

車体形状と安全

- 車両フレームの形状と安全性についての考察 -

青木義男* 邊 吾一**

自動車を主とした内燃機関には、環境保全のためのCO₂排出量削減と同時に、高い安全性の確保が強く要求されている。このため車体設計に際しては、軽量化、高剛性化、高い衝撃吸収特性を優先的に考慮する必要がある。本報告では、このような時代の要求から開発されたさまざまな軽量化・衝突安全性車体について紹介し、併せて筆者が車両のフレーム形状と安全性に関する基礎研究として行ってきた、「軽量高剛性アルミ合金 - CFRP接着接合部材」ならびに「衝撃吸収CFRPサイドインパクトベルト」についての研究成果を詳解する。

Car-body Shape and Safety

- Examination for Car-body Shape and Safety Design -

Yoshio AOKI* Goichi BEN**

Internal combustion engines, particularly in cars, need to meet strict safety requirements in addition to regulations on CO₂ emission reduction for environmental protection. Consequently, use of strong, lightweight materials with high crashworthiness is given priority in designing car-bodies. This paper presents various lightweight, collision-resistant car-bodies that have been developed in response to requirements of our times. It also provides a detailed explanation on the results of the author's basic research into vehicle pillar and safety, namely, lightweight durable aluminum alloy - CFRP adhesive bond composites, and collision impact absorbing CFRP side-impact belt.

1. はじめに

近年、自動車を中心とした内燃機関には、環境保全のためのCO₂排出量削減と同時に、交通事故に対する安全性の確保が強く要求されている。車両の安全性についてはITS(Intelligent Transportation System)やASV(Active Safety Vehicle)など事故回避

のための安全確保(アクティブセーフティ)ならびに衝突安全車体やエアバックシステムなど事故時の乗員衝撃低減のための安全確保(パッシブセーフティ)の両者の観点から、さまざまなアプローチでの開発・研究が進められており、従来の走行性重視の車両設計から、徐々に機能性・安全性重視の設計へと推移していることは、最近のコンセプトカーデザインなどから明らかに感じ取られることである。

しかしながら、この機能性・安全性重視の設計は、同時に、先進安全システムやエアバックシステム、ナビゲーションシステムやマルチメディア機器などの搭載を余儀なくし、車両重量の増加傾向に拍車をかけている。Wallentowitz¹⁾らの報告では、1985年以降特に増加傾向が顕著となり、アウディ社の調査²⁾

* 日本大学理工学部精密機械工学科助教授
Associate Professor, Dept. of Precision Machinery
Engineering, College of Science & Technology,
Nihon University

** 日本大学生産工学部機械工学科教授
Professor, Dept. of Mechanical Engineering,
College of Industrial Technology, Nihon University
原稿受理 2004年2月12日

でも、自動車の平均質量が、中型車で1年に10kg、大型車種では1年に20kgずつ増加しているとのデータがある。車両重量が増加すれば、燃費が低減するだけでなく、これに見合う運動性能を確保するためにより高出力の内燃機関が必要となり、同時に確保しなければならないCO₂排出量増加を助長する結果となってしまふ。従って、CO₂排出量削減と安全性確保のトレードオフを同時に満たせるような、新しい車両設計を考案しなければならない現状である。

本報告では、このような背景から求められる多様な要件に対し、提案されている自動車車体やフレーム設計について概説し、併せて筆者らが車両のフレーム形状と安全性について行ってきた研究成果の一部を紹介する。

2. CO₂排出量削減のための車体設計

環境汚染に伴う地球温暖化は年々事態が深刻化してきているにもかかわらず、CO₂排出量は世界的に年々増加しており、自動車からのCO₂排出削減が社会から強く要求されている。欧州では2008年までに約25%の燃費改善目標が設定され、各国内で燃費改善の検討が積極的に進められている。現在、GWG (Global Warming Gas)の排出量は世界で約60億t/年(1t/人・年)であり、そのうち日本の総排出量は3億t/年(2.5t/人・年)となっており、この中で自動車の係わる輸送部門の占める割合は全体の21%と約1/5を占めているとの調査結果³がある。

この燃費改善策として、エンジン性能向上や新燃料の適用は勿論のことであるが、同時に車体の軽量化も効果的であり、そのための手段として、鉄鋼材からアルミニウム合金などの軽金属材料への転換、さらに、先進複合材料の適用が自動車メーカーを中心に検討され始めている。自動車年鑑ハンドブックによれば、2000年における国内の自動車の保有台数は約7,265万台、うち乗用車が5,240万台である。この約10%(500万台)が超軽量・安全車体に代替され、車体が200kg軽量化されるとすると、1.5tの乗用車(燃費8.5km/ℓ、走行距離1万km/年)は1.3tに軽量化、すなわち、燃費は11km/ℓに向上することから、ガソリン換算で134万ℓ/年というきわめて大幅な省エネ効果となる。世界規模では、その10倍以上の省エネ効果が見込め、その効用はきわめて大きい。また乗用車以外の運輸部門であるトラック、コンテナ、保冷タンク等でも軽量化による省エネ効果が見込める。



Fig. 1 CFRP製車体の開発例

このため、アルミニウム合金への転換については、既に平成14年度の国家プロジェクト(革新的地球温暖化対策プログラム)で自動車軽量化のためのアルミニウム合金技術開発が取り上げられ、実用化されつつある。また、先進複合材料で最も注目されている炭素繊維強化複合材料(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic)は、アルミニウムに比べ2/3の軽さ(アルミニウムの比重2.7に対し1.6)、5倍の強度(アルミニウム500MPaに対し2700MPa)を有する軽量化効果の高い素材であり、日本の製造技術が世界をリードするレベルにあるが、経済性、量産技術や組立加工技術の点で未だ自動車分野での本格実用化の域には達していない。

一方、欧州ではいち早く低コストCFRPで自動車を軽量化し、燃費とCO₂エミッションを大幅に改善するため、国家プロジェクトであるTECABS (Technologies for Carbon fiber reinforced modular Automotive Structures)が、フォルクスワーゲン社、ダイムラークライスラー社等の自動車メーカーと素材・部材メーカー16社/研究機関(独、仏、スウェーデン、スイス、ベルギー)が参加して、2000年4月より推進されている。TECABSは、車体(body in white)を軽量化、部品数を削減し、RTM(Resin Transfer Molding: レジントランスファーモルディング成形法)で自動車の床(floor pan)を試作し、2004年前半に予定のリッターカー(燃費100km/ℓ)のプロトタイプに適用することを目標としており、Fig.1のような開発例も公開されている。先頃発表されたボルシェGTは、モノコック車体とサブフレーム、ボディパネルの素材に、レーシングカーを含めた市販車として初めてCFRPを採用し、軽量車体の新しいかたちを提案しており、CFRP車体製造技術において、日本は欧州の後塵を拝した感がある。

3. 安全性向上のための衝撃吸収車体設計

車両の安全性向上に対しては、アクティブセーフティとパッシブセーフティの両面から、さまざまな開発・研究が行われているが、車体の設計に密接に係わってくるのは、事故時の安全性確保（パッシブセーフティ）のための衝撃吸収車体の設計・開発である。

現状の車体設計に対しては、NCAR (New Car Assessment Program: 自動車アセスメント) の安全基準が規定されており、事故形態として想定される前面、後面、側面からの衝突に対して、次のような設計指針が与えられている。

(1) 前面衝突の場合は、剛体壁への時速55kmでのフルラップ衝突時と時速64kmでのオフセット衝突時についての乗員の安全基準を満足することが規定されている。これに対し車体では、主としてフロントサイドメンバが衝撃を吸収し、残った衝撃を客室回りのボディ骨格に分散させ、フロントフードは、衝突時に中央部分で折れ曲がり、乗車空間への侵入を防止するよう設計されている。後面衝突に対しては、主としてリヤサイドメンバが衝撃を吸収する。これら前後のサイドメンバには間隔を置いてビードを入れるなどの工夫により、衝突時に潰れて衝撃を効果的に吸収する。さらに、オフセット衝突に対しては、左右のサイドメンバを強固なクロスメンバで接続し、非衝突側にも衝撃を分散する構造としている。

(2) 側面衝突の場合は、運転席側の側面に950kgの台車を時速55kmで衝突させた時に、乗員の安全基準を満足することが規定されている。車体の側面には、前部や後部のように、衝突時の衝撃を吸収するクラッシュブルゾーンを十分に設けることができないので、ドアやフロアクロスメンバで大部分の衝撃エネルギーを吸収する必要がある。このため、ドア内部へサイドインパクトバーを設ける、サイドシル断面の大型化や、サイドシルやピラーの結合部の強化などにより、乗員スペースの変形を抑えるとともに、衝撃を分散させるよう設計している。

(3) 乗員スペース周りは、万一の衝突時に乗員の生存空間を確保するため、剛性の高い強固なフレームの配置、フレームの結合部分の剛性向上、アウターパネルの一体化によって衝突時の乗車空間の変形を最小限に抑えられるよう設計している。また、ドアとドア周りの骨格とのラップ代を拡大し、ドアを支

持するフレームと強固なドアロックやドアヒンジを組み合わせて、乗員スペースへのドアの侵入量を抑える。

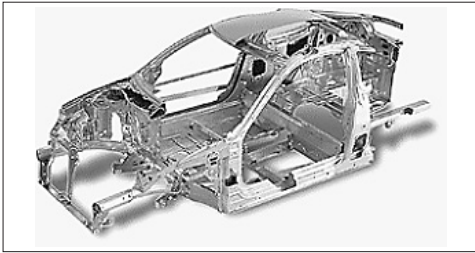
従来の設計では、これらの設計指針に基づき、プレス鋼板部材をスポット溶接などで組み合わせたモノコック構造が一般的であったが、前述の軽量化の要求や、アルミニウム合金やCFRPの成形技術の向上とともに、新たな衝撃吸収車体構造の開発が盛んになってきている。次に国内外におけるフロントサイドメンバと、スペースフレーム構造についての開発動向を紹介する。

3-1 フロントサイドメンバの衝撃吸収特性向上

前面衝突に対して重要な衝撃吸収部材であるフロントサイドメンバに関しては、これまで多くの開発・研究が行われている。ドイツでは、シートベルトを装着した乗員の受傷許容限界内となる衝撃エネルギーに低減するための指標として、「時速50kmで剛体バリアに衝突する時に、鋼製フロントサイドメンバが50mm程度変形できるような車体構造」が、車重600~1,800kgの乗用車に対して提示されている⁴⁾。また従来のプレス鋼板をスポット溶接接合したフロントサイドメンバについては、その断面形状、スポット溶接間や接合方法についての検討も行われており¹⁾、六角形や八角形といった多角形断面の衝撃吸収性能が高いことが実験的に検証されている。長手方向の形状に関しては、Mamalisら⁵⁾が角錐台や角柱との組み合わせ形状について衝撃吸収特性を検討し、先端角度75度の角錐台のエネルギー吸収量が解析値、実験値ともに優位な結果となったことを示している。国内では、六角形断面に隔壁を設けたアルミ合金製フロントサイドメンバが開発され、ホンダ社のインサイトに採用されている⁶⁾。断面内に隔壁を設けると安定した高次の圧縮座屈変形によって衝撃吸収量が増大することが確認されている。また、同様の目的で角錐台形状のフロントサイドメンバの壁面に規則的な打ち抜き加工を施した開発例もみられる⁷⁾。材質についても軽量で、衝撃吸収特性が鉄鋼材の4倍ともいわれているアルミ合金、さらに前出のCFRPやGFRP（ガラス繊維強化プラスチック）に注目する開発例が見受けられるようになってきている。ごく最近では、CFRPモノコック構造の先端部分にFig.2のようなフロントサイドメンバを採用した市販車も登場し話題になっている。

3-2 スペースフレーム構造

従来の自動車構造の多くは、プレス圧延鋼板をス

Fig. 2 CFRPフロントサイドメンバ⁵⁾Fig. 3 アルミ合金スペースフレーム構造⁶⁾

ポット溶接などで接合して組み立てるモノコック構造が中心であった。この製造法は、大量生産に対して低コストでできる利点があったが、前述の軽量化と衝突安全性向上に対する要求に対応するため、アルミニウム合金スペースフレーム構造が登場した。この構造は、中小型車の分野を中心に取り入れられはじめた車体構造である。アルミニウムの押し出し材を溶接や接合部材で結合し組み立てる構造で、骨組み構造に近い形態であるのでこの名称で呼ばれている。モノコック構造のように大型プレス金型の作成が必要ないので低コスト化に有利であるが、接合部の設計が車体剛性に多大な影響を与えるので、重量増加せずに接合部を高剛性化する設計が特に重要である。欧州ではすでにアウディ社のA8と、フェラーリ社のScagliettiに採用されているが、いずれも月産1,000台程度以下である。これに対し、ホンダ社では前出の衝撃吸収フロントサイドメンバを採用したFig.3のようなアルミニウム合金スペースフレーム構造を低燃費車インサイトに採用している⁶⁾。また、日産自動車は、ハイドロフォーム工法によるアルミニウム合金フレームをプレスジョイント部材で接合して構成するスペースフレーム製法を開発し、大量生産の目処をつけている⁹⁾。アルミニウム合金スペースフレーム構造の採用によってA8では車重10%の軽量化を達成したが、日産自動車の製法によれば、40%の軽量化と2倍の車体剛性が達成できると試算している。その他、国内他社においても小型車を中心にアルミニウム合金スペースフレーム化の動きがあり、リサイクルアルミを利用す

れば鉄鋼材より低コスト化が図れることもわかってきたため、今後、この構造を有する軽量低燃費車が多くなる可能性がある。

4. アルミ合金 - CFRPハイブリット車体構造

これまで述べてきたように、燃費向上のための車体軽量化と衝突安全性向上の両観点、さらには低コスト、リサイクル性を勘案しても、アルミニウム合金スペースフレームやCFRPモノコック構造が、次世代車両構造の候補になっていることは疑いない。しかしこの両者を比較すると、それぞれの現状での優位点が以下のように明らかである。

- (1)アルミニウム合金は、加工性、低コスト、リサイクル性、生産性の点で有利である。
- (2)CFRPは、軽さ(燃費向上)、剛性、強度、衝撃吸収特性の点で有利である。

筆者らの研究グループでは、この両素材の優位点を活かせる金属 - CFRPハイブリット構造部材について研究を行っており、この成果の一端を紹介する。

前章で述べたように前面や後面への衝突安全については、クラッシュゾーンが確保できるので、最低限の衝撃許容限界を保障する設計は困難ではないが、側面衝突に対しては、乗員生存空間の確保という観点から、塑性変形による衝撃エネルギー吸収をほとんど期待することができない。従って、アルミニウム合金スペースフレームやCFRPモノコック構造で設計する場合は、少ない変形での衝撃吸収性能の向上と乗員生存空間保持のための高剛性化が重要である。アルミニウム合金だけでの高剛性化には限界があり、部材の板厚を厚くするなどの重量増加を余儀なくされてしまう。またCFRPだけでは生産性とコストが犠牲になる。そこで、重量増加の抑制と高剛性化を両立するためのアルミニウム合金 - CFRP接合部材、ならびに少ない変形量での衝撃吸収性能向上のためのC

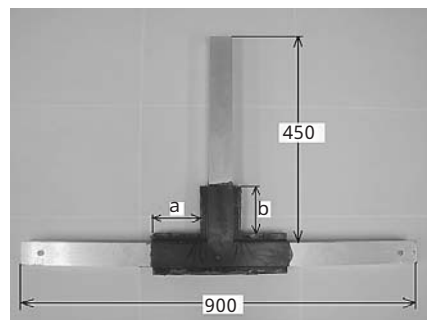


Fig. 4 アルミ合金 - CFRPハイブリット構造部材

FRP - 鋼板ハイブリットアウターパネル及びCFRP サイドインパクトベルトを提案し、その構造特性や衝撃吸収特性について検討した結果を次に示す。

4 - 1 アルミ合金 - CFRPハイブリット構造部材による軽量高剛性化

側面衝突時の乗員生存空間の確保に対して、高剛性化のメリットが大きな部位としてサイドシルやピラーの結合部分の剛性向上が挙げられている。そこで、車体中央のBピラー(センターピラー)の結合部をT型の結合部材としてモデル化し、Fig.4のようなアルミ合金とCFRP接合部材を接着接合して構成したハイブリット構造部材の剛性と強度について検討した。Fig.4のようなT型の結合材では変形に際して剛節の条件を満足せず、結合部に作用する曲げモーメントの大きさに応じて部材間交角に変化が生ずる弾性結合の性質を示す。この部材間交角 $\{ \}$ と曲げモーメント $\{ M \}$ の比を結合剛性と定義し、次式で表す。

$$\begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} \dots\dots(1)$$

まず、アルミ合金 - CFRPハイブリット構造部材(以下、ハイブリット構造部材と略記)の結合剛性を評価するために静的曲げ試験を行った結果をTable 1に示す。ハイブリット構造部材(アルミ合金、CFRPともに板厚2mm、接合部材長さa = b = 100mm)と、従来の車体構造に多く用いられ、フランジ部にスポット溶接が施されているプレス鋼板溶接構造部材のT型モデル(板厚2mm)では、前面や後面衝突の際に負荷されることが多い面内方向曲げに対する結合剛性 K_y は、ハイブリット構造部材の方が倍以上高く優位な結果となった。また紙面の都合上表記を略したが、側面衝突の際に負荷される縦通材ねじり変形に対する結合剛性 K_z は、ハイブリット構造部材の方がわずかに高い結果が得られた。しかし、側面衝突の際に負荷される面外曲げに対する結合剛性 K_x は、明らかに従来のプレス鋼板溶接構造部材が優位となった。そこで、CFRP接合部材の長さ(Fig.4中のa, b)、フランジ幅ならびに板厚を設計変数として、面外曲げ剛性 K_x を効果的に上げるための影響度を有限要素法による数値解析によって調べた。この結果の一例をFig.5(a)(b)に示す。両図

Table 1 T型試験片曲げ剛性測定結果

試験片材質	重量 (kg)	面内曲げ [N・m] K_y	面外曲げ [N・m] K_x
アルミ合金 + CFRP ハイブリット構造部材	1.02	5.89×10^5	2.17×10^4
プレス鋼板溶接構造部材	1.7	2.21×10^5	6.39×10^4

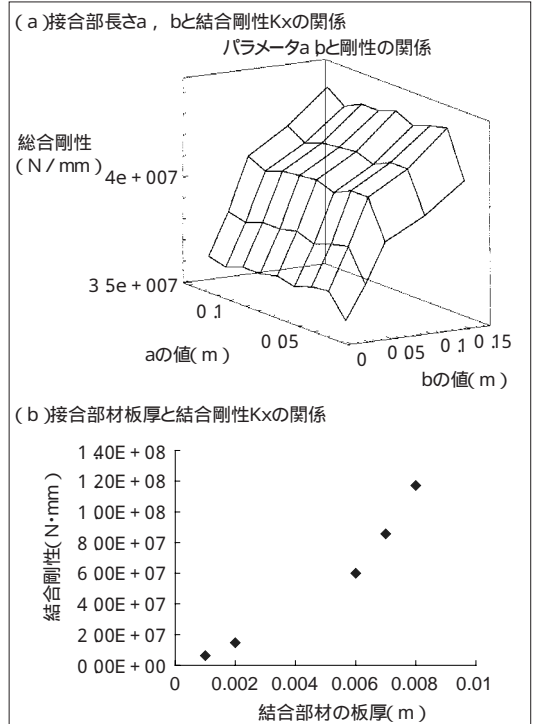


Fig. 5 ハイブリット構造部材の形状・寸法と結合剛性 K_x の関係

より面外曲げ方向の結合剛性を高くするためには、結合部材の板厚を厚くすることが最も効果的であり、続いて縦通材方向のフランジ長さbを長くすることが高剛性化に対して有利であることがわかる。Fig.5の結果からは、CFRP接合部材の板厚をTable 1の試験片の3倍の厚さ6mmにすれば、プレス鋼板溶接構造部材の面外曲げ結合剛性 K_x と同等の値になることがわかる。この条件で再度、ハイブリット構造部材の重量を算定すると約1.6kgとなり、プレス鋼板溶接構造部材より軽量で曲げ剛性の高いハイブリット構造部材が設計できることが判明した。

次にアルミ合金角パイプを溶接接合したT型試験体とアルミ合金 - CFRPハイブリット構造部材の双方について、面外曲げ変形に対する強度試験を行った結果の一例をFig.6に示す。アルミ合金の溶接接

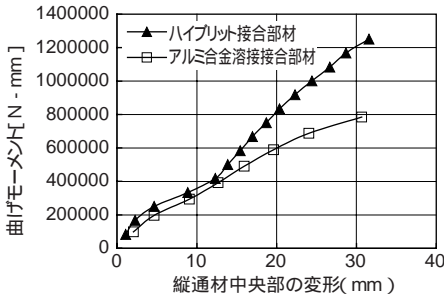


Fig. 6 アルミ合金T型試験体の面外曲げ強度試験結果

合部材に対しては、板厚2mmのCFRP接合部材であってもハイブリット接合部材の面外曲げ強度は70%高く、ハイブリット接合部材の優位性が検証されたといえる。衝撃吸収特性に関しては、現在実験を継続中であるが、アルミ合金部材に塑性変形が生ずる程度の衝撃を与えた後の残存曲げ強度に対しても、ハイブリット接合部材の方が優位な結果を得ている。従って、アルミ合金 - CFRPハイブリット構造部材は、前述のスペースフレーム車体構造において、重量増加を最小限に止めた結合部剛性の向上に有用で、かつ衝撃吸収車体設計の設計指針である「フレーム結合部分の剛性向上」にも役立てられる構造要素と考えられる。またこの他にも、接着接合を用いることで、固体伝達騒音の抑制、アルミ合金 - CFRP接合の際に問題となる電蝕の抑制にも有利と考えられるため、具体的に高剛性化や固体伝達騒音の抑制に対してメリットの大きいBピラーやサイドシル部分への適用を目指した応用研究を継続している。

4 - 2 衝撃吸収性能向上のための材料設計と構造要素

前述のように現状の自動車のドア構造内部には、サイドインパクトバーと称する衝突エネルギー吸収とドア変形抑制のための鋼管が取り付けられているが、曲げ変形によって衝突時の衝撃エネルギー吸収を行っているため、フロントサイドメンバのように座屈と塑性変形のメカニズムを活かした高いエネルギー吸収効率が見込みにくい。従来の車体ドアがもつ以上の安全性を求めるならば、「より衝撃吸収性能の高いアウトーパーネル」ならびに「サイドインパクトバーに代わる衝撃吸収要素」の開発が必要となる。鉄やアルミ合金の衝撃吸収特性については、多くの調査・研究が行われているが、新素材であるCFRPについては、材料自体が開発途上の部分もあり、これまでCFRPは脆性材料でエネルギー吸収性能は金属材料に劣ると言われていた。ところが最近、高

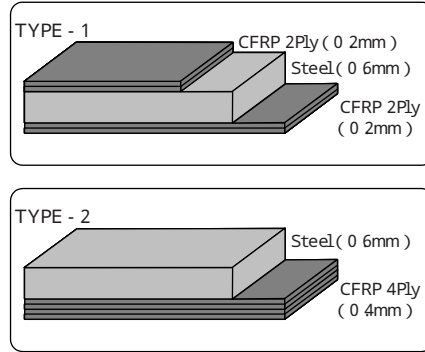


Fig. 7 CFRP - 鋼板ハイブリット試験片の素材構成

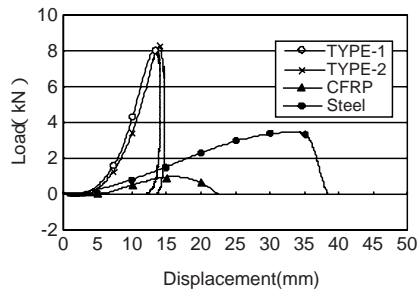


Fig. 8 CFRP - 鋼板ハイブリット試験片の荷重 - 変位曲線

伸度タイプのCFRPが上市され、引張モードで破壊した場合には金属材料よりも大きなエネルギー吸収が見込まれている¹⁰⁾。そこで、高伸度タイプのCFRPを用い、従来鋼板のエネルギー吸収性能を改善した「CFRP - 鋼板ハイブリットアウトーパーネル」と、引張力によって破断するよう薄肉ベルト状とした「CFRPサイドインパクトベルト」を考案し、その衝撃吸収特性について検証した。

1) CFRP - 鋼板ハイブリットアウトーパーネル

衝突物に対して最初に接触するアウトーパーネルでの衝撃吸収性能を向上させるために、アウトーパーネルに利用される薄肉圧延鋼板に、CFRP薄板を積層あるいは接着して成形したCFRP - 鋼板ハイブリットアウトーパーネルを試作し、落錘衝撃によるエネルギー吸収性能の評価を行った。Fig.7に作成した試験片の素材構成を示す。冷間圧延鋼板SPCCとCFRPの適切な積層方法を検証するため、全長が320mm、幅が20mm、全体の板厚が1mmになるよう両面にCFRP一方向強化材を2層積層したTYPE - 1、片面(引張応力側)にCFRPを4層積層したTYPE - 2をそれぞれ試作した。次にこれらの試験片を用いて行った落錘衝撃試験結果として、TYPE - 1とTYPE - 2両試験片の衝撃荷重 - 変位曲線をCFRP積層板

Table 2 CFRP - 鋼板ハイブリット試験片の衝撃吸収特性

	E (kJ)	M (kg)	Es (kJ/kg)
TYPE - 1	0.03449	0.03325	1.037
TYPE - 2	0.03599	0.03325	1.082
CFRP	0.00469	0.00537	0.873
Steel	0.00870	0.028	0.311

と冷間圧延鋼板のそれと比較してFig.8に示す。同図よりCFRP - 鋼板ハイブリット材は、冷間圧延鋼板やCFRP積層材に比べて高い衝撃強度を有しており、従来のプレス圧延鋼板によるモノコック構造の軽量化・高強度化にも有用であることがわかる。

また、Table 2は、4種類の試験片の変形量15mmまでのエネルギー吸収量E及び比エネルギー吸収量Esを比較した結果であるが、ここで比エネルギー吸収量は、単位質量当たりのエネルギー吸収量であり、一般的な衝撃吸収特性の評価指標とされている¹¹⁾。変形量の限られた範囲において、CFRP - 鋼板ハイブリット材は、鋼板に比べ、2割弱の荷重増加で4倍以上のエネルギー吸収を行えることがわかった。側面衝突やワンボックスカーの背面衝突など、変形量が限られた範囲で多くのエネルギー吸収が要求される部位については、CFRP - 鋼板ハイブリット材のような衝撃吸収特性を有する材料を利用することが適切と考えられるので、現在、側面ドアパネルやワンボックスカーの後面ドアパネル、フロアクロスメンバへの応用を見据えた実体試験を行っており、その結果についても公表する予定である。

2) CFRPサイドインパクトベルト

次に、現在の車体ドア構造に設けられているサイドインパクトバーの代替要素として考案したCFRPサイドインパクトベルトは、Fig.9に示すように二つの支点間に微小な張力をかけて取り付けるもので、ベルト面の垂直方向からの衝撃力を全て引張力で受け持つような構造形態を有している。従って、ドア構造内において、ドアヒンジとドアロックの間などに取り付けておくことで、側面からの衝突の力をベルト引張力に変換でき、効率のよいエネルギー吸収を図ることが可能と考えられる。そこで、CFRPサイドインパクトベルトの試験体は、東レ(株)製の高伸度タイプの炭素繊維(TORAYCA T700S)を用い、ドア内部に格納でき、ドアの両端部支持できる寸法として、長さ800mm、幅40~50mm、幅0.35~0.65mmのもので作製した。作製した実体試験体はFig.10に示したベルト状に支持する治具間に水平に

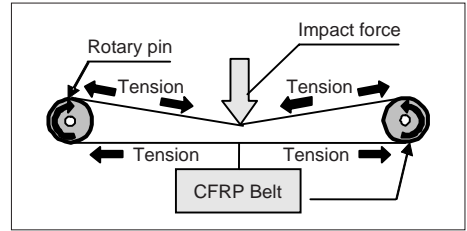


Fig. 9 CFRPサイドインパクトベルトの構造

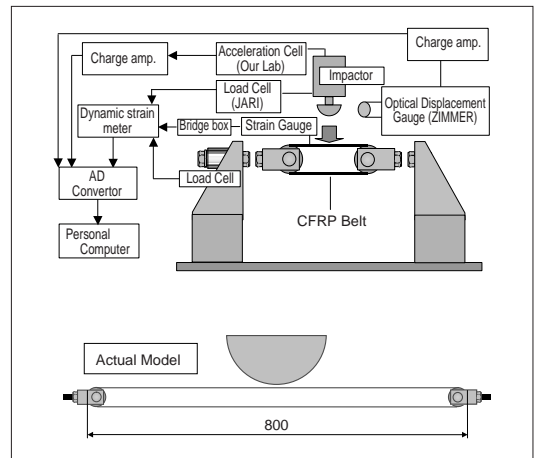


Fig.10 CFRPサイドインパクトベルトの衝撃試験概要

Table 3 CFRPサイドインパクトベルトの衝撃吸収特性

		E (kJ)	M (kg)	Es (kJ/kg)
CFRPサイドインパクトベルト試験体	FEM	0.187	0.0257	7.3
	Exp.	0.182		7.1
鋼管インパクトバー	Exp.	0.0612	0.1820	0.33

設置し、120kgの落錘体を鉛直方向から衝撃速度約20km/時で衝突させ、CFRPインパクトベルト破断までの衝撃荷重と変形の関係からエネルギー吸収量を求めた。この際に、荷重、変形、衝撃ひずみの測定はFig.10中に示す計測システムによって測定した。

Table 3はCFRPサイドインパクトベルトの落錘衝撃試験結果である。表中から明らかなように、CFRPサイドインパクトベルトの衝撃エネルギー吸収量Eは、従来の鋼管サイドインパクトバーの約3倍、比エネルギー吸収量Esにいたっては、従来の20倍以上の高い値を示し、側面衝突時の衝撃エネルギー吸収部材として有用であることが判明した。勿論、この結果はCFRPサイドインパクトベルトに対して理想的な支持条件であるため、さらに実情に即した検証が必要と考えられるが、前述のように、衝撃吸収車体設計に対する設計指針には、「強固なドアロッ

クやドアヒンジを組み合わせて、乗員スペースへのドアの侵入量を抑える」がある。すなわち、CFRPサイドインパクトベルトによって効率よくエネルギー吸収するための条件は、安全車体設計の指針にも合致しており、軽量化の観点からも、今後実用化を検討すべき構造要素の一つと考えられる。

5. おわりに

環境保全と安全性向上の要求によって考案されてきた、さまざまな車体構造を紹介するとともに、衝突安全性向上のために行ってきた筆者らの要素研究の一端を披露させていただいた。今後の自動車車体には、構造や形状に対する斬新な設計思想と同時に、結合部材や衝撃吸収部材などの構造機能に応じた材料設計・構造要素設計もますます重要になると考えられる。今回紹介したアルミ合金やCFRPによる軽量構造は、軽量高剛性や衝突安全性の高さといった優位点に加えて、騒音抑制や環境劣化に対する耐久性の点でも有利とみられるデータがあり、多くの可能性を秘めた素材・構造であると言えるが、市販車に採用するまでには、「コスト(ライフサイクルコスト)の低減」「高効率成形プロセスの実現」「リサイクル法の確立」など解決せねばならない問題が多々ある。これらの問題に対して、筆者らの研究グループは、新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)による平成15年度革新的温暖化対策技術プログラム「自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発」の研究プロジェクトにおいて、「安全設計技術の開発」に関する再委託先として、「スチール比60%軽量で、1.5倍安全性の高い車両の設計/試作/試験実証」を目標とした、自動車用CFRP構造要素の開発に関する研究を行っている。そして、この研究プロジェクトの他の研究グループでは、高効率成形、リサイクル方法の確立などの問題解決にも取り組んでいる。これらの達成目標が実現できれば、乗員スペースの拡大、あるいはクラッシュブルゾーンの縮小化、ならびに軽量化による車両運動性能の向上と併せて、原動機の出力低減化も期待できる。さらに、接着接合技術の信頼性・安全性が確保できれば、将来的にプラモデルのように接着接合のみで製作されるFRP製自動車が製造されるかもしれない。最後に、本報で取り上げさせていただいた研究成果の多くが、上記研究プロジェクトの過程で得られたものであることを付記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) H. Wallentowitz and H. Adam: International Journal of Crashworthiness, Vol. 1, No. 2, pp. 163-180, 1996
- 2) 鶴原吉郎「これからの高級車はアルミボディ?」『D & M』No. 580, pp. 45-48, 2003年
- 3) 『環境庁環境白書』、<http://www.env.go.jp>
- 4) F. Zeider and F. Knochelmann: The Influence of Frontal Crash Test Speeds on the Compatibility of Passenger Cars in Real World Accidents, International Journal of Crashworthiness, Vol. 3, No. 1, 1998
- 5) A. G. Mamalis, D. E. Manolacos et al.: Finite Element Simulation of the Axial Collapse of Thin wall Square Frusta, International Journal of Crashworthiness, Vol. 6, No. 2, 2001
- 6) 「スペースフレーム車用アルミニウム押し出し形材」『古川電工技報』No. 107, pp. 107-108, 2001年
- 7) 「衝突エネルギー吸収用メカニカルヒューズ」『MAEインフォメーション』No. 108, 2000年
- 8) Mercedes Benz SLR McLaren: Technology for the 21st Century, Auto Technology, No. 5, pp. 28-31, 2003
- 9) 「アルミスペースフレーム開発/日産」『板金塗装新聞』1997年8月8日号
- 10) 唐木、北野、三石、松川、邊「日本複合材料学会2001年度研究発表講演会予稿集」pp. 63-64, 2001年
- 11) 濱田泰似、中谷有「日本機械学会論文集(A編)」Vol. 64, No. 619, pp. 275-280, 1998年