

GFRP 溝形材のせん断耐力に軸力が及ぼす影響について

東日本高速道路 正会員○石井佑弥 首都大学東京 正会員 中村一史
 東日本高速道路 正会員 古谷嘉康 前田工織 正会員 中井裕司
 日本FRP 正会員 西田雅之

1. はじめに

繊維強化プラスチック（以下、FRP）は、鋼材に比べて、耐食性があり、軽量であることから、その性能を活用して社会基盤構造物へ適用されている。今後、FRP 部材の適用を広げていく上では、設計・照査に必要な構造物あるいは部材の耐力の評価と特性の把握が重要である。著者らは、引抜成形された一方向材の GFRP 溝形材（C75）を対象に、せん断耐力の評価方法を検討¹⁾したが、実構造物に対応するためには、部材にせん断力と軸方向力が同時に作用する場合も検討する必要がある。そこで本研究では、軸方向力が GFRP 溝形材 C75 のせん断耐力に及ぼす影響を実験的に検討した。

2. 部材の 3 点曲げ載荷試験によるせん断耐力の検討

2.1 試験概要

短い支間における 3 点曲げ載荷試験を行うことで、GFRP 溝形材 C75 のせん断耐力を評価した。試験体は、断面形状の都合上、2 つの溝形材を、図-1 のように背合わせにして固定した。支持条件は、単純支持とし、電気油圧サーボ式材料試験機（容量：100kN）を用いて、変位制御（1.0mm/min）で載荷した。本試験のような軸力を作用させていない試験体を NOM とよび、試験は 6 体実施した。

2.2 試験結果と考察

破壊箇所は、せん断支間で繊維配向（0°方向）（図-2(a)）に沿った破壊となった。図-3 に、NOM における τ - γ 関係を示す。せん断応力は、ひずみの増大とともに、一定の値に漸近する挙動となった。表-1 に、GFRP 溝形材 C75 の材料物性値¹⁾、表-2 に、3 点曲げ載荷試験結果を示す。なお、表-1 のせん断は、90°方向におけるクーボン試験の結果をせん断応力の応力集中係数により補正した試験結果である。表-2 より、溝形材のせん断耐力は、ややばらつきがあるものの、その平均値は 39.1MPa であり、クーボン試験の結果と概ね一致することがわかった。

3. 圧縮・引張軸力と曲げによるせん断力の載荷試験

3.1 治具の設計と試験方法

圧縮あるいは引張の軸力と曲げによるせん断力を同時に作用させる載荷システムを開発して、軸方向力が作用した場合における GFRP 溝形材 C75 の破壊挙動とせん断耐力を検討した。図-4 に、軸力と曲げによるせん断力を同時に作用させる載荷システムのセットアップ図を、図-5 に、セットアップ状況を示す。圧縮軸力の載荷では、溝形材断面の図心に位置した全ねじボルト（M10）と油圧シリンダ（容量：125kN）を用いることで、試験体を圧縮載荷した。本試験で選定した全ねじボルトの引張耐力を考慮し、作用させ

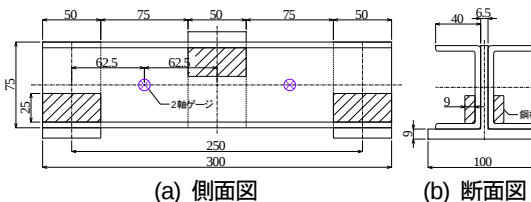


図-1 3 点曲げ載荷試験の試験体図



(a) NOM-1 (b) C80M-1

図-2 破壊の状況

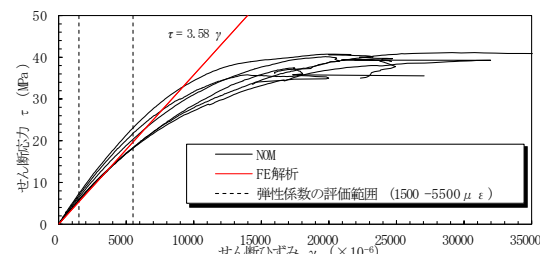
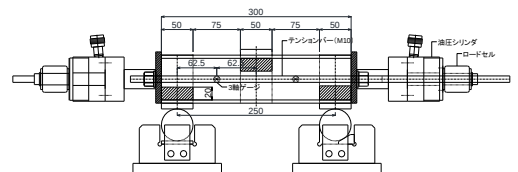
図-3 τ - γ 関係 (NOM)

表-1 GFRP 溝形材 C75 の材料物性値

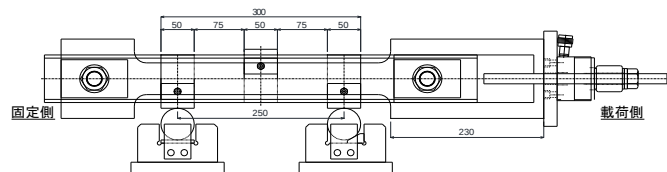
	準拠した規格	弾性係数 (GPa)	強度 (MPa)
引張	JIS K 7164	39.5	600.0
圧縮	JIS K 7018	39.2	725.9
せん断	ASTM D 5379	3.72	38.8

表-2 3 点曲げ載荷試験結果

NOM	P_{max} (kN)	τ_u (MPa)	G_{xy} (GPa)
平均値	46.2	39.1	3.58
変動係数	0.054	0.053	0.114



(a) 圧縮軸力



(b) 引張軸力

図-4 軸力と曲げによるせん断力を同時に作用させる載荷システムのセットアップ図

Key Words : GFRP 溝形材, 一方向材, せん断耐力, 軸方向力

連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

る最大圧縮応力を 80MPa として、圧縮応力のパラメータ (-30, -60, -80MPa) を設定した。

引張軸力の荷重では、角形鋼管と試験体の端部をピンで接合し、もう一方の端部を油圧シリンダを用いて引張荷重をすること、角形鋼管が油圧シリンダの反力を受け持ち、試験体に引張軸力を荷重するシステムを作製した。図-5(b)のように、角形鋼管が試験体の 3 点曲げ荷重に影響を与えないようにするため、角形鋼管を部分的に切削加工した。本試験では、この加工した領域に圧縮力が作用するため、別途、有限要素解析 (Msc Marc2013) による座屈固有値解析を行って、角形鋼管の座屈荷重を算定し、それを考慮することで、本試験で作用させる最大引張応力を 45MPa として、引張応力のパラメータ (15, 30, 45MPa) を設定した。

試験体は、圧縮軸力の場合、図-1 と同一とした。引張軸力の場合では、引張荷重治具と試験体の端部を高力ボルトで接合するため、試験体の端部を延長したが、せん断支間長、ひずみゲージの設置位置などは図-1 と同一である。また、ひずみゲージには、3 軸ゲージ (ゲージ長: 3mm) を用いた。試験方法は、油圧シリンダを用いて、試験体に所定の軸力を作用させた後、2 章と同一の試験条件で 3 点曲げ荷重した。試験は、各パラメータに対して、それぞれ 3 体ずつ実施した。

3.2 試験結果と考察

表-3 に示すように、試験体 CxM は圧縮軸力を、試験体 TxM は引張軸力を作用させたものを表し、x には、その軸方向力の大きさを示している。はじめに、破壊箇所は、C60M の一部と C80M の試験体において、荷重点で部分的な破壊 (図-2(b)) が見られたものの、すべての試験体で、NOM と同様に、せん断支間で繊維配向 (0° 方向) に沿った破壊となった。特に、3 点曲げ荷重直前に作用させた軸方向の圧縮応力と曲げによる圧縮応力、さらに、荷重点の固定治具の拘束力により荷重点に応力が集中したことが、作用圧縮軸力の大きい試験体の荷重点で破壊が生じた要因として考えられる。なお、T45M は、引張荷重中の偏心等により、角形鋼管の治具に座屈が生じたため、評価することができなかった。

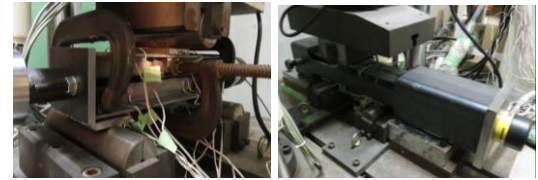
図-6 に、軸力を作用させた試験体における τ - γ 関係を示す。最大せん断ひずみ γ は、ロゼット解析により算出している。所定の軸力を作用させた試験体では、その作用によりせん断応力が作用しない状態 ($\tau=0$) で見かけ上のせん断ひずみが作用していることがわかる。そのため、初期のせん断剛性が大きく評価され、非線形挙動となっているものの、いずれの試験体においても、せん断強度の近傍では、NOM と類似した挙動となった。表-3 に、軸力と曲げによるせん断力を同時に作用させた荷重試験の結果を示す。最大荷重、せん断強度の値は、各パラメータにおける 3 体の平均値である。NOM と比べて、C30M のせん断強度は同程度であるものの、C60M では約 5 MPa、C80M では約 8 MPa ほど、せん断強度は小さくなった。一方、引張軸力を作用させた場合、NOM の試験結果と同程度のせん断強度となった。図-7 に、 $\tau/\tau_u - \sigma/\sigma_{uct}$ 関係を示す。図中の実験値は、それぞれ表-1 に示す材料強度で除して無次元化している。圧縮軸力を作用させた場合、せん断強度のばらつきが大きいことがわかる。さらに、表-1 の材料強度に対して、作用する圧縮・引張の軸方向力がおおよそ 5% 以内であれば、溝形材のせん断強度は、ほとんど変わらないことがわかった。

4. まとめ

引抜成形された一方向材の GFRP 溝形材 C75 のせん断耐力は、圧縮軸力を増大させると低下するものの、材料強度に対して 5% 程度の軸方向力であれば、溝形材のせん断耐力にほとんど影響を与えないことが確かめられた。

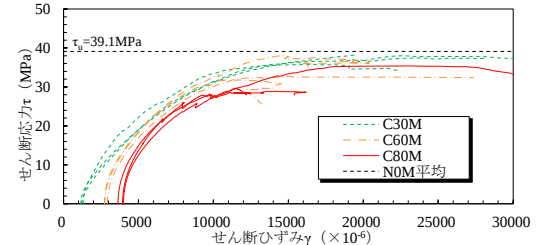
参考文献

- 1) 石井佑弥, 飯田卓弥, 中村一史, 古谷嘉康, 中井裕司, 西田雅之: GFRP 溝形材のせん断耐力の評価方法に関する実験的検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 複合構造論文集, Vol.73, No.5, 2017.5 (登載決定)

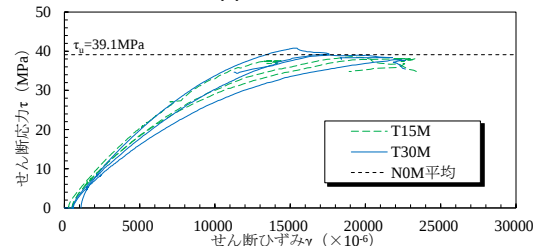


(a) 圧縮軸力 (b) 引張軸力

図-5 セットアップ状況



(a) 圧縮軸力



(b) 引張軸力

図-6 τ - γ 関係

表-3 軸力と曲げによるせん断力の荷重試験の結果

試験体	σ_n (MPa)	P_{max} (kN)	τ_u (MPa)
NOM	0	46.4	39.1
C30M	-30	44.1	37.4
C60M	-60	40.2	34.1
C80M	-80	36.8	31.3
T15M	15	44.9	38.1
T30M	30	45.9	39.1
T45M	45	—	—

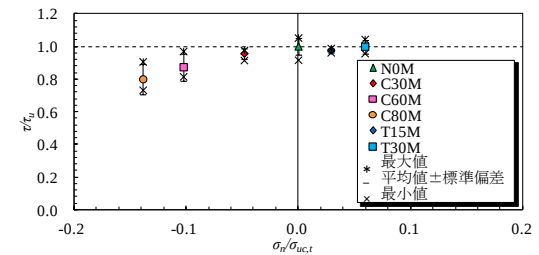


図-7 $\tau/\tau_u - \sigma/\sigma_{uct}$ 関係