

円孔を有する GFRP 板の引張耐荷挙動

九州大学大学院 学生会員 ○宅島 大貴
九州大学大学院 正会員 山口 浩平

九州大学大学院 フェロー 日野 伸一
宮地エンジニアリング(株) 正会員 久保 圭吾

1. はじめに

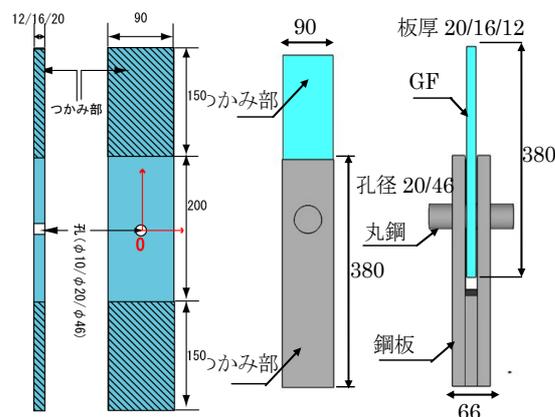
GFRP (ガラス繊維強化ポリマー) は、その軽量性や耐候性等から自重の軽減、施工性の向上の利点があり、新たな土木構造材料として期待されている。しかし、GFRP 製 PBL のずれ止め性能に着目した研究はほとんどなされていないのが現状である。既往研究の PBL 引き抜き試験では、破壊荷重が母材の引張強度から求めた計算値より、小さい荷重で破断している。これは、GFRP に孔が空いていることによる応力集中および支圧の影響と考えられることから、GFRP のみの供試体により、応力集中および支圧の影響を実験的に確認することを目的とする。孔にコンクリートが充填された状態荷重状態を模して静的引張試験を行い、FEM 解析により耐荷挙動および試験体の破壊の再現を試みた。実験値は FEM 解析と比較し検討した。

2. 試験概要

図-1 に供試体概略図、図-2 に供試体設置状況、表-1 に材料特性値、表-2 に供試体の種類を示す。試験は、シリーズ A の単純引張試験とシリーズ B の円孔に丸鋼を挿入して円孔近傍を支圧状態にした引張試験の 2 種類である。供試体は、ハンドレイアップ成形法で成形した GFRP を用い、シリーズ A の GFRP 板は長さ 500mm、幅 90mm、厚さ 20mm/16mm/12mm、孔径 46mm/20mm/10mm/孔なし、シリーズ B の GFRP 板は長さ 380mm、幅 90mm、厚さ 12mm/16mm/20mm、孔径 20mm/46mm とし、各タイプ 5 体ずつとした。試験は、万能試験機を用いて供試体のつかみ部を試験機のチャックでつかみ、荷重漸増引張試験を行い、荷重とひずみを計測した。引張強度およびヤング係数は円孔を有さない供試体の試験結果から算出した。特に引張強度は、各試験体の幅と板厚を測定して断面積を算出し、試験での最大荷重をその断面積の平均値で除した値である。

3. 解析概要

解析は、汎用プログラムの Marc2008 により GFRP 板および丸鋼は 8 節点ソリッド要素を用い、シリーズ A は下端を完全拘束し、上端に荷重作用方向の強制変位を導入した。シリーズ B は上端を完全拘束し、丸鋼端部に荷重作用方向の強制変位を導入した。図-3 に GFRP の材料構成則を示すが、引張強度 f_t に達した後は、初期勾配の 20% でひずみ軟化するモデルとした。降伏条件は Von-Mises を定義した。



(a) シリーズ A (b) シリーズ B

図-1 供試体概略図



(a) シリーズ A (b) シリーズ B

図-2 供試体設置状況

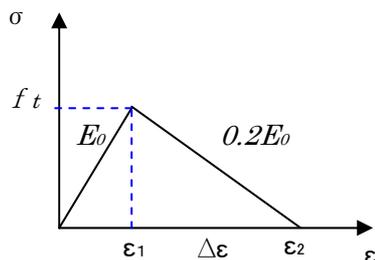


図-3 GFRP の材料構成則

表-1 材料特性値

板厚 (mm)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
12	90.5	8.86
16	77.9	8.60
20	94.1	9.94

4. 結果および考察

(1) 最大荷重

図-4 に引張終局時の鋼と GFRP の応力分布の概念図を示す。鋼の場合は全断面が降伏した後に破断するため、降伏荷重の設計値は孔部分を除いた断面積と強度の積で求めるが、GFRP の場合は孔近傍が引張強度に達するとすぐに破断してしまう。そのため、GFRP の引張破壊荷重は鋼と同じ方法では正確な値を求められないが、孔の部分を除いた断面積と引張強度の積を計算値とした。表-3 に各タイプの最大荷重を示す。孔が無い場合、実験値と計算値を比較すると、いずれのタイプも若干 $P_E > P_C$ となっているが、これは実際の供試体の板厚が少し厚かったことによると考えられる。孔がある場合、実験値と計算値を比較すると、 $P_E < P_C$ となっており、これは GFRP が全断面降伏状態にならずに引張破壊することを示唆している。また、実験値と解析値を比較すると、ほぼ一致していた。これらの結果より、解析により GFRP の最大荷重を再現できたと言える。

(2) 引張耐力の算定

引張耐力の算定式を検討するために、板厚 16mm、幅 90mm の GFRP 板について孔径を 8mm までは 2mm ピッチ、それ以降は 4mm ピッチで孔径 0mm~46mm の範囲でパラメータ解析を行った。図-5 にシリーズ A の解析値と計算値の比と孔径との関係を示す。この結果より、孔径 8mm までは減少していき、孔径 8mm 以上では約 0.8 倍で一定となっている。これより、実用上想定される孔径について安全側に評価して(1)のように引張耐力の算定式を提案できる。また、シリーズ B についても同様に孔径 0~46mm まで 4mm ピッチでパラメータ解析を行った。図-6 にシリーズ B の解析値と計算値の比と孔径との関係を示す。この結果より、孔径の増加に伴い解析値と計算値の比が大きくなっていくことがわかる。これは板幅に対して孔径が小さくなるに従い、局所的により大きな支圧力が作用するためと考えられる。これより、シリーズ A と同様に(2)のように引張耐力の算定式を提案できる。

$$P = 0.75 \times f_t \times A \quad (1)$$

$$P = (8.70 \times 10^{-3} \times \phi + 0.395) \times f_t \times A \quad (2)$$

ここで、P:円孔を有する GFRP 板の引張耐力(N)

f_t :GFRP の引張強度(N/mm²)

A:円孔を除いた純断面積(mm²)

5. まとめ

- (1) 引張力が作用する円孔を有する GFRP 板の引張耐力は円孔を除く純断面積すべてが引張強度に達したとする計算値よりも小さい。
- (2) 実用上想定される GFRP 板の板幅や孔径において、引張耐力は円孔を除く純断面積全てが引張強度に達したとする計算値の 75%とすれば安全側に評価できる。

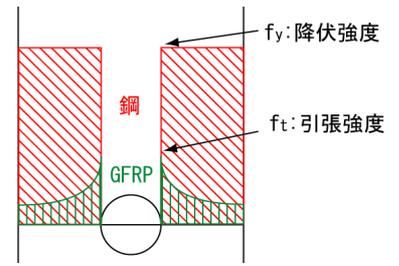


図-4 破断時応力分布図

表-2 最大荷重

タイプ	板幅 (mm)	板厚 (mm)	孔径 (mm)	最大荷重(kN)		
				計算値 P_C	実験値 P_E	解析値 P_F
A-12-0	90	12	-	97.7	111	97.6
A-12-20			20	76.0	66.9	57.6
A-16-0	90	16	-	112	126	112
A-16-10			10	99.7	90.8	87.9
A-16-20			20	87.2	72.0	69.6
A-16-46			46	54.8	54.1	43.2
A-20-0	90	20	-	169	185	169
A-20-20			20	132	109	101
B-12-20	90	12	20	75.8	45.8	35.4
B-16-46			16	46	54.8	50.3
B-16-20		20		65.4	49.7	42.2
B-20-20		20	20	132	64.8	64.9

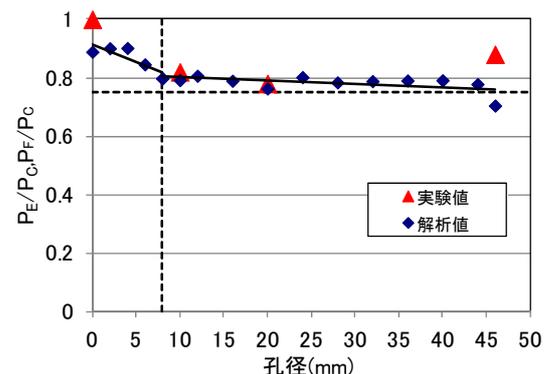


図-5 孔径と計算値比関係(シリーズ A)

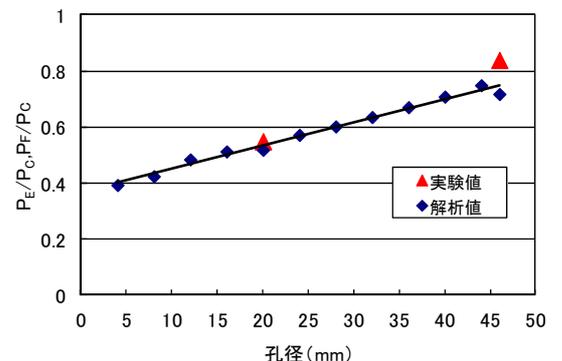


図-6 孔径と計算値比関係(シリーズ B)