

# 矩形シールド工法による交差点直下での急曲線・急勾配施工

山口 博章<sup>1</sup>・山下 正志<sup>2</sup>・芳崎 貴彦<sup>3</sup>・伊澤 開次郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>：大阪市交通局鉄道技術本部工務部（〒550-8552 大阪市西区九条南 1-12-62）

<sup>2</sup>：大阪市交通局鉄道技術本部工務部改良工事事務所（〒556-0021 大阪市浪速区幸町 2-2-44）

<sup>3</sup>正会員 株式会社フジタ大阪支店 土木部（〒530-0003 大阪市北区堂島 2-1-16）

<sup>4</sup>正会員 株式会社フジタ 土木技術統括部（〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2）

大阪市交通局発注の「高速電気軌道第 8 号線蒲生四丁目停留場第 7 号線地下連絡通路工事」において、改札内地下連絡通路を「高圧噴射攪拌工法による全断面地盤改良を併用した開放型矩形シールド工法」により施工した。この連絡通路は、交通量の多い国道 1 号の交差点直下に位置し開削が困難であること、既設構造物や大型埋設物等との位置関係、通路線形、土質など種々の条件ならびに安全性を総合的に勘案し当工法が採用された。本稿は、このシールド工事において特に重要であった「シールド区間の地盤改良」「矩形・急曲線・急勾配が複合したなかでの掘進」「ミニパッカーを併用した裏込め注入」を中心に、報告するものである。

キーワード：シールド，開放型，矩形，急曲線，急勾配，ミニパッカー工法，近接施工

## 1. はじめに

大阪市営地下鉄第 8 号線は他の 4 つの地下鉄路線と各々接続するが、平成 12 年 11 月「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を使った移動の円滑化の促進に関する法律（いわゆる「交通バリアフリー法」）」の施行を受けて、各駅において移動円滑化された経路の整備を含めた乗継利便性向上を図ることとしている。そこで、既設の長堀鶴見緑地線（以下「第 7 号線」と称す）との接続駅となる蒲生四丁目駅において、バリアフリー経路として改札内地下連絡通路（写真

-1 参照）を開放型矩形シールド工法により施工した。本稿ではその施工実績について報告する。

## 2. 工事概要

以下に工事概要を示す。

工事名称：高速電気軌道第 8 号線蒲生四丁目停留場第 7 号線地下連絡通路工事

発注者：大阪市交通局

工事場所：大阪市城東区今福西三丁目地先

工期：平成 15 年 8 月 4 日  
～平成 18 年 3 月 31 日

施工内容：シールド工：（路線延長 = 68m）  
シールド機外径：W3.71m × H3.38m  
セグメント内径：W3.10m × H2.80m

平面線形：曲線半径 = 10m，曲線長 = 15m

縦断線形：-2.0% LEVEL -5.256%

補助工法：全断面地盤改良（高圧噴射攪拌工法）

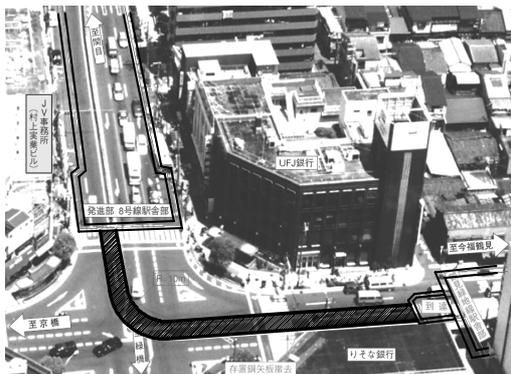


写真-1 施工箇所全景

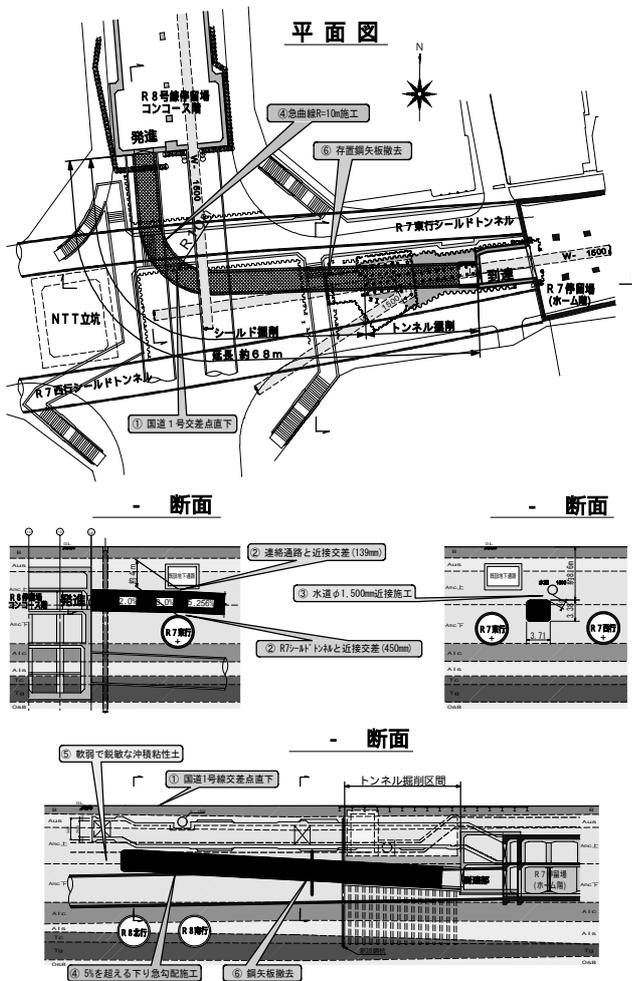


図-1 地下連絡通路全体計画図

地下連絡通路の計画を図-1に示す。本工事は、施工延長68mと短い区間ではあるが、次のような厳しい施工条件での工事であり、安全確実な施工法が求められた。

交通量の多い国道1号交差点直下での施工  
既設第7号線の出入口通路とシールドトンネルとの約4mの空間に築造

1,500mm水道管と約1mの離隔で近接

～に示す位置関係から、線形は半径10mの急曲線で5%超の下り急勾配

東大阪海成粘土に分類される軟弱超鋭敏な沖積粘性土層での施工

過去の多くの工事で施工された未知の仮設物が残置されている可能性が高い

### 3. 工法選定

前述の特徴を踏まえ、地下連絡通路の施工法とし

て「高圧噴射による地盤改良を併用した開放型矩形シールド」を選定した。選定経緯を以下に示す。

#### (1) シールド工法の選定

各種地下構造物が輻射しているため、開削工法では土留杭の根入れ不足が生じ被圧地下水対策ができないことから、シールド工法を選定した。

#### (2) 矩形シールドの選定

7号線の出入口通路とシールドトンネルとの隙間は約4mであり、円形では必要な通路断面を確保できないため矩形シールドを選定した(写真-2、表-1参照)。



写真-2 矩形シールド機

表-1 矩形シールド機仕様

本体寸法	外径：幅 3710mm × 高 3380mm 機長：5000mm (前胴長 3670mm + 後胴長 1330mm)
推進装置	推進方式：後胴押し方式 ジャッキ仕様：100t用 × 14本 = 1400t (750mm st)
中折装置	中折角度：左 15.5°，右 3.0°，上下 1.0°
積込装置	積込能力：10m <sup>3</sup> /h 突き出しジャッキ：400kN × 1,100mmst × 1本
その他	フェースジャッキ：20t用 × 6本 (700mm st) ムバブルフトジャッキ：30t用 × 5本 (700mm st) 姿勢制御装置：可動そり：95t × 2本、スレライダ

#### (3) 開放型シールドの選定

切羽での障害物撤去の必要性、矩形・急曲線・急勾配での確実な線形確保、経済性などを勘案して開放型シールドを選定した。

なお急曲線施工や近接施工のための防護工への適用も考慮し、信頼性の高い高圧噴射工法による地盤

改良を併用し、切羽の安定を図ることとした(表-2 参照)。

表-2 開放型と密閉型の比較表

シールド前面の構造	開放型	密閉型
シールド形式	半機械掘り式	土圧式・泥土圧
切羽の安定性		
急曲線の施工性		
近接施工		
障害物撤去		
掘削土の性状		
経済性		
特記事項	地盤改良により切羽の安定を確保する	障害物はシールドから出て撤去する

#### 4. 開放型矩形シールドの施工

表-3 実施工程表

	H15				H16								H17															
	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
準備工																												
開削工																												
地盤改良工																												
シールド仮設備																												
シールド掘進工																												
空推し・シールド解体																												
計測管理																												

実施工程を表-3 に示す。本工事は平成 15 年 8 月着工後、まずシールド到達側の開削工事に着手した。この開削工事においては、到達部の躯体構築工事およびトンネル掘削工事を行った。トンネル掘削工事の目的は、水道施設(1,500mm 水道管および弁室)を土留杭を利用して仮受けすることにより、シールドに支障する基礎杭を撤去するためである。

その後シールド区間の地盤改良を行った後、平成 17 年 4 月 4 日にシールド掘進を開始しシールド延長 68m のうち 50m の掘進を行い、平成 17 年 6 月 14 日にトンネル掘削部西端に到達した。その後、トンネル掘削区間の 18m については掘削せずにシールド推進とセグメント組立てを行った。

このシールド工事において特に重要であった内容について以下に述べる。

##### (1) シールド区間の地盤改良

開放型シールド工法を採用するに当たり、切羽の自立を目的として、軟弱粘性土層の全断面地盤改良

を行なった。なお、1,500mm 水道管を避けた削孔位置でも欠損を生じさせないように、3.5m の改良径を確保できる Superjet-Midi 工法を採用した。

切羽の自立は必要であるが、改良体の強度が高くなり過ぎると掘削効率が大幅に低下するため、掘削範囲の強度を抑制することとした。すなわち、地盤改良は 3 列を標準配置としていることから、図-2 に示すように中央改良体の掘削断面範囲(H=3.38m)のみ低強度仕様とした。

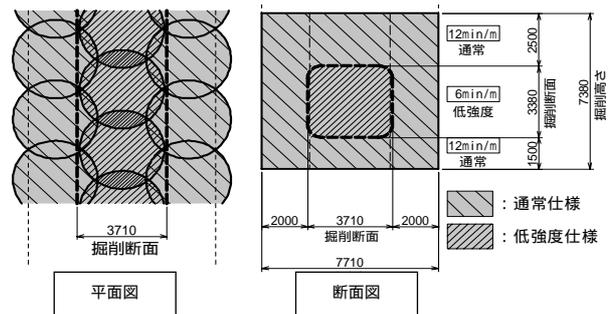


図-2 地盤改良範囲

低強度仕様とは、通常 12 分/m の造成引上げ速度を 6 分/m に速めることにより、改良体の強度を抑制するものである。過去の試験施工結果では、低強度仕様での改良体の一軸圧縮強度は通常仕様の 30 ~ 40% であった。

表-4 S J M改良強度

	引き上げ速度	一軸圧縮強度(MN / m <sup>2</sup> )	
		設計基準強度	試験結果
通常	12分/m	1.00	平均 1.40
低強度	6分/m	0.30(想定)	平均 0.47

地盤改良後、ボーリングにより改良体をサンプリングし一軸圧縮強度を確認したが、試験結果は表-4 に示す通りで通常仕様での一軸圧縮強度に対して低強度仕様の場合は 0.47/1.40 = 33.6% であった。



写真-3 切羽状況

シールド掘進時の施工状況は、写真-3 に示すように切羽は安定した状態であり、かつ掘削機のみで容易に切り崩しできたことから、「低強度仕様」の有効性を確認することができた。

**(2) 矩形・急曲線・急勾配が複合した中での掘進**

矩形シールドの場合、円形シールドとは異なりローリングにより出来形に影響が生じる。とくに今回は急曲線・急勾配が複合することから、セグメントの出来形確保やシールドの姿勢制御において特別な対策が必要となった。

**a) セグメントのローリングについて**

急曲線用セグメント幅は曲線外側が 301mm・曲線内側が 211mm のものを使用した。5.256%の勾配のため、1 リングの施工により内側は 11.1mm(211 × 0.05256) 下がるのに対し、外側は 15.8mm(301 × 0.05256) 下がり、4.7mm の差が生じる。このため、内外の差により徐々に右下がりとなり、対策を講じなければ曲線出口では 164mm(2.68°) 右下がりとなる(図-3 参照)。

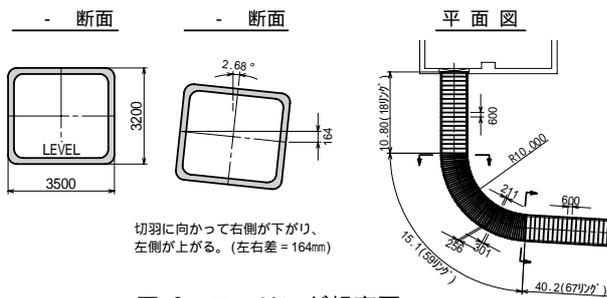


図-3 ローリング想定図

そこでローリングを累積させないように毎リング 4.7mm 意識的に逆ローリングさせ、常にセグメントを左右水平に修正した。

なおセグメントのローリング制御は、図に示すようにシールド機を反力にしてジャッキアップする方法とした(図-4、写真-4 参照)。

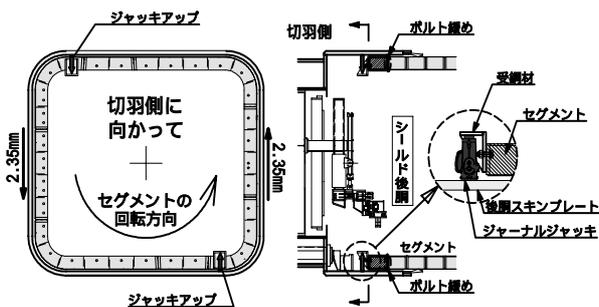


図-4 セグメントローリング要領

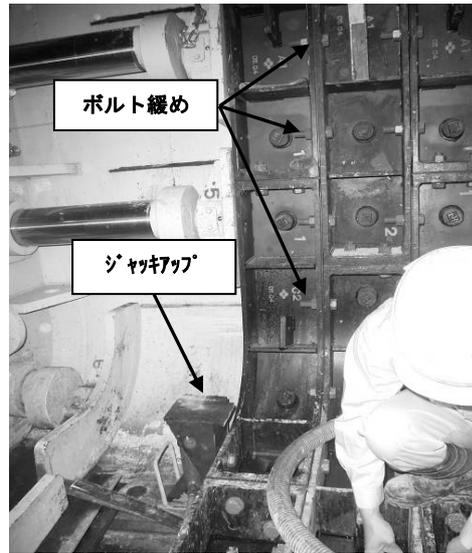


写真-4 ジャッキアップ状況

**b) シールドのローリング**

[急曲線・急勾配内での前胴の姿勢]  
急曲線内で後胴を左右水平に制御する場合、5.256%の急勾配で水平中折れ角を 14.75° とすると、前胴は 0.77° 曲線外側にローリングすることとなる。よって、前胴は常に 0.77° 時計回りにローリングした姿勢を保持したまま、推進する必要がある(図-5 参照)。

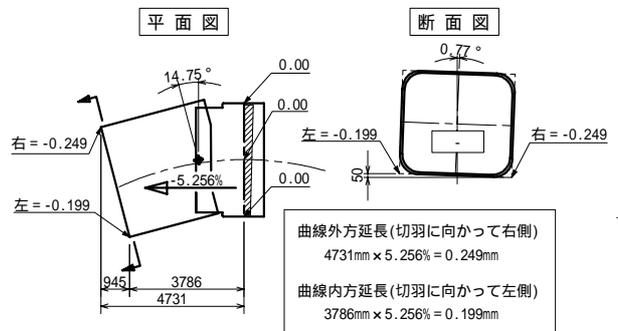


図-5 前胴のローリング姿勢

[ローリング対策]  
前述の姿勢を保持するには、セグメントと同様にシールドも意識的な逆ローリングが必要である。1 リング推進あたりの必要ローリングは、反時計回りに左右差 4.7mm である。

そこでシールドが反時計回りに容易にローリングするように以下の対策を講じた(図-6 参照)。

曲線外側(切羽に向かって右)の可動そりを 60~80mm 伸ばして施工した。  
シールド下部の内側を 50mm 余掘りした。  
曲線外側の地山を斜めに残した。

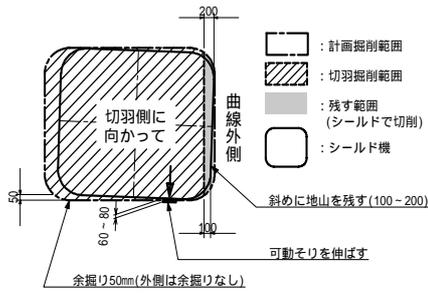


図-6 推進時のローリング方法

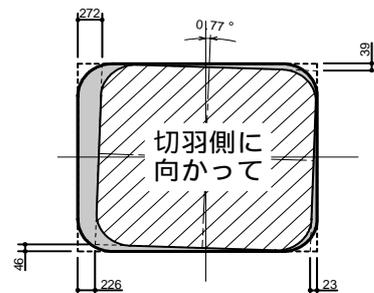


図-8 合計必要余掘り量

### C) 余掘り管理

急曲線施工に伴い余掘りを行うが、急勾配が複合した線形であることから、上下左右で余掘りが必要となる。余掘りの計画は以下の3つの要素を合計し、算出した(図-7参照)。

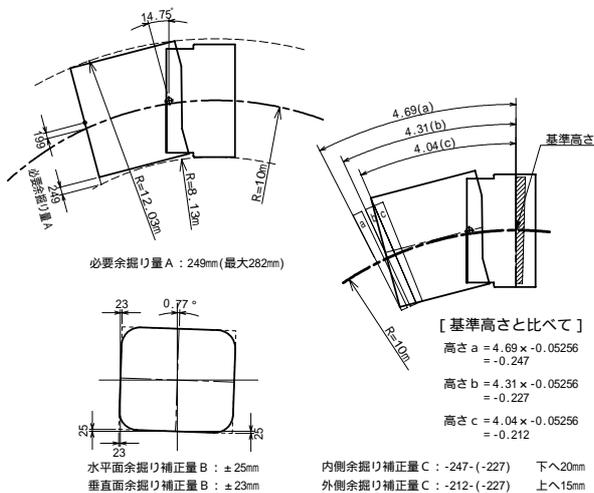


図-7 余掘り量・補正量の算出参考図

急曲線を水平のみの二次元でシミュレーションし、必要余掘り A (mm) を算出

前胴のローリングによる余掘り補正量 B (mm) を算出

シールド中心先端との進む距離の差を考慮した余掘り補正量 C (mm) を算出

R=10m の単カーブで-5.256%の一定勾配の場合必要余掘り量は図-8の通りとなる。

### (3) 改良型ミニパッカーの開発

急曲線施工の場合、ジャッキ反力は固化後の裏込めを介して地山に伝達される。しかし今回は、最大約300mmの余掘り量となることから、テール直後で裏込め注入を行うと注入材がシールド側部の余掘り部に回り込み、シールドに固着し掘進に支障を来す危険性がある。そこで、以下に示す方法で裏込め注入を行った。施工順序を図-9、図-10に示す。

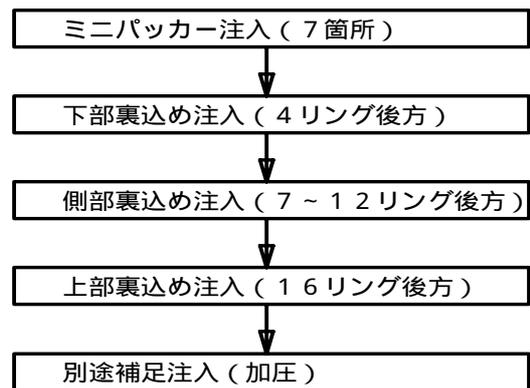


図-9 裏込め注入フロー

- 急曲線施工において早期にジャッキ反力を確保するために、ミニパッカー工法(限定裏込め注入工法)を採用した。
- セグメント上部の地山(改良体)の緩みを防止するため、直線部においてもミニパッカーによりセグメント頂部に支点を設けた。

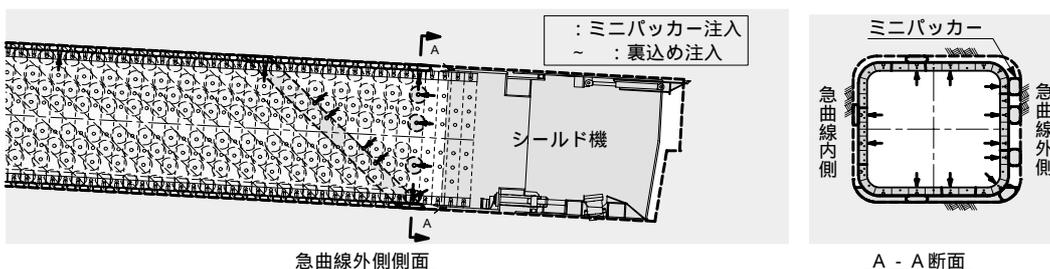


図-10 裏込め注入順序図

- ・シールド側に裏込め注入が回り込まないように、セグメント上半部の裏込め注入時期を遅らせた。

[ミニパッカー工法]

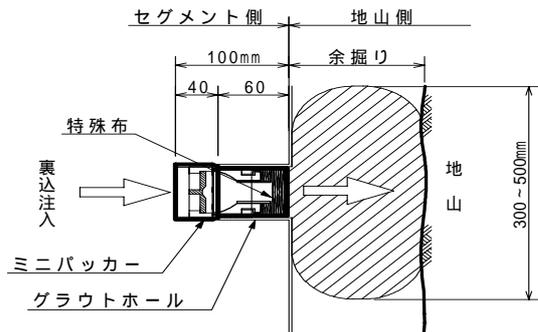


図-11 標準型ミニパッカー

ミニパッカー工法(限定裏込め注入)を採用することにより、直ちに「急曲線施工時のジャッキ反力確保」「地山の緩み防止」が可能となる。本工法は過去にも施工実績があるが、図-11 に示す標準型は余掘り 15cm 程度までを想定しており、30cm の余掘りに対応できない。そこで 1), 2) に示す改良を加えた(写真-5, 図-12 参照)。

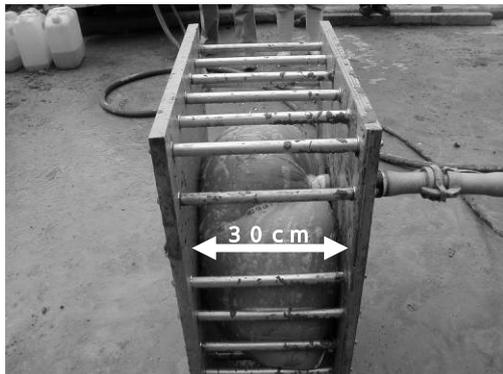


写真-5 ミニパッカー実験状況

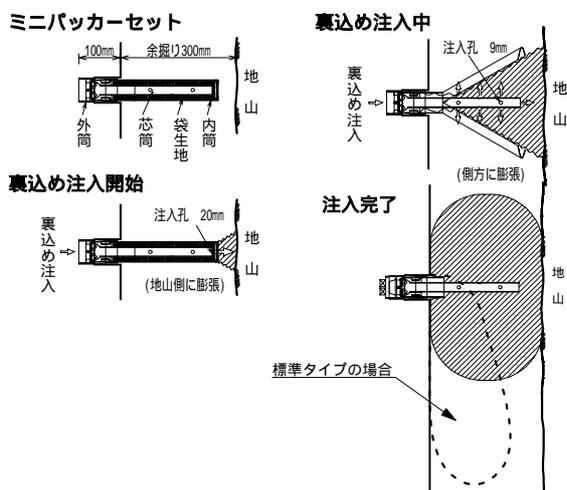


図-12 改良型ミニパッカー

- 1) 袋生地を伸縮しにくいパラシュート生地に変更した。

- 2) 芯筒を組み込み、裏込め材の重量を支える構造にした。

「推進時のセグメント変位」「周辺地盤・構造物の変位」も見られず、ミニパッカーの効果は十分なものであった。

## 5. おわりに

近年、開放型シールドでの施工はごくまれであるが、現地の施工条件等を考慮し開放型の矩形半機械掘り式シールドを採用した。今回の工事は、矩形・急曲線・急勾配・開放型・近接施工などの施工条件が重なり難易度の高いものであったが、「ローリングさせながらの姿勢制御」や「大きな余掘り部に対応できる改良型ミニパッカーの開発」などの対策を講じることにより、近接する重要構造物に影響を及ぼすことなく、また十分な施工精度を確保して無事貫通することができた。

「バリアフリーの整備」の必要性は今後さらに高まると予想される。今回のような連絡通路の場合、交差点付近であるケースが多いことから「複雑な線形」「近接施工」など、同様の施工条件が考えられる。

今回「開放型矩形シールド」で地下連絡通路を施工した実績により、今後にも展開できる有効な工法の一つであると考えます。

最後に、本工事にご指導・ご尽力いただきました関係各位の皆様にご心より感謝申し上げます。

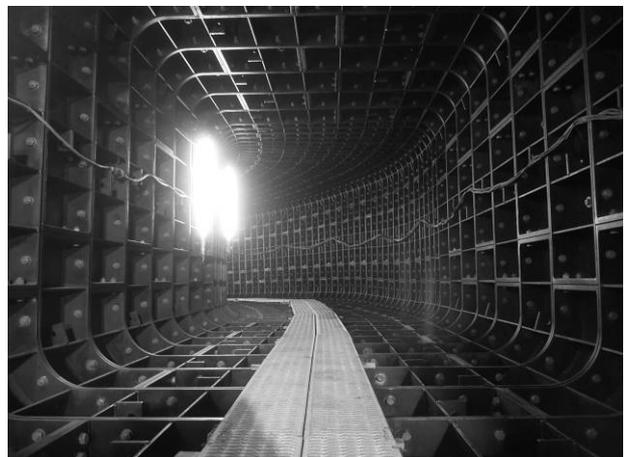


写真-6 坑内全景