

FRP 引抜成形部材ボルト継手部の疲労強度

名古屋大学 学生会員 ○廣山 佳生 フェロー会員 館石 和雄
正会員 判治 剛 正会員 清水 優

1. 研究背景

近年、軽量で耐食性に優れる FRP 部材の土木構造物への適用が期待されている。FRP 部材の機械的接合には支圧接合継手を用いられるが、その疲労特性は明らかになっていない。そこで連続引抜成形法により製造された 2 種類の FRP 部材を用いて引張疲労試験を行い、疲労寿命評価法について検討を行った。

2. 試験体

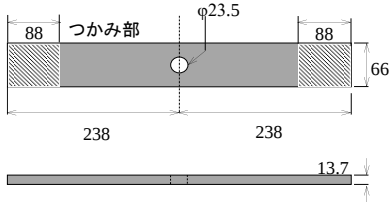
本研究では軸方向(0°方向)に炭素繊維(CF)、±45°および 90°方向にガラス繊維(GF)を配向して積層した FRP 引抜成形部材を用いた。0°方向の CF と +45°、90°、-45°方向の GF を積層した層構成となっている。試験体は支圧接合を用いた二面せん断継手と比較のため平板に穴をあけた有孔平板の 2 種類とした。各試験体を図-1 に示す。二面せん断継手では、連結板は鋼板とし、打込式支圧接合高力ボルトを用いて FRP と鋼板を接合した。

3. 疲労試験

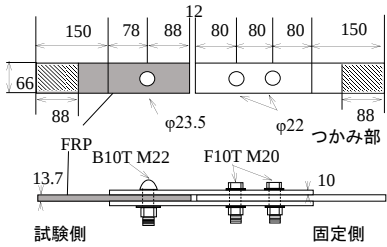
疲労試験条件を表-1 に示す。有孔平板では最大応力を約 265～121N/mm²、二面せん断継手では最大応力を 110～66kN/mm² として繰返し引張り荷重下で疲労試験を行った。試験終了後の有孔平板と二面せん断継手の様子の例を図-2 に示す。図中の矢印は载荷方向を示している。有孔平板では円孔の縁からき裂が発生し、载荷方向に進展してつかみ部まで到達したが破断には至らなかった。二面せん断継手では、応力範囲が最も小さい BJ-1 において、1000 万回载荷しても破断に至らず試験後に連結板を外して観察したところ支圧部分周辺に図-2 (b)に示すような局所的な支圧変形が確認された。応力範囲が約 70N/mm² の BJ-2 では円孔から発生したき裂が载荷方向に進展して縁端に達し、破断に至った。FRP の総断面を用いた公称応力範囲と破断時の繰返し回数の関係を図-3 に示す。ただし、有孔平板では疲労破壊が発生しなかったためき裂が 15mm に達した時点の载荷回数をプロットしている。図-3 より、有孔平板、二面せん断継手のそれぞれにおいて公称応力範囲と疲労寿命には相関がみられる。

4. 有限要素解析

円孔部周辺の応力状態を把握するため、Abaqus/Standard 6.14-1 を用いた 3 次元有限要素解析を行った。有孔平板は試験体全体をモデル化し、二面せん断継手では FRP と鋼製の連結板のみをモデル化した。モデル化の際、CF 層と GF 層の断面積に対する層厚の割合が変わらないように調整してモデル化を行った。CF 層、GF 層の材料特性は表-2 に示す値から文献 1)を参考に算出した。円孔部周辺の要素寸法は 1mm とした。両試験体に対して荷重を作用させたときに生じる最外層(CF)の最大主ひずみのコンター図を図-4 に、



(a) 有孔平板



(b) 二面せん断継手

図-1 試験体 (単位 : mm)

表-1 試験条件

(a) 有孔平板

試験体	応力範囲 (N/mm ²)	応力比	疲労寿命 (回)
PP-1	259.4	0.023	7000000
PP-2	116.1	0.045	20000

(b) 二面せん断継手

試験体	応力範囲 (N/mm ²)	応力比	疲労寿命 (回)
BJ-1	60.8	0.083	10000000
BJ-2	71.9	0.13	3226916
BJ-3	71.9	0.071	4200000
BJ-4	71.9	0.071	2434705
BJ-5	83.0	0.063	379032
BJ-6	105.1	0.05	44935
BJ-7	94.0	0.056	215127
BJ-8	77.4	0.067	1320891

キーワード FRP 引抜成形部材, 疲労強度調査, 支圧接合

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL : 052-789-4620

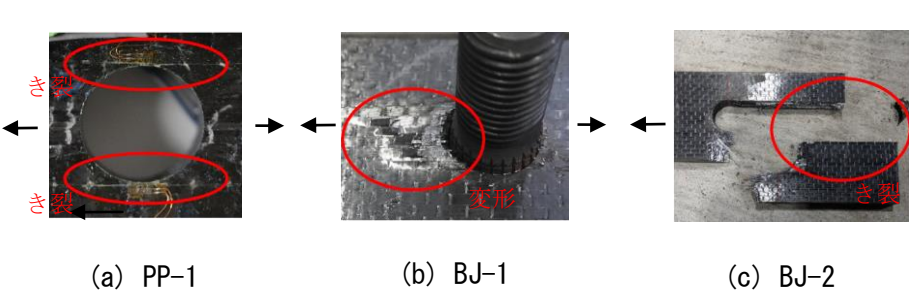


図-2 試験後の損傷状況

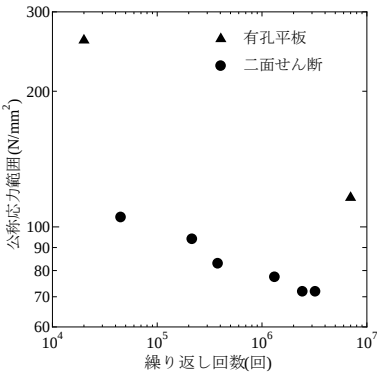


図-3 公称応力範囲での整理

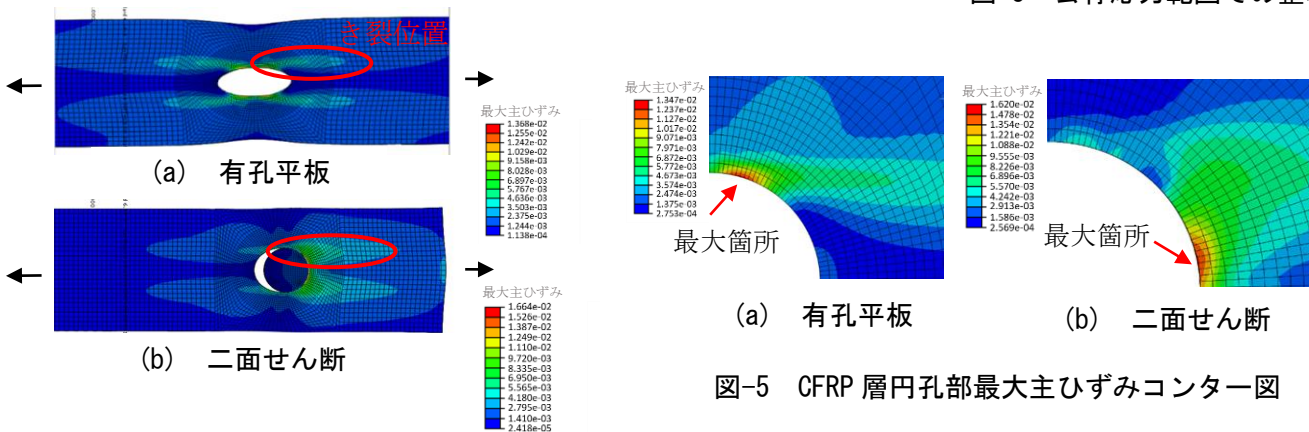


図-4 CFRP 層最大主ひずみコンター図

図-5 CFRP 層円孔部最大主ひずみコンター図

円孔部の拡大図を図-5に示す。図-5(a)の有孔平板では、矢印でしめす円孔の真横から僅かにずれた位置で最大主ひずみが最大となっている。図-4(a)の最大主ひずみが大きい領域は、円孔の縁から荷重方向に広がっており、これはき裂の進展領域と対応している。図-5(b)の二面せん断継手では、ボルトとFRP部材の接触部において最大主ひずみが最も大きくなっている。また、図-4(b)、図-5(b)に示すように、FRPとボルトが接触している箇所を除くと、有孔平板と同様に、最大主ひずみが大きい領域は円孔周辺から軸方向に広がっており、実験結果と一致している。疲労寿命を円孔縁における最大主ひずみ範囲で整理した結果を図-6に示す。同図より、有孔平板と二面せん断の結果はほぼ同一線上にプロットされており、試験体の種類によらず、最大主ひずみ範囲によって疲労寿命を評価できる可能性が示された。

表-2 解析モデルの材料定数

	繊維				樹脂		
	軸方向の弾性係数 E_L (kN/mm ²)	軸直交方向の弾性係数 E_T (kN/mm ²)	せん断弾性係数 G_{LT} (kN/mm ²)	ポアソン比 ν_L	弾性係数 E_m (kN/mm ²)	せん断弾性係数 G_m (kN/mm ²)	ポアソン比 ν_m
CFRP	440	39.7	54.9	0.31	6.5	2.4	0.35
GFRP	100	9.0	13.0	0.31			

5. まとめ

本研究では連続引抜成形により製造されたFRP部材ボルト継手の疲労強度を明らかにした。二面せん断継手および有孔平板のき裂発生寿命はき裂発生点の最大主ひずみ範囲と相関があることを示した。

謝辞

試験体の製作はフクビ化学工業㈱にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1)土木学会複合構造委員会：FRP部材の接合および鋼とFRPの接着接合に関する先端技術，丸善，2013。

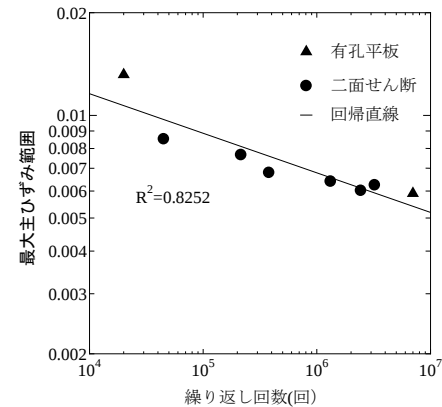


図-6 最大主ひずみ範囲での整理