

セグメント切削シールド工法の開発 (その5 : 大口径切削セグメント単体曲げ試験)

前田建設工業 (株) 正会員 ○森 芳樹 松井 芳彦
 正会員 宮澤 昌弘
 ジオスター (株) 正会員 藤野 豊

1. はじめに

セグメント切削シールド工法は、大規模道路トンネルの分岐合流箇所を合理的に非開削で施工することを目的として開発を進めている工法である。切削セグメントのセグメント構造と耐力の基本性能については検証済みである¹⁾。本編では、大口径セグメントの力学的挙動や耐力等の性能を把握するために単体曲げ試験を行い、良好な結果を得たのでここに報告する。

2. 目的

これまでの外径φ1,800mmの単体曲げ試験等の結果から、切削セグメントの材料として 1)軽量骨材コンクリートを使用すること、2)炭素繊維の補強筋は平置き配置型の多段配筋とすること、3)スターラップが必要であること、また、切削セグメントの設計方法として 4)ヤング係数比 $n=7.1$ としたRC理論が適用できることがわかった。実施工を想定した場合、これらのことが大口径セグメントにおいても適用できるか確認する必要がある、今回実施することとした。

3. 大口径単体曲げ試験の概要

3.1 試験体

試験体の寸法は、外径φ12,830mm、桁高500mm、幅1,500mm、内径側の弦長4,046mmで

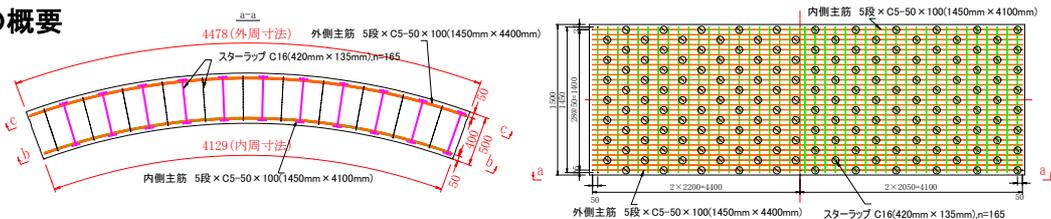


図-1 試験体構造概要

ある(図-1)。これまでの知見から、セグメントの切削性、製作性を考慮して、コンクリートは軽量骨材コンクリートを使用し、補強筋は炭素繊維格子筋の多段配筋とし(写真-1)、スターラップはせん断破壊が曲げ圧縮破壊より先に起こらない量を算定し設置した。詳細を表-1に示す。



写真-1 筋材組立状況

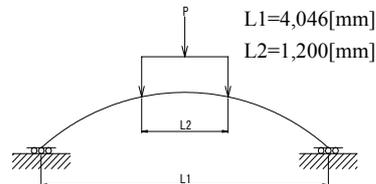


図-2 試験モデル

3.2 試験方法

水平2点荷重両端可動方式とした。試験モデルを図-2、試験前状況を写真-2に示す。



写真-2 試験前状況

表-1 試験体の材料

種類	コンクリート	補強筋	スターラップ
強度	軽量骨材コンクリート $\sigma_{ck}'=42[\text{N}/\text{mm}^2]$	炭素繊維格子筋 $\sigma_{st}=1,200[\text{N}/\text{mm}^2]$	炭素繊維筋 $\sigma_{st}=1,200[\text{N}/\text{mm}^2]$
ヤング率	$E_c=1.9 \times 10^4[\text{N}/\text{mm}^2]$	$E_s=1.0 \times 10^5[\text{N}/\text{mm}^2]$	$E_s=1.0 \times 10^5[\text{N}/\text{mm}^2]$
その他	圧縮試験結果: $\sigma_{c'}=60[\text{N}/\text{mm}^2]$ $E_c=2.1 \times 10^4[\text{N}/\text{mm}^2]$	C5×5 段×29 本 引張補強筋比 =0.28%	C16×165 箇所 (7.5 本@200[mm])

キーワード シールドトンネル、分岐合流、切削セグメント、軽量骨材コンクリート、単体曲げ試験

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-26 前田建設工業 (株) 土木本部土木技術部 TEL 03-5276-9472

4. 大口径単体曲げ試験の結果概要

4.1 結果

試験結果概要一覧を表-2、破壊状況を写真-3、荷重～鉛直変位を図-3、荷重～ひずみを図-4に示す。

表-2 試験結果概要一覧

	理論値	理論値*	試験結果
ひび割れ発生荷重	183 [kN]	232 [kN]	310 [kN]
設計荷重	410 [kN]		
終局荷重	1,350 [kN] (設計荷重×3.3)	1,370 [kN] (設計荷重×3.3)	1,482 [kN] (設計荷重×3.6)
破壊モード	曲げ圧縮破壊とせん断破壊がほぼ同時		曲げ圧縮破壊

* : コンクリートの圧縮試験結果に基づいた物性値を使用して算定

鉛直変位とひずみは、ひび割れ発生前は全断面有効としたRC理論とほぼ一致する挙動となった。その後、荷重が310～400kNの間にひび割れが断続的に起こり変位やひずみが急激に増加した。それ以降の挙動については、鉛直変位、ひずみともに直線的に増加した。特にひずみは、補強筋、コンクリートともに炭素繊維のヤング係数を考慮したヤング係数比 $n=7.1$ としたRC理論値とほぼ同じ挙動になることが確認できた。最終的な破壊は理論値を上回る荷重で圧縮側コンクリートが曲げ圧縮破壊した。破壊時には内面側コンクリートに剥離は生じなかった(写真-3)。

4.2 考察

(1)耐力：設計荷重410kNに対して終局荷重の実測値は1,482kNであり、3倍以上(3.6倍)の強度を確保したことから、十分な耐力を有していると考えられる。

(2)スターラップ：理論値では曲げ圧縮破壊とせん断破壊を同レベルとしたが、試験結果は曲げ圧縮破壊であった。スターラップによりせん断破壊が抑制されたと考えられる。また、内面側コンクリートの剥離がなかったことから、スターラップにより引張側補強筋が位置を保持され、内面側へはらみ出さなかった効果もうかがわれる。

(3)切削セグメントの設計手法：ひずみの挙動から、RC理論による設計が大口径にも適用できると考えられる。ただし、ひび割れ発生後に同じ荷重で鉛直変位の実測値が理論値よりも大きくなる傾向が見られた。これは、一般のRCセグメントに使用される異形鉄筋は鉄筋の節によって定着しているのに対して、今回使用した補強筋は格子状の幅方向の部材によって定着しており、補強筋とコンクリートの定着機能に相違があること、段重ねの内部の微小な滑りがあること等の理由が考えられる。今後は補強筋の径を太くして段数を減らす等の改善が必要と考えられる。

5. まとめ

筆者らが報告した一連の『セグメント切削シールド工法の開発』における各種試験を通して、本工法が道路トンネルの分岐合流の実施工に適用可能な工法であることが確認できた。今後は、継手構造の具体化と検証、炭素繊維格子筋に適応した切削機構の改善等を行い、更なる工法の確立を目指して行きたい。

参考文献：1)森ほか：セグメント切削シールド工法の開発(その3：切削セグメント単体曲げ試験)，土木学会第62回年次学術講演会



写真-3 破壊状況（内面側）

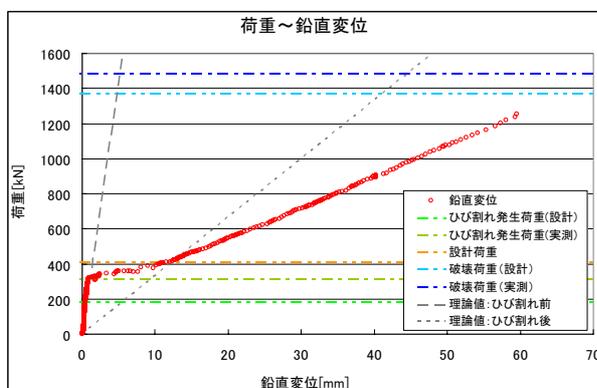


図-3 荷重～鉛直変位

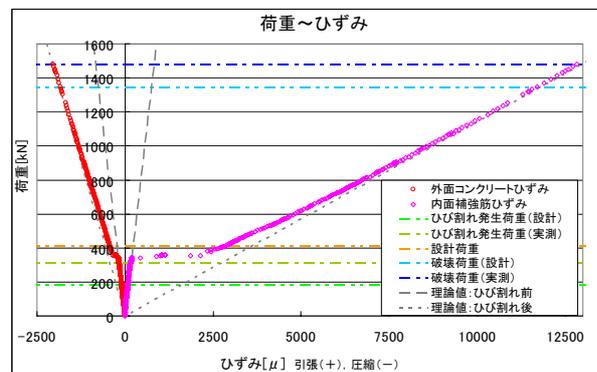


図-4 荷重～ひずみ