

高難度な施工条件下でのシールド工事における技術的対応事例

Technical Correspondence Case in Shield Tunneling under the High-Difficulty Construction Condition

安井 了一*1 植島 生八*1 越智 創*1
Ryoichi Yasui Ikuya Ueshima Hajime Ochi
金岡 越志*1 樋口 昌典*2 桶川 宏司*2
Takeshi Kanaoka Masanori Higuchi Koji Okegawa

要旨

横浜市内でほぼ同時期に取り組んだ2件のシールドトンネルは、それぞれ特徴のある施工条件に対して、様々な課題を克服しながら工事を行った。西八朔シールド工事では、土かぶり1D未満と小さく、掘削断面の上半は軟弱粘性土で下半が泥岩のMixed Face地盤（切羽に硬質地山と軟質地山が混在する地盤）において、地表面沈下防止と硬質地盤乗上げ防止に取り組んだ。一方の相沢川シールド工事では、蛇行する河川直下を併走しながら最小曲線半径20mのS字曲線を含む44箇所の曲線を有する多曲線線形において、線形精度の確保と日進量確保を目的として、曲線掘進管理やシールド設備の工夫に取り組んだ。これら2件の施工事例について報告する。

キーワード：Mixed Face地盤、小土被り、急曲線施工、多曲線施工

1. はじめに

今回報告する2件のシールド工事は、いずれも横浜市環境創造局から発注された雨水浸水対策を目的とした工事である（図1）。



図1 工事位置図

都筑処理区西八朔小山雨水幹線下水道工事（以下、西八朔シールド工事）は、西八朔地区約46haの区域を計画降雨（おおむね50mm/hr）に対応させるための雨水整備事業の一環で、西八朔地区から恩田川へ向けた雨水排水管路を泥土圧式シールド工法で築造するものである。

また、西部処理区相沢第二雨水幹線下水道築造工事（以下、相沢川シールド工事）は、既設の相沢雨水幹線の排水能力不足により瀬谷区相沢地区と瀬谷地区において、浸水被害が発生していることから、被害の軽減を図るためのバイパス管として、相沢川の直下に雨水貯留管を泥土圧式シールド工法で増築するものである。

2. 西八朔シールド工事

2.1 工事概要

西八朔シールド工事の縦断線形は、恩田川への自然流下の排水勾配を確保するために土被りが非常に小さくなっており、最小土被りはシールド掘削外径φ2.69mを下回る2.4mとなった。

また、交通量の多い片側1車線の県道部において、R=20mとR=15mの2箇所の急曲線が計画されていた。表1に工事概要を、図2に路線平面図をそれぞれ示す。

表1 西八朔シールド工事概要

工事名	都筑処理区西八朔小山雨水幹線下水道整備工事
発注者	横浜市環境創造局下水道管路部管路整備課
施工者	鴻池組・長野工務店 建設共同企業体
工期	2016年9月20日～2018年7月13日
工事場所	横浜市緑区小山町642番～西八朔町16番
工事内容	・泥土圧式シールド工（仕上り内径φ2,200mm） 掘削外径：φ2,690mm、施工延長：489.8m ・発進立坑工 鋼矢板土留め工：□9.2m×10.8m×H6.5m ・到達立坑工 深礎工法（円形ライナープレート）φ3.5m×H12.9m ・既設水路撤去迂回復旧：一式 ・付帯工（舗装撤去復旧）：一式

2.2 シールド掘進における技術的課題

シールド掘進の対象土質は、発進直後から最初のR=20m

*1 東京本店 土木部 *2 技術本部 土木技術部

急曲線付近までは、下半がN値50以上の上総層群鶴川層の泥岩(土丹)、上半はN値3程度の軟弱な砂混じり粘土であり、硬質地山と軟弱地山が混在する典型的な Mixed Face 地盤である(図3)。

このような地盤構成では、シールド掘進管理や姿勢制御が難しく、地表面の沈下やシールド機の硬質地盤(泥岩層)への乗上げ対策が課題となった。また、土被りが2.4mと小さいため、地表面に影響を与えない切羽安定対策も求められた。

セグメントは、一般部では二次覆工省略型のRCセグメントが、急曲線部および流入部には鋼製セグメントが採用されていた。鋼製セグメント部の二次覆工をRCセグメントの内面に合わせるためには、覆工厚さが47mmと薄くなり、現場打ちコンクリート打設による充填方法が課題となった。



図2 西八朔シールド路線平面図

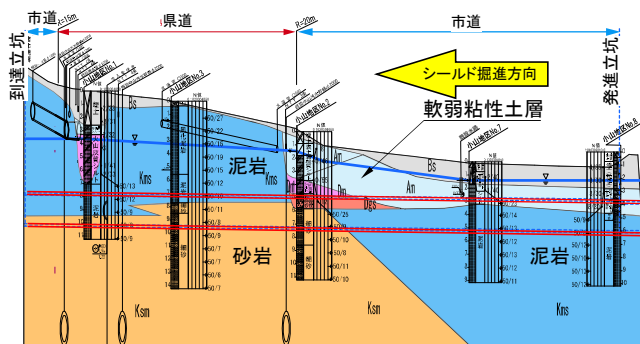


図3 西八朔シールド土質縦断面図

2.3 Mixed Face 地盤での小土被り部の掘進

シールド工法において、一般的に上半が軟弱土で下半が硬質土の場合、硬質土の掘削に時間を要し、上半の軟弱土の取込み過多が発生しやすいため、地表面沈下が発生することが多い。

また、密閉型シールド機で切羽地山に硬軟差が大きい地

層の境界がある場合、切削抵抗の小さい軟弱地盤の方へシールド機が偏る傾向がある。さらに、土被りが小さい場合、シールド機に作用する上方からの土圧も小さいことから、シールド機の姿勢制御に不利となる場合が多い。本工事では、これらの課題を克服するため、以下のような対応策を実施した。

2.3.1 カッタービットの工夫による硬質地盤切削

通常のティースビットは切削幅が広く、硬質な泥岩では切り込み深さが浅くなるため掘進速度が低下して掘進に時間がかかり、上半軟弱土の取込み過多が発生する。そこで、掘進速度を確保するため、ビットの切削幅が狭く、切り込み深さが十分に確保できる薄型先行ビットをスポーク中央部に追加配置した。薄型先行ビットによって泥岩に切り込み溝やひび割れを発生させ、ティースビットで掻き取る二段階の切削を目的としたビット配置とした。一方、泥岩層への乗上げ対策として、最外周のシェルビット(外周先行ビット)をスポーク部の薄型先行ビットより高く設置し、シールド機最外周ビット部が最初に掘削断面下半の泥岩層に切込みを入れることにより、シールド機先端の浮き上がり防止を図った(図4、写真1)。

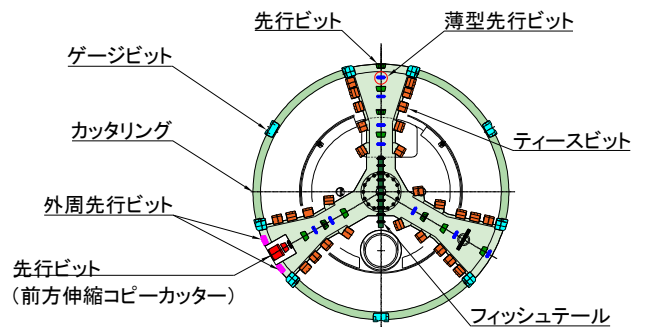


図4 カッタービット配置図

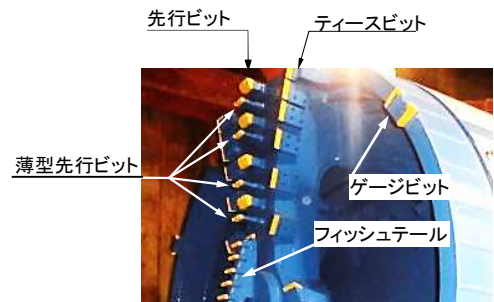


写真1 薄型先行ビット

2.3.2 前方伸縮コピーカッターによる最外周切削

急曲線部では外周先行ビットの高さを上げすぎると曲線外側も先行して掘削することになり、シールド機中折れ状態時の曲線掘進性能が低下することが懸念された。そこで主に直線部での最外周の先行切削能力を強化するために、前方伸縮コピーカッターを搭載した。最外周のシェルビットによる泥岩切り込み量が不足した場合にもコピーカッター

一を伸長して切り込み量を確保できる機構とした(写真2)。

従来のコピーカッターは、スポーク軸と平行に内蔵した油圧シリンダーをカッター半径方向に伸縮させ、曲線施工に必要な余掘りを行うものである。今回の前方伸縮コピーカッターは、カッターヘッドを支持する外周アーム内にある油圧シリンダーを水平方向に内装し、掘進方向に伸縮させるものとした。この前方伸縮コピーカッターは、シリンダーの位置と可動ビット部分の位置関係を補正するために、やや外側斜めに搭載しているが(図5)、可動ビットの先端は、掘削外径よりオーバーカットしないような範囲で動作させるようにしている。また前方伸縮コピーカッターは通常のコピーカッターと併用稼働できる仕様とした。

以上の機能で、泥岩の切削能力を高めることで Mixed Face 地盤での乗上げ防止対策を図り、その結果、地表面への影響を最小限とすることができた。

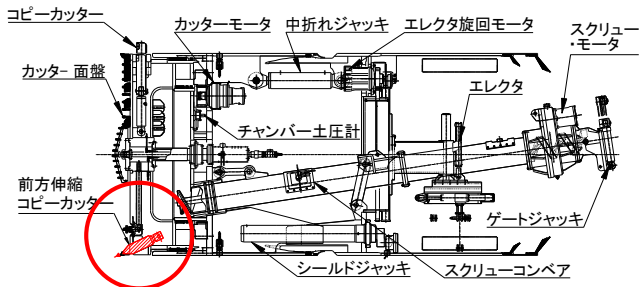


図5 西八朔シールド機 (前方伸縮コピーカッター)

2.4 曲線施工時の線形精度確保

急曲線部の線形精度確保のため、機械的な面では施工精度対策として、シールド機の必要中折れ角度 11.9 度に対し装備角度を 12.6 度とし、必要余掘り量 100 mm に対し 150 mm まで余掘り可能なコピーカッターを装備した。また、コピーカッターで切削した余掘り部の掘削土砂を鋼殻外側に残すと、シールド機が曲線部の外側に膨らむ原因となるため、カッター外周リングのコピー周辺に切り欠きを設け、切削された余掘り土砂をスムーズにチャンパー内に取り込める構造とした。

施工管理の面では、測定の頻度を片番で 2 回に増やしたほか、曲線掘進時の推進力により引照点が動く可能性が考えられるため、毎回後方の固定点から確認を行い、線形精度を確保した。さらに、トータルステーションによる坑内

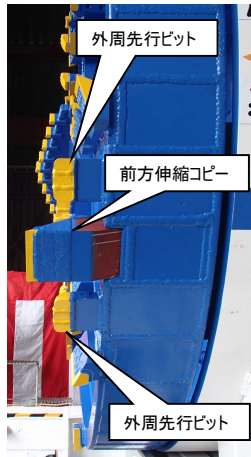


写真2 外周先行ビットと前方伸縮コピーカッター

トラバース測量に加え、ジャイロトランシットを用いた真北測量を実施し、坑内基準線のチェックを実施した。

RCセグメントの場合、急曲線の前後で偏荷重によりクラックが入りやすい。そこで、原設計では曲線部分のみ鋼製セグメントとしていたが、曲線の前後1後胴分に幅 300 mm の鋼製セグメントを追加し、RCセグメントにかかる偏荷重を低減させることにした。さらに、急曲線掘進時の片押し時に内側のリング間継手間に目開きが発生し漏水することがあるため、カーブ内側のリング間ボルト数を、通常の 2 倍の数量とした。

2.5 小土被り部の切羽安定対策と排土方法の変更

シールド機からズリ鋼車までの排土搬送は、2 箇所の急曲線部の対応とスクリュウゲート付近での噴発などによる土砂の取込み防止のため、通常採用されるベルトコンベア方式からノンタックホースによる圧送方式に変更した。

スクリュウコンベア (以下、SC) 内径は $\phi 300$ mm であったが、ノンタックホースは後方設備の制約から $\phi 200$ mm となり、SC 排土口に接続レジャーを設けてノンタックホースと接続した(写真3)。このように排土口径を縮小したため、接続レジャー部分では粘性土が圧縮され、その圧力が切羽の地盤に伝達されて地表面が隆起傾向になった。特に、発進直後は度重なるレジャー内閉塞が発生し、地表面が最大 32 mm 隆起した。閉塞を防止する対策として加泥材の変更を行った。掘削地盤が粘性土であることから分散剤系の加泥材を使用していたが、掘削土の流動性の向上とレジャー部での摩擦抵抗を低減させるため、増粘剤



写真3 ノンタックホース接続状況
加泥材追加注入配管

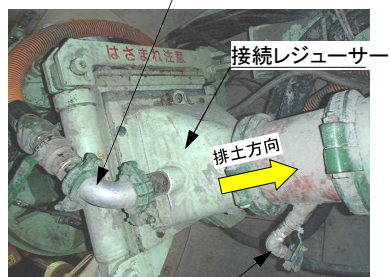


写真4 接続レジャー閉塞防止対策

系の加泥材に変更した。さらに、接続レジュースーに直接加泥材を添加できるルートを増設するとともに、エア配管も追加した（写真4）。

初期掘進時の地表面の変状と切羽土圧を検討した結果、シールド掘進管理において、切羽土圧を「静止土圧＋予備圧 0.01MPa」に設定し、裏込め注入量は発生ボイド量に対して 130%で掘進することで地表面の隆起・沈下の発生を最も小さくすることができた。表2に、当初計画の掘進管理値ならびに初期掘進中のトライアル施工に基づいて修正した掘進管理値を示す。

表2 掘進管理値

掘進管理項目	当初計画	修正計画
切羽管理土圧	土被り荷重＋予備圧0.01MPa (最小土被り部; 70kPa)	静止土圧＋予備圧0.01MPa (最小土被り部; 40kPa)
加泥材	サラリ(分散剤系) 3kg/m ³	クリーンSP-AII(増粘剤系) 5kg/m ³
加泥材添加量	掘削土量の20%	掘削土量の20%
裏込め注入圧	100kPa	100kPa
裏込め注入量	100%	130%
ゲルタイム	20秒以内	20秒以内
圧縮強度	$\sigma_{28} = 2\text{N/mm}^2$ 以上	$\sigma_{28} = 2\text{N/mm}^2$ 以上
排土量	掘削土量＋加泥材添加量	掘削土量＋加泥材添加量

小土被りのため切羽圧力が非常に小さく、SCによる排土とジャッキスピードの制御により切羽圧力を保持することが困難であった。そのため、慎重な掘進管理を余儀なくされ、排土流量の不足が生じ、ノンタックホースの閉塞が頻発した。対策として、搬送抵抗を少なくするためにノンタックホースを短くし、ズリ鋼車台数を4台から2台に削減して1リング2往復で排土運搬作業を行うこととした。

本工事では、チャンバー内に固定翼を装備しなかった。これは、固定翼を取り付けることにより大割れした泥岩層の岩塊が、カッタースポークの背面に取り付けた攪拌翼と干渉し、カッターが回らなくなる現象を回避するためであった。しかし、ホース圧送方式を採用するのであれば、チャンバー内で切削土砂の攪拌効率を向上させるため固定翼は必要であったと考える。また、掘削土の流動性についてはテーブル試験等により十分な検討を行う必要があった。

2.6 鋼製セグメントの二次覆工

一般部では二次覆工省略型のRCセグメントが(t=175mm)が採用されていたため、急曲線部の鋼製セグメント(t=128mm)の二次覆工が最小47mmと薄くなっていた(写真5)。この薄い巻き厚では、通常のコンクリートでは充填不具合が発生する可能性があった。また、粗骨材のないモルタル充填では、コンクリートに比べて耐久性に劣るため、長期間の品質確保が問題となった。そのため、二次覆工を管更生技術のひとつであるパルテム・フローリング工法(図6)

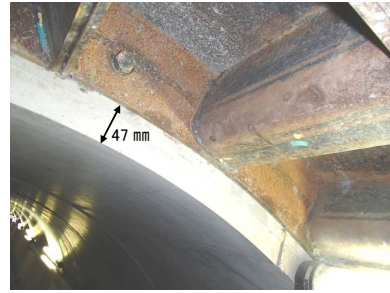


写真5 RCセグメントと鋼製セグメントの接続部

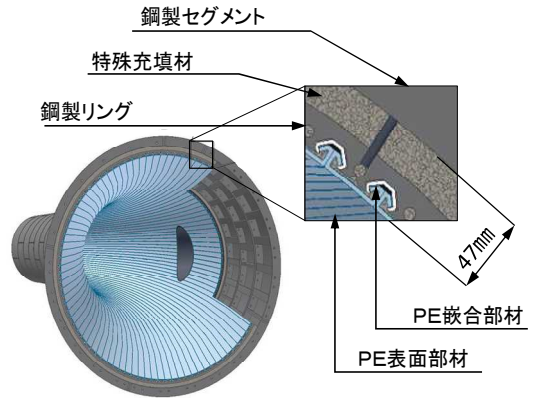


図6 パルテム・フローリング二次覆工模式図



写真6 二次覆工施工前(左)とパルテム二次覆工施工後(右)

を採用した。

パルテム・フローリング工法は、鋼製リングに高密度ポリエチレン製の嵌合部材・表面部材を組み付け、背面を特殊高流動モルタルで充填する技術である。本工事の場合は、外力は鋼製セグメントで受け持つため、二次覆工の強度負担の必要が無く、最小47mmの巻き厚で施工が可能となった(写真6)。なお、高密度ポリエチレンの表面部材は、耐摩耗性・耐薬品性についても塩ビ管やコンクリートより優れている。

二次覆工にパルテム・フローリング工法を採用したのは、残置したシールド機鋼殻内への適用事例に続く2例目であった。急曲線部の鋼製セグメントの二次覆工方法としては初めての採用であり、類似工法としてコンクリートを吹き付けるTDRショットライニングシステムがあるが、将来的なクラックや漏水の発生の可能性を考慮すると、耐久性や施工性に優れたパルテム・フローリング工法の今後の採用増加が期待される。

3. 相沢川シールド工事

3.1 工事概要

相沢雨水幹線は、写真7に示すように、現況の水路断面が小さく、排水能力が不足していることから、瀬谷区相沢地区・瀬谷地区では溢水や浸水被害が頻繁に発生していた。



写真7 相沢雨水幹線現況

さらに、水路の両側には住居が密集しており、水路床掘削や水路拡幅工事の施工が困難な状況である。そのため、排水能力を超過する雨水を取水し、下流の準用河川相沢川まで流下させるバイパス管路が、相沢雨水幹線の直下にシールド工法により計画された。表3に工事概要を示す。

表3 相沢川シールド工事概要

工事名	西部処理区相沢第二雨水幹線下水道整備工事
発注者	横浜市環境創造局下水道管路部管路整備課
施工者	鴻池組・森組・壺山建設 建設共同企業体
工期	2016年5月16日 ~ 2018年6月29日(1期工事)
工事場所	横浜市瀬谷区相沢四丁目～南台二丁目
工事内容	<ul style="list-style-type: none"> ・泥土圧式シールド工(セグメント内径φ2,500mm) 掘削外径: φ3,390mm、施工延長:1,732m ・発進立坑工 地下連続壁工(TRD): □9.4m×6.5m×^H23.4m ・中間立坑工 深礎工法(円形ライナープレート) φ4.5m×^H23.4m ・地盤改良工:一式 ・付帯工:一式

3.2 長距離掘進と多曲線掘進の対策

本工事のシールドは、N値50以上の玉石混じり砂礫層を1.7km掘進する(図7)。全線にわたって相沢雨水幹線の直下を掘進するため、地上からのビット交換作業が困難な状況であった。そのため、ビットに埋め込む超硬チップの長さを30mmから50mmにし、シールド機の Cutter ビットの耐久性向上を図った(図8)。また、油圧式の摩耗検知ビットを2箇所設置し、シールド掘進中のビット摩耗状況を確認できるようにした(写真8)。

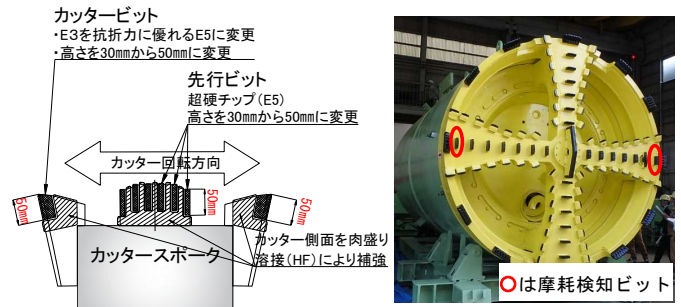


図8 Cutterビットの配置 写真8 Cutter面盤

一方、多曲線掘進はシールド機のテールブラシへの負担が大きく、テールブラシの摩耗によりシールドテールから地下水が噴出するトラブルが発生した。そのため、地下水の坑内湧出を防止するため、テールシーラーを充填しながら掘進を行った。

また、砂礫層では想定外の最大直径40cmの玉石に遭遇し、Cutterヘッド外周面が10cm程度、異常摩耗した。

これらのトラブルは、中間立坑通過時に1段目のテールブラシ長を20mm延長し全数交換するとともに、Cutter外周面の欠損部を鋼材で溶接補修することで、残りの掘進(530m)を完了した。

3.3 連続する急曲線部のセグメントの工夫

シールド工事の平面線形は、相沢雨水幹線の線形に沿って計画され、図9に示すように曲線施工区間(最小曲線半

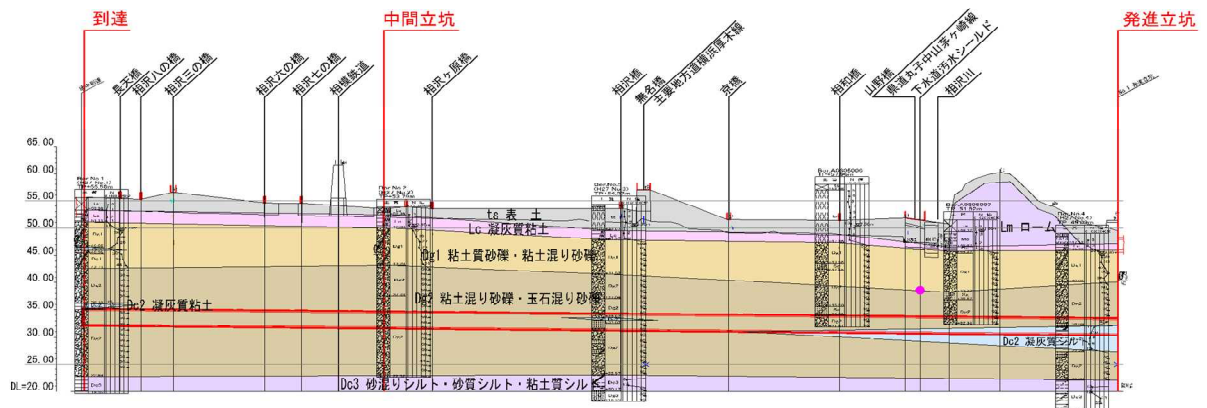


図7 相沢川シールド路線縦断面図

径 20m から最大曲線半径 200m) が 44 箇所あり、全延長の 30%が曲線掘進である。シールド機には曲線半径 15m まで対応可能な中折れ・余掘り装置を装備し、シールド機の曲線施工能力を向上させた。

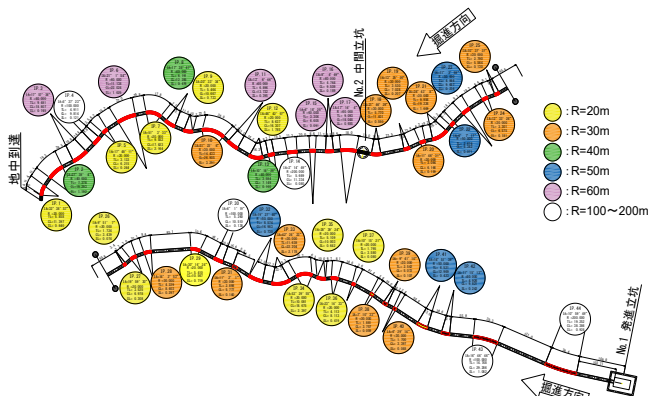


図 9 相沢川シールド路線平面図

一般的に、急曲線部のセグメントは、組み立てたセグメントのカーブ内側に大きな引張り力が作用する。さらに、シールド機のテールとセグメントとの干渉や曲線掘進に伴い発生する地盤反力が、セグメントの側面に作用する。そのため、図 10 に示す手順で曲線部セグメントの構造検討を行った。

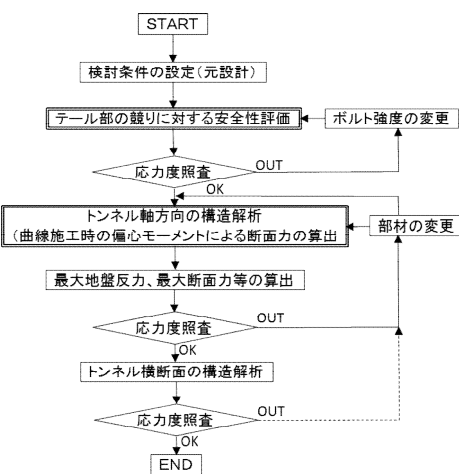


図 10 曲線部セグメント検討フロー

本工事で実施した具体的なセグメント補強対策を以下に示す。

- (1) 曲線部は、セグメント内側のリング継手のボルト本数を 2 倍に増やし (写真 9)、普通ボルト (強度区分 4.6) を高力ボルト (強度区分 8.8) に変更し締結力を増大した (表 4)。
- (2) 曲線半径 20m と 30m に採用した幅 300mm のセグメントは、シールド機後端部でのシールドテールとセグメントの競りを防止するため、セグメント外径を 50mm 縮径した (表 4)。

- (3) 急曲線部のセグメントは、主桁の厚さを 14mm から 16mm に増やし、一般部セグメントの約 2.4 倍の高剛性化を図った (表 4)。

表 4 急曲線部セグメント補強対策一覧

曲線半径 (m)	R=20,30		R=40,45,50,60	
	当初設計	変更仕様	当初設計	変更仕様
セグメント外径 (mm)	3,250	3,200	3,250	3,250
セグメント幅 (mm)	300	300	500	500
主桁高さ (mm)	125	100	125	125
主桁厚さ (mm)	14	16	14	16
リング継手ボルト	M20 (4.6) n=26本	M20 (8.8) n=39本	M20 (4.6) n=26本	M20 (8.8) n=39本

※赤字は、変更箇所

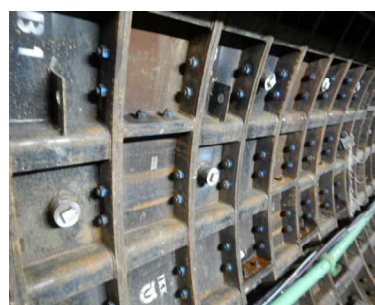


写真 9 急曲線部のボルト締結状況

- (4) 曲線区間に挟まれた直線区間では、シールド機の中折れ状態の後胴を直線に戻し、次の曲線に合わせて前胴の中折れを開始させることになる。そのため、シールド機のテールでの干渉や曲線掘進による偏圧の作用でセグメントの変形や損傷が懸念された。そのため、曲線区間に挟まれた直線区間の延長がシールド機長に相当する 6m 以下の場合、設計セグメント幅 1,200mm を 300mm に変更するとともに、縮径セグメントを採用することとした (図 11)。

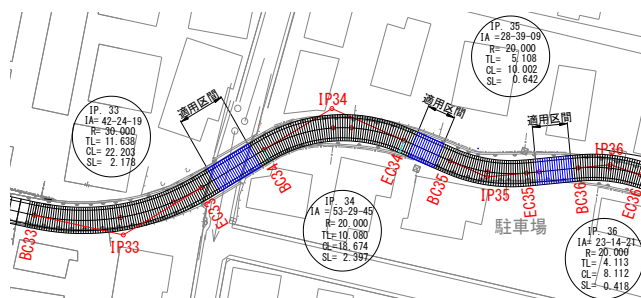


図 11 直線区間への縮幅・縮径セグメントの適用

- (5) 曲線部の入口部や出口部についても、シールド機を徐々に中折れさせたり直線に戻したりするため、曲線区間と同様の偏圧がかかる事が予想された。このため、セグメントが変形や破損しないように曲線区間のセグメントを適用し、幅 1,200mm の一般部セグメント 1リ

ング分を幅 300mm の縮径セグメント 4 リングに変更した (図 12)。

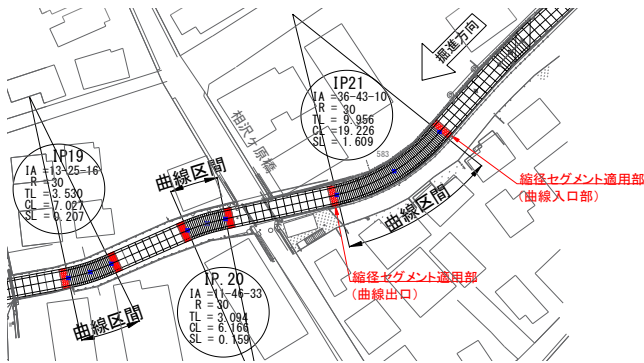


図 12 曲線始終端の縮径セグメントの適用

発進直後の半径 200m 通過後、100m、50m、30m、20m と徐々に曲線半径が小さくなったことで、姿勢管理値と実際の掘

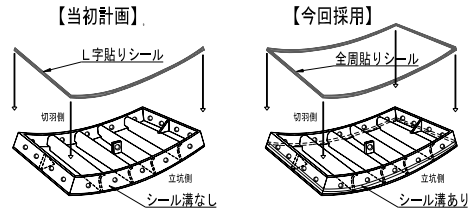


図 13 セグメントシール貼付方法

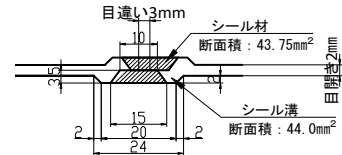


図 14 セグメントシールとシール溝

3.4 セグメントの止水性向上

鋼製セグメントでは、シール溝を設けずに継手面の片側にセグメントシールを貼るのが一般的であるが、シールドの土被りが 16~27m で、透水性の良い砂礫層と豊富な地下水が存在していたため、セグメントの止水性確保が課題となった。そのため、シームレスタイプの水膨張性シール材の全周貼りを適用した (図 13、写真 10)。さらに、鋼製セグメントの主桁および継手板にシール溝を設けた (図 14)。シール材がシール溝に封入され、自封作用による界面圧力の向上を図ることにより止水性を確保した (表 5)。

表 5 セグメントシール止水性能検討結果

	目開き量 (mm)	設計水圧 PW (MPa)	必要界面圧 $r \times P_w$ (MPa)	シール材推奨圧縮力 (目開き量3mmにおける目開き2mm時) (MPa)	止水性の照査
施工時	2.0	0.3	$0.5 \times 0.3 = 0.15$	0.7	OK
共用時	2.0	0.2	$0.5 \times 0.2 = 0.10$	0.7	OK

r : ガスケット係数 ($r=0.5$)

3.5 曲線部の掘進管理

連続する急曲線の線形管理として、全線にわたってセグメントを 1 リング毎にシールド機の姿勢管理値 (内側・外側の余掘り量、前胴方位度、後胴方位角、中折れ角度、ジャイロ方位等) を設定した。

セグメントを線形通りに構築するためには、セグメントを組み立てるシールド機後胴部の位置を精度良くトンネル線形に合わせる必要がある。一方、シールド機の切羽先端とセグメント組立位置は約 5m 離れている。そのため曲線施工区間では、セグメント組立て位置にシールド機後胴部を通過させることができるようにセグメント 1 リング毎にシミュレーションを行い、シールド機の中折れ角度や必要余掘り量、前胴後胴の方位角を設定した。

さらに、机上でのシミュレーション結果と掘進後の出来形とを比較し、シールド機の中折れ角度と余掘り量の修正を行い、次の曲線に反映させて曲線掘進精度を向上させた。



写真 10 セグメントシール全周貼り (一般部用と急曲線部)

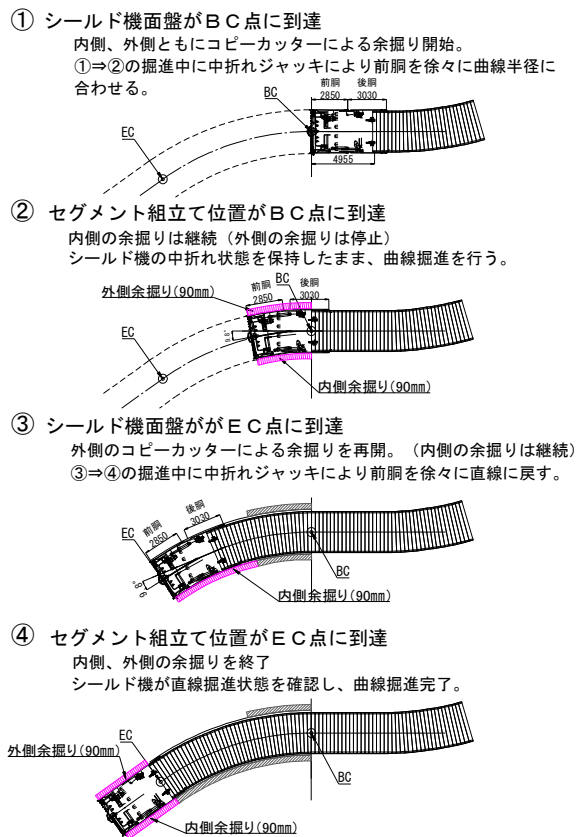


図 15 曲線部におけるシールド機の方角制御

進線形（出来形）の比較結果を次の曲線の姿勢管理値に反映しやすく、高精度な曲線掘進の管理手法を確立できた。

図 15 にシールド機の曲線部の掘進管理の概要を示す。

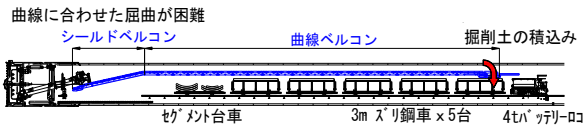
3.6 連続する曲線部の施工性向上対策

一般的に、泥土圧式シールド工法の急曲線施工箇所では、シールドベルコンを曲線に合わせて屈曲させることが困難であるため、後続台車を曲線部の手前に仮置きし、1 台の短い単ベルコンと 1 台のズリ鋼車で数回の往復を繰り返しながら排土している。段取り替えが不要となるノンタックホースの適用も検討したが、礫地盤では摩擦抵抗が大きくなり、リボンスクリューの圧力では長いノンタックホース内で土砂が詰まって排土ができない可能性が考えられた。

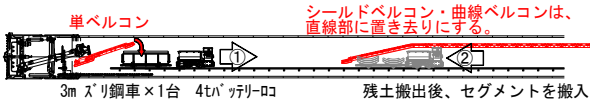
そのため、曲線施工区間毎の段取り替えを無くし、日進量の向上を目的として SC 後方に 12B（φ 300 mm）の耐圧ホース（3.5m）を取り付け、ホースの先端をスライドできるようにして曲線ベルコンと接続させた（図 16）。また、曲線ベルコンには土砂横溢れ防止用のゴム壁を取り付けた（写真 11）。

これらの対策により、曲線半径 30m 以下の急曲線区間（25 箇所）での段取り替えがなくなり、工程を 125 日短縮できた。さらに、急曲線部では 4.8m/日の日進量となり、標準日進量 3.1m/日に対して 1.5 倍以上の進捗が確保できた。

従来のベルコンを使用した排土方法（緩曲線または直線部）



急曲線部における単ベルコンを使用した排土方法



今回採用した耐圧ホースによる排土圧送方法

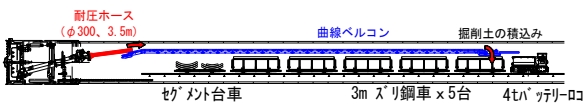


図 16 曲線部における排土方法



写真 11 耐圧ホースによる排土

また、通常の単ベルコン使用では SC 下のテール部空間が狭く、シールド機のテール内測量に使用するシールドスタッフも短くなり測量精度が低下する。そこで、耐圧ホースを SC に直付けにし、スクリュー下部の空間を広く確保した。そのため、直進部と同じ長いシールドスタッフを使用可能となり、測量精度の低下を防止できた（図 17）。なお、急曲線部の測量は 1 リング（30cm）掘進するごとに実施し、シールド機の姿勢や方向制御に反映させた。また、ジャイロトランシットによる真北測量を 4 回実施し、シールド基準線の確認を行った。

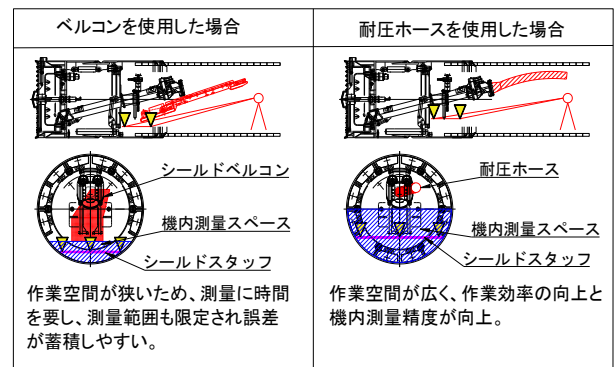


図 17 坑内測量方法

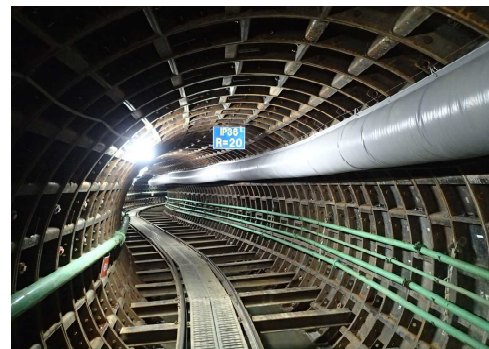


写真 12 曲線半径 20m の S 字曲線

4. まとめ

西八朔シールドでは、カッタービットの工夫などによりトンネル線形を基準値内に収めることができ、Mixed Face 地盤を掘進する課題を克服できた。

相沢川シールドは、直上の河川境界が官民境界となっており、線形精度の確保が最重要課題であったが、1, 200m 掘進した中間立坑への到達精度は、上下 0 mm、右に 30 mm と高精度であった。

2 件のシールド工事は、当社のシールド工事実績の中でも特異な施工条件を克服した施工事例であり、今後の同様な工事の参考になれば幸いである。