

8. GFRP 材を用いた橋梁伸縮装置の開発

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．道路橋に於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．昨年度，PBL 引抜試験を行い GFRP 製 PBL のずれ止め性能を検討した結果，孔近傍で GFRP の破断が生じた．そこで本研究では，円孔を有する GFRP 板の応力集中に着目した引張耐荷挙動について実験および有限要素法により検討した．

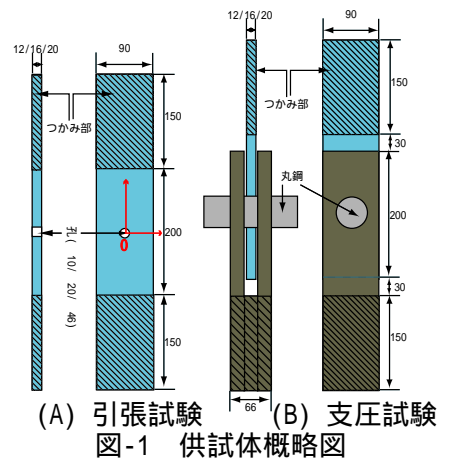


図-1 供試体概略図

2. 内容

2.1 試験概要

図-1 に供試体概略図 ,表-1 に材料特性値 ,表-2 に供試体の種類を示す．供試体はハンドレイアップ成形法で成形した GFRP を用い，長さ 500mm，幅 90mm，板厚 20mm/16mm/12mm，孔径 46mm/20mm/10mm/孔なしとして各タイプ 5 体ずつとした．引張供試体を A，支圧供試体を B 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．引張強度は板厚の孔なしの供試体の最大荷重と断面積から計算し，ヤング係数は板厚の孔なしの供試体の最大荷重の 20%と 60%の荷重差とひずみ差の比から計算した．

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

表-2 供試体の種類

タイプ	板幅 (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			12	20
B-16-20		16		20
B-16-46				46
B-20-20		20		20

2.2 解析概要

解析モデルは 8 節点ソリッド要素を用い，引張モデルは下端を完全拘束し，上端に Y 方向の強制変位を導入した．支圧モデルは上端を完全拘束し，丸鋼部に 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．引張強度 f_t に達した後は $E_1 = -0.2E_0$ としてひずみ軟化を考慮した．支圧解析についてはさらに圧縮方向について弾性体とした．降伏条件は Von-Mises を定義した．

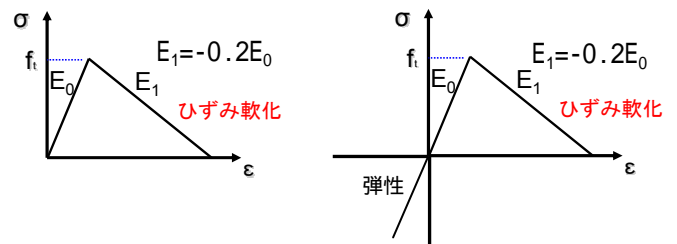


図-2 GFRP の材料構成則

2.3 結果および考察

2.3.1 破壊形式および最大荷重

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，降伏荷重の設計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

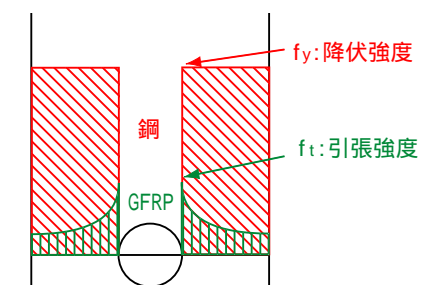


図-3 終局時の応力分布図

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。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、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 に破壊形式を示す。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

2.3.2 円孔近傍の応力集中

図-5 にひずみ分布を示す。左が引張試験の解析、右が支圧試験の解析である。ひずみ分布をみると図には示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、孔近傍で応力集中をしている。また解析の場合でも孔近傍で応力集中をしていることがわかる。孔近傍では解析のひずみがかなり大きくなっているが、それ以外では実験値と解析値はほぼ一致していた。

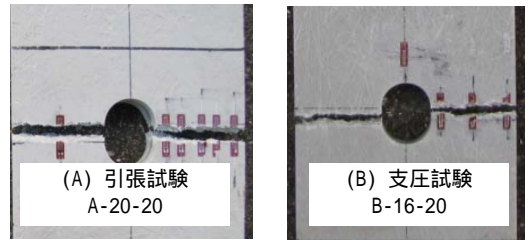


図-4 破壊状況

2.3.3 最大引張耐力式の算定

P_{FEM}/P_{Cal} と板厚との関係から、板厚の応力集中への影響はないという結果が得られた。そこで板厚を 16mm とし、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 ピッチでパラメータ解析を行った。図-6 に板厚 16mm の P_{FEM}/P_{Cal} と孔径との関係の引張試験の解析と支圧試験の解析の結果を示す。引張試験に関し

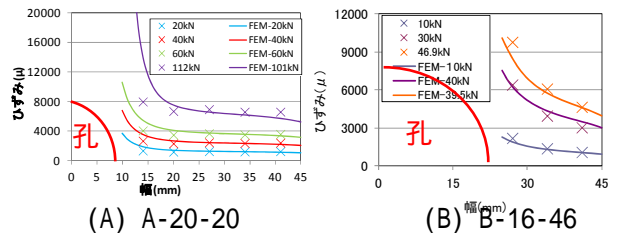


図-5 ひずみ分布

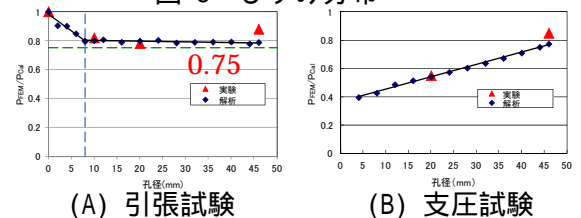


図-6 P_{FEM}/P_{Cal} - 孔径

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。以下に提案式を示す。

提案式 (引張) : $P=0.75 \cdot f_t \cdot A$ $P \dots$ 最大荷重 $f_t \dots$ 引張強度
 (支圧) : $P=(0.009D + 0.365) \cdot f_t \cdot A$ $D \dots$ 孔径(4~46mm) $A \dots$ 板断面積

3. 結論

- (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、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、また、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、それぞれの最大荷重の算定式を提案した。