

## GFRP 筋材および鋼繊維を用いた切削セグメントの開発 一部材せん断試験一

大成建設 (株) 土木設計部 正会員 ○森田 穰  
 大成建設 (株) 土木設計部 正会員 近藤 智人  
 大成建設 (株) 技術センター 正会員 村田 裕志  
 大成建設 (株) 技術センター 正会員 川端 康平  
 大成建設 (株) 技術センター 正会員 吉田 昂平

## 1. はじめに

道路トンネルの分岐合流部の非開削工事ににおいては、シールドマシンで切削可能な切削セグメントが用いられる。切削セグメントの補強筋材には、従来、CFRP 筋材（炭素繊維強化プラスチック）が用いられてきた。今回、補強筋材に GFRP 筋材（ガラス繊維強化プラスチック）を用い、コンクリートに鋼繊維を混入することで、ひび割れ抵抗性に優れ、経済的な切削セグメントを開発した。

既往の論文<sup>1)</sup>では、本切削セグメントの部材曲げ試験を実施した結果を報告した。本稿では、本切削セグメントのせん断耐力算定手法の妥当性を確認するために実施した部材せん断試験の結果を報告する。本切削セグメントの概要および使用材料を図 1 に示す。

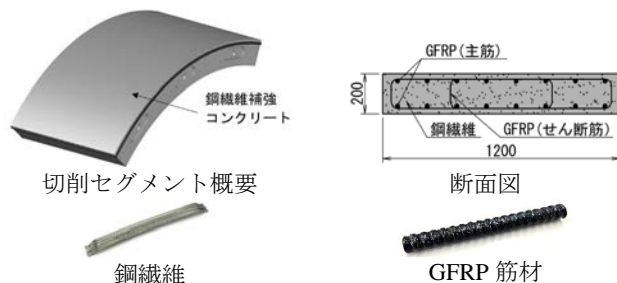


図 1 本切削セグメントの概要および使用材料

## 2. 構造概要および特徴

GFRP 筋材を用いた切削セグメントのせん断耐力は、GFRP 筋材の弾性係数が鉄筋や CFRP 筋材と比較して小さいため、鉄筋や CFRP 筋材を用いた構造と比較して小さくなる。そこで本切削セグメントでは、鋼繊維の混入により、せん断耐力を高める構造とした。せん断力に対する耐荷機構の特徴を表 1 に示す。

ここで、せん断補強筋が計算上必要な場合、既往の指針<sup>2)</sup>に準じると、鉄筋の弾性係数 (=200kN/mm<sup>2</sup>) よりも GFRP 筋材の弾性係数 (=60kN/mm<sup>2</sup>) が小さいことを補うため、最小せん断補強筋材比を両者の

弾性係数の比率分割増した 0.50% (=0.15%×(200/60)) 以上の配置とする必要があり、コスト増加の要因となる。そこで、本切削セグメントでは、鋼繊維混入による補強効果に期待し、せん断補強筋を鉄筋コンクリート構造の最小せん断補強筋材比 (0.15%) と同程度として試験を行うこととした。

表 1 せん断力に対する耐荷機構の特徴

性能	構造	鋼繊維を混入	GFRP を補強筋材に配置
コンクリートの分担力 $V_c$		せん断強度増加	ダウエル効果低下 (主筋)
せん断補強筋の分担力 $V_s$		—	GFRP による分担 (せん断補強筋)

## 3. せん断耐力算定手法

本切削セグメントのせん断耐力は、既往の指針を組み合わせて算定する。せん断耐力算定式を以下に示す。

①コンクリートの分担するせん断力  $V_c$  の算定 (既往の指針<sup>2)</sup> および既往の指針<sup>3)</sup> 参照)

$$V_c = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d \cdot \gamma_b$$

$$f_{vcd} = 0.20 \cdot (1 + \kappa) \cdot \sqrt[3]{f_{cd}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (\beta_d > 1.5 \text{ の場合は } 1.5 \text{ とする})$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_w E_{fu} / E_0} \quad (\beta_p > 1.5 \text{ の場合は } 1.5 \text{ とする})$$

$$\beta_n = 1 + M_0 / M_d \quad (\beta_n > 2 \text{ の場合は } 2 \text{ とする})$$

上記の算定式では、鋼繊維混入による補強効果を  $\kappa$  (=1.0) で評価している。また、主筋材のダウエル効果を評価する  $\beta_p$  については、GFRP 筋材の弾性係数が反映されている。

②せん断補強筋に配置する GFRP 筋材が分担するせん断力  $V_s$  の算定 (既往の指針<sup>2)</sup> 参照)

$$V_s = [A_w \cdot E_w \cdot \varepsilon_{fwd} \cdot (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s] \cdot z / \gamma_b$$

せん断補強筋が分担するせん断力  $V_s$  は、既往の指針<sup>2)</sup>に準じ算定する。ただし、本切削セグメントにおけるせん断補強筋の最小筋材量は、鋼繊維の補強効果に期待し、既往の指針<sup>2)</sup>の規定は考慮しないものとする。

キーワード 切削セグメント GFRP (ガラス繊維強化プラスチック) 鋼繊維補強コンクリート せん断  
 連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設 (株) 本社土木設計部 TEL090-4925-9655

## 4. 部材せん断試験

### 4.1. 試験概要および試験ケース

本切削セグメントのせん断耐力を確認するため、部材せん断試験を実施した。試験体は1辺250mmの正方形断面、長さ1,600mmのはり部材とし、荷重は鉛直方向の線荷重を中央1点に破壊が生じるまで載荷した。なお、せん断スパン比は2.8とし、せん断破壊が先行するよう、主筋にはGFRP筋材φ25×5本を配置した。試験体概要図を図2に示す。

試験は、コンクリートが負担するせん断力 $V_c$ を確認するため、せん断補強筋を配置しないCASE1と、せん断補強筋材が負担するせん断力 $V_s$ を確認するため、せん断補強筋材比0.2% (GFRP筋材φ8@95mm)を配置したCASE2を実施した。試験ケースを表2に、使用材料を表3に示す。

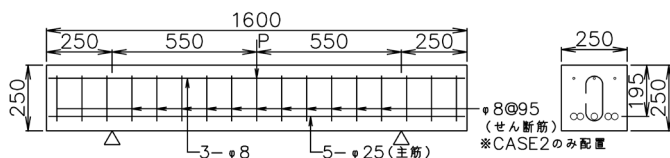


図2 試験体概要図

表2 試験ケース一覧

ケース	鋼繊維	主筋 (引張側) GFRP筋材	せん断補強筋 GFRP筋材
CASE1	1.0vol.%	φ25×5本	—
CASE2	1.0vol.%	φ25×5本	φ8@95

表3 使用材料 ([ ] 内は実強度の値)

使用材料	せん断筋： GFRPφ8	主筋： GFRPφ25	コンクリート
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1,000 [1,436]	1,000 [1,202]	—
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	—	—	60.0 [73.5]
弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	60,000 [62,600]	60,000 [51,900]	35,000 [40,700]

### 4.2. 試験結果および分析

試験により得られた荷重-変位関係を図3に、試験結果と設計値の比較結果を表4に、試験体の破壊状況を図4に示す。破壊性状は、CASE1とCASE2ともに、斜めひび割れの開口によるせん断破壊となった。試験における最大荷重については、設計値 (安全係数は既往の指針等に基づき設定した) および実強度による算定値 (安全係数は1.0とした) を上回る結果となった。実強度による算定値を上回ったのは、鋼繊維混入による補強効果 $\kappa$ が1.0以上だったことによるものと考えられる。

ここで、CASE1とCASE2の最大荷重の差は39kNであった。これは、計算上のせん断補強筋の分担力44kNと同等であり、せん断補強筋のGFRP筋材による補強効果を適切に評価できることを確認した。なお、鋼繊維の混入により、最大荷重到達後も脆性的な破壊は見られなかった。

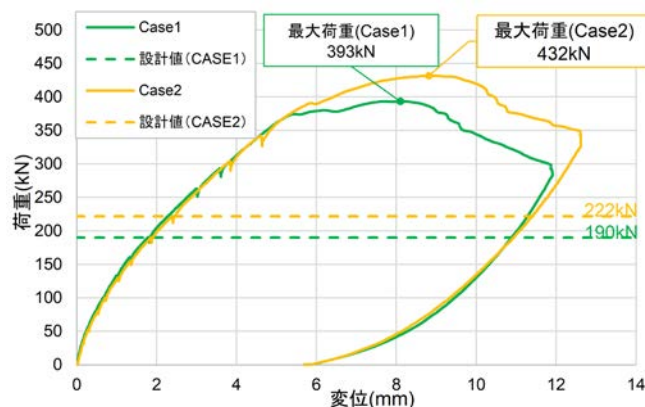


図3 荷重-変位関係 (CASE1, CASE2)

表4 試験結果と算定値の比較

ケース	設計値 (kN)	試験結果 (kN)	実強度による算定値(kN)
CASE1	190	393 (207%)	268
CASE2	222	432 (195%)	312

※ ( ) 内は設計値に対する比率



図4 試験体の破壊状況 (CASE2)

## 5. まとめ

本試験を通じて、GFRP筋材および鋼繊維を用いた切削セグメントについて、せん断補強筋材を配置しない場合およびせん断補強筋材を0.2%配置した場合ともに、既往の指針を組み合わせたせん断耐力算定式が適用可能であることを確認した。

## 参考文献

- 1) GFRP筋材および鋼繊維を用いた切削セグメントの開発 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.76,VI-641,2021
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー88 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) 平成8年9月
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー97 鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針 (案) 平成11年11月