

横衝撃荷重を受ける GFRP 円筒の数値解析

日大生産工(院) ○范 翔稷 日大生産工 坂田憲泰

1. 緒言

近年、環境問題に対応するため、自動車業界では車体の軽量化に取り組んでいる。繊維プラスチック（FRP）は従来の金属材料と比べ、比強度、比剛性に優れているため、自動車の構造部材への適用が検討されている。

FRPの代表的な強化繊維の一つであるガラス繊維は炭素繊維と比べると、弾性率と強度は低いが、破断ひずみは2倍以上となっている。また、ガラス繊維には速度依存性があり、高速領域において一方向材 GFRP の弾性率と強度は一方向 CFRP と同等になることが報告されている。そこで、本研究では軽量で優れた衝撃吸収特性を有するドアインパクトビームを開発することを最終目的とし、横衝撃荷重を受ける GFRP 円筒の数値解析を行い、実験結果との比較を行った。

2. 使用材料および供試体

GFRP 円筒の強化材には E ガラス繊維（RS110QL-520AS, 日東紡）を使用した。E ガラス繊維の物性値を Table 1 に示す。母材にはエポキシ樹脂（XNR/H/A6805, ナガセケムテックス）を用いた。GFRP 円筒の成形にはフィラメントワインディング（FW）法を用いた。成形は Fig.1 に示すように、繊維に樹脂を含浸させながらマンドレルに $\pm 60^\circ$ で巻きつけ、 85°C －4時間の条件で硬化させた。完成した供試体の寸法は、長さ1000mm、内径25mm、外径33mm となった。

Table 1 Material properties of E-glass fiber

Density	Tensile modulus	Tensile strength	Failure strain
[g/cm ³]	[GPa]	[MPa]	[%]
2.6	80	2440	4.8



Fig.1 Filament winding process of specimen

3. 実験方法

実験は落錘衝撃装置で行った。支点間距離は800mmとし、質量100kgの落錘子を高さ4.09mから自由落下させることで、供試体に横衝撃荷重を負荷した。衝撃荷重は両サイドの供試体支持部内のロードセル（CLP-500KNB, 東京測器研究所）で計測し、変位は高速カメラ（HX-7S, ナックイメージテクノロジー）で撮影した動画を画像解析することによって計測した。

4. 実験結果

落錘子衝突後の供試体の様子を Fig.2 に、荷重－変位線図を Fig.3 に示す。最大荷重は約25kN となり、荷重－変位線図の面積より求めたエネルギー吸収量は1080J となった。

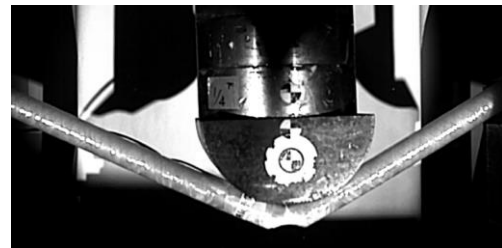


Fig.2 Impact test of GFRP cylinder

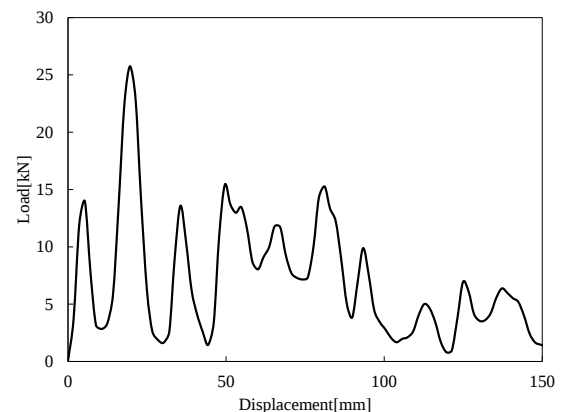


Fig.3 Load - displacement curve

5. 数値解析

5.1 解析方法

数値解析には PAM-CRASH を用いた。解析モデルの全体図を Fig.4 に示す。GFRP 円筒の解析モデルは、周方向に 1mm の独立した 8 層の Shell 要素を設け、 $+60^\circ$ 層と -60° 層を順番

FEM Analysis of GFRP Cylinder Under Lateral Impact

Hsiangchi FAN and Kazuhiro SAKATA

に定義することで FW 材を再現した。層間には Tied 要素 MAT303 を用いた。落錘と支持部は剛体 (MAT100) とし、落錘には衝突直前の速度 8.89m/s を初速度として与えた。落錘と GFRP 円筒、支持部と GFRP 円筒の接触には Contact type 33 を用いた。また、各層には自己接触設定 Contact type 36 を使用した。

5.2 材料物性値

解析に用いた物性値は、FW 法による一方向 GFRP 材の繊維 (L) 方向、繊維直角 (T) 方向、繊維と 45 度 (LT) 方向の引張試験で求めた。供試体の両端部のタブはアルミ合金製とし、LT 方向の供試体には、せん断変形を抑制するためにオブリークタブを用いた。試験速度は L 方向が 2mm/min、T 方向と LT 方向が 1mm/min とした。L、T、LT 方向の引張弾性率 E_L 、 E_T 、 E_{LT} は応力-ひずみ線図の初期の線形領域の傾きとし、せん断弾性率 G_{LT} は次式より求めた。

$$G_{LT} = E_{LT} / 2(1 + \nu_{LT}) \quad (1)$$

ここで ν_{LT} は LT 方向の供試体より求めたポアソン比である。解析に用いた材料物性値を Table 2 に示す。

Table 2 Material properties of GFRP

GFRP	Modulus of elasticity	
	Longitudinal, E_L	41.5 GPa
	Transverse, E_T	14.1 GPa
	Shear, G_{LT}	5.5 GPa
	Poisson's ratio	
	Longitudinal, ν_{LT}	0.30
	Tensile strength	
	Longitudinal, F_L	1091 MPa
	Transverse, F_T	16.9 MPa
	Shear, F_{LT}	8.8 MPa

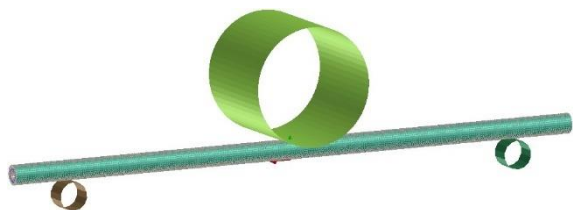


Fig.4 Analytical model in PAM-CRASH

5.3 実験結果と解析結果の比較

実験結果と解析結果の比較を Fig.5 に示す。初期の立ち上がり荷重と変位 50mm 以降の荷重においては、実験結果と解析結果は概ね同じ挙動を示した。一方、変位 10~40mm の間では両者の差が大きくなっており、今後、この差が生じた原因について検討を行っていく。

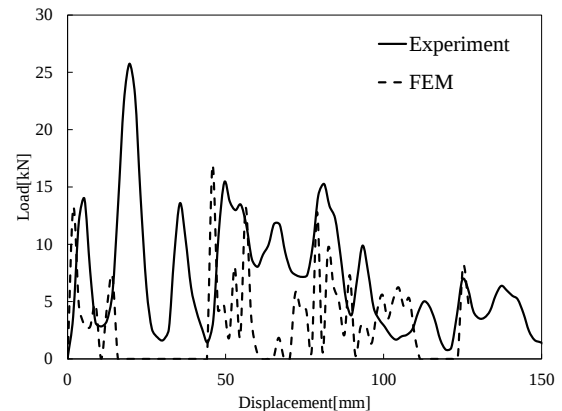


Fig.5 Comparison between experiment and FEM

6. 結言

FW 法で成形した一方向 GFRP 材の引張試験結果を用いて、横衝撃荷重を受ける GFRP 円筒の数値解析を行った。一定の変位区間では解析結果は実験結果を再現することが出来たが、実験で最大荷重となった近傍については両者の差は大きくなった。

参考文献

- 1) 谷口憲彦, 西脇剛史, 平山紀夫, 中村幸一, 荒尾与史彦, 川田宏之: 日本機械学会論文集 (A編), 78-793(2012), 1284-1299
- 2) ESI:VPS-2015 Solver reference manual (2015)
- 3) Francesco Rondina: Mechanical performance assessment and dynamic crash simulation of composite materials, Tipologia del document(2018)
- 4) Goichi Ben, Nao Sugimoto and Yoshio Aoki, Development of Simulation Technology for Impact Behavior of CFRP/Al Alloy Hybrid Beams in Side Collision of Automobiles, Advanced Composite Materials 19 (2010) 363-379