

# 15. 有楽町線小竹向原・千川間連絡線設置工事における シールドトンネル施工に関する報告

## 複合円形断面の開発経緯と施工実績

東京地下鉄株式会社  
改良建設部 改良建設企画課長 坂田 聡  
株式会社 熊谷組首都圏支店 ○ 山上 享

### 1. はじめに

東京地下鉄株式会社は、有楽町線・副都心線の小竹向原～千川間において、平成22年から連絡線設置工事を行っている。この連絡線設置工事は、安定輸送確保を目的とした平面交差を解消するためのものである。平成25年3月にA線（新木場方面線）、平成28年2月にB線（和光市方面線）の副都心線と東急東横線・横浜高速みなとみらい線の相互直通運転を開始した。

図-1に工事平面図を示す。

工事区間425mのうち、A線175m、B線145mのシールドトンネル工事を複合円形断面の単線シールドで施工した。

本稿は、単線シールドトンネルにおける複合円形断面の開発経緯および、施工実績について報告するものである。

### 2. 計画概要

図-2は平面交差部の現状を示したものである。この平面交差部において、先行列車が通過する際に、後続列車はその手前で通過待ちのため、一旦停車をしなければならない状態が発生し、遅延が生じる。こうした平面交差部の問題は、有楽町線の開業当初から顕在化していたものではない。有楽町線は、沿線や都市の発展に伴う利用者の需要増加に対応するため、和光市方面から新木場方面への運行本数を増発してきた。さらに、副都心線の開業により複雑化した運行形態となったため、遅延が発生すると運行の混乱が長時間・広範囲に波及してしまうこととなった。

図-3は連絡線設置後の概要を示したものである。

連絡線は和光市方面と新木場方面を結ぶ列車専用の経路となり、平面交差部が解消される。

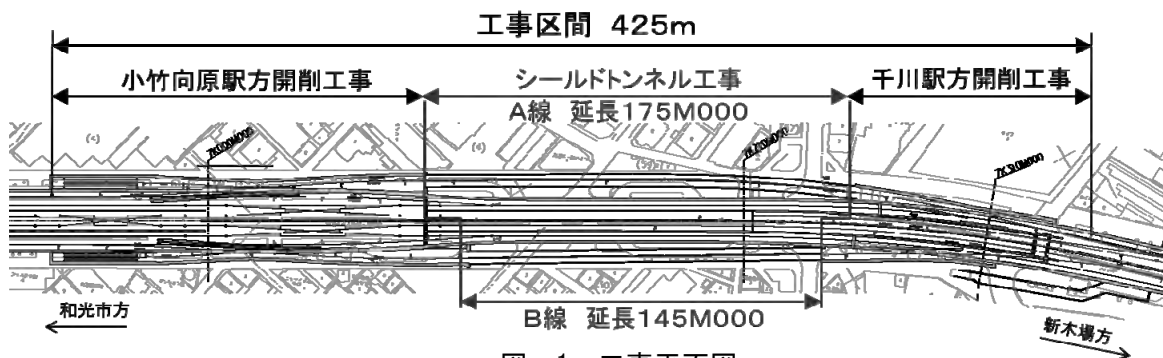


図-1 工事平面図

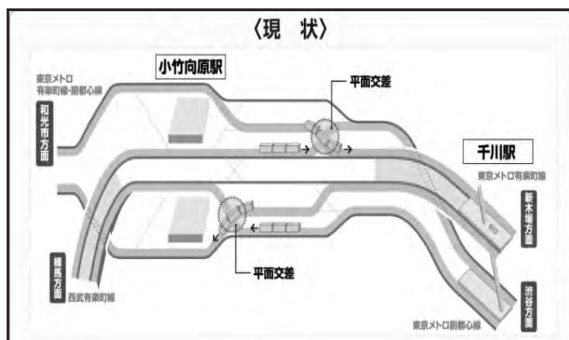


図-2

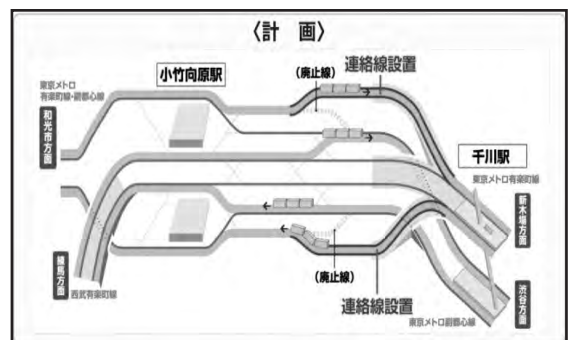


図-3

### 3. 単線シールドトンネルにおける複合円形断面の採用

当該地区は、緑の多い閑静な住宅街となっており、また都道 441 号（要町通り）にはアンダーパス等がある道路である。

そのため、線形を道路内に納める、有楽町線・副都心線への影響を最小限にする、地上への影響を極力減らす工法を選定することに注視し計画範囲が決定された。

その結果、計画範囲を約 425m として、両端を開削部、中間をシールド部とした。

さらに、シールド部においては、民地部との離隔を十分に確保する、既設構造物との離隔を十分に確保する、地下鉄運行に必要な空間を確保するため、副都心線で施工実績のある、複合円形断面シールドが採用された。

これにより掘削断面が円形に比べ約 10% 減ることになり、環境負荷低減にも貢献した。

## 4. 工事概要

### 4.1 工事場所

板橋区向原 1 丁目 4 番地先から豊島区要町 3 丁目 45 番地先の都道 441 号（通称：要町通り）上である。

シールドトンネル工区は開削工事である向原工区を発進基地として、同じく開削工事である千川工区に向けて、延長 A 線 175m、B 線 145m のトンネルを縦長形状の複合円形断面を採用した泥土圧シールド(6.8×5.7m)にて築造するものである。

### 4.2 シールド線形

A 線が平面線形で曲率半径 R=500m を 36% 有し、縦断線形は+2‰の勾配を 35% および+24‰の勾配を 65% 有している。

B 線については、平面線形は直線で、縦断線形は+2‰の勾配を 23% および+24‰の勾配を 77% 有している。

### 4.3 地質概要

地質概要を図-4 に示す。

当該付近は、豊島台（洪積台地）に区分され、その第四紀層は、江戸川層を基盤とし、東京礫層～東京層～段丘礫層～ローム質粘土層（凝灰質粘土層）～ローム層の順に重なるものである。

発進部は全断面が段丘礫層（N 値 40 以上）、到達部は段丘礫層と東京層砂層（N 値 50 以上）となっている。

土被りは、発進部約 12m、到達部約 10m であり、地下水位は GL-3.5m 付近に存在する。

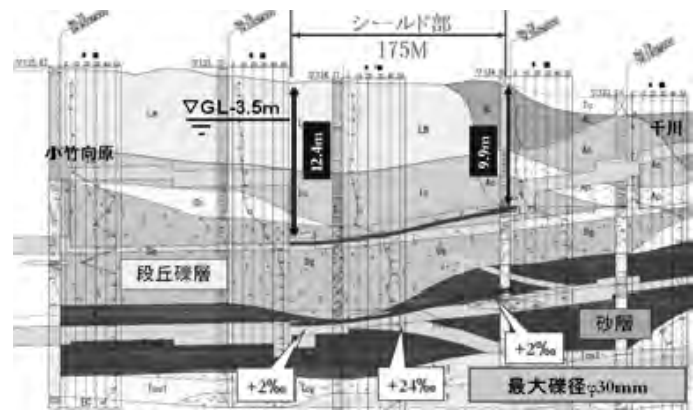


図-4 地質概要

### 4.4 セグメント

複合円形断面の特徴は、3 つの曲率半径（R=2,000mm, R=5,500mm, R=7,800mm）の曲線を組み合わせることで、円形の力学的特性を最大限に生かした形状、鉄筋コンクリート製セグメントで構築可能な形状、トンネル幅とセグメント厚さは円形シールドと同一、地下鉄の運行に必要なトンネル内空間を有することである。図-5 にセグメント構造図、表-1 にセグメント諸元、写真-1 にセグメント仮組立状況、写真-2 に現場搬入状況を示す。

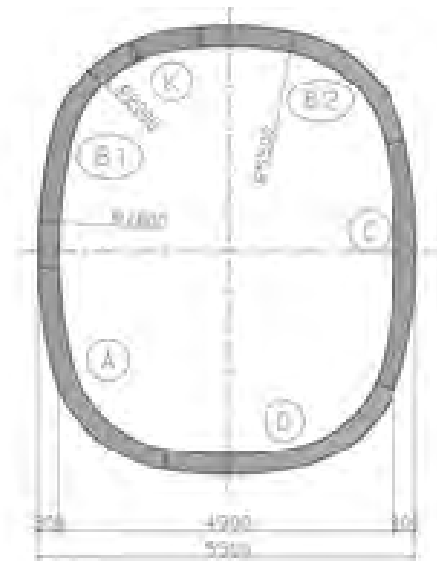


図-5 セグメント構造図

表-1 セグメント諸元

名	称	平板（300）型セグメント
材	質	鉄筋コンクリート製
寸法（外径）		6,600mm×5,500mm
分	割	6 分 割
K	セグメント	軸方向挿入式
	セグメント幅/厚	1500mm/300mm
	継手(セグメント間/リング間)	アーチ型インサート/DUET（A線）、SB継手（B線）
	設計基準強度	48N/mm <sup>2</sup>



写真-1 セグメント仮組立状況



写真-2 現場搬入状況

#### 4.5 シールドマシン

当工区の掘削断面は複合円形断面になっているため、円形カッターで切削を行うと掘り残しが発生する。そのため、3本の伸縮カッターを装備して、未掘削部分が発生しないように伸縮カッターのストロークを管理した。また、円形断面でないため、マシンローリングが問題となる。ローリング対策として、ローリング修正ジャッキを8本装備した。

表-2にシールドの仕様、写真-3にシールド全景、写真-4に現地組立状況を示す。図-6に伸縮カッター、図-7にローリング修正ジャッキを示す。

表-2 シールドの仕様

項目	詳細	仕様	仕様
本体シールド機	外径	6,800mm × 5,700mm	
	機長	8,910mm	
	テールシールド	ワイヤラシ型 × 2段	
推進装置	シールドジャッキ	2,000kN × 2,550st	× 21本
	総推力	42,000kN	

項目	詳細	仕様	仕様
カッター装置	スポーク本数	3	本
	支持方式	中間支持方式	
	装備トルク	5,321kN・m	
	カッター回転数	0.77rpm	
	余掘り装置	コピ-カッター3本	
裏込注入	注入方式	同時注入方式	



写真-3 シールド全景



写真-4 現地組立状況

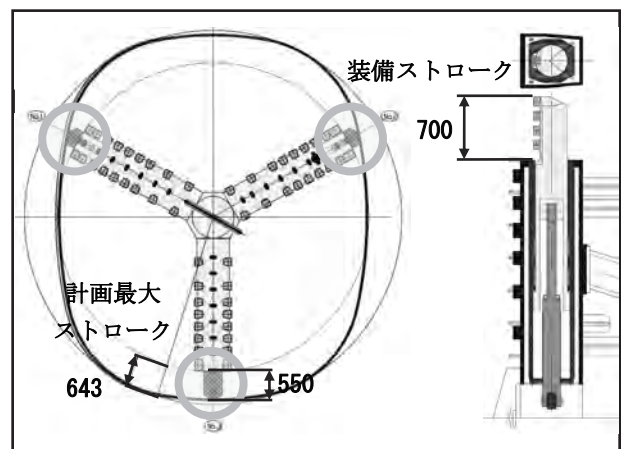


図-6 伸縮カッター

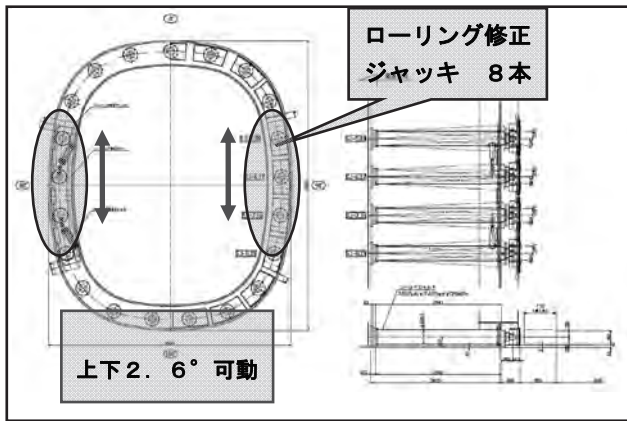


図-7 ローリング修正ジャッキ

## 5. 施工結果

今回の有楽町線連絡線設置工事におけるA線とB線の2本のシールド工事の実績から、縦長形状の複合円形断面シールドにおける施工上の留意点をまとめる。

### 5.1 セグメントスプリングライン付近に発生する曲げモーメントの抑制

A線の施工時に、RCセグメントのC型セグメントSL付近に規則的に水平方向の微細なクラックが発生した。ひび割れ調査結果より、セグメントに発生したひび割れは、設計発生ひび割れ幅0.23mm、許容ひび割れ幅0.28mmに対して、最大0.2mmであり微細であった。

C型セグメントの変形量(中央部のたわみ)とクラック分布から試算した結果、セグメントの健全性に問題はなかったが、セグメント計測の測定値から軸力と曲げモーメントを計算した結果、曲げモーメントはC型セグメントのSL付近で大きくなり、断面力はテール通過直後の裏込注入圧の影響を大きく受けていた。1)

計画段階では、段丘礫層での裏込注入の実績から裏込の計画注入率を130%としたが、A線の施工において、曲げモーメント・セグメントの変形が大きくなり、ひび割れ発生要因のひとつとなった。このためB線では、裏込注入の圧高傾向を抑制するため裏込材圧送ポンプを脈動のあるスクイーズポンプから定量注入が可能なモノポンプに変更した。

また、裏込注入開始直後にトライアル施工区間を設け、裏込注入率が120%であっても路面に大きな影響がないことを確認した。

この結果、B線施工ではA線同様C型セグメントSL付近にクラックが発生したものの、施工時のセグメント外面圧力を抑えたことで、ひび割れ幅はA線の0.2mmから0.1mmとなり、発生箇所も低減され、ひび割れ抑制に効果的であった。2)

このことから、通常円形断面と違い長辺短辺

を有する断面では、適正注入率の設定、圧高傾向の抑制といった裏込注入管理が重要である。

### 5.2 ローリング防止対策

縦長形状の複合円形断面においては、シールドマシンがローリングすると、テールクリアランスが確保出来ず、セグメントを正しく組立てられない恐れがある。

このため、本工事ではシールドマシンがローリングした際にローリングを修正する装置として、シールドマシンの左右に配置した4本のシールドジャッキを1セットとし、シールドジャッキを上下に2.6°揺動できる構造を採用した。シールドジャッキを揺動することで、シールドジャッキがセグメントに対して傾いて当たり、推進力の分力がローリング修正力となる。

線形管理におけるローリング修正ではA線、B線ともにシールドジャッキを揺動させることなく、カッタ回転方向の調整による姿勢制御を行い、トンネル自体のローリングを発生させることなく施工することができた。これは、今回の掘削対象地盤が、洪積層の地盤でN値が50以上の段丘礫層と砂層であったためである。

円形断面と違い、縦長形状断面で掘削対象地盤が軟弱粘性土などの地山から反力をとれない場合は、ローリング修正に対する検討を充分にする必要がある。

## 6. おわりに

一般的な円形断面とは異なり、縦長複合円形断面においては、軸力が卓越せずスプリングライン部において曲げモーメントの影響が大きく現れ、応力が集中する。そのため、裏込め注入等の施工時荷重については、セグメントの設計段階から考慮し、施工時の掘進管理においても影響を低減する対策をとることが重要である。

今後、限られた地下空間を有効に活用し、環境負荷低減にも寄与することができる複合円形断面シールドの施工の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 伊藤 聡・嶋田 司・長谷 篤・斉藤 進, 山上 享: 有楽町線小竹向原～千川間改良工事におけるシールドトンネル施工に関する報告, 第22回トンネル工学研究発表会論文・報告集, Vol. 22, 2012
- 2) 坂田 聡・中村 守男・大槻 あや・山上 享・根岸 秀男: 小竹向原・千川間連絡線設置工事におけるシールドトンネルの施工に関する報告, トンネル工学報告集, 第25巻, II-1, 2015. 11.