

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）

前田建設工業（株） 正会員 ○森 芳樹
ジオスター（株） 正会員 藤野 豊
新日鉄マテリアルズ（株） 遠藤 正巳

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施工することを目的として開発してきた工法である。切削セグメントの基本材料選定およびセグメント切削掘進の挙動については既編で述べたとおりである。本編では、セグメント構造と耐力についての基本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. 切削セグメント構造における技術課題

切削セグメントの基本構成要素は、軽量骨材コンクリートと炭素繊維筋である。この切削セグメントがセグメントとしての基本性能を有するためには、以下の技術課題を検証する必要がある。

- ①補強筋材の配置方法、②スターラップの必要性、③切削セグメントの設計手法

3. 単体曲げ試験概要

(1)試験のケース

補強筋の配置方法、スターラップの必要性について検証するために、補強筋の量、スターラップの有無についての比較試験を表-1 のとおり実施した。

表-1 試験ケース一覧

	試験の目的		コンクリート	補 強 筋	スターラップ
	RCセグメントの挙動確認	単配筋 スターラップあり			
ケース1			軽量骨材コンクリート	鉄筋 (D10×5)	---
ケース2		単配筋 スターラップなし	軽量骨材コンクリート	炭素繊維格子筋 単配筋 (C10×5)	---
ケース3	炭素繊維筋コンクリートセグメントの挙動把握	単配筋 スターラップあり	軽量骨材コンクリート	炭素繊維格子筋 単配筋 (C5×9)	炭素繊維 (C4×4)
ケース4		多段配筋 スターラップあり	軽量骨材コンクリート	炭素繊維格子筋 多段配筋 (3×C5×9)	炭素繊維 (C4×5)

(2)試験体

試験体の寸法は、外径 1800mm、桁高 125mm、幅 500mm、弦長 996mm である。ケース 4 の試験体構造図を図-1、炭素繊維格子筋の配置イメージを図-2 に示す。なお、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を円周方向に平置き配置して、必要量に応じて積み重ねていく多段配筋とした。

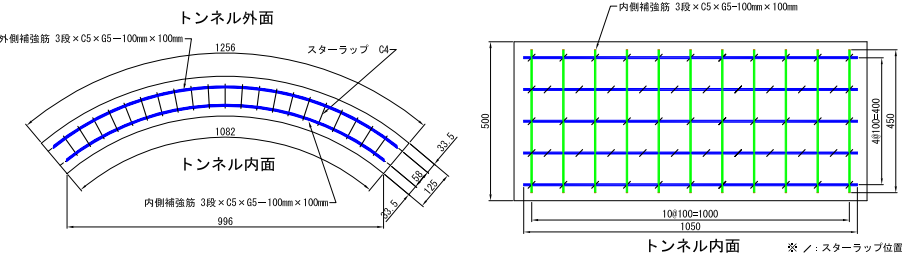


図-1 試験体構造図（ケース 4）

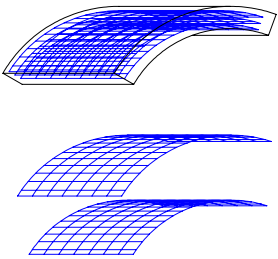


図-2 炭素繊維格子筋配置イメージ

(3)試験方法

水平 2 点载荷両端可動方式とした。試験モデル図を図-3、ケース 4 の破壊荷重時の試験状況を写真-1 に示す。

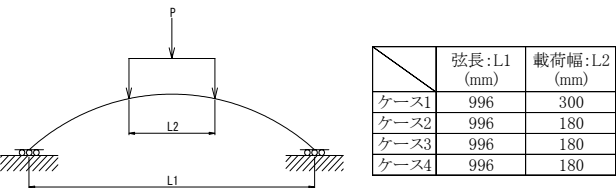


図-3 試験モデル図



写真-1 ケース 4 試験状況（破壊荷重時）

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. 単体曲げ試験結果概要

(1) 結果

試験結果概要一覧を表-2, ケース2の破壊状況を写真-2, ケース4の荷重～鉛直変位図を図-4 およびケース4の荷重～外面側コンクリートひずみ図を図-5 に示す。

表-2 試験結果概要一覧

ケース番号	ヤング係数比		n	種類	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
	種類		種類	種類	鉄筋	炭素繊維	炭素繊維	炭素繊維
条件	補強筋	ヤング係数	E_s	N/mm ²	2.10E+05	1.00E+05	1.00E+05	1.00E+05
		許容引張応力度	σ_{fa}	N/mm ²	180	360	360	360
		降伏応力度率	σ_{sy}	N/mm ²	295	1200	1200	1200
		引張強度	σ_{su}	N/mm ²	440	1200	1200	1200
		引張側補強筋	配筋		D10×5	C10×5	C5×9	3×C5×5
		圧縮側補強筋	配筋		D10×5	C10×5	C5×9	3×C5×5
	引張鉄筋比		P	%	0.751	0.373	0.244	0.396
	コンクリート	種類		種類	軽量骨材コンクリート	軽量骨材コンクリート	軽量骨材コンクリート	軽量骨材コンクリート
		圧縮強度	σ_{28}	N/mm ²	57	62	38.3	34.9
		ヤング係数	E_c	N/mm ²	2.14E+04	2.21E+04	1.69E+04	1.74E+04
理論値	スターラップ	種類		種類	炭素繊維	炭素繊維	炭素繊維	炭素繊維
		ヤング係数	E_w	N/mm ²	---	---	1.00E+05	1.00E+05
		スターラップ	Ss	mm	---	---	100	100
	曲げモーメント	ひび割れ発生荷重		Pc	kN	20.32	17.10	11.79
		設計荷重		Pr	kN	30.28	33.77	14.41
		破壊荷重		Pu	kN	68.78	115.09	48.08
	せん断力	せん断破壊荷重		Pv	kN	107.36	76.73	69.85
		ひび割れ発生荷重		Pc	kN	25.0	22.0	25.0
		破壊荷重		Pu	kN	94.4	59.0	71.3
	試験結果		破壊形態		引張鉄筋降伏に伴う圧縮側コンクリート破壊			

※炭素繊維筋は降伏点に達する前に破壊するため、理論値算出にあたり便宜上降伏点応力度を引張強度とした。

各ケース共に、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。それ以降について概要を以下に示す。

ケース1：普通コンクリートを用いた場合と同様に、引張鉄筋降伏に伴う圧縮側コンクリートの破壊形態となった。

ケース2：曲げによる理論破壊荷重前にせん断破壊を起こした。曲率を持つ補強筋が荷重を受けて内側にはらみだし、それに伴いコンクリートの剥離現象が発生した。

ケース3, ケース4：曲げによる理論破壊荷重後に曲げ主導型のせん断破壊を起こした。スターラップ配置によりケース2のような内面側コンクリートの剥離現象はなかった。

また、荷重に対する鉛直変位、外面コンクリートひずみについての計測値は、設計荷重の2.5倍程度までは炭素繊維筋のヤング係数を考慮したヤング係数比 $n=7.14$ とした理論値と同じ傾向となることを確認できた。

(2) 考察

- ①補強筋の配置方法：補強筋は、平置き配置型の多段配筋で問題ないと考える。
- ②スターラップの必要性：スターラップは、主筋を拘束し位置保持（内側コンクリートの剥離防止）を行うために配置が必要である。その必要量は、せん断耐力が曲げ耐力を上回る値と考える。
- ③切削セグメントの設計手法：変位、ひずみ等の挙動から、設計荷重の2.5倍程度までは、ヤング係数比を $n=7.14$ としたRC理論による設計が適用できると考える。

5. まとめ

現在、道路トンネルにおける合理的な分岐合流技術はシールドトンネルにおける重要な技術開発課題の一つである。筆者らが今回報告した一連の『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、セグメント切削後の接続構築方法の実証試験および実施工を想定した実物大モデルの各種実証試験を行い、本工法の更なる確立を図って行きたい。

参考文献：コンクリートライブラリー88号～連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案） 土木学会



写真-2 破壊状況（ケース2）
《補強筋の内面へのはらみに伴うコンクリート剥離》

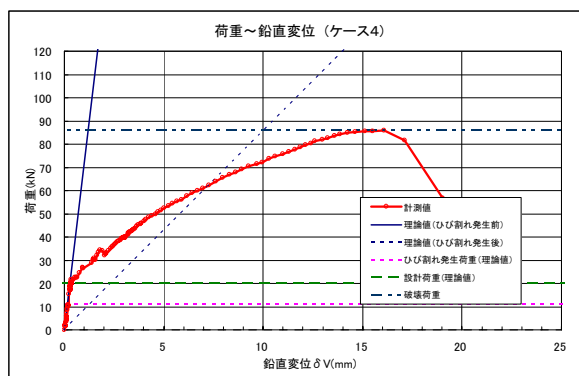


図-4 荷重～鉛直変位図（ケース4）

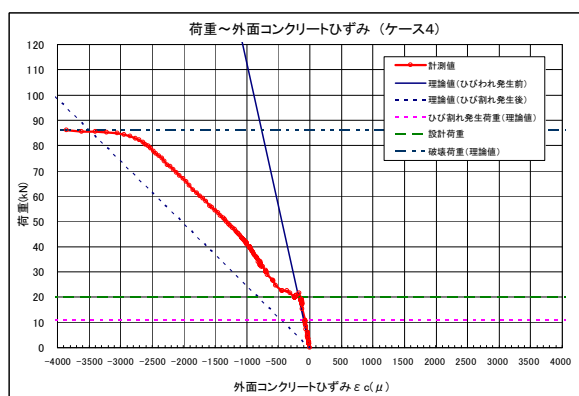


図-5 荷重～外面コンクリートひずみ図（ケース4）