

環境負荷低減を考慮した複合円形シールドトンネルの設計

東京地下鉄株式会社

フェロー 矢萩 秀一

フェロー 藤木 育雄

正 会 員 入江 健二

正 会 員○大塚 努

1. はじめに

現在建設を進めている地下鉄 13 号線池袋～渋谷間のうち、3 区間ある複線シールドトンネルで断面最適化の検討を行ない、明治神宮前～渋谷間（駅名は仮称）で非円形断面（複合円形断面）を採用することにした。

断面は、幅を従来の円形シールドと同じとし、高さ方向を縮小したものである。断面最適化により、断面積が従来の円形シールドに比べ約 10%程度縮小でき、シールド掘削や立坑掘削による発生土量の抑制によって環境負荷低減にも寄与するものである。

本稿は、複合円形シールドトンネル断面の設計について報告するものである。

2. 断面最適化の検討

(1)検討背景

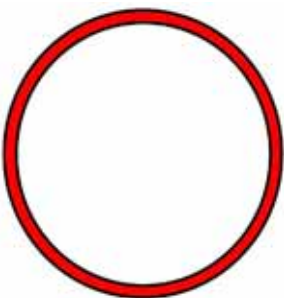
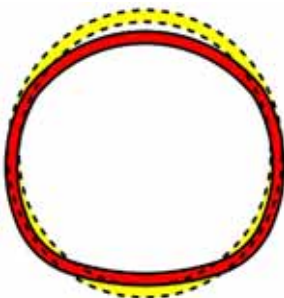
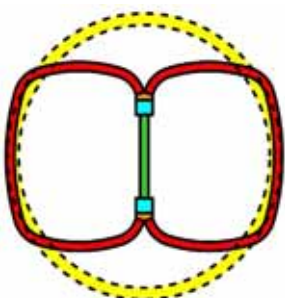
検討対象とした複線シールドトンネル区間は、①上総層を主体とした硬質地盤中にトンネルが建設される、②新設するトンネルのインバート部で既設構造物（トンネル）と近接する（離隔約 1 m）という条件の下、断面積の縮小による環境負荷低減を図ることを主な目的として、複線シールドトンネルの最適断面化の検討を行なうことにした。

また、今回の検討は、①円形の力学特性を活かした断面形状、②RC 平板型セグメントで構築可能な断面形状、③トンネル幅・セグメント厚は円形シールドと同一という点に着目して断面形状を検討した。

(2)第 1 次案の検討結果

設定した条件を考慮して検討した結果、表－1 に示すような断面形状を考えた。

表－1 断面形状検討結果

	円形シールド	案① 栗の実型	案② 矩形型
断面形状			
備 考	・断面寸法 φ9800 ・主鉄筋径 内面側：8D19-4D16 外面側：8D19-4D16	・断面寸法 W9800×H8600 ・主鉄筋径 内面側：8D29-4D25 外面側：12D22	・断面寸法 W9800×H6400 ・主鉄筋径 内面側：12D22 外面側：12D22
断面積比	1. 0 0	0. 9 1	0. 7 4

案①は、トンネル上半部を円形形状のままとし、下半部だけを縮小したものである。案②は、円弧を残しながら矩形に近い形状とし、隅角部の発生応力を低減するため中柱を取り付けた構造としたものである。

各々の断面形状について問題点を検証した結果、案①では、インバート部のセグメントで発生応力が大きい

キーワード：シールド、非円形断面、最適断面化、環境負荷低減

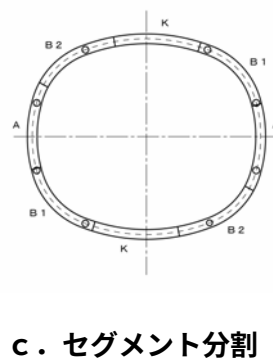
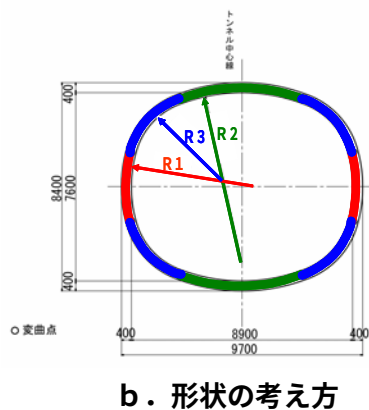
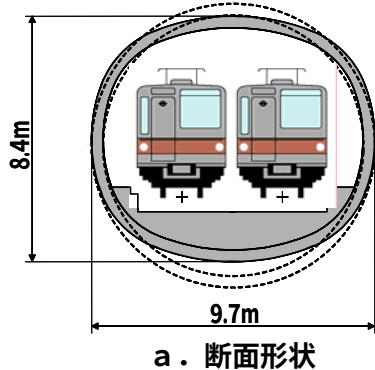
連絡先：〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄株式会社建設部 TEL 03-3837-7132

くなり、内面側主鉄筋に D29 を配筋しなければならないこと、曲線部 ($R \leq 250\text{m}$) で側道ステップ幅が確保できないことが判明した。また、案②では、中柱があるために曲線部 ($R \leq 400\text{m}$) での施工余裕（蛇行+変形 $\geq 150\text{mm}$ ）及び退避空間 ($W \geq 800\text{mm}$) が確保できないことが判明した。

図－1 は、矩形型で検討した 1 例の断面であるが、右側の建築限界と中柱相当幅 400mm に、さらに 200mm 以上の離隔が必要となるが、必要な幅は確保できない (176mm)。これは、トンネル幅を大きくすれば解決できる問題であるが、今回の検討ではトンネル幅を円形シールドと同幅とする条件があるため、新たに断面形状を検討することにした。

(3)第 2 次案の検討結果

第 1 次案の結果を踏まえ、①曲線半径 $R \geq 500$ を対象（円形シールド $\phi 9700$ に設定）、②テーパリング製作時の型枠改造回数抑制のために、上下及び左右対称な形状、③中柱は無い構造とする条件を追加し、決定した断面を図－2 に示す。



図－2 複合円形シールド断面図

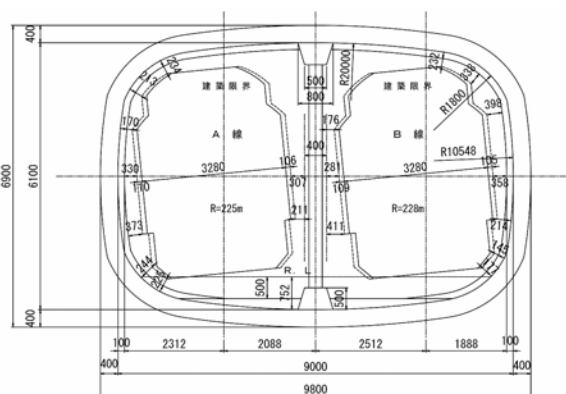
この断面の特長は、円形断面とほぼ同等のトンネル内空間面積（インバート等のコンクリート断面面積を除く面積）を確保するように、複数の曲線半径を組み合わせ（複合円形）断面を構成する点である。表－2 に示すとおり断面面積は円形断面に比べ約 10% 程度の低減を図りながら、空間面積は円形とほぼ同等な大きさを確保していることがわかる。インバートコンクリートは、円形断面に比べ約 40% 程度減となるものと考えている。

形状の考え方は、図－2 b. に示すとおり、3つの曲線半径で考えた。最初に側部と頂底部の円弧（半径 $R1$ 、 $R2$ ）を決定し、2つ円弧半径の交点を中心とする隅角部円弧（半径 $R3$ ）が決まるという順序である。形状検討のトライアル結果から、半径 $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ が、一定の比率になることが判明している。

セグメントの分割は、テーパリングの転用を考慮し、図－2 c. のとおり 8 分割とした。主鉄筋構成は、構造計算結果から A 型セグメントで内面 5D19-7D16／外面 4D19-8D16、B、K 型セグメントで内面 14D22／外面 14D19 となり、過大な断面力の発生はなく、構造的にも円形の力学特性を活かしているものと考えられる。複線シールド断面の最適形状として考えた「複合円形断面」を 13 号線シールド工事に採用することとし、設定した条件を考慮して、明治神宮前～渋谷間で施工することを決定した。

3. おわりに

これから、13 号線全線のシールド工事が本格的に始まり、複合円形シールドにおいても各種の計測を計画している。今後、実際の発生断面力等の計測結果について機会があれば報告したい。



図－1 矩形型断面の建築限界との離隔

表－2 面積比較

	掘削断面積	トンネル内空間面積
円形 ($\phi 9.7\text{m}$) [A]	73.90 m^2	46.95 m^2
複合円形 ($9.7\text{m} \times 8.4\text{m}$) [B]	67.30 m^2	46.05 m^2
B/A	0.91	0.98