

任意断面シールド工法に関する 共同研究

1. はじめに

本報告書は、習志野市で施工中の矩形泥土圧シールド工法による下水道管渠建設工事の往路の掘進データを中間報告としてまとめたものである。

2. 工事の内容

2.1 工事概要

- 1) 工事件名 習志野市菊田川2号幹線管渠建設工事その18及び22
- 2) 施工場所 千葉県習志野市藤崎1～4丁目
- 3) 工事内容

路線延長

往路（発進立坑～回転立坑）	392.41m
復路（回転立坑～工事終点）	417.23m
合計	809.64m

管渠断面（仕上り内径） 3400×2800mm

セグメント（鉄筋コンクリート，スチール）

外径 横径4200×縦径3800mm

内径 横径3700×縦径3300mm

厚 250 mm

立坑築造工

発進立坑 1箇所，回転立坑 1箇所

シールド工 矩形泥土圧シールド工法

2.2 路線概要

本工区の管渠は、JR津田沼駅，京成津田沼駅，

新京成津田沼駅，幕張新都心あるいは東関東自動車道への交通車両の往来が激しい習志野市の市道（最小幅員10m）に敷設される。

管渠の両側には県水道（φ600mm），NTT管路が平行に埋設されている。また，シールド発進直後に市天然記念物の銀杏の古木（樹齢推定400年）があり，古木に影響のないように，半径70mのS字曲線区間を設けている。

さらに，本路線は，仕上り内径横3,400mm，縦2,800mmの矩形断面の管渠を，わずか600mmの間隔で併設するもので，復路の終点付近では，曲線半径50mでほぼ直角に曲がり，既設の管渠に接合する。

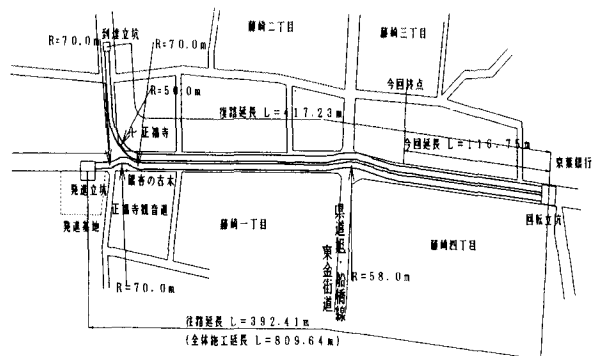


図-1 路線平面図

3. 実証確認報告

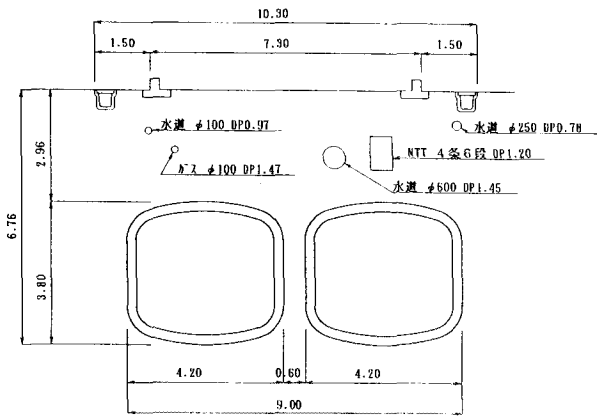


図-2 路線断面図

2.3 地質概要

本工事地区は、関東平野の南東部に発達する下総台地の中央部西端に位置し、この地区は台地と台地開析平野およびこの台地が浸食された後に堆積した部分とこれらと間において堆積の遅れた後背湿地性低地により構成されている。

地質は、地表面の大部分を覆う関東ロームとその下部に厚く堆積する洪積世の成田砂層から構成されている。

シールドは、発進立坑から主に一部関東ロームをトンネル頂部に含みつつ、大半は成田砂層を掘進し、400リング前後から回転立坑までは、成田砂層が地表面付近まで上昇しており、シールドトンネル断面全体が成田砂層となる。また、復路の終点付近は、台地傾斜部から後背湿地性低地に変わり、腐植土層を含む地質の掘進となる。

3.1 切羽の安定性

矩形断面泥土圧シールドの小土被り掘進における切羽の安定性について、以下のデータを計測することで確認した。

1) チャンバー内泥土圧

チャンバー内の泥土圧は、切羽の安定をはかる上で最も重要な要素であり、本シールドでは、その値を計測する土圧計を隔壁に3ヶ所設けた。地盤の変状を最小限に抑え、切羽を安定させるために泥土圧シールドでは掘進時において土圧計の取付位置での泥土圧を主働土圧+水圧+0.2~0.5kgf/cm²程度以上に保持することが、必要なことがわかっており、矩形断面においても同様であることを確認した。

図-4に掘進時のチャンバー内泥土圧の値を示す。本工事における土質、土被り、地下水位から、掘進管理土圧は、0.9~1.4kgf/cm²と設定し、実際の掘進におけるチャンバー内泥土圧は、ほぼその範囲におさまった。

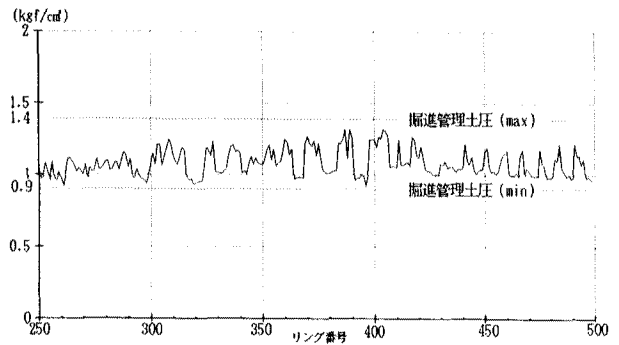


図-4 チャンバー内泥土圧変化図

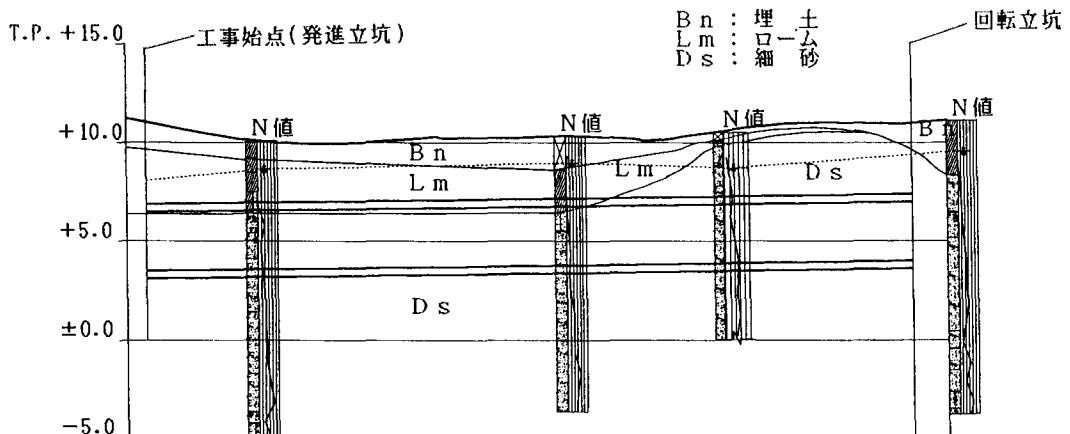


図-3 路線縦断面図

2) 排土量

排土の密度、含水比、および流量をスクリーコンベヤの排土口に配置したRI密度・水分計と流量計により、リアルタイムに測定した。

湿潤密度、含水比の計測値は、250リングから350リング付近までは、ボーリングデータとほぼ一致する $1.9\text{tf}/\text{m}^3$ 、45%前後であったが、350リング付近からボーリングデータにはない腐植土が出現したため、 $1.3\sim 1.35\text{tf}/\text{m}^3$ 、130%となった。450リング以降は、断面全体が成田砂層であったため、 $1.90\sim 1.95\text{tf}/\text{m}^3$ 、35%前後で安定していた。

排土量については、掘削土量の約120%になっており、掘削土量に作泥材の注入量を加えた値とほぼ一致している。

3) 地盤変状

地盤変状については、掘進路線上の地表面沈下の測量により計測している。

これまでの変状計測では、先行沈下はほとんど発生せず、後続沈下で10mm程度となっており、周辺家屋等、地上への影響は発生していない。

4) まとめ

本工区の土被り、土質条件においても、チャンパー内泥土圧の管理、および地盤変状の計測結果から、矩形断面泥土圧シールドの切羽の安定は、従来の泥土圧シールドと同様な方式で保持できることがわかった。

3.2 シールド掘進性能

本シールドは、複数の回転軸に設けた平行リンク機構によってカッターを回転させており、カッタートルクやジャッキ推力、掘進速度などの掘進データ計測から、シールドの掘進性能や装備能力について検証した。

1) カッタートルク

平行リンク掘削機構による矩形断面のカッタートルクが、設計で考慮した装備トルクのどの程度であるかを計測した。ここで本シールドのカッタートルクは、掘進実験の結果から同断面積の円形断面のトルク係数 $\alpha = 1.0$ 程度である $88.4\text{tf}\cdot\text{m}$ （油圧 $210\text{kgf}/\text{cm}^2$ 時）を装備した。

実際の掘進では、初期掘進のうち発進から27リングまでは、ズリ鋼車により掘削土砂を搬出するために、比較的スランプの小さい排土にしたことから、カッタートルクもやや大きく、装備トルクの約 $1/2$ 程度になっている。

28リング掘進後は、残土搬出をポンプ圧送に

切替えたため、カッタートルクも小さくなり、装備トルクの $1/3$ 程度まで下がっている。

本掘進中のカッター油圧は、砂層で $40\sim 60\text{kgf}/\text{cm}^2$ であり、装備トルクの $1/4\sim 1/5$ 程度となっている。腐植土層では、約 $30\text{kgf}/\text{cm}^2$ であり、装備トルクの約 $1/7$ となっている。

本工区の土質条件において、カッタートルクは当初の装備に対し、十分余裕があることがわかった。

2) カッター回転数

カッター回転数は、シールドに装備した最大回転数である 4.3rpm で掘進し、ほぼ一定であり、推進中に変化は、ほとんど見られていない。

3) シールドジャッキ推力

矩形断面は、円形断面に比べシールドの周面積が大きいことから、どの程度円形より大きくなるかを確認した。

ここで、装備総推力は、円形断面と同程度の 1780tf 、掘削断面積 15.76m^2 より、単位面積当たり $113\text{tf}/\text{m}^2$ であり、これは円形断面と同程度である。

発進から350リング付近までの総推力は $500\sim 750\text{tf}$ 程度、単位面積当たりの推力は $30\sim 50\text{tf}/\text{m}^2$ 程度であり、この土質条件では、円形泥土圧シールドの装備総推力と同程度の推力であった。

また、350リング付近から430リング付近では、腐植土が混合したため、総推力は 350tf 程度であり、450リング付近以降は、全断面が砂質土層になったため、 800tf 程度となった。

4) 掘進速度

掘進速度は、初期掘進時において、約 $10\text{mm}/\text{分}$ から掘進開始し、徐々に掘進速度を上げ、本掘進では、約 $20\sim 35\text{mm}/\text{分}$ で掘進した。220リング前後からは、NTTの人孔等との近接施工箇所が多くなることから、掘進速度を約 $20\sim 25\text{mm}/\text{分}$ に落として慎重施工を行った。図-5にその結果を示す。

これらの結果から、矩形断面シールドの掘進速度は、同様な土質条件における円形泥土圧シールドの掘進速度と差異はないことがわかった。

5) 掘進機能のまとめ

これまでに得られたカッタートルク、カッター回転数は、当初計画に対して、十分余裕があることがわかった。シールドジャッキ推力、推進速度は、円形断面の泥土圧シールドと比較し、大きな差異は認められず、平行リンク機構を用

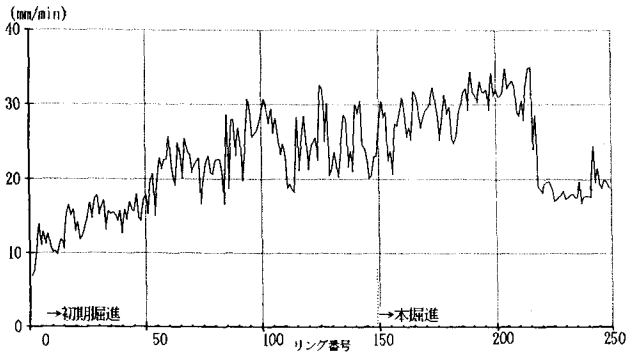


図-5 掘進速度変化図

いた本シールドの掘進機能に、特に問題となる点は、認められなかった。

3.3 シールドの姿勢および方向制御性能

矩形断面シールドの姿勢制御では、特にローリングの制御が重要であり、ローリング修正機構の性能確認と共に、方向制御、曲線施工性などについて検証した。

1) ローリング

本シールドの1リングの掘進におけるローリングの許容最大値は、シールドのテールクリアランス30mmから決まり、 $\pm 0.6^\circ$ となっている。これに対して管理値は $\pm 0.3^\circ$ とし、発進から350リング付近までは、実際に発生したローリングは、最大で $\pm 0.3^\circ$ 以下であり、ローリング修正ジャッキを数本用いることにより、修正できた。350リング付近から420リング付近では、腐植土が出現し、 $R=58m$ の曲線施工と重なったため、ローリングはやや大きくなり最大で 0.6° を越したが、全断面砂層に変わった450リング以降はローリングは 0.3° 以下で施工できている。

この結果から、ローリングの修正に、ローリング修正ジャッキが有効であることが確認できた。また、ローリングは、曲線施工時に中折れジャッキを使用した場合に発生しやすいことがわかった。図-6にその結果を示す。

2) ピッチング

本路線の設計縦断勾配は1.3%であり、マシンのピッチングは、5~8%程度で掘進することで、組み立てられたセグメントは設計勾配を保った。380リング付近から420リング付近は、腐植土が出現し、マシンを最大17%の上向きにして掘進することで、セグメントは設計勾配を保つことができた。

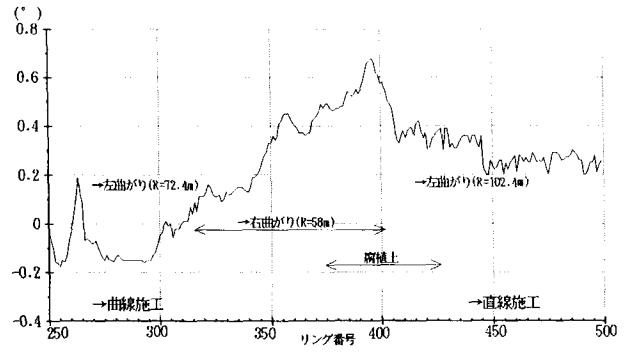


図-6 ローリング変化図

3) ジャッキパターン

直線および曲線施工時の、主なジャッキパターンを図-7に示す。直線施工時は、ほぼ左右均等で、上部のジャッキを2~3本抜くことで、ヨーイング、ピッチングとも大きな変化なく掘進できた。 $R=70m$ および $R=58m$ の曲線施工時は、曲がる方向の側方に配置したジャッキを2~5本抜くことで、所定の線形通りに掘進できた。

この結果から、曲線施工を含む左右の方向制御(ヨーイング制御)が従来の円形シールドと同様、シールドジャッキの選択によって行なえることが確認できた。

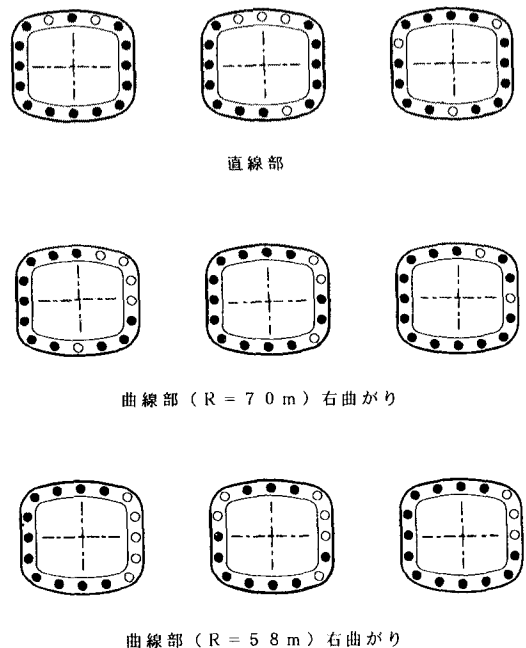


図-7 ジャッキパターン図

4) オーバーカット量および中折れ角

R=70mの曲線施工時の計算上の中折れ角は、 2.7° で、オーバーカット量は、15mmである。実工事における中折れ角は、余裕をみて $2.7^\circ \sim 3.5^\circ$ とし、余掘り量は、計算値の2～3倍の余裕を考慮し、30～50mmで施工した。図-8にその結果を示す。

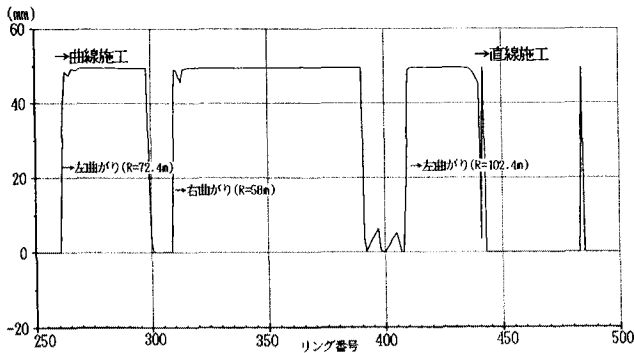


図-8 オーバーカット量変化図

5) まとめ

シールドの姿勢制御のうち、ローリングの制御は、ローリング修正ジャッキによって、容易に修正できることがわかった。ピッチングおよびヨーイングは、シールドジャッキの選択によって制御できた。曲線施工は、中折れ機構とオーバーカット機構を適宜、線形に合わせて用いることで、R=70mのS字曲線およびR=58mの曲線等を線形通りに施工でき、円形と同様な曲線施工性能が確認できた。

3.4 裏込め注入機構，方法

矩形断面は、円形断面に比べ、地盤変状が発生しやすいと考えられることから、裏込め注入の影響は大きい。注入圧、注入量、注入位置、地盤変状などのデータ計測から、同時裏込め注入機構、注入方法について検証した。また、裏込め材は、二液の可塑状固結タイプを用いた。

1) 注入圧

注入圧は、同時注入管の吐出口付近に設けた圧力計で計測し、土被り、地下水位から、上限管理値を $1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ とした。これに対して、実際の注入圧は、 $0.5 \sim 1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度で注入した。

注入方式は、シールドジャッキ速度に応じて、注入量を変化させ、注入圧も、管理値を設定して注入できる、自動同時注入方式を用いた。

2) 注入量

1リングのテールボイド量は、1mセグメントで $1280\text{l}/\text{リング}$ で0.5mセグメントでは $640\text{l}/\text{リング}$ 、0.3mセグメントで $380\text{l}/\text{リング}$ であり、実注入量は、1mセグメントで約 $2400\text{l}/\text{リング}$ で0.5mセグメントでは約 $1,200\text{l}/\text{リング}$ 、0.3mセグメントで $800\text{l}/\text{リング}$ であった。これは、テールボイド量に対して、180%程度の注入量であり、設計注入量よりやや多い結果が得られた。

3) 注入位置・注入方法

裏込め注入は、マシンの左右のコーナー頂部に設けた同時裏込め注入管から、掘進と同時に実施し、左右のいずれか一箇所から注入した。グラウトホールからの裏込め厚の探査により、全体に充填できていることが確認できた。

4) まとめ

本工事における裏込め注入は、シールド頂部の同時注入管からの同時注入方式で実施した。その結果、裏込め材もセグメント全周にほぼ均等に充填されており、シールド通過後の地表面沈下も、ほとんど発生していないことから、矩形断面シールドの裏込め注入も円形シールドと同様な同時注入方式によって、対処できることが確認できた。

3.5 セグメントの組立性能

矩形断面は、形状の異なる数種類のセグメントから構成されており、これらの組立時間、エレクターの操作性などから、セグメント組立機構及び組み立て補助機構の性能や安全性について検証した。

1) 組立時間

セグメントの組立時間は、スチールセグメント(幅0.3m)で1.0～1.5時間、RCセグメント(幅1.0m)で2.0～2.5時間程度かかっており、円形セグメントに比べ、長くなっている。これは円形に比べ、セグメントの分割数が多いこと(1リング8ピース)、分割形状が、直線部材と曲線部材の組合せから構成されていること、各ピースをその都度、正規の寸法に組立てる必要があることなどが要因となっている。図-9にセグメント分割形状を示す。

2) エレクターの操作性

片アーム方式のエレクターを採用した結果、矩形断面においても操作性は良好であり、形状の異なる4種のセグメントの把持、旋回、組立てに何ら支障ないことがわかった。

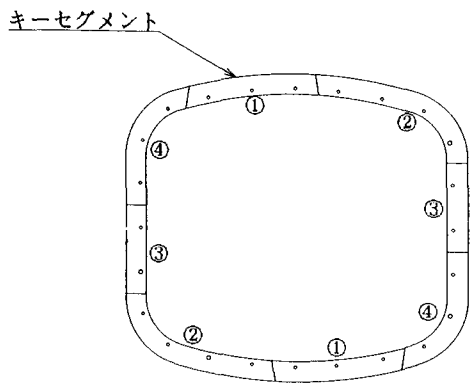


図-9 セグメント分割形状図

3) セグメント押し上げ装置

キーセグメントの組立時に、隣接するコーナー部のセグメントを押し上げるセグメント押し上げ装置は、現状の機構で十分能力を有していることがわかった。

4) まとめ

矩形断面では、セグメントの種類や分割数が円形断面より多いことから、必然的に組立時間は長くなる。今後は、習熟の度合いによって組立時間の短縮がこれまでより短くなることは考えられる。エレクターなどのセグメント組立機構は、装備したもので十分な機能を有することがわかった。

3.6 一次覆工の安全性

セグメントおよびシールドに働く土水圧や裏込め圧を土圧計によって計測すると共にセグメントの応力や変形の計測から設計手法の妥当性および覆工の安全性を検証する予定である。

1) 計測計画

計測計画は、往路の525, 526リングに設置し、

往路掘進時におけるセグメント組立直後のシールド機推進力や裏込め注入圧がセグメントに及ぼす影響や、復路掘進時の近接施工による往路セグメントへの影響度合いを確認するためを行う。配置を図-10に示す。

現在、セグメントに働く土圧、セグメントの応力、セグメントの変形等を計測中である。

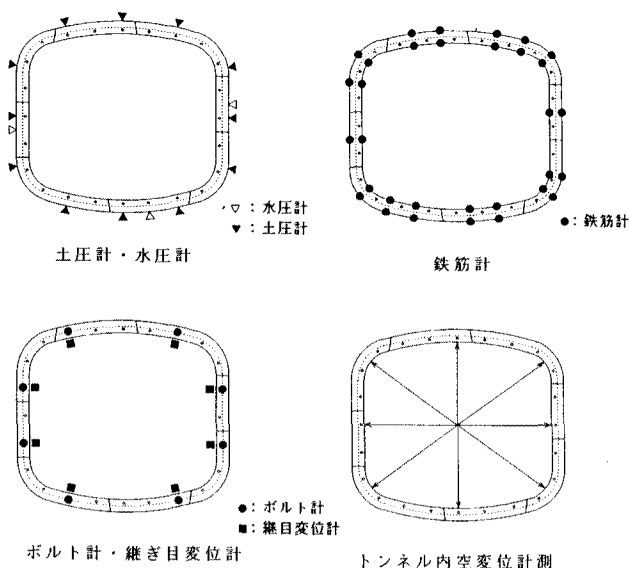


図-10 計測計器配置図

4. おわりに

矩形断面泥土圧シールドの実証工事のうち、往路の一次覆工は大きなトラブルもなく順調に完了し、これまでの掘進データを取りまとめたものである。

今後は、復路の掘進データを含めて、最終的な設計マニュアルを完成させる予定である。

● この調査に関する問い合わせは	研究第二部長	藤田 昌一
	研究第一部主任研究員	黒田 秀男
	技術部研究員	高岡 俊司