

VI-1 $\phi 7,550\text{mm}$ 土圧加泥式シールドによる 地下鉄の施工

大成建設(株) 正会員 沼山 勝治
伊東 保明

1. まえがき

今回の東豊線(3号線)は、札幌市の発展に伴い、北東部地域の交通需要に対処すると共に、冬期の交通渋滞を緩和させる等、市民生活に不可欠な交通機関として、柴町~すすきの間 8.9kmを昭和58年6月に着手し昭和63年12月の開業に向けて工事も順調に進められている。

当工区は、既設東西線(2号線)と新設東豊線(3号線)との車輛相互乗入れる為の連絡線として単線隧道を交通局地下鉄工事では初めてのシールド工法を採用した工区である。

全国的にも施工実績が数少ない崩壊性砂礫地盤における大断面シールド工事であり、道内でも初めての大型シールド工事の一次覆工の施工法について述べるものである。

2. 工事概要

工事名称 高速電車2~3号連絡線構築工事
工 期 昭和59年8月4日~昭和63年10月31日
発注者 札幌市交通局
施工業者 大成・鉄建・地崎共同企業体

1) 工事内容及数量

① 立坑工事(発進立坑)

土留工 地中連続壁工(ケリー工法で施工)厚さ0.8m深さ24.5m~29.7m
掘削土量 2,682.0 m^3 , 連壁面積, 2,222.5 m^2

② シールド工事

寸 法 掘削外径 $\phi 7,550\text{mm}$, 仕上り寸法 $\phi 6,100\text{mm}$

延 長 路線延長570.64m, シールド延長512.3m

線 形 最小曲線半径 $R = 150\text{m}$, 最大縦断勾配 3.5%

土被り最大 19.47m (到達部), 最小 11.28m (発進部)

セグメント R.C ($\phi 7,400 \times 900 \times 300$) 330Ring D.C ($\phi 7,400 \times 800 \times 250$) 271Ring

掘削土量 22,923.9 m^3 (産業廃棄物扱)

補助工法 薬液注入工法(対象土量30,159.5 m^3) ディープウェル工法($\phi 500$ L=25.5~33.0m)

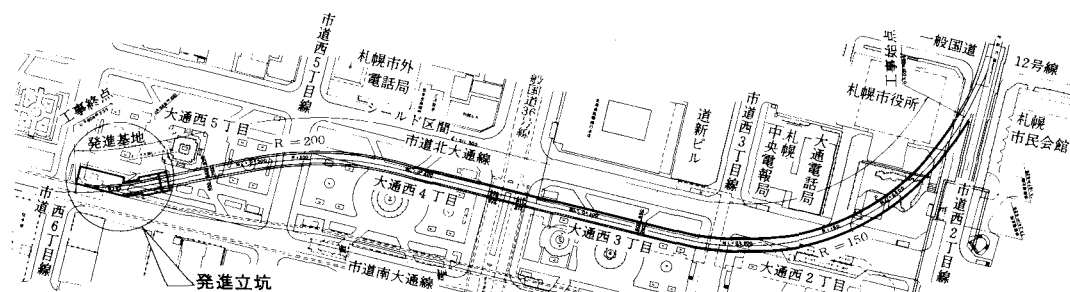


図-1 路線平面図

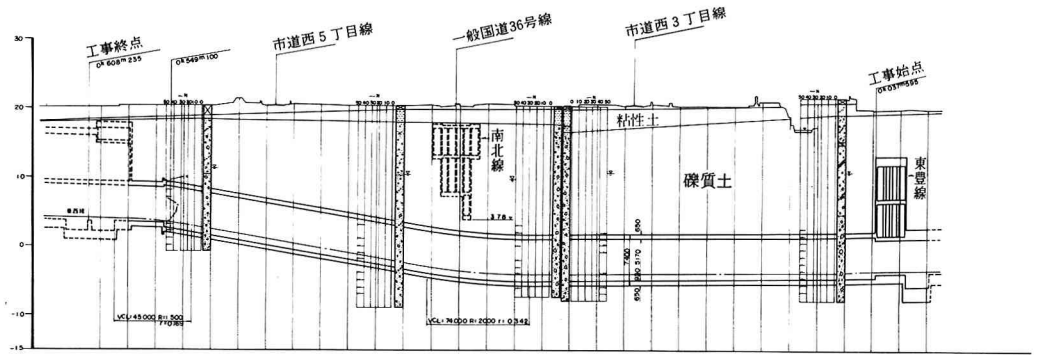


図-2 路線縦断面図

3. 路線概要

当工事の特徴は、雪まつり等で世界的にも有名な観光都市札幌として、通年祭典等の行事が絶えまなく催されている大通り公園内の真下を大通り西5丁目の公園内に設けた発進基地から、札幌市役所本庁舎真下を横断して西2丁目通りの新設東豊線地下構造物に地中到達させるシールド工事である。

シールド通過断面の上部には、地下埋設物及び地上構造物が多数ある。

特に地下街および地下街駐車場出入口、地下鉄南北線横断や市庁舎があり、これらの基礎部分に全て路上薬注、機内薬注等の補助工法が採用された。

シールド線形は南側発進基地から3.5%の下り勾配を曲線半径 $R = 200\text{m}$ で進み、既設南北線の排水ピットを土被り1.65mで通過し、その後は急曲線 $R = 150.0\text{m}$ で地下街通路、地下駐車場を横断し市庁舎の下を通過して所定の到達地点に地中結合した。

4. 地形、地質概要

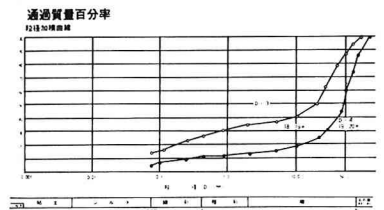
当工区は扇状地に位置しその地質は、主に砂礫からなるが、最上部は2~3m程度の厚さをもったロームによって覆われている。

砂礫層は、おおよそ拳大~人頭大前後の円礫が多く、礫の種類は輝石、安山岩が主体であり細粒分の少ない崩壊し易い地質である。

発進立坑掘削中に $\phi 800\text{mm}$ の巨礫(写真-1)が出現したが、シールド掘進中ではスリット幅を450mm(最大礫径 $\phi 400\text{mm}$ を想定)としたため、掘進中に礫処理した最大礫径は $\phi 420\text{mm} \times 550\text{mm}$ であったが掘進中数回この礫処理を施したことから考えると立坑掘削時の巨礫が掘削中にもあったものと想定出来た。

また地下水位は、近接開削工区の揚水による影響で、事前調査(GL-9.2~-9.4m)より相当低く、GL-14.5~-20.3mに低下し、年間の水位も3~4mの範囲で水位変動を起していた。

砂礫地盤の粒度特性は平均すると、礫率70%、砂率20%、シルト・粘土率10%で構成されており、透水係数も $1.2 \times 10^{-1} \sim 4.6 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ と透水、透泥しやすい地質であった。



上表は当工区の間地点の地下鉄南北線付近でシールド断面の上部(GL-18.0m)~シールド中心部(GL-20.0m)の粒度分布を示す。
礫率: 平均70%、砂: 平均20%、シルト: 平均10%
透水係数: $1.49 \times 10^{-2} \sim 1.8 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$

表-1 粒度分布

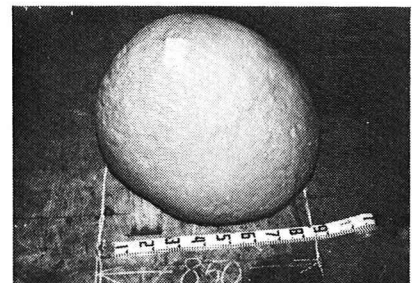


写真-1 巨礫

5. シールド機械の製作、選定

当工区のように急曲線施工、地下構造物部分の機内注入施工等施工実績の少ない手法が要求される中で、確実に安定した掘削能率の確保と安全施工を考慮し以下の構造とした。

1) 中折装置

R=150mの急曲線を施工する上で、余掘量を最少限に抑える為、中折装置を装備した。

中折装置は屈折角度を左右0.76度とし、屈折ジャッキストロークは100mmとした。

シール構造はウレタン、中空ゴムの2段である。

2) 余掘用カッター

オーバーカッターは2ヶ所、コピーカッターは任意設定方式で1ヶ所、最大ストロークは共に100mm

3) テールシール

ワイヤーブラシ3段

4) スクリューコンベアー

止水効果の増大を図るため、2段機構とした（NO.1リボンスクリュー、NO.2軸付スクリューφ800mm）

また、チャンバー内に稼だまりが想定されたのでリボンスクリューコンベアをチャンバー内に800mm挿入出来る構造とした。そしてNO.1とNO.2スクリューコンベアの接続部に、稼取り用ゲートを装備した。

5) 機内注入装置

地下鉄南北線構築物真下の横断、地下街駐車場出入口構造物の真下と路上から防護注入が出来ない場所への対応として、シールド機内から注入出来る装置を取付けた。

その為、シールド製作時に注入用のボールバルブを取付け、注入用削孔機はバーカッシュドリルを2基配備した。

6) マンホール

切羽の障害物除去およびカッタービットの取換えを考慮しカッター圧力室隔壁にマンホールを設けた。

7) 摩擦探知ビット

カッタービットの摩擦損傷状態を推定し、ビット交換時期を予測出来るようにした。探知センサーの埋込位置はビット先端から7.8mm、13.0mm、18.2mmでそれぞれ4ヶ計12ヶ配置した。

8) 土量および土圧管理システム

土量管理は、圧力室内の圧力を保持しながら掘削土量と排土量をバランスさせることを基本とし、

① 掘削速度によるスクリューの回転数調整制御（土量管理）

② 圧力室内の土圧によるスクリューゲートの開度調整制御（土圧管理）

の2系統の制御方式で切羽の安定を図った。

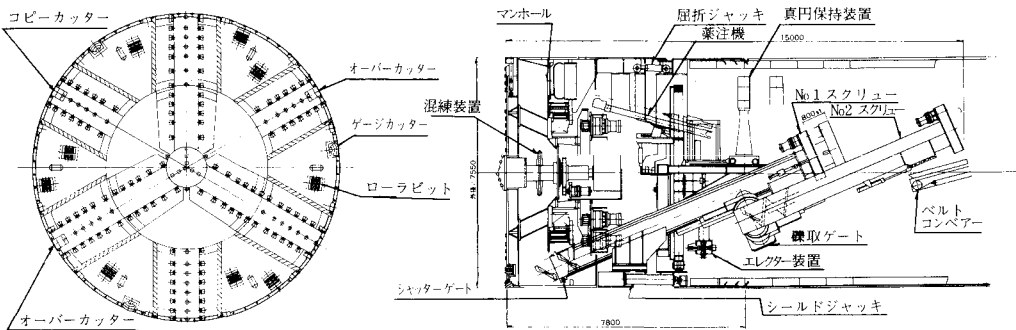


図-3 加泥型シールド機械図

6. 施工

1) シールド設備

シールド基地は、大通り公園と市道の一部を占有して立坑を築造し、そこにシールド設備を設置した。

設備として、クラムシェル槽（土砂ホッパー60㎡）と材料積卸し用の天井クレーン（7.5t吊り2台）を設置し、セグメントヤードを確保した。

立坑内には、作泥と裏込注入用のプラント、充電設備、天井クレーン（7.5t吊り）

り、礫ビット（60㎡）を設置した。又、発進基地が740㎡と比較的小さい上、周辺道路が都心部の幹線道路である事から、工事用車両の円滑な出入りを考慮し、基地内にダンプトラック用と、材料運搬用のトラック用にターンテーブルを2基設置した。

2) シールド掘進

昭和60年9月にシールド機が現地に搬入され、現地組立作業が開始された。2ヶ月後に組立が完了し、発進設備等の準備が完了した12月に初期掘進が開始された。

しかし、掘進以来チャンパー内の土砂がスティックしたり、噴発したりのトラブルが発生した。そこで本掘進の段取替と平行して、本掘進に際しての対策をたてた。

まず、計画時点と掘進開始時との条件が大きく異なるのは、地下水位の低下である。当初水位より約10m低下した為、掘進断面に地下水が無く加泥材が逸泥し易く掘進上のトラブルが発生したものと判断した。

そこで、加泥材を高粘性のものに変え逸泥量を少なくすべく配合計画し、試験をした。しかし計画通りの粘性が得られない為、プラントも含め各種チェックをした結果、原因は水道水と地下水の違いと判明した（表-3）。当工区で使用している地下水に含まれているNaCl、CaCl₂、MgCl₂等の影響で導電率が大きく、

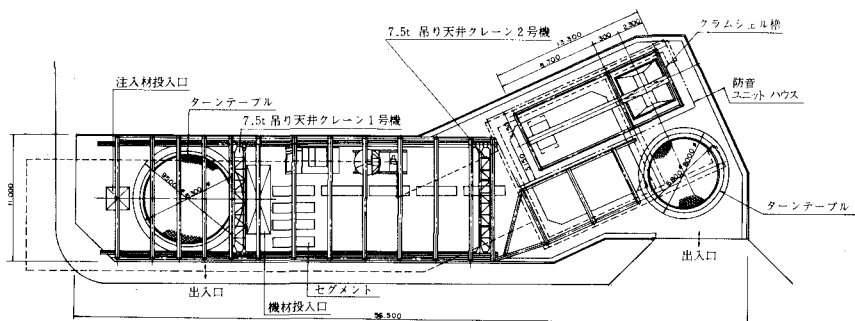


図-4 路上設備平面図

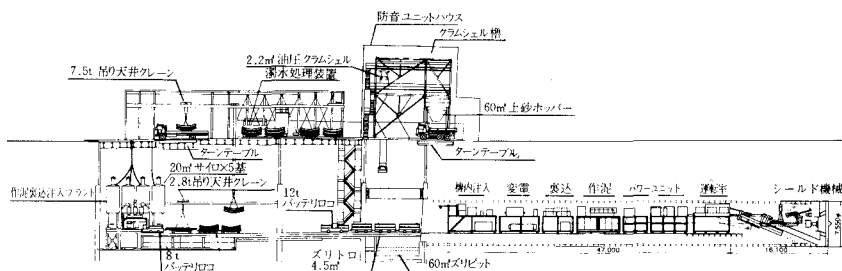


図-5 シールド設備断面図

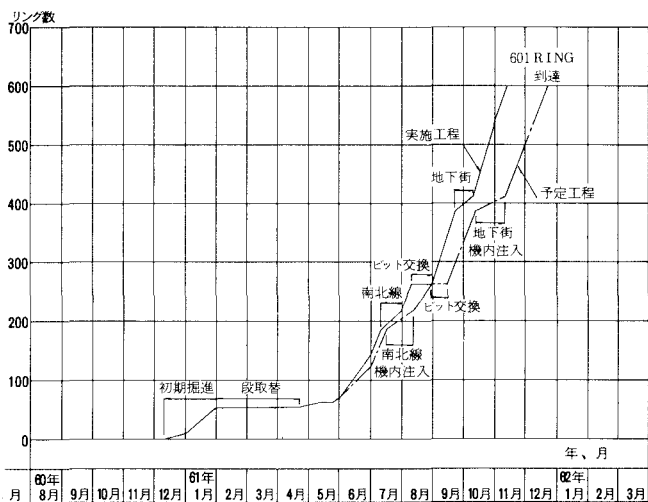


表-2 予定、実施工程表

	導電率 (EC)	pH
地下水 (地下溜り水)	310	7.4
地下水 (アイソワーク採取)	300	7.4
水道水	180	7.3

表-3 水質試験結果

粘性を高める事を阻害しているのが原因であった。

昭和61年4月に、水道水を使用した高粘性の加泥材で本掘進を開始するが、初期掘進同様順調な掘進が出来ず、再度対策を練り直す事となった。

チャンパー内の土砂が流動化せずスティックが発生し、掘進困難となる原因は加泥材の濃度よりシールド機の構造的な面にあると判断し、シールド機を改造すべき基本事項をきめた。

- ① 掘削土砂の流動化促進、付着防止
- ② 切削能力の向上
- ③ シールド機天端の肌落ち、空隙調査及び処置

以上の点を主眼にシールド機の改造内容を検討し下記の項目で実施した。

1. 内周部カッタービットの配列変更、追加
2. 内周部カッタースリットの形状変更
3. 内周部ローラービットの新設
4. 注泥管の移設、新設
5. カッター支持脚のビット撤去、減摩材の貼付
7. 混練モーターのトルク増大
8. シールド機の上部の空隙測定用探針孔、注入孔の設置

これらシールド機の改造が完了し掘進を再開した。

その後は特にトラブルも無く比較的順調に進んだが、逸泥量は、以前と余り変わらず、土圧管理すべく目標土圧に至らぬ事も要因なのかマシン上部に空隙が発生し易く、上半部に設置した注入孔からセットフォーム、LAGを注入しながらの掘進であった。

重要構造物の直下を沈下量3mmで通過し、R=150mの急曲線を許容範囲内の誤差で掘進し、昭和61年11月シールド機は無事到達壁の受入口に貫入し、掘進作業が終了した。

掘進が終了してみてシールド機の改造で特に効果的だった点は、

1. 内周部にローラービットを取付け、注泥管をチャンパー内に増設する事により流動化しにくい内周部の土砂が混練され易くなった事。
2. マシン上部の空隙測定と注入孔により先行沈下を抑えることが出来た事。

以上であった。

3) 機内薬液注入

既設南北線横断部(土被り1.65m)と地下駐車場下の通過部分は、路上注入で改良範囲を全て施工する事が出来ない為、機内注入により地盤改良する必要がある。

過去に、密閉型シールド機で機内に専用注入設備を設置し、2重管ダブルパッカー方式での注入を本格的に施工した例が無い。したがってシールド機的设计段階で機内注入の施工方法を検討し、それを織り込んだもので製作した。

1. 削孔装置の設置スペースの確保

削孔径がφ100mmと大きい為、砂礫層での削孔能力を考えるとロータリーパーカッション方式の削孔機を装備する必要がある、ロータリー方式より大型化する為、狭いスペースの中削孔機の稼働範囲を想定した上で、スクリーコンベアの角度、真円保持装置の位置を決定した。

2. ボールバルブの設置

山岳トンネルや開放型のシールド機と異なり密閉型のシールド機の場合、切羽が隔壁でブラインドされており、カッター駆動モーター他各種機器が装備されている為、打設箇所や角度が極端に制限される。

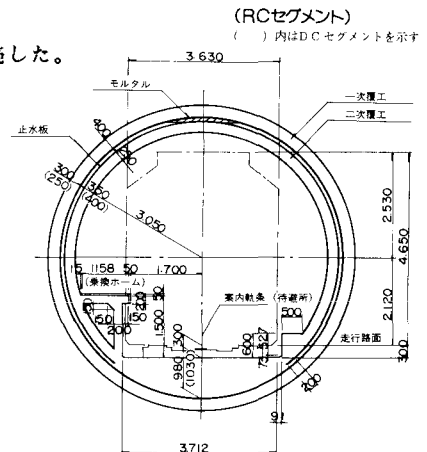


図-6 標準断面図

そこで、計画上の削孔角度、削孔長から予め隔壁にボールバルブを17個取付けた。バルブのサイズは6, 10, 12 吋とし、10, 12 吋は2タイプの角度の削孔を可能とした。

尚、削孔ロッドはカッタースリット内を貫通させて施工する為、カッター停止ボタンを押すと自動的にスリットが注入パターンに合う様カッターが停止する装置とした。

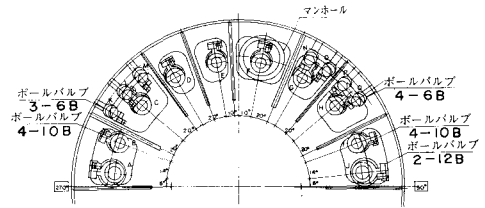


図-7 ボールバルブ配置図

以上の設備をシールド機に組込んで製作し、以下の方法で計画し施工した。

1. 削孔長は、施工性、経済性から30mを限度とした。
2. 削孔角度は、8.5°, 15.0°, 27.2°の3タイプで改良範囲を満足する様計画した。
3. 3 Ringを1サイクルとして注入、掘進の繰り返し施工を計画した。
4. 施工能率を向上させる為、削孔機は2台設置した。
5. 注入孔は、シールド機センターより放射状に打設する為、同心円上を効率的に移動出来る様な架台を取付けた。
6. 削孔注入の際、チャンバー内の泥土が機内に流入しない様、スタフィンボックスを取付けて防止し。
7. 注入材がリークしてチャンバー内で固結して掘進不能になるトラブル対策として、固定注入にも溶液瞬結型の注入材を使用した。

又、チャンバー内の土圧計を監視し、変動があった場合は注入停止、再注入を繰り返して施工した。結果は、特にトラブルも無く注入効果も良好でスムーズな掘進が出来た。

尚、機内注入に費やした所要日数は、42日間（暦日）であった。

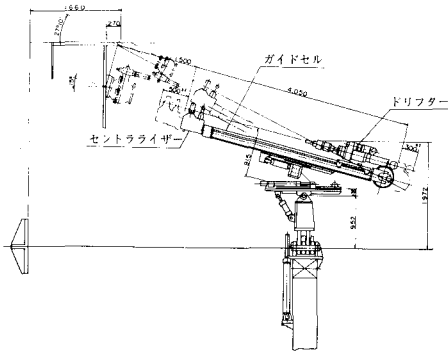


図-8 機内注入削孔機図

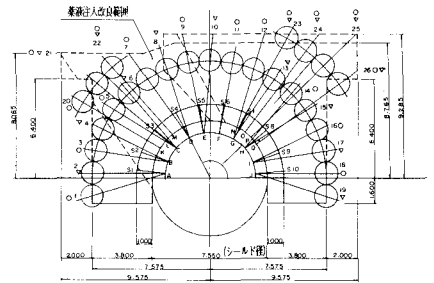


図-9 注入パターン図

7. あとがき

当初計画時には、予想出来なかった水位の低下と、崩壊性の高い逸水逸泥等を起こし易い条件の地盤での掘進であり、更に3.5%という急勾配、R=150mの急曲線、重要構造物の直下を通過する等難条件のもと、いくつかのトラブルが発生したが、予定工期内に無災害で一次覆工を終了した。

その後、二次覆工の施工と、既設2号線との取付け部の構築も完了し、名実共に連絡線としての機能を有する様になった。

現在は、シールド基地の復旧工事を昭和63年10月末の工期めざして施工中である。

最後に当工事を施工するにあたり、御指導、御協力頂いた各関係の方々に感謝の意を表す次第である。