

(VI-5) 二次覆工省略型4分割RCセグメントの開発

(株)フジタ 正会員 片岡 希 誉司
(株)間組 正会員 滝沢 究
西武建設(株) 伊勢亀 悦 男
ハザマ興業(株) 兼子 厚 司

1. はじめに

近年、シールド工事におけるコスト縮減に対する技術開発推進項目の一つとして、二次覆工の省略が注目されている。従来施工されている二次覆工を省略することにより、掘削断面の縮小化等による工費縮減、さらに工期短縮が図れることから、現在、二次覆工省略に対応できる新しいセグメントの開発が積極的に進められている。しかし、二次覆工を省略するためには、従来二次覆工が果たしてきた機能をセグメントが代替する必要がある。これらを検討課題とし、小・中口径のシールドトンネルを対象に、二次覆工省略を目的とした、内面が平滑な4分割RC構造のセグメントを開発した。本稿は、この4分割RCセグメントの構造概要、設計手法および実大リング載荷実験結果について報告するものである。

2. 構造概要

4分割RCセグメントの構造概要を図-1に示す。

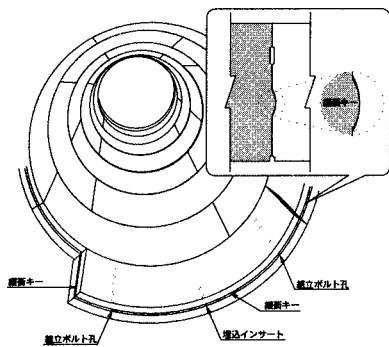


図-1 構造概要

セグメントリングは、搬送・組立性を考慮し、4等分割に近い形状とした。曲げ剛性が一般的な円形トンネルでは、図-2のような曲げモーメントが覆工体には発生する。ここで、曲げモーメントの反曲点($M=0$)とセグメント継手が同様なほぼ等間隔の4ヶ所であることに着目し、継手を反曲点付近で千鳥組となるように配置した。これにより、セグメント継

手に強度を期待せず、隣接するセグメント本体への負担も軽減することが可能となった。

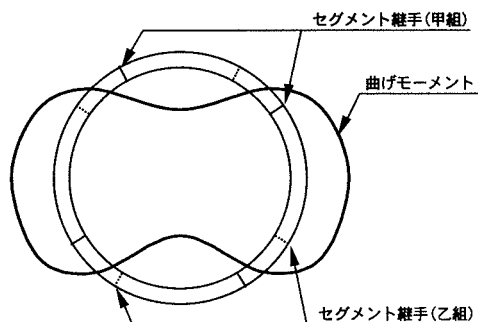


図-2 セグメント分割と曲げモーメント分布

リング継手面全周に設置した円弧状凹凸（以下、緩衝キーとする）のかみ合わせにより、千鳥組の添接効果で発生するせん断力を伝達する。

4分割の効果的な継手配置によりセグメント継手構造の簡略化を図り、コンクリートヒンジ的に挙動するコンクリート面の突き合わせ構造とした。

3. 二次覆工省略に対する特徴

4分割RCセグメントの二次覆工に対する特徴を以下に示す。

- ①継手構造の簡略化でセグメントコストの低減が図れ、継手金物の防食対策が不要となる
- ②ボルトボックスが存在しないため、内面の平滑性と通水性の機能が確保できる
- ③4分割の高いリング剛性等により、継手変位が抑制され、継手止水機能の向上が図れる
- ④緩衝キーが応力集中を防止し、クラック発生を抑制するため、本体止水機能の向上と鉄筋の腐食防止が図れる
- ⑤トンネル内面の腐食性環境を考慮した鉄筋かぶりを設定し、さらに摩耗代を確保することにより、鉄筋の腐食を防止し、コンクリートの劣化および摩耗に対応する

シールドトンネル、セグメント、二次覆工省略、コストダウン、4分割

東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-6-15・TEL 03-3796-2262・FAX 03-3404-8530

4. 設計手法

セグメントの設計においては、セグメント継手の配置および千鳥組によるリング継手の添接効果を適切に表現できる「はりばねモデル計算法」を採用している。セグメント継手は、回転ばねは継手強度を期待しない完全弾性ヒンジ（ピン構造）としている。リング継手は、緩衝キーによる継手のせん断剛性から求まるせん断ばねを全周に設置する。

5. リング載荷実験による実用性・設計手法の確認

リング載荷実験は、実大のセグメントを用いて荷重作用時におけるリングの挙動を把握し、変形特性および強度特性について事前解析結果と比較検討を行うことで、4分割セグメントの構造的妥当性と設計手法を検証するものである。

千鳥に3リング平組した実大のセグメントに軸力および曲げを載荷することで、セグメントリングに発生する応力および変形を計測した。

主な実験結果を以下に示す。セグメント本体の鉄筋のひずみを図-3に、リング変位を図-4に示す。

鉄筋ひずみについて（図-3参照）：実測値は解析値に対して設計許容荷重レベルで200～500 μ 程度圧縮側にあり、解析値が $P=4\sim 8\text{tf}$ 前後で勾配が変化するのに対し、実測値には明確な勾配変化がみられず、他ケースを含め総合的にみると概ね8～17tf程度の遅い段階で勾配が変化している。また、導入軸力が大きく圧縮領域が多くなる方がより解析値に近い傾向がみられる。これは、RC断面計算法ではコンクリートの引張領域を無視しているのに対して、実際には引張領域も抵抗しているためと考えられる。

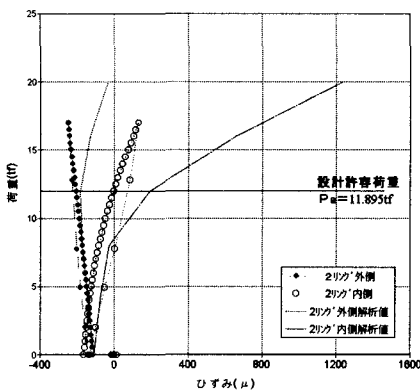


図-3 鉄筋ひずみ（軸力 60tf）

コンクリートひずみについて：実測値は解析値に

対して圧縮ひずみが小さく、圧縮領域のコンクリートへの負荷が軽減されている。これは、鉄筋ひずみと同様の傾向で、引張領域のコンクリートの抵抗によるものと考えられる。

リング変位について（図-4参照）：桁高150mmというセグメント本体剛性の低さにも関わらず、設計許容荷重レベルでリング変位は2mm（トンネル外径の0.08%）以下と極めて小さな値である。リング変位は解析値に近い値を示しているものの、若干大きめに変位している。これは、解析ではセグメントの断面剛性を全断面有効として変形を求めているのに対し、実際はクラック等の発生により断面剛性が低下するため、変形が大きくなると考えられる。

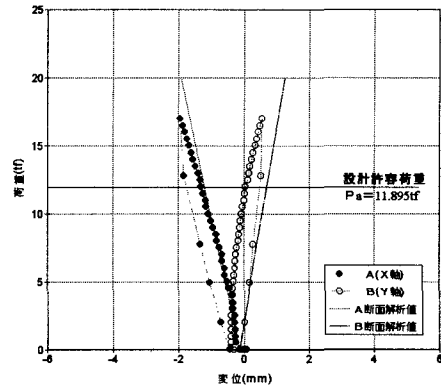


図-4 リング変位（軸力 60tf）

目開きについて：セグメント継手の目開きは導入軸力が大きいほど変化量が小さくなる傾向がみられた。目開き量は、軸力を導入しない場合でも、設計許容荷重レベルで0.05mm以下の微小な値を示している。したがって、従来のシール材で継手の止水性は十分に確保できると考えられる。

以上の実験結果より、4分割RCセグメントリングの挙動を、はりばねモデル解析で近似できることが確認できた。

6. おわりに

今回の実験により、多ヒンジ構造であっても、4ピースの小分割化およびリング継手緩衝キーの添接効果により、リング変位および目開き量を極めて小さく抑制することが可能で、4分割RCセグメントの構造安定性が高いことが検証された。今後は、耐久性についても検討を実施し、より合理的なセグメントの開発に取り組む所存である。