

土木構造材料用 FRP 引抜成形材の疲労試験

独立行政法人土木研究所 正会員 西崎 到
 独立行政法人土木研究所 正会員 佐々木 徹
 独立行政法人土木研究所 正会員 木嶋 健
 独立行政法人土木研究所 正会員 明嵐 政司

1. はじめに

FRP を橋梁等の構造材料として用いる場合には、材料に関する安全率の適切な設定が必要である。FRP の安全率を設定すべき項目には、ばらつき、繰り返し荷重（疲労）、静的荷重（クリープ）、環境劣化などがある。道路橋などの荷重条件が厳しい用途では、疲労が重要な項目の一つと考えられる。本報告では土木構造用 FRP の 3 点曲げ疲労試験を行い、疲労特性を検討した結果を報告する。

2. 供試体

大断面、長尺部材が比較的安価に得られることや、高強度を得やすいことなどから、土木構造用 FRP として引抜成形材が注目されている。本研究では 3 種類の

表-1 FRP 供試体の積層構成

FRP（ガラス繊維 FRP (GFRP)、炭素繊維 FRP (CFRP) 及びガラス繊維 / 炭素繊維ハイブリッド FRP (GF/CF ハイブリッド FRP)）を使用した。GFRP は角パイプ (SP-50 (JIS K 7015)) から、

	GFRP	CFRP	GF/CF ハイブリッド FRP
積層構成	CSM 層 ロービング層 (一方向層) CSM 層	0/90° クロス層 UD 層 (一方向層) 0/90° クロス層	CSM 層 (GF) UD 層 (一方向層) (CF) CSM 層 (GF)

CFRP 及び GF/CF ハイブリッド FRP は幅 420mm、厚さ 4mm の板から、小片 (長さ 84mm、幅 15mm) を切り出して供試体とした。マトリックス樹脂はいずれもビニルエステル樹脂である。各 FRP の積層構成を表-1 に示す。

表-2 3 点曲げ疲労試験の試験条件

項目	試験条件
供試体形状	幅 15mm × 厚 4mm × 長 84mm
支点間距離	厚さ × 16
温度	5、23、50℃
周波数	1Hz、5Hz
最大荷重/最小荷重	10/1 (片振り)
終了点	たわみが 10mm を越えた点

3. 試験方法

3 点曲げ疲労試験の試験条件を表-2 に示す。周波数は 5Hz、温度は 23℃ を中心に実施した。載荷方法は荷重制御により正弦波で繰り返し載荷した。また、疲労試験に先立って静的曲げ試験を JIS K 7055 により行った。

4. 試験結果

(1) GFRP

GFRP は、全ての試験片で下面中央に亀裂が入るとともに、下面の CSM 層と一方向層の層間剥離を生じて破壊した。図-1, 2, 3 は 5Hz における GFRP の載荷回数 - 最大曲げ応力 / 静的強度比の図 (測定温度: 5、23、50℃) を示している。温度による大きな差は認められなかった。最大曲げ応力 / 静的強度比は 10^4 回以上ではほぼ直線であるが、 10^4 回以下では載荷回数の減少に対して急激に増大した。 10^7 回における最大曲げ応力 / 静的強度比は約 0.2 であった。図-4 は 23℃、1Hz での試験結果であるが、5Hz の場合 (図-2) と殆ど差が認められなかった。

(2) CFRP および GF/CF ハイブリッド FRP

CFRP の疲労試験結果を図-5 に示す。 $10^2 \sim 10^7$ 回にわたりほぼ直線の相関性が認められた。 10^7 回における最大曲げ応力 / 静的強度比は約 0.5 と、GFRP に比べてかなり高かった。多くの試験片では下面の引張破壊を生じたが、一部では上面の圧縮破壊も見られた。

GF/CF ハイブリッド FRP の結果を図-6 に示す。CFRP と同様にほぼ直線関係が認められた。大部分の供試体で

キーワード：構造材料，FRP，引抜成形材，疲労

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6，電話：0298-79-6763，FAX：0298-79-6733

上下両方のガラス繊維層の引張及び圧縮破壊を生じて破壊した。CFRP部分の損傷、CFRP部分とGFRP部分の界面の剥離は認められなかった。10⁷回における最大曲げ応力/静的強度比は約0.3でありGFRPとCFRPの間の値を示した。

5. 考察

CFRP及びGF/CFハイブリッドFRPでは、載荷回数と最大曲げ応力/静的強度比(対数軸)はほぼ直線関係(図-5及び6)であった。GFRPでは載荷回数が少ない領域で直線から外れる結果(図-1～3)となった。荷重制御による疲労試験では、試験開始から載荷荷重が安定し、規定の荷重がか

るまで10²～10³回程度を要するが、GFRPは弾性率が低く振幅が大きいと、安定するまでの回数が多くなってしまったためと考えられる。この傾向はGFRPの5Hz場合で顕著であり、より試験装置に余裕のある1Hzの場合(図-4)には、かなり直線的になっている。10⁷回における最大曲げ応力/静的強度比は表-3に示すようにGFRPで0.15～0.6、CFRPで0.4～0.82、GF/CFハイブリッドFRPでは0.19～0.58であった。これらの殆どは引抜成形材ではないものの、本試験の結果はこれらの文献値の範囲内であった。なお、表-3から、曲げ疲労は引張疲労に比べて厳しい疲労条件であることが分かる。安全率の検討を曲げ試験により行う場合は、より安全側の結果が得られると考えられる。

参考文献:[1]日本鋼構造協会編「建設用鋼材」(昭和52年,コロナ社),[2]植村他「FRP構造設計便覧」(1994),[3]島村:機械技術研究所報告第80号,p23(1974),[4]鶴江:北海道工業開発試験所報告第24号,p198(1981),[5]植村他「ハイブリッド(GF/CF)FRP積層板の力学的特性に関する研究報告書」昭和59年3月(強化プラスチック協会),[6]池田哲史:強化プラスチック Vol.45, p.175(1999)

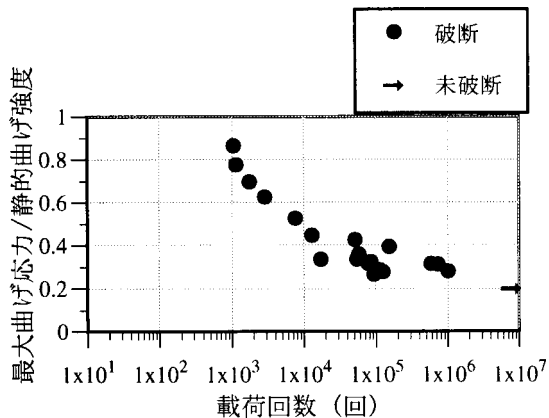


図-1 GFRP,50,5Hzの曲げ疲労試験結果

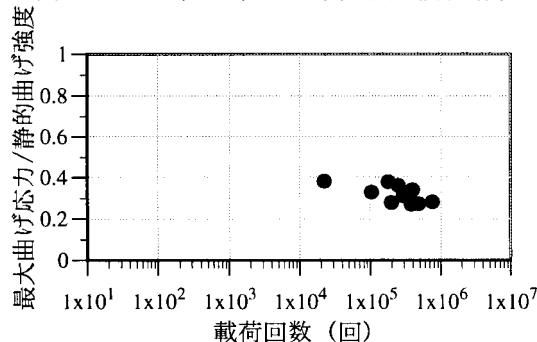


図-3 GFRP,5,5Hzの曲げ疲労試験結果

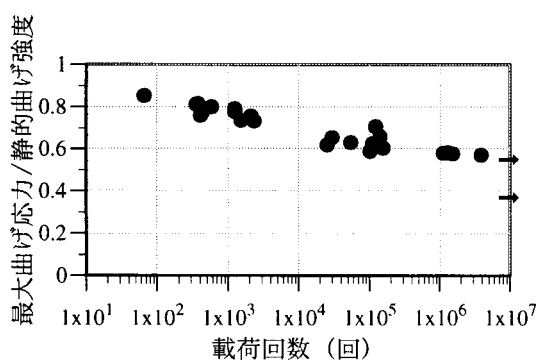


図-5 CFRP,23,5Hzの曲げ疲労試験結果

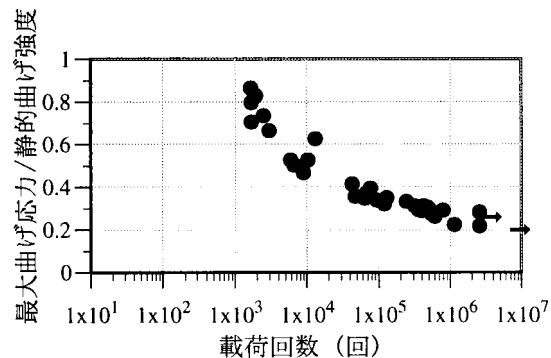


図-2 GFRP,23,5Hzの曲げ疲労試験結果

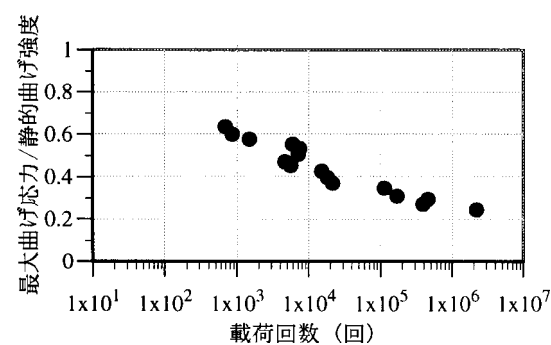


図-4 GFRP,23,1Hzの曲げ疲労試験結果

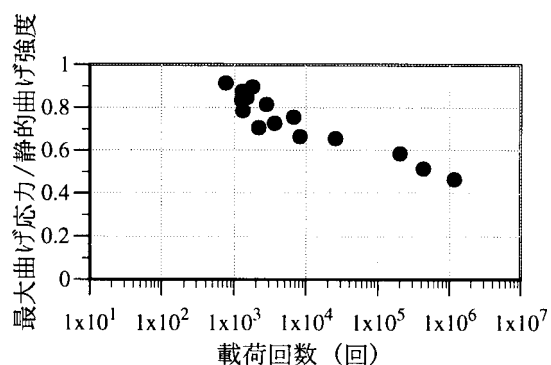


図-6 GF/CFハイブリッドFRP,23,5Hzの曲げ疲労試験結果

表-3 文献における10⁷回疲労限度/静的強さの範囲

材料	10 ⁷ 回疲労限度/静的強さ	試験条件	文献・著者
鋼材(参考)	0.45～0.55	引張	日本鋼構造協会(1977) ^[1]
GFRP	0.22～0.60 0.15～0.32	引張 曲げ	FRP構造設計便覧 ^[2] , 島村(1974) ^[3] , 鶴江(1981) ^[4]
CFRP	0.66～0.82 0.4～0.8	引張 曲げ	FRP構造設計便覧 ^[2] , 池田(1999) ^[5]
GF/CFハイブリッドFRP	0.58 0.19～0.23	引張 曲げ	植村他(1984) ^[6]