模型セグメントに対する載荷・除荷装置の試作

東京都市大学 学生会員〇今井 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 平岡 伸隆 東京都市大学大学院 学生会員 佐藤 芙美 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、地山から受ける等方的な 土圧や水圧を考慮し設計される.その際、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、それらを間接的な原因とし た事故事例も報告されている¹⁾.そこで本研究では、 施工時荷重がセグメントへ与える影響を検討するこ とを目的とし、モルタルを用いて作製したセグメン トの縮小模型に対して、単体の曲げ耐力およびセグ メントリングの載荷除荷特性を評価した.

2. セグメント模型

本研究では、シリコン製(写真-1参照)の外径 150mm, 厚さ5mm, 10mmの型枠を用いて, 5分割 (K, A1, A2, B1, B2)のセグメント模型を計2種 類(厚肉 10mm, 薄肉 5mm)作製した. セグメント の分割には、厚さ 0.15~0.2mm の銅板 (図-2 参照) を用いた. セグメント分割部にあらかじめ切れ目を 入れ銅板を差し込み,型枠内に離型剤を塗布した後, モルタル (豊浦砂:早強ポルトラントセメント:水 =2:1:0.65)³⁾を打設した.この際,小型バイブレ ーターを用いた加振により流動化させた. つぎにセ グメント内の気泡を除去し、より密実にするために 小型バイブレーターと大型バイブレーターを用いて 加振した. その後, 離型剤を塗布したガラス板を型 枠の上から被せ,養生した.本実験では,モルタル 打設から数日後に型枠から脱型し、その後は養生日 数が合計28日となるよう水中養生した.



写真-1 シリコンゴム型枠



図-2 セグメント分割銅板

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 地盤環境工学研究室 g1318015@tcu.ac.jp

3. 単体曲げ試験

3.1 実験概要

実験では、写真-2に示すような、軟岩用の一軸圧 縮試験装置を用いて**写真-3**に示す各セグメント模型 のAタイプのセグメントに対して単体曲げ試験を実 施した. 試験装置は、上部載荷盤が球座を有した固 定端であり、下部にペデスタル(底盤)を有する構 造である. 下部ペデスタルにセグメント模型を設置 し、下部ペデスタルが一定速度 1.0mm/min で上昇す る. その後、セグメント模型が固定端である上部載 荷盤に接触することでセグメント模型に対して曲げ モーメントを生じさせる.載荷盤の上部に設置され たロードセルを用いて荷重を計測し、 セグメント模 型の内径側に設置したひずみゲージによりひずみを 計測した. また, セグメント模型と下部ペデスタル の間に2枚のテフロンシートを敷設することにより, セグメントとペデスタルの摩擦による影響を低減し ている.



写真-2単体曲げ試験の様子



写真-3 セグメント模型

3.2 試験結果

単体曲げ試験の結果として、応力ひずみ関係を図-2 に示す.図-2より各セグメントとも、荷重の上昇に伴い、ひずみが線形に増加している.また、厚さ10mm では、約150Nで曲げ破壊が発生している.厚さ5mm のセグメントでは、荷重が約35Nで曲げ破壊が発生 している.厚さによらず、各セグメントともひずみ が300~450μεで曲げ破壊が発生している.写真-4 に試験後のセグメント模型を示す.写真のように中 心部分で曲げ破壊が発生していることが分かる.



写真-4 載荷後のセグメント



図-3単体曲げ試験の応力ひずみ関係



4. セグメントリングに対する載荷除荷試験

4.1 試験概要

鋼製円筒の周囲に設置された計12個のジャッキによ り、セグメントリングに対して載荷・除荷試験を実 施した(図-3参照). 圧力を段階的に変化させること により、載荷と除荷を行った(図-3,写真-5参照). 載荷・除荷ともに、圧力は0kPaから5kPaずつ、最 大約250kPaまで増加および減少させることが可能 である.計12個の載荷装置は、バルブを閉じること により、ジャッキを強制的に固定することが可能で あるため、等圧載荷・除荷に加え、偏圧を載荷・除 荷することも可能である.

載荷・除荷試験では、各セグメントリングに対し て Case1 として等方載荷・除荷試験を実施した後、 Case2 として偏圧載荷・除荷を実施した.等方載荷・ 除荷試験では、圧力 0kPa から 250kPa まで等方的に 載荷した後、5 分程度待機した後、250kPa から 0kPa まで等方的に除荷した(図-4 参照).

一方,偏圧載荷・除荷試験では,圧力 0kPa から 150kPa まで等方的に載荷した.その後,Kセグメン トに対する載荷除荷ジャッキである Bl1 および Bl12 のみ 250kPa まで載荷した(図-5参照).この時,Bl1 および Bl12 以外のジャッキについては変位を固定し ている.なお,ジャッキの変位を固定しただけであ るため,圧力はセグメントの変形に応じて変化する ことに留意する必要がある.次に,Bl1 および Bl12 のみ 150kPa まで除荷した後,Bl1 および Bl12 のみ 0kPa まで除荷した.さらに,Bl1 および Bl12 のみ 150kPa まで載荷し,等方的な状態に戻した.最後に, 固定していたジャッキを解放し,等方的に 0kPa まで 除荷した.



写真-5 載荷装置



図−4 等方載荷方法概略 図−5 偏圧載荷方法概略

4.2 実験結果

厚肉セグメントに対する試験時の応力とひずみの 関係を図-6と図-7に、薄肉セグメントに対する試験 時の応力とひずみの関係を図-8と図-9に示す.同図 には、単体曲げ試験から得られた破壊時のひずみ 300 ~450με を網掛けで示している。

これらの図から,厚肉セグメントにおいては,等 方圧下および偏圧下,どちらにおいても破壊時のひ ずみには到達していないことがわかる。特に,等方 圧においては線形関係が得られており,完全に除荷 した後にはひずみが0に戻っている.

一方,薄肉セグメントにおいては,等方圧下,偏 圧載荷時両ケースで残留ひずみが生じている.また, 単体曲げ試験時のひずみ300~450µε以上のひずみが 偏圧載荷および偏圧除荷時に発生しており,セグメ ントが薄肉になることでセグメントが損傷しやすく なることがわかる.



4.まとめ

本研究では、モルタルを用いて作製したセグメン トの縮小模型に対して単体曲げ試験を実施し、また セグメントリングに対して円周方向から様々な圧力 を載荷除荷する試験を実施した. 単体曲げ試験から は、セグメントの厚さが厚い方が曲げ耐力は大きい が、一方でセグメントの厚さによらず、破壊時のひ ずみは 300~450με であることがわかった. セグメン トリングに対する載荷除荷試験からは、等方的な載 荷・除荷に対しては、各セグメントが弾性的な変形 を呈し、一方、偏圧載荷・除荷時には一部のセグメ ントが大きく変形し、完全に除荷した後もわずかな がら残留ひずみが確認された.また、セグメントの 厚さが薄肉の場合、単体曲げ試験から得られた破壊 時のひずみ300~450µε以上のひずみが計測される場 合もあり, 薄肉セグメントに偏圧が作用する場合に はセグメントが損傷する可能性も示唆された.なお, 今回の一連の実験では、 セグメントに有効な引張抵 抗材(鉄筋等)を挿入しておらず、得られた破壊ひ ずみも参考値であることに留意する必要がある. 今 後は、繊維補強材等を配合時に混入し、引張抵抗を 有したセグメント模型を作成し、より実際に近い形 のセグメント模型を作製する予定である.

参考文献

- 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
- 1. http://www.jniosh.go.jp/publication/saigai_houkoku.ht ml
- 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-JSWAS A-3, 4-2001,社団法人日本 下水道協会, p.24, 2001.
- 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.