

# 地下鉄営業線直下2.2mにおける 大断面シールドの超近接施工

島 拓造<sup>1</sup>・西森 文子<sup>2</sup>・西木 大道<sup>3</sup>  
三宅 翔太<sup>4</sup>・塚本 健介<sup>5</sup>・河田 利樹<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 大阪市交通局 鉄道事業本部 工務部 (〒550-8552 大阪市西区九条南一丁目12-62)  
E-mail: shima-t277@kotsu.city.osaka.lg.jp

<sup>2</sup>正会員 大阪市交通局 鉄道事業本部 鉄道統括部 (〒550-8552 大阪市西区九条南一丁目12-62)  
E-mail: nishimori-a142@kotsu.city.osaka.lg.jp

<sup>3</sup>正会員 大阪市交通局 鉄道事業本部 鉄道統括部 (〒550-8552 大阪市西区九条南一丁目12-62)  
E-mail: nishiki-d191@kotsu.city.osaka.lg.jp

<sup>4</sup>正会員 大阪市交通局 鉄道事業本部 工務部 (〒550-8552 大阪市西区九条南一丁目12-62)  
E-mail: miyake-s355@kotsu.city.osaka.lg.jp

<sup>5</sup>正会員 大阪市交通局 経営管理本部 経営管理部 (〒550-8552 大阪市西区九条南一丁目12-62)  
E-mail: tsukamoto-k280@kotsu.city.osaka.lg.jp

<sup>6</sup>正会員 株式会社大林組 大阪本店 土木事業部 (〒530-8520 大阪市北区中之島三丁目6-32)  
E-mail: kawata.toshiki@obayashi.co.jp

大阪都市再生環状道路の一環となる都市計画道路大和川線のうち、大阪市営地下鉄御堂筋線（トンネル外径6.8m、以下「御堂筋線」という）との交差部において、直下をわずか2.2mの離隔（0.16D）で、マシン外径12.54mの大断面泥土圧シールドがUターンし4度の下越し施工を行った。大阪市の大動脈である御堂筋線への影響を抑制し、活線の安全運行を確保しながら掘進することが絶対条件であった。

崩壊性の高い砂質土層がシールド上半に存在する地盤で、掘削外径とシールド外径の差に起因する通過時やテールボイド等に対する変状要因をより慎重な掘進管理で克服し、工事中発生した振動対策等にも対応して、御堂筋線の構造物変位を最大2.1mm（隆起）に抑制して、安全確実にトンネルを築造することができた。これらの掘進管理等について報告する。

**Key Words** : earth pressure balance shields , large diameter, measurement , adjacent construction

## 1. はじめに

平成 11 年度に事業着手した図-1 に示す都市計画道路大和川線は、大阪府・堺市・阪神高速道路（株）が共同で事業を進めており、阪神高速道路4号湾岸線と同14号

松原線を連絡する延長約 10km の自動車専用道路で、大阪都市再生環状道路約 60km の一部を形成している。

この内、堺市事業区間において離隔約 1.3m で併設施工する大断面シールド（トンネル外径 12.3m）が No.3 立坑で U ターンし御堂筋線（トンネル外径 6.8m）直下を



図-1 都市計画道路大和川線位置図

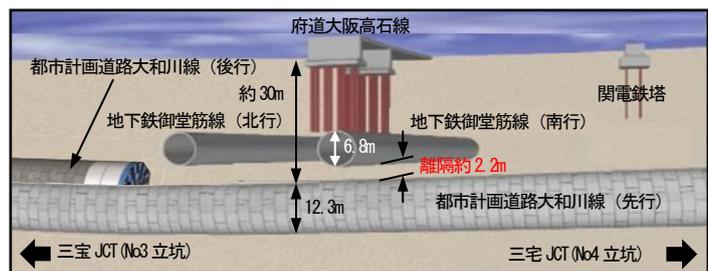


図-2 御堂筋線交差部 縦断面図

わずか2.2mの離隔で4度下越施工を行った。その位置関係を図-2に示す。

大阪市営地下鉄は1日約235万人のお客さまにご利用いただいております。御堂筋線のご利用はその内約半数を占める大阪市の大動脈であり、活線の安全運行を確保しながら掘進が必要があるため、シールド掘進が御堂筋線に影響が及ぶと考えられる範囲（以下、「影響範囲」という）と、切羽圧力や裏込め注入圧等、施工管理値をより最適なものとするために層別沈下計を中心とした地盤変状計測（以下、「トライアル計測」という）を行う区間や河川（西除川）横過区間等を大阪市交通局が堺市より受託することになった（図-3参照）。

本稿では、地下鉄直下2.2mの超近接のシールド施工を、御堂筋線の変位を最小限に抑制して、安全確実にトンネルを築造したこれらの掘進管理や施工結果等について報告する。

## 2. 工事概要と地質概要

### (1) 工事概要

本工事は、松原市側のNo4立坑～堺市側のNo3立坑間1,018mの内、影響範囲に係る先行シールド（以下、「先行」という）350.4mと、No3立坑でUターン後に後行シールド（以下、「後行」という）279.0mを施工するもので、以下の特徴を有している。

- ① 大断面（マシン外径 12.54m）かつ、先行と後行の離隔が約1.3m～2.2mという近接施工となる。
- ② 地下鉄営業線トンネル直下を、離隔2.2m（0.16D）で単線シールドを4度下越しする。
- ③ 御堂筋線の建設時（1987年開業）と今回も確認された崩壊性の高い地盤がシールド上半部に存在する。
- ④ 施工途中で発注者（大阪府から大阪市交通局）と受注者（大鉄JVから大林組）が変わり、シールドマ



図-3 御堂筋線交差部 平面図

シン、および掘進設備は隣接工区から引継いで使用して、またそれを引き継ぐ。

平面線形は、No3立坑からNo4立坑に向かって直線が50m程続いた後左カーブ（先行R=618m・後行R=604m）となり、影響範囲付近では反向緩和曲線部（A=300程度のクロソイド）で、影響範囲を越えて右カーブ（先行R=899m・後行R=807m）となっている。

また、縦断線形は御堂筋線の上下線のほぼ中央で下り3.0%から上り3.0%に変化する曲線区間である。

本工事の工事概要を表-1に示す。

### (2) 地質概要

影響範囲付近の地盤高さは標高TP+10m程度で、表層付近から洪積砂質土層と洪積粘土層の互層であり、御堂筋線下端部から大和川線シールド上端部には、上部より洪積砂層（Ds5層）、洪積粘土層（Dc5層）、洪積砂層（Ds6層）が堆積している（図-4参照）。

Dc5層は、御堂筋線直下に連続して堆積しているN値

表-1 大和川線工事概要

工事名称	地下鉄御堂筋線近接に伴う 大和川線シールド受託工事	
発注者	大阪市交通局	
受注者	株式会社大林組	
工期	平成25年10月22日～平成28年10月28日	
工事内容	工法	泥土圧（気泡）シールド
	マシン外径	12,540 mm（機長）16,230 mm
	施工延長	先行 350.4 m 後行 279.0 m
	セグメント	合成セグメント（NMセグメント）9分割 外径 12.3 m 幅 1.8 m・1.4 m 桁高 0.36 m（うち、0.06mは耐火層）

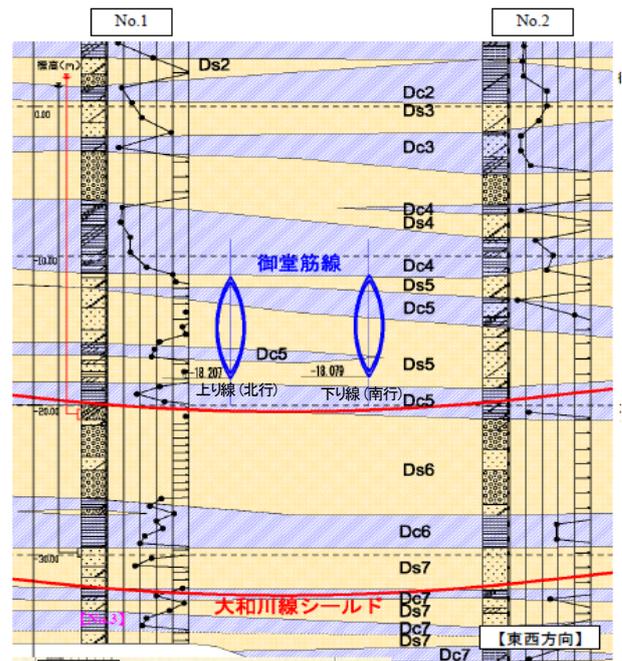


図-4 御堂筋線交差部の土層

が10～20の硬質な粘土層である。Ds5・Ds6層は、N値が60以上の良く締まった砂・砂礫層であるが、大和川線シールドの上半に存在するDs6層は、均等係数の小さい(最小8.2)微細砂や薄く介在したシルト層が存在している。

また、透水係数も $10^2 \sim 10^3 \text{cm/sec}$ 程度で、河川に近いため地下水も豊富であり、過去には近傍で泥水シールド工事による逸泥により、地上まで影響が及んだ事例もある崩壊性の高い地層である。

### 3. 掘進管理計画

シールド掘進により、御堂筋線に出水や気泡の流入、そして管理値を超える沈下や隆起等が無いように御堂筋線への影響を最小限に抑制する必要がある。

そのためには、これまでの大阪市営地下鉄シールドの施工実績<sup>12)</sup>と同様、切羽の安定及び同時裏込め注入を適正に管理することや、これまで課題であった、掘削外径とシールド外径の差によると考えられる通過時沈下対策、これらに加えて、大断面に起因するシールド上下端の圧力差、大容量となる排土量管理、大きくなるテールポイド等の対応が必要となる。さらに、シールド発進時には予期していなかった掘進に伴う振動対策等、より慎重な掘進管理と影響低減策が必要であった。

これらの対策として、御堂筋線の挙動をリアルタイムに計測管理で把握しながら切羽圧力管理やチャンバー内の塑性流動管理等、地下鉄への影響を最小限に抑える精度の高い掘進管理計画を立てて実施した<sup>4)</sup>(表-2参照)。

#### (1) トライアル計測

トライアル計測は図-5に示すとおり、御堂筋線のトンネル天端と下端および掘削外径1D相当の位置に層別沈下計を設置した。計測の結果に基づき、地盤変状とシールド掘進条件との関連を分析し、最適な掘進管理方法を確立することとした。計測位置は、設定した施工管理値の検証・修正用と、修正した施工管理値の確認用の2断面を先行・後行それぞれ設け、合計4断面で計測を行い、この内1断面で併設影響の確認も行った。

表-2 掘進管理で採用した技術

管理項目	採用した技術
切羽圧力	切羽圧力保持システム、カッター押し当て
チャンバー内塑性流動	チャンバー内土砂流動管理技術 大断面気泡多点制御システム
排土量	レーザースキャナーによる体積計測 ベルトスケールによる重量計測 スクリーコンベア二重ゲート
裏込め注入	早期強度発現型の裏込め注入材
外周余掘り部充填	余掘り充填材多点注入装置

影響区間の約50m手前で実施したトライアル計測では、御堂筋線トンネル下端を想定したシールドクラウン直上2mの地盤で、テール通過1D後の累計沈下量は2.6mm、その内シールド通過時沈下は1.5mmであった。

#### (2) 切羽圧力と塑性流動管理

切羽圧力は、シールド上下間の圧力差が100kPa以上あるため、チャンバー内に10箇所設置した土圧計を活用し、上部の土圧計を正、中央部の土圧計を副として管理を行った。切羽圧力の下限値は静止土圧+水圧+予備圧、上限値は土被り圧とした。

掘進停止中の気泡の漏気や脱水による切羽圧力の低下防止として、ベントナイト系加泥材をチャンバー内に自動注入して加圧することで切羽圧力を保持する「切羽圧力保持システム」や、「カッター押し当て」と称して、セグメント組立が完了した後、発泡していない気泡溶液を注入しながら排土せず20～30mm程度掘進して、チャンバー内を昇圧して切羽圧力の保持を図った。

また、チャンバー内の塑性流動状態を確保するため添加材は気泡を使用し、注入量や注入箇所を選定する指標として「チャンバー内土砂流動管理システム」を採用し可視化管理を行った(図-6参照)。

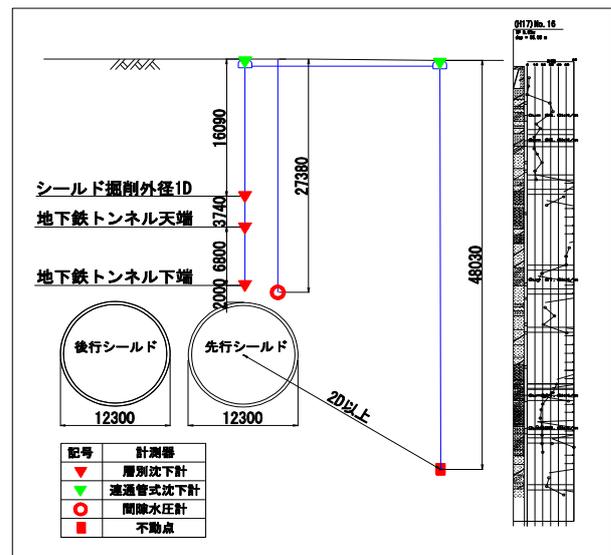


図-5 トライアル計測断面図

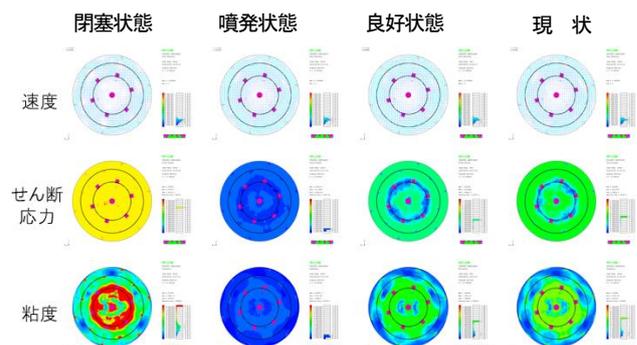


図-6 土砂流動管理システムの管理モニター画面例

この技術は、シールド機隔壁の中央部左右の2箇所に取り付けた計測装置によりリアルタイムでモニタリングするとともに、結果をリアルタイムにシミュレーションし、カッターチャンバー内の塑性流動状態を可視化するものである。

これにより、チャンバー内の状況の早期把握が可能となり、添加材の注入量の調整や注入位置の変更などにフィードバックさせることで噴発・閉塞を未然に防ぐとともに、チャンバー内の粘土塊の介在具合の把握にも役立った。また、カッタースポークの回転にあわせて各注入孔から適切なエア量が供給されるように、チャンバー内に設置した6箇所の土圧計から各注入孔に最も近い土圧計の値を自動的に選択してエア量を算定する「大断面気泡多点制御システム」を採用した。

### (3) シールド通過時対策

隣接工区の施工実績やトライアル計測でも、累積沈下量に対するシールド通過時沈下の占める割合は高く、また掘進初期から装備推力14.4万kNに対し推力が70~90%で推移し、一時は100%近くに達するなど、胴締め現象が見られた。これら双方の対策のため、シールドマシン前胴の外周部の切羽から3.0m及び4.5mの位置に設置されている注入孔を用い、同時に最大8箇所からシールド外周部の余掘り充填(クレーショック)を行った。

### (4) 同時裏込め注入

大断面であるためテールボイドも120mmと大きく、さらに余掘りもあるため、確実な充填とセグメントと地山を早期に固定する必要があるため、裏込め注入材は、早期に強度発現する2液型瞬結性のエア入り(A液におけるエア比率15%)を使用した。事前に、今回使用する配合で試験した結果、セグメント組立てを想定した45分

養生での一軸圧縮強度は、図-7に示すとおり、加圧養生した場合、大気圧下で養生した場合と比較して約2倍の0.3N/mm<sup>2</sup>となり、十分な強度を発現することが確認できた。また、注入圧力は切羽圧力+100~200kPaとした。

## 4. 掘進管理結果

御堂筋線の鉛直変位は、水盛式沈下計で自動計測を行い、手動でも三次元ターゲットを設置して、鉛直変位・内空変位を測定した。

管理値は表-3に示すとおり、FEMによる影響解析結果に基づき設定して計測管理を行なった。影響範囲の掘進結果を図-8,9に示す。

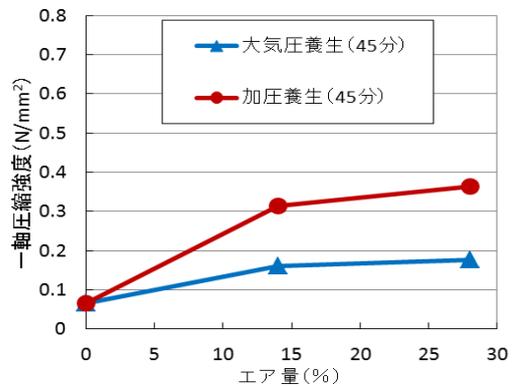


図-7 加圧養生試験結果(45分強度)

表-3 計測管理値

管理段階	先行	後行	備考
1次管理値	± 5.1 mm	± 8.3 mm	管理限界値×50%
2次管理値	± 7.6 mm	±124 mm	管理限界値×75%
管理限界値	±10.2 mm	±166 mm	解放率10%での変位量

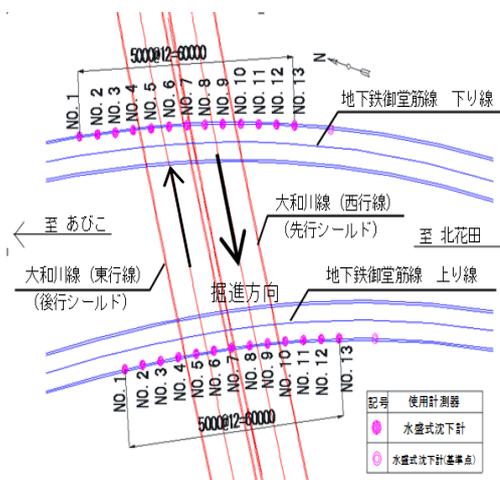


図-8 計測機器配置図

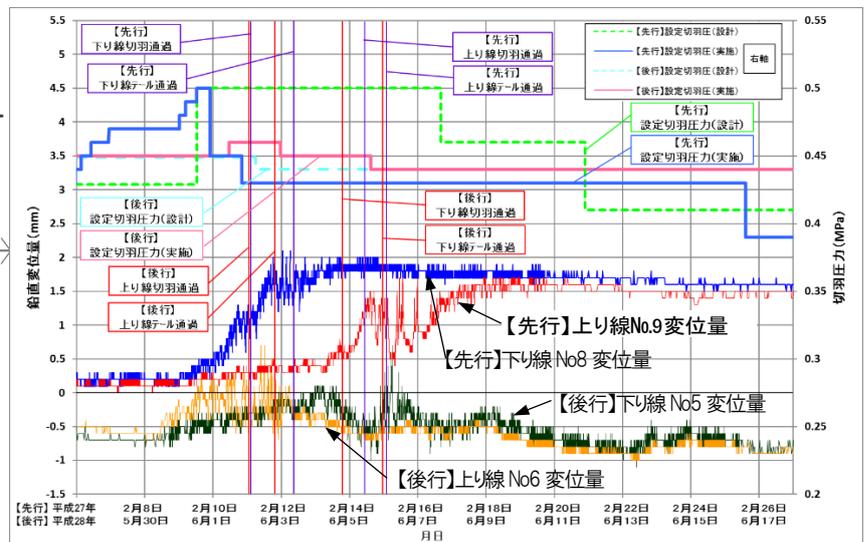


図-9 先行・後行掘進時の計測結果

### (1) 先行の掘進結果

先行の掘進は、先に交差する御堂筋線下り線の構造物は、切羽が接近する約30m手前からやや隆起の傾向が見られたため、切羽圧力を0.50MPaから0.45MPaに修正し、構造物の挙動を確認しながら掘進した。次に交差する御堂筋線上り線構造物も下り線と同様の隆起傾向を示したため、切羽圧力を0.43MPaに再修正した。隆起のピークは、下り線の計測NO.8・9で2.1mm、上り線の計測NO.9で1.7mmであり、上り線は下り線の実績をふまえて切羽圧力を再設定したことで隆起量をさらに抑制できた。上下線とも、鉛直変位の大半は先行隆起が残留したもので、顕著な通過時沈下及びテールボイド沈下は見られなかった。事前に行ったFEM解析では、応力解放率を10%とした場合、御堂筋線トンネルの絶対沈下量は10.2mmの予測であったが、外周充填および裏込め注入が良好に施工され沈下させることなく施工できた。

### (2) 後行の掘進結果

後行掘進ではさらにリアルタイムの挙動に着目し、切羽圧をその都度微調整しながら掘進を行った。先行時と同様に最初に交差する御堂筋上り線の構造物は、切羽が接近する約30m手前からやや隆起の傾向が見られたが、先行掘進の影響か、先行時にはなかった掘進を停止すると沈下するなどの挙動を示した。切羽圧力は0.45MPa（当初設定）→0.46MPa→0.45MPa→0.44MPaといった再設定を繰り返して掘進を行った。このような慎重な切羽圧管理により、掘進するシールドマシンに最も近い位置に設置している上り線の計測No.6で0.7mmの隆起、下り線の計測No.5,6で0.7mmの隆起が発生したが、先行と比較しても変位量は抑制することができた。

### (3) 振動対策

先行掘進時、御堂筋線の手前100mぐらいに位置する民家（シールドマシンとの離隔約6m）で、シールド掘進の振動が地上に伝達し、マシン内の振動測定値が40dBを超えると障子が振動する等の事象が、約70m間で発生した。掘削が進むにしたがい、振動レベルは徐々に増加し、ジャッキストロークが1.7m付近になるとマシン構内の振動は急激に増幅し連続的に40dBを超える状態となった。原因は、ジャッキとスプレッドの偏芯によりセグメントが押し広げられシールドスキムプレートとせることで発生する振動であると考えられたため、40dBを超える状態が継続した場合には一旦掘進を停止し、ジャッキの当替え（開放）を行った。その結果、振動レベルは一気に低下し、掘進再開後も振動レベルを低い状態に保つことができた（写真-9、図-10参照）。

## 5. おわりに

地下鉄トンネルとわずか2.2mの離隔で、大断面シールドが下越するという厳しい施工条件の中、掘進の影響



写真-9 シールドジャッキの開放

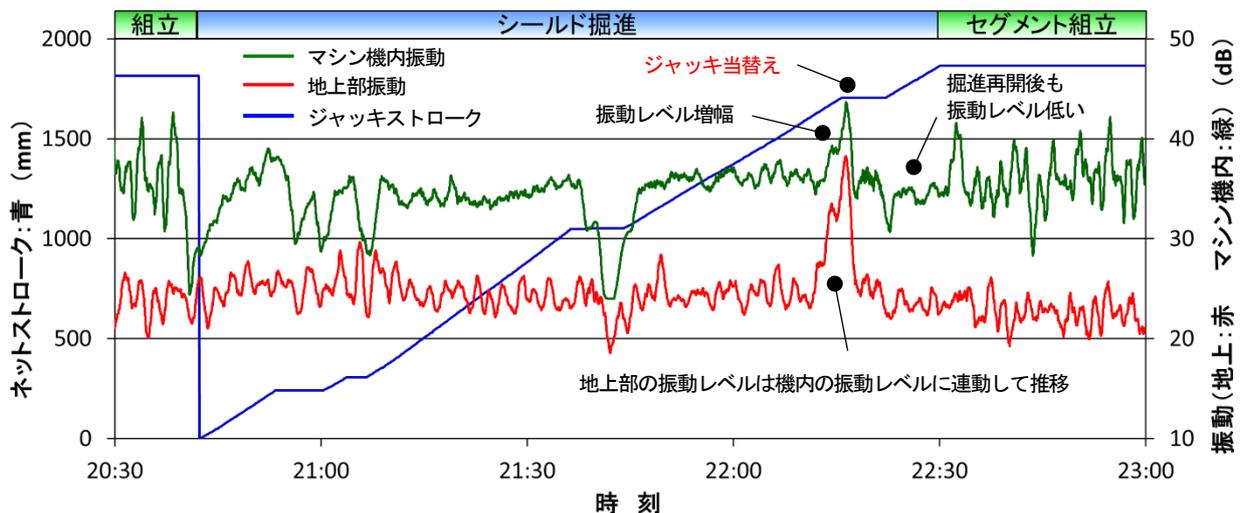


図-10 シールド掘進に伴う振動測定データとジャッキストロークの経時変化

を最小限に抑制出来た要因を以下にまとめる。

① 安定した切羽圧力管理

隣接工区の施工実績やトライアル計測結果から、掘進時におけるチャンバー内の塑性流動状態を確保するために必要な、掘進状況に応じた添加材（気泡）の溶液濃度・発泡倍率・注入率・注入箇所等、最適な注入方法を把握することができた。

これにより、0.01MPa単位での細やかな切羽圧力の調整が可能となった。

② 計測結果を迅速に施工管理に反映

御堂筋線の鉛直変位等の計測データ（挙動）を瞬時に判断して、切羽圧力を調整したことで御堂筋線の変位量を最小限に抑制することができた。

③ シールド通過時およびテールポイド沈下を抑制

クレーショックによる余掘り充填と、早期強度発現型の裏込め注入材を用いた適正な管理によって、沈下量が抑制できた。

④ 関係者の連携

今回施工者が掘進途中で変わるという特異なケースであったが、発進準備段階から大阪府・大鉄JV・大阪市交通局・大林組が一丸となって現場状況や関連データ等を共有し連携を図った。

⑤ 異常時体制の構築

御堂筋線との交差施工で、考えられるリスクを事前に洗い出してその対応を整理し、影響範囲に入る前には異常発生時を想定した情報伝達訓練を実施した。

また、影響区間の施工時には、構造物の補修業者や

軌道会社の待機、交通局では特別監視と軌道保守担当者等の待機等、万が一のトラブルに備えた。

これらの高度な掘進管理および体制により、受託区間において安全確実にトンネルを築造することができた。今回得られた知見を、今後のシールド工事や既設構造物との近接協議に活かして行きたいと考えている。

**謝辞：**本工事の施工にあたり大阪市交通局土木技術研究会シールド専門部会（部会長：小山 幸則 立命館大学客員教授）において審議していただき、数多くの貴重なご助言をいただいた。ここに付記して謝意を表します。

**参考文献**

- 1) 塩谷智弘：現場技術者のための土質工学大阪土質工学講習会－⑦地中構造物－，pp.63-77，地盤工学会関西支部，1997.11
- 2) 塩谷智弘，廣瀬秀男，山口博章：既成市街地下を縦横に縫って掘り進む 大阪市営地下鉄第8号線シールド工事，トンネルと地下，pp.27-38，2004.9
- 3) 太田 拓，伊藤博幸，村上考司，北岡隆司：2方向からの駅部急曲線進入・Uターンで4本のシールドを併設，トンネルと地下，pp.29-40，2007.9
- 4) 足立紀尚監修，土圧式シールド工法:その理論と応用，鹿島出版会，2009
- 5) 土橋 浩，松田 満，松原健太，山本 彰，近藤由也，日野義嗣，今田 徹，泥土圧シールドにおけるチャンバー内の土砂流動管理技術の開発，土木学会論文集 FVol.66.No.2，pp.289-300，2010.6

(2017.8.11 受付)

## AN ADJACENT CONSTRUCTION OF A LARGE-SCALE SHIELD TUNNEL BENEATH THE EXISTING SUBWAY TUNNELS IN OPERATION WITH DISTANCE OF ONLY 2.2m

Takuzo SHIMA, Ayako NISHIMORI, Daichi NISHIKI  
Shouta MIYAKE, Kensuke TUKAMOTO and Toshiki KAWATA

A large-scale EPB shield machine with a diameter of 12.54m was used for the road tunnel construction in the City planning road Yamatogawa Route as a part of the Osaka Urban Renewal Loop Route. The shield machine drove through with only 2.2m(0.16D) distance under the existing subway tunnels with 6.8m in outer diameter of the Midosuji Line operated by Osaka Municipal Transportation Bureau as a main artery in Osaka city. It was absolutely required that the shield tunnel construction should not affect the subway operation of the Midosuji Line.

This paper reports that we controlled displacement of the existing subway tunnels within only 2.1mm upward during the shield tunnel construction with careful operation to the ground displacement caused by a tail void, even in the sever ground condition of sand layers extremely easy to collapse under the subway tunnels.