

## シールドセグメント模型に対する等方圧載荷除荷の個別要素シミュレーション

	東京都市大学大学院	学生会員	○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
(独) 労働者健康安全機構	労働安全衛生総合研究所	正会員	平岡 伸隆
	東京都市大学	正会員	伊藤 和也

## 1. 研究背景

シールドトンネルは、施工中にシールドマシンとセグメントの競合などによって施工時荷重が発生する場合があります。これに起因したセグメントの損傷や欠損を引き起こす可能性が高まる。しかし、施工時荷重の発生は多岐の要因で発生するため、これらの変状を予測することが困難である。そのため、設計や施工段階で施工時荷重による影響を把握することができる手法が求められている。本研究では、セグメントの破壊メカニズムを個別要素解析によって検討することを目的とし、作製したセグメント模型に対する単体曲げ試験および載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

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。単体曲げ試験では、セグメントの基本的な強度特性把握を行う。同寸法の A1, A2, A3 セグメントに対して単体曲げ試験を行った。1mm/min の一定速度で底盤を上昇させ、セグメント模型を固定端の上盤に接触させることで曲げモーメントを発生させる。一軸圧縮機に設置したロードセルにより荷重を測定した。セグメント模型の内径および外径の中央部に接着したひずみゲージによってひずみを測定した。また、荷重時にひずみゲージを保護するため外径側に 2 枚のテフロンシートを貼り付けた。載荷除荷試験では、セグメント模型がリングを形成した状態で円周から圧力を加え、セグメントの力学挙動を可視化する。本実験では、周面載

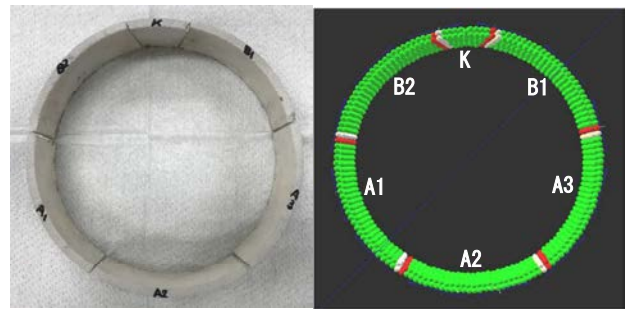


図-1 セグメント模型(左：模型，右：解析)

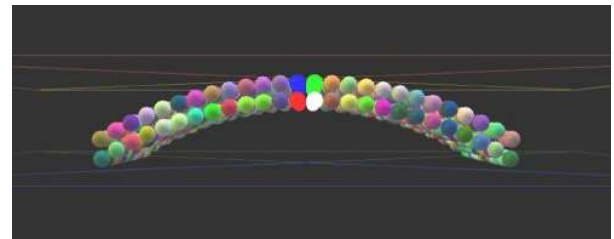


図-2 単体曲げ試験の解析モデル

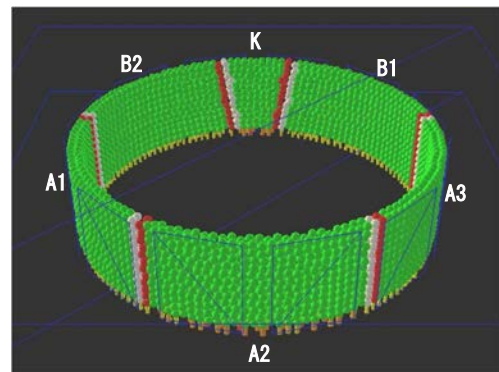


図-3 載荷除荷試験の解析モデル

荷除荷装置を用いて等方載荷除荷を行った。鋼製円筒の周囲に設置された計 12 個のジャッキを同時に伸縮することで載荷除荷を行う。まず、全体的に 320kPa まで段階的に載荷し、その後 0kPa まで段階的に除荷した。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、セグメント模型とジャッキの間にはそれぞれ 40×30mm の載荷ジグを設けてある。

キーワード シールドトンネル、セグメント、個別要素法、単体曲げ試験、載荷除荷試験

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-5707-0104

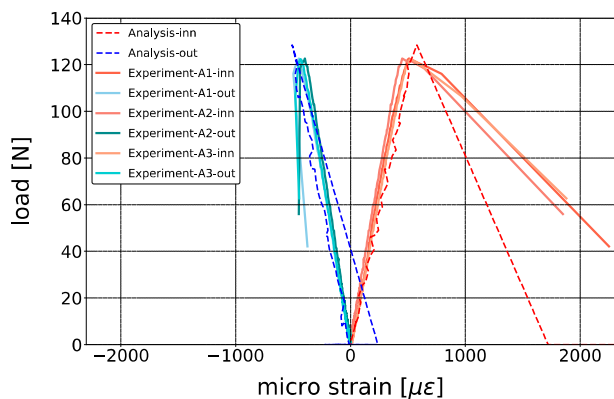


図-4 荷重ひずみ関係 (実験+解析)

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

豊浦砂を球要素で、セメントペーストをコンタクトボンドで表現した。法線および接線方向の剛性は、一軸圧縮試験から得られたコンクリートの圧縮強度およびセグメント単体曲げ試験の破壊引張りひずみから算出した。コンタクトボンドは球要素と同様の剛性を有するものとした。隣り合う球要素が丁度接するように合計 140 個程度の球要素を内円および外円に配置した。また、K セグメントがテーパ構造を有しているため 3 次元の解析である。载荷治具や上面と底面の固定板については、壁要素でモデル化した。図-1 に初期粒子配置を示す。解析ソフトは Yade (version: 2020.01a)を用いた。

単体曲げ試験の解析では、図-2 に示すように底盤にモデルを設置し、上盤を移動させることで荷重を発生させた。荷重値は上盤の平均荷重を取得し、ひずみ値はセグメントの弧の長さに対して中心から左右に弧長の 1/4 ずつ離れた位置までの粒子の座標値から計算した。

载荷除荷試験の解析では、図-3 に示すように载荷治具を 12 枚モデル化し、すべて直板とした。载荷治具から荷重値を取得し载荷治具の面積で除して载荷圧を算出した。ひずみ値は、単体曲げ試験と同様である。また、载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。データは 2 回目の解析結果をまとめた。1 回目と 2 回目は連続して解析し、計測開始から 1360000 ステップで終了させた。これは解析内の時間に換算すると 0.8 秒となる。

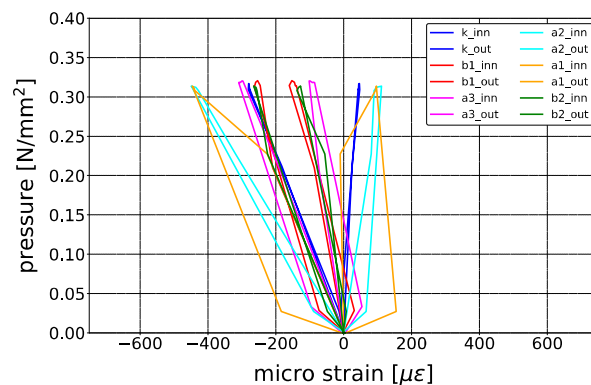


図-5 圧力ひずみ関係 (解析)

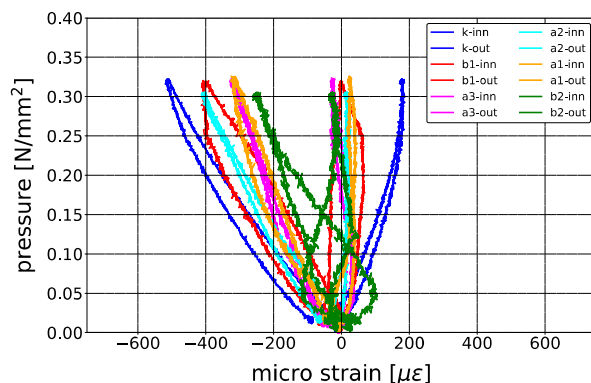


図-6 圧力ひずみ関係 (実験)

### 4. 比較結果

図-4 に単体曲げ試験と解析の荷重ひずみ関係、図-5 と図-6 に载荷除荷試験と解析の圧力ひずみ関係を示した。いずれも正が引張側、負を圧縮側としている。図-4 より、実験値と解析値は内径ひずみおよび外径ひずみにおいて挙動がほとんど一致している。また、図-5 と図-6 より、解析値と実験値の最大圧力値およびひずみ値の絶対値が同程度となるような結果が得られた。

### 5. まとめ

本報では、セグメント模型の単体曲げ試験および载荷除荷試験の個別要素解析を評価した。その結果、個別要素解析によりセグメントの力学挙動を評価できることが示唆された。

### 参考文献

- ・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
- ・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