

シールドセグメント模型の M - N 挙動に与える偏圧の影響

東京都市大学 学生会員 ○益子 時佳, 古畑 拓馬
 東京都市大学 正会員 伊藤 和也
 独立行政法人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
 独立行政法人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

1. はじめに

シールド工法において、地山から受ける土圧や水圧に対して完成後のセグメントリングが安定を保つよう設計される。その際、施工時にセグメントに加わる荷重を考慮しない場合もある。しかしながら、シールド機のジャッキの押し引きに起因した荷重やシールド機とセグメントの競りによる荷重を間接的な原因とした災害事例が報告されている¹⁾。本研究では、施工時荷重などがセグメントに与える影響を把握することを目的とし、無筋および鉄筋入りセグメント模型を作製し、単体曲げ試験および載荷除荷試験に供した。各セグメント模型に対して曲げモーメント (M) と軸力 (N) の破壊包絡線を求め、各セグメントの M-N 挙動を評価した。

2. 模型概要

本研究では外径 150mm, 内径 137.5 mm, 6 分割 (K, A1, A2, A3, B1, B2) のセグメント模型を作製した。セグメントの分割には、厚さ 0.15~0.2 mm の銅板を用い、型枠内に離型剤を塗布し、モルタル (豊浦砂 : 早強ポルトランドセメント : 水 = 2 : 1 : 0.65)²⁾ を打設した。この際、バイブレータを用いてモルタル内の気泡を除去した。その後、離型剤を塗布したガラス板を型枠の上に被せ養生した。また、鉄筋入りセグメントには、離型剤を塗布した後に 3 mm × 3 mm の格子状の鉄筋 (直径 0.55 mm) を内外径側それぞれに 1 枚ずつ入れ、内外径の格子状鉄筋間に直径 3 mm, 長さ 37.5 mm の鉄筋を挟むことで内外径それぞれの鉄筋のかぶりを一定に保った。その後は無筋の場合と同様に作業を行った。モルタル打設から数日後に型枠から脱型し、その後、養生日数が合計 28 日となるよう水中養生した。

3. 単体曲げ試験

A1, A2, A3 セグメントに対して単体曲げ試験を実施した。圧縮試験装置の下部底盤にセグメント模型を設置し底盤を一定速度 1mm/min にて上昇させ、固定端である上盤にセグメント模型を接触させることで、曲げモーメントを発生させた。上盤に接続されたロードセルを用いて荷重を計測し、セグメント模型の内径および外径側の中央部にそれぞれひずみゲージを貼り付け、セグメント外径側のひずみゲージ上にテフロンシートを 2 枚敷き、ひずみゲージを保護した状態で載荷を行った。単体曲げ試験で得た無筋および鉄筋入りセグメントの荷重ひずみ関係を図-1 に示す。荷重ひずみ関係から、無筋および鉄筋入りセグメントともに 400 $\mu\epsilon$ 付近で降伏点が見られ、コンクリートが破壊又は損傷していることがわかる。両者を比較すると、降伏点まではどちらも荷重ひずみ関係の傾きが同等であり、かつ同等の降伏荷重を示していることから再現性の高い模型を作成できたと考えられる。その後、無筋セグメントは急激に荷重が低下し脆性的な破壊を呈し、一方、鉄筋入りセグメントは降伏後もひずみの増加とともに荷重が緩やかに増加し延性的な挙動を呈している。

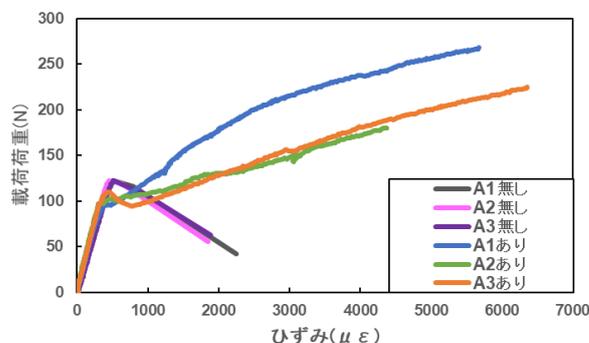


図-1 荷重ひずみ関係

4. 載荷除荷試験

鋼製円筒の周囲に設置された計 12 個のジャッキよ

キーワード シールド, セグメント, 曲げモーメント, 軸力, 破壊包絡線

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-5707-2202

り、鉄筋入りセグメントリングに対して載荷除荷試験を実施した。載荷除荷装置を図-2に示す。ジャッキは、水圧により圧力を加え、等方圧や偏圧を載荷除荷することが可能である。実験条件として等方圧と偏圧の2つの載荷除荷方法を実施した。等方圧では、等方的な圧力を320 kPaほど載荷し、2.5分間待機した後0 kPaまで除荷した。次に、偏圧として、等方的な圧力を160 kPaほど載荷し、A1セグメントに対する載荷除荷ジャッキであるHJ8, HJ9のみ載荷を継続し、偏圧320 kPaまで載荷した。その後、HJ8, HJ9を0 kPaまで偏圧除荷した。最後にHJ8, HJ9のみ160 kPaまで載荷し等方圧に戻した後、全てのジャッキを0 kPaまで等方的に除荷した。また、等方圧、偏圧ともに毎分25.6 kPaずつ圧力を段階的に増減させ載荷除荷を実施した。

M-N 破壊包絡線³⁾を算出において、純曲げの破壊点は、単体曲げ試験から求めた。また、圧縮力、引張力の破壊点を別途実施したモルタルの一軸圧縮試験の圧縮強度から求めた。さらに、釣り合い破壊点は参考文献³⁾を参考に求めた。これらの破壊点の4点を結んだ線をコンクリートの破壊包絡線とした。鉄筋入りセグメントの等方および偏圧載荷除荷時のM-N関係を図-3, 4にそれぞれ示す。等方時では、M-N破壊包絡線内に各セグメントの挙動が確認され、各セグメントの軸力は負の値を示していることから軸方向に圧縮力が働いていることが分かる。除荷後には全てのセグメントの曲げモーメントと軸力が0付近まで戻っていることから弾性変形のような挙動を呈することが確認できる。一方、偏圧載荷時では、偏圧を受けるA1, A2セグメントは載荷していくとM-N関係の第三象限に向かって挙動を示し、偏圧除荷すると、第二象限に向かい純曲げと似たような挙動を呈す。A1セグメントにおいては、コンクリートの破壊包絡線を超過しており、A1セグメントのコンクリート部分が損傷している可能性が示唆される。

6. まとめ

セグメント模型に対する単体曲げ試験と載荷除荷試験から、曲げモーメントと軸力を求めることで各セグメントの挙動を評価できることがわかった。単体曲げ試験では、鉄筋を入れたことにより延性的な破壊を呈した。また、セグメントリングに対する載荷除荷試験からは、施工時荷重のような偏圧が作用する場合には、偏圧を受ける箇所は曲げモーメントが増減し、場合によってはコンクリートの破壊包絡線を超過し、コンクリート部分が損傷する可能性が示唆された。

参考文献

1)独立行政法人労働安全衛生総合研究所:災害調査報告書「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壊水没災害」, https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/pdf/saigai_houkoku_2016_02.pdf#zoom=100, 2014年6月。(2020年3月23日閲覧)

2)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.

3)吉川弘道: 鉄筋コンクリートの設計 - 限界状態設計法と許容応力度設計法-, 212p., 丸善出版株式会社, 1997.

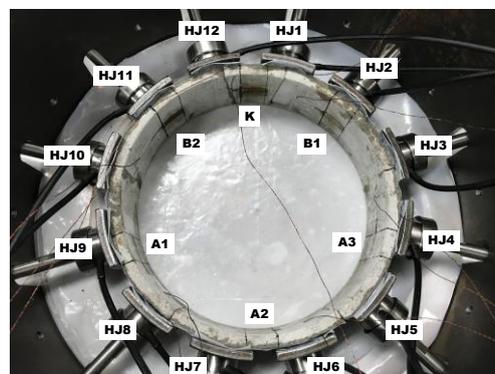


図-2 載荷除荷装置の概略図

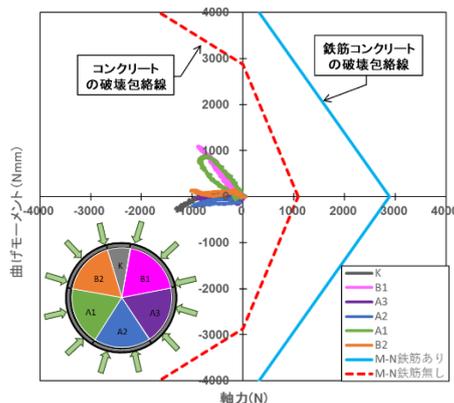


図-3 M-N関係 (等方圧)

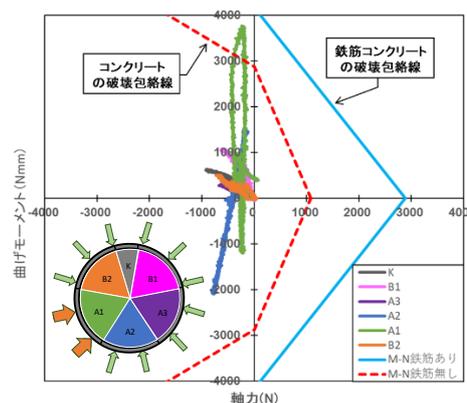


図-4 M-N関係 (A1に偏圧)