

# 御堂筋共同溝における 上向きシールド工法による立坑の施工

小森 敏生<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大成・五洋特定建設工事共同企業体 御堂筋上向きシールド作業所  
(〒556-0011大阪市浪速区難波中1-12)。

御堂筋共同溝は、大阪のシンボルロードである御堂筋の地下約30mに位置する延長約4kmの幹線共同溝であり、大阪市水道局の水道管と関西電力(株)の電力ケーブルを収容するものである。共同溝本体は2012年3月に完成しており、現在「国道25号御堂筋共同溝立坑工事」において、8箇所に分岐立坑と共同溝内の内部構築工を施工している。

本稿では、上向きシールド工法による7箇所立坑の施工実績について報告するものである。

キーワード 上向きシールド, 近接施工, 交通規制

## 1. 工事概要

### (1) 全体工事概要

工事名称：国道25号御堂筋共同溝立坑工事

施工場所：大阪市浪速区難波中1丁目

～北区曾根崎2丁目

工期：2011年3月17日～2014年11月16日

御堂筋共同溝事業は、国土交通省近畿地方整備局と大阪府が地下に整備を進めている幹線共同溝の内、大阪のメインロードである一般国道25号（御堂筋）の梅田から難波の延長約4kmに計画している大阪市水道局の水道管（φ1,500mm）および関西電力のケーブルを布設するための共同溝を構築するものである。図-1に全体平面図・断面図を示す。

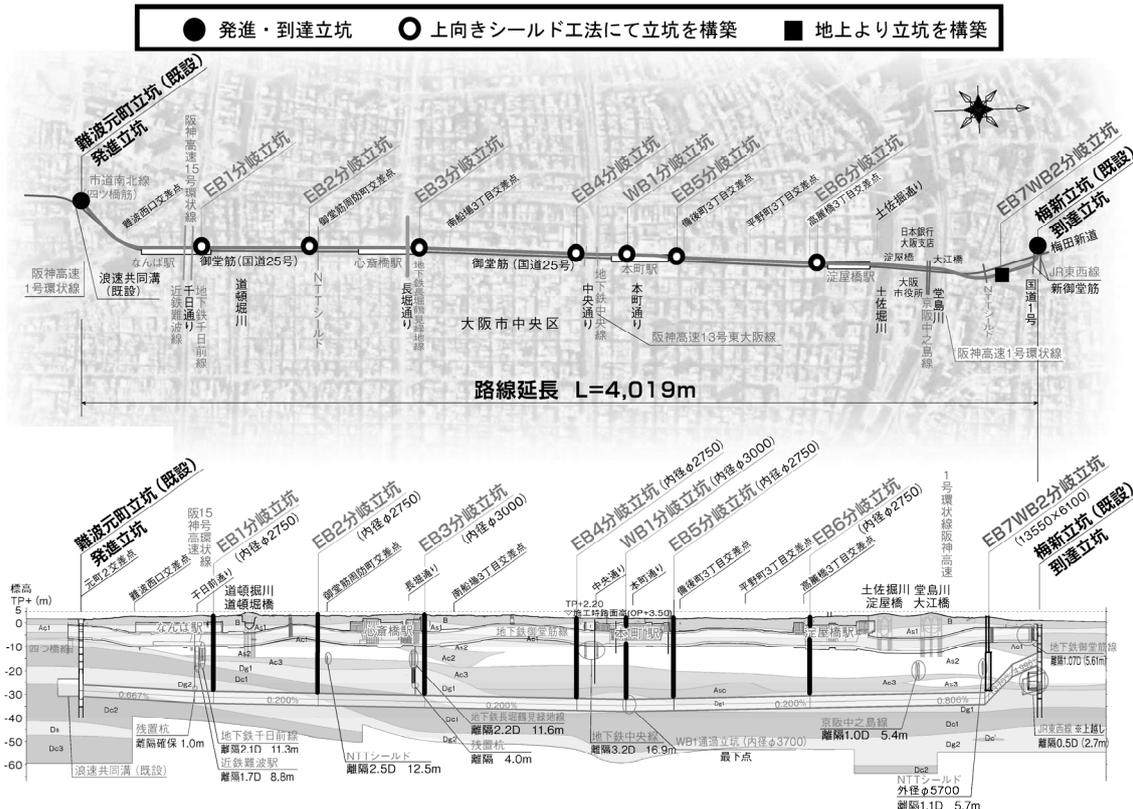


図-1 御堂筋共同溝全体平面図・断面図

(2) 分岐立坑工事概要

御堂筋共同溝は本体トンネル部と分岐立坑で構成されており、分岐立坑は、電力ケーブルの分岐立坑（EB1～6）、水道管の分岐立坑（WB1）および水道管と電力ケーブルの分岐立坑（EB7WB2）の計8立坑からなっている。その内、7箇所の分岐立坑（EB1～6、WB1）については、図-2に示すように地上付近に構築するボックスカルバート構造の分岐室（高さ約5m、延長約15m）と本体トンネル部をつなぐシャフト部と呼ばれる約30mの立坑より構成されている。

分岐立坑の施工は、平日の昼12時間の交通量が28,000～38,000台、歩行者10,000～26,000人と交通量の多い（御堂筋）国道25号内分離帯の中に位置しているため、道路規制の必要な工事は夜間に制限され、地上の作業を極力少なくし交通規制を削減することが要求された。

また、共同溝に並行して営業している大阪市営地下鉄御堂筋線は、1日に約120万の利用がある大阪市の交通の大動脈である。分岐立坑は全てこの地下鉄躯体に近接しており、最も近接する立坑で離隔約3mとなり、分岐立坑構築時には地下鉄の軌道に関係する周辺地盤への影響を最小限に抑える必要があった。

そのため、本工事では深度約30mのシャフト部の構築には上向きシールド工法を採用した。

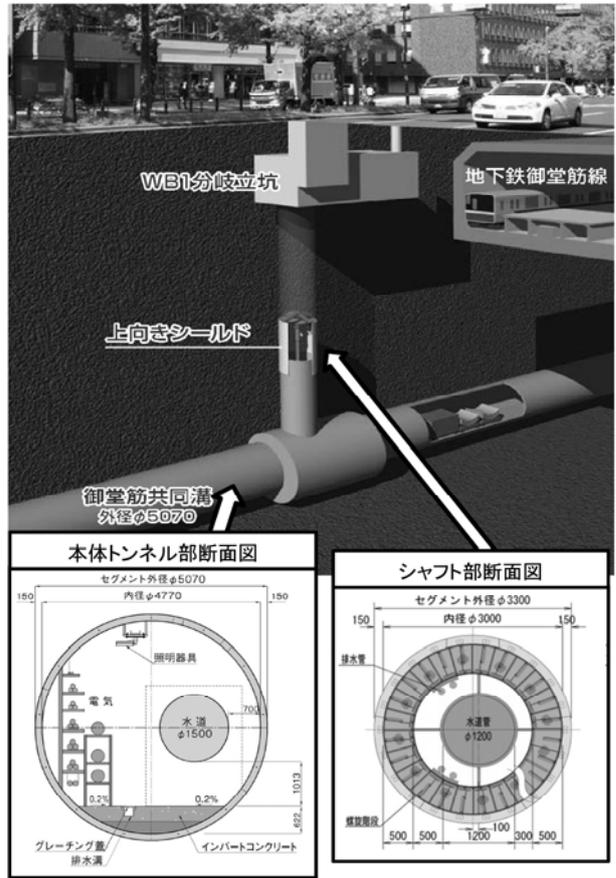


図-2 分岐立坑の概要

2. 上向きシールド工法の概要

(1) 上向きシールド工法の特徴

上向きシールド工法は、既設の本体トンネル内部から地上に向けて上向きにシールドトンネルを構築していく工法である。そのため、材料の運搬・供給ともに地下のトンネル坑内から行うことができるため、シャフト部施工中の地上作業は、シールド回収作業のみとなる。地上より掘り下げる従来工法と比較すると、地上設備の大幅な軽減及び地上での道路占用作業を最小限にすることができる。図-3に分岐立坑構築工法の比較を示す。

シールドにより立坑を構築するため、開削工法と比較して周辺地盤への影響を抑えることができる。また、本体トンネルとの分岐箇所の地盤改良（凍結工法）が不要となる。

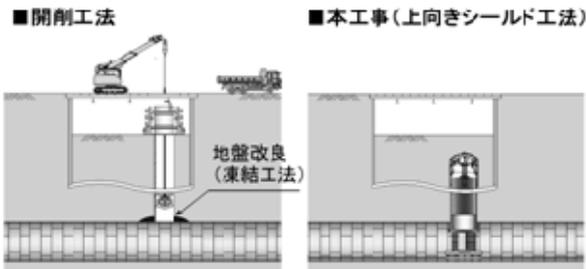


図-3 分岐立坑構築工法の比較

(2) 上向きシールド機

本工事で採用したシールドは、外径φ3,450mm、全長4.6m、総推力9,600kN、最大トルク622kN-mの泥土圧シールドである。テール部からの地下水や土砂の機内への侵入防止のため、テールブラシを2段配置し、テールグリス自動給脂装置を装備した。土圧計は、カッタチャンバ内に固定型を2台装備している。また、メタンガスに対応するためシールド機には防爆型の機器を採用している。

写真-1は工場検査時の仮組状況。

バルクヘッドは、上向きに掘進するため、中心に向かってすり鉢状にし、土砂を取り込み易くしている。シールド機は坑内運搬、組立作業を考慮して3分割（カッタ部+ボディ部+テール部）とした。



写真-1 上向きシールド機

(3) 上向きシールド施工方法

上向きシールド工法の施工フローを図-4に示す。

- ①シールド機前胴部を発進立坑より投入し、所定の位置に坑内運搬する。
  - ②反力架台上に据付け、シールド機前胴部のみを推進し、仮組セグメントを組立て、開口用（FFU）セグメントを切削する。
  - ③所定の位置まで掘進完了後、テール部を坑内に搬入し前胴部と接続し、組立てる。
  - ④テール組立完了後、本掘進を行う。
  - ⑤掘削深度や地層変化に合わせて、切羽土圧を管理しながら地上到達部まで掘進する。
  - ⑥掘進完了後、シールド機前胴部をテールから切り離し、クレーンにより回収し、発進立坑へ運搬する。
- 上記①～⑥を繰り返し、1台のシールド機を転用して7箇所分岐立坑の施工を行った。

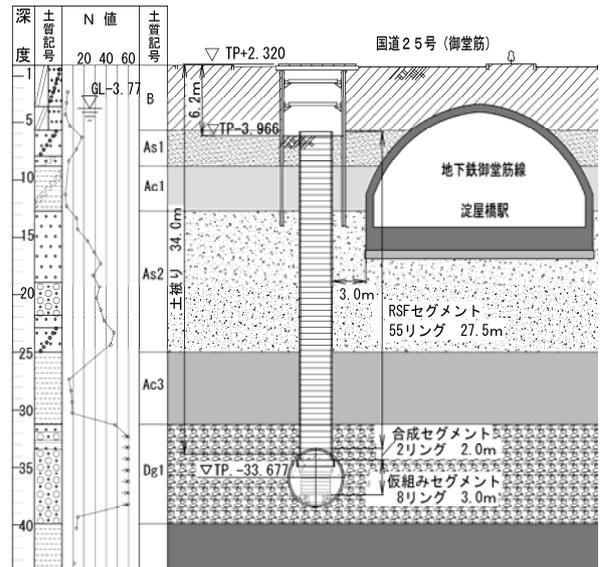


図-5 E B 6 分岐立坑断面図

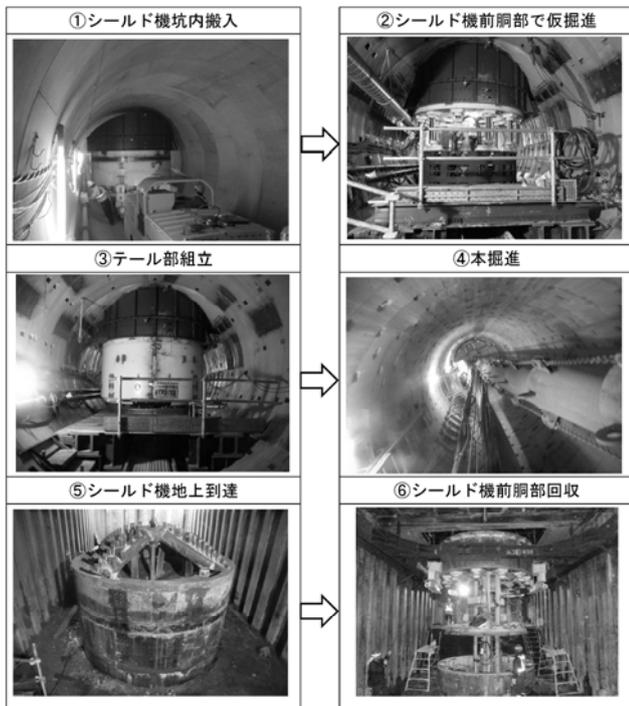


図-4 上向きシールド工法施工フロー

上向きシールドでの掘進は、上記のような土層を掘削していくため数m単位で掘削土の性状が変化していく。そのような掘削土の急激な変化に短時間で対応できる掘進および排土管理を行う必要があった。

また、掘進の進捗に伴い鉛直土圧・地下水圧が変化していくことから、切羽土圧の管理値を地下水圧とTerzaghiの式を参考とした土の緩み範囲を想定してリング毎（50cm）に設定した。その切羽土圧は、上向きシールドの排土管内部にピンチバルブと呼ばれる排土設備を装備し対応した。

図-6にピンチバルブ構造図を示す。

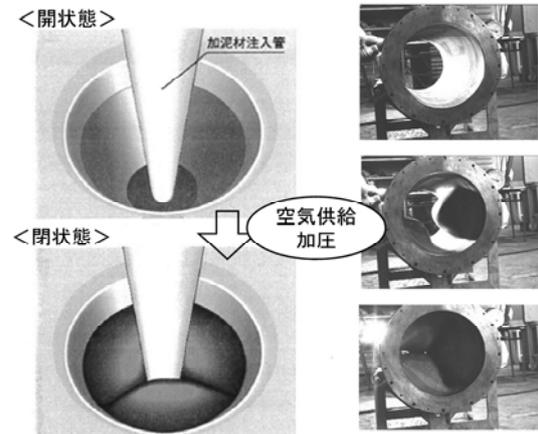


図-6 ピンチバルブ構造図

3. 施工実績

(1) 上向きシールドの掘進

上向きシールドを施工する7箇所立坑の発進部から地上部までの土被りは30m以上、地下水位はGL-2m～-5m程度となっており、シールド通過土層はN値50以上の洪積礫質土層（Dg1）、N値1～10程度の沖積粘性土層（Ac1、Ac2、Ac3）とシルトを主体としたN値10～40程度の沖積砂質土層（As2）の互層となっている。

図-5にE B 6 分岐立坑断面図を示す。

ピンチバルブには、ゴムスリーブが内蔵されており、このゴムスリーブに空気を供給し加圧、膨らませることで排土の取り込み口を小さくして排土量を減らしたり、逆に減圧、収縮させることで排土の取り込み口を大きくして排土量を増やしたりして、排土量と切羽土圧の調整を適切に行うことができた。

また、通常の泥土圧シールド工法は地層ごとに加泥材の種類を変えて対応するが、掘削土の急激な変化に短時

間に対応できるよう実績や現位置土での試験結果を踏まえ、同一の添加材で濃度調整するだけで全ての土層に対応可能な加泥材を採用した。

設定した管理土圧の妥当性は、上向きシールド掘進中に計測した地盤内変位（鉛直変位，水平変位）より検証を行ったので後述する。

## (2) 上向きシールド発進部

シールド工事全般、発進と到達の施工が最もリスクが高い状態となる。

上向きシールド発進部では、共同溝セグメントの鏡切時に0.3Mpaの被圧水圧下での施工が求められた。従来の鋼構造やRC構造のセグメントであれば、地盤改良等補助工法を施工したのち人力等によりセグメントを撤去する鏡切工が発生するが、あらかじめ共同溝の上向きシールド発進部に開口用セグメントとしてカッターで直接切削可能なFFU（Fiber Formed Urethane）部材からなるセグメントを使用した。

写真-2に上向きシールド発進部の写真を示す。



写真-2 上向きシールド発進部

開口用セグメントを上向きシールド機で直接切削して発進させる構造とし、その坑口部に転用可能なエントランスパッキンを使用することで、地山と既設の本体トンネル内部を密封・止水を行い、リスクが高い鏡切工を省略した。

FFUセグメントを使用することにより、地盤改良等補助工法を用いた鏡切工と比較して安全性向上のみならず、工期短縮，工事費削減が図ることができた。

## (3) 上向きシールド到達部

シールド工事でもう一つリスクが高いものとして、到達の施工がある。上向きシールドは、分岐室構築用の立坑として約6m掘削した立坑に到達した。到達部である立坑の床付面は、地下水位より低く一部の立坑では地盤改良体（高圧噴射攪拌工法）となっており、上向きシールド機が立坑に到達した際、立坑内の方が地下水位より

低い場合カッター余彫り部から地下水や土砂が流入する恐れがあった。

図-7に示すように、事前に到達部の水位を地下水位より上げるため、地下水位まで湛水させて上向きシールド機を到達させた。立坑は、延長約15m・幅約6mと大きく水量を出来るだけ必要最小限にするため、上向きシールド機（φ3.45m）より一回り径が大きいライナープレート（φ4.0m）を到達位置に事前に設置し、その中を湛水させて水中到達した。到達後に余彫り部等に裏込注入を行い、地下水の流入が無いことを確認後、ライナープレートを撤去した。これにより立坑内への地下水や土砂の流入もなく、安全に到達することができた。

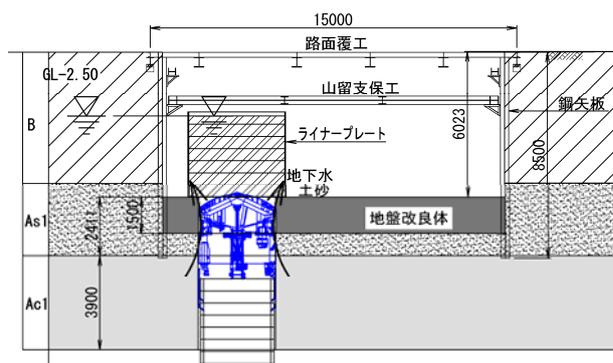


図-7 上向きシールド到達立坑図  
(EB5 分岐立坑)

## 4. 実施工程

### (1) 上向きシールド実施工程

EB6分岐立坑シャフト部の施工実績工程を図-8に示す。シールド機を発進立坑に投入し、シャフト部の施工が終わり、次の立坑掘削のためシールド機を再度発進立坑に投入するまでを1立坑のサイクルとすると、1立坑当たり約45日（1.5ヶ月）で施工をすることができた。一次覆工は、本掘進で昼夜日平均5.4リング/日（2.7m/日）の進捗となり約30mのシャフト部のシールド掘進期間は、2週間弱であった。

工程	施工日数	1	10	20	30	40
<b>EB6 シャフト部構築工</b>						
発進準備工	シールド設備設置	■				
	エントランス設置		■			
シールド機相立工	シールド機相立	■				
	テル部相立		■			
初期掘進	立坑投入・坑内搬送	■				
	シールド機地上回収				■	
本掘進	57リング		■	■	■	
設備撤去工	エントランス処理				■	■
	シールド設備撤去				■	■
<b>EB5 シャフト部構築工</b>						
発進準備工	シールド設備設置					■
	シールド機相立工					■

図-8 シャフト部実施工程 (EB6 分岐立坑)

(2) 分岐立坑実施工程

分岐立坑1箇所の施工実績工程は、立坑の土留・覆工・掘削を24ヶ月、上向きシールド到達後に分岐室構築・埋戻し・仮設撤去を27ヶ月で行った。上向きシールドは15ヶ月を要したが、前述のとおりシャフト部施工中の地上作業は、シールド回収作業のみであり、2~3日であった。

シャフト部の構築工法が、地上からの開削工法であった場合と比較すると、その施工4ヶ月は路上工事となるため、路上工事を9.7ヶ月から5.7ヶ月~4ヶ月短縮できたことになる。

図-9に分岐立坑の工程比較を示す。

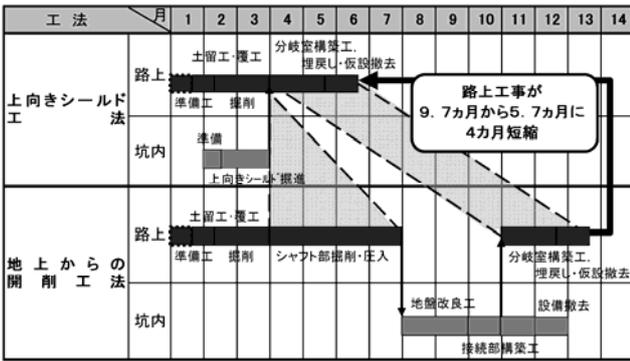


図-9 分岐立坑の工程比較

5. 周辺地盤への影響

地下鉄御堂筋線への影響は、施設管理者である大阪市交通局と近接協議を行った結果、地盤内変位（鉛直変位、水平変位）を計測し管理を行った。図-10に示すように鉛直変位を層沈下計（4箇所）、水平変位を多段式傾斜計（19箇所）により施工中の影響を計測した。

計測管理値は、事前にFEM解析により算出した地下鉄躯体位置での地盤変位予想値と軌道管理値（7.0mm）の内、小さい方の値とした。

表-1に、EB3・EB5分岐立坑の地下鉄躯体位置での予想地盤変位量とシャフト部施工中の地下鉄躯体位置地盤の最大変位量を示す。上向きシールド掘進中での各立坑の鉛直変位量は1mm以内であり、水平変位量も最大で2mm程度に収まり、上向きシールド掘進が周辺地盤に大きな影響を与えることは無く、設定管理土圧が適切であったと判断できる。

分岐立坑	変位	軌道管理値	地下鉄躯体位置 予想地盤変位	シャフト部施工中の 地下鉄躯体位置 最大変位量(絶対値)
EB3分岐立坑	鉛直変位	7.0mm	0.8mm	0.5mm
	水平変位	7.0mm	5.0mm	1.5mm
EB5分岐立坑	鉛直変位	7.0mm	1.8mm	0.7mm
	水平変位	7.0mm	4.1mm	0.5mm

表-1 地盤計測結果

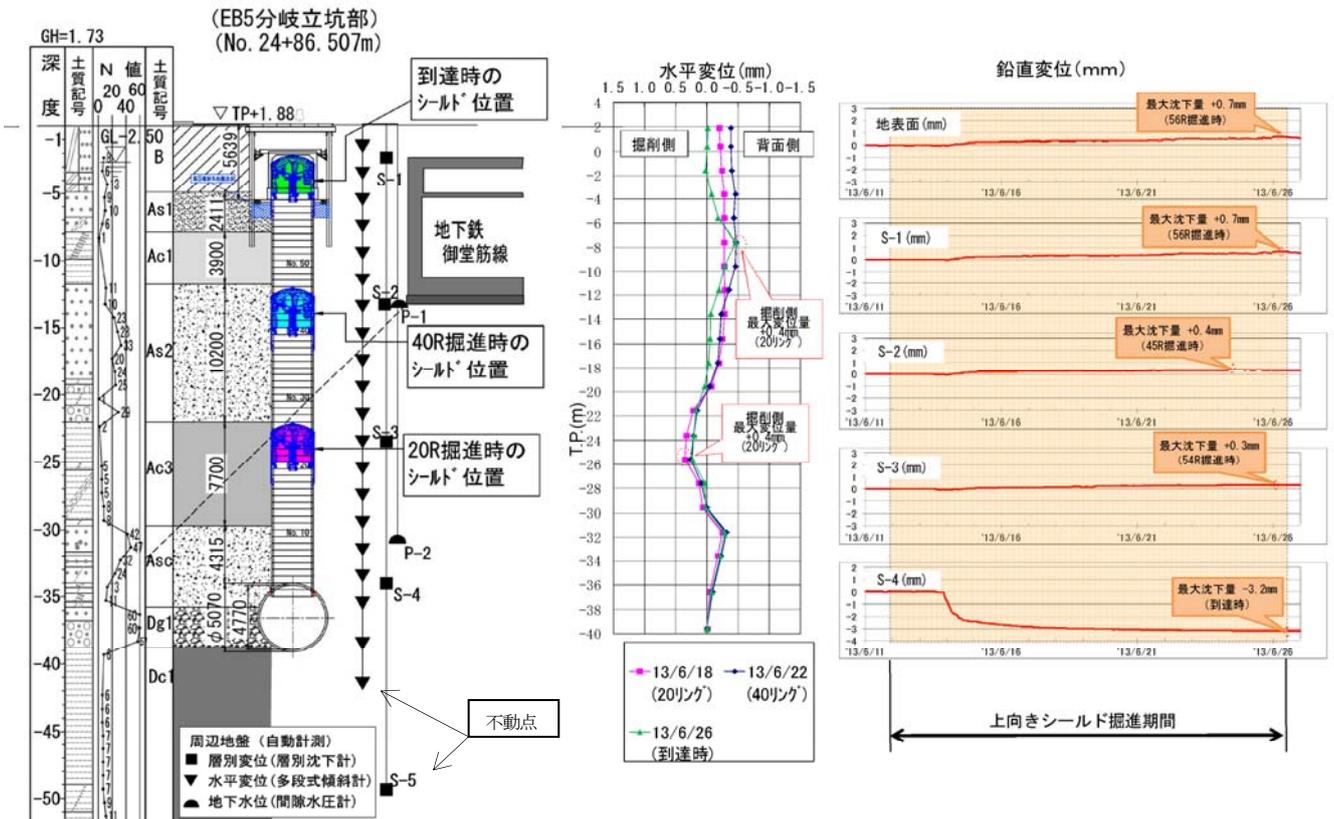


図-10 計測機配置図及び計測結果 (EB5 分岐立坑)

## 6. 今後の課題

上向きシールド発進部は、FFUセグメントを直接切削して発進させる構造としたため、FFUセグメントが大割れし、排土管を閉塞させることを避けるためにカッターを本体トンネルの内面の曲率に合わせたのドーム形状とし、全パスを先行ビットで掘削するビット配置とした。また、開口用セグメント切削中はシールドジャッキを微速制御し、カッタートルクの上昇を抑えながらセグメントを細かく切削できるように対策を施したが、実際の施工では、一部で板状になった切削片が原因で、排土管の中で閉塞が発生し解除作業に時間を要した。図-10に示すように、上向きシールド発進部（S-4）で最も大きな鉛直地盤変位が発生している。これは、上記作業で発進部の通過に時間を要したことが原因と考えられる。

今後は、前述の開口セグメントや上向きシールド機設計段階での大割れ防止対策に加えて、排土管の閉塞が起こりそうな箇所注入装置を設けるなどの対策を行い、円滑に発進部を通過することが必要と考える。

## 7. まとめ

2012年12月より上向きシールド工法での施工を開始し、2013年11月に7箇所全ての上向きシールドの掘進が完了している。7箇所の立坑において、上向きシールドの施工では周辺地盤・構造物への影響も少なく安全に施工完了することができた。

上向きシールド工法は、都市部の工事による周辺環境への影響を最小限に抑制しながら、大深度になるほど経済的になる立坑の構築技術である。本工事のような共同溝の分岐立坑のほか、上下水道では取水・管理用立坑、鉄道・道路では換気・管理・避難用立坑、地下構造物では物流シャフト等など様々な用途への展望が望まれる。

また、今回の施工により近接構造物への影響が非常に小さいことも確認できた。

今後は、施工により得られた知見を活かして更なる技術の検証と発展を検討していきたい。

**謝辞：**論文作成にあたり当工事関係者のご協力を賜りましたことについて、厚く御礼申し上げます。