

車両用側面衝撃部材としての CFRP-Al ハイブリッド材の解析と実験

日大生産工(院) ○飯塚 由佳

日大生産工 邊 吾一

1. 緒言

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)は比強度,比剛性に優れていることから幅広い分野で使用されている.特に自動車産業では CFRP を使用することによって車体の軽量化が可能となる.それに伴い燃費向上,さらには CO₂の排出量を削減することが見込める.また衝突安全性の向上の面でも CFRP 複合材料の役割が大変注目されている.著者らは¹⁾既報で自動車用インパクトビームの代用品として CFRP 薄肉ベルトを用い衝撃応答挙動を明らかにした.

本研究では既報に引き続き自動車の側面衝突時において,限られた変位量で多くの衝撃エネルギーを吸収できる部材の開発を目的とする.一方向強化 CFRP はその大きな引張り強度で効果的に荷重を受け持つことが可能である.落錘衝撃試験を行うことにより複合材の大きい引張強度と金属材料の塑性をあわせ持つハイブリッド材特有の挙動を調べる.また,有限要素法ソルバーPAM-CRASH を用いた数値解析を行ない,解析結果と実験結果との関連性についても言及する.

2. 落錘衝撃試験

2.1 試験体

用いた試験体は,図1に示すような長さ1000mm,断面寸法30mm×30mm,板厚3.2mmの矩形断面を有するA7000系アルミニウム合金の下面の引張り側に接着剤で一方向強化CFRP積層材を貼り合わせたハイブリッド複合材である.貼り付けたCFRPはT700のカー

ボン繊維とエポキシ樹脂の母材で構成されている.CFRPをアルミ面に直接積層せず,接着剤を用いて貼り付けたのは,亀裂の伝播ならびにカーボン繊維によるアルミの電蝕を防止するためである.CFRP-Alハイブリッド材の衝撃応答挙動に対してCFRPの厚さの影響を調べるため,CFRPの厚みは0.5mm,1.0mm,1.5mm,2.0mm,2.5mmと5種類用意した.

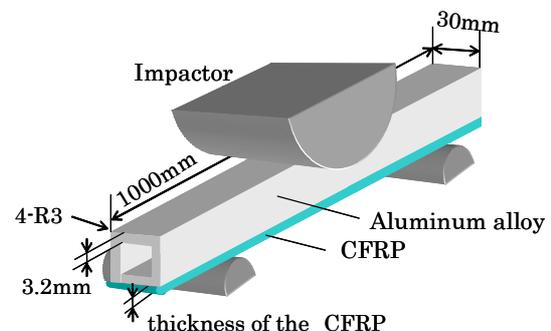


Fig. 1 Schematic of test specimen

2.2 試験方法

この試験体を図2に示すように,支点間距離800mmで設置し,試験体の飛散防止のためにナイロン製ベルトを用い支点の位置で押さえた上で落錘衝撃試験を行った.落錘子の質量は60kg,先端半径は100mm,幅は200mmで,試験体支持部の支点半径は15mmである.衝撃試験では落錘子を高さ12m(衝突速度約55km/h)からガイドは使用せず自由落下させた.ロードセルにより試験体支持部での衝撃荷重を,高速度カメラにより落錘子の変位を計測し,また試験体の変形も観察した.

Analysis and Experiment of CFRP-Al Hybrid Members for Impact Absorption in Side Collision of Auto mobiles

Yuka IIZUKA and Goichi BEN



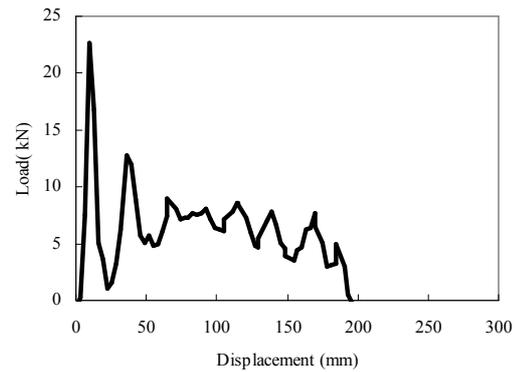
Fig.2 Support condition of specimen

3. 実験結果

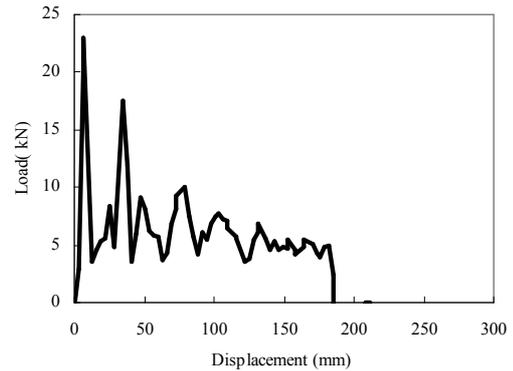
落錘衝撃試験結果の一例として、図3にAl単体の試験体とCFRPの厚さが1mm, 1.5mmのハイブリッド材の試験体の落錘子の変位と左右のロードセルの荷重を足し合わせた荷重からなる荷重-変位線図を示す。

図3-(a)のAl単体の試験体は落錘子衝突後23kN程の最大衝撃荷重を示し、その後、試験体は変形し先に進み落錘子が遅れるという挙動を示し、一瞬両者が離れるため荷重は低下するが、再び衝突した後に衝撃応答による変動を繰り返して荷重が低下していき、試験体の引っ張り側で破断して衝撃荷重は零となる。この時の落錘子の変位は180mm程度であった、Al単体では、200mm以内の曲げたわみ量で試験体が折損してしまう。

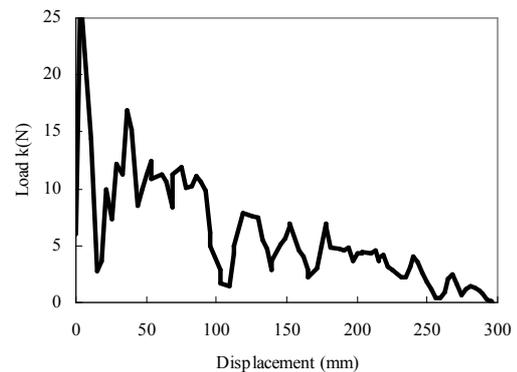
図3-(b)に示すCFRP0.5mmのハイブリッド試験体も衝突後25kN程の最大荷重を示し、その後落錘子と試験体が再び接触する10msec後の衝撃荷重は、Al単体の時の2倍の約12.5kNの荷重を保持した。そして変位が60mmの時CFRPが中央部で繊維破断をし、CFRPがAlから中央から剥離を起こした。その後はAl単体と同じレベルで荷重を受け持った。図3-(c)のCFRP2.5mmのハイブリッド材も荷重変位線図ではCFRP0.5mmのハイブリッド材と同様の傾向を示し、CFRP2.5mmではCFRPが破断するまでの時間が長くなり、変位85mmまで12.5kNのレベルで荷重を受け持っていることが確認できた。



(a) Al only



(b) CFRP-Al hybrid members (0.5mm)



(c) CFRP-Al hybrid members (2.5mm)

Fig.3 Load-displacement curves for Al and CFRP-Al hybrid members

落錘子は12mの高さから落下させているので時速55km/hで衝突するはずだが、実際には53.1~63.6km/h (avg55.4km/h)の範囲で衝突している。また落錘体は自由落下であることから落錘体の片当たりや、中央から軸方向にずれて当たっていることも確認している。これらの当たり方により試験体の最大荷重値には大きなばらつきが、CFRPの厚みにかかわらずみられる。図4にCFRP2.5mmの荷重-変位線図の例を示す。支持点に左右均等に荷重がか

かる場合は高い最大荷重値を示すが、当たり方によって左右の荷重の受け持ち方に偏りがでると最大荷重値は低くなる。この理由としては、両端での最大衝撃荷重が生じる時間に差が生じるためである。

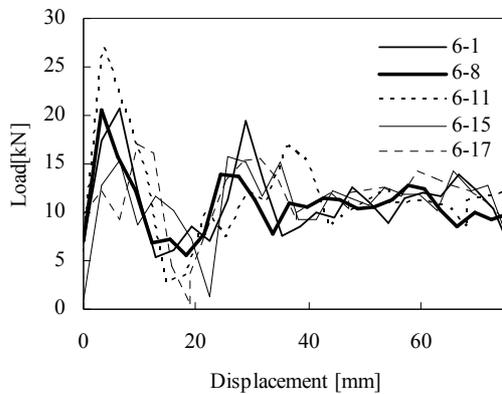


Fig.4 Load-displacement curves for CFRP-Al hybrid members (2.5mm)

図 5 に試験体の破壊様相を示す。今回の試験で破壊様相は大きく分けて 3 タイプに分類できた。タイプ A として図 5-(a) に示すような中央部で繊維破断を起こし、そこから AL と CFRP は剥離を起こしていくもの。(剥離は全体には及ばず中央から 2/3 程度で進展は止まっている。)タイプ B として繊維破断は起こさず接着部で Al と CFRP がはがれてしまうもの。タイプ C としてこのタイプ A と B が同時に混在しているものに分けられた。



(a) TYPE A (Fiber break)



(b) TYPE B (Delamination)

TYPE C (TYPE A & TYPE B)

Fig.5 Failure aspect

表 1 に試験体のそれぞれの破壊様相をこの分類によってまとめた。この表から

CFRP 0.5mm の薄いものではタイプ A そして CFRP の厚みが増すにしたがってタイプ B そしてタイプ C に移行していくことがわかる。

Table 1 Difference of mode of CFRP

Thickness of CFRP									
0.5mm		1.0mm		1.5mm		2.0mm		2.5mm	
2-8	A	3-8	B	4-2	C	5-2	C	6-8	C
2-9	A	3-9	A	4-3	B	5-3	C	6-11	C
2-10	A	3-10	B	4-15	C	5-11	C	6-15	C
2-11	A	3-11	A			5-15	C	6-17	C
2-12	A	3-13	A			5-16	C		
2-13	A	3-14	A			5-17	C		

次に、衝撃エネルギー吸収量を比較したものを図 6 に示す。ここで示したエネルギー吸収量は式(1)に示すよう落錘子の変位と支持部での荷重を積分することによって求めた。

$$E = \int_0^s P ds \quad (1)$$

図 6 には CFRP の厚みごとに落錘子の位置が 150mm まで、200mm まで、そして Al が破断し、荷重を受け持たなくなった時までのエネルギー吸収量と分けて表示している。これは側面衝突エネルギー吸収部材として考えたとき変位量の制限として 150mm 以内でエネルギーを吸収させるということが目安になっているからである。破断までの範囲では落錘子の当たり方や、衝突速度によってエネルギー吸収量にもばらつきが大きくなるが、150mm までの範囲でエネルギー吸収量を比較すると CFRP を厚くすることによりエネルギー吸収量が増加し、CFRP 2.5mm で Al 単体に比べ 27% エネルギー吸収量が向上し、変位量 150mm で 1260J のエネルギーを吸収することができた。

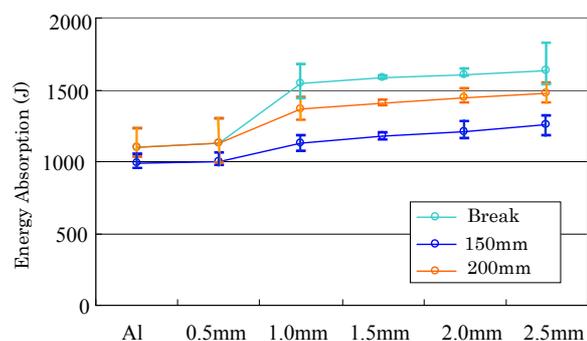


Fig.6 Impact energy absorption as a function of CFRP thickness

4. 解析及び解析結果

4.1 解析モデル

解析モデルは落錘衝撃試験の試験体、落錘子、支持部の寸法に基づき作成された。なお落錘子および支持部は衝突に影響する先端部のみをモデル化した。図7に解析モデルの概観を示す。

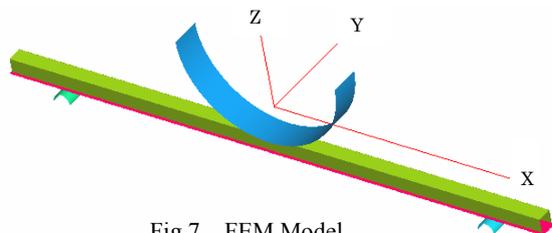


Fig.7 FEM Model

4.2 材料定数と使用要素

解析には、動的陽解法を用いた有限要素法構造解析プログラム PAM-CRASH ソルバー2004を使用した。使用した材料定数を表2に示す。試験体の A1 に弾塑性シェル要素，CFRP には積層シェル要素を用いた。落錘子と支持点は剛体とし，鋼の材料定数を用いた。そして落錘体に付加質量を与えている。

Table 2 Mechanical properties

	CFRP	Al
E_1 (GPa)	135	72
E_2 / E_3 (GPa)	8.50 / 3.17	—
G_{12} / G_{23} (GPa)	3.17/3.04	—
ν_{12}	0.34	0.30
ν_{23}	0.40	—
ρ (kgf/mm ³)	1.60e-6	2.79e-6

また、落錘子と試験体、試験体と支持部の接触にはコンタクトタイプ 33 を用い摩擦係数(0.5)と、ペナルティー係数(0.1)を与えた。A1 と CFRP の間にはコンタクトタイプ 32 を使い、ペナルティー係数(0.1)を与え、接着を表現した。この接触では A1 側 CFRP 側それぞれに節点を配置し一定の間隔を保持させるような接触で、2 つの節点が剛体として接合されるわけではなく、応力集中を防ぐ接触である。

A1 は厚さベースの破壊基準値を用い、厚みが 5%減少した時要素を削除した。

4.3 解析結果

図8に A1 単体での荷重変位線図を実験値と解析値を重ねて示す。A1 は実験値に誤差が多いので代表的な 2 つと比較する。解析では最大衝撃荷重値は実験値に比べ高い値を示すが、破断変位も 2 つの実験値の間に入り、良い一致を得ている。

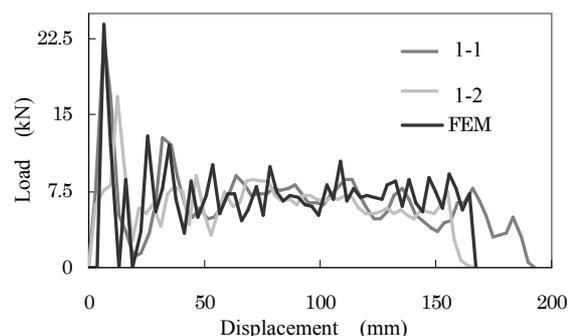


Fig.8 Comparison of Experimental results and FEM ones

図示していないが、ハイブリッド材についても傾向は良い一致を示しているが、定量的にはまだ差がある。最大荷重値は実験では左右の荷重値の偏りがある為小さくなっていると思われるので解析でも実験の状態を再現し検証する。

5. 結言

車両の側面衝撃吸収材として設計された CFRP-A1 ハイブリッド材に対し、衝撃実験と解析を行った結果以下の知見を得た。CFRP を貼り付けた効果により、CFRP の厚みが 2.5 mm では A1 単体に比べ約 2 倍の荷重保持能力を示し、エネルギー吸収量も 32%向上した。また数値解析では A1 単体で良い一致が得られた。ハイブリッド材については定量的な差があるものの予測可能であった。

6. 参考文献

- 1) 邊, 勿沢, 金, 青木, 三石, 北野, CFRP薄肉ベルトの衝撃応答挙動とその強度機械学会論文集A編, 70巻694号, (2004), pp46-51
- 2) 邊, 飯塚, 小林, 車両の側面衝撃吸収材用の CFRP-A1ハイブリッド材の解析と実験, 第30回複合材料シンポジウム講演要旨集, (2005), pp151-152