

施工時荷重に起因したセグメント挙動の検討

東京都市大学 学生会員○今井 鋭

(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. はじめに

シールドトンネルは、通常、セグメントリングが構築された状態において、地山から受ける土圧や水圧を考慮し設計される。その際、周辺環境の変化や施工時にセグメントに加わるシールドマシンに起因した荷重を考慮しない場合が多い。しかしながら、施工時にシールドマシンのジャッキの押し引きに起因した荷重やシールドマシンとセグメントの競りによる荷重が発生する場合があります、それらを間接的な原因とした事象も報告されている。シールド工法の安全性をより向上させるためには、それらの施工時荷重のセグメントへの影響を検討することが必要である。本報告では、セメントモルタルによって作成したセグメントの縮小模型に対して、円周方向から荷重を加える実験を行ったので結果を報告する。

2. セグメント模型と載荷装置

2.1 セグメント模型

模型は、6分割 (K,A1,A2,A3,B1,B2)、外径 150mm、内径 137.5mm、厚さ 6.25mm のモルタル製であり、シールド工用標準セグメントの寸法を参考にした²⁾ (図-1 参照)。模型を作製するための型枠は、塩化ビニール製の物を使用し、セグメントの分割は、厚さ 0.15mm の銅板を分割部に切れ目を入れ、差し込むことにより行った (図-2 参照)。作成方法として、あらかじめ離型剤を塗布した型枠にモルタル (豊浦砂 : 早強ポルトランドセメント : 水 = 2 : 1 : 0.65)³⁾ を流し込む、その際、小型バイブレーターを用いた加振により流動化させる。次にセグメント内の気泡を除去し、より密実にする為に、小型バイブレーターと大型バイブレーターを用いて、振動を加えた。その後、離型剤を塗布したガラス板を被せ、養生を行う。数日後、型枠から脱型し、打設から合計 28 日養生となるよう水中養生を行った。

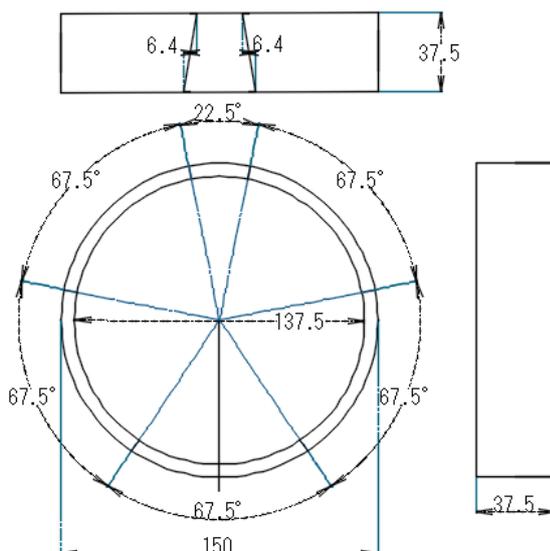


図1 セグメント寸法 (単位 mm)³⁾

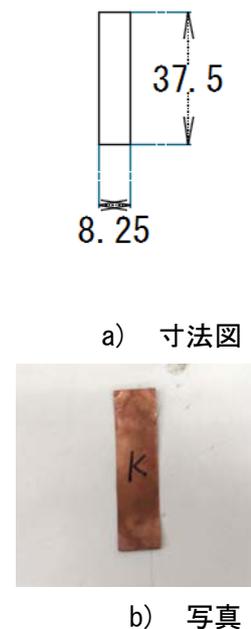


図2 セグメントの仕切り

キーワード 模型実験 セグメント 偏圧載荷・除荷

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL.03-5707-0104(代) E-mail : g1318015@tcu.ac.jp

2.2 載荷装置

載荷装置は、セグメント模型の外径よりも大きい鋼製円筒の周囲に圧力制御式の載荷装置を等間隔に 12 個設置した (写真-1 参照)。ボルトの配列は時計と同様の並びとし、1 時の方向から B11, B12, B13...とし、頂部の載荷装置を B112 としている (図-3 参照)。各載荷装置の先端には、小型のロードセルを設置できる構造とし、載荷装置とセグメントの間に、ロードセルと載荷治具 (長辺 40mm, 短辺 30mm) を設置し、集中荷重の低減と載荷荷重のモニタリングをできる構造としている。

3. 載荷実験

3.1 載荷, 除荷方法

鋼製円筒の周囲に設置された計 12 個の載荷装置に水を充填した耐圧タンクを接続し、耐圧タンク内にコンプレッサーを用いて高圧の空気を送り込み、水圧を発生させる。載荷と除荷ともに、耐圧タンクに送り込む空気の圧力を段階的に変化させることにより、載荷や除荷を行った (図-4 参照)。なお、耐圧タンクに負荷した圧力とセグメントに加わる圧力は同等ではないことに留意する必要がある。セグメントに加わる圧力については、設置した小型のロードセルの荷重値を載荷治具の断面積で除して算出した。載荷・除荷ともに、セグメントに加わる圧力を 5kPa ずつ増加・減少させ、0kPa から最大約 250kPa まで増加・減少させることが可能である。計 12 個の載荷装置は、バルブを開閉することにより、各々固定することが可能であるため、偏圧を載荷・除荷することが可能である。また、6 分割のセグメントそれぞれの内径部分中央にひずみゲージを設置し (写真-2 参照) 各セグメントのひずみの測定を行う。

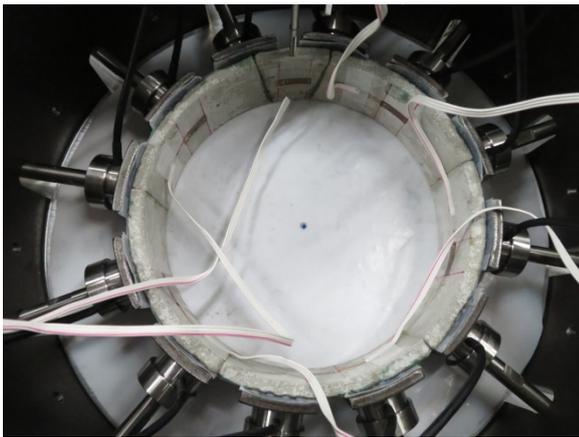


写真-1 載荷実験装置

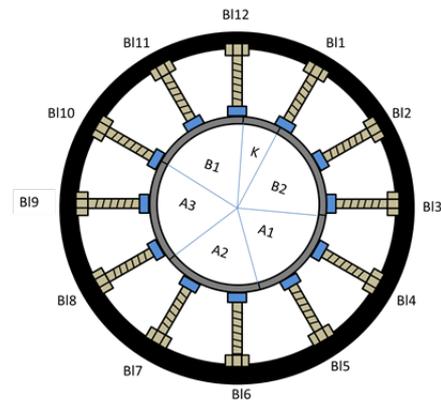


図-3 載荷装置概略

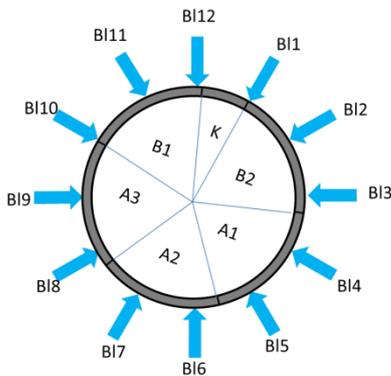


図-4 載荷方法概略



写真-2 ひずみゲージ

3.2 実験結果

実験はまずcase1として、等方的な圧力を250kPaほど载荷し、その後、0kPaまで除荷することで実施した(図-5参照)。次に、case2として、等方的な圧力を150kPaほど载荷し、セグメントリング上部のB112, B11のみ载荷を継続し、偏圧250kPaまで载荷した(図-6参照)。その後、B112, B11を等方的な圧力150kPaまで除荷し、最後にB112, B11のみ0kPaまで除荷した(図-6参照)。各セグメントの応力は、各セグメントに接触している全ての载荷治具に加わる応力を平均して求めた。

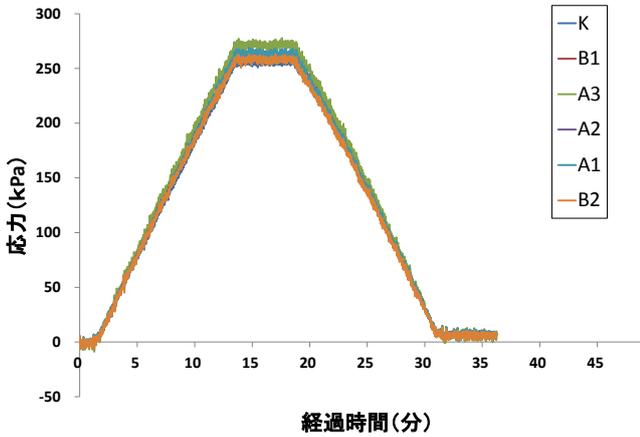


図-5 応力経時変化 (case1)

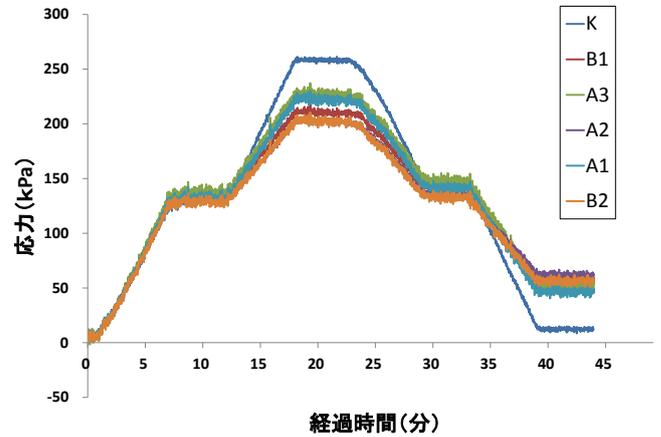


図-6 応力経時変化 (case2)

case1の結果より、本载荷装置により等方的にほぼ同程度の圧力を载荷・除荷できていることが分かる。また、case2の結果より、偏圧载荷時において、偏圧をかけているセグメント以外にも、全体的に応力の上昇が確認され、完全な除荷後も応力の残留が観測された。次に case1 のひずみの経時変化を図-7 に、case2 のひずみの経時変化を図-8 に示す。ひずみについてはセグメントが外側に開く場合を正とし、内側に閉じる場合を負としている。case1 の等方载荷では、各セグメントに同様の圧力を载荷しているが、ひずみは K セグメントにおいて高い値が観測され、また、B2 セグメントのみ外側に開くようにひずみが発生していることが分かる。その他の A1, A2, A3, B1 セグメントに関してはほぼ同様の値を示している。また、除荷後にはすべてのセグメントでひずみが 0 付近まで下がっており、弾性変形のような挙動を示している。case2 の偏圧载荷では、等方载荷に比べ、K セグメントのひずみの値が低くなり、B1, B2 セグメントで大きなひずみの値が観測された。また、除荷後も B1, B2, K セグメントにひずみの残留が確認された。

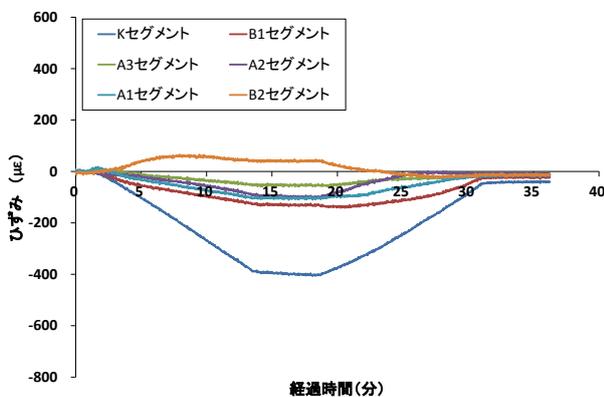


図-7 ひずみ経時変化 (case1)

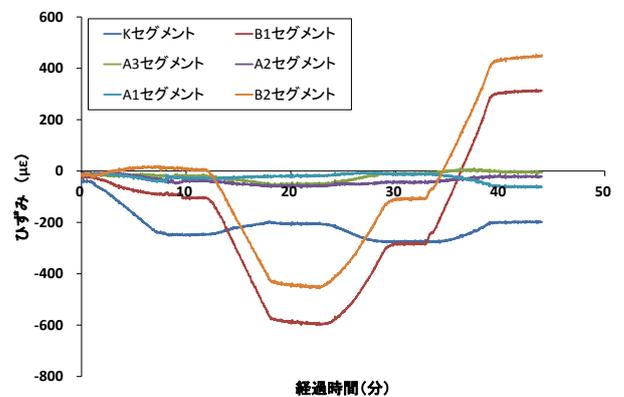


図-8 ひずみ経時変化 (case2)

応力とひずみの関係を case1 の等方载荷を図-9 に case2 の偏圧载荷を図-10 に示す. case1 の等方载荷では, K セグメントで大きな変化が起きているが, 各セグメントの応力の上昇に伴い, ひずみの値が大きくなり, 除荷による応力の減少に伴い, ひずみの値がおおよそ 0 まで戻っていることが分かる. また, ひずみの増加のしかたと減少の傾向がほぼ同様であることがわかる. case2 の偏圧载荷では, 主に偏圧の作用している K, B1, B2 セグメントのひずみが大きく変化し, K セグメントはひずみが小さくなり, B1, B2 セグメントでは, 急激にひずみが増加していることがわかる. また, 除荷後も K セグメントでは内側へ閉じるような残留ひずみ, B1, B2 セグメントでは外側に開くような残留ひずみが観測された. 一方で, A1, A2, A3 については, ほとんど残留ひずみが発生せず, ひずみが 0 付近に戻っており弾性変形内で収まっている. したがって, 载荷位置とセグメント位置によって, 局所的に残留ひずみが発生することがわかる.

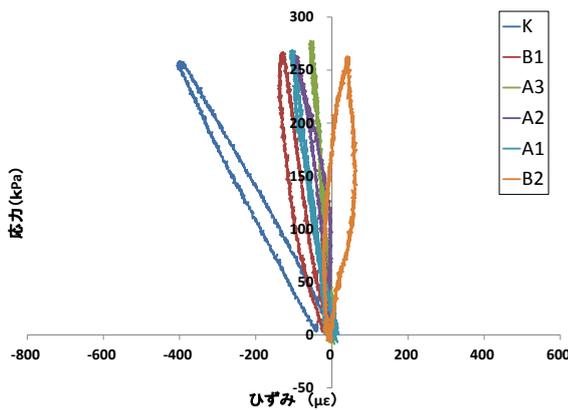


図-9 応力ひずみ関係 (case1)

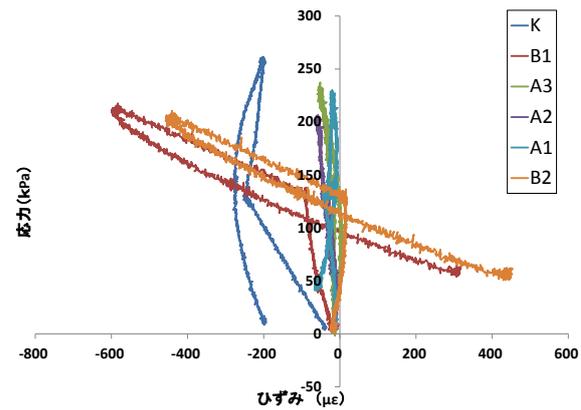


図-10 応力ひずみ関係 (case2)

4.まとめ

本実験から, 等方的な载荷に対しては, 各セグメントがほぼ同様の弾性的変形を呈すことが分かった. これに対して, 偏圧载荷時には一部のセグメントが大きく変形し, 偏圧が作用しなくなった後もわずかながら残留ひずみが確認された.

5. 参考文献

1) 独立行政法人労働安全衛生総合研究所: 岡山県倉敷市内の海底シールドトンネル建設工事中に発生した崩落水没災害調査報告書, 労働安全総合研究所ホームページ, 平成26年6月

http://www.jniosh.go.jp/publication/saigai_houkoku.html

2) 社団法人土木学会・社団法人日本下水道協会: シールド工事用標準セグメントー下水道シールド工事用セグメントーJSWAS A-3, 4-2001, 社団法人日本下水道協会, p.24, 2001.

3) 木村 亮, 足立紀尚, 小林秀人: 水平力を受ける鉄筋コンクリート群杭の終局挙動に関する遠心模型実験, 京都大学防災研究所年報, 第 38 号 B-2, pp.1-16, 1995.