

六面鋼殻合成セグメントによる大断面矩形推進トンネルの設計

東京地下鉄(株) 正会員 ○一寸木 朋也
 東京地下鉄(株) 内田 広
 東京地下鉄(株) 小松 賢矢
 鹿島建設(株) 正会員 上木 泰裕

1. はじめに

地下鉄日比谷駅周辺では、平成26年12月6日に都市再生特別地区として都市計画決定が行われ、三井不動産(株)が中心となって基盤整備が進められている。東京メトロでは、この基盤整備の一環として、大規模複合ビルと地下鉄日比谷駅とを結ぶ地下歩道連絡通路(以下「地下通路」という)を新設するべく、改良工事が進捗中である(図-1)。

この地下通路の新設においては、東京メトロでは初実績となる六面鋼殻セグメントを用いた推進工法にて施工する。このセグメントは我が国において既にいくつかの工事で適用実績はあるものの、本工事の様に頂版及び底版にライズを付けない矩形での適用は限られており、その中でも有効幅員6mを確保した大断面かつ中柱のない完全矩形トンネルとしては初めての施工実績となる。そのため、この設計概要を1つのモデルケースとして記録しておくことが、今後の同種工事を設計する上で有益であると考え、ここに報文とするものである。



図-1 施工位置図

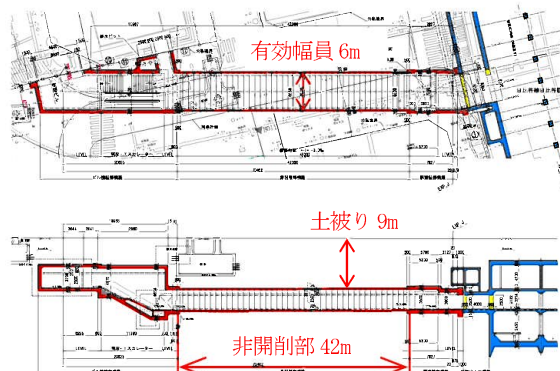


図-2 平面線形図と縦断線形図

2. 推進工法の概要

地下通路は当初開削工法にて施工することで計画していたが、道路管理者から①極力路上交通に支障のない工法で行うこと及び②土被りを最大限確保することが義務付けられ、再開発事業者からも③地下通路の平成29年7月供用開始、との条件が課せられた。そのため、計画延長が直線(約70m)であることから、①③を満たすため、急きょ推進工法に切り替えて設計し、六面鋼殻合成セグメントを完全な矩形断面とすることで②を満足させることとした(図-2)。

ここで、推進機(図-3)はルーフマシン3機と本体マシン3機によって構成され、各ユニットを組み合わせることで一体化しており、それぞれを左右に揺動させながら横7,250mm、縦4,275mmの大断面を一度に構築できる泥土圧式推進機とした。

各ユニットは単独で制御でき、推進機全体の姿勢制御を容易にしたほか、ユニット間は全てボルト接続のため組立時の溶接や解体時のガス切断作業が不要であり、推進機の組立及び解体が容易である。

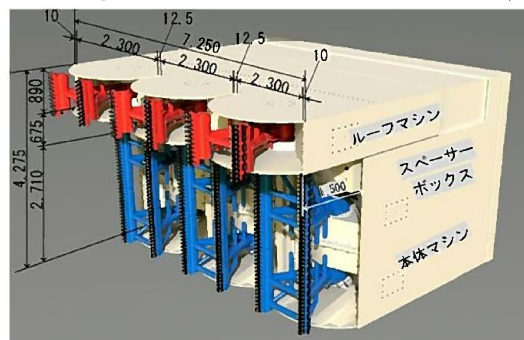


図-3 推進機概要

3. 六面鋼殻合成セグメントの採用経緯と概要

地下通路は大断面であるためRCセグメントの適用は桁高・変位面から困難であった。鋼製セグメントやコンクリート中詰め鋼製セグメントも検討したが、同耐力・同剛性に対する桁高の低減と最小変位について設計を繰り返し、六面鋼殻合成セグメント(図-4)とした。

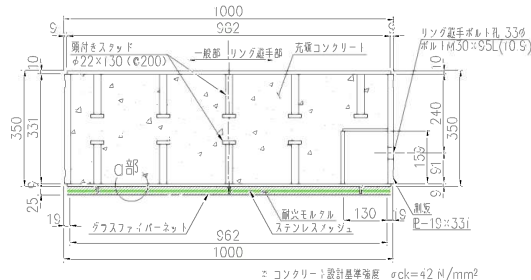


図-4 六面鋼殻合成セグメント断面図

キーワード 地下鉄、駅改良、六面鋼殻合成セグメント、推進工法、矩形、大断面

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄(株) 鉄道本部改良建設部 TEL. 03-3837-7132

六面鋼殻合成セグメントとは、セグメントの外面となる六面全てを鋼板で覆い、その中にコンクリートを充填して主鋼材と一体構造とした鋼コンクリート複合構造製品である。構造主部材は内外面の鋼板と構築横断方向の主桁であり、コンクリートとの一体化を図るため内外面の鋼板にはスタッドボルトを溶接している。また、セグメントを高剛性とすることで桁高を低減することができ、鋼殻内空部にRを付けることで中詰コンクリートを施工し易くした。

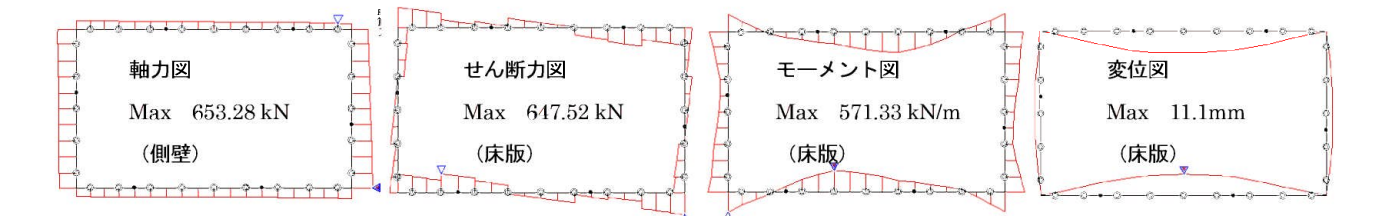
4. 設計計算

設計条件として、地盤条件は表－1、セグメントの仕様等は表－2 の様に設定した。荷重計算においては、土被りがトンネル外径（矩形であるため縦横平均値）に比べて1～2D 未満であり土のアーチング効果は期待できないため、全土被り圧を鉛直土圧とした。また、掘削対象土層がN=1 の軟弱粘性土層であるため土水一体とした。注意した側方土圧係数λの値は、矩形断面に対する覆工に発生する断面力の軸力を極力抑えた安全側設計を考慮してλ=0.75 を採用し、鉛直荷重に対する水平荷重の比率を少しでも小さくなるようにした。同様に、地盤反力係数k も安全側を考え0 とした。

構造解析モデルは、セグメント主断面を直線はりとし、セグメント継手を曲げモーメントに対する回転ばね、リング継手をせん断ばねにモデル化したはり－ばねモデルを採用した。円形断面と同様、継手構造のモデル化し、セグメントの千鳥組によるトンネル軸方向の継手位置の違いを表現した。回転ばね定数およびせん断ばね定数は、東京メトロの経験式に基づいたプログラムより算出したが、特にせん断ばね定数は、小さめに見積もると主桁に発生する曲げモーメントが過小評価されるため、副都心線における経験値に基づき、今回は1.0×10⁶kN/m を用いた。また、回転ばね定数については、例えばセグメント継手を高剛性の継手（通常の継手の役10 倍の合成）とした場合の合理化効果も検討した。

その結果、スキンプレートは地山側・内空側とも薄肉化（-1mm）が可能であるが、継手板の厚肉化（+15mm）、セグメント継手ボルト径のアップ（+9mm）が必要となり、期待した効果が得られなかったため、高剛性の継手の採用は見送り、通常の短ボルト形式を採用した。

解析はセグメントを線形骨組構造（許容応力度法）とし、常時の地盤ばねは全周配置とし圧縮力のみ有効、地震時の地盤ばねは全周に配置するが圧縮力及び引張力に有効とした。断面力は（図－5）に示す。



図－5 断面力図

応力度の算出について、セグメント本体部は軸力と曲げモーメントは地山側鋼板・内面側鋼板を鉄筋とみなすRC 断面、せん断力は主桁のみで受け持つとして計算した。

セグメント継手は、圧縮力は鋼板とコンクリート、引張力はボルトで受け持つRC 断面とした。また、せん断力もボルトで受け持つものとした。継手板もボルトの引張力を受ける両端固定のはりとして設計した。

ジャッキ推力に対する検討としては、リング継手面に対して垂直に荷重が作用しているためセグメントの抵抗性能は大きいと考えられるが、ジャッキが後押しの推進工法であるため偏心量は標準10mm を採用した。

以上をもとにセグメント応力度を算出した。その応力度照査結果一覧を表－3 に示す。

5. まとめ

今回の矩形断面において、六面鋼殻合成セグメントが、鋼製セグメントやコンクリート中詰め鋼製セグメントに比べ、設計上、合理的な構造であることが確認できた。この設計結果はほぼ問題ないと推察されるが、メトロとしては初の設計であるため、今後、実物大供試体実験を行い、実験結果と設計結果を照査し、次の報文としていく予定である。

表－1 地盤条件

土の種類	地下水位	土水の扱い	N値	γ (kN/m ³)	Φ (°)	λ	k (MN/m ²)
沖積粘性土	G.L-1.0	土水一体	1	16	—	0.75	0

表－2 セグメントの諸元

セグメント外径(mm)	横7,250×縦4,275
土被り(m)	9.1m
土被り比 H/D	1.5
セグメント種類	六面鋼殻合成セグメント
セグメント幅B(mm)	1,000
セグメント厚さ(mm)	350
セグメント分割数	6
セグメント継手形式	ボルト
リング継手形式	ボルト（片側インサート）

表－3 セグメント応力度照査結果一覧

			発生応力度 [N/mm ²]	許容応力度 [N/mm ²]	判定	応力度 比率	
セグメント 本体部	正曲げ	コンクリート	0c	9.5	16.0	OK	59.4%
		地山側鋼板	0s ⁺	-130.5	215.0	OK	60.8%
		内空側鋼板	0s ⁻	184.6	215.0	OK	85.9%
	負曲げ	コンクリート	0c	9.5	16.0	OK	60.0%
		地山側鋼板	0s ⁻	178.7	215.0	OK	83.1%
		内空側鋼板	0s ⁺	-121.8	215.0	OK	56.7%
せん断力		ts	73.8	120.0	OK	61.5%	
ピース 継手部	正曲げ	コンクリート	0c	7.5	16.0	OK	46.9%
		地山側鋼板	0s ⁻	-101.1	215.0	OK	47.0%
		ボルトM33	0bt	289.4	380.0	OK	76.2%
	負曲げ	コンクリート	0c	7.0	16.0	OK	43.8%
		内空側鋼板	0s ⁻	-101.1	215.0	OK	45.7%
		ボルトM33	0s ⁺	289.4	380.0	OK	53.1%
せん断力		ボルトM33	tsb	91.5	270.0	OK	33.9%
ピース 継手板	正曲げ	曲げ応力度	0sb	141.2	195.0	OK	72.4%
		せん断応力度	tsb	21.6	110.0	OK	19.6%
	負曲げ	曲げ応力度	0sb	89.0	195.0	OK	45.7%
		せん断応力度	tsb	13.5	110.0	OK	12.4%
リング 継手部	せん断力	ボルトM30	tsb	218.1	270.0	OK	80.8%
ジャッキ 推力	P=1500KN θ=10mm B=540mm	コンクリート	0c	4.5	24.0	OK	19.2%
		鋼板	0s	-69.2	322.5	OK	21.5%