

日本最長の泥土圧シールドの施工実績

辻井 孝・亀井 達司・上田 昭郎

春日井共同溝は、国道19号直下の玉石混じり砂礫地盤において、全長6,820mのシールドトンネルを1台の泥土圧シールドで施工したものである。泥土圧シールド工法の適用工事として、前例のない長距離シールドトンネルを掘進するために、地盤改良等の補助工法を必要としないビット交換工法を採用して、シールド機内においてカッタビットの交換を行い、掘削能力を維持した。また、資機材の坑内自動搬送システムおよびセグメントの自動組立て技術を採用して、長距離の影響による施工サイクルの低下を防いだ。

キーワード：泥土圧、泥土圧シールド、シールドトンネル、カッタビット、リレービット工法、ビット交換工法、坑内自動搬送、セグメント自動組立て、砂礫、長距離

1. はじめに

シールド工事は長距離化しており、1台のシールドによって3km以上のトンネルを掘進する工事は珍しくない。愛知県の春日井市春日井共同溝は、シールドに対して過酷な施工条件である玉石混じりの砂礫地盤における工事であり、1台の泥土圧シールドとしては日本最長（泥水式を含めると3番目の長さ）のシールド工事である。

平成18年5月に全延長6,820mの掘進を完了したため、施工の企画と実績について報告する。

2. 工事概要

春日井共同溝は、名古屋市北東部に位置する春日井市の一般国道19号路面下（6～18m）を泥土圧シールド工法により建設し、名古屋市と春日井市を結ぶライフラインのネットワークを構成するものである（図-1）。

春日井共同溝シールド工事は、国道19号の交通阻害の低減、沿道の環境保全ならびにコスト縮減を進めるため、全工事の掘進延長6,820mを1台の泥土圧シールドで施工する長距離化が検討された（写真-1）。その技術的課題として、砂礫地盤を掘進する場合に摩擦が著しいカッタビットの耐久性向上が重要課題となった。

これに対して、民間の最新技術の導入とともに建設

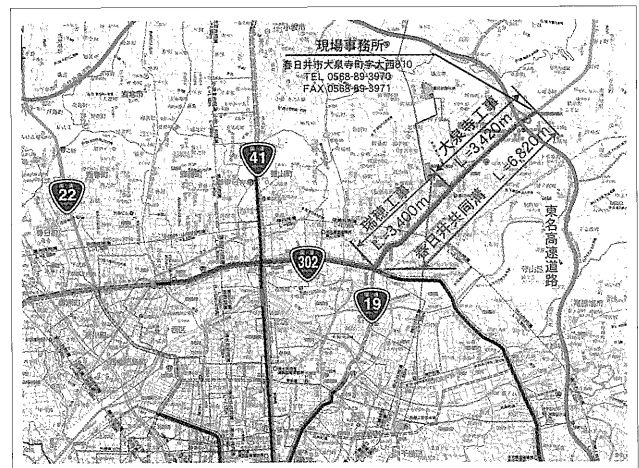


図-1 春日井共同溝位置図

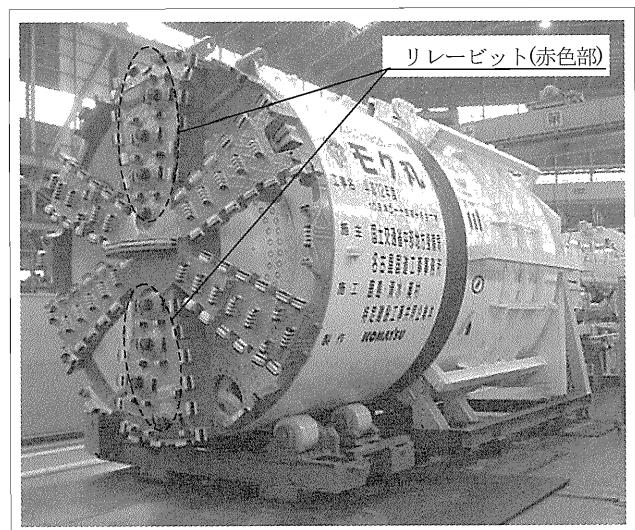


写真-1 春日井共同溝シールド

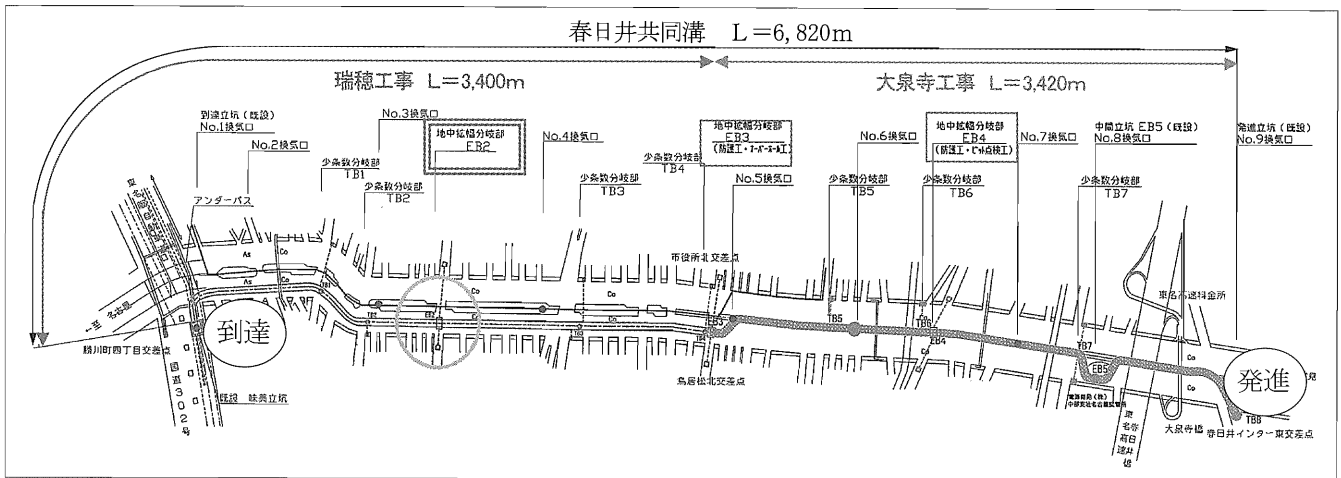


図-2 路線平面図

コスト削減を目的として、設計・施工提案型入札時VE方式が導入され、リレービット工法を含む最新技術が採用された。

1期工事である大泉寺工事の延長3,420mを2004年3月に施工完了しており、引続き2期工事である瑞穂工事では、延長3,400mと地中拡幅分枝部3箇所を施工する。平成18年5月末に全長6,820mの掘進を完了し、既設立坑に到達した(図-2)。

3. 長距離対応技術

(1) リレービット

リレービット工法は、作業者がカッタ面盤の回転軸であるシャフトを通じてカッタスポーク内部の作業空間に移動し、内側から摩耗したカッタビットを引抜き、新しいカッタビットを差込むことでカッタビットの交換を行う工法である(図-3)。

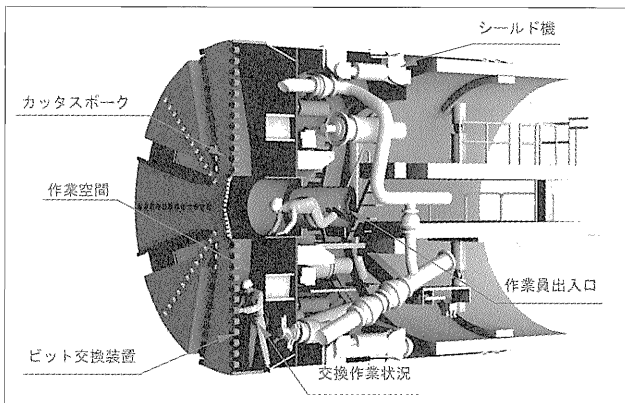


図-3 リレービット工法のイメージ図

リレービット工法のビット交換装置は、交換時に止水性を保つ必要があるため、ボールバルブの原理を応用して装置内部を回転させることによって、カッタビットの入り込む穴が開閉する構造となっている。

- ①カッタスポーク内に作業空間(広さ約80cm四方)を設けたことにより、無圧気でビットの交換が可能である。
- ②ビット交換は土質条件に関係なく、「いつでも、どこでも、何回でも」交換可能である。
- ③カッタビットの摩耗状況を目視確認できる。

リレービット工法は、地盤改良などの補助工法を必要とせず、シールド内部からカッタビットを交換する工法であり、現在までに8件の工事に適用されている。

春日井共同溝シールドにおいては、リレービット(写真-2)を先行ビットとして採用した。φ150の円筒径の母材先端に超硬チップ(E5種)を取付けた。リレービットの摩耗限界量は、メインビットとの先行段差である50mmである。

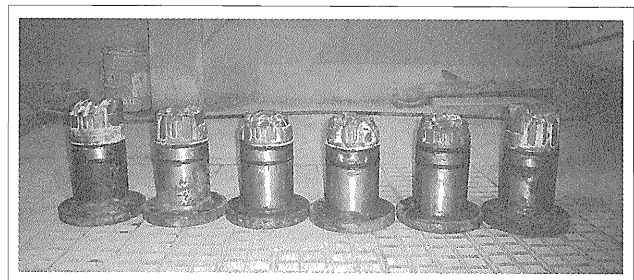


写真-2 掘進途中で交換したリレービット

(2) シールドの耐久性向上

シールドの機械装置の耐久性向上策として、特に施工途中におけるオーバホールが不可能なカッタヘッド駆動部は、ダブルテーパローラベアリングを採用した。このベアリングは、トンネルボーリングマシンで使用されることが多く、通常シールドで使用されるベアリングより高強度、長寿命である(図-4)。

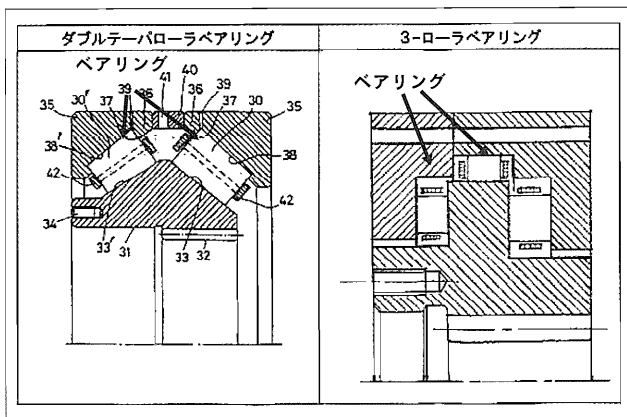


図-4 カッタヘッド駆動部ベアリング比較

(3) 自動搬送システム

長距離シールドの課題の一つとして、発進基地から切羽が遠くなることによる物流面における施工サイクルの低下が挙げられる。春日井共同溝においては、掘削土砂をずり鋼車によって発進基地を經由して場外へ搬出した。切羽位置に関係なく一定の施工サイクルを維持するために、バッテリーロコ（幅狭 12 ton）およびずり鋼車を最大5編成使用した。

坑内の軌条は複線として、バッテリーロコを無人運転する自動搬送システムを採用した（図-5）。また、障害物を検知した場合の車両制動性能を向上させるため、高粘着性車輪を採用した。

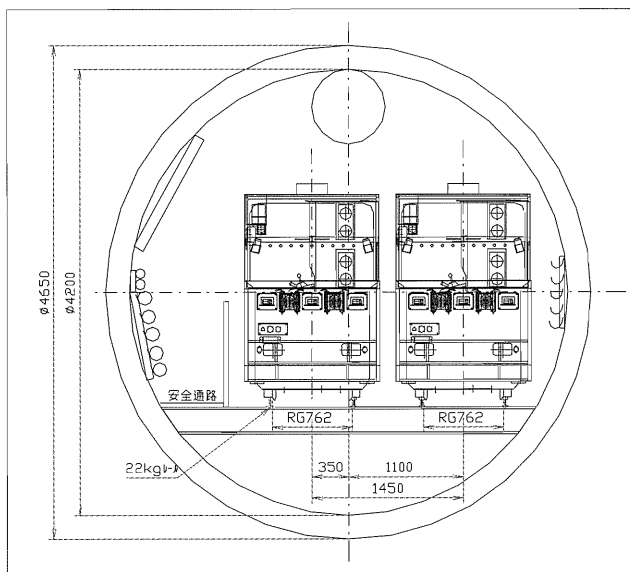


図-5 坑内軌条標準断面図

バッテリーロコの仕様は、表-1のとおりである。

表-1 仕様

型式名	12 ton サーボロコ
定格牽引力	12.9 kN
電動機	サーボモータ、定格出力 45 kW×2 台
車輪	高粘着の車輪φ660（摩擦係数=0.4）
最高速度	最高 10 km/h

(4) セグメント自動組立て

セグメント組立て後の高品質な仕上がりおよび組立て作業の安全性を確保するために、セグメントの供給から把持、位置決めまでを全自動で行った（写真-3）。全自動エレクタ（写真-4）の採用としては、最小シールド径である。

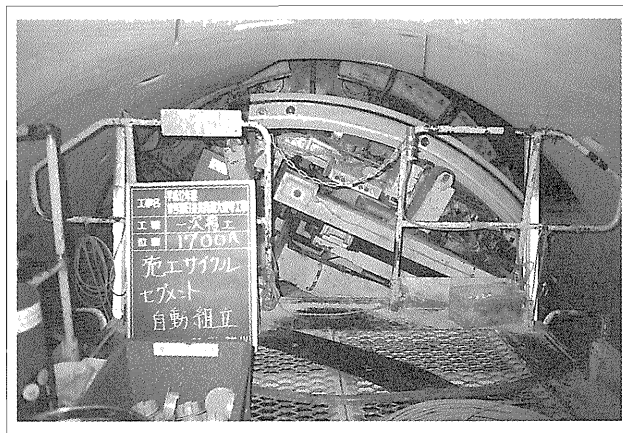


写真-3 セグメント自動組立て状況

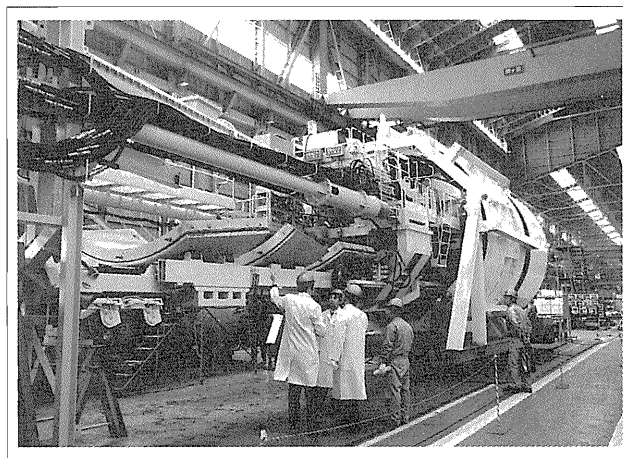


写真-4 供給装置と自動エレクタ

セグメントの位置決めは、「倣い制御方式」を採用した。この方式は、組立て済みのセグメント位置の計測結果に基づいて、組立て位置を決定する方法である。1リング当りの組立て時間は、30分であった。

4. 施工実績

(1) シールド掘進記録

シールドは、平成 13 年 12 月 17 日から現場組立てを行い、平成 14 年 4 月から掘進を開始した。平成 14 年 9 月には、中間立坑に到達して最初のオーバホールおよびシールドの改造を行った。平成 15 年 8 月には、大泉寺工事の到達地点であるトンネル中間地点に達した。

瑞穂工事においては、シールド掘進工事と同時に途中に3箇所ある地中拡幅部（掘削外径φ7,340）の拡幅シールドを同時掘進拡幅工法による施工を行いながら、平成18年5月25日に既設立坑に到達した。

(2) オーバホールの実績

工事の全工程において、途中3度のシールドのオーバホールを実施した。各々のオーバホールにおける主な作業内容を表-2にまとめた。

表-2 リレービット交換実績

位置	EB5	EB4			EB3		EB2	
掘進距離(m)	820	1,848	2,405	3,054	3,376	3,624	5,198	6,086
区間長(m)	820	1,028	557	649	322	248	1,574	888
交換回数	8	3	6	6	6	6	9	4

1期工事：EB5～EB3（5回）、2期工事：3,634～6,086m（3回）

オーバホールの実施位置は、EB5は既設の中間立坑内であったが、EB3,2については、地中拡幅を施工するために施工した地盤改良体の中において切羽前



写真-5 切羽オーバホール作業空間

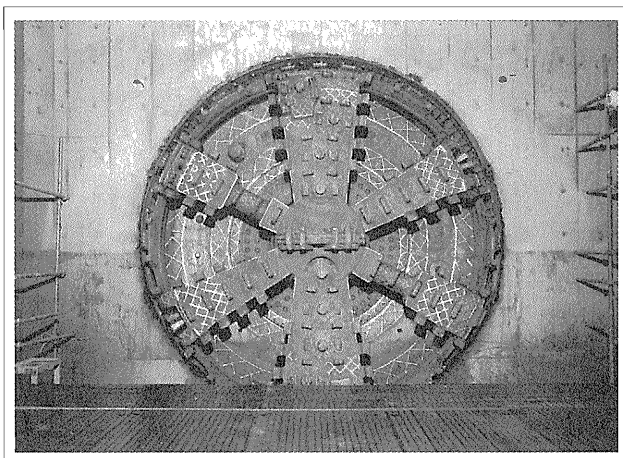


写真-6 到達時のカッタフェース

面に作業空間を確保した（写真-5）。

EB3におけるオーバホールは、大泉寺工事から瑞穂工事にシールドをなるべく新しい状態で引継ぐために、カタビットについては全数交換した（表-3）。

表-3 オーバホール実施内容

実施位置	発進時	EB5	EB3	EB2
実施時期	平成14年4月	平成14年9月	平成15年8月	平成17年4月
位置(m)	0m	820m	3,400m	5,200m
メインビット	60個	1個交換, 14個取外し	42個交換	3個交換, 4個取外し
外周メインビット	12個	12個交換	12個交換	12個交換
先行シェルビット	21個	10個交換, 1個追加	21個交換	11個交換
シェルビット	25個	15個交換	25個交換	10個交換
外周シェルビット	11個	11個交換	11個交換	11個交換
リレービット	9個	8個交換	9個交換	9個交換
スクリーコンベア	3基	ケーシング3基交換（オーガ肉盛補修）	ケーシング, オーガを3基とも交換	オーガ3基交換（ケーシング肉盛補修）
特記事項		No.2,5スポーク形状を円筒形に変更	No.2スクリーコンベアを2分割	

(3) リレービットの交換実績

シールドの設計段階においては、リレービットは、掘進900m毎に1回交換するものと想定した。実際のリレービットの交換は、各オーバホール時における交換を除いて、1期工事で3回、2期工事で2回の計5回交換した。オーバホール時の3回の交換を含めると合計8回であり、ほぼ当初の想定頻度で交換したこととなった。

なお、リレービットの交換に要する時間は、1個あたり2時間程度だった。

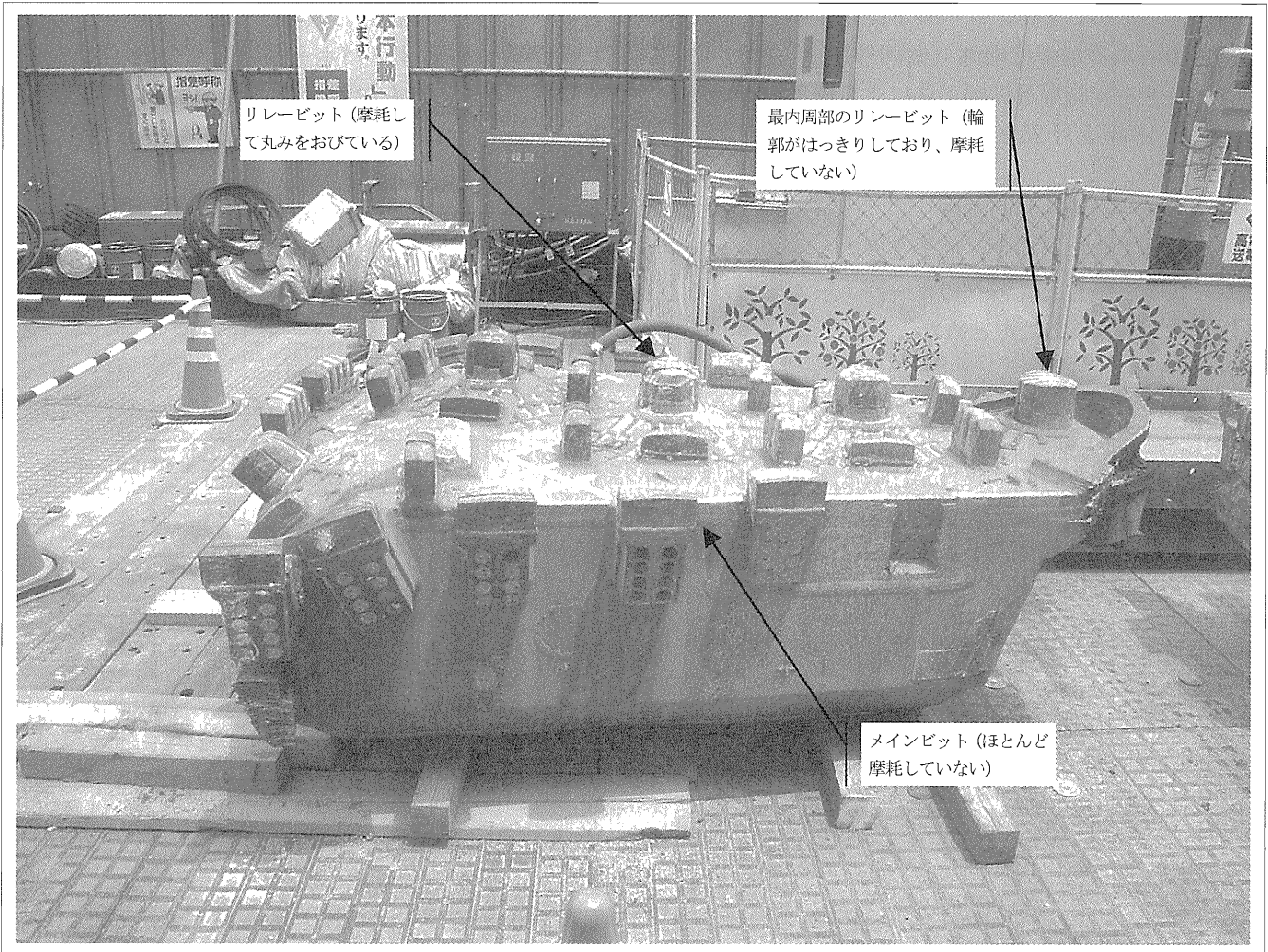
(4) リレービットの効果

到達後にカタビットの摩耗状況を調査した（写真-6, 写真-7）。リレービットは先行ビットとして著しく摩耗していたが、メインビットにはほとんど摩耗が見られず健全な状態だった。すなわち、先行リレービットに地山掘削の負担が集中しており、メインビットの掘削機能は温存された。

リレービット工法によって、玉石混じり砂礫地盤というカタビットにとって過酷な施工条件下においても、長距離掘進が可能であることが実証できた。

5. その他の技術提案

春日井共同溝工事において、VE技術提案して採用



写真一7 到達時におけるビットの摩耗状況

された新技術、新工法のうち、シールド工事に関係するものについて簡単に紹介する。

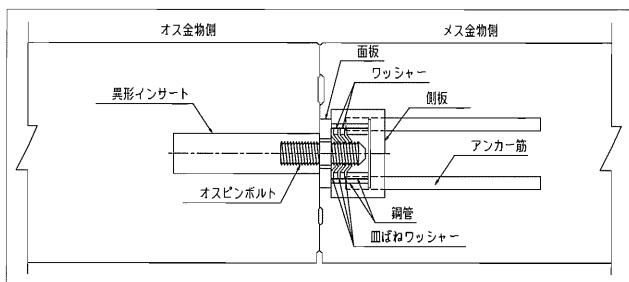
(1) クイックブロックセグメント

今回使用したセグメントは、セグメント継手を「突合せ構造」、リング継手を「ピン構造」として千鳥組みによる添接効果を有効に活用した、ワンパス組立てが可能な内面平滑の2次覆工省略に適したクイックブロックセグメント (QB) である。

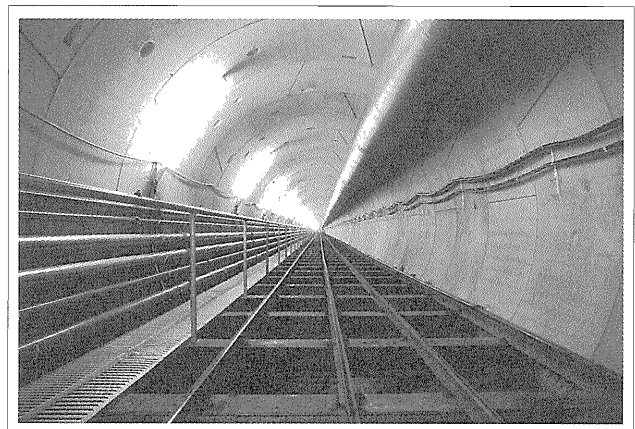
大泉寺工事は、シールドジャッキにて締結する

WLP (ウェッジロックピン) 継手のQB I セグメントを、瑞穂工事は、エレクタのみで締結可能なDS (ディスクスプリング; 図一6) 継手のQB II セグメントを使用した。

セグメント幅は、当初設計の1,200 mm に対して1,300 mm の幅広タイプとし、ピース分割は5等分割とした (写真一8、写真一9)。



図一6 DS 継手構造図



写真一8 シールド坑内

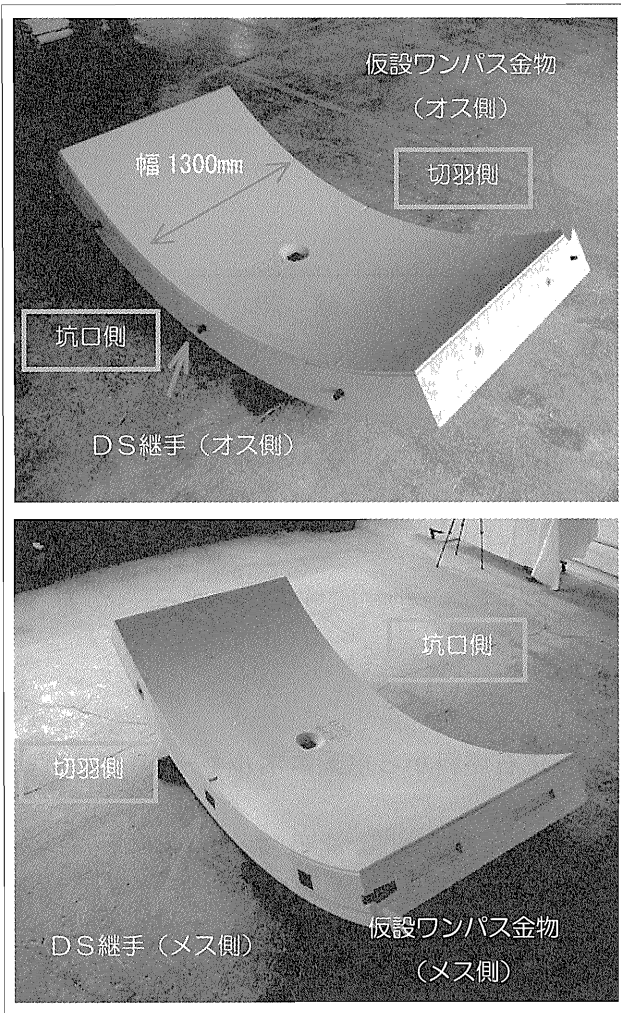


写真-9 クイックブロックⅡセグメント

(2) 同時掘進拡幅工法による地中拡幅

春日井共同溝は、途中3箇所の拡幅部がある。その施工法として、本シールドの掘進期間に同時に地中拡幅工を行う同時掘進拡幅工法を考案して施工した。

拡幅部は、一般部仕上がり内径4,200mmを内径

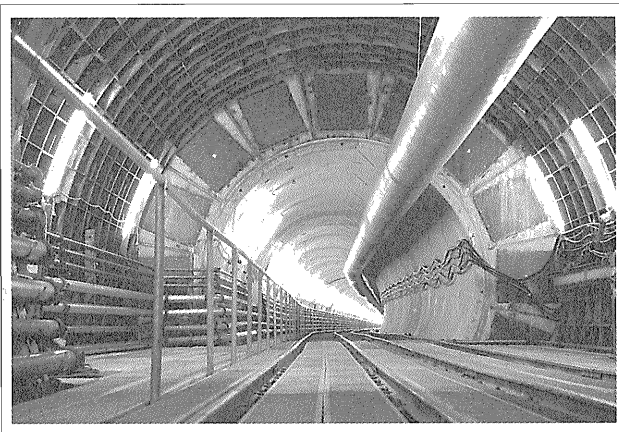


写真-10 地中拡幅部 (内径φ4,200→φ6,700)

6,700mm (スチールセグメント内径) への拡幅を行うものであり、完成後は電力ケーブルの分岐部となる。

施工方法は、地上から地盤改良を行った後、シェルタと刃口体からなる拡幅シールドを地中にて組立て、拡幅部の地山を人力で掘削し、拡幅シールド掘進と泥土圧シールドを同時に掘進するものである。

この工法の特長として、本坑シールド完了後に拡幅を行う従来工法に対して、本坑シールド完了時に拡幅部の施工が完了していることである。

(3) その他の要素技術

その他の要素技術として、砂礫地盤におけるカッター摩耗低減による長寿命化を狙って、室内実験によって選定した2種類の添加材をチャンバ内に注入しながら掘削する技術を開発した。2種類の添加材 (A, B) の配合は、スクリーコンベアから排土される泥土の性状に応じて調節した。

添加材A：セルローズ系高分子によって掘削した泥土に流動性を与える

添加材B：エマルジョン型高分子によって、掘削した泥土に塑性を与える

又、地上の混練設備から坑内の後続台車迄6,000mを超える長距離を配管にて圧送するため配管圧送中の材料劣化がなく可使時間が7日程度を確保できる裏込め注入材を採用した。

これらの長距離シールド施工に対する要素技術に関する詳細については別の機会に報告する。 JCMIA

【筆者紹介】

辻井 孝 (つじい たかし)
鹿島・清水・奥村特定建設工事共同企業体
所長



亀井 達司 (かめい たつじ)
鹿島・清水・奥村特定建設工事共同企業体
次長



上田 昭郎 (うえだ あきろう)
鹿島・清水・奥村特定建設工事共同企業体
機電課長

