

セグメント切削シールド工法の開発(その7:大口径切削セグメント単体曲げ試験(2))

前田建設工業(株) 正会員 ○森 芳樹 正会員 宮澤 昌弘
 白川 元彦 佐藤 龍男
 フジミ工研(株) 正会員 森 孝臣 嶋 正文
 日鉄コンポジット(株) 正会員 林田 道弥 樋田 俊一

1. はじめに

セグメント切削シールド工法は、道路トンネルの分岐合流部を非開削で合理的に構築することを目的として開発を進めている工法である。前年までに、大口径切削セグメントの単体曲げ試験を行うことで、力学的挙動や耐力等の基本性能を有していることを確認している¹⁾。本編では、大口径セグメントの補強筋の仕様を変えた試験を行った結果を報告する。

2. 目的

前回の単体曲げ試験の結果から、φ12m 級の大口径切削セグメントについて、1)十分な耐力を有すること、2)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3)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。ただし、ひび割れ発生荷重から補強筋が許容応力度に達する荷重(以下、設計荷重と呼ぶ)までの間にひび割れが断続的に発生し、それに伴って変位やひずみが増える特徴が見られた。この原因として、多段配筋が全段で一様に挙動せず一部の補強筋へ応力が集中した可能性が考えられた。このことから、補強筋を細径の多段配筋から太径の単配筋にした試験を行い検証した。

3. 大口径単体曲げ試験(2)の概要

3.1 試験体

試験体の寸法は、外径φ11,900mm, 桁高300mm, 幅1,500mm, 内径側の弦長3,899mmで

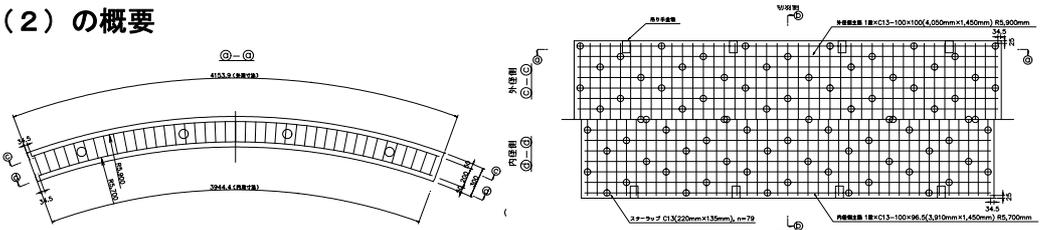


図-1 試験体構造概要

ある(図-1)。前回の試験と同様に、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た。また、補強筋は炭素繊維格子筋の太径の単配筋とした(写真-1)。詳細を表-1に示す。



写真-1 筋材組立状況

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。

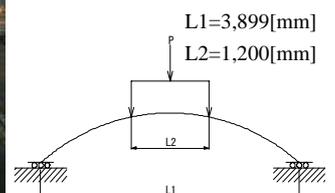


図-2 試験モデル



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 $\sigma_{ck}'=42[N/mm^2]$	炭素繊維格子筋 $\sigma_{st}=1,200[N/mm^2]$	炭素繊維筋 $\sigma_{st}=1,200[N/mm^2]$
ヤング率	$E_c=1.9 \times 10^4[N/mm^2]$	$E_s=1.0 \times 10^5[N/mm^2]$	$E_s=1.0 \times 10^5[N/mm^2]$
その他	圧縮試験結果: $\sigma_{c'}=58[N/mm^2]$ $E_c=2.0 \times 10^4[N/mm^2]$	C13(65.0[mm ²])×15本 引張補強筋比 =0.26%	C13(65.0[mm ²]) ×79箇所 (4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) 土木事業本部土木部 TEL03-5276-9472

4. 大口径単体曲げ試験（2）の結果概要

4.1 結果

試験結果概要一覧を表-2、ひび割れ状況を写真-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	68 [kN]	67 [kN]	100 [kN]
設計荷重	123 [kN]		
終局荷重	410 [kN] (設計荷重×3.3)	415 [kN] (設計荷重×3.4)	330 [kN] (設計荷重×2.7)
破壊モード	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理論とほぼ一致する挙動となった。その後、荷重が100～150kNの間にひび割れが断続的に発生し、それに伴って変位やひずみが増えた。一旦除荷、再載荷した後は、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、設計荷重の2倍以上の荷重を確保して、圧縮側コンクリートが曲げ圧縮破壊した。

4.2 考察

- (1)ひび割れの発生：ひび割れの発生後のひずみ、鉛直変位は、前回の多段配筋の場合とほぼ同様な傾向を示した。このことから、補強筋を5段重ねた場合も一部の補強筋に応力は集中しておらず、単配筋と同様に一体として挙動していると考えられる。
- (2)耐力：設計荷重 123kN に対して終局荷重の実測値は330kNであり、2倍以上（2.7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。
- (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切削セグメントに適用できると考えられる。また、鉛直変位の計測値と、 $n=7.1$ （設計値）、 $n=5.1$ （実ヤング係数比）としたひび割れ発生後の理論値を比較した結果、設計荷重の1.5倍程度までは、 $n=7.1$ で設計して問題ないと考えられる。

また、炭素繊維格子筋は主筋と直交する部材（配力筋）によって定着するものである。ひび割れの発生間隔が配力筋間隔とほぼ同じであったことから、十分な定着により均一な力の配分が行われていたと考えられる。

5. まとめ

補強筋の配筋方法を変えたセグメントによる単体曲げ試験を行い、大口径切削セグメントの基本性能を確認した。特に、補強筋を多段配筋することの妥当性を検証した。

一連の『セグメント切削シールド工法』の各種試験により、本工法が道路トンネルの分岐合流に実用可能な工法であることを確認した。

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5：大口径切削セグメント単体曲げ試験）、土木学会第63回年次学術講演会



写真-3 荷重 P=300[kN] 時のひび割れ

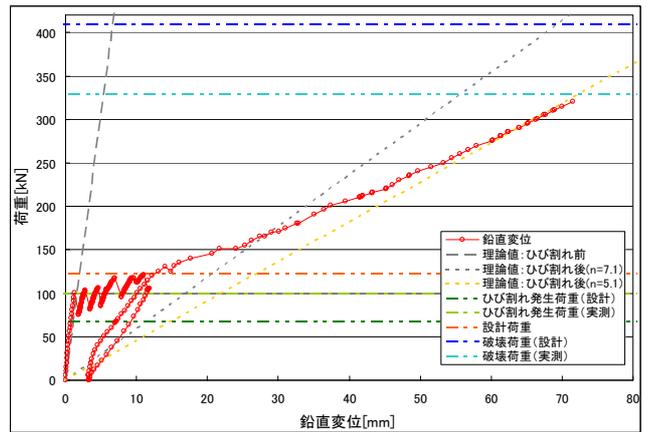


図-3 荷重～鉛直変位

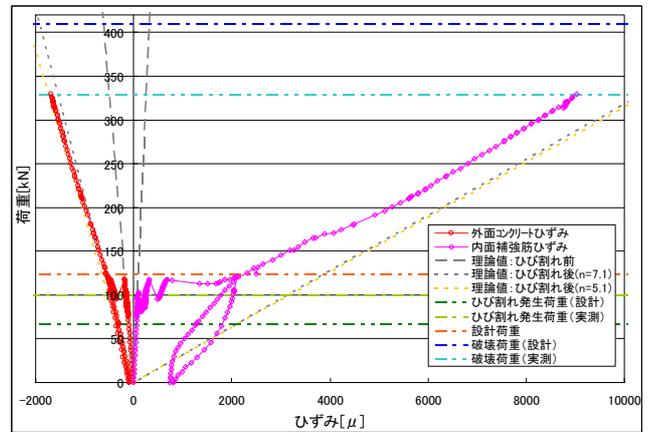


図-4 荷重～ひずみ