

せん断力を受ける GFRP 部材の終局挙動解析における解析モデル化に関する一検討

神戸大学院工学研究科 学生員 ○杉浦 あみり

神戸大学院工学研究科 正会員 橋本 国太郎

1. 研究背景及び目的：FRP とは繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Plastics)のことを指し、配置する繊維の方向によって材料特性が変化するという異方性を有する複合材料である。近年、土木構造物への適用へ向けて、FRP 部材の強度に関する多くの研究がなされており、本研究ではガラス繊維を用いた GFRP 部材のせん断力に着目する。GFRP 部材の耐力は材料試験の結果に基づいて評価されているが、それらの妥当性については検討事例が少ないため十分に明らかにされていない。そこで本研究では、既往の研究¹⁾で実施された GFRP 部材の 3 点曲げ載荷試験を有限要素解析（以下 FE 解析）によってモデル化し、せん断挙動およびその終局強度を解析的に検討することを大きな目的とし、本原稿内ではその解析モデル化に関する検討結果を報告する。

2. 解析モデル概要及び解析ケース：FE 解析には汎用有限要素解析コード ABAQUS を用いてシェル要素で解析を行う。なお、支点と載荷点の補強として実験ではモルタルを使用したため、ソリッド要素でモデル化した。ここで、モルタルの材料特性はヤング率を $34,500\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比を 0.167 としている。解析モデルは図 1 に示す通り、部材高さが 200mm、スパンが 550mm の溝形部材である。材料特性はウェブとフランジで値が異なるため、それぞれの値を表 1、表 2 に示す。ここで、記号の後の数字は方向を示しており、1, 2, 3 はそれぞれ X, Y, Z を示している。1, 2, それぞれの方向で異なる材料特性を設定することで GFRP の異方性を考慮している。また、GFRP の破壊は Hashin 損傷でモデル化し、その損傷モデルでは粘性係数を入力することにより収束安定化を行うため、粘性係数 0.01 を設定している。メッシュサイズはシェル要素を 5mm、ソリッド要素を 10mm としている。

解析手法は、上フランジの載荷位置に鉛直下向きに強制変位 10mm (BC-1) を設定し、原点側の支点位置には境界条件 $X, Y, Z=0$ と、 $R_x, R_y=0$ (BC-2)、他方の支点には境界条件 $Y, Z=0$ と、 $R_y, R_z=0$ (BC-3) を設定する。また、溝形部材の背面に境界条件 $Z=0$ (BC-4)、支点と載荷点の補強として図 1 に示すように、各補剛材前面に境界条件 $Z=0$ (BC-5) を設定している。溝形部材には初期不整として、鋼部材で用いられる初期たわみ形状を考慮している。コンクリート補剛材（ソリッド要素）は「結合」を用いて溝形部材に拘束している。本研究では結合する箇所を変化させていくつか解析を行った。

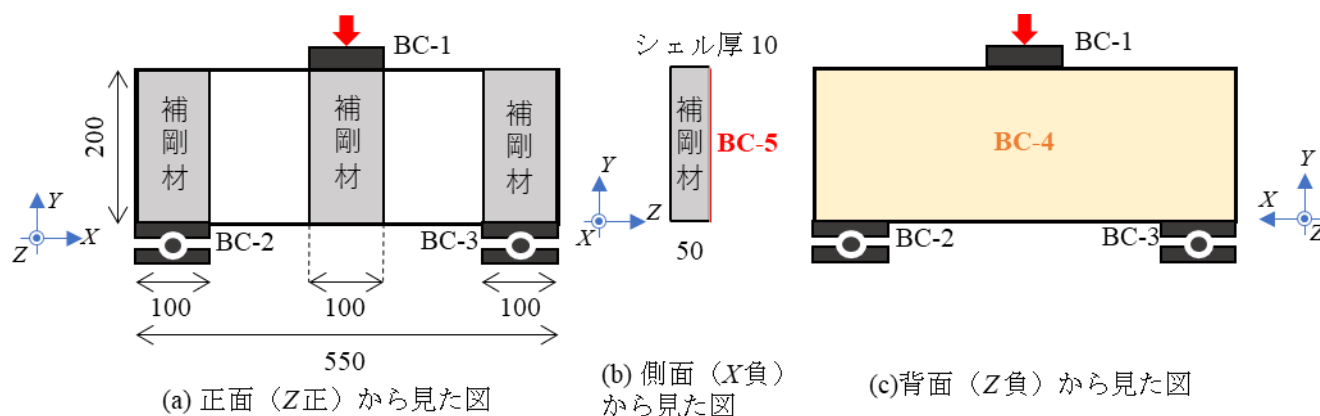


図 1 解析モデル概要（単位：mm）

キーワード GFRP, せん断挙動, 有限要素解析

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 TEL：078-803-6067

表 1 ウェブの材料特性（単位：N/mm²）

平面応力場の 直行異方性	E1	E2	Nu12	G12	G13	G23
	29100	6136	0.28	3320	2290	1450
Hashin 損傷 モデル	縦引張強度	縦圧縮強度	横引張強度	横圧縮強度	縦せん断強度	横せん断強度
	407	413	83.6	83.6	56.43	51.99
	縦引張り破壊エネルギー		縦圧縮破壊エネルギー		横引張り破壊エネルギー	横圧縮破壊エネルギー
	11.19		11.35		0.75	0.75

表 2 フランジの材料特性（単位：N/mm²）

平面応力場の 直行異方性	E1	E2	Nu12	G12	G13	G23
	30830	6136	0.28	3320	2290	1450
Hashin 損傷 モデル	縦引張強度	縦圧縮強度	横引張強度	横圧縮強度	縦せん断強度	横せん断強度
	400	350	83.6	83.6	56.43	51.99
	縦引張り破壊エネルギー		縦圧縮破壊エネルギー		横引張り破壊エネルギー	横圧縮破壊エネルギー
	10.99		9.62		0.21	0.21

3. 解析結果：図 2 に、実験結果と解析結果を比較した荷重-変位関係を示す．ここで変位とは部材中央の点の鉛直変位である．解析ケースは、表 3 に示す箇所に結合を用いた 7 種類としている．図 2 から、結合箇所を変えると大きく強度および剛性が変化することが分かった．実験では支点と載荷点にモルタルを打設していたため、理論上では Case1 が実験値と一致するはずであるが、最も実験結果と近い剛性となったのは Case3 の上下面に結合を設定したモデルとなった．この結果から、実験においては補剛材の背面が部材から剥がれる挙動となったことが予測出来る．また、本研究で使用している GFRP 溝形部材の理論上のせん断耐力は 374.33kN であり、Case1 においては実験値に比べて理論値に近い値となった．Case1 と Case4、Case2 と Case5 のそれぞれにおいて弾性係数を計算すると、4.81kN/mm²と 4.79kN/mm²、4.40kN/mm²と 4.36kN/mm²であり、それぞれでおおよそ同じ結果となった．これは背面に結合がある状態で下面に結合がある場合、ない場合でそれぞれ剛性が一致することを示している．

表 3 解析ケース

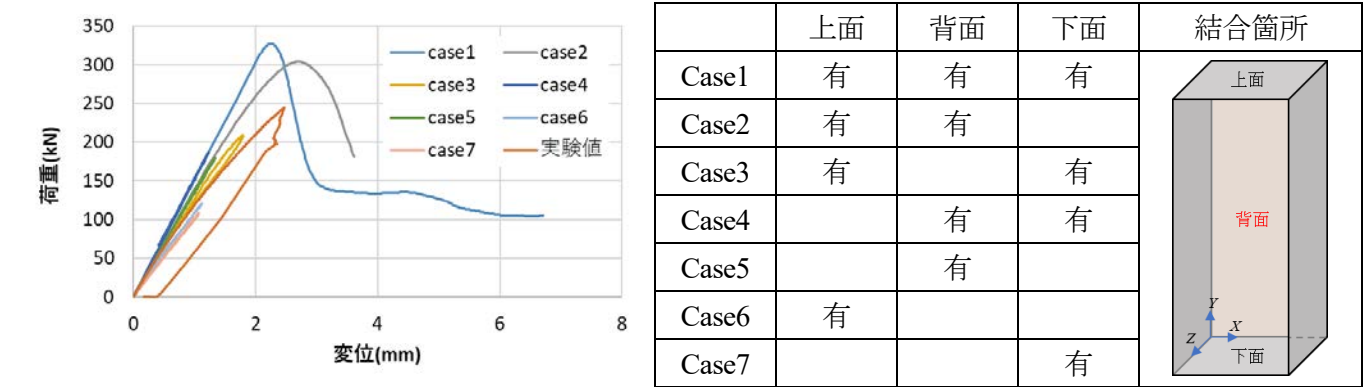


図 2 実験結果と解析結果の比較

4. 結論：本研究では、補剛材の結合箇所を変えて解析を行うことで大きく強度・剛性が変化することを明らかにした．理論値と解析値・実験値を比較すると、実験値を設計値で除した値が 0.65 であるのに対し、解析値を理論値で除した値は 0.87 となり、理論通りに補剛材が補強の役割を発揮した場合は、理論値とおおよそ一致することが分かった．逆に、実験においては理論値を大きく下回る耐力となることを考慮しなければならない．今後は、実験に近い解析結果が得られる解析モデルの検討を行っていく必要があると考えられる．

参考文献 1) 新居ら：GFRP 材のせん断挙動に関する実験的検討，令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会 CS6-23