

H&V シールドによる地中シールド分岐計画および施工報告

Plan and construction report of underground junction from connected double circular shield

竹林 大介* 三俣 和彦*
 Daisuke Takebayashi Kazuhiko Mitsumata
 金子 守利*
 Moritoshi Kaneko

要 約

本工事は、北区赤羽駅西側地区の雨水排水能力を増強するために、2本の主要枝線を縦2連分岐型H&V泥水式シールド機を用いて築造するものである。上段シールド機（仕上がり内径φ2,800mm）と下段シールド機（仕上がり内径φ2,400mm）は、連結した状態で立坑から発進し、約450m地点で分岐し上機は赤羽駅へ下機は赤羽台2丁目に向けてそれぞれ掘進する。

H&Vシールド工法は、国内で過去7例しかない特殊工法である。本稿では、この2連シールド機の掘進および地中分岐の計画、施工結果について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3.2 連シールド機の分岐作業における課題
- § 4. 対策および施工結果
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

東京都下水道局では「経営計画 2016」を策定し、浸水対策として、おおむね30年後の浸水被害解消を目標に、区部で50mm/h降雨に対応する下水道施設の整備を進めている。特に主要幹線が浅く埋設された流域など15地区を重点地区として位置付けている。

その中でJR赤羽駅の西側に位置する北区赤羽台地区は、高台部の雨水を既設主要幹線（赤羽西幹線）に集め、自然流下により新河岸川へ排水している流域である。当該流域は、大雨時に赤羽西幹線内の水位が上昇することにより、雨水が幹線に流れ込みにくくなり、低地部での浸水が発生している状況にある。

このため、本工事は、新たな管きょ（上流主要枝線）をH&Vシールド工法により築造し、既設幹線である赤羽西幹線の水位を下げることで50mm/h降雨に対し、浸水被害を低減することを目的としている。事業概要図を図-1に、工事概要を表-1に示す。

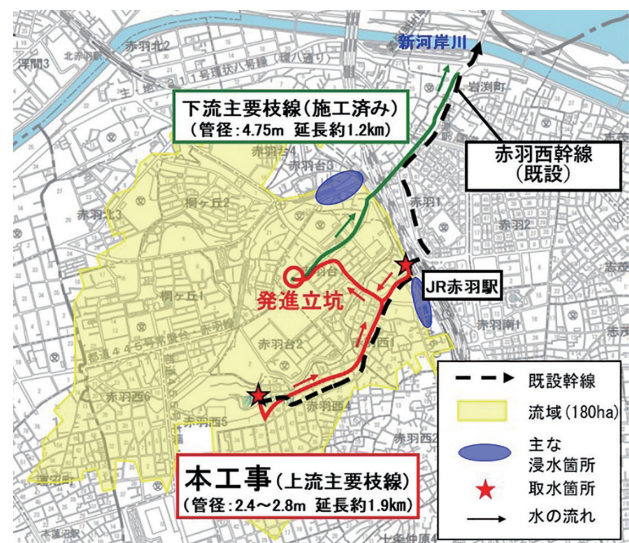


図-1 事業概要図

表-1 工事概要

工事件名	北区赤羽台一丁目、赤羽西四丁目付近枝線工事
発注者	東京都下水道局
施工者	西松建設株式会社 関東土木支社
工事場所	東京都北区赤羽台一、二丁目、赤羽西一、四丁目
工 期	2018年9月25日～2023年3月24日
工事内容	管きょ工（縦2連分岐型H&V泥水式シールド） 路線2-2下段（仕上り内径2,400mm、路線延長1,138.55m） 路線3-3、3-2上段（仕上り内径2,800mm、路線延長634.00m） 上記のうち併設（H&V）区間453.1m 立坑 到達立坑2箇所 他

* 関東土木（支）赤羽台（出）

2-1 縦二連分岐型シールド機

本工事で使用しているシールド機(写真-1)の概要および仕様を表-2および図-2に示す。縦二連分岐型泥水式シールド機は、上段シールド機と下段シールド機がそれぞれで独立しており、前胴と後胴を接合ピンおよびスペーサーで連結している。

なお、H&V区間(縦二連区間)のセグメントは、それぞれ単独構造であり、一般部は二次覆工一体型のコンクリート中詰め鋼製セグメント、急曲線部は鋼製セグメントを使用する。上下段のセグメントの離隔は200mmである。

表-2 シールド機諸元

項目	上段シールド機	下段シールド機
外径	Φ3,340mm	Φ2,890mm
機長	6,000mm	5,600mm
シールドジャッキ	900kN 1,450st 10本	700kN 1,450st 10本
中折れジャッキ	900kN 400st 8本	700kN 540st 8本
中折れ角	左4.5°, 右8.0°	左12.5°, 右12.5°
カッタ回転数	0.95~1.40回転/min	0.95~1.40回転/min
装備トルク	381~543kN-m	247~362kN-m
(α値)	(10.2~14.6)	(10.2~14.9)
コピーカッタ	60kN 200st 2本	60kN 200st 2本
テールシール	2段(ワイヤーブラシ, ウレコン充填)	2段(ワイヤーブラシ, ウレコン充填)



写真-1 縦二連分岐型H&Vシールド機

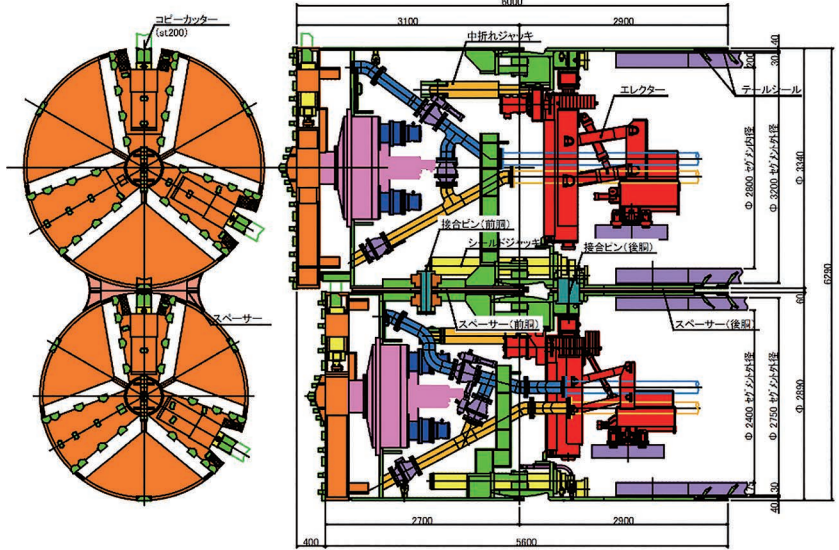


図-2 シールド機概要図

2-2 土質概要

上段シールド機の土被りは、10~25mで、掘削対象土質は発進部からN=15~50の非常に密な細砂、固結した硬質粘土が混じり、赤羽台トンネルを抜け、低地部に移

行するとN=0~1の非常に柔らかいシルトである。下段シールドの土被りは、14~29mで、掘削対象土質は発進部からN=7~23の細砂・シルト質粘土、砂礫、シルト質粘土である。図-3に地質縦断面図を示す。

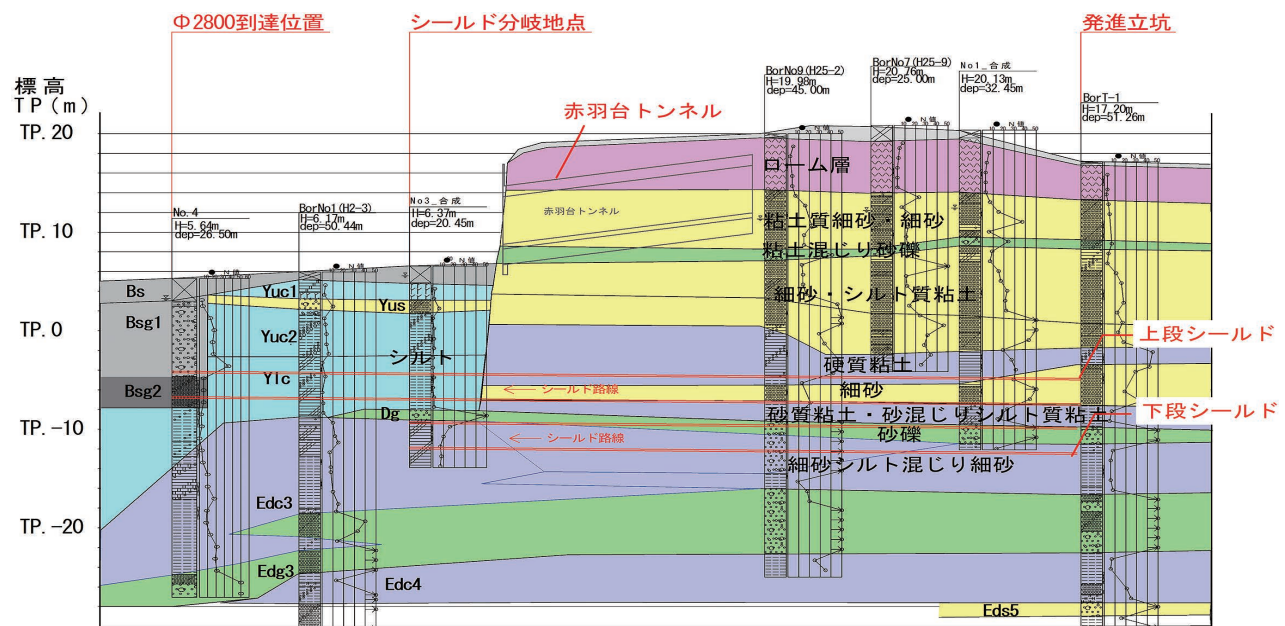


図-3 シールド地質縦断面図

§3. 2連シールド機の分岐作業における課題

3-1 地中分岐施工手順

シールド機を所定位置で停止させ、高粘性可塑充填材をチャンバー内に充填させた後、**写真-2, 3**を引抜き、スペーサーの取り外しを行う。地中分岐概要を**図-4**に示す。前胴ピン後胴ピンを引抜き後、上段シールド機とスペーサーとの縁切りを行い上段シールド機を発進させる。上段シールド機の推力の影響が分岐位置まで及ばなくなる距離に、裏込め材の強度発現までに推進する距離を加えた延長を掘進する。その後、下段シールド機とスペーサーを縁切りし、スペーサーは地中に残置したまま下段シールド機を発進させる。



写真-2 前胴ピン



写真-3 後胴ピン

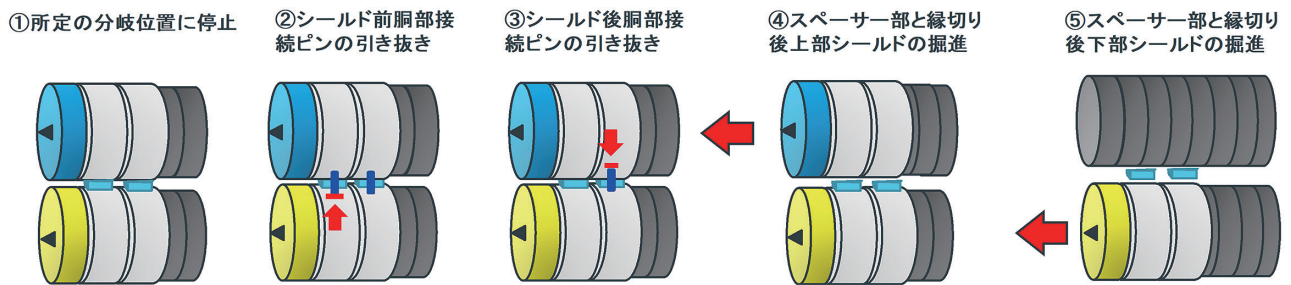


図-4 H&Vシールド地中分岐概略図

3-2 H&Vシールド機分岐作業における姿勢制御

本工事で使用したH&Vシールド機は、上段シールド機と下段シールド機それぞれに中折れ装置が設けられている。分岐作業において、上下マシンの前胴・後胴がそれぞれピンにて接合されている特性上、ピンを引抜く際に相対中折れを0°にしなければならない。分岐位置に関しては、曲線区間の直前であり、曲線に進入するために中折れ装置を作動させるための距離が少ないことが課題であった。当初計画の分岐位置を**図-5**に示す。また、接続ピン引抜き時に少しでも競りおよび摩擦抵抗を減らすために、ローリング値を可能な限り0°で停止することが求められた。

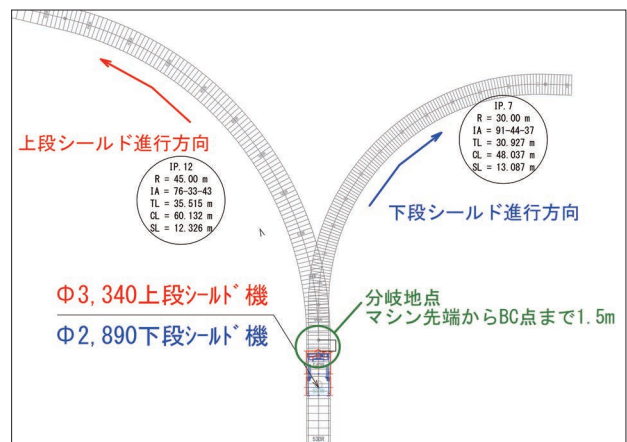


図-5 シールド機分岐当初計画位置

3-3 シールド機分岐における沈下リスク

シールド機分岐地点の上段シールド機位置の地盤は、沖積粘性土主体としたN値0~1の軟弱地盤であるため、トンネル掘削により周辺地盤の沈下が大きくなることが予想された。このため、シールド機を掘進後、早期に裏込め注入を行う必要がある。

しかし、H&Vシールド機分岐後は、上段シールド機が先行して発進し、下段シールド機の影響範囲外まで掘進した後、下段シールド機を発進させる。そのため、分岐直後に上段シールド機から裏込め注入を行うと、下段シールド機が固められてしまう恐れがあった(**図-6**)。

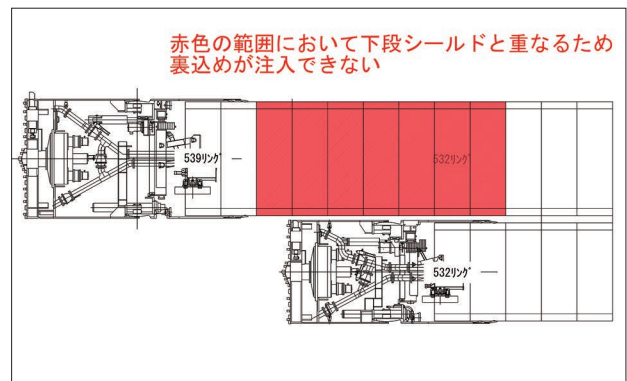


図-6 上段シールド機裏込め注入影響範囲

3-4 分岐後の掘進再開時における課題

H&V シールド機を分岐した際、連結しているスペーサーは地中残置となる。そのため、シールド機掘進再開時は、シールド機とスペーサーとの競りによる推力上昇やスペーサーとの縁切りができずシールド機に付いたまま発進してしまうことが懸念された。

また、分岐後の下段シールド機掘進再開時は、設置後の上段管きょと近接施工となる。上下段シールド機的位置関係を図-7に示す。下段シールド機外周ビットと上段管きょの離隔は121mmであり、下段シールド機掘進再開時は、掘削時のセグメントとの接触、および上段既設管きょの沈下のリスクがあった。



図-7 上下段シールド掘削時の位置関係

§4. 対策および施工結果

4-1 シールド機姿勢制御に関する対策

姿勢制御に関して、ローリング制御は、カッター回転方向での修正を優先し、カッター回転では修正不能な場合は上段シールド機と下段シールド機の中折れに角度差をつけることにより、修正を行った。初期掘進時に得たローリングと上下段シールド機の相対中折れ角度の関係性を図-8に示す。初期掘進時において、2回ローリング値が0.60°を超過した。中折れによるローリング制御を行った結果、本シールド機では、相対中折れ角度を概ね0.4°よりも大きくするとローリングが修正方向に向かうことが確認できた。本掘進時においてもこのデータを活用し、ローリング値が大きくなった場合は、相対中折れ角度を0.4°として修正を行った。この対応により、中折れ角度0°、ローリング値を0°に近づけ所定位置まで掘進を行い分岐作業に取り掛かることができた。

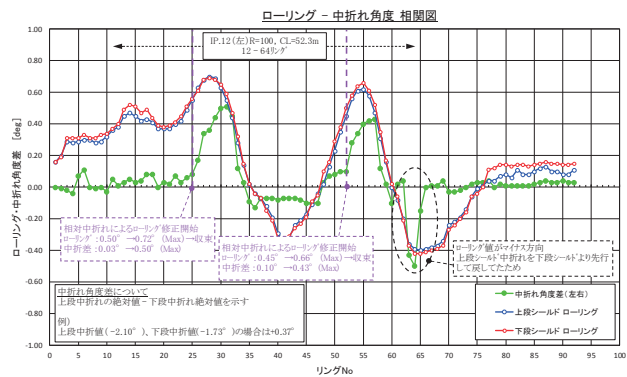


図-8 ローリング-相対中折れ角度相関図

分岐位置が次の曲線区間に近い問題に対して、分岐位置の再検討を行った。図-9に示す通り、当初計画では曲線区間進入時に上段シールド機が下段シールド機上部に位置する状態となる。この状態では、上段シールド機を発進させることができない。曲線施工を行うためには、上段シールド機先行発進後、曲線区間進入時に下段シールド機が干渉しない位置で分岐を行う必要がある。図-10に示す通り、上段シールド機が曲線進入時に、完全に下段セグメントから切り離された位置（1機長分）に分岐位置を前倒することで、上段シールド機への干渉を防ぐこととした。

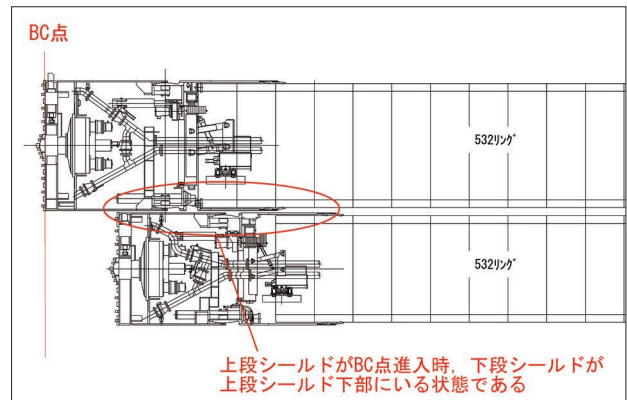


図-9 当初計画における分岐位置とBC点の関係

ただし、分岐位置を前倒しにするリスクとして、下段シールド機掘進再開時に、上段管きょと近接しての施工距離が長くなることがあげられる。本工事では、上段の先行施工した管きょへの影響を抑制するため、上段セグメントの計測、および下段シールド機掘進時のデータ管理の徹底を行った。結果に関しては、4-3項で示す。

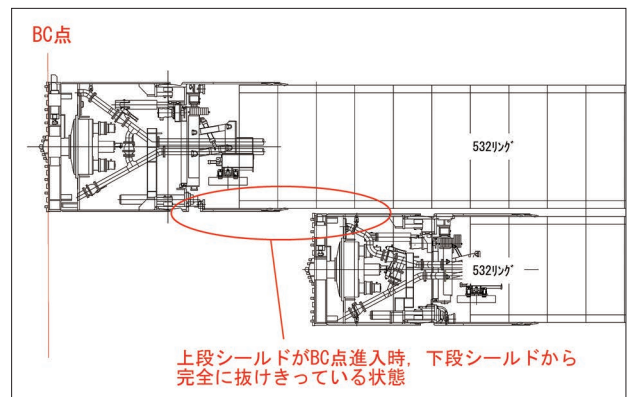


図-10 計画変更後の分岐位置とBC点の関係

4-2 シールド機分岐における沈下対策

本工事では、沈下抑制対策としてマシン機内より余掘り箇所を高粘性可塑充填材を注入し地山崩壊、沈下抑制を図った。また、分岐後上段シールド機が先行して発進する際、上段シールド機の裏込め材により下段シールド機周りを固めてしまう可能性がある範囲に、裏込め材の代わりに高粘性可塑充填材を注入した。下段シールド機が発進した後、上段セグメントの当該範囲に、セグメント内から裏込め材を注入し固化させた。施工ステップを図-11に示す。

裏込め材の代わりとして、高粘性可塑充填材を注入した箇所の周辺においては、2回/日の地表面の沈下測量にて沈下量の確認を行った。測点は、シールド路線中心点および左右地点に20mごとの観測点を設けた。分岐地点に関しては、10mごとに観測点を増設計測を実施した。分岐地点箇所の最大沈下量は2mmとなり、管理基準を満たすことが出来た。

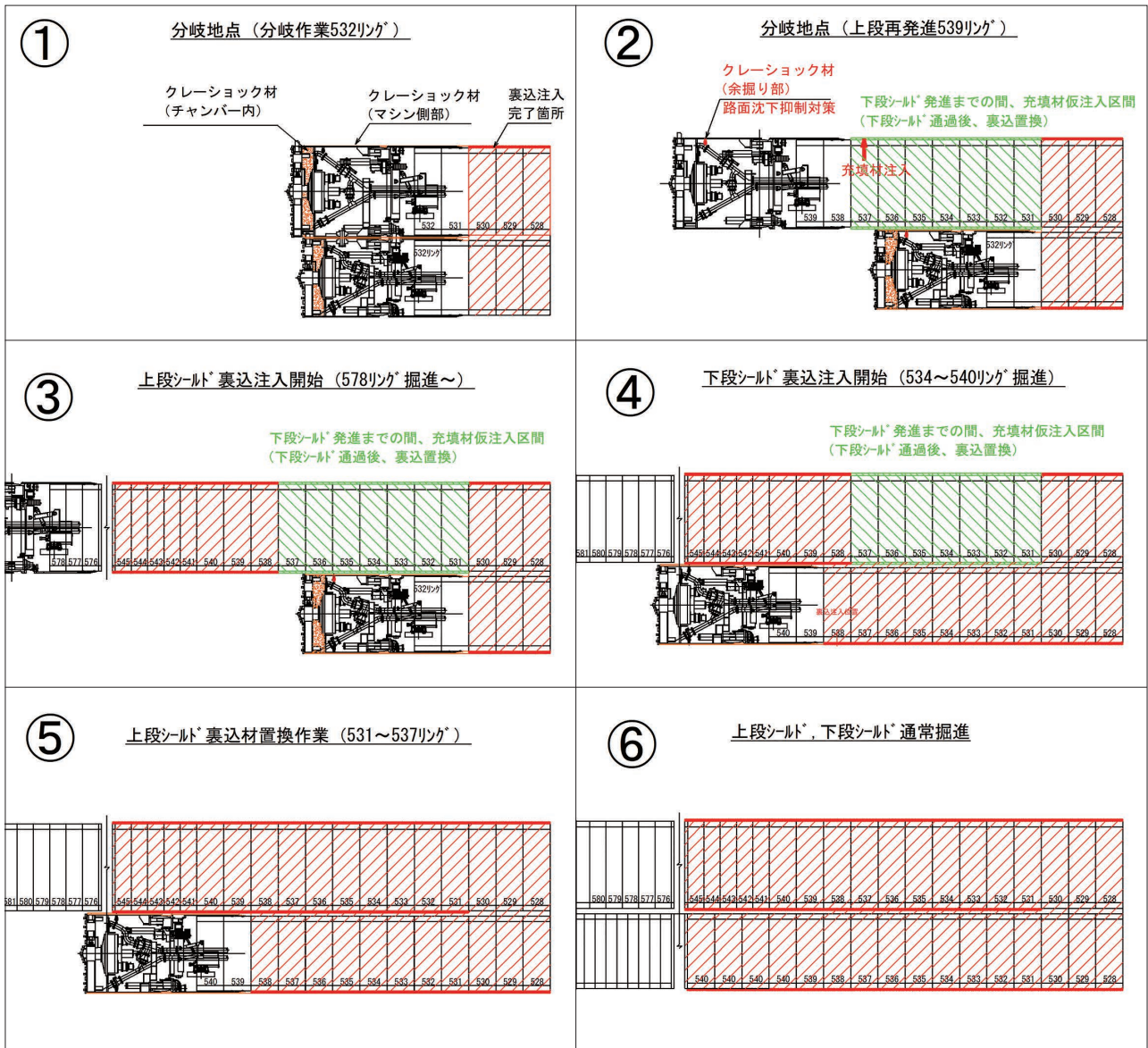


図-11 裏込め材・充填材注入ステップ図

4-3 分岐後の再掘進における対策

分岐作業で用いたスペーサー縁切りボルト、止水フランジ箇所は、ねじ山からの漏水の恐れがあったため、止水処理を施し、機内への地下水の流入を防いだ。止水フランジの止水処理状況を写真-4に示す。

下段シールド機掘進再開時は、上段の管きょへの影響が考えられた。そのため、下段シールド機が設置後の上段管きょの影響範囲内を掘削中は、1回/日計測を行った。計測方法としては、影響範囲外の上段管きょ内の基準点から上段管きょの基準高の計測を行った。計測の結果は、沈下量は、0~1mmとなり、下段シールド機掘進再開による沈下がないことを確認できた。

分岐後の再掘進において、接続ピンの引抜き不足、スペーサーの縁切りが出来ているかを機内と掘進時のデータにて確認を行った。上下段シールド機の分岐前後の総推力・カットトルクの推移を図-12, 13に示す。また、表-3に分岐前後の推力の変化を示す。

掘進データに関して、上段シールド機のデータを比較すると、カットトルクに関しては、分岐前後において、著しい変化は見受けられなかった。総推力に関して、分岐直後は上昇したが、下段シールド機と完全に分離する位置まで掘進すると値は下がり安定した。分岐直後の推力増加は、上段シールド機とスペーサーの摩擦抵抗の影響が考えられる。また、推力安定後でも分岐前より総推力が上がっているのは、上下段一体での掘進時に上段シールド機の重量を下段シールド機で支持しているため、上段シールド機と地盤との摩擦力が低く抑えられているためと推察する。

下段シールド機の分岐前後の総推力を比べると、2000 kN 以上かかっていたものが、分岐後においては、

1700 kN 程度に低下している。地層の違いもあるだろうが、上段シールド機重量による摩擦力がなくなったためと推察する。

懸念していた下段シールド機掘進再開時のカットトルクに関しても、分岐前よりも値は小さくなり、上段の既設管きょとの接触は見受けられなかった。

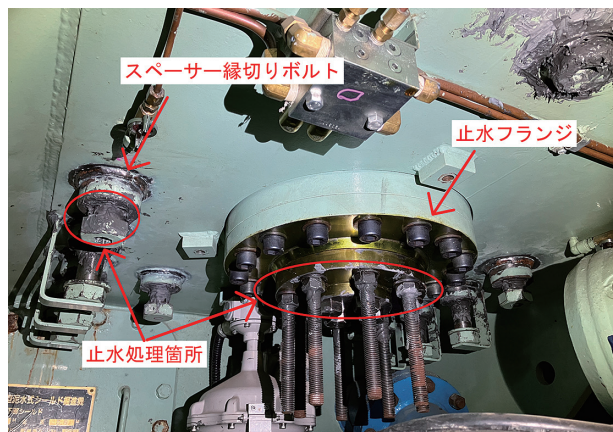


写真-4 止水フランジ止水状況

表-3 分岐前後のシールド機推力 (kN)

	分岐直前	分岐直後	分岐後10m
上段	1630	2770	2290
下段	2220	2000	1660
合計	3850	4770	3950

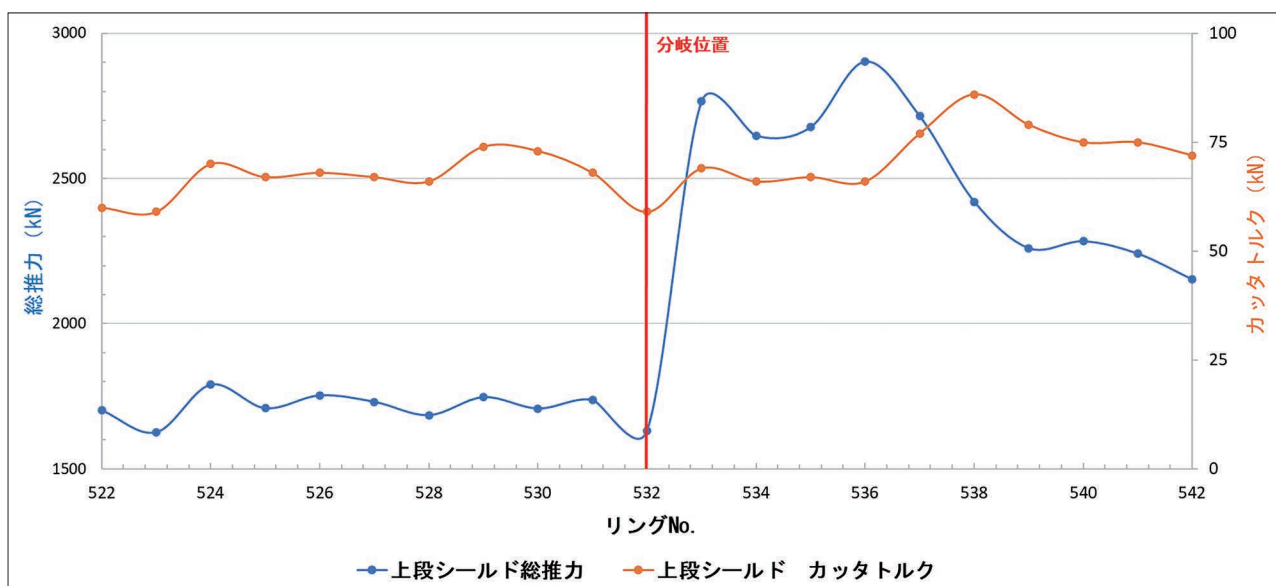
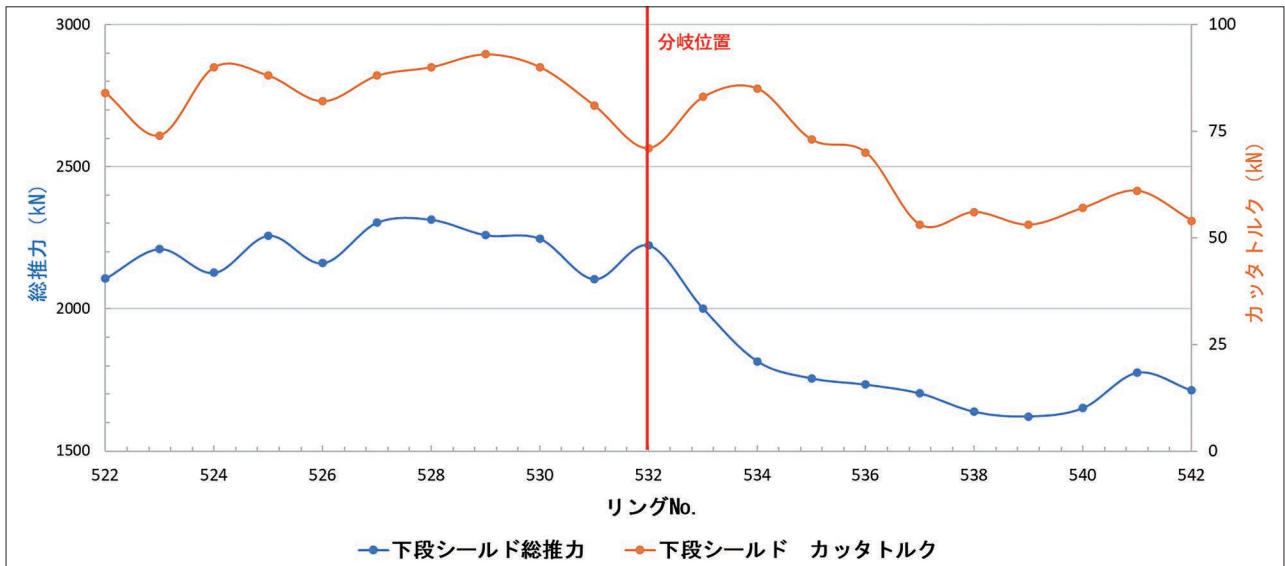


図-12 上段シールド機分岐前後 総推力・カットトルク推移



図一13 下段シールド機分岐前後 総推力・カッタートルク推移

§5. まとめ

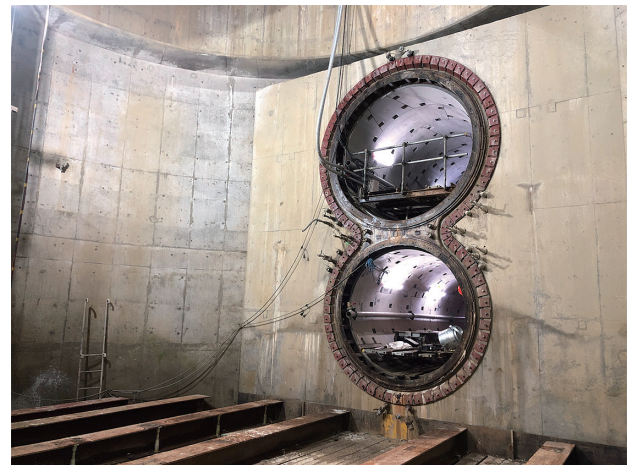
国内で過去7例しかない特殊工法であるため、前例が少なかったが、事前の検討・分岐作業前後の計測により無事に分岐作業を完了することが出来た。

上下段シールド機の縁切りに関しては、分岐時の縁切りボルトの押込み長、掘進データと機内監視での確認となったため、今後は、縁切りが確実にできているかを掘進前に事前に確認する方法が課題として挙げられる。

最後に、施工に際してご指導ご鞭撻を賜った多くの関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 2連シールドトンネルによる浸水対策施設の整備について 東京都下水道局技術調査年報-2019- Vol. 43
- 2) 今泉宏太, 三俣和彦, 金子守利: H&V シールド工法における発進坑口部の出水対策, 西松建設技報 VOL. 45, 2022 年



写真一5 発進坑口全景