

円孔を有する GFRP 板の引張および支圧耐荷挙動

(株)PAL 構造 正会員 ○李 宏斌 九州大学大学院 正会員 山口 浩平
九州大学大学院 学生会員 宅島 大貴 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. 目的

橋梁の桁端部の伸縮装置は、鋼製がほとんどである。道路橋においては冬場に走行安全性を確保するために凍結防止剤が用いられるがこれにより、鋼製の伸縮装置の腐食が生じている。また、伸縮装置の補修は交通規制を伴うため、社会的経済損失も大きい。これらに対して、その軽量性や耐食性等から自重の軽減、施工性の向上等の利点があり、新たな土木構造材料として期待されている GFRP (ガラス繊維強化ポリマー) を用いた伸縮装置が解決策の一つである。そこで本研究では、円孔を有する GFRP 板の引張耐荷挙動および GFRP 板の孔にコンクリートが充填された状態を模して静的引張試験を行い、FEM により耐荷挙動を検討した。

2. 試験概要

図-1 に供試体概略図、表-1 に材料特性値、表-2 に供試体種類を示す。供試体は、ハンドレアップ GFRP 板を用い、長さ 380mm/500mm、幅 90mm、板厚 12mm/16mm/20mm、孔径 10mm/20mm/46mm とし、各タイプ 5 体ずつとした。支圧試験では、孔にコンクリートが充填された状態を模するため、孔に丸鋼を通した。供試体のつかみ部を万能試験機のチャックで挟み漸増引張試験を行い、荷重と GFRP 板の孔近傍の引張方向ひずみを計測した。また、引張供試体を A、支圧供試体を B とした。

3. 解析概要

解析モデルは 8 節点ソリッド要素を用い、引張モデルの下端を完全拘束し、上端に Y 方向の強制変位を導入した。支圧モデルの上端を完全拘束し、丸鋼の端に Y 方向の強制変位を導入した。

図-2 に GFRP の材料構成則を示す。GFRP の引張強度 f_t に達した後は、ひずみ軟化を考慮した。支圧試験はさらに圧縮側の構成則は弾性とし、最大荷重を再現するために孔近傍 1 層要素は弾性体としモデル化した。本解析には、汎用解析ソフト Marc2008 を使用した。

4. 結果および考察

(1) 最大荷重および破壊形式

図-3 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、降伏荷重の計算値は孔部分を除いた断面積と強度の積で求められる。一方、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ため、GFRP の引張破壊荷重は鋼と同じ方法で

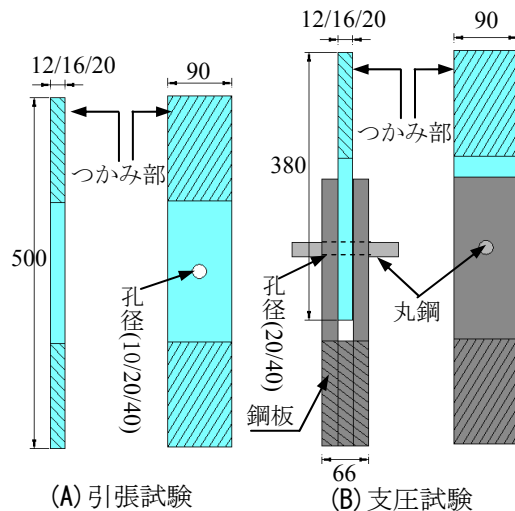


図-1 供試体概略図

表-1 材料特性値

板厚 (mm)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
12	90.5	9.96
16	77.9	8.60
20	94.1	9.94

表-2 供試体種類

タイプ	幅 (mm)	板厚 (mm)	孔径 (mm)
A-12-0	90	12	孔なし
A-12-20			20
A-16-0		16	孔なし
A-16-10			10
A-16-20			20
A-16-46			46
A-20-0		20	孔なし
A-20-20	20		
B-12-20	90	12	20
B-16-46		16	46
B-16-20			20
B-20-20		20	20

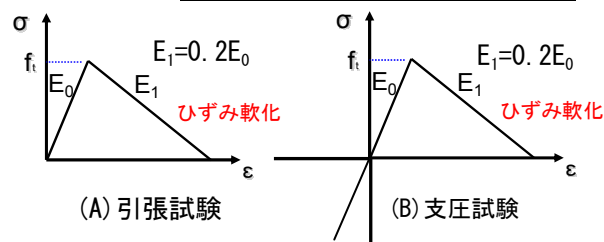


図-2 GFRP の材料構成則

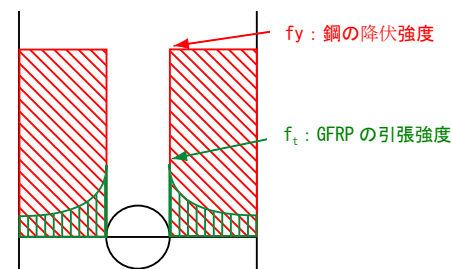


図-3 終局時の応力分布

キーワード 支圧, 応力集中, 数値解析

連絡先 〒852-8003 長崎市旭町 8-20 Tel : 095-862-0601

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。引張試験は孔がない場合、実験値と計算値を比較するといずれのタイプも若干 $P_{EXP} > P_{Cal}$ 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。一方、孔がある場合および支圧試験体は、実験値と計算値を比較すると $P_{EXP} < P_{Cal}$ 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を呈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。支圧供試体についても同様である。これらより解析により GFRP の最大荷重を再現できたと言える。図-4 に破壊状況の一例を示す。実験では、GFRP 板は最大荷重で大きな破壊音を伴い破断した。破壊形式は全ての供試体で円孔部の引張破壊であった。

表-3 最大荷重

タイプ	実験値 $P_{EXP}(kN)$	計算値 $P_{Cal}(kN)$	解析値 $P_{FEM}(kN)$
A-12-0	111	97.7	97.6
A-12-20	66.9	76.0	57.6
A-16-0	126	112	112
A-16-10	90.8	99.7	87.9
A-16-20	72.0	87.2	69.6
A-16-46	54.1	54.8	43.2
A-20-0	185	169	169
A-20-20	109	132	101
B-12-20	45.8	76.0	46.7
B-16-20	50.3	87.2	42.4
B-16-46	49.7	54.8	47.2
B-20-20	64.8	132	73.5

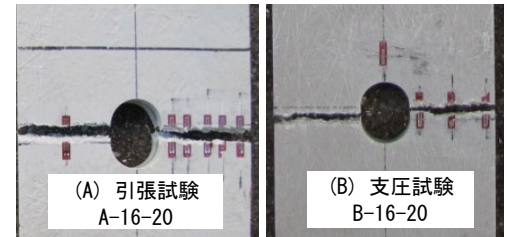


図-4 破壊状況 (一例)

(2) 円孔近傍の応力集中

図-5 にひずみ分布の一例を示す。左が引張試験の解析、右が支圧試験の解析である。図にはしていないが孔がない場合はほぼフラットであったのに対して、孔がある場合は孔近傍で応力集中をしており、FEM でも同様の傾向が見られる。

(3) 最大引張耐力の算定

最大引張耐力の算定式を提案するために、板厚 16mm、板幅 90mm、最大孔径を 46mm、支圧モデルの最小孔径を 4mm とし、引張モデルの孔径をパラメータとして 8mm までは 2mm ピッチで、それ以降は 4mm ピッチで解析を行った。

図-6 に P_{FEM}/P_{Cal} と孔径関係を示す。引張試験に関しては孔径 8mm までは減少していき、それ以降は約 0.8 倍で一定となった。この結果より実際に用いられる孔径は 8mm 以上であることや安全側に評価するために 0.75 とした。支圧解析に関しては、 P_{FEM}/P_{Cal} の比が孔径の増加に伴い大きくなっている。以下に提案した最大引張耐力の算定式を示す。

$$\text{引張} : P = 0.75 \cdot f_t \cdot A$$

$$\text{支圧} : P = (0.009D + 0.365) \cdot f_t \cdot A$$

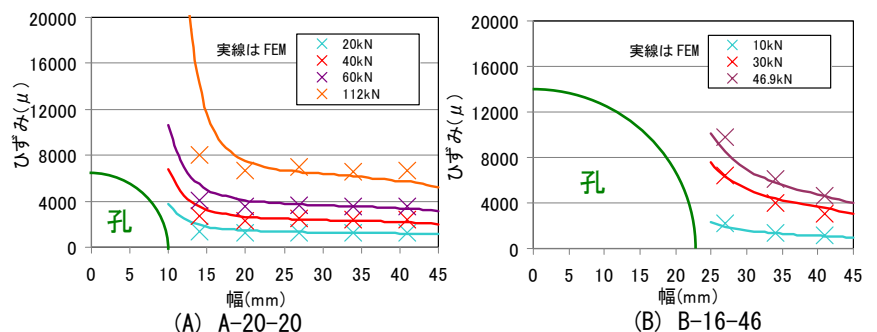
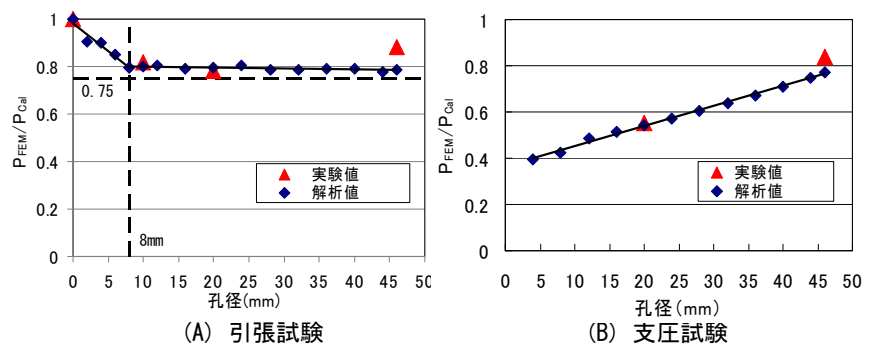


図-5 ひずみ分布 (一例)

図-6 P_{FEM}/P_{Cal} -孔径関係

P ・・・最大荷重

f_t ・・・引張強度

D ・・・孔径 (4~46mm)

A ・・・板断面積

5. まとめ

- (1) 円孔を有する GFRP 板の破壊形式は、引張破壊であった。
- (2) GFRP は鋼のような全断面降伏を呈さないため、最大荷重は全降伏を基準とした計算値より小さくなった。
- (3) FEM 解析により、最大荷重や応力集中を再現できた。
- (4) 引張試験での最大荷重は、引張強度と断面積の積に 0.75 を乗じれば安全側に評価できること、支圧試験での最大荷重は、孔径と比例関係にあることがわかり、それぞれの最大引張耐力の算定式を提案した。

参考文献

宅島大貴他：円孔を有する GFRP 板の引張耐荷挙動，平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，I-28，2012.3。