

セグメント覆工を対象とした数値解析手法に関する検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○木下 果穂 津野 究 牛田 貴士

1. はじめに

シールドトンネルのセグメント覆工を模擬したトンネル覆工模型の荷重試験を対象に、フレーム解析と3次元FEM解析を実施した。それぞれの結果について比較したので報告する。

2. 解析概要

(1) 解析対象

本稿の解析対象としたトンネル覆工模型¹⁾を図1に示す。覆工模型はシールドトンネルの覆工を模擬しており、4つのRCセグメント模型が3つの継手部により結合されている。継手部はボルト継手とし、継手板(板厚12mm)をボルト(M20)で締結している。覆工模型の荷重には大型覆工模型実験装置²⁾を用いている(図2)。覆工模型周囲の油圧シリンダ付きの皿ばねと反力板は全て覆工模型に接触しており、覆工模型天端部の荷重用油圧ジャッキにより、荷重を作用させることでトンネル覆工と地盤の相互作用を模擬することができる。

(2) 解析概要

本稿では覆工模型に対し、覆工天端部から鉛直荷重を行った場合の数値解析を実施した。解析手法はフレーム解析と3次元FEM解析を用いており、それぞれの解析結果と実験結果を比較した。解析に使用した物性値を表1に示す。

a) フレーム解析

フレーム解析は、はり-ばねモデル(図3)を用いており、セグメント本体をはりとしてモデル化し、セグメント継手の回転ばね特性は、軸力を考慮したバイリニアモデルとしている(図4)。継手に作用する軸力は、荷重実験開始時にセグメント覆工断面に作用する軸力の平均の値とした。なお、覆工模型脚部には支点ばねを設置して両端ピン支点とし、覆工模型周囲の皿ばねは反力板の範囲に周方向の地盤ばねを設置して対応している。

b) 3次元FEM解析

3次元FEM解析では、セグメント本体をソリッド要素、継手板をシェル要素、継手部のボルトをばね要素でモデル化した。モデルの総節点数は14,700、総

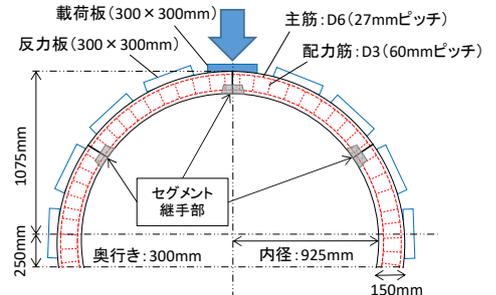


図1 トンネル覆工模型の概要

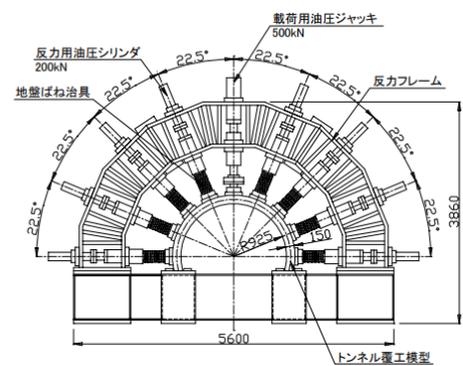


図2 大型覆工模型装置²⁾

表1 材料物性値

セグメント 本体	ヤング率	22.5kN/mm ²
	ポアソン比	0.2
	単位体積重量	24.5kN/m ³
継手板	ヤング率	200 kN/mm ²
	ポアソン比	0.3
	単位体積重量	77.0 kN/m ³
皿ばね (地盤ばね)	ばね定数	3.0MN/m
	反力板寸法	300×300mm ²



図3 はり-ばねモデル

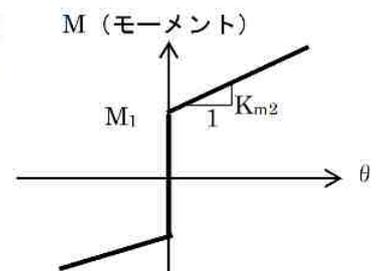


図4 回転ばねの特性値

キーワード : セグメント, フレーム解析, 有限要素法, 荷重実験

連絡先 : 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7266

要素数は 11,736 である。セグメント間には引張ばね切りとなるばね要素を設置し、締結するボルトはボルトばねとして、継手部分の開口を模擬できるようにした。覆工模型周囲の皿ばねにおいても、反力板の範囲に引張ばね切りとなるばねを設置し、大型覆工模型実験装置の荷重状況に近い状態とした。

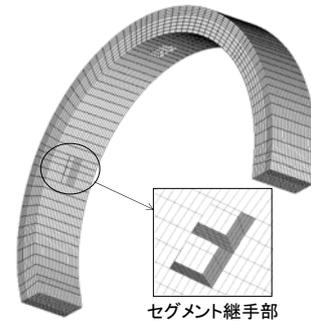


図5 3次元FEM解析に使用したモデル

3. 解析結果

(1) 変形図

覆工天端部から鉛直下向き方向に荷重 15kN を作用させた時の変形図を図 6 に示す。荷重実験では、覆工天端部が沈下し、アーチ肩部から脚部にかけて外側に膨らむように変形した。また、フレーム解析では同様の変形モードを示し、変形量も実験結果と概ね一致した。一方、FEM 解析では同様の変形モードを示し、アーチ肩部から脚部にかけての変形量は一致しているが、天端部周辺の変形量は実験値よりも小さい値を示した。

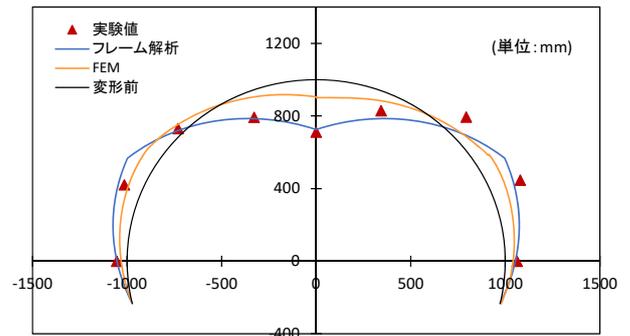


図6 変形図

(2) 曲げモーメント図

覆工天端部から鉛直下向き方向に荷重 15kN を作用させた時の曲げモーメント図を図 7 に示す。荷重実験では鉄筋ひずみの測定結果から曲げモーメントを算出している。鉄筋ひずみ測定位置を図 8 に示す。

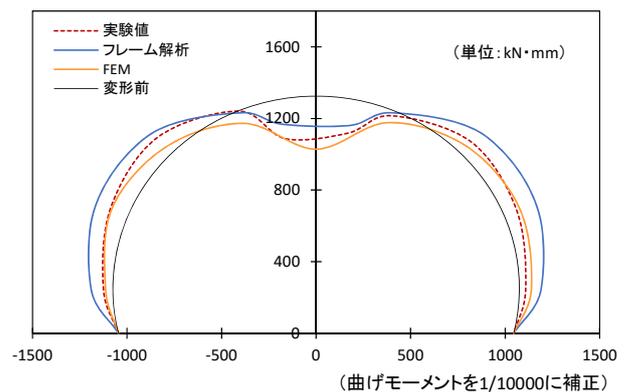


図7 曲げモーメント図

覆工模型の曲げモーメント図は、実験結果と両解析結果は概ね同様の傾向を示した。フレーム解析では、実験結果と比べてアーチ肩部から脚部にかけての曲げモーメントが大きく、天端部周辺では小さくなった。実験と解析との曲げモーメントの差異は、セグメント継手部を中心に生じており、より精度良く実験を再現するには、継手部のモデル化について検討が必要であると考えられる。

4. おわりに

はりばねモデルを用いたフレーム解析と 3 次元 FEM 解析により、シールドトンネルのセグメント覆工を模擬した覆工模型の荷重試験の数値解析を実施した。その結果、両解析において実験結果と概ね同じ傾向の断面力を算出することができた。今後は継手部のモデル化について検討を行い、解析精度の向上を図りたいと考えている。

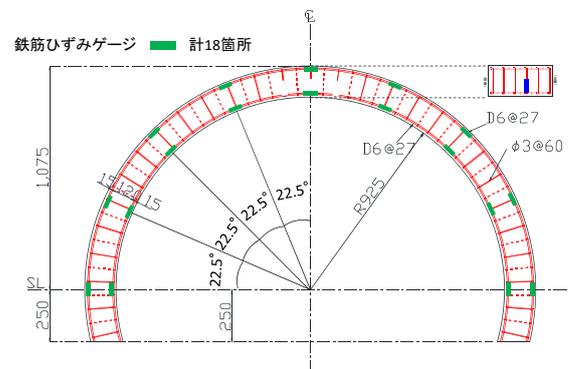


図8 鉄筋ひずみ測定位置

参考文献

- 1) 津野究, 鎌田和孝: シールドトンネルを対象とした大型覆工模型実験, 土木学会第71回年次学術講演会講演概要集, III-436, pp.871-872, 2016.9
- 2) 高橋幹夫, 津野究, 小島芳之: 大型トンネル覆工模型実験装置の開発, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, III-070, pp.139-140, 2006.9