

D-Shape シールド工法の開発（その2） ー施工過程を考慮する構造設計モデルおよびトンネル覆工構造ー

新日本製鐵(株)技術開発本部

正会員 ○石田 宗弘

鹿島建設(株)土木設計本部

正会員 中川 雅由

鹿島建設(株)機械部

正会員 永森 邦博

石川島建材工業(株)セグメント事業部

正会員 橋本 博英

1. はじめに

本線・ランプトンネルの2つの大断面トンネルを地中接続により分岐合流部を構築するD-Shape シールド工法(図1-1)は、本線・ランプ間のトンネル部分撤去や新設トンネル部との現場接続など複雑な施工過程を伴うため、トンネル覆工構造には施工時の応力履歴の影響を多く受けることが予測される。このような複雑な大断面トンネルの安全性が確保されなければならないことは勿論のこと、できる限りの構造経済性を併せもつ合理的な構造仕様を追求するためには、これまで以上に精緻な構造設計手法が要求される。本報告ではD-Shape シールド工法の開発(その1)に引き続き、本工法により構築される大断面分岐合流部トンネルを対象として、施工過程を考慮したはりばね多重リング構造設計モデルおよびトンネル覆工構造について概説する。

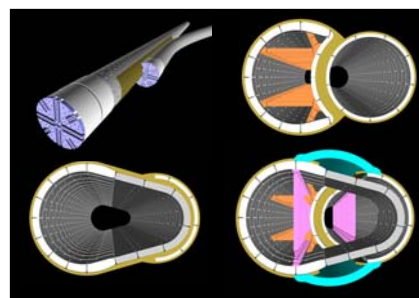


図 1-1 D-Shape シールド工法

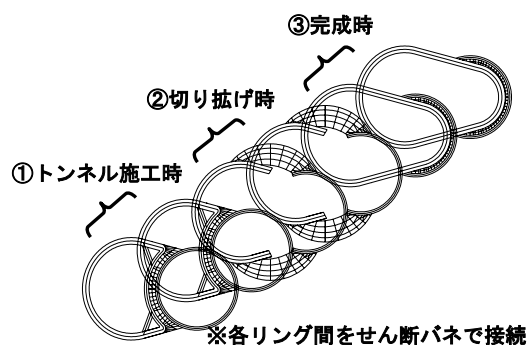


図 2-1 多重リング構造設計モデル

2. 構造設計モデル

本工法の特徴として、分岐合流部にはトンネル覆工のみならず、本線・ランプ間には地中切り上げ範囲を保持するために凍土や改良土等を造成すること、ランプトンネルとD型トンネル・新設トンネル間には特殊充填材を充填することなどが挙げられる。さら

に、現場ではトンネル軸方向に段階的に施工を進めることから、トンネル軸方向の応力伝達が発生する。これら構造および施工の複雑性を可能な限り考慮することが構造設計モデルの課題である。

そこで、トンネル覆工をはり、地盤を節点集中バネとする従来のはりばね構造設計モデルを拡張し、凍土や特殊充填材等を平面ひずみ要素で表現することで覆工との相互作用を考慮する構造モデルとし

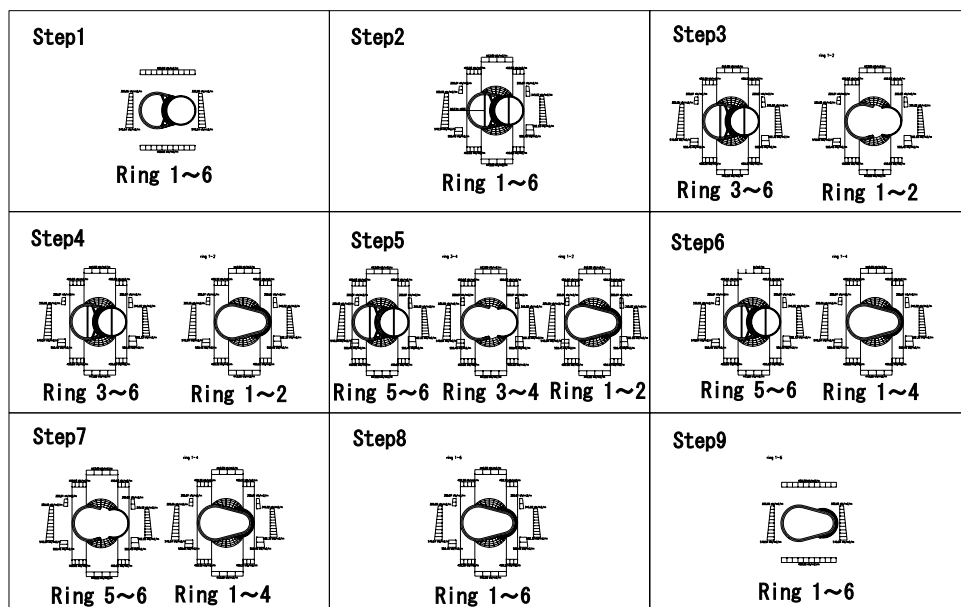


図 2-2 解析ステップ図

た。また、トンネル軸方向の応力伝達挙動を表現するために多重リング構造とし、各リング間にはトンネル

キーワード 分岐合流部, はりばね構造モデル, 多重リングモデル, ステップ解析, 高耐力覆工構造
連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 TEL0439-80-3088/FAX0439-80-2745

接線・法線方向のせん断バネを分散配置することで覆工・凍土および特殊充填材のリング間伝達挙動を考慮することとした。トンネル軸方向に順次施工が進められる各リングは構造形状や荷重状態が逐次的に変化することになる。この影響を評価するため、ステップ計算により施工時から完成時に至る挙動履歴を算出することとした。

今回の解析に用いた解析モデルは、本線トンネル 3 車線（トンネル外径 15.7m）、ランプトンネル 2 車線（トンネル外径 12.4m）とし、土被り 40m、トンネル構築周辺は硬質地盤とする代表的な分岐合流部構造を想定している。施工過程に応じたトンネル断面として①トンネル施工時、②切り上げ時、③完成時の 3 断面を考慮し、トンネル軸方向に連続する合計 6 リングの多重リングモデルとした。図 2-1 にはりばね多重リング構造設計モデルの概念図を示す。施工は隣接 2 リングを完成した後、更に隣の隣接 2 リングを完成させていく手順をトンネル軸方向に順次繰り返すことで全 6 リングを完成させる工程を想定し、解析ステップとしては図 2-2 に示す全 9 ステップとした。

3. 解析結果およびトンネル覆工構造

図 3-1 に中央 Ring3 の軸力および曲げモーメントを示す。初期ステップ (Step1～4) 単円時では、本線トンネル内の隅角部に配置した斜め内部支保工によって、軸圧縮力が伝達されており、本線トンネル覆工の曲げ変形を効果的に抑制している。その後、トンネル覆工に発生する断面力は施工過程を経るにつれて負担箇所を変化させながら、最終的には剛性の高い完成形トンネルでその殆どを負担している。切り上げ断面における撤去部材の解放力は、トンネル軸方向に段階施工を行うなかで隣接リングへと伝達しており、本工法によるトンネル構造の安定性は、施工区間全体で外荷重に抵抗することで確保されている。完成時 (Step9) では、トンネル周方向全周にわたり大きな軸力が発生するとともに、トンネル断面両側部に負曲げモーメント（トンネル外面側を引張）が、トンネル断面中央部に正曲げモーメント（トンネル内面側を引張）が発生している。なかでも最も断面力が大きく発生した正曲げモーメントの最大値に着目すると、本ステップ解析による算定結果は、完成時断面のみの単独解析の結果に比べて約 30%大きくなっており、従来の完成時単独構造設計では危険側の評価を与える結果となった。

大断面力への対応、現場組立て重機のコンパクト化への対応および現場撤去・接続作業への対応を考慮して、トンネル覆工構造は鋼製の鋼殻構造とした。鋼殻断面は 3 主桁構造とし、曲げ性能に優れるフランジ付主桁構造を採用した。図 3-2 に鋼殻セグメントの部材断面を、図 3-3 にピース割付の一例を示す。

4. まとめ

多重リング構造設計モデルを構築して施工過程を考慮したステップ解析を行った結果、本工法における分岐合流部はトンネル全体で外荷重に抵抗しており、大断面力に対して断面性能に優れるフランジ付き 3 主桁構造の鋼殻セグメントとすることで分岐合流部の構造安全性が確保されることがわかった。

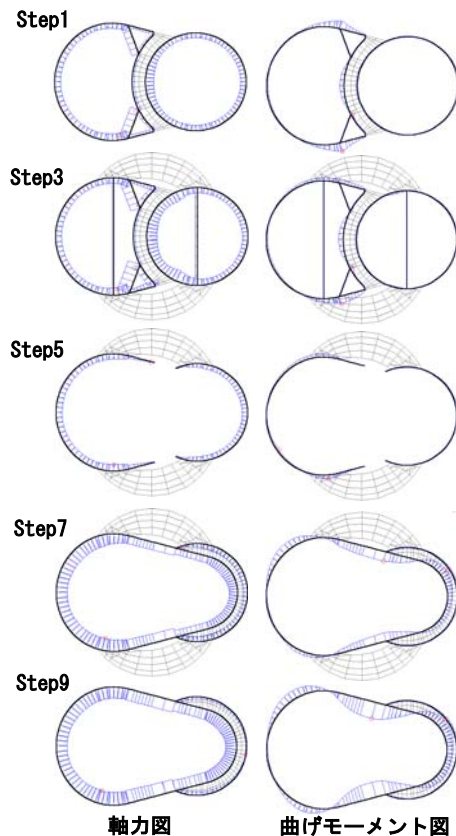


図 3-1 覆工断面力 (Ring3)

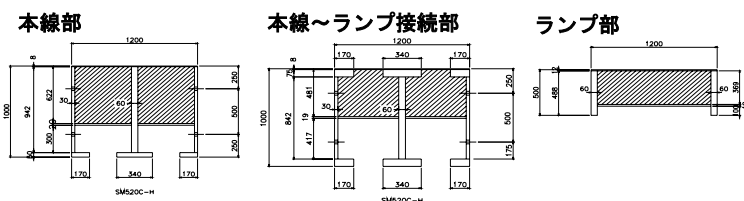


図 3-2 鋼殻セグメント断面図

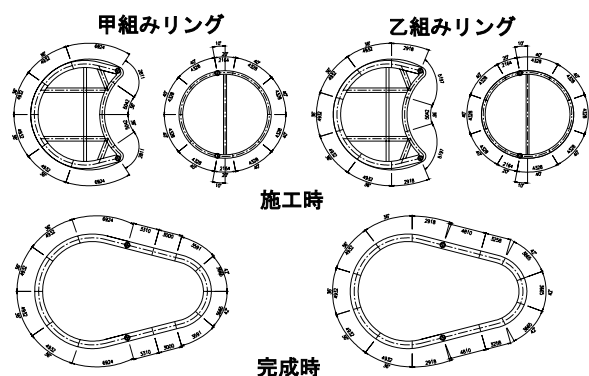


図 3-3 鋼殻セグメントピース割付例図