

小口径シールド結合リングによる超大断面拡幅工法（SR-JP 工法）の開発

清水建設(株) 正会員 ○浜口 幸一
 清水建設(株) 正会員 矢部 幸男
 清水建設(株) 正会員 吉武 謙二

1. はじめに

大深度道路トンネルの複数車線同士の分岐合流部は、掘削断面が 500m² を超える超大断面となり、非開削で築造する時は NATM（山岳工法）掘削が想定される。しかし、都市域の未固結地山では、地上構造物および地下水など環境への影響が懸念され、それらを確実に抑制できる施工が要求される。

本稿では、複数の小口径シールドで拡幅断面を囲み、実用的かつ実績のあるシールド工法を核とする技術でこれらの課題を解決し、経済的かつ工期短縮の要求にも応えられる、大断面道路トンネル分岐合流部を構築する SR-J 工法（Shield Roof Pre-supporting System for Junction）、SR-JP 工法（Shield Roof Pre-supporting System for Junction as Permanent structure）について報告する。

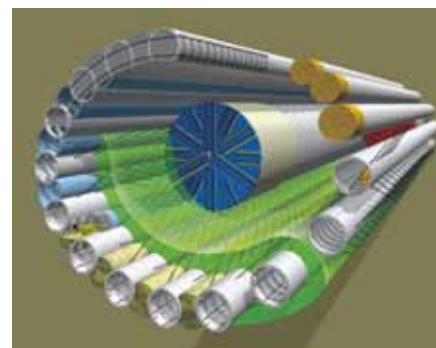


図1 SR-JP 工法イメージ図

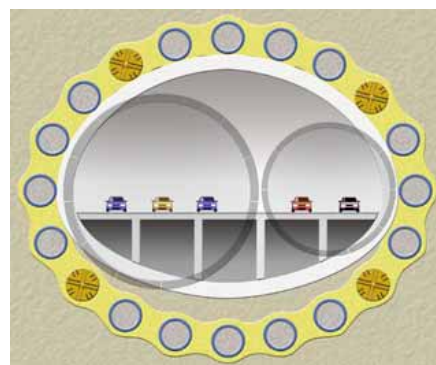


図2 SR-J 工法断面イメージ図

2. 工法の概要

分岐合流部に先着したシールドトンネル（ランプシールドを想定）から、複数のルーフシールドを先行掘進して拡幅断面を包括することにより、軸方向の高剛性先受工を構築する。SR-J 工法は、ルーフシールド間を限定凍結し、シールドと凍土の複合リングでアーチ効果と遮水層を形成し、内部を掘削、覆工構築する。SR-JP 工法は、止水凍土を施した上で、ルーフシールド間を掘削、鉄筋組立、コンクリート充填することにより、剛結された複数の小断面シールドで構成されるアーチリング構造で、本設覆工を兼ねることができる。

3. 工法の特徴

シールド、凍結、接合掘削等全て既存技術で実現性が高く、両工法とも、本線シールドを待たず先受工を構築するため全体工期を短縮できる。特に、SR-J 工法では、ルーフシールドと凍結工の組合せで、複雑な行程なくアーチリングの構築、内部掘削、覆工ができ、SR-JP 工法では、さらに以下の特徴が挙げられる。

- ・ 内部掘削の支保・止水機能とともに分岐合流部本設覆工構造体として本体利用でき、施工断面も覆工厚さ分の縮減ができるため、経済的である。
- ・ 本設覆工を兼ねる高剛性リングで、地表面沈下量を極めて小さく抑え、内部掘削も大規模掘削が可能となる。ルーフシールド掘進、凍結止水工、掘削接合が併行作業できることから、さらなる工期短縮が図れる。

4. SR-J 凍土複合リングの検証

有限要素法解析から複合リング断面の想定荷重作用時における発生最小主応力分布（図-3）を得て、凍土が持つ物性に照合し、この SR-J 複合リングが安全であることが判った。さらに、実トンネル断面の 1/20 縮小大型模型を造り、実構造物での応力状態を含めた諸条件を再現し、想定荷重作用時でのリング全体系の強度および変形特性を把握することを目的として、リング載荷実験を実施し、検証した。

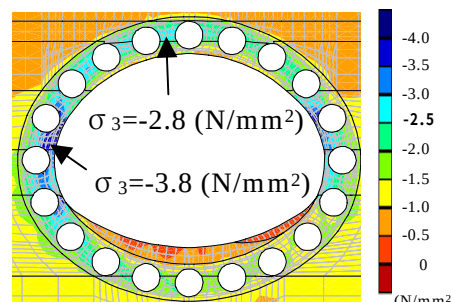


図3 複合リング発生最小主応力図

キーワード：道路トンネル、大断面拡幅、複合リング、SR-J 工法、凍土、SR-JP 工法、剛結

連絡先：〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 清水建設（株）土木技術本部技術開発部 TEL 03-5441-0518

リング載荷実験は、セグメントのリング載荷実験に準じたものであり、シールドを模した鋼管と凍土とのリング状複合構造体に周方向力と半径方向集中力を作用させるものである。周方向力は4段のアンボンドPC鋼線を設置して、半径方向集中荷重はPC鋼棒を用いて導入した。写真1に実験状況を示す。試験体は低温装置内に設置し温度は-15℃とし、スプリングライン部を対象として周方向力で400kNまで加力後除荷し、天端部に対して1000kNまで載荷を実施した。結果は、天端モデルでは想定荷重の4.3倍、スプリングラインモデルでは想定荷重の1.7倍まで載荷したが、凍土のクラックは見受けられず、変位についても凍土の3次元効果などから、有限要素解析結果と比較して小さく、高い構造安定性が確認できた。



写真1 複合リング実験状況

5. SR-JP 工法への展開と施工概要

複数の小断面シールドの結合に凍土を用いず、直接躯体コンクリートで剛結合することで、そのSR-JPアーチリングは、SR-J 工法の仮設構造物から、供用時にも機能する覆工構造物としたのが特徴である。以下にその施工手順を示す。

①ルーフシールド工

約φ4m 小断面シールドを断面が漸次変化する分岐合流部の形状に沿って、外周部をトンネル軸方向に掘進する。シールド機は主要部材が回収できる構造とし、所定の位置に到達、切羽防護した後、引き抜き、再利用する。（現計画：4機製作、4回転用）（図4参照）

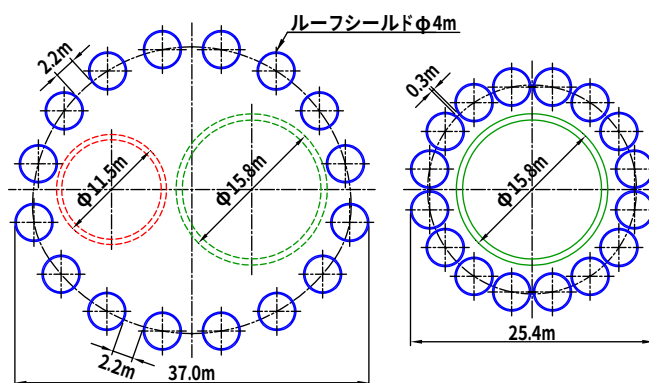


図4 ルーフシールド配置図

②止水凍結工

大深度、高水圧下でルーフシールド間掘削・接合作業を行うことから、止水が確実な凍結工法を採用する。凍結は、ルーフシールドセグメント内面に設置した貼付凍結管と放射凍結管にて施工し、約1m程度の凍土層を造成する。放射凍結管は、分岐合流部の施工延長も長いことから、トンネル斜め軸方向に長尺でφ165mm凍結管を削孔、設置し、施工本数を削減する工夫を施す。（図5参照）

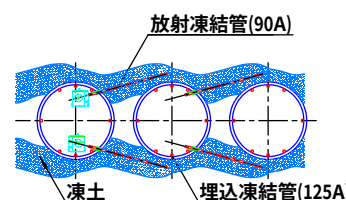


図5 止水凍結イメージ図

③ルーフシールド間掘削接合

止水凍結防護後、シールド間を掘削し、鉄筋組立・コンクリート打設を施し、各々のルーフシールドを接合し、最終的には高剛性のリングが形成されることになる。シールド間離隔寸法は0.3m～2.2m程度で極めて小さい空間の施工である。施工手順は、セグメント主桁を残し、変形を抑えるための補強材を施したのち、接合部のスキンプレートは剥がし、シールド間の土砂（凍土）を掘削する。

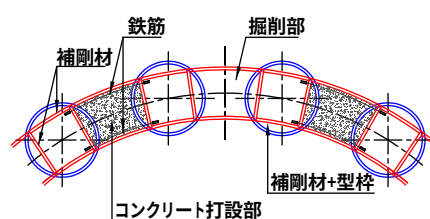


図6 接合イメージ図

④内部掘削

本設高剛性アーチリングの支保なので、小さな加背割ステップが必要なく、大規模な掘削が可能である。また、リング構造体は接合部の最小幅で評価しているため、掘削内面側については重ね合う点の内側にはコンクリートを充填しない。結果、内部掘削し、表面に出たセグメントを解体すれば、内面平滑な覆工が完成する。

6. おわりに

都市域の今までにない大深度未固結地盤の大規模工事を如何に確実に施工できるかが最大目標である。既存技術の組合せで信頼性が高いこの工法は、コスト削減、工期短縮を図る有利性ももって、今後、詳細設計、実証実験を経て、実現性を向上させる計画である。