

大断面長距離シールドトンネルにおける 合成セグメントの実績

首都高速道路(株)	正会員	○近藤 竜平
首都高速道路(株)	正会員	鈴木 裕介
鹿島建設(株)		柴田 佳彦
鹿島建設(株)		梶川初太郎

1. 工事の概要

中央環状品川線シールドトンネル（北行）工事は、地下トンネル部のうち 8.0 km を 1 台のシールドマシンにて掘進し、トンネル覆工と同時に側壁や床版等の内部構築を施工する長距離シールドトンネル工事である。本工事における標準断面を図-1 に示す。本工事区間は、完成後に外回りトンネルとなる大橋方向トンネル（本工事：首都高速道路(株)施工）と約 3m の離隔で大井方向トンネル（完成後の内回りトンネル：東京都施工）が併設されることとなる。

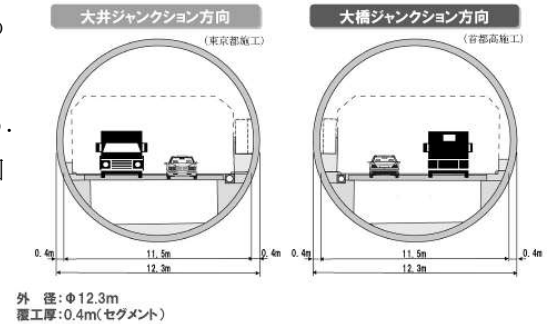


図-1 トンネル標準断面図

2. 覆工構造

一次覆工は、耐火機能を備えた内面平滑型の二次覆工・耐火被覆省略型の RC セグメントをトンネル全体の約 8 割で採用している。また、南品川換気所や五反田出入口などシールド切開き箇所には鋼製セグメントを、偏荷重および重荷重が作用する箇所には合成セグメント（SBL : Steel Beam Lining セグメント）をそれぞれ採用した。RC セグメントは、トンネル断面の縮小のために桁高を 400mm と極力小さくし、曲線半径が 600m 以上の区間についてはセグメント幅で国内最大寸法となる 2.0m を採用、1 リング 9 分割（8+K 型）としている。また、ワンパス締結式継手を採用して施工の高速化を図っている。

2-1 継手構造

RC と SBL セグメントには、水平スライド式継手（ピース間）と新たに開発したピン式継手である SP 継手（リング間）を使用してワンパス継手としている。この継手は、従来のものに比べて小さな力で挿入締結だけでなく、ピン挿入後には大きな締結力を確保できることが特徴となっている。

2-2 耐火性

RC と SBL セグメントには、国内初となる耐火一体型セグメントを全線で導入した。道路トンネルで必要とされるトンネルの耐火性確保については、従来、トンネルの完成後にセグメント内面に耐火吹付けを行っていたが、この工事による施工期間の省略およびコスト削減を図れるため、セグメント製作時にあらかじめ有機繊維（ポリプロピレン）をフレッシュコンクリートに混入させて、セグメント本体に耐火機能を確保している。トンネル火災時は、ポリプロピレン繊維がセグメント表面で溶け、そこからコンクリート内の水蒸気を逃がすことで、セグメントの爆裂を抑制できるものである。

2-3 SBL セグメント

RC セグメントでは対応できない重荷重区間には、今回新たに開発した SRC 構造の合成セグメントである SBL を使用している（図-2）。

SBL は外面をスキンプレートで覆い、内面は RC 構造となることが特徴であり、止水性と耐久性を高次元でバランスさせた合成セグメントである。

使用する重荷重区間が曲線主体のため、セグメント幅は 1.5m である。

止水は、外側はガスケット、内側は水膨張性シールとなっている。

国内初となる本格的なガスケットによる止水構造を採用したが、良好な止水性が確保されている。

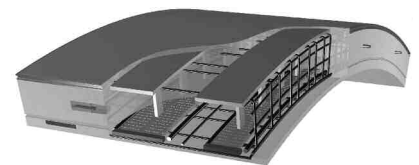


図-2 SBL セグメント構造概要図

キーワード 大断面、合成セグメント

2-4 フルサンドイッチ型合成セグメント

五反田出入口は、分合流部におけるトンネル覆工を一部撤去した上で出入口躯体と一体化するトンネル切開き構造で計画している。切開き部における覆工構造は、首都高速中央環状新宿線の出入口構築において鋼製セグメントが採用されている。本工事では、部材応力が厳しくなる一部の区間において、撤去ピースと躯体接合部のピースを従来構造の鋼製セグメントとし、それ以外の残置されるピースを内面が平滑で高強度・高剛性を有する「フルサンドイッチ型合成セグメント」(以下、合成セグメントと称す)とする複合リング構造を採用することとした。

(1) 合成セグメントの概要と採用経緯

図-3に合成セグメントの概要図を示す。セグメントの外面となる6面全てを鋼殻で覆い、その中にコンクリートを充填して一体構造とした“鋼・コンクリート複合構造”である。

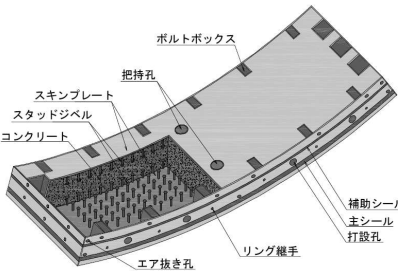


図-3 フルサンドイッチ型合成セグメント概要図

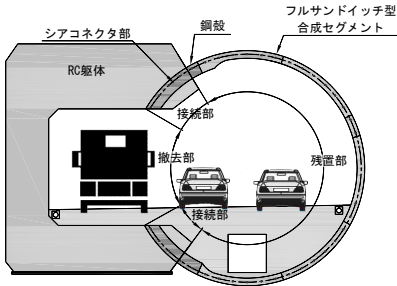


図-4 トンネル切開き部イメージ図

構造主部材である内外面のスキンプレートにはスタッドジベルを溶接してコンクリートとの確実な一体化を図っている。また継手構造は、ボルト構造のため鋼製セグメントとの接合も容易に行うことができる。

五反田出入口で採用するトンネル切開き構造部は、トンネル覆工に非常に大きな断面力と変形が発生する。当該箇所に鋼製セグメントを適用する場合、大きな強度と剛性を確保するため、主桁高さおよび主桁厚さを増大する必要がある。1リングの中に鋼製セグメントと高耐力・高剛性を有する合成セグメントを併用することにより(図-4)、従来の鋼製セグメントよりも覆工厚さを低減し、かつトンネル覆工の変形量を抑制できる利点があると判断して本構造の採用を決定した。

採用にあたっては、合成セグメント本体構造性能評価、耐火性能評価の他、異種セグメント(鋼製セグメント)間における継手性能の評価や部材設計手法の評価等の課題があったため、これらの課題を実大供試体による性能確認試験にて検証し、適用性を確認した。実施した主な実物大実証試験とその結果を表-1に示す。

(2) 合成セグメントの製造

合成セグメントは、まず主鋼材である内外面のスキンプレート、継手板、ボルトボックスを加工し、把持金物、グラウト注入孔なども含めた鋼製部材を溶接して六面鋼殻ピースを組み立てる。その後、内部充填コンクリートを打設して主鋼材との構造一体化を図り、防食塗装を施して完成する。合成セグメントの品質確認検査状況を写真-1に示す。

表-1 実証試験一覧

確認すべき項目	検証方法		試験により得られた知見
	実施事項	実施概要	
本体・継手構造の部材評価	本体部構造性能の確認	・合成セグメントの単体曲げ試験	・設計耐力以上の曲げ耐力を保有 ・スキンプレートを鉄筋換算したRC計算による設計法の妥当性
	継手部構造性能の確認	・合成セグメントの継手曲げ試験 ・合成セグメント・鋼殻間の継手曲げ試験	・継手構造は設計耐力以上の曲げ耐力を有する ・回転ばね定数は設計想定値(M-K法)と同等
合成・鋼殻の千鳥継構造評価	セグメント継接性能の確認	・合成セグメント(実断面)と鋼殻3リングを千鳥組みした添接曲げ試験	・弾性範囲内において、千鳥組みによる添接効果を確認 ・解析モデルによる構造評価は妥当
火災時の部材健全性	耐火材を被覆した加熱試験	・合成セグメント加熱試験(RABT60加熱曲線)	・耐火不被覆厚35mmとすることで、部材の受熱温度は許容温度以下 ・主鋼材のひずみも弾性範囲内
	加熱後曲げ試験	・加熱後供試体の曲げ試験	・加熱後試験体は、曲げ耐力・剛性とも未加熱試験体と同等
耐火被覆の妥当性	加熱試験時・試験後の状況確認	・加熱試験時における耐火被覆材の状況確認 ・加熱試験後の供試体内部の状況確認	・耐火材は加熱試験時にひび割れを生じたが剥離・落下は生じない ・加熱後試験体の内部には有害なクラックは発生していない
出来形品質の確保	実大ピースの製作	・実大ピースの製作 ・内部コンクリートの充填性確認試験	・幅2.0mのピースで製作精度を確保 ・高流動コンクリートで確実な充填を確認

3. おわりに

五反田出入口のトンネル切開き部に適用するフルサンドイッチ型合成セグメントは、鋼製セグメントとの複合リングとして初めての現場適用となる。これまでに実施した一連の構造性能確認実験、耐火性能確認実験、製品の製作品質確認検査結果から、開発した合成セグメントはシールドトンネルの分岐・合流部におけるトンネル覆工として優れた性能を有することが確認された。今後は現場での組立、トンネル切開き時のトンネル変形量を計測し、合成セグメントの優位性を確認した上で技術の水平展開を図っていきたい。

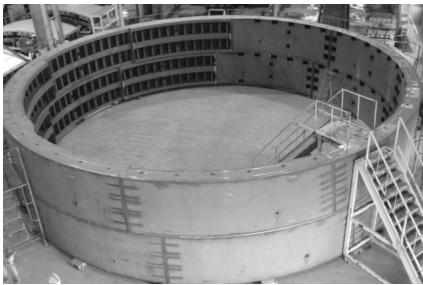


写真-1 合成セグメントと鋼殻の複合リング水平仮組試験状況