

GFRP 筋材および鋼繊維を用いた切削セグメントの開発

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 岸山 雄多佳  
大成建設（株） 土木設計部 正会員 小阪 佳平  
大成建設（株） 土木設計部 正会員 近藤 智人

1. はじめに

道路トンネルの分岐合流部の非開削工事においては、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。

本稿では、本切削セグメントについて、土木学会で技術評価を受けた繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントの設計手法<sup>1)</sup>の適用性を確認するために行った、性能確認試験結果について報告する。本切削セグメントの概要図および使用材料を図 1 に示す。

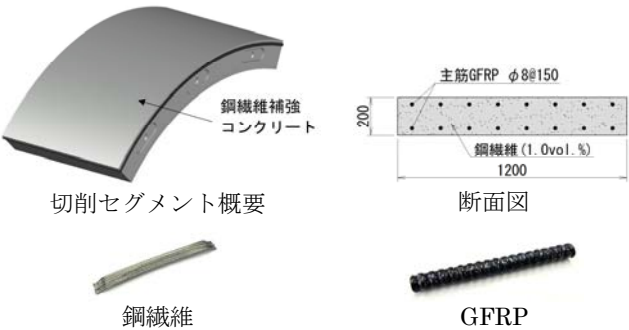


図 1 本切削セグメントの概要および使用材料

2. 本切削セグメントの構造概要

本切削セグメントで使用する GFRP 筋材は、図 2 に示すように、CFRP 筋材に比べて剛性が小さく、ひび割れ発生初期段階における応力負担が CFRP 筋材と比較して小さい。そのため、CFRP 筋材と同径の GFRP 筋材を用いた場合、ひび割れ幅を制御することが難しい。そこで、コンクリートに鋼繊維を混入することにより、ひび割れ発生初期段階のひび割れ抵抗性を高めた。また、本切削セグメントの終局限界状態においては、引張強度が鉄筋よりも大きい GFRP 筋材の特性により、高い耐荷性能を有する。

GFRP 筋材と鋼繊維補強コンクリートを用いた本切削セグメントの耐荷機構の特徴を表 1 に示す。

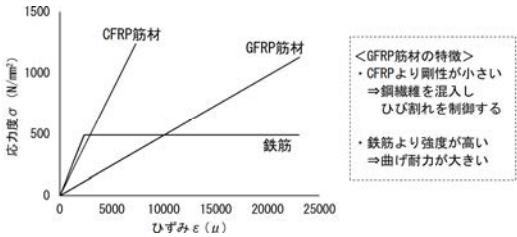


図 2 GFRP 筋材と他筋材の比較

表 1 本切削セグメントの耐荷機構の特徴

| 性能     | 構造 | 鋼繊維補強<br>コンクリート+GFRP | コンクリート<br>+CFRP |
|--------|----|----------------------|-----------------|
| ひび割れ制御 |    | 鋼繊維                  | CFRP            |
| 曲げ耐力   |    | GFRP                 | CFRP            |

3. 設計手法

本切削セグメントは、GFRP 筋材と鋼繊維の補強効果により、引張側の応力を負担する耐荷機構を有する。主断面の応力分布のイメージを図 3 に示す。鋼繊維によるコンクリートの引張側の応力分布は、破壊エネルギー試験より得られる引張軟化曲線および引張応力  $\sigma$  - ひずみ  $\epsilon$  関係から設定し設計に用いる。なお、本設計手法の詳細は参考文献<sup>1)</sup>に準じるものとする。

ここで、参考文献<sup>1)</sup>は鉄筋と鋼繊維補強コンクリートからなる構造を対象としている。それに対し、本切削セグメントは GFRP 筋材と鋼繊維補強コンクリートからなる構造であるため、本構造においても繊維補強鉄筋コンクリートと同様の設計手法が適用できるかについて、破壊エネルギー試験および部材曲げ試験により確認した。

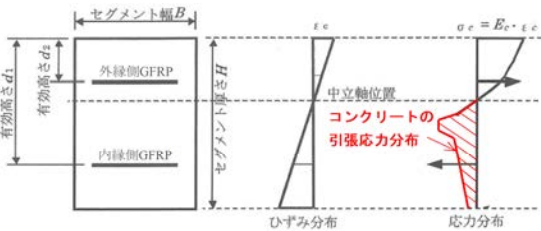


図 3 セグメント主断面の応力分布イメージ

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

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 TEL 090-4925-9655

4. 試験結果

4.1. 破壊エネルギー試験

鋼繊維補強コンクリートの引張軟化特性を確認するため、鋼繊維の種類と混入率を組み合わせた計4ケースの破壊エネルギー試験を実施した。なお、試験結果のばらつきを確認するために、各ケース4体ずつ試験を実施した。試験概要を図4に、試験ケースを表2に示す。試験より得られたケースNo.2の引張軟化曲線を図5に示す。この結果より、鋼繊維補強コンクリートは、鋼繊維を含まないコンクリートの引張強度以上の応力を分担できることを確認した。

次に、試験より得られた引張軟化曲線を基に、設計に用いる引張応力 $\sigma$ -ひずみ $\epsilon$ 関係を設定し、部材曲げ試験における曲げ耐力の算定を行った。

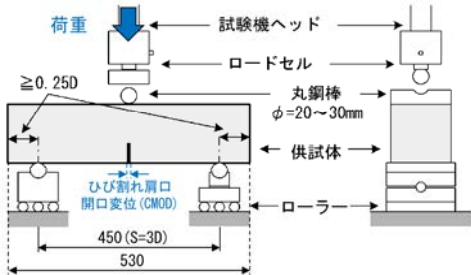


図4 破壊エネルギー試験概要図

表2 試験ケース一覧

| ケース No. | 鋼繊維種別 | 繊維混入率(vol.%) |
|---------|-------|--------------|
| 1       | 鋼繊維 A | 0.8          |
| 2       |       | 1.0          |
| 3       | 鋼繊維 B | 0.8          |
| 4       |       | 1.0          |

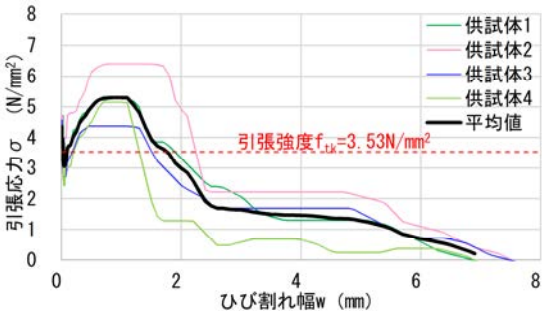


図5 引張軟化曲線（ケースNo.2）

4.2. 部材曲げ試験

本切削セグメントの曲げ耐力を確認するため、部材曲げ試験を実施した。試験体は1辺250mmの正方形断面にGFRP（ $\phi 8, \phi 12, \phi 14$ ）を配置した3ケースのはり部材を製作した。荷重は中央2点に対し、鉛直方向に線荷重（载荷スパン500mm）を試験体に破壊が生じるまで载荷した。試験概要図を図6に、試験体の荷重载荷状況を図7に示す。

部材曲げ試験より得られた荷重 $P$ -変位 $\delta$ 関係を図8に、試験結果と設計値の比較を表3に示す。試験結果より、部材曲げ試験の最大荷重は63.4（kN）となり、設計上の終局荷重46.0（kN）を上回ることを確認した。また、試験体のひび割れ発生状況を図9に示す。これにより、良好なひび割れ分散性についても確認できた。

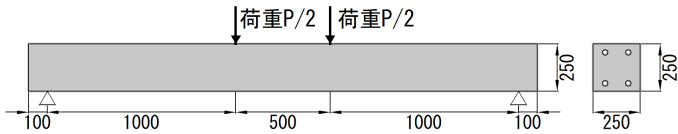


図6 部材曲げ試験概要図

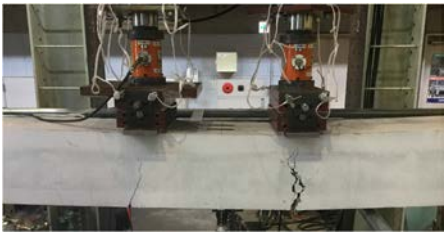


図7 試験体の荷重载荷状況

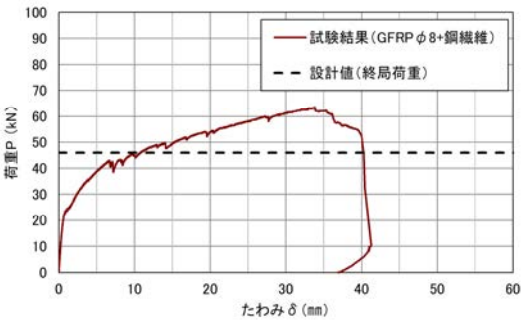


図8 荷重 $P$ -変位 $\delta$  (GFRP  $\phi 8$ , 鋼繊維 A, 1.0 vol.%)

表3 試験結果と設計値の比較

|                                | 試験結果  | 設計値   |
|--------------------------------|-------|-------|
| GFRP 破断強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 1,205 | 1,000 |
| コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )  | 76.9  | 60    |
| 終局荷重 (kN)                      | 63.4  | 46.0  |



図9 試験体のひび割れ発生状況（側面）

5. まとめ

本試験を通じて、GFRP 筋材および鋼繊維を用いた本構造においても、繊維補強鉄筋コンクリートと同様の設計手法が適用できることを確認した。

参考文献

1) 土木学会：技術推進ライブラリーNo.6 「繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントの設計・製作技術」に関する技術評価 報告書,2010