

第 I 部門 GFRP 引抜成形平板の層間せん断疲労挙動に関する実験的研究

京都大学大学院 学生員 ○松田 大輝 正会員 北根 安雄

正会員 佐藤 顕彦

宮地エンジニアリング株式会社 正会員 久保 圭吾 正会員 小村 政孝

正会員 酒井 圭一

1. はじめに

高速道路等の床版取替工事において、床版上に設置することで間詰部のコンクリートや舗装の施工を省略し、昼間交通解放することを目的とし、図 1 に示すような GFRP 覆工板が開発されている。GFRP 覆工板は引抜成形法で作成された角パイプと平板で構成される。この覆工板に対する輪荷重走行試験の結果、GFRP 角パイプの配置間隔が広い場合、十分な疲労耐久性を保有しておらず、上面の GFRP 平板には繰り返し载荷による割れが生じることが明らかになった¹⁾。このことから、疲労耐久性の確保が必要とされるが、GFRP 引抜成形材の疲労耐久性については試験データが乏しく、本構造での平板のように面外方向にせん断力を受ける場合の疲労強度は明らかになっていない。そこで本研究では、以上の背景を踏まえ、引抜成形材の面外せん断強度や疲労耐久性を明らかにするため、層間せん断力に対する静的及び疲労試験を行った。

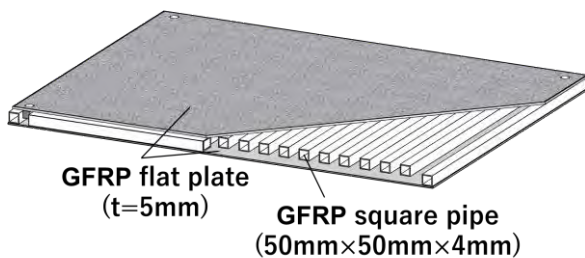


図 1 GFRP 覆工板

2. 試験体及び試験方法

平板には、長手方向にはガラス繊維が、幅方向には一方向織ロービングとガラスマットが使用されており、製品板厚方向に、ガラスマット/一方向織ロービング/連続繊維/一方向織ロービング/ガラスマットと配置されている。マトリックス樹脂として不飽和ポリエステル樹脂が用いられている。本研究では、図 2(a)のように引抜成形法で作成された平板から、幅 25mm×長さ 50mm×板厚 6mm の寸法で引抜方向 (L) と引抜直角方向 (T) に試験体を切り出した。試験体寸法を図 2(b)

に示す。試験体寸法は JIS 7057 を参考に設定し、静的試験、疲労試験ともに同一寸法とした。

静的層間せん断試験は JIS K 7057 を参考に、MTS 材料試験機 (最大荷重 500kN) を用いて各方向 5 体ずつ実施した²⁾。実施状況を図 3 に示す。

層間せん断による疲労試験は、試験体面外方向に繰り返し载荷を行った。荷重は、静的試験で得られたせん断強度を基に設定した。繰り返し回数が 1,000 万回に達した場合、そこで試験を打ち切った。

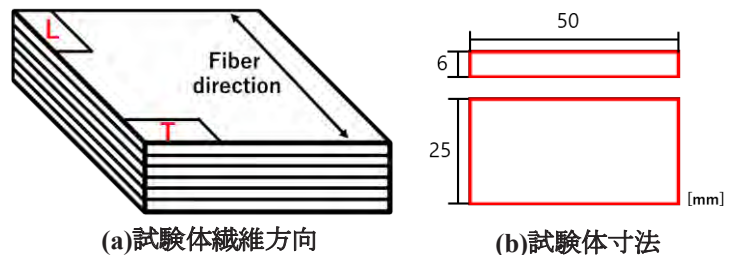


図 2 試験体繊維方向及び寸法



図 3 試験実施状況

3. 試験結果

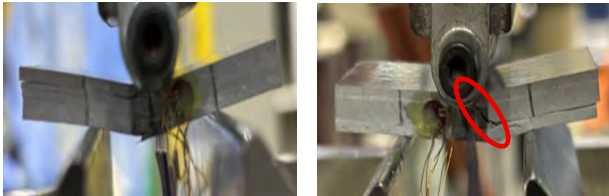
3.1. 静的層間せん断試験結果

表 1 に得られたせん断強度を示す。L は T の約 1.8 倍の値が得られた。試験体の代表的な破壊性状を図 4 に示す。L の多くは、長手方向に走るガラス繊維層と一方向織ロービングとの界面での剥離によるき裂の進展によって破壊した。T については、多くの試験体で、载荷点からガラス繊維層内に 45 度の亀裂が発生した。L が T と比べせん断強度が高かったのは、L ではガラス繊維が試験体の長手方向に伸びており、T で見られ

た 45 度の亀裂がガラス繊維層に生じにくいためと考えられる。

表 1 せん断強度 τ_u

	L	T
平均値 (MPa)	25.4	14.1
変動係数	0.0330	0.0951



(a)L 方向 (b)T 方向

図 4 静的層間せん断試験での破壊性状

3.2. 層間せん断による疲労試験結果

エラー! 参照元が見つかりません。に, せん断応力比と繰り返し回数の関係である S-N 曲線を示す. 縦軸は载荷最大せん断応力 τ_{max} の, 静的試験で取得したせん断強度 τ_u に対する比を示している. 全体として, せん断応力比が低下するにつれて破壊までの繰り返し回数が増加するという傾向が見られるものの, 結果にはかなりのばらつきがあった.

試験体の外観変化には大きく 2 つのパターンが確認された. 1 つ目は, 図 4(b)に示す T 方向の静的試験と類似し, 45 度方向に亀裂が発生・進展し, 最終的に破壊に至るものである. 破壊時には 45 度亀裂がマット層にも進展し, 試験体は大きな変形を示した. このパターンの剛性変化の代表例を図 6 に示す. この場合, 7k と 35k サイクルで断面のき裂進展が確認できた一方で, き裂の進展が確認できた 1k サイクル付近では剛性は低下していない. これは, き裂が測定可能な変位を生じるには至らなかったこと, また変位計の分解能が小さな変化の検出を妨げた可能性が挙げられる. 2 つ目のパターンは, 疲労破壊に至るまで断面にほとんど目視可能な変状が現れないものである. しかし, 破壊モード自体は 1 つ目のパターンと同じであり, 45 度方向に亀裂が発生してマット層に進展した. このパターンの剛性変化の代表例をエラー! 参照元が見つかりません。に示す. ここで, 350k サイクル付近で剛性が大きく減少していることから, 断面で観察できない内部損傷が進展していると考えられる.

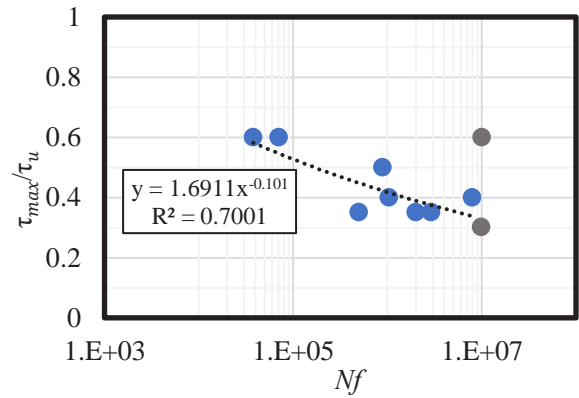


図 5 T 方向 S-N 曲線

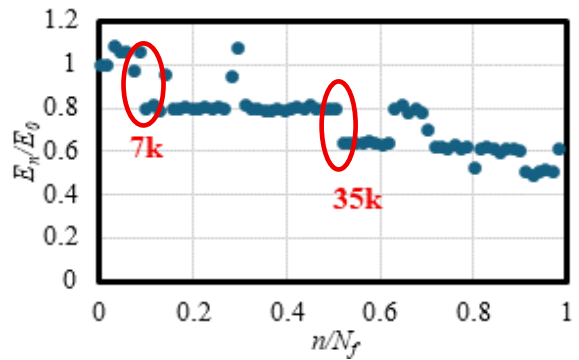


図 6 剛性変化(1), $\tau_{max}/\tau_u = 0.6$

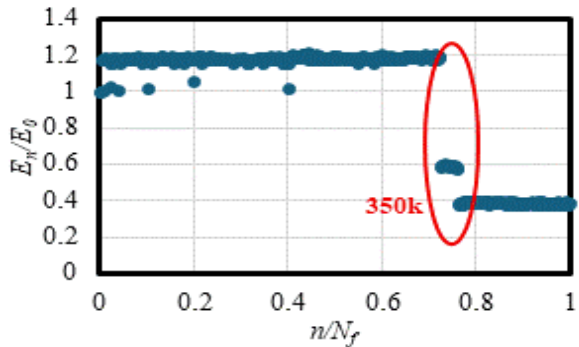


図 7 剛性変化(2), $\tau_{max}/\tau_u = 0.35$

4. まとめ

- (1) L 方向が T 方向と比べ平均で 1.8 倍のせん断強度を有していた.
- (2) T 方向の疲労試験では, き裂進展と剛性の低下には一定の関係がみられたものの, 側面に外観変化は見られず, 試験体内部で損傷が進み, 剛性の減少が生じる可能性もあることがわかった.

参考文献

- 1) 神野 夢希ら: 第 10 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 土木学会, pp.6-11 2024
- 2) JIS K 7057: 繊維強化プラスチック—ショートビーム法による見掛けの層間せん断強さの求め方, 日本規格協会, 2006