

上向きシールド工法での 分岐立坑の施工

小森 敏生¹

¹正会員 大成建設株式会社関西支店 御堂筋上向きシールド作業所
(〒542-0081 大阪市中央区南船場1-14-10)
E-mail:komo@ce.taisei.co.jp

御堂筋共同溝は、大阪の中心部を南北に縦断する御堂筋の地下に整備を進めている幹線共同溝である。共同溝は、延長約4kmの本体トンネル部と途中8箇所の分岐立坑で構成されている。分岐立坑の構築時において、上向きシールド工法を採用することによって、工事中の御堂筋における交通規制を削減し、周辺地盤、構造物への影響を最小限に抑えることができた。

本稿では、上向きシールド工法による分岐立坑の施工実績について報告する。

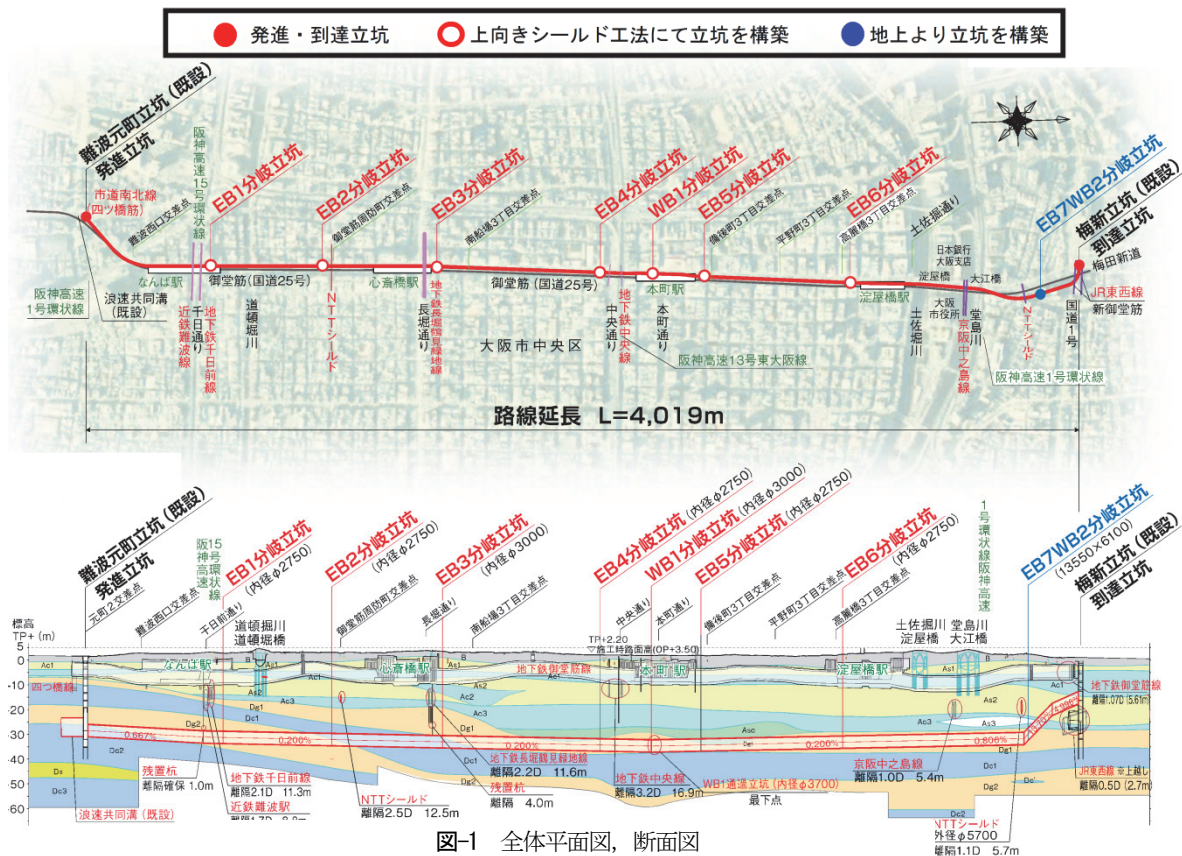
Key Words : upward shield, branch shaft, control traffic regulation, control neighboring ground

1. 工事概要

(1) 全体工事概要

御堂筋共同溝事業は、国土交通省近畿地方整備局と大阪市が地下に整備を進めている幹線共同溝であり、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事業である。図-1に全体平面図，断面図を示す。



(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、交通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120万人の利用がある大阪市の交通の大動脈である。分岐立坑はすべ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で、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開削不要の上向きシールド工法を採用した。

工法である。そのため、掘削残土の搬出および材料の運搬、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、シールド機回収作業のみとなる。地上よりプレキャストブロックを圧入しながら、立坑を掘り下げるPCウェル工法などの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。また、シールドにより立坑を構築するため、周辺地盤への影響を抑えることができるとともに、本体トンネル坑内の発進部に直接切削可能なセグメントを組み立てておくことで上向きシールド発進部の地盤改良（凍結工法）が不要となる利点がある。**図-3**に分岐立坑構築工法の比較を示す。

(2) 上向きシールド機

本工事で採用したシールド機は、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。パルクヘッドは、上向きに掘進するため、中心の排土管に向かってすり鉢状にし、土砂を取り込みやすくしている。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**に工場検査時の仮組状況を示す。

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

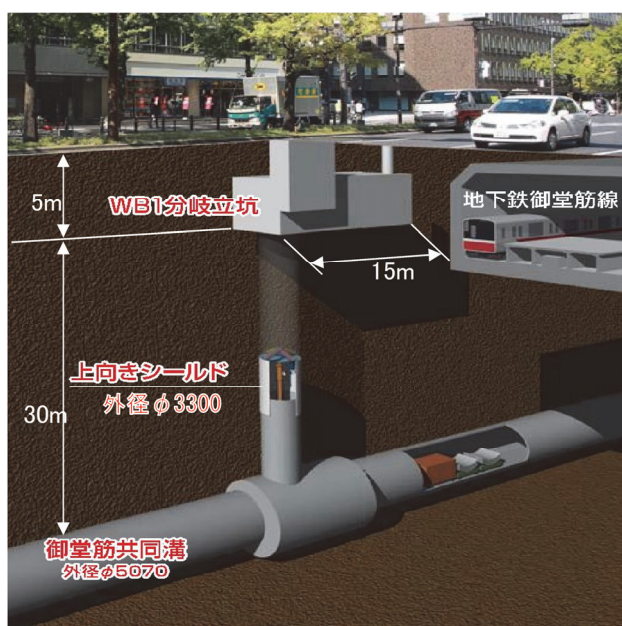


図-2 分岐立坑概要図

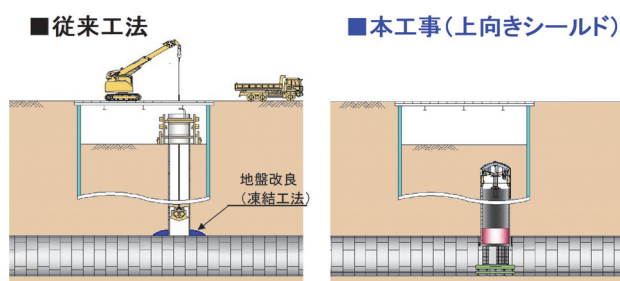


図-3 分岐立坑構築方法の比較



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写真-2に示す。

- ① シールド機前胴部を発進立坑より大型クレーンで投入し、所定の位置に本体トンネル坑内をバッテリーロコで運搬する。
- ② あらかじめ組み立てた反力架台上に据付け、上向きシールド機前胴部のみで推進し、仮組セグメントを組み立て、開口用（FFU）セグメントを切削する。
- ③ 所定の位置まで掘進し、坑内にスペースを作った後、テール部を坑内に搬入し前胴部と接続する。
- ④ 上向きシールド機組立完了後、本掘進を行う。通常のシールド工事と同様に掘進とセグメント組立のサイクルを繰り返し、立坑を構築する。
- ⑤ 掘削深度や地層変化に合わせて、切羽土圧、排土性状を管理しながら地上到達部まで掘進する。
- ⑥ 掘進完了後、テールを地中に残置しシールド前胴部を大型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箇所の分岐立坑の施工を行った。

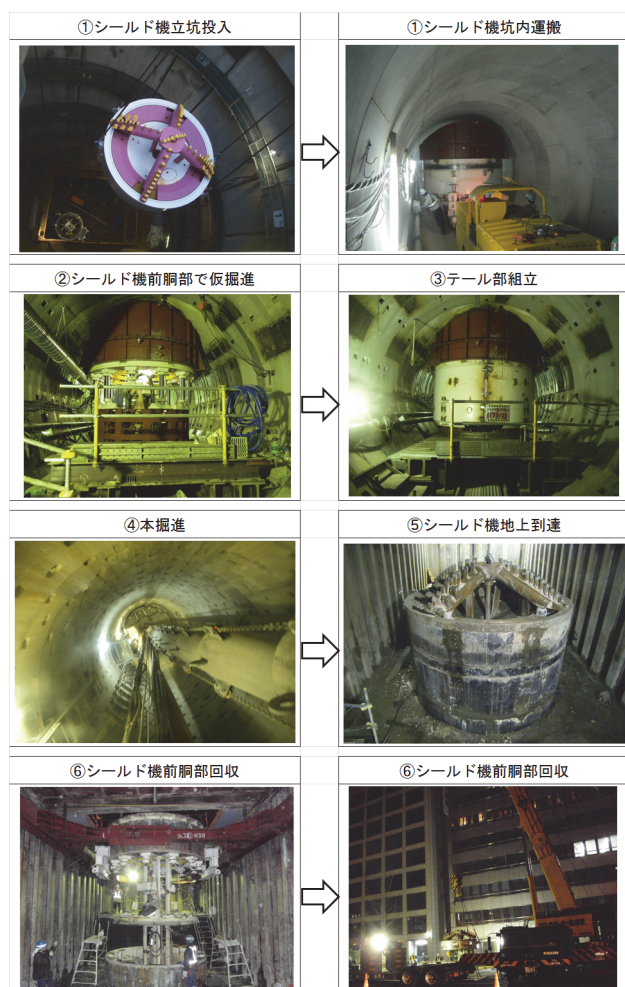


写真-2 上向きシールド工法施工フロー

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箇所の立坑は、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-4にEB6分岐立坑断面図を示す。

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。掘削土の性状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。その切羽土圧の管理は、上向きシールド機に装備したピンチバルブで対応した。図-5にピンチバルブ構造図を示す。

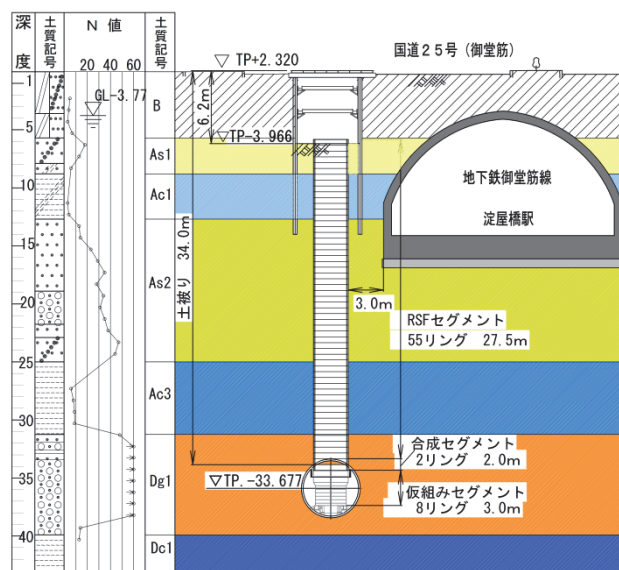


図-4 EB6分岐立坑断面図

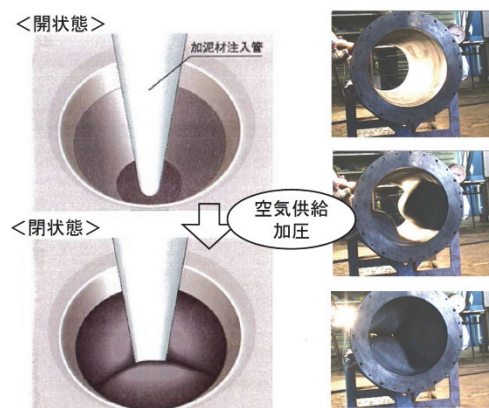


図-5 ピンチバルブ構造図

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、加圧し、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ものである。

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、当上向きシールドでは掘削土層の急激な変化に短時間で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すべ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

シールド工事全般において、発進部、到達部の施工が異常出水や地山の崩壊など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、本体トンネルセグメントの鏡切時に0.3MPaの被圧水压下での施工が求められた。従来の鋼製やRC製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、あらかじめ本体トンネルの上向きシールド発進部に開口用セグメントとしてシールド機で直接切削可能なFFU（Fiber reinforced Formed Urethane）部材からなるセグメントを使用した。FFUセグメントは硬質発泡ウレタンをガラス長繊維で強化したものをR状に接着してセグメント形状としている。

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、その坑口部に特殊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の止水を行い、リスクが高い鏡切工を省略した。

写真-3に上向きシールド発進部の写真を示す。



写真-3 上向きシールド発進部

また、PCウェル工法などで地上から立坑を掘削する場合、共同溝との接続部で凍結工法などの地盤改良を実施して止水する必要があるが、FFUセグメントを使用することにより、地盤改良など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、工事費削減を図ることができた。

(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、到達部の施工がある。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、カッタ余掘り部から地下水や土砂が流入する恐れがあった。

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、図-6、写真-4に示すように、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、その中を地下水位まで湛水させて水中到達した。到達後に余掘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。

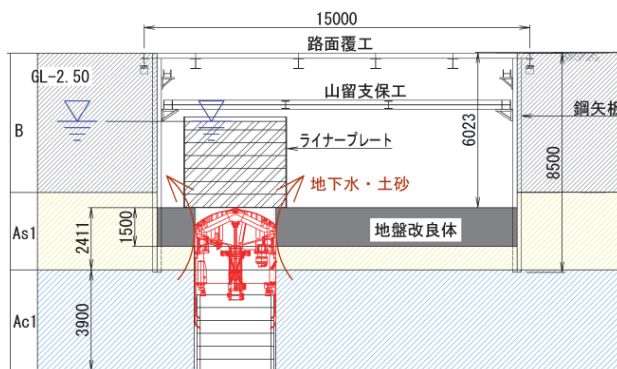


図-6 上向きシールド到達立坑図（EB5分岐立坑）

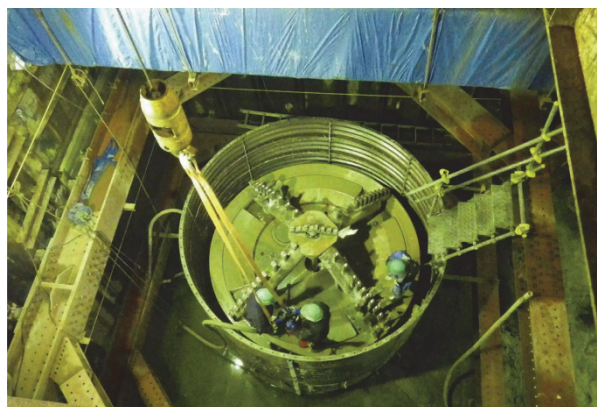


写真-4 上向きシールド到達状況（WB1分岐立坑）

(4) シャフト部セグメント

従来、上向きシールド工法では、鋼製セグメントを使用していたが、本工事で初めてコンクリート系セグメントを採用し、立坑躯体のコンクリート工事を省略することで工期を短縮した。セグメントの厚さは内径φ3000mmで150mm、内径φ2750mmで125mmの2種類であり、幅はいずれも500mmである。1ピース重量は、最大約350kgとなるため、切羽にはリング形状のトロリによるセグメント搬送装置を設置し、重量のあるセグメントの人力組立を可能とした。厚さの薄いセグメントにおいても高い断面性能を確保し、かつ組立時の割れ欠けを防止するために、RCセグメントに鋼繊維を混合させたRSF（鋼繊維補強鉄筋コンクリート）セグメントを採用した。

また、本体トンネルとの接続部では、荷重が不均一となること、および本体トンネルとの接合を考慮して高い剛性を有するコンクリート一体型鋼製セグメント（合成セグメント）を採用した。

写真-5にRSFセグメントの写真を示す.

(5) 分岐室のプレキャストボックス化

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）は、プレキャストコンクリート部材を用いて構築した。プレキャスト化することで、従来の現場打ちコンクリートによる施工と比較して、路上工事短縮が可能になり交通規制期間の削減を図った。

4. 工期短縮と路上工事の縮減

(1) 上向きシールドの実施工程

EB6分岐立坑シャフト部の実施工程を図-7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5.4m/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。

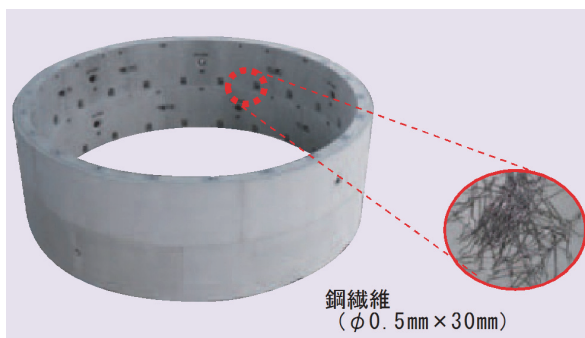


写真-5 RSFセグメント

(2) 分岐立坑の実施工程

分岐立坑1箇所の実施工程は、試験堀等の準備工0.6ヶ月、立坑の土留、覆工、掘削を2.4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2.7ヶ月で行った。上向きシールドは1.5ヶ月を要したが、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、夜間の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、施工時間の制約によりその施工は4ヶ月、地盤改良などの共同溝との接続部工事に更に4ヶ月を要することになる。上向きシールド工法の場合、接続部の地盤改良が不要となり、交通規制を伴わず掘進の昼夜施工が可能で、立坑の土留、覆工、掘削と同時施工が可能のため全体工程は半分に短縮できた。

また、シャフト部の構築工法が地上からであった場合は、シャフト部掘削、圧入の4ヶ月が路上工事となるため、その期間の交通規制を削減できた。

図-8に分岐立坑の工程比較を示す.

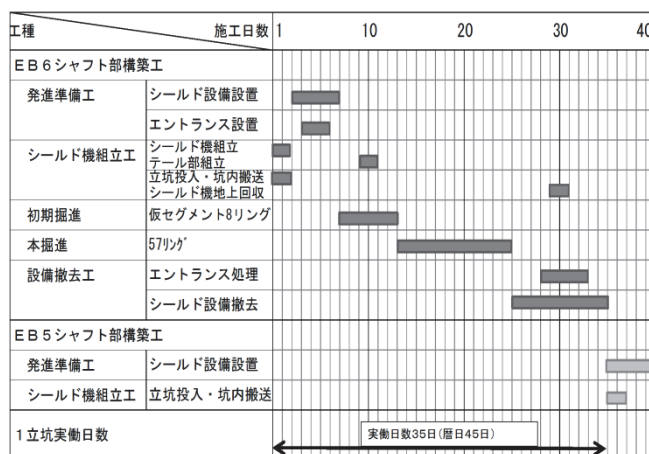


図-7 シャフト部実施工程 (FB6分岐立坑)

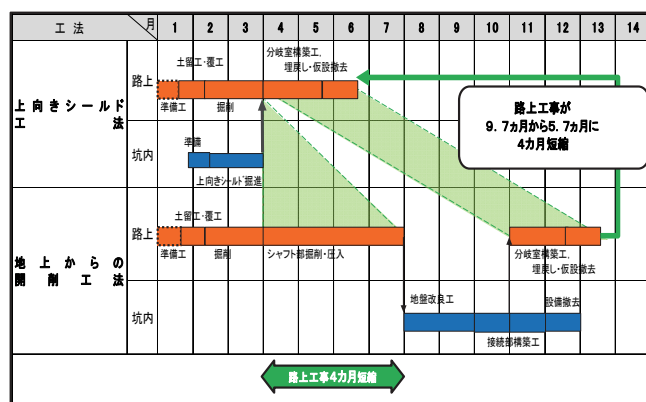


図-8 分岐立坑の工程比較

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-9に示すように鉛直変位を層別沈下計（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。

上向きシールド掘進中は、切羽土圧および裏込注入圧の影響による隆起が発生しているが、鉛直変位量は発進部を除いて1mm以内で収まっている。水平方向についても切羽土圧および裏込注入圧の影響により背面側へ変位が発生しているが水平変位量は1mm以内で収まっているため、設定管理土圧が適切であったと判断できる。

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水平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、EB1～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3mm程度に収まり、上向きシールドの掘進が周辺地盤に影響を与えることはほぼ無かった。一部の立坑においては、地下鉄躯体計測も実施しているが、上向きシールドによる影響として計測値に現れることはなかった。

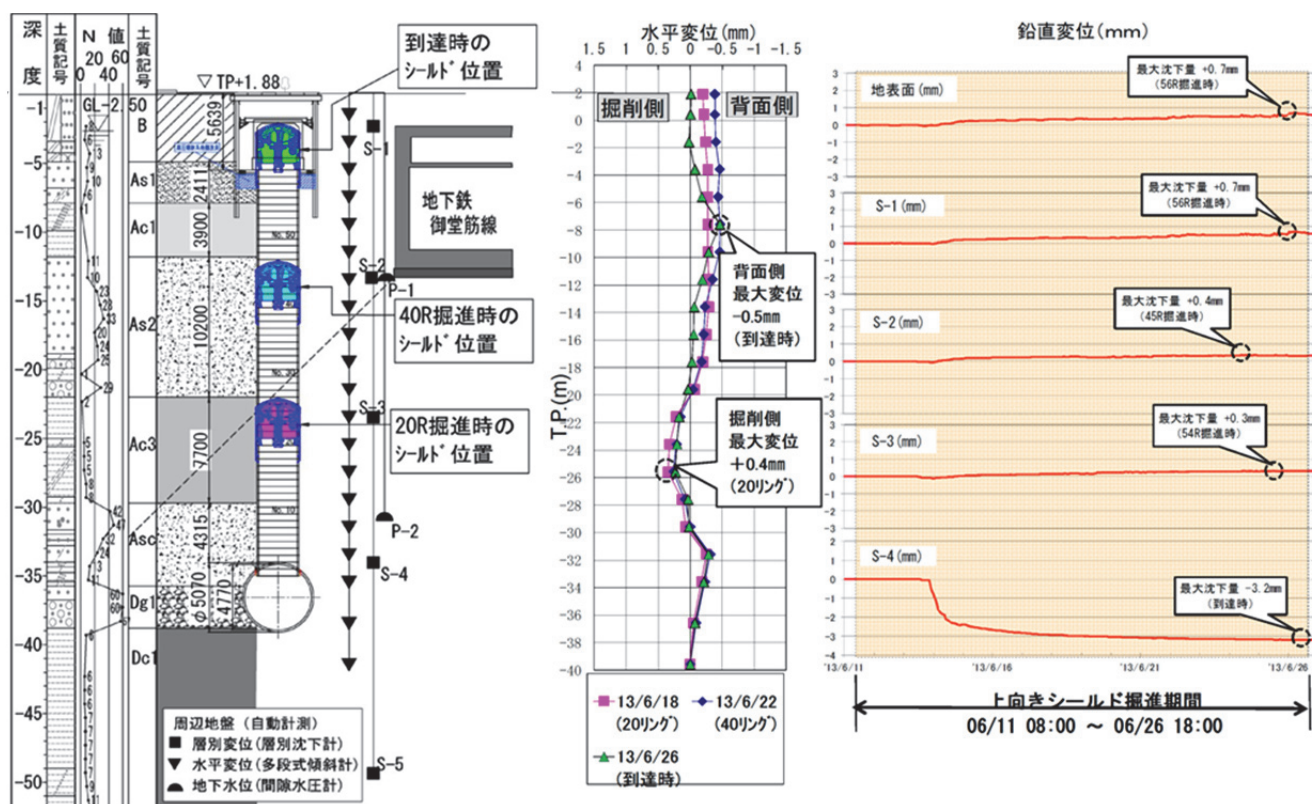


図-9 地盤内計測結果（EB5分岐立坑）

分岐立坑	鉛直変位（+：隆起，－：沈下）			水平変位（+：掘削側，－：背面側）		
	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	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
EB1分岐立坑	±7.0mm	-3.4mm	+0.2mm	±7.0mm	+7.6mm	+2.7mm
EB2分岐立坑	±7.0mm	-4.2mm	+0.2mm	±7.0mm	+9.2mm	+1.3mm
EB3分岐立坑	±5.0mm	-0.8mm	+0.8mm	±5.0mm	+5.0mm	+2.4mm
EB4分岐立坑	±7.0mm	-6.8mm	-0.3mm	±7.0mm	+7.1mm	+0.8mm
EB5分岐立坑	±4.1mm	-1.8mm	+0.7mm	±4.1mm	+4.1mm	+0.5mm

表-1 地盤内計測結果一覧



写真-6 プレキャストボックス据付状況



写真-7 WB 1分岐立坑シャフト部全景

6. 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た。7箇所の立坑において、上向きシールドの施工では、シャフト部の構築時の交通規制を削減し、周辺地盤、構造物への影響もなく安全に施工完了することができた。写真-6にプレキャストボックス据付状況を、写真-7にWB1分岐立坑シャフト部全景を示す。

横坑との接続部の地盤改良を必要としない上向きシールド工法は、土水圧の影響を受けにくく、他の工法と比較して大深度での施工の自由度が高い。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。

参考文献

- 1) 井櫻他：上向きシールド工法による共同溝分岐立坑の施工，土木建設技術発表会，2013.
- 2) 小森他：共同溝分岐立坑での上向きシールド工法の施工，第69回土木学会年次学術講演会，2014.

(2015.8.7受付)

CONSTRUCTION OF BRANCH SHAFT BY UPWARD SHIELD TUNNELING METHOD

Toshio KOMORI

Midousuji underground multi - purpose duct' is a common trunk which is equipped underground of the Midousuji street across Osaka north and south .

Along with the common duct, which is composed of the main tunnel extends for 4kilometers, 8 vertical branch shafts are constructed by upward shield tunneling method. Adoption of upward shield tunneling method is expected to provide substantial positive effects such as reduction of the traffic regulation during the construction period as well as minimize the influence on the neighboring ground and structures. This report is about the research of the performance of upward shield tunneling method.