

20. 土圧バランス型シールド工法による 滞水粗大礫層の掘進

佐藤工業 大泉正夫・桐谷祥治

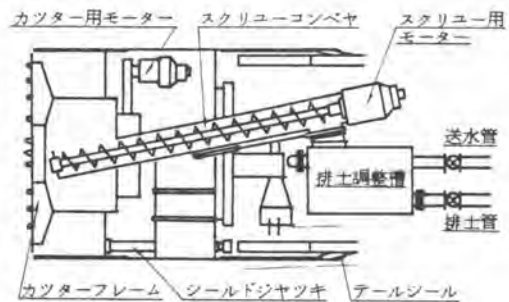
1. まえがき

近年、地方都市において下水道の整備が急速に進められている。これらの地方都市は、河川の流域に発達している例が多く、施工対象地盤は粗大礫を多く含む滞水礫層という、シールド工法にとつて非常に困難な地質条件である場合が多く、これらに対応できるシールド工法の開発が急務となつている。本報告は、最大礫径350mm、60mm以上の礫含有率が20%を越え、礫間充填物が少なく崩壊性の高い滞水粗大礫層における土圧バランス型加水式シールド工法の施工例を紹介するものである。

2. 土圧バランス型加水式シールド工法

シールド掘進機の基本構造を図-1に示す。

本工法における切羽の安定は次のようにして得られる。切羽地山よりカッターフレーム内に取り込まれる土砂の量（掘削土量）とスクリーコンベヤの排土口から排出される土砂の量（排土量）とを調整することにより、カッターフレーム、スクリーコンベヤ内に土砂を充填する。さらに排土調整槽へ圧力水を給水し、排土調整槽内を一定



第1図 土圧バランス型加水式シールド掘進機

圧力に保持する。これにより、切羽地山の土圧・水圧とのバランスを図り、切羽の安定を保持する。

掘進管理は、シールド掘進機各部、流体輸送設備、および地山の状況など種々の計測を行ない、これらのデータをフィードバックすることにより、地山の変化に即応した最適な状態で掘進できるよう、裏込め注入管理まで含めたトータルシステムを採用して行なっている。

3. 滞水粗大礫層でのシールド施工上の問題点

シルト・粘土分等の礫間充填物が少ない崩壊性の高い滞水粗大礫層は、地下水の処理を適切に行なっても自立性を得ることが困難な場合が多く、切羽の崩壊に起因して地表面陥没を引き起す可能性がある。このような地盤では、安全上および作業能率上から機械掘りシールドを採用することが望ましいが、切羽の安定保持、粗大礫の掘削に伴う周辺地山の乱れによる切羽の崩壊等の問題に加えて、粗大礫の取り込みに限界があつたり、礫処理のための掘進の中断を余儀なくされる等多数の問題がある。このため、各種の補助工法を用いて切羽の安定を確保したりえて、開放型の手掘りシールドを採用する例が多かつた。しかし、手掘りシールドは安全面、作業能率面で不利なばかりでなく、各種の補助工法を用いる必要があるため、周辺環境に影響を与えることによる社会問題および作業員に対する労働環境問題が生じている。一方、従来の泥水シールド工法も、崩壊性礫層の場合の切羽の安定確保に難点があり、大径礫の掘削と取り込み、および泥水流による地山の覚乱や泥水の逸水による地下水汚染などの問題がある。このように、崩壊性の高い滞水粗大礫層は、シールドを施工する上で最も

困難な地質条件の一つといえる。

4. 施工例

4-1 工事概要

本工事は、豊川流域下水道事業・東部幹線小坂井第一シールド工事と称し、延長約730mの区間に仕上り内径3000mmの管渠を布設するものである。路線途中で、東海道本線、飯田線、名鉄本線等の主要幹線鉄道の盛土下を横断しなければならず、これらの鉄道運行に影響を与えることのないように十分な安全施工の配慮が必要である。

地質は、上部より沖積層、新期洪積層、古期洪積層の3層で構成されており、シールド通過断面付近は主に新期洪積層である小坂井礫層となつている。

小坂井礫層は、礫間を埋めるシルト・粘土分等の充填物が少なく、自立性に乏しい礫層である。礫分は非常に多く、60mm以上の礫含有率が20%を越え、最大径350mmの大径礫をはじめ200mm以上の粗大礫も数多く含まれている。地下水は近くに干潮河川（豊川放水路）があり、非常に豊富に滞水している。透水係数は $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{cm/sec}$ 程度である。

4-2 施工検討

施工法の選定に当たり、検討を要した点を以下に示す。

a) 海岸に近いため、大量の地下水を汲み上げると、地下水中の塩分が濃くなり、農作物に

被害をおよぼす恐れがある。また、圧気を用いた場合、地下の塩分を地上に押し上げ、同様の結果を招く恐れがある。このため、圧気および地下水位低下等の補助工法を用いることなく、切羽の安定を確保できる工法でなければならない。

b) 重要構造物である国鉄、私鉄の3鉄道線下（1日当りの列車運行本数約600本）を横断するが列車運行に支障なく安全にかつ効率的に掘進できる工法でなければならない。

c) 滞水粗大礫層、シルト質細砂層、シルト層と複雑に変化する互層地盤に対して十分に適応できる工法であること。

d) カッターディスク、カッタービット等シールド機が十分な耐久性を持つていること。

e) 掘削排土する礫量が非常に多く、しかも礫径が大きいため、これらを効率的に処理できること。

以上のように地盤条件、施工環境ともシールド工法にとって非常にきびしいものであり、工法の選定に当たり慎重に検討を行なつた。工法の選定に当たっては、従来より礫層において実績のある手掘り式、泥水加圧式、土圧バランス型の各シールド工法について、当工事への適応性を検討した。



図-2 路線平面図

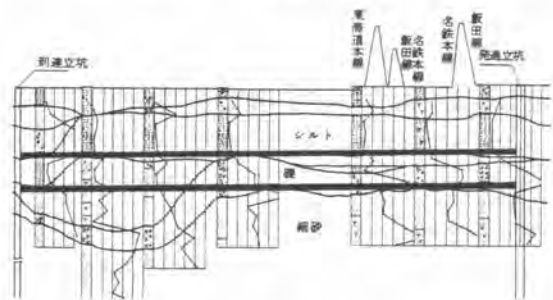


図-3 地質縦断面図

手掘り式シールド工法は、切羽が開放されているため、大径礫などの切羽障害物に対して最も容易に確実に対処できる工法であるが、切羽地山が自立することを必要とする。しかしながら、前述のように圧気、地下水水位低下工法は塩害を招く恐れがあり使用できず、また薬液注入のみで当該礫層の切羽を自立させることは、経済的および環境保全の面から問題がある。以上より、手掘りシールド工法を採用することは、非常に困難であると判断した。

泥水加圧式シールド工法は、送泥水の圧力、濃度、粘性などにより切羽の安定を確保する工法であり、礫層での施工実績も多い。しかし、崩壊性の高い砂礫層では、泥水管理のみで切羽を安定させることが困難な場合もあり、補助工法を併用する例が見受けられる。特に、当工事では発進立坑の連続壁施工時に泥水の逸水や孔壁の崩壊等が見られ、当地盤条件では泥水管理のみで切羽の安定を確保することは困難であること、および地下水を汚染する可能性のあることが想定された。また、大径礫を取り込むためのスリット幅の拡大、取り込んだ礫による送泥水圧力の脈動、あるいは管閉塞による切羽水圧の異常など、切羽の安定保持上の問題も多い。このように、泥水加圧式シールド工法を当地盤条件に適用するには、解決すべき問題が数多く残されており、採用を見送らざるをえなかつた。

そこで、近年開発され、崩壊性の滞水砂層や砂礫層でも採用され、その有効性が高く評価されている土圧バランス型加水式シールド工法を採用することとした。しかし、当工区は粗大礫の含有率が非常に多いため、本工法を従来と同様の形で適用した場合、礫の処理に多くの時間と労力を費やすことが予想されたため、新たな試みを取り入れて対処することとした。

一つは、従来の切削ビットに加えて、新たに開発した礫割り用ビットを採用したことである。これは図-4に示すように半円形をしており、その周面に粒状の超硬合金チップを肉盛りしたもので、カッター前面で大径礫を破砕することをねらったものである。

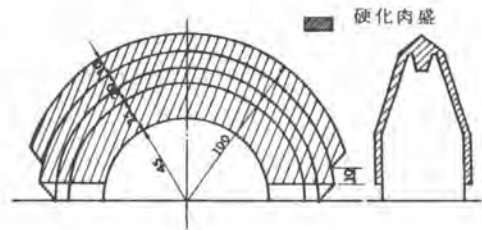


図-4 礫割り用ビット

もう一つは、排土調整槽からの連続礫取り出し装置である。これは、排土調整槽の後部に回転ドラム式のバケットを接続することにより、加水圧に変動を与えることなく連続的に流体系から礫を分離除去・排出するものである。また、排土調整槽内での礫分級効率を上げるため、振動スクリーンを採用している。(図-5)

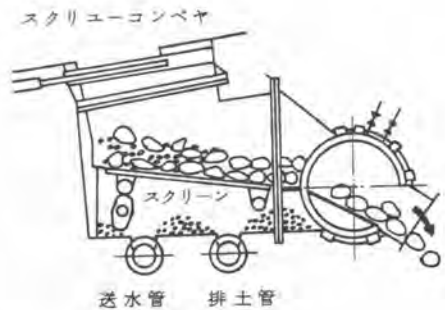


図-5 連続礫排出装置

4-3. シールド機主要仕様

シールド機は外径 3940mm 、機長 5315mm 、総推力 1600T である。カッタートルクは、砂礫層での切削抵抗を考慮して $136\text{T}\cdot\text{m}$ と従来のものより大きなものを装備した。カッタースリットの中は、最大礫径から判断して 300mm とした。スクリーンコンベヤは、搬出可能最大寸法が

270mm×400mmの能力を持つ、羽根径710mm、羽根のピッチ440mmのものを使用した。テールジールは、裏込め注入の効果を上向きさせるため二段配列とし、内側は交換可能なものとした。

4-4 施工実績

掘進実績を図-6に示す。以下に各区間における掘進状況と特徴を記す。

1) 初期掘進

発進部の防護として4m間をソレタシユ工法で地盤改良した。切羽は完全に自立しており、トラブルもなく発進を完了した。初期掘進区間は後続台車の関係から当初55リングまでを計画していたが、35リングを過ぎた頃からポンプに過大な負荷がかかる傾向となつたので、当初計画を変更して41リングで段取替を行なつた。

2) 鉄道横断部

前述のように、これらの鉄道は旅客、貨物輸送の大動脈であり、列車運行の安全を確保して掘進しなければならない。この区間は、発注者、鉄道管理者の指示により、信頼性の高いソレタシユ工法による地盤改良を行なつた。

このため、推進速度が10～15mm/minと低下し、

また、間隙水圧も下がり、薬液効果が顕著に表われ、切羽はほとんど自立しているものと判断された。一部区間では、掘進に長時間を要したこともあり、一時はビットの破損か、あるいは機械本体の性能上の低下かと危惧したが、本工法の多用性の利点を生かすことにより無事に鉄道下部分を通じた。すなわち、この区間は切羽が薬液注入により自立していると判断し、カッターフレーム内の土砂の充填度を下げるにより、カッターへの負荷を減じて掘進した。

3) 一般部

薬液注入区間を通過後の一般部では、推進速度も30～35mm/minに回復し、順調に掘進できた。また、到達前のシルト層の区間においても、シルトの塊による排土調整槽内の閉塞が懸念されたが砂礫層よりも若干早く掘進でき、無事に到達することができた。

5. あとがき

崩壊性帯水粗大礫層というシールド工法にとつて非常に厳しい条件のもとで、土圧バランス型加水式工法を採用し、本工法の有効性を確認するとともに、数多くの貴重な資料を得ることができた。また、粗大礫対策のための新しい試みである、礫割り用ビットおよび連続礫排出装置も一応の成果をあげることができた。現在、シルト分がほとんど無く、崩壊性の非常に高い海浜性の粗大礫層を本工法で施工中である。ここでは、トラツシヤを用いることにより順調に掘進が行なわれている。これらの実績を踏まえ、さらに完成されたシールド工法を目指して研究、開発を進めていく所存である。本報告が、今後ますます増大すると思われる同種工事に対して参考となれば幸いである。

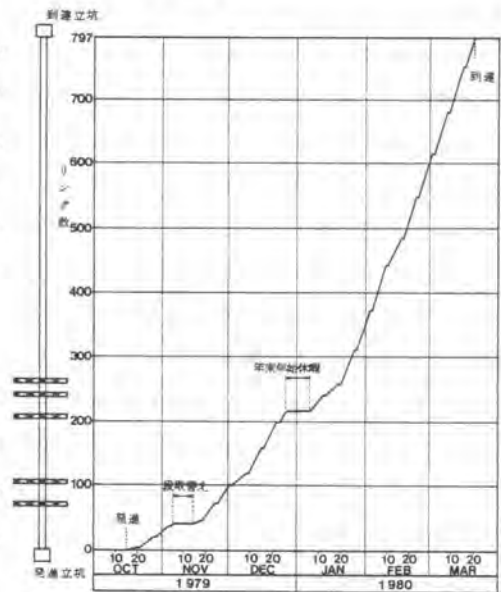


図-6 掘進実績