

非開削による新しいシールドトンネル切開き技術の開発 — 遠心模型実験による挙動評価とフレーム解析の適用性検証 —

(株)大林組 正会員 ○佐藤 清
 (株)大林組 正会員 伊藤克也
 (株)大林組 正会員 吉田陽一
 (株)大林組 正会員 野村敏雄

1. はじめに

道路あるいは鉄道トンネルの分岐合流部の施工方法として、非開削によるシールドトンネルの切開き技術「ツイアーチジャンクション工法」を開発した¹⁾。本工法は、アーチ鋼材と連結セグメントによって、並列したシールドトンネルを接続するもので、信頼性の高い既存工法の組合せにより、合理的かつ経済的な構造を実現した工法である。本研究は、常時荷重が作用した状態での全体構造系の挙動把握と、設計解析手法の適用性の検証を目的として、遠心模型実験による実物相当の外力下での断面力分布の評価と、はりばねモデルによる再現解析を実施し、両者の結果から本工法の構造的な検証を行ったものである。

2. 遠心模型実験手法

遠心模型実験では地盤や構造物の縮小模型を作製し、その縮小率に応じた遠心力を作用させることで実物と同じ応力状態を再現することができる。そのため、大型構造物の挙動を、全体系で把握したい場合に有利な手法である。本実験では、高さ1.05m×幅1.83m×奥行き0.8mの剛土槽内に模型地盤を作製し、プロトタイプの1/47スケールで作製したトンネル模型を埋設した。この模型に47gの遠心力を載荷することでプロトタイプと同等の土水圧を作用させ、トンネル模型に生じる断面力を評価した。ここで、プロトタイプとは、想定したシールドトンネルの分岐合流部に対して試設計した断面を称している。図-1および写真-1にトンネル模型の断面、図-2に地盤を含めた模型全体の断面を示す。トンネル模型は本線トンネルに相当する鋼管（外径267.4mm、肉厚12.7mm）と支線トンネルに相当する鋼管（外径190.7mm、肉厚12.0mm）を用意し、接合部を切開いたのち連結セグメント（肉厚6.0mm）およびアーチ鋼材（肉厚4.5mm）に相当する部材を突合せ溶接によって接合した。模型の部材厚は相似則を考慮し、模型の曲げ剛性EIがプロトタイプと整合するよう決定した。ただし、プロトタイプでは本線トンネル、支線トンネルともに同一断面内でセグメント厚が変化しているが、実験模型では同一の肉厚とした。周辺地盤は、一軸圧縮強度 $qu=1000\text{kN/m}^2$ 程度の泥岩層を想定し、粘性土スラリーにセメントを混合して作製した。表-1に模型地盤の諸元を示す。これらの値は、模型地盤作製時にサンプリングした試料に対する室内土質試験から求めている。トンネル模型は地表面から430mmの位置に埋設しており、実物に換算すると土被り20.2mに相当する。計測項目は、トンネル模型のひずみ、内空変位のほか、トンネル外周に作用する土圧および水圧とした。

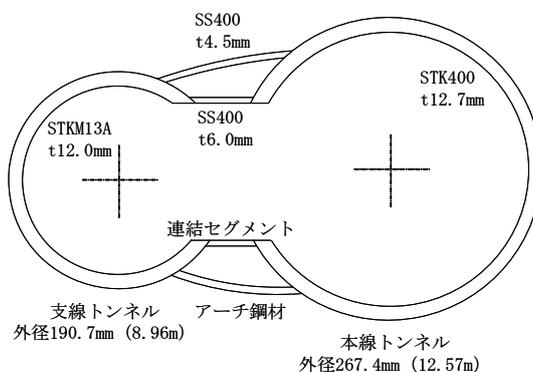


図-1 構造物模型断面図



写真-1 構造物模型断面

3. フレーム解析手法

図-3に再現解析に用いたはりばねモデルおよび外力を示す。本線・支線セグメント、連結セグメントおよびアーチ鋼材は線形梁要素として、周辺地盤は構造物全周に地盤ばねとしてモデル化した。部材の剛性は実験模型を忠実に反映し、溶接された各部材の接合部は剛結合とした。なお、実際のシールドトンネルとは異なり、千鳥組の影

キーワード シールドトンネル、分岐合流、非開削、遠心模型実験、フレーム解析

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL:0424-95-1090

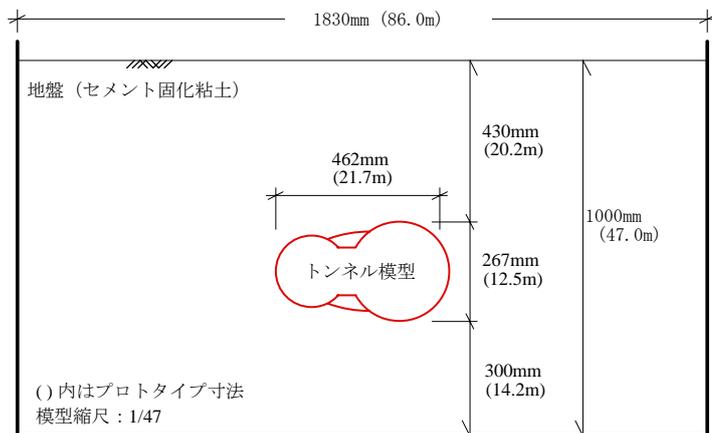


図-2 遠心実験模型断面図

響はないため、曲げ剛性の有効率や曲げモーメントの割増し率等は考慮していない。地盤ばねは一般的なシールドトンネルの構造計算手法にあわせてトンネルの半径方向のみに設定し、圧縮方向だけに有効なばねとした。外力は土圧および水圧を土水一体として作用させた。地盤に関する定数は、ポアソン比をもとに側方土圧係数 $\lambda=0.224$ とし、半径方向の地盤反力係数は $kr=50\text{MN/m}^3$ とした²⁾。

4. 実験および解析結果

図-4に軸力、図-5に曲げモーメントの分布状況を示す。実験結果と解析結果を比較すると、定性的な傾向は一致しており、解析結果が実験結果と同等かやや大きめの値を示している。したがって、はりばねモデルが適用でき、かつ安全側の設計が可能であることを示している。連結部付近の断面力分布に着目すると、アーチ鋼材には軸圧縮力、連結セグメントには軸引張力が発生し、どちらも曲げモーメントはほとんど発生していない。したがって、アーチ鋼材は、軸力が卓越する部材として取り扱うことができ、アーチ鋼材と連結セグメントとの間にコンクリートを充填して軸力を負担させることで、アーチ鋼材に発生する軸圧縮力を低減することも可能である。アーチ鋼材とセグメントとの接合部は、アーチ鋼材からの軸力により大きな曲げモーメントが作用するため、桁高の大きな鋼製セグメントとなるが、その製作性は別途確認している¹⁾。

5. まとめ

遠心模型実験によってツインアーチジャンクション工法における構造部材の断面力分布を把握し、はりばねモデルが設計解析手法として適用できることを確認した。本研究で得られたデータは、アーチ鋼材の定着方法など本工法の更なる改善や、実務設計における外力の設定、解析モデルの構築等に役立てていく。

参考文献

- 1) 非開削による新しいシールドトンネル切開き技術の開発—ツインアーチジャンクション工法の概要と施工性の確認—：土木学会 平成19年度全国大会 第62回年次学術講演会，投稿中。
- 2) トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説：土木学会，2006年。

表-1 模型地盤の諸元

単位体積重量 $\gamma_s(\text{kN/m}^3)$	16.9
一軸圧縮強度 $q_u(\text{kN/m}^2)$	980
ポアソン比 ν	0.183
弾性係数 $E(\text{kN/m}^2)$	742000
$E_0=1000q_u(\text{kN/m}^2)$	980000
せん断弾性係数 $G(\text{kN/m}^2)$ ※1)	314000
せん断波速度 $V_s(\text{m/s})$ ※2)	427

※1) $E=2(1+\nu)G$ より推定

※2) $G=\rho V_s^2$ より推定

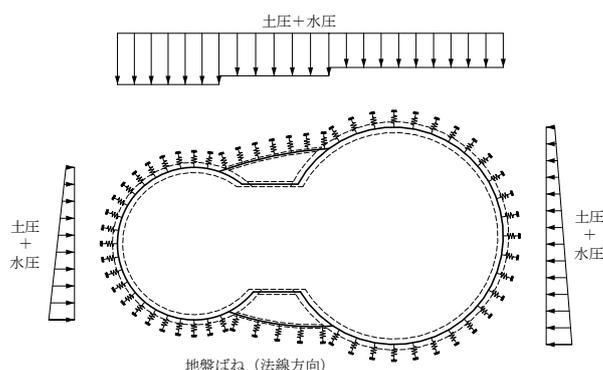


図-3 はりばねモデルと荷重分布

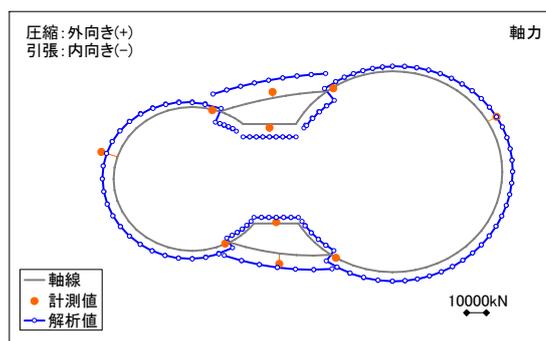


図-4 軸力分布の比較

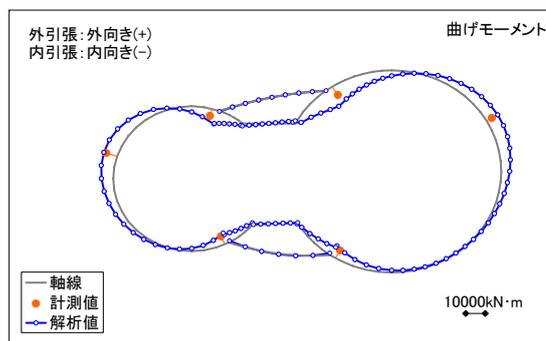


図-5 曲げモーメント分布の比較