

GFRP 溝形材のせん断耐力に及ぼす軸力の影響に関する実験的検討

首都大学東京大学院 学生会員 ○王元斌 首都大学東京 正会員 中村一史
 東日本高速道路 正会員 石井佑弥 高速道路総合技術研究所 正会員 稲荷優太郎
 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. FRP 部材の適用を広げていく上では, 部材の耐力を材料強度から適切に評価して, 設計・照査に反映することが重要である. 既往の研究では, 軸方向力はないものとして, 一方向材の GFRP 溝形材のせん断耐力を検討したが¹⁾, トラス桁形式 FRP 検査路のような実構造物では, せん断力と軸方向応力が同時に作用する場合がある. 本研究では, 先行研究²⁾を踏まえ, GFRP 溝形材 C75 を対象に, 主に, 軸方向引張応力がせん断耐力に及ぼす影響を実験的に検討した.

2. 先行研究の概要と課題

先行研究では²⁾, 2つの溝形材を背合わせに固定した試験体を用いて, 短い支間における3点曲げ載荷実験 (図-1(a)) が行われている. 圧縮軸力と曲げによるせん断力の載荷実験 (図-1(b)) では, 試験体は, 3点曲げ載荷試験の試験体と同じ, 試験体の両端部に設置した油圧シリンダ (容量: 125kN) を用いて所定の圧縮軸力を導入し, 同時に変位制御 (1.0mm/min) で集中荷重を載荷した. 試験は, 各パラメータに対して最大圧縮応力 80MPa まで, それぞれ3体ずつ実施されている. 一方, 図を略したが, 先行研究では, 試験体に一定の引張軸力 (最大引張応力 45MPa) を導入するために, 油圧シリンダで載荷している. 50kN 付近で治具 (角形鋼管) の加工領域に座屈が生じたため, 引張載荷ができなかった.

表-1 に, 試験パラメータを示す. 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, その軸方向応力の大きさを示している.

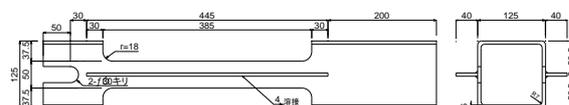


(a) 3点曲げ載荷試験 (b) 圧縮軸力

図-1 セットアップ状況

表-1 試験/パラメータ

試験体名	軸方向応力 (MPa)	導入軸力 (kN)	軸ひずみ (10 ⁻⁶)	数量 (体)
N0M	0	0	0	3
C30M	-30	-43.50	-759	3
C60M	-60	-87.00	-1519	3
C80M	-80	-116.00	-2025	3
T15M	15	21.75	380	3
T30M	30	43.50	759	3
T45M	45	65.25	1141	3
T60M	60	87.00	1519	3
T75M	75	108.75	1902	3



(a) 側面図 (b) 正面図

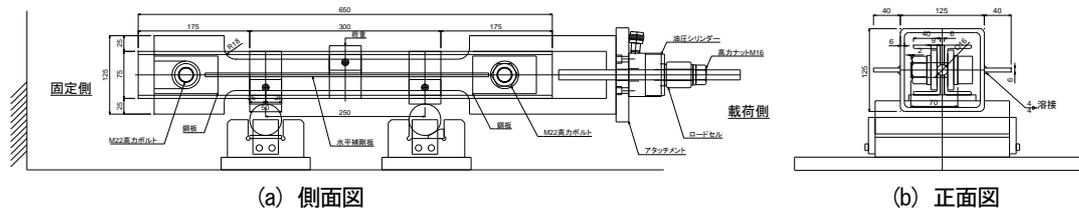
図-2 補強した角形鋼管の組立図

表-2 角形鋼管の加工領域における断面諸元と材料物性値

項目	値
高さ (mm)	50.0
板厚 (mm)	6.0
水平補剛材の幅 (mm)	40.0
水平補剛材の長さ (mm)	445
有効座屈長 (mm)	400.0
断面二次モーメント (mm ⁴)	39033.3
弾性係数 (kN/mm ²)	205.0
オイラー座屈荷重 P_{cr} (kN)	3944.7

3. 治具の改善と試験方法

図-2 に補強した角形鋼管の組立図を, 表-2 に角形鋼管の加工領域における断面諸元と材料物性値を, 図-3 に実験のセットアップ図をそれぞれ示す. 角形鋼管と試験体の端部を接合させ, もう一方の端部を油圧シリンダを用いて引張載荷することで, 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載荷する治具とした. 角形鋼管は, 3点曲げ載荷に影響を与えないようにするため, 部分的に切削加工するとともに, 角形鋼管の座屈が生じないように, 水平補剛材を用いて補強した. オイラー座屈理論により, 角形鋼管の座屈荷重を算定したところ, 最大軸方向応力 (75MPa) に対して約 36 倍の余裕があることがわかった.



(a) 側面図 (b) 正面図

図-3 引張軸力を与えた状態での曲げ載荷実験のセットアップ図

キーワード GFRP 溝形材, せん断耐力, 軸方向応力, 異方性

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院 TEL : 042-677-1111 (内 4564)

引張軸力の場合、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。図-4 に、せん断支間長、ひずみゲージの設置位置を示す。ひずみゲージは、3軸ゲージ(ゲージ長: 3mm)を用いた。図-5 に示すように、油圧シリンダを用いて、試験体に所定の引張軸力を作用させた後、島津製作所製オートグラフ(容量: 100kN)を使用し、変位制御(1.0mm/min)で載荷した。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

図-6 に、破壊モードを示す。軸力なしの試験体における破壊の状況は、いずれの試験体において、せん断支間で繊維配向(0°方向)に沿った破壊となった(図-6(a))。軸力ありの試験体では、T75Mを除いて、すべての試験体がNOMと同様であった(図-6(c))。圧縮軸力の一部の試験体(C60M-1, C80M-1~3)では、載荷点直下のウェブの上部に部分的な破壊が生じたため(図-6(b))、評価から除外することとした。なお、引張軸力の試験体のうち、T75Mは、試験体に引張軸力を油圧シリンダで導入中に、105kN付近で試験体にせん断破壊(図-6(d))が生じたため、試験ができなかった。

図-7 に、引張軸力を作用させた試験体における τ - γ 関係を示す。引張軸力ありの試験体は、NOMの試験結果と同程度のせん断耐力となった。図-8 に、 $\tau/\tau_u - \sigma_n/\sigma_{uci}$ 関係を示す。図中の実験値は、それぞれ表-3 に示す材料強度で正規化している。表-3 に対して、各材料強度に対して、作用する圧縮応力が約5%以下、引張応力が約8%以下であれば、溝形材のせん断耐力は、ほとんど変わらないことがわかった。表-4 に、軸力と曲げによるせん断力の載荷試験結果を示す。表中は、それぞれ各パラメータにおける実験結果の平均値を示している。NOMと比べて、T15M, T30MとC30Mのせん断耐力は同程度であるものの、C60Mでは約7MPa, T60Mでは約2MPa、せん断強度は小さくなった。これは、対象としたGFRPは一方方向材であり、異方性が大きいため、圧縮側と引張側で強度特性が変わるものと考えられた。同等の応力値であるT60MとC60Mを比較すると、C60Mの方がせん断強度は、若干小さくなった。

4. まとめ

引抜成形された一方方向材のGFRP溝形材C75のせん断耐力は、圧縮軸方向応力を増大させると減少する傾向となった。ただし、トラス桁形式検査路に作用する設計上の圧縮軸応力では、GFRP溝形材C75のせん断耐力にほとんど影響を与えない程度であった。引張軸力と曲げによるせん断力の載荷実験より、引張軸応力を最大60MPaまで増大させても、溝形材C75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。今後は、実験データを蓄積するとともに、有限要素解析を行って、破壊のメカニズムをより詳細に検討する予定である。

参考文献

- 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, pp.II_33-II_45, 2017.
- 石井佑弥, 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に軸力が及ぼす影響について, 土木学会全国大会第72回年次学術講演会, CS5-014, pp.27-28, 2017.

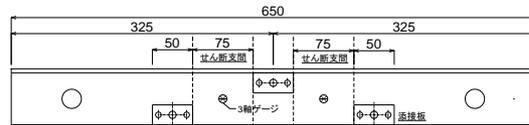
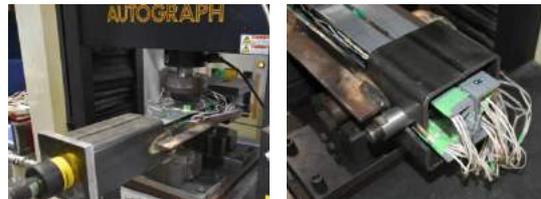


図-4 試験体図



(a) 全体図 (b) 固定部

図-5 セットアップ状況



(a) 軸力なし (b) 圧縮軸力 ($\sigma_n = -80\text{MPa}$)



(c) 引張軸力 ($\sigma_n = 60\text{MPa}$) (d) 引張軸力 ($\sigma_n = 75\text{MPa}$)

図-6 試験体の破壊状況

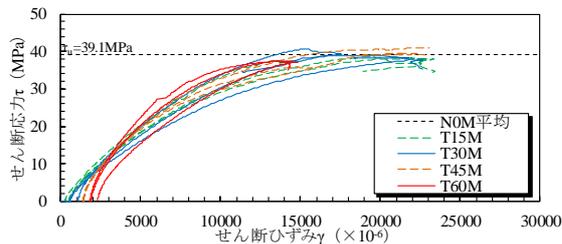


図-7 せん断耐力 τ とせん断ひずみ γ の関係

表-3 GFRP溝形材C75の材料物性値¹⁾

作用	試験規格	弾性係数(GPa)	強度(MPa)
引張(0°)	JIS K 7164	39.5	600.0
圧縮(0°)	JIS K 7018	39.2	725.9
せん断(0°)	ASTM D 5379	3.72	38.8

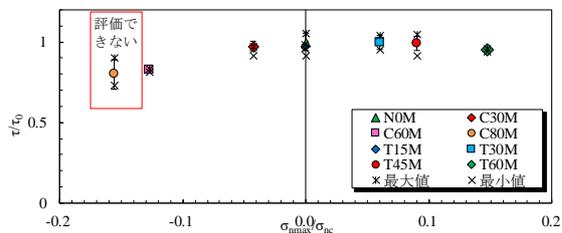


図-8 $\tau/\tau_u - \sigma_n/\sigma_{uci}$ 関係

表-4 軸力と曲げによるせん断力の載荷試験結果

試験体名	σ_n (MPa)	P_{max} (kN)	τ_u (MPa)	変動係数
NOM	0	46.4	39.1	0.06
C30M	-30	44.8	37.9	0.01
C60M	-60	38.2	32.3	0.02
T15M	15	44.9	38.1	0.01
T30M	30	45.9	39.1	0.04
T45M	45	45.7	38.8	0.07
T60M	60	43.7	37.1	0.01