913 薄肉CFRPベルトの衝撃応答実験と解析

Impact response experiment and analysis of thin CFRP belt

○学 刈沢 俊行 (日大院)

学 古田 揚平 (日大院)

正 邊 吾一 (日大)

Toshiyuki UZAWA, Graduate student, Nihon University, Youhei FURUTA, Graduate student, Nihon University
Goichi BEN, Nihon University, Izumicyo1-2-1, Narashinoshi, Chiba

Abstract

In order to absorb side impact energy in an accident of automobiles, an impact beam is useful and its conventional type is made of steel. CFRP belts having lighter weight and higher tensile strength are recently developing for substituting steel beams. This paper presents the experimental and numerical results of CFRP belts under the impact loads and these results show a higher possibility of CFRP belt instead of a steel impact beam.

Key Words : CFRP, Impact, belt, Energy Absorption, Experiment, FEM

1. 緒言

CFRP (炭素繊維強化プラスチック) は比強度, 比剛性に優れる点を活かし, 輸送機, 工業機材, スポーツ用品などの幅広い分野で使用されている。本研究では自動車ドア部のサイドインパクトビームの代用品として, 面外衝撃に対し金属材料よりもエネルギー吸収に優れ, かつ軽量である薄肉CFRP部材を開発するために, CFRPベルト及びそのモデルを用いて実験的な検討を行う。

従来のインパクトビームはスチール (高張力鋼) 製が用いられており, 曲げ破壊により衝撃エネルギーを吸収していた。そこで今回新規に開発した, ベルト状からなる薄肉CFRP部材は, CFRPの引張強度に強いという特性を活かし, 面外からの衝撃力を軸方向に変換して引張モード破壊をさせ, エネルギーを吸収する。ここでは, ベルト状の薄肉CFRP部材を用いて, 衝撃エネルギー吸収の破壊挙動のメカニズムについて実験的及びFEM (有限要素法) を用いて検討を行った。

2. 実験

2.1 衝撃試験の概要 試験は落錘体による衝撃試験を行った。自動車のドア内に装着するインパクトビームを想定した全長800mmの部材の試験を日本自動車研究所 (JARI) 保有の大型落錘衝撃試験機を使用して行った。また, 小型モデルでの試験を当研究室保有の落錘衝撃試験機で行った。

2.2 試験サンプル 試験体は, 東レ製の高伸度タイプの炭素繊維を用い, マトリックスにエポキシ樹脂, 超高伸度樹脂を使用し, 真円のマンドレルによりそれぞれSW (シートワインディング), FW (フィラメントワインディング) 法で成形されている。また, 試験体は, ベルト状にすることにより両サイド固定部での応力集中による破壊を防いでいる。Table 1にJARI及び当研究室で使用した試験体の寸法及び衝撃子の大きさを示した。小型モデルは直径114mmのマンドレルにより成形され, ベルト全周が358mmである。また, 試験体の板厚は成形上0.2mm以下にすることが難しいため, 小型モデルは実寸モデルと同様の板厚となっている。

2.3 試験方法 試験機の概要をFig.1に示す。衝突時の落下速度は約20km/hである。試験体は, ベルト状になるよう治具に取り付けられ, 直径40mmのピンで両端を支持されている。荷重はサイドフレーム部分に荷重検出器を取り付けてピン支持部 (水平方向) の荷重を計測し, 落錘体には, JARIの試験では荷重検出器により荷重を計測し, 当研究室では加速度検出器を取り付けて加速度と質量の積で垂直方向の衝撃荷重を計測した。また, 試験体にひずみゲージを貼り付け, 衝

突から破壊までの動ひずみも計測した。ひずみゲージは主に, 落錘体の衝突部真下の表裏 (T1 outside & Inside), 衝撃部と支持部の中点 (T2), 下部ベルトの衝撃部真下 (B1) に貼り付けた。

2.3 結果 衝撃試験の荷重値の結果をTable 2に示す。支持部の想定破壊強度は, 衝撃側のベルトのみで荷重を負荷しているとして, (想定破壊強度) = (水平方向荷重) / (ベルトの断面積) で計算した。荷重値の結果から薄肉CFRPベルトは, CFRPの引張強度 (2.7GPa) に近い強度で破壊している。次にひずみ測定の結果をFig.2に示す。実寸モデルで衝撃部真下の裏表では, 値はほぼ一致したまま破壊に至っている。一方, 小型モデルのT1では初期には正負の値を示しているが, 引張ひずみが大きくなる。また, 両T2についても衝突から非線形的に引張ひずみが増大し破壊に至っている。

Table 1 Dimension of CFRP belts and Impactors

	Type	Actual Model (JARI)			Small Model (Our Laboratory)	
		J-01	J-02	J-03	L-01	L-02
CFRP Belt	Span	800	800	800	156	156
	Width	50	40	40	10	10
	Thickness	0.2	0.3	0.65	0.3	0.5
	Radius of end part	40	40	40	40	40
	Matrix (Resin)	Epoxy	Epoxy	Super Elongation	Epoxy	Super Elongation
Impactor	Radius	105			20	
	Mass (kg)	123.7			6.54	
	Speed (km/h)	20			20	

Unit : mm

Fig.1 Experimental Apparatuses

3. メカニズム

ベルト状に支持された試験体は、衝突から破壊までの間に衝突側のベルトのみで荷重を負荷しているだけではなく、両側のベルトで荷重を負荷しているのではないかと考えた (Fig.3). 衝突面のベルトのみで荷重を負荷している(仮説1)と両側のベルトで荷重を負荷している(仮説2), 水平, 垂直方向の力を力の三角形で考え, ベルトにかかる荷重を求めた(仮説3). 実際の衝撃試験で得たT2の位置のひずみデータとヤング率から, ベルトにかかる引張応力を求めた. その関係をTable 3に示す.

この仮説1, 2, 3とベルトに働く応力値から, 実寸モデルでは衝突時に負荷された荷重は衝突面のベルトだけではなく, 下側のベルトにも引張力が伝播されていると考えられる. また, ひずみデータの結果による強度は, 大型モデルに比べて小型モデルは小さい. これは, 試験体の長さに対して板厚が厚いため衝撃点において曲げによるエネルギー吸収があり, 引張力が小さくなっていると考えた.

4. 解析

4. 1 解析方法 FEMの解析はANSYS Ver5.6を用い, 陰解法による時刻歴応答解析, 解法はフル法, そして大変形効果を考慮した非線形構造解析を行った. 解析用のモデルは実験によって用いられた種々のデータをもとに作成されている. 境界条件としては, ベルト端部は回転自由のピンによって支持されているものとし, ピンの回転方向の変位のみが許容されている. また, 落錘子はインパクト手前1mmの位置から初速20km/hで落下するとした. これは実際の落錘実験の衝突直前速度に等しい.

JARIの実験ではインパクトから12~13msec後, 当研究室の実験では5~6msec後にベルトは破断している. そのため計算はそれぞれインパクトから20msec後と7msec後まで行った.

4. 2 解析結果及び実験値との比較 数値解析結果の中で特徴的な傾向が表れた, 衝撃部真下の計算結果と実験結果の比較をFig.4, Fig.5に示す. 解析結果で, JARIモデルでは17msec後, 当研究室モデルでは3.5msec後に減少の傾向を示しているのは, 落錘子が跳ね返ったためである. また, 実験の結果がJARIモデルでは15msec, 当研究室モデルでは5msec後で終了しているのは, その時点でベルトが破壊しているためである.

JARIの実験結果との比較を示したFig.4である. 時刻と共にひずみの値が上昇していく様子は, ほぼ一致した結果が得られた.

当研究室の実験結果との比較を示したFig.5である. インパクトの瞬間からベルト両面に正負の大きなひずみが発生した. これは落錘子の形状に沿ってベルトに曲げ変形が発生しているためである. しかし, 落錘子の落下が進行するにつれて, ひずみはOutside, Inside共に正の傾向を示すようになり, 実験では, 5msec後に破壊に至っている. 実験の破壊時刻と解析の最大値を示す時刻とのズレは, 解析で, 落錘子が一度減速, 停止しその後, 跳ね返ったために時間の遅れが生じたと考えた. しかし, Outside側の値が圧縮から引張へと移り変わる様子など, ひずみ履歴の傾向はよく一致している.

5. 結言

衝撃試験の荷重結果より, 薄肉CFRPベルトは衝撃エネルギーをCFRPの引張破壊で吸収していることが確認できた. また, ひずみ計測, FEMによる解析で, ベルト全体に引張力を作用していることが確認できた.

今後, 手軽に行うことが可能な小型ベルトの衝撃試験によって, 落錘体の形状, 薄肉CFRPベルトの成形法など, パラメーターを変えて検討していきたい. また, 薄肉CFRPベルトの破壊挙動のメカニズムについても明らかにしたい.

Table 2 Experimental results for loads

Type	Actual Model (JARI)			Small Model (Our Laboratory)			
	J-01	J-02	J-03	L-01-1	L-01-2	L-01-3	L-02
Vertically Max. Load (kN)	35.6	32.1	76.7	7.2	6.3	6.7	13.1
Horizontally Max. Load (kN)	6.3	9.0	21.3	2.2	3.7	4.0	7.8
Assumed fracture strength (Gpa)	2.4	2.7	2.4	2.4	2.1	2.3	2.6

Fig.2 Strain variation after impact

Fig.3 Direction of Load

Table 3 Calculation results of tensile strength

Type	Actual Model		Small Model		
	J-02	J-03	L-01-2	L-01-3	L-02
Calculation 1	2.7	2.4	2.1	2.3	2.6
Calculation 2	1.3	1.2	1.0	1.1	1.3
Calculation 3	2.8	3.1	2.4	2.6	3.0
Tensile Stress from young's modulus and Maximum strain	1.8	2.0	1.2	1.1	1.2

Unit: GPa

Fig.4 Comparison of FEM results with experimental ones (JARI)

Fig.5 Comparison of FEM results with experimental ones (Laboratory)