

シールドトンネル用鋼製セグメントの継手部の3次元解析モデルの検討

NTT アクセスサービスシステム研究所	正会員	○松本安弘
NTT アクセスサービスシステム研究所	非会員	岸本ほのか
NTT アクセスサービスシステム研究所	非会員	泉俊光
NTT アクセスサービスシステム研究所	非会員	玉松潤一郎
早稲田大学	正会員	岩波基

1. はじめに

NTTは通信サービス提供のため、約350kmの通信用シールドトンネルを所有している。社会インフラ老朽化への対策がインフラ管理者に求められている中、今後劣化するトンネルがいつまで運用可能であるか評価する手法の重要性が増している。

通信用シールドトンネルは鋼製セグメントの一次覆工に無筋コンクリートの二次覆工からなる構造形式が多い。二次覆工は設計時には構造性能を期待しないが、建設後から時間が経過した時点での残存耐力を検討する上では、二次覆工も考慮した構造性能評価が必要になると考えている。なぜなら鋼製セグメントは目視できないが、その腐食進行の結果として、目視可能な二次覆工表面にひび割れ等が生じると考えられ、二次覆工の状態から一次覆工の腐食を推定する等の応用が期待できるためである。

二次覆工を考慮した構造解析手法としては3次元FEMが有望である。従来用いられてきたはりばね計算法¹⁾では、二次覆工の応力状態の再現に課題があった²⁾。これは鋼製セグメントの間にコンクリートが入り込むように打設されていることで生じる両者の相互作用を覆工間ばねで表現することが難しいこと、また二次覆工は30cm厚と一次覆工桁高の2倍程度の厚さがあり、はり要素でのモデル化が適切ではない等の原因が考えられる。これらの問題は自由度の高いモデル化が可能な3次元FEMにより解決できると考えられる。しかし、鋼製セグメントのシールドトンネルの3次元FEMによる解析例はあまりなく、どのようにモデル化すれば必要な精度が確保できるかは明らかでない。そこで本稿では、特に継手部に着目して鋼製セグメントの3次元構造解析モデル案を検討した結果を報告する。

2. 提案する継手モデル

鋼製セグメントの継手部はボルト締結体である。最も詳細なモデル化の例として、ボルト頭部やナット、ボルトねじ山までソリッド要素で再現したIzumiらのモデルがある³⁾。このモデルではボルト軸直角方向の繰返し荷重の作用によるボルトの緩みが再現できると報告されているが、モデル作成コストおよび計算コストが高く、大規模なモデルの構造計算への適用性は低い。鋼製セグメントの主な作用は土圧、水圧による死荷重であり、モデルとして必要な要素はIzumiらのモデルよりも少なくできると考えられる。継手挙動の再現に必要なと考えられる要素のモデル化に絞ることで、コストを小さく保った簡易なモデルの構築を検討した。

図-1に構築したFEMモデルの継手部を示す。モデル化の要点は次のとおりである。主桁、スキンプレート、継手板、縦リブはそれぞれシェルでモデル化した。ボルト締結部の剛性としては村上・小泉と同様⁴⁾、ボ

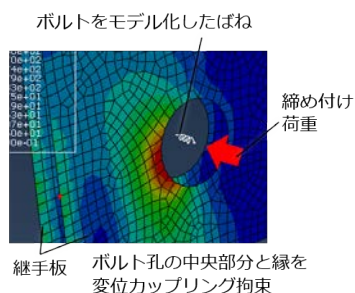


図-1 継手モデル

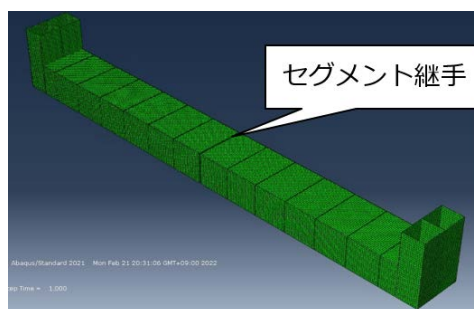


図-2 FEMモデル

キーワード シールドトンネル, 鋼製セグメント, 継手板, 有限要素法

連絡先 〒305-0805 茨城県つくば市花畑1-7-1 NTT アクセスサービスシステム研究所 TEL 029-868-6240

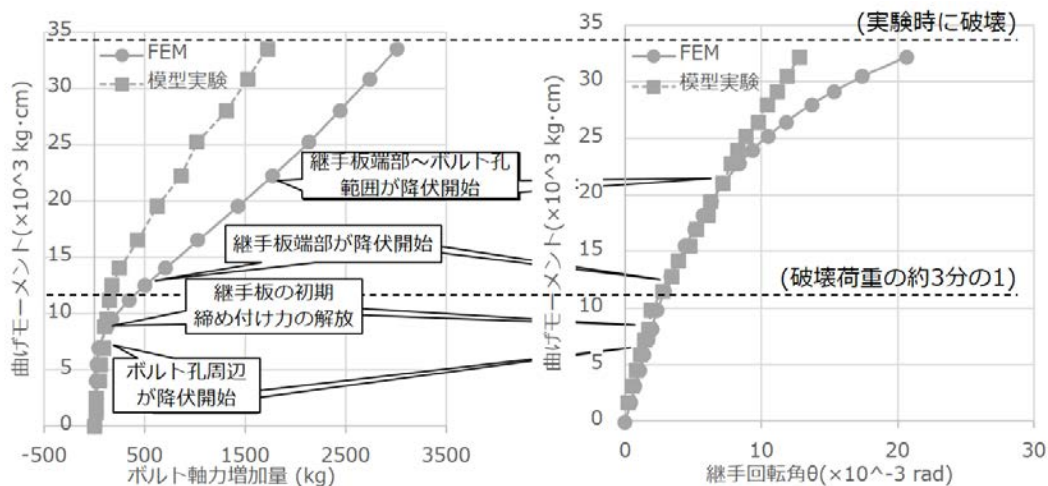


図-3 FEM 計算結果と継手曲げ試験⁴⁾の比較

ルト頭部、ナット、ボルト軸部の軸剛性、せん断剛性をばねでモデル化した。継手板にはボルト孔を考慮し、ボルト孔の中心とボルト孔の縁との間の変位が同一になるよう拘束し、ボルト孔中心のばね節点に締め付け荷重を与えた。継手板同士には接触を考慮することとし、摩擦係数は0.3とした。

3. 数値計算結果と継手曲げ試験の実験結果の比較

既往文献の継手曲げ試験⁴⁾を用いてFEMモデルを検証した。継手曲げ試験では鋼製の直線セグメント2つの継手部をボルト締結し、油圧ジャッキで偏心荷重を作用させ、継手部に正曲げと負曲げが生じた際のボルト軸力の増加および継手回転角を計測している。本稿では正曲げの試験結果に関して比較した。主桁、継手板、縦リブはそれぞれ6.0 mm厚さ、スキンプレートは3.2 mm厚さの鋼板(SS41)であり、縦リブ間隔は100 mmであり、荷重の作用位置は中立軸から70 mm偏心させている。また、ボルト初期締め付けひずみは600 μ である。

図-2に同様の試験を再現するよう構築したFEM解析モデルを示す。前節の考え方にに基づき継手部をモデル化し、シェルでモデル化した主桁、スキンプレート、継手板、縦リブの材料非線形性を考慮した。なおFEMによる数値計算には汎用ソフトウェアのAbaqusを用いた。

図-3に、数値計算結果と実験結果を示す。作用する曲げモーメントが小さな場合はFEMの結果と模型実験とはよく一致している。継手板の圧縮力の解放後のボルト軸力増加量は、FEMでは実験値よりも大きくなり、またFEMでは次第に継手板の降伏が進み、継手回転角が拡大し、実験値よりも大きな変形となった。なお破壊荷重の約3分の1とした補助線は、NTTにおけるSS400(SS41)を使用した鋼製セグメントの設計許容値に対応するため、設計計算においては実用的なモデルであると考えている。

4. おわりに

本稿ではシールドトンネルの鋼製セグメントの継手部に着目した3次元構造解析モデルを提案し、既往文献の継手曲げ試験結果⁴⁾と比較し、モデルの精度を検証した。作用する力が小さな場合には実験結果と解析結果がよく一致し、設計計算の範囲では実用的な精度をもつ簡易モデルを構築できた。ただし作用する力が大きな場合には解析モデルでは実験より大きなボルト軸力、継手回転角が発生している。今後、鋼製セグメント腐食による非線形挙動を解析するためには、より詳細な継手モデルの導入が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 村上博智, 小泉淳, シールドセグメントリングの耐荷機構について, 土木学会論文報告集, vol. 1978, no. 272, pp. 103-115, 1978.
- 2) T. Sudo, T. Ishikawa, R. Hirasawa, H. Hoshino and A. Koizumi, An Experimental Study on the Maintenance and Repair of Communication Cable Tunnels Constructed by Shield Tunneling Method, Proceedings of the 2014 IALCCE Conference, Japan, 2014.
- 3) S. Izumi, T. Yokoyama, A. Iwasaki, S. Sakai, Three-dimensional finite element analysis of tightening and loosening mechanism of threaded fastener, Engineering failure analysis, vol. 12, no. 4, pp. 604-615, 2005.
- 4) 村上博智, 小泉淳, シールド工用セグメントのセグメント継手の挙動について, 土木学会論文報告集, vol. 1980, no. 296, pp. 73-86, 1980.