

## GFRP 筋材を用いた SFRC 梁の曲げ・せん断挙動に関する解析的検討

大成建設 正会員 ○吉田 昂平, 村田 裕志, 川端 康平, 近藤 智人, 森田 穰

## 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セグメントが用いられる。この切削セグメントの補強材に 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かつ経済的な切削セグメントを開発した。この部材について基本的な性能を確認するために実施した梁部材の曲げ・せん断載荷実験を対象に、解析にて実験結果を再現することを目的に 2 次元有限要素解析を行った。

## 2. 実験概要

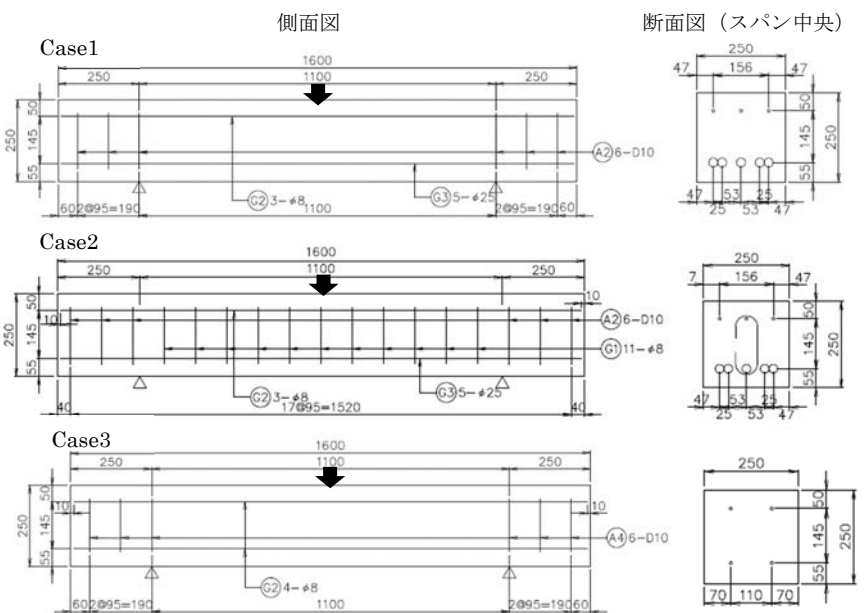
本稿で対象とした実験では、3 ケースの試験体 (Case1~3) を製作した。各ケースの試験体図面を図— 1 に、材料の物性値を表— 1、表— 2 に示す。試験体には、筋材に  $\phi 25$  及び  $\phi 8$  の GFRP 筋材、コンクリートに鋼繊維を 1.0Vol.% 混入した SFRC を使用した。Case1 と Case2 では、軸方向筋材を同様の配筋とし、せん断補強筋材によるせん断耐力への寄与度を確認した。Case3 では筋材量を減らし、最小筋材量を確認した。載荷方法は中央 1 点の静的単調載荷とした。

## 3. 解析概要

本稿では、2 章に示した実験を対象に解析コード DIANA10.5 を用いて 2 次元有限要素解析を行った。解析モデルのメッシュ図を図— 2 に示す。メッシュは一辺の大きさが 20~25mm の三角形 2 次要素とした。

SFRC の圧縮挙動には、Thorenfelt モデル<sup>1)</sup>、引張挙動には fib 繊維補強コンクリートモデル<sup>2)</sup>ならびにせん断挙動には Al-Mahaidi モデル<sup>3)</sup>を採用した。GFRP 筋材は弾性体の埋込鉄筋要素とし、下側筋材の付着—すべり挙動には、飯塚ら<sup>4)</sup>のモデルを採用した。

解析で用いた引張軟化曲線を図— 3 に、解析ケース名を表— 3 に示す。本解析における SFRC の引張挙動では、鋼繊維の配向性や分散性などを考慮して、材料試験より得られた



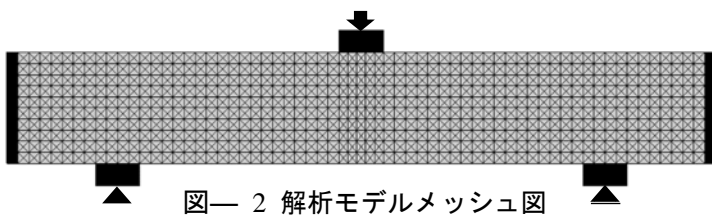
図— 1 試験体図面

表— 1 SFRC の物性値

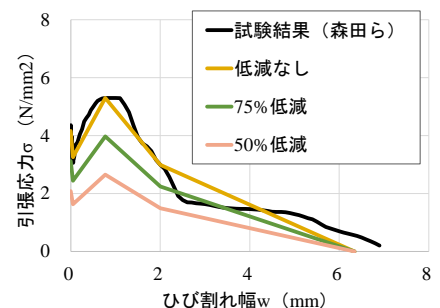
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
73.5	40700

表— 2 GFRP 筋材の物性値

	$\phi 25$	$\phi 8$
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1202	1436
弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	51900	62600



図— 2 解析モデルメッシュ図



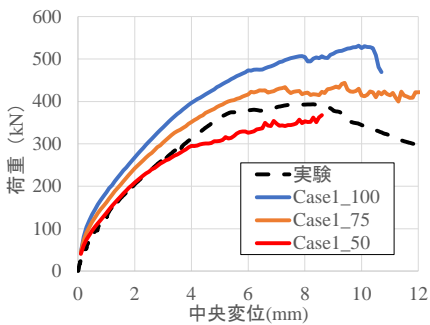
図— 3 引張軟化曲線

キーワード GFRP, SFRC, 曲げ・せん断, 有限要素解析

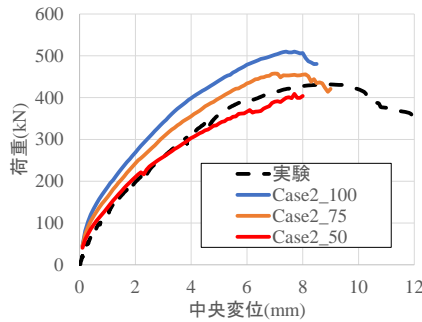
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 (株) 技術センター TEL 045-814-7221

表— 3 解析ケース

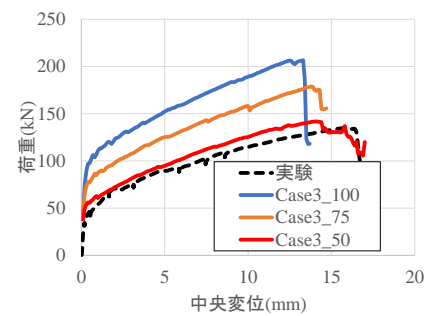
解析ケース名	Case1_100	Case1_75	Case1_50	Case2_100	Case2_75	Case2_50	Case3_100	Case3_75	Case3_50
実験ケース	Case1	Case1	Case1	Case2	Case2	Case2	Case3	Case3	Case3
引張軟化曲線	低減なし	75%	50%	低減なし	75%	50%	低減なし	75%	50%



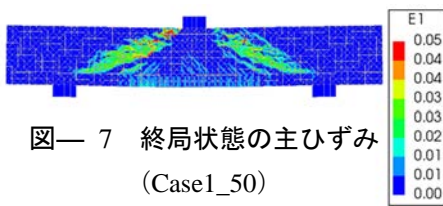
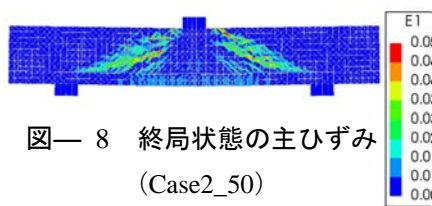
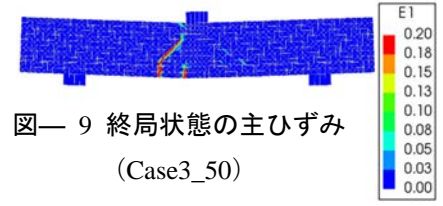
図— 4 荷重—変位曲線 (Case1)



図— 5 荷重—変位曲線 (Case2)



図— 6 荷重—変位曲線 (Case3)

図— 7 終局状態の主ひずみ  
(Case1\_50)図— 8 終局状態の主ひずみ  
(Case2\_50)図— 9 終局状態の主ひずみ  
(Case3\_50)

引張軟化曲線を低減した。引張軟化曲線は森田らの行った破壊エネルギー試験<sup>5)</sup>から得られたものを参考とし、線形関数で近似したものを解析における引張軟化曲線の基準とし、引張強度及び引張応力を50%及び75%に低減した。また、比較のため、低減を行わないケースも行った。

#### 4. 解析結果

実験及び解析により得られた荷重—変位曲線を図— 4～図— 6 に示す。Case1 及び Case2 では引張軟化曲線を50%に低減した場合に初期剛性が実験値と一致したが、最大荷重は実験値よりも小さくなった。一方で、Case3 では上記の場合に初期剛性と最大荷重について概ね実験値を再現できた。また、図— 7～図— 9 に Case1\_50、Case2\_50 及び Case3\_50 の終局状態における主ひずみ分布を示す。Case1\_50 と Case2\_50 ではせん断破壊、Case3\_50 では曲げ破壊となり、実験における破壊モードと一致していることを確認した。以上より、本解析では引張軟化曲線を50～60%程度に低減することにより概ね実験の耐力および破壊モードを概ね再現できた。また、特に曲げ破壊する場合には引張軟化曲線の低減率を大きくすることが示唆された。

#### 5. まとめ

本稿では GFRP 筋材を用いた SFRC 梁の荷重実験を対象に2次元有限要素解析を行い、引張軟化曲線について材料のばらつきを考慮した破壊エネルギーの低減を行うことで、実験を再現することができた。また、その低減による影響は曲げ破壊する場合に特に大きくなることを確認した。

#### 参考文献

- 1) Thorenfeldt, E., Tomaszewicz, A., and Jensen, J. J. : Mechanical properties of high-strength concrete and applications in design. In Proc. Symp. Utilization of High-Strength Concrete, 1987.
- 2) Di Prisco, M., Colombo, M., & Dozio, D. : Fibre reinforced concrete in fib Model Code 2010: principles, models and test validation. Structural Concrete, 2013.
- 3) Al-Mahaidi, R.S.H.: Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members. Tech Rep. Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, 1979
- 4) 飯塚敬一, 檜貝勇, 斉藤成彦, 高橋良輔: かぶり厚の影響を考慮した異形鉄筋の付着応力—すべり—ひずみ関係, 土木学会論文集 E2, Vol.67, No.2, 280~296, 2011
- 5) 森田穰, 岸山雄多佳, 小阪佳平, 近藤智人: GFRP 筋材及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