

シールドトンネルの発生軸力を考慮したセグメント継手の有限要素解析

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○中山卓人, 野城一栄, 牛田貴士, 木下果穂
戸田建設株式会社 正会員 茶木勇太

1. はじめに

シールドトンネルのセグメントの設計では、はりばねモデルが用いられることが多く、この場合セグメント本体ははり部材で、セグメント継手は回転ばねでモデル化される。セグメント継手のモデル化が解析結果に及ぼす影響が大きいことが知られており、新たな継手の開発時には様々な確認試験が行われており、施工時においても実物大セグメントの継手曲げ試験が行われることが多い。そこで本研究では、採用事例が多い軸方向挿入型のセグメント継手を対象に、三次元有限要素モデルを作成して軸力を導入した継手曲げ試験を想定した解析を実施し、継手部の曲げモーメントと回転角の関係や継手部が各状態に至る順序について考察した。

2. 三次元有限要素モデルの構築

本解析では、鉄道用単線シールドトンネルにおける平板型 RC セグメントの継手曲げ試験を想定して、三次元有限要素モデルを構築した。

(1)セグメントのモデル化

図 1 にセグメント供試体のモデルを示す。モデルは、継手面における対称条件およびセグメント幅方向の対称条件を用いて 1/4 モデルとした。コンクリートの設計基準強度 f'_{ck} は、 42N/mm^2 とした。

コンクリートのモデル化は、弾性モデル、非線形を考慮したモデル（以下、非線形モデル）、非線形性および軟化を考慮したモデル（以下、軟化モデル）の 3 種類とした。非線形モデルおよび軟化モデルについては、文献¹⁾記載のモデルを採用した。図 2(a) に 3 種類のコンクリートモデルにおける応力とひずみの関係を示す。

(2)セグメント継手のモデル化

本解析で対象とするセグメント継手は、軸方向挿入型であり、継手金物部とアンカー部で構成される。アンカー部にはねじ鉄筋が使用されており、コンクリートとの付着強度により引抜耐力を確保する構造となっている。図 3 に本解析におけるセグメント継手のモデルを示す。FEM ではセグメント継手をはり要素でモデル化し、継手金物部は二重節点、アンカー部は節点共有とし図 2(b)に示すような降伏を考慮したモデルとした。

3. 解析ケース

表 1 に解析ケースを示す。ケース 1 ではコンクリートモデルの違いによる継手部への影響について検討した。ケース 2 では、キーワード シールドトンネル、セグメント継手、継手曲げ試験、軸力、FEM

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 TEL: 042-573-7261

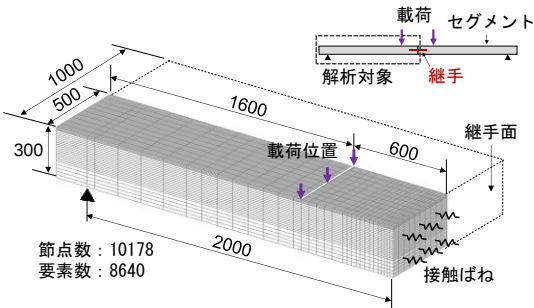


図 1 セグメント供試体のモデル化

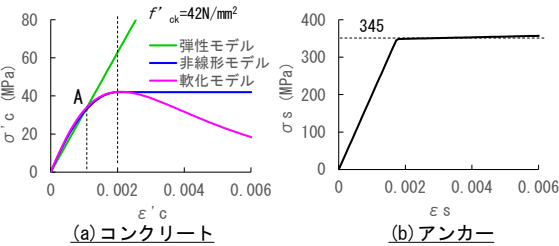


図 2 応力とひずみの関係

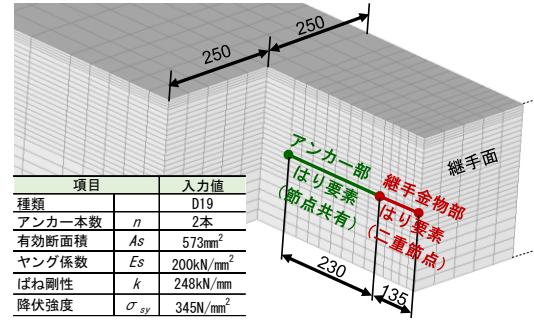


図 3 セグメント継手のモデル化
表 1 解析ケース

解析ケース	Con強度	Conモデル	軸力
ケース1	42N/mm ²	弾性	0kN
		非線形	
		軟化	
ケース2	42N/mm ²	軟化	0kN, 200kN 400kN, 600kN 800kN, 1000kN

ンクリートを軟化モデルとし、軸力をパラメータとして軸力による継手部への影響について検討した。

4. 解析結果・考察

(1) ケース 1

図4にケース1の解析結果として、曲げモーメント M 、継手面圧縮縁のコンクリート応力 σ_c 、アンカー筋応力 σ_s と回転角 θ の関係を示す。グラフ中の[3]～[7]は、図5に示す継手部が各状態に至る位置を示す。また、実線は各モデルの適用を想定している範囲を示す。

弾性モデル→非線形モデル→軟化モデルと高度なモデルを使うことにより、対応できる θ の範囲が広がるとともに、表現できる状態が増えることが確認できる。図6に軟化モデルにおけるコンクリート応力のコンターを示すが、 θ が大きくなるとともに、圧縮縁でコンクリートが破壊し軟化するため、応力の発生位置がやや下がることを見て取れる。ただし、 M - θ 関係は、状態[5]に達したときに大きく勾配が変化する一方で、コンクリートの軟化による影響はさほど見られないことも確認できる。

(2) ケース 2

図7にケース2における M と θ の関係を示す。図7において、図5で示した継手部に生じる各状態の[3]～[7]が発生するタイミングを併せて示した。

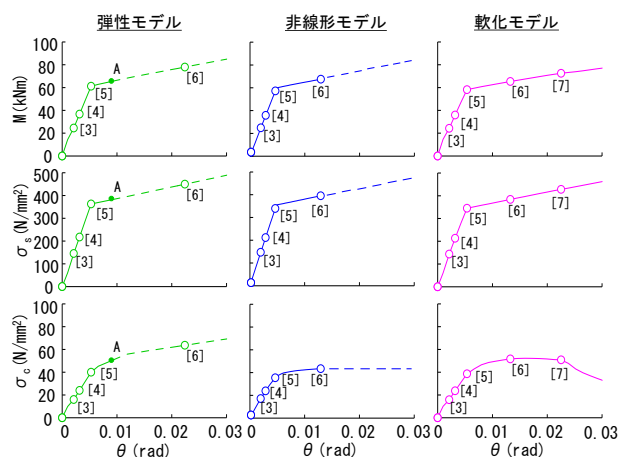
状態[3]、状態[6]および状態[7]は、軸力が大きくなるほどそれぞれの状態に達する θ が小さくなる傾向を示した。また、軸力が 1000kN 程度で状態[5]と状態[6]の発生位置が同程度となった。一方で、状態[4]および状態[5]は、軸力が大きくなるほどそれぞれの状態に達する θ が大きくなる傾向を示した。このように、軸力が増加すると、コンクリートの限界状態は発生が早まる一方で、継手鋼材の限界状態は発生が遅くなることが確認できる。

5. まとめ

三次元有限要素モデルにより軸力を導入した継手曲げ試験のシミュレーション解析を行い、コンクリートのモデル化や軸力の作用による解析結果への影響、継手面に生じる各状態の発生順序を検討した。高度なモデルを使うことにより、セグメント継手の多様な限界状態を評価することができることが分かった。この知見を踏まえて、試験計画を立案した軸力を考慮した継手曲げ試験について次報^{2),3)}で示す。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書設計編，2017
- 2) 牛田ら：シールドトンネルの発生軸力を考慮した継手曲げ試験（その1：試験方法），土木学会全国大会講演概要集，Vol.78，2023（投稿中）
- 3) 木下ら：シールドトンネルの発生軸力を考慮した継手曲げ試験（その2：試験結果），土木学会全国大会講演概要集，Vol.78，2023（投稿中）



※図中のA点は図2(a)のA点到達位置を示す。

図4 解析結果（ケース1）

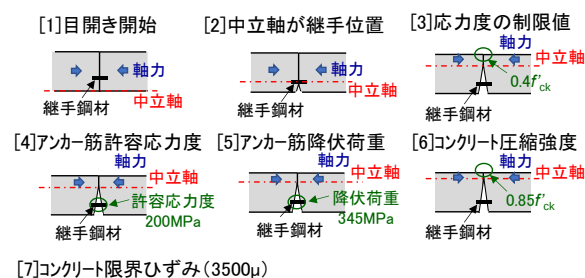


図5 継手部に生じる各状態

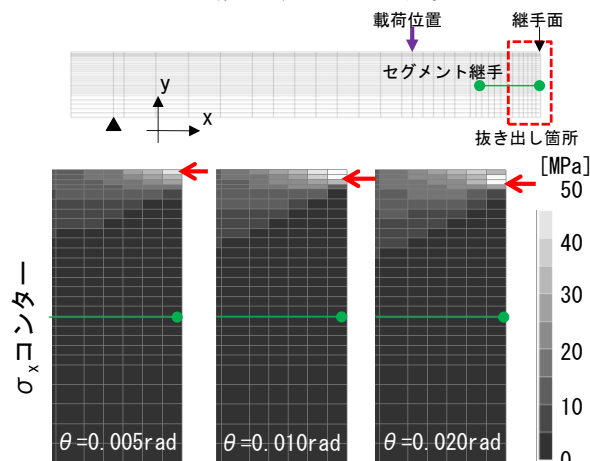


図6 コンクリート応力の変化（軸力 400kN）

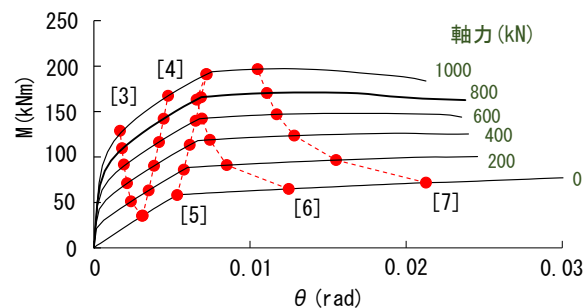


図7 解析結果（ケース2）