

砂礫層における市街地での泥水式シールド施工報告

Report of the excavating the sandy gravel by the slurry shield

内山 明日香*

Asuka Uchiyama

要 約

当工事は、国道9号に共同溝（仕上がり内径φ4.7 m, L=約2.7 km）を泥水式シールド工法にて築造するものである。京都市街中心部に発進立坑があることから、施工ヤードの制約が厳しく、また一級河川横断部付近には巨礫・玉石が多く存在する。到達付近ではボーリング調査で逸水の傾向も見られたため、送泥水の作泥配合や管理方法についても検討を必要としていた。

本稿では、狭隘な施工条件下での設備の工夫、巨礫・玉石、逸水層に対する対応、泥水管理についての検討と施工結果について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 土質概要
- § 4. 課題と対策
- § 5. 検討・対策結果
- § 6. おわりに

§ 1. はじめに

国道9号は、京都府京都市を起点に山陰地方を横断し、山口県下関市に至る延長約640 kmの幹線道路である。京都市と京都府北中部を連絡するとともに、京都市内においても東西交通の主軸として重要な役割を担っている。

共同溝は電力線、通信線、水道管等ライフラインを地下に収容する設備であり、路上工事による交通障害を減らすとともに、災害時にもライフラインの安定的供給を確保するもので、国土交通省では事業を進めている。

国道9号京都西共同溝シールド工事は、京都市の中心部から西部地域をつなぐ共同溝になる。共同溝路線は阪急電鉄京都線、一級河川天神川・桂川を横断する。途中、中間立坑にてピットの交換を行う。発進立坑は京都市においても中心部に近い場所に位置し、付近の車線数は4~6車線、1日約4万台の交通量があり非常に多いものとなっている。また、一級河川桂川を超えた到達立坑付近には巨礫・玉石が存在する。

本論文では交通量が多く狭隘な施工ヤードでの対策、巨礫・玉石に対する対応や泥水における管理方法について報告する。図一1に工事位置図を示す。



図一1 工事位置図

§ 2. 工事概要

本工事は、泥水式シールド工法により延長2,757 m、仕上がり内径φ4,700 mm、セグメント外径φ5,150 mmの共同溝を築造する工事である。シールド路線には、阪急京都線・天神川・桂川の横断があり、また直上の国道9号は、京都北西部へ延びる京都縦貫自動車道へのアクセス道路であるとともに、京都市中心部における東西交通を担う重要な道路となっている。

* 西日本（支）京都西シールド（出）

上設備の騒音が懸念された。また、泥水式シールドは流体輸送、泥水処理、裏込注入、作泥等のプラント設備と、初期掘進時の後続台車設備設置に大きなヤードを必要とするが、スペースが確保できなかったために以下の対策を施した。

(1) 初期掘進設備

シールドの組立完了後、発進立坑内に山留材と覆工板による中間ステージ（3ステージ）を設置した。通常地上部に配置するクラッシャー、油圧ユニット、排泥ポンプ等の流体設備、受電設備を中間ステージに設置した。立坑は、セグメント等の材料の投入開口を設ける必要がある。そのため図-5に示すように立坑内空の半分は開口を維持した。

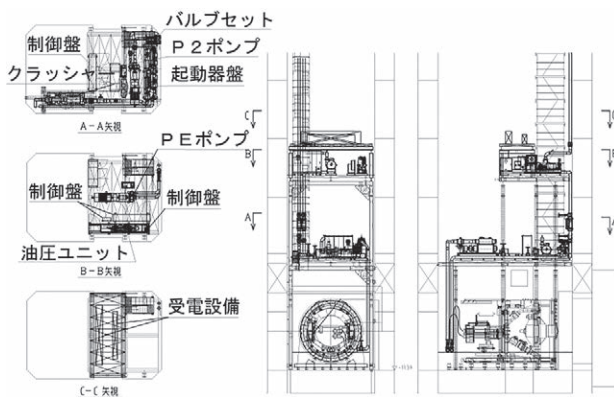


図-5 中間ステージ

(2) 防音ハウス

現場周辺状況を勘察し、防音ハウスの必要性を説き、設計変更とした。流体設備、泥水処理設備、中央制御室等を配置するうえで、平面上での設置が困難であったため、防音ハウスを高層化した。また本掘進時、資機材の搬入や残土・汚泥搬出に1日約100台の搬入出車輛がある。これらの台数を処理するため、車両の入口・出口を別々に設けた。写真-1に防音ハウス全景を示す。

セグメントの資材置場、フィルタープレスや調整槽等は上部階に設け、シールド坑内の一部にクレーンを設置し、配管、軌条設備の資材置場に利用した。図-6に地上設備断面図を、写真-2に坑内資材置場を示す。

超低周波の発生する振動ふるい部にはコンクリート入りの重量パネルで囲い、逆位相装置により超低周波を低減した。

また環境負荷の低減として、圧搾式のフィルタープレスを採用し、含水率を低減させた。

4-2 逸水層に対する泥水管理

泥水式シールド工法は泥水圧力による切羽保持と、循環させた泥水による土砂の流体輸送で掘削する工法である。土圧・水圧に対抗するために、切羽面に不透水性の泥膜を作り、泥水圧を有効に作用させることで安定を保



写真-1 防音ハウス全景

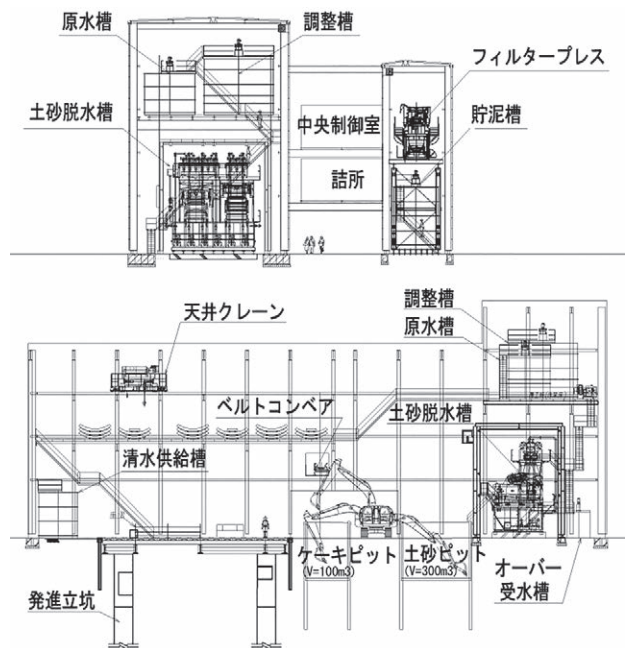


図-6 地上設備断面図



写真-2 坑内資材置場

つ。また、泥水が切羽面からある程度の範囲の地盤に浸透し、切羽に粘着性を与える相互効果により切羽の安定が保たれる。そのため、有効な泥水の物性（比重、ろ過特性、粘性、砂分含有率等）の調整が必要不可欠となる。

到達立坑付近にある Dg1 層は、土質調査結果から細粒分が非常に少なく泥水の逸水が懸念された。一般に細粒分の多い地盤では地山の粘着力を有し切羽の安定性が高く、泥水の品質も保持されやすいとされている。これに対し、透水係数の大きな砂地盤や礫地盤では逸泥等により泥膜が十分に形成されない場合がある。そのため当該工事では切羽安定のために送泥水の性状をどう確保するか、送泥水の配合と品質管理が課題となった。既往事例を参考にした送泥水管理基準を表一に示す。

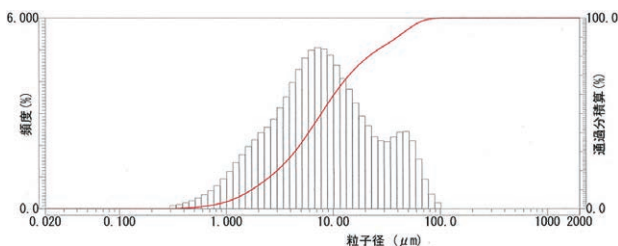
表一 送泥水管理基準

項目	比重	ファンネル粘性 (秒)	砂分量 (%)	脱水量 (cc)	ケーキ厚 (mm)	PH
管理値	1.15~ 1.25	25~ 40	5 以下	40 以下	3~ 5	7.0~ 11

(1) 基本配合の検討

逸泥層に対し送泥水の品質の向上、安定性を図るため、調泥を行うこととした。Dg1 層掘進を前に調整槽から送泥水をサンプリングし、添加材の選定と基本配合の確認を室内試験にて行った。使用材料はクレーサンド、増粘剤および分散剤を用いた。

粘性を向上させるため、最初に溶液および粉体タイプの増粘剤のみの添加（添加量 0.5~1.5 kg/m³）を行ったが、脱水量、ケーキ厚とも改善は見られなかった。とくに粉体の増粘剤の場合は、溶解するための加水が必要となるため、脱水量、ケーキ厚とも悪化した。この原因として送泥水の粒径や粒度分布の影響があると考えレーザー解析により粒度分布を測定した。図一七に送泥水の粒度分布図を示す。一般的な泥水材クレーサンドの 85% 通過粒径が 5~6 μm に対し、本送泥水の粒径は 29 μm と 6 倍の粒径であることが確認された。そこで現場送泥水に対して細粒分の補給が必要と考え、クレーサンドを添加した配合にて追加試験を行った。



図一七 泥水粒度分布図

その結果、表一の管理基準値内を満たすには、80% 以上の添加量が必要で、そのファンネル粘性は 30.8 秒となり、当現場の設備では、作液の輸送の面で困難であった。そこで表二に示す分散剤を追加した配合で室内試験を行い、現設備で可能な送泥水の調泥ができる配合を検討した。試験結果を表三に示す。

今回は逸水対策を主目的としており、砂分量、PH は

表二 配合表

項目	送泥水 (m ³)	クレーサンド (m ³)	増粘剤 (kg)	分散剤 (kg)
サンプル泥水	—	—	—	—
①			2	3
②	1.0	0.1	1	3
③			1	2
④			0.5	1

表三 試験結果一覧表

項目	泥水比重	ファンネル粘性	脱水量 (cc)	ケーキ厚 (mm)	ブリージング 24hr (%) : 参考
サンプル泥水	1.27	25.17	109	7.3	—
①	1.25	59.26	20	1.5	1.0
②	1.25	30.87	32	2.2	1.9
③	1.25	46.41	50	3.3	16.0
④	1.25	64.86	128	8.2	20.0

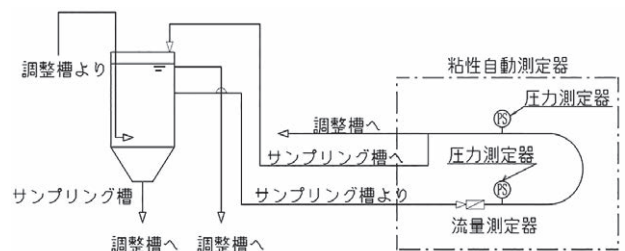
安定していたことから試験項目から省いた。

試験の結果、現場の調整槽送泥水に対して分散剤を、3 kg/m³ から減量するとブリージング率が著しく悪化した。そこで今回の送泥水では、②配合が最適の結果が得られると判断した。実施工では、②配合をベースとして礫輸送を目的に増粘剤の添加量を調整した。

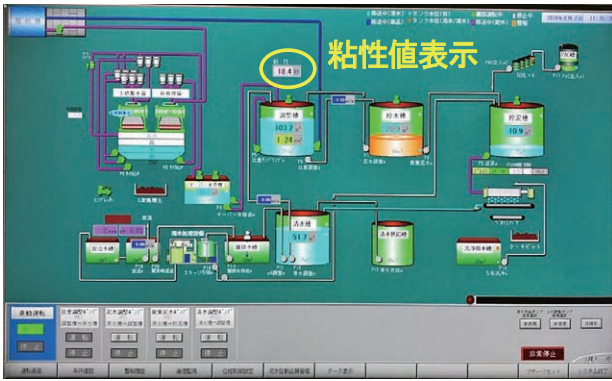
4-3 自動粘性装置の検討

泥水式シールド工法では送泥水の品質管理および処理を適切に行う必要がある。管理項目は比重、ファンネル粘性、pH、脱水量、ケーキ厚、砂分率の 6 項目である。その中でファンネル粘性について自動品質管理システムを検討した。

本装置は 1 インチの配管を用い、流体が流れる時間と細管の両端の圧力差から粘度を求める「細管式粘度計」の測定方式を採用した。ハーゲン-ポアズイユの法則から粘性を導き粘度を導き、従来式測定方法との相関性を確認した。図一八にシステム概要図を、写真一三に自動粘性測定システムを示す。特異点を除き ±1 秒（ファンネル粘性）と小さなばらつきで相関性があることがわかり、実用に十分な精度を確保できることがわかった。図一九に粘性・圧力相関グラフを示す。



図一八 自動粘性装置システム概要図



西松建設 泥水自動品質管理システム

自動粘性計測装置		
計測中	洗浄中	待機中
粘性	18.4	sec
流量	0.00	L/min
圧力1	0.1	kPa
圧力2	7.1	kPa

写真-3 自動粘性測定システム

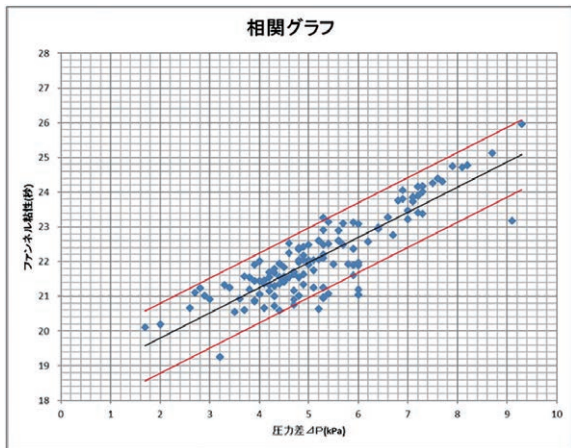


図-9 粘性・圧力相關グラフ

4-4 巨礫に対する対策

シールドのビットは礫対応のビット配置とした。強化型先行ビットは、貝殻状のシェルビットを段違いに配置し、先行ビットとの高低差を40mmとした。高ビットで砂礫をほぐすように掘削し、高ビットが摩耗した際には、低ビットが補完するように砂礫を掘削する。

強化型先行ビットの後列にはメインビットを装備してチャンバー内へ土砂の取り込みを行う。メインビットも段違いに配置して、摩耗や超硬チップの欠けに対応することとした。

最大礫径φ600mmに対しては外周に配置したローラービットで破碎し、チャンバー内に取り込む計画とした。φ600mmの礫は到達付近で発現すると想定していたため、当初は中間立坑で行うビット交換時に装備する計画であった。しかし中間立坑までに巨礫が発現する場合はリスクを考慮し、初期掘進時からローラービットを3個

装備し、中間立坑で交換、2個増設することとした。

取り込んだ礫は、後方台車に配置したクラッシャーにて破碎し、排泥管を通して坑外へ流体輸送した。また砂礫層の掘進は排泥系統の配管、中継ポンプ等の摩耗が予想された。そこで発達立坑側の排泥管を肉厚管とし、排泥系統の中継ポンプにおいては、インペラの摩耗が発生しても他のポンプで補えるように回転数可変制御対応型とした。写真-4にビット配置状況を示す。

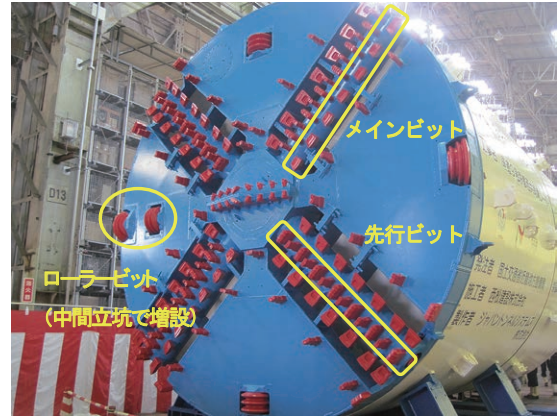


写真-4 ビット配置

§ 5. 検討・対策結果

5-1 周辺環境への配慮

事前の検討より、騒音対策を設けない場合、環境基準(昼間65dB、夜間50dB)を超過するものが、防音ハウスを設けたことにより環境基準を下回る結果となった。

また、圧搾式のフィルタープレスを採用することにより含水率を40%から35%に低減させることで、建設汚泥の発生量を抑制した。通常式フィルタープレスを採用した場合の想定発生量29,248.7tに対し、実発生量25,635.2tとなり、3,613.5t(12.4%)の削減量となった。

5-2 礫に対する実績

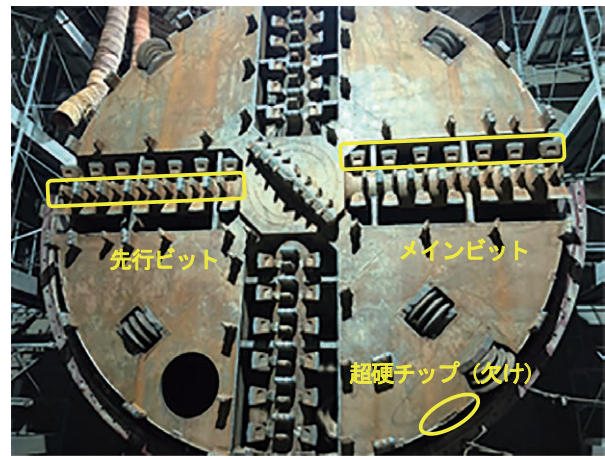
中間立坑および到達立坑においてビットの摩耗量を測定した。外周部の超硬チップに欠けが見つかったが、全体的に想定摩耗量と比較し、同等であった。写真-5にシールド到達時の状況を示す。

礫の取り込みについても概ね想定どおりであった。φ200mm以上の礫の取り込みによるシールド機内での配管閉塞が数回発生したが、機内配管に礫取り箱を設け、排出することで対応した。写真-6、写真-7に機内配管より採取した礫を示す。

配管および中継ポンプのについては、排泥管の摩耗による破損が多数発生した。また、中継ポンプについてはインペラの摩耗やポンプのケーシングが破損する事象が多数発生し、配管の破損が129回、インペラの破損が12回、ポンプのケーシングの破損が27回であった。写真-8に中継ポンプ破損状況を示す。

これらの原因を調査するため、回収した礫の一軸圧縮強度試験を行った。試験を行った礫は砂岩とチャートの2種類で、砂岩で254 MN/m²、チャートで282 MN/m²であった。

本工事で出現した玉石は桂川上流部の山地部に広く分布している丹波層群と呼ばれる硬質堆積岩（チャートや砂岩等）起源のものが主体である。丹波層群のチャートや砂岩は中生代より古い時代に形成された岩石（先新第三紀堆積岩）であり、一軸圧縮強度はおおむね90～250 MN/m²である。今回採取した玉石はそれを上回る強度である。特にチャートは石英などのSiO₂含有量が極めて多い岩石として知られており、切削や破碎、流体輸送設備の過剰摩擦や破損頻発の原因となったと考えられる。



写真一五 シールド到達時

5-2 逸泥に対する対策

到達の約300m手前で調泥を行った。良好な結果が得られたが、シールド機の全断面がDg1層に進入し掘進を進める中、到達の約90m手前から逸泥が激しくなった。さらに礫による閉塞が多発し、切羽保持が困難な状況となった。そのままシールド掘進を続けた場合、逸泥が激しくなり調泥が間に合わないために泥水の粘性が低下し、流体輸送での排出土の運搬ができず、閉塞が増え、切羽および地山が崩壊する可能性が高まった。シールド先端から到達立坑土留壁までは約20mとわずかであったが、国道9号線の直下であり、万一地山の崩壊が生じた場合、道路の陥没という事態を引き起こす可能性が懸念され、掘進を中断し、切羽およびシールド外周に充填材のクレーショックを注入した上で、シールド掘進を停止した。

施工中急激に泥水の逸泥が増加した理由は到達立坑の手前付近のみ当初の想定以上に透水係数の大きい砂礫層になっていると考えられた。また、掘進停止直前に礫の影響によるシールドの閉塞が多数発生し、シールドの閉塞が続くと地山を緩める懸念がある。そこで、砂礫中の空隙を注入材にて充填し、地盤強度を増加させる必要があった。そこで、透水係数の低減と地盤の強化を目的に薬液注入工を行った。その後は、逸泥等もなく、無事に到達を行うことができた。



写真一六 機内配管より採取した礫(砂岩)

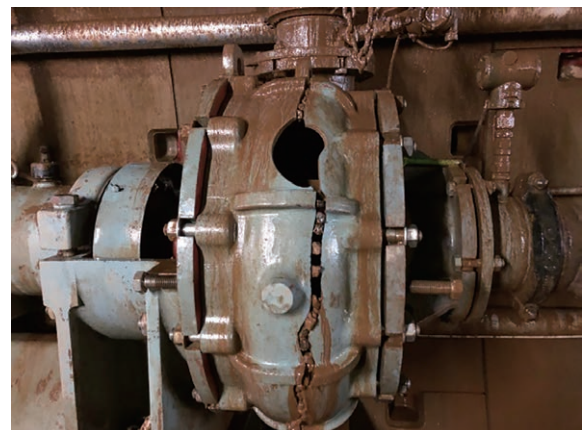


写真一七 機内配管より採取した礫(チャート)

§6. おわりに

本工事では、巨礫・玉石を含む砂礫層に対して、泥水配合を調整しながら対処して施工した。その結果、到達立坑までのDg1層では、無事に施工ができた。以下に本工事で得た知見を記す。

- ① 泥水の粘性を向上させることで、流体輸送を確保できた。到達前90mで逸水が著しくなったが、泥水の限界を早期に判断して、道路の陥没等、最悪の結果を回避できた。
- ② 泥水比重の自動計測化を行い、十分な精度であることを確認した。



写真一八 中継ポンプ破損状