

個別要素シミュレーションによる偏圧载荷・除荷を受けるセグメント模型の変形挙動の再現

元 東京都市大学大学院 (現 日本工営 (株))	正会員	○益子 時佳
(独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所	正会員	吉川 直孝, 平岡 伸隆
産業技術総合研究所	正会員	竿本 英貴
東京都市大学	正会員	伊藤 和也

1. 研究背景

シーールドトンネルは施工時荷重が一時的に作用することで継手の簡略化や薄肉構造となった場合にセグメントのひび割れ等が発生する可能性が高くなるため、将来の維持管理コストの増加や耐久性の面で問題となる。一方で、施工時荷重に対するセグメントの変形挙動を把握する手法は明確に規定されていないため施工時荷重による影響を把握する手法が求められている。また、様々なセグメント形状に対応した载荷実験等は頻繁に実施できないことが考えられる。本研究では、個別要素法^{例えば 1),2)}を用いた実験の再現解析を実施し、セグメント模型に対する载荷除荷試験の結果と解析結果を定量的に比較した。

2. 実験概要

セグメント模型の作製は、モルタル(豊浦砂：早強ポルトランドセメント：水=2：1：0.65)を配合し、外径 150mm、内径 137.5mm の型枠に打設を行った。その際、0.15mm の薄い銅板によりセグメントに分割し、脱型後は打設から 28 日となるように水中養生を行った。図-1 に作製したセグメント模型を示す。セグメントはそれぞれ A1, A2, A3, B1, B2, K の 6 分割とした。本実験では、図-1 に示した载荷除荷装置を用いて円周から圧力を加え、K セグメントに対する偏圧载荷除荷を行った。鋼製円筒の周囲に設置された計 12 個のジャッキを伸縮することで载荷・除荷することができる。まず、等方的な圧力を 160 kPa まで段階的に载荷する。次に、J12, J1 を開放しておくことで载荷を継続し、それ以外のジャッキをバルブで固定することで偏圧载荷とし 320kPa まで载荷し、J12, J1 を 160 kPa まで除荷し等方圧に戻した。次に、J12, J1 のみ 0kPa まで偏圧除荷し、再び、J12, J1 のみ 160 kPa まで载荷し等方圧に戻した後、J12, J1 以外のジャッキの固定を開放し、等方的に圧力を 0kPa まで除荷した。ひずみゲージは各セグメント内外径の中央部に配置した。なお、セ



図-1 実験(左：セグメント模型，右：装置)

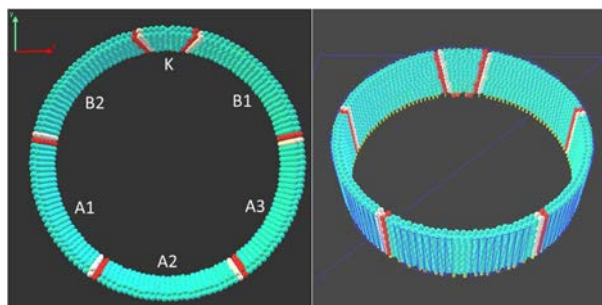


図-2 解析(左：セグメント，右：シミュレーション)

グメント模型とジャッキの間には载荷ジグを設けてある。また、载荷治具や底面との摩擦の低減を図るため、テフロンシートを敷設した。

3. 解析概要

セグメントモデルは、骨材を球要素で、セメントペーストをコンタクトボンドで表現した。球要素のパッキングは隣り合う球要素が丁度接するように内円および外円に配置した。球要素の土粒子密度は、豊浦砂の密度を、弾性係数は、セグメント模型と同配合の円柱供試体に対する一軸圧縮試験から取得した引張強度をセグメント模型に対する単体曲げ試験から求めた内径側の破壊ひずみで除した値を用いた。ポアソン比については、一軸圧縮試験の超音波速度より得られた値を用いた。粒子間の接触力関係には Mohr-Coulomb 型破壊基準を導入し、Mohr-Coulomb の関係式の法線方向に引張強度を加算することで、法線方向の力に引張強度を超過する力が作用した場合、ボンドが破壊するように設定した。

図-2 に示すように底盤の再現にはモデル下部に壁

キーワード シールドトンネル, セグメント, 個別要素法, 载荷除荷試験, 偏圧
連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-5707-0104

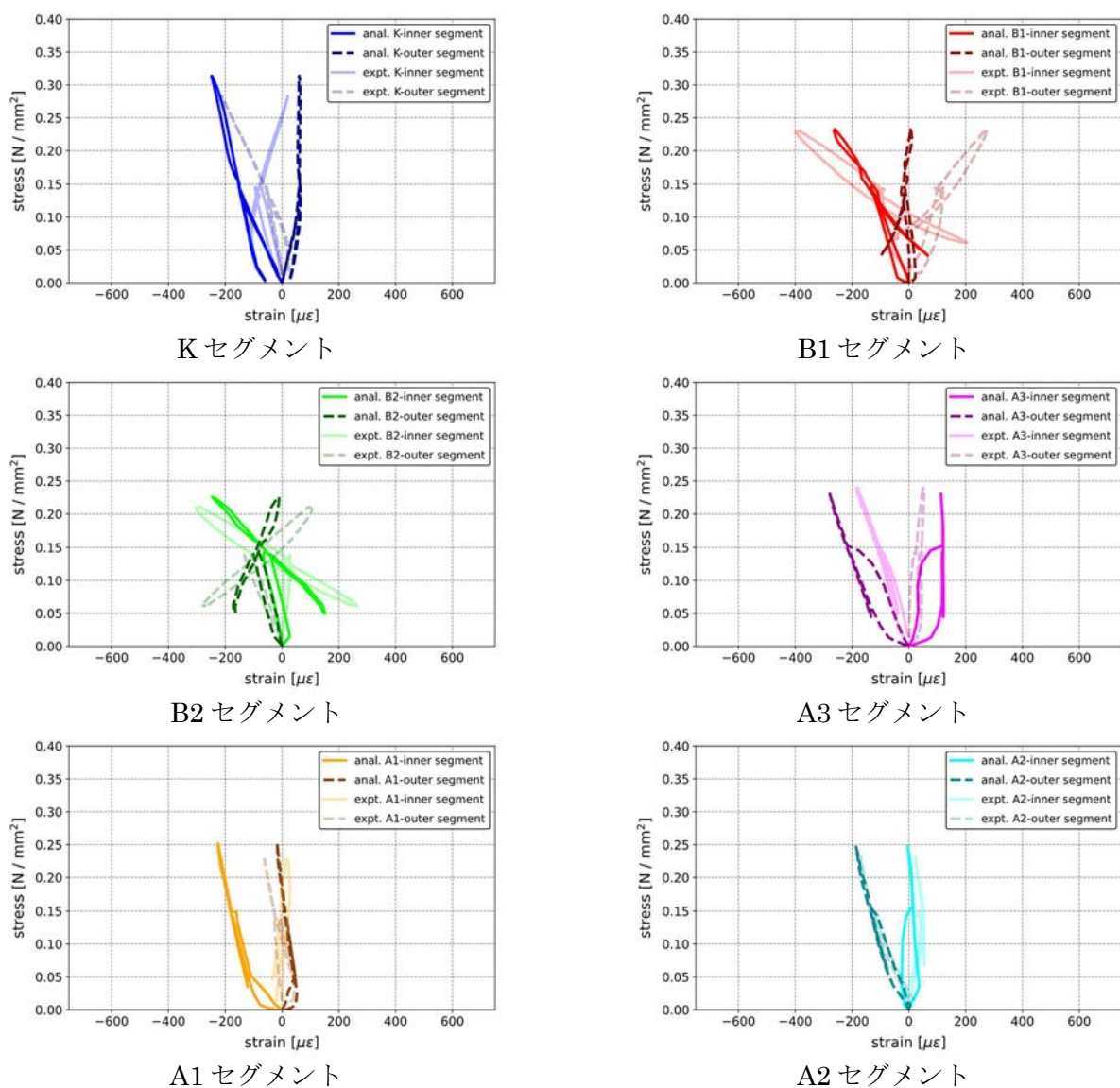


図-3 圧力ひずみ関係 (解析)

要素を、載荷治具の再現には 8 分割した載荷板モデルを設けた。載荷速度 0.01m/s で載荷板を移動させ載荷除荷を行った。なお、載荷治具と球要素との接触の不均一性を低減させるため、1 回目に試行的な解析、2 回目に本番の解析を実施した。各載荷治具に加わる荷重については、12 枚の壁要素にかかる荷重をそれぞれ取得し、載荷治具の面積で除して算出した。ひずみに関しては、セグメント内径側および外径側中央の球要素の 3 次元座標をモニタリングし、各載荷段階における球要素の中心間距離の合計値の変化からひずみを算出する。

4. 比較結果

図-3 に実験結果と解析結果の応力ひずみ関係を示す。なお、圧縮側を負、引張側は正とする。このとき、各セグメントの最大応力値およびひずみ値の絶対値が異なる結果となった。しかしながら、応力ひ

ずみ挙動について K セグメントに隣り合う B セグメントにおいても実験結果の傾向を捉えることがわかった。

5. まとめ

本研究では、3 次元個別要素法を用いて無筋コンクリートセグメントの偏圧載荷・除荷試験の再現解析を試みた。比較結果より、最大応力および最大ひずみともに実験結果よりも小さくなるが、偏圧載荷・除荷時に引張ひずみを呈するなど、実験結果の傾向を捉えうることを示した。

参考文献

- 1) 伯野元彦(1997)『破壊のシミュレーション—拡張個別要素法で破壊を追う—』pp10-55 森北出版株式会社
- 2) Catherine O'Sullivan 原著 鈴木輝一 訳(2014)『粒子個別要素法 Particulate Discrete Element Modelling : A Geomechanics Perspective』pp10-140 森北出版株式会社