig. 1 に示す。

- ①工事件名 習志野市菊田川2号幹線管渠建設工事その3工区
- ②企業者 日本下水道事業団
- ③工期 平成2年11月20日～平成4年9月30日
- ④施工場所 津田沼1-22地先～津田沼5-12地先
- ⑤ 工事内容
 - a. シールド 泥土圧重合円式シールド工法(DOT工法)
(外径×長φ4,450 mm×W7,650 mm×L5,195 mm)
 - b. トンネル延長 585.531 m
 - c. セグメント RCセグメント
外径φ4,300 mm×W7,500 mm
幅×高さ W900 mm×H200 mm
 - d. 掘削断面積 28.446 m²
 - e. 発進立坑 14.0 m×14.0 m×11.8 m
(鋼矢板V L型 L=19.0 m)
 - f. 到達立坑 10.5 m×12.8 m×9.9 m
(SMW φ550 mm L=21.0 m)
 - g. 補助工法 発進、到達防護 CJG工法

掘進防護 CJG工法
 家屋防護 柱列攪拌杭工法
 (φ600 mmテノコラム)
 h. その他 土被り 最大 9.86 m 最小 2.15 m
 線形 平面 R=200 m 7箇所
 縦断 1.2% 下り勾配

§ 3. 地質概要

本工区は、関東平野南東部に発達する下総台地の中央部西端に位置している。台地端部にあたる当地区は、台地と台地開析平野および、この台地が浸蝕された後に堆積した部分と、これらの間において堆積の遅れた後背湿地性低地により形成されている。地質は台地に相当する洪積層の下総層群成田層と浸蝕部分に堆積した沖積層に大別される。シールド掘削対象土質のうち、洪積層は当路線において段丘を呈しN値10～20、均等係数2、透水係数10⁻³ cm/secで、流砂現象の起こしやすい砂層である。また、沖積層は腐植土層を挟在する砂層で、腐植土層は含水比160～380%、層厚0.5～2.0 m、上部砂層はN値15～30、下部砂層がN値2～7と低いなどの特徴を有する土質である。地質縦断図を Fig. 2 に示す。

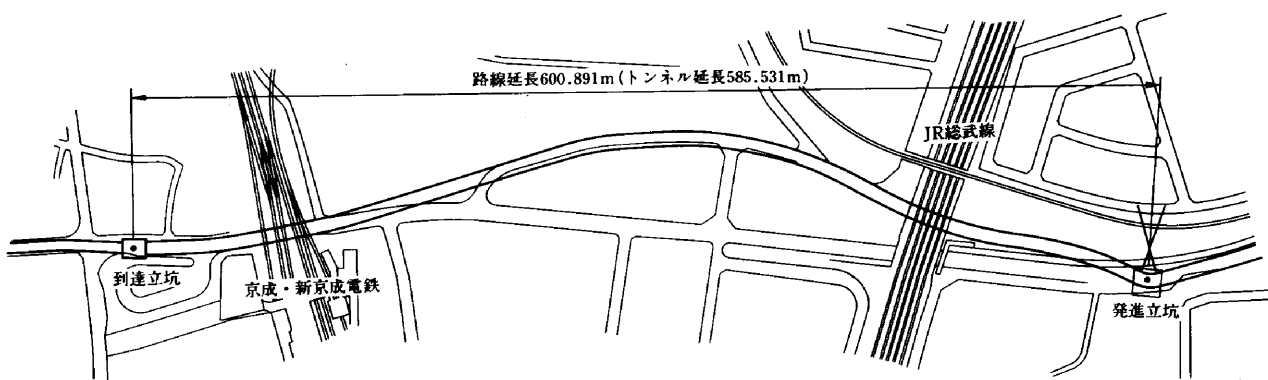


Fig.1 平面図

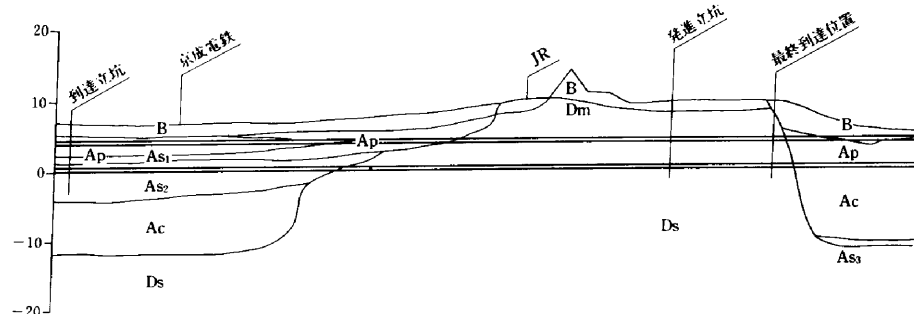


Fig.2 地質縦断図

土層名	記号	土質
盛土	B	砂礫・砂質土 粘性土
第1砂質土層	As ₁	粒子不均一な細砂
腐植土層	Ap	腐植土
第2砂質土層	As ₂	粒子不均一細砂
粘性土層	Ac	シルト 砂混りシルト
第3砂質土層	As ₃	シルト混り細砂
ローム層	D _m	ローム
砂質土層	D _s	粒子の均一な細砂

§ 4. 工法の選定

菊田川 2 号幹線は、自然流下方式で計画されており、また以下の条件がある。

- ① 当幹線の下流部にある分水人孔（到達立坑）において、越流堰が潮位の影響を受けることから、堰の高さを低くすることはできない。
- ② 上流域には地盤高の低い底地部があり、浸水対策からも伏せ越し構造は不可能である。
- ③ 下流能力 40 m³/sec を確保する断面積 (20 m²) が必要である。
- ④ 路線内に京成、新京成電鉄線下の横断があり、土かぶりに制約を受ける。
- ⑤ シールド掘進対象土質は均等係数の小さい砂層、腐植土層を含みさらに *N* 値が小さい。

以上の条件から土質に対しては泥土圧シールド、上下の線形制約と流下能力の確保に対しては横方向に掘削断面積を上げた形状の、横 2 連型重合円式シールドを採用した。

§ 5. セグメント

鉄筋コンクリート平板型 (*B*=900mm, *T*=200mm) で、A 型 6 枚、KL 型、KS 型、中柱各 1 枚の計 9 ピースにより 1 リングを構成する。組み立ては、中央括れ部に相当する大小の KL, KS ピースを上下交互に用いることにより千鳥組みを行う。この KL, KS ピースの分割継ぎ手角は、各断面の中心に向っている。中柱セグメントには、ピース中心部の搬送用吊り金具取り付け孔の他に、組み立て用の吊り金具取り付け孔を 65 cm ずらした位置に別に設けた。テーパセグメントは、曲線用両テーパ ($\delta=52$ mm)、平面修正用片テーパ ($\delta=26$ mm) および上下修正用テーパ ($\delta=20$ mm) の 3 種類のセグメントを用意した。セグメントを Fig. 3 に示す。

§ 6. シールド機

シールド機は、単断面シールド機 2 基を重ね合わせた蘭形断面形状を有し、左右にスポーク形の cutter を装備している。シールド機の主な仕様および構造を Fig. 4 に、シールド機の前面および後面をそれぞれ Photo 1, Photo 2 に示す。以下、シールド機の特徴を示す。

6-1 cutter 駆動方式

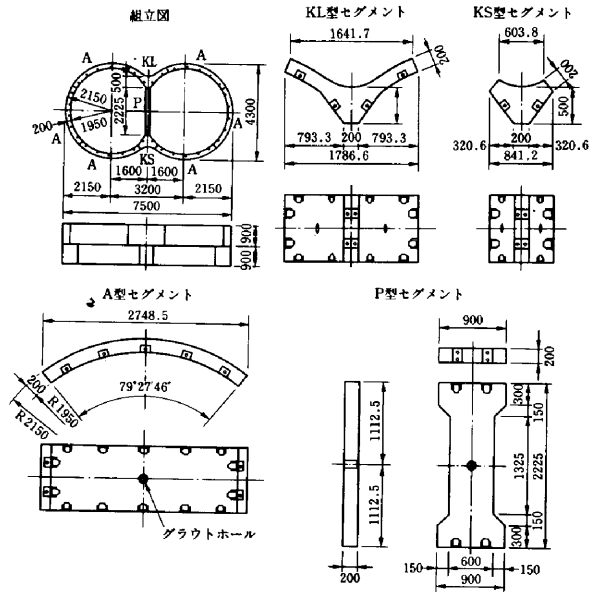


Fig.3 セグメント図

Cutter はスポーク状であることから相互のCutter を歯車状にかみ合わせ、同一平面上で互いに反対方向へ回転し、接触、衝突のない回転制御を行う。その動力は電動方式で、応答性、トルク、回転速度などの直流電動機と同等以上の能力を持つベクトルインバータを装備して、同期制御を行う。

6-2 スクリューコンベア

スクリューコンベアを用いることにより、掘削土砂の搬出効果を高めるとともに、排土口に $\phi 250$ mm の鋼管を接続し、止水効果を向上させた。さらに、スクリュー先端は浅層下での掘進時に掘削土砂取り込み不足による先行隆起を防止する目的で、チャンバ内に半ピッチ突き出させ、取り込みの向上を図る様にした。

6-3 シールドジャッキ

土質条件、本体重心位置などを考慮して下側に 150 tf (1.47 MN) ジャッキ 8 本を、その他は 120 tf (1.18 MN) ジャッキ 16 本を配列した。また、左右斜め下の 5 本ずつを ± 2 度揺動できる構造とし、ローリング修正をできるようにした。コピーCutter は装備余掘り量を 100 mm とし、左右Cutterヘッドに各 1 基の計 2 基を装備した。

6-4 裏込め注入

浅層下の掘進および軟弱な腐植土層部の地表面沈下の減少を図るために、テール括れ部上下に掘進と同時に自動裏込め注入設備を設けた。制御はシールドテール部に取り付けられた土圧計の値をフィードバックする圧力制御、あるいは掘進速度に同調でき

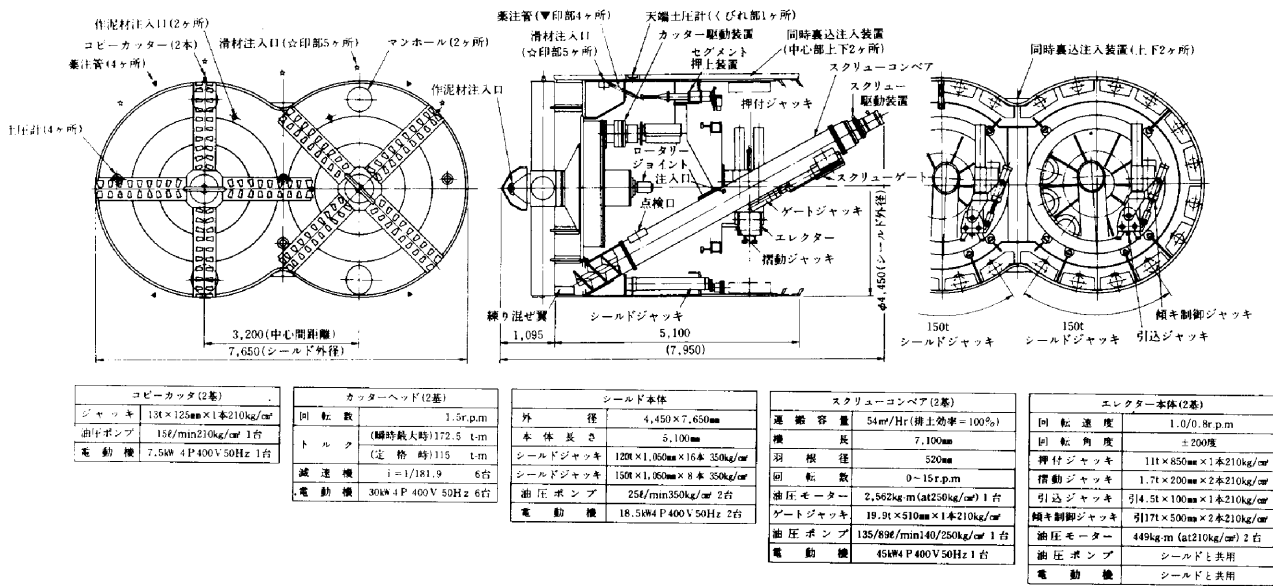


Fig.4 シールド機の主な仕様および構造

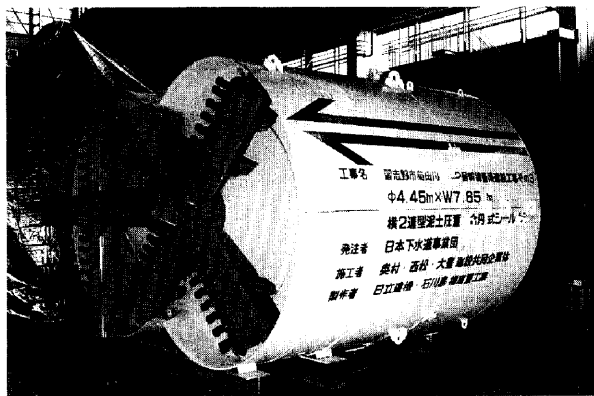


Photo 1 シールド機前面

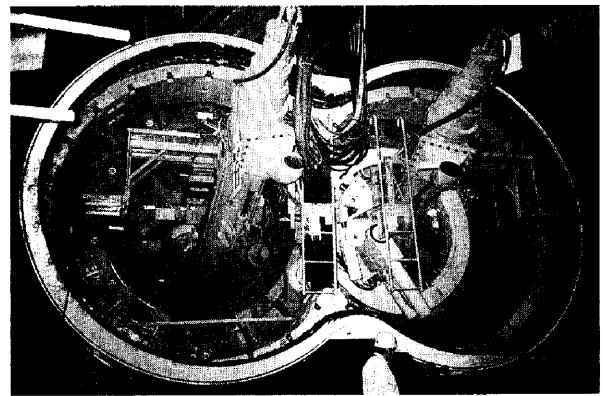


Photo 2 シールド機後面

る量制御を選択できる方式とした。さらに、掘進開始時、一時停止時、終了時あるいは配管洗浄時などのシーケンス制御はシールドジャッキ操作とリンクさせることにより自動化した。裏込め注入材配合表を Table 1 に示す。

6-5 滑材注入式

横2連型重合円シールドは、構造上背面積が広く、浅層下での掘進時に上載土砂を引きずるおそれがある。これを防止するために、土砂付着防止と摩擦低減効果を図る目的で、シールド背面部に5箇所の滑材注入口を設け裏込め注入と同時に注入するようにした。制御は裏込め注入と同様の方法で行った。滑材注入材配合を Table 2 に示す。

Table 1 裏込め注入材配合表

A	固化材	250 kg/m³
	助材	90 kg/m³
液	水	782 kg/m³
	安定剤	1 kg/m³
B液	急硬剤	100 ℓ

Table 2 滑材配合表

ベントナイト	100 kg/m³
マッドオイル	20 ℓ
C M C	2 kg/m³
水	950 kg/m³

6-6 添加材

添加材の基本配合を Table 3 に示す。

6-7 エレクター

特殊形状であるKL型セグメントの桁高を考慮するとともに、作業スペースを大きくとれるように片アーム式とした。また、上部括れ部に位置するKLもしくはKS、中柱セグメント組み立て時の余裕量を確保し、組み立てを容易にするためのセグメント押し上げジャッキを装備した。セグメント組み立て順序を Fig. 5 に示す。

6-8 テールクリアランス測定装置

テールクリアランスを把握し、掘進管理を容易にするため、左右および両天端にリンク式テールクリアランス測定装置を装備し、掘進管理を行った。測定装置を Fig. 6 に示す。

Table 3 添加材配合表

ベントナイト	125 kg/m ³
粘土	150 kg/m ³
水	890 kg/m ³
液比重	1.165
粘度	1000~4000 cp

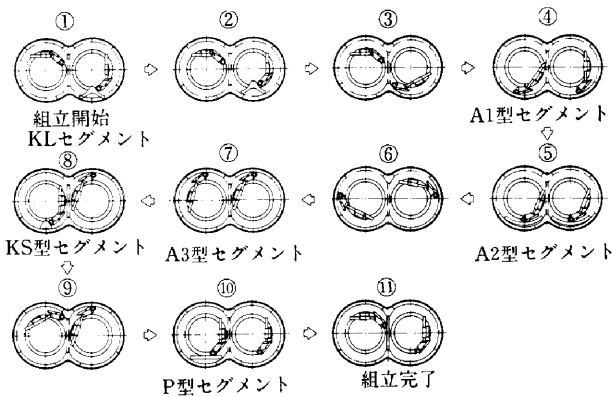


Fig. 5 セグメント組み立て順序

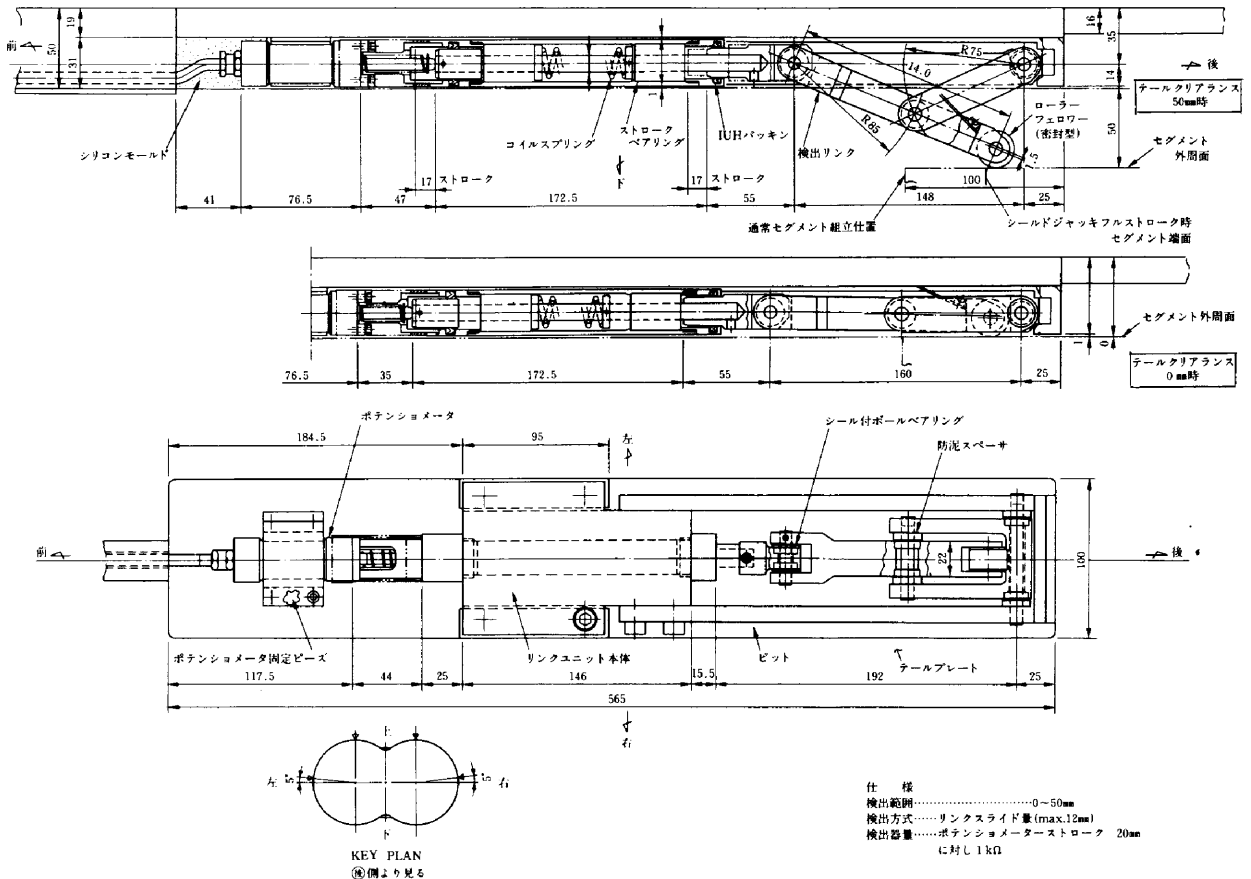


Fig.6 テールクリアランス測定装置

§ 7. 仮設備概要

シールド発進基地は防音建屋を築造し、その中にセグメントヤード、天井クレーン(4.8 t)、土砂ホッパー(160 m³)、裏込め、滑材注入および添加材用プラント、濁水および排水中和処理設備などを收容し、地域の環境保全を図ることとした。掘削土砂の搬出は、坑内の安全性、作業効率の向上を図るため、土砂圧送ポンプによるパイプ(φ250 mm)輸送を行った。セグメントのシールドテール部内までの運搬は、エレクター旋回有効内径が1,350 mmと狭隘であることを考慮し、ホイストを2段に配備する方式とした。

§ 8. 補助工法

8-1 掘進防護工

横2連型泥土圧重合円シールド特有の背面積の広さから、浅層下の掘進時に地山の弛みに伴い、上載土砂を引きずるおそれが考えられる。そこで地山および周辺家屋への影響を防止する目的で、シールド断面上部の地盤改良を行った。工法の選定に際し、施工深度が浅く、腐植土が介在するという条件から、地上からの薬液注入工法では強度の信頼性に期待ができない。また、注入圧による地盤隆起も考えられる等、総合的に判断し、置換工法のコラムジェットグラウト工法を選定した。なお、引きずり現象を起こす最小土かぶり、計算上、約4.50 m以下の場合となり、これによる掘進防護工の範囲は、JR 総武線横断後50 mの地点から到達立坑までの約400 mを改良することとした。掘進防護工を Fig. 7 に示す。

8-2 家屋防護工

シールド掘進に伴う周辺家屋への影響を遮断する

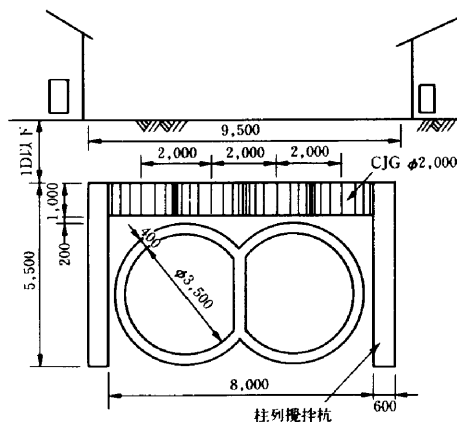


Fig.7 掘進防護工および家屋防護工図

目的で地盤改良を行った。工法の選定にあたっては腐植土の確実な改良効果が図れ、なおかつシールド断面内に改良範囲が及ぶことのない柱列攪拌杭工法(φ600 mm)とした。家屋防護工を Fig. 7 に示す。

8-3 JR 総武線横断防護工

軌条への影響を最小限に抑える目的で、JR 総武線横断防護工は立坑築造により水平削孔二重管ダブルパッカー注入工法で、シールド断面上部および側方を改良した。JR 総武線横断防護工を Fig. 8 に示す。

8-4 京成、新京成電鉄線横断防護工

軌条への影響を最小限に抑える目的で、立坑を築造し二重管ダブルパッカー注入工法により、シールド断面全体を改良するとともに、シールド断面上部および側方にパイプルーフ(φ600 mm)を施工した。京成、新京成電鉄線横断防護工を Fig. 9 に示す。

§ 9. 施工結果

9-1 掘進実績

(1) 掘進時間

掘進時間は、初期掘進(64 Ring)で15~25 mm/分、本掘進では30~40 mm/分で、単円シールドと同様な速度で掘進できた。

(2) 土圧管理

土圧管理は、土圧計をバルクヘッドの中央部および中央下部にそれぞれ左右各1個の計4カ所設置した。土圧管理には左右の平均値をもとに行った。管理値は計算結果より1.6~0.6 kgf/cm²(157 kPa~58.8 kPa)としたが、路面変状測量結果を反映させて主動土圧+0.2 kgf/cm²(19.6 kPa)とした。

(3) カッタートルク

カッタートルクは、直線部では、左右ほぼ同一であったが、曲線部になると曲線外側のトルクが若干上昇する傾向にあった。回転方向は、当機固有のクセと考えられるが、内回りの方がローリングの影響が少ないため多く用いた。

(4) 総推力

総推力は、洪積層で1000~1300 tf(9.8 MN~12.7 MN)、沖積層では500~800 tf(4.9 MN~7.8 MN)であった。装備推進力3120 tf(30.6 MN)に対して16~24%で単位面積当たり最大46 tf/m²(0.451 MPa)であった。以上の管理値を含めた掘進記録の一例を Fig. 10 に示す。

(5) セグメントの組み立て時間および掘進量

セグメント組み立ては、初期掘進開始時には約90

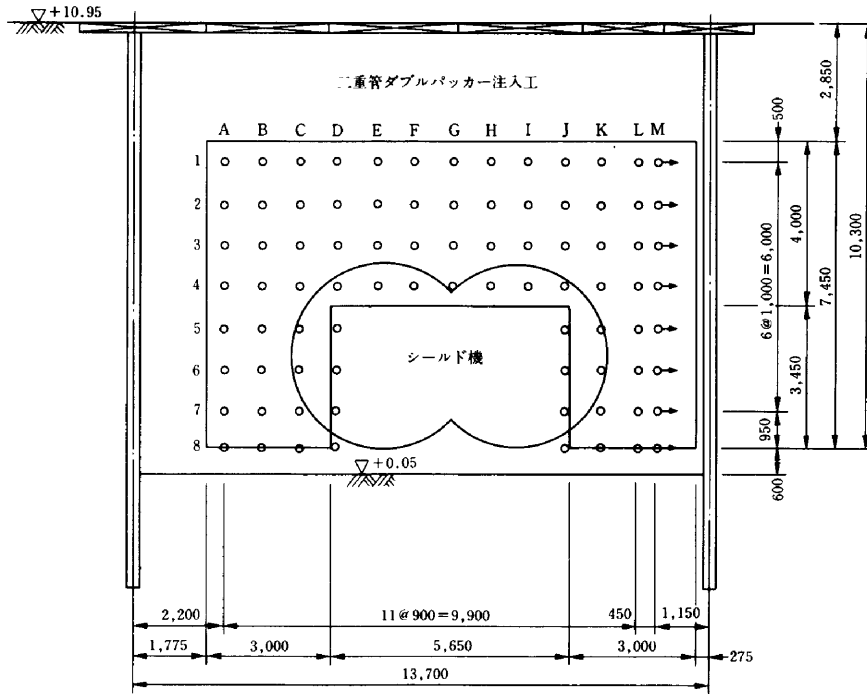


Fig.8 JR総武線横断防護工

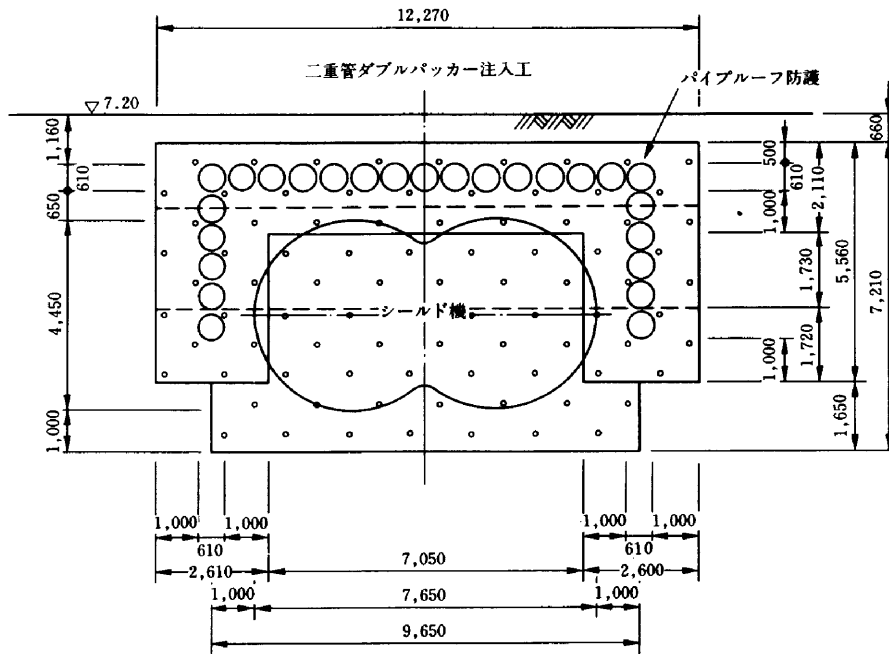


Fig.9 京成, 新京成電鉄横断防護工

分程度を要したが、進行に従い単円シールドの場合と同程度の約40分で実施できた。一日当たりの掘進量は、稼働日の平均で8.3m/日、最大で10.8m/日であった。

(6) 姿勢制御

ローリングは、±0.15度(左右管底10mm)以内に納

めることを管理の最重点項目とした。修正は、左右斜め下各5本ずつの修正用ジャッキを適度にあわせて行った。左カーブでは時計回りに、右カーブでは反時計回りに、直線では反時計回りにローリングする傾向にあった。セグメントの蛇行は、水平方向(ヨーイング)、上下方向(ピッチング)とともに小さく

Fig.10 掘進記録

	209リング	210リング	211リング	212リング	213リング	214リング	215リング	216リング	217リング	218リング			備考	
総掘削時間(min)	50	37	44	39	29	31	26	28	27	44				
土圧(左)(kg/cm ²)	0.45	0.61	0.66	0.35	0.77	0.82	0.75	0.85	0.77	0.81				
土圧(中)(kg/cm ²)	0.67	0.88	0.89	0.54	1.02	0.99	0.98	1.03	0.97	1.01				
土圧(右)(kg/cm ²)	0.37	0.60	0.62	0.26	0.71	0.77	0.59	0.62	0.70	0.69				
SJ 速度(mm/min)	19	26	20	24	34	36	34	32	33	34				
総推力(ton)	662	775	818	566	822	819	782	968	844	920				
カット速度(rpm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5				
カットトルク・左(ton·m)	-31	-46	-43	-21	-51	-50	-52	-47	-49	-54				
カットトルク・右(ton·m)	-44	-60	-57	-32	-72	-68	-56	-64	-70	-66				
コピーストローク量(mm)	0	21	27	29	20	0	0	14	25	0				
SJ ストローク・右(m)	1.036	1.034	1.034	1.034	1.034	1.029	1.029	1.032	1.029	1.027				
SJ ストローク・左(m)	1.005	1.006	1.006	0.990	0.991	1.019	0.984	0.989	1.021	0.980				
スクリュ回転・左(rpm)	14.0	5.4	7.5	12.9	9.9	10.0	9.6	11.3	12.0	15.3				
スクリュ回転・右(rpm)	14.3	5.1	7.3	12.5	9.6	9.7	9.5	11.0	12.0	11.9				
F センサ土量合計(m ³)	23.7	26.2	26.9	37.2	26.0	29.0	26.3	28.7	25.4	28.2				
添加リング積算(%)	5386.2	4826.3	5978.7	5438.2	4606.2	4865.1	4080.5	4558.4	4395.7	7337.5				
裏込リング積算(%)	2348.8	2013.3	2097.5	2121.0	1990.3	2779.0	2519.9	2429.9	2515.2	2857.2				
裏込テール土圧(kg/cm ²)	0.09	0.18	0.20	0.22	0.11	0.15	0.51	0.40	0.58	0.54				
渣材リング積算(%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
渣材圧力(kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
テールクリアランス左(mm)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
テールクリアランス左上(mm)	33	32	29	33	32	31	30	30	32	29				
テールクリアランス右上(mm)	23	28	28	29	29	24	25	23	25	25				
テールクリアランス右(mm)	13	17	16	16	16	19	18	19	19	20				
ピッチング(deg)	-0.54	-0.54	-0.60	-0.60	-1.70	-1.88	-0.84	-1.64	-0.96	-1.09				
ローリング(deg)	0.05	0.07	0.11	0.09	0.09	0.09	0.13	0.13	0.15	0.16				
ジャイロ真方位	359.62	359.39	359.12	358.87	358.40	358.07	357.74	357.68	357.34	357.23				
セグメント種別	T	T	S	T	T	S	T	T	S	T				
土質状態	砂粘土混	砂粘土混	砂粘土混	砂粘土混	砂粘土混	砂粘土混	砂粘土混	砂粘土混	砂粘土混	砂粘土混				
注入位置	自動上	自動上	自動上	自動上	自動上	自動上	自動上	自動上	自動上	自動上				
シールドジャッキ稼働	000000 0000 000 000 000 000 000000	000000 0000 000 000 000 000 000000	000000 0000 000 000 000 000 000000	000000 0000 000 000 000 000 000000	000000 0000 000 000 000 000 000000	000000 00000 0000 000 000 000 000000	000000 00000 0000 000 000 000 000000	000000 00000 0000 000 000 000 000000	000000 00000 0000 000 000 000 000000	000000 00000 0000 000 000 000 000000	000000 00000 0000 000 000 000 000000	000000 00000 0000 000 000 000 000000	000000 00000 0000 000 000 000 000000	000000 000000 212223 2 3 4 0 00 0 0 00 0 0 00 0 0 00 0 0 00 0 00000 000000

蛇行管理値以内で制御できた。

(7) 裏込め注入

裏込め注入は、平均145%の注入量であった。注入状況の確認のため掘進到達後に441 Ring 付近(土かぶり2.5 m)の試験掘りを地上より行った。その充填状況は括れ部、円形部とも隙間なく充填されていることが確認できた。

(8) 路面変状

路面変状は、浅層下の掘進時シールド切羽部での先行隆起が3~5 mm程度でテールボイド通過後-10~+10 mmの沈下および隆起がみられた。これは掘進防護工として施工したコラムジェットグラウトの効果が大きかったために変状を最小限に抑えること

ができたものと考え。

§10. おわりに

今回の施工は、新工法でなおかつ軟弱な土質、浅層下での重要構造物の横断等、前例のない難条件下であった。しかしながら綿密な計画、慎重な施工管理の基に良好な成果と貴重なデータの収集が行えた。なお、本施工は西松建設・奥村組・大豊建設の共同企業体で行った。現在は上流側を掘進中である。後日機会があれば詳細な施工結果について報告したい。