

F1モノコックサイドパネルの軽量化研究

Weight Reduction Study for Side Panel of Formula One Monocoque

山 田 泰 宏*
Yasuhiro YAMADA

要 旨

F1 モノコックのサイドパネル専用の炭素繊維強化樹脂(以下 CFRP)の研究をおこなった。

マトリックス樹脂の高伸び率化を図り、荷重の分散により貫通荷重を30%上昇させた。これによりサイドパネル部分だけで 1.1 kg の軽量化が可能となった。

さらなる軽量化のために、アルミハニカムサンドイッチ構造の単板化研究をおこない、その技術課題を明らかにした。

ABSTRACT

This paper describes the research conducted on Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) for the side panel of a Formula One monocoque.

The elongation ratio of a matrix resin was increased, thus increasing intrusion load 30% by load distribution. This enabled weight reduction by 1.1 kg for only a segment of the side panel.

In addition, weight reduction research was further conducted on single-sheet side panel, an alternative option to aluminum-honeycomb sandwich side panel, and the resulting technical issues were clarified.

1. まえがき

F1のモノコックには、炭素繊維の織物にマトリックス樹脂を含浸させた、厚さ数 100 μm のプリプレグと呼ばれるシートを複数層重ねて硬化させた、厚さ数 mm の CFRP と呼ばれる材料を採用している。さらに、アルミハニカムを CFRP で挟むサンドイッチ構造とすることにより強度と剛性を高め、軽量化を迫及している。

また、国際自動車連盟(以下 FIA)が安全性確保のレギュレーションを規定しており、サイドパネルについては、側面衝突を想定した耐貫通性に関するものとなっている⁽¹⁾。

FIA は安全性向上のため、数年ごとにサイドパネルのレギュレーションを更新しており、そのたびにモノコック重量は増加する方向にある。

今後もレギュレーション変更に伴う重量増加が見込まれたため、耐貫通性の原理解明をおこない、サイドパネル専用のマトリックス樹脂開発と、パネル構造の最適化による軽量化研究をおこなった。

2. サイドパネルと貫通レギュレーション

サイドパネルとは Fig. 1 の斜線部分を指す。モノコック外面積の50%以上を占めるため、軽量化技術の効果が大きい部品である。

サイドパネルの貫通試験の状況を Fig. 2 に示す。

貫通試験はモノコックのサイドパネル部分の積層構成を模した、ボルト固定用の25 mm幅の金属枠で縁取った外寸550 mm × 550 mm の試験片を、速度 $2 \pm 1 \text{ mm/min}$ で貫通させておこなう。FIAはレギュレーションに貫通荷重、エネルギー吸収量、破壊形態の三つを規定している。貫通荷重要件を 2005 年に「圧子が 100 mm 変位したときに 250 kN 以

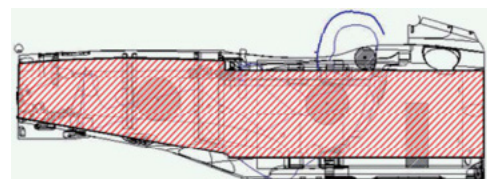


Fig. 1 Side panel area of monocoque



Fig. 2 Intrusion test setup

*四輪R&Dセンター

Table 1 Side panel regulation transition

Year	Maximum load; first 100 mm of displacement (kN)	Energy absorption; first 100 mm of displacement (kJ)	Destructive morphology; after 150 mm displacement	Others
2001-2004	150	6	No destruction to frame	—
2005-2006	250			—
2007-				Additional extra secondary panel

上」に引き上げ、エネルギー吸収量は「圧子が 100 mm 変位したときに 6 kJ 以上」であること、破壊形態は「圧子を 150 mm まで変位させた後に、パネル固定部分にまで損傷が及んでいないこと」と規定している。各チームは軽量の仕様でこの規定をクリアするため研究をおこなっている。さらに、FIA は 2007 年以降、上記の要件を満たすサイドパネルの外側の一部に、厚さ 6.2 mm の FIA 指定の積層板を追加することを義務付けた⁽²⁾(Table 1)。

3. 技術要素

炭素繊維種、パネル構造、アルミハニカム密度、CFRP のマトリックス樹脂の 4 項目の影響を確認した。

3.1. 炭素繊維種

市販の炭素繊維を CFRP 化し、貫通試験をおこなった。流通している炭素繊維の中で引張強度が最も高い東レ(株)の T1000G が最も耐貫通性が優れることを確認した。

3.2. パネル構造(サンドイッチパネルと単板)

F1 のモノコックは、内側のパネルが貫通したときに最大貫通荷重が発生するように設計されている。サンドイッチパネルと単板の貫通試験結果を Fig. 3 に示す。サンドイッチパネルでは、まず 142 kN でモノコックの外側のパネルにあたるトップパネル、その後 261 kN でモノコックの内

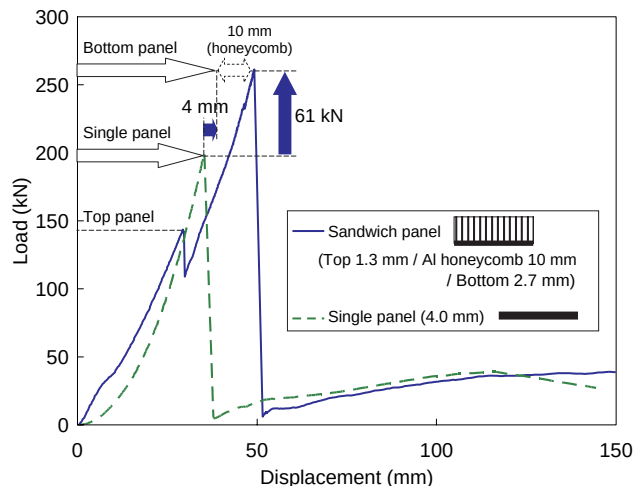


Fig. 3 Intrusion test results of sandwich / single panel

側のパネルにあたるボトムパネルが貫通した。一方、単板はサンドイッチパネルのボトムパネルよりも 1.3 mm 厚いにもかかわらず、61 kN 低い 200 kN で貫通した。また、10 mm のアルミハニカムの厚さを差引くと、ボトムパネル貫通までの変位量は単板が 4 mm 短いことがわかる。

サンドイッチパネルではトップパネルとアルミハニカムが荷重を面内方向に分散し、同一荷重がかかったときにボトムパネルに発生する応力を低減させていると考えられる。

すなわち、荷重の分散が耐貫通性向上の重要な技術要素であると推測した。

3.3. アルミハニカムの密度

軽量化のために低密度のアルミハニカムを適用したサンドイッチパネルでは貫通荷重が低下した。すなわち低密度のハニカムは圧縮強度、せん断強度が低いため、トップパネルにかかる荷重をボトムパネルの広い範囲に分散できない(Fig. 4)。低密度ハニカム適用による貫通荷重の低下を補う技術が必要である。

3.4. マトリックス樹脂

CFRP の素材となるプリプレグのマトリックス樹脂は、炭素繊維の特性を最大限に生かすよう、高強度、高弾性率に設定されている。しかし、高強度、高弾性率の CFRP では荷重分散が不十分となり、サイドパネルの耐貫通性に不利になると予測した。そこで、高弾性率と高伸び率の 2 種類のエポキシ樹脂で CFRP を試作し、サイドパネルの耐貫通性試験をおこなった。予測どおり、高伸び率のマトリックス樹脂の方が耐貫通性に優れるという結果を得た(Fig. 5)。

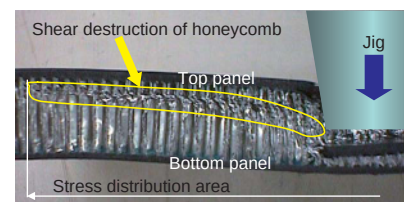


Fig. 4 Side panel section before bottom panel intrusion

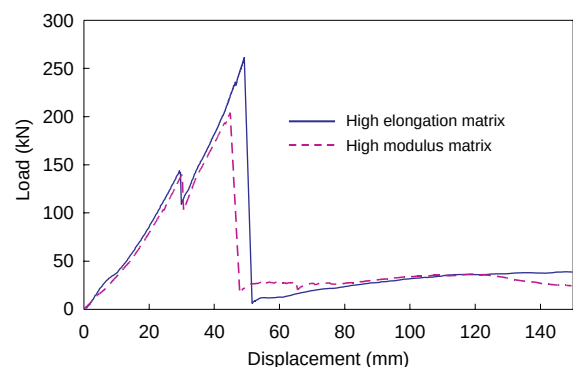


Fig. 5 Intrusion test results of high modulus/elongation matrix CFRP panel

以上、サイドパネルの軽量化達成のためには、低密度ハニカムと荷重の分散性に優れたマトリックス樹脂が重要な技術要素であることを確認した。

4. 高貫通性 CFRP 用マトリックス樹脂の研究

サイドパネルには、密度 10 lb/ft³ のアルミハニカムが使用されている。そこで 8 lb/ft³ 材の適用により軽量化をおこない、荷重の分散性低下による貫通荷重の低下をマトリックス樹脂の高伸び率化により補うというコンセプトで研究をおこなった。

樹脂成分の最適化により、最終仕様として伸び率 4 % のナガセケムテックス(株)社製エポキシ樹脂 RH421 を得た。機械特性を Fig. 6 に示す。

RH421 と 8 lb/ft³ のアルミハニカムを用いたサンドイッチ

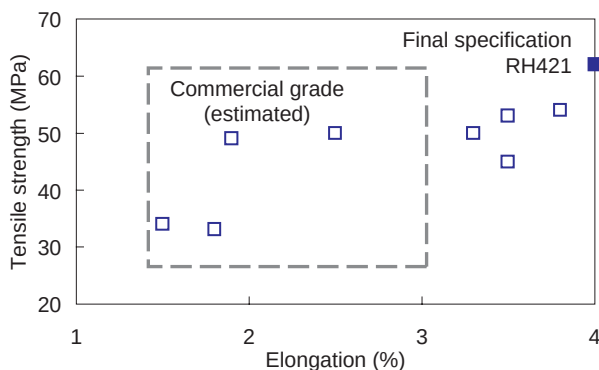


Fig. 6 Physical properties of trial epoxy resin

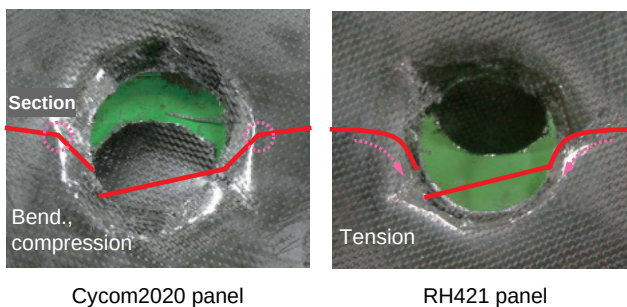


Fig. 7 Panel appearance after intrusion test

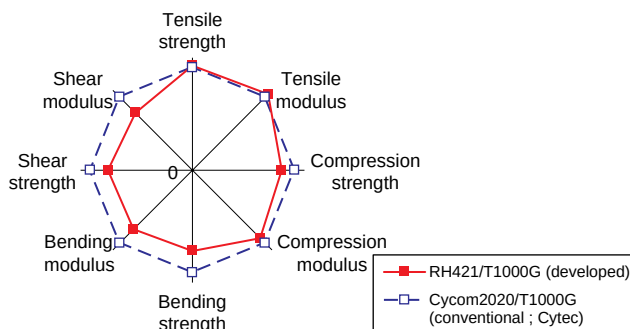


Fig. 8 Mechanical properties of CFRP

チパネルを試作し、耐貫通性試験をおこなった。その結果、従来品の Cycom2020⁽³⁾仕様よりも貫通荷重が 30%向上した。Fig. 7 はパネルの貫通穴である。Cycom2020 仕様では貫通穴付近が鋭角に折れているのに対し、RH421 仕様ではなだらかに曲がっている。CFRP の曲げ、圧縮弾性率の低下により (Fig. 8), CFRP の弱点である曲げ、圧縮の応力集中を起こさずに、より有利な引張応力に変換できたことを示していると考えられる。以上、マトリックス樹脂の高伸び率化により、ねらい通りアルミハニカムの軽量化と貫通荷重の両立を達成した。

5. サイドパネルの単板化研究

さらなる軽量化のために、アルミハニカムを使用しない単板サイドパネルでレギュレーションに適合させることを目標とし、研究をおこなった。

5.1. 低弾性率層の複合化効果の確認

CFRP 単板の貫通荷重を Fig. 9 に示す。板厚が増えれば貫通荷重は増加したが、貫通荷重を板厚で除した貫通荷重効率率は低下した。これはパネルの剛性上昇にともない荷重の分散性が低下したことが原因と考えた。

荷重分散を目的として、サンドイッチパネルのアルミハニカム同様の機能材料研究をおこなった。炭素繊維よりも低弾性率である有機繊維の層を CFRP の層間または表層に配置した単板サイドパネルを試作した (Fig. 10)。その結果、有機繊維の種類や配置の違いによる上下はあるが、1 仕様を除いて CFRP 単体のパネルよりも貫通荷重が上昇した (Fig. 11)。

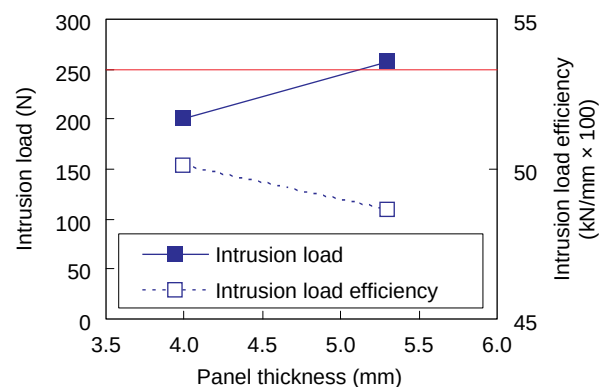


Fig. 9 Intrusion load and intrusion load efficiency of single panel

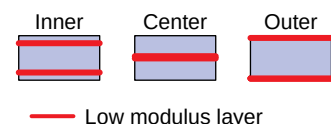


Fig. 10 Example of low modulus layer arrangement

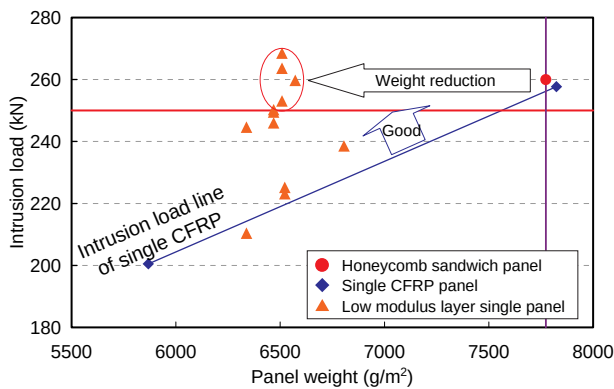


Fig. 11 Effect of low modulus layer arrangement for intrusion

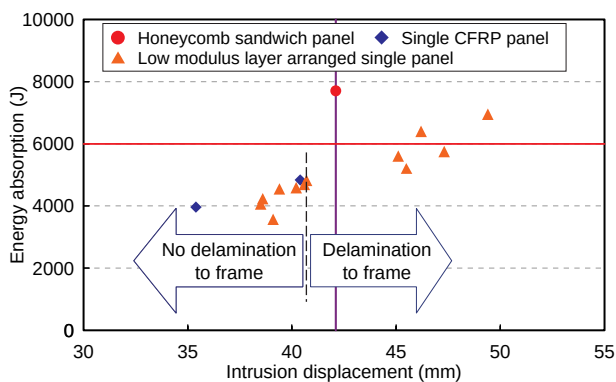


Fig. 12 Energy absorption of low modulus layer single panel

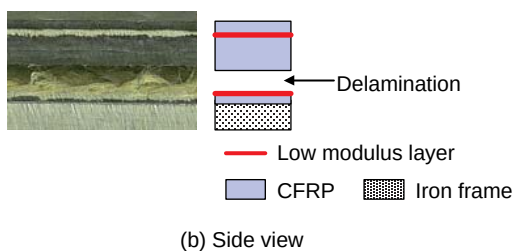
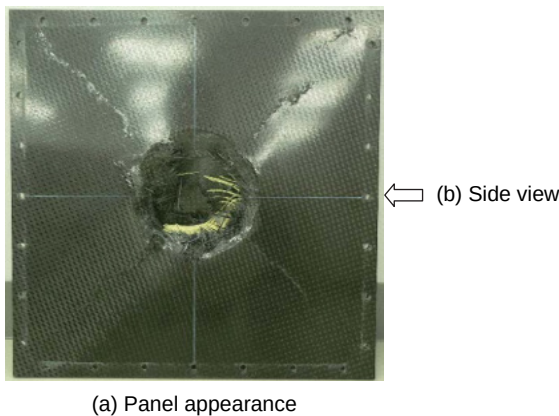


Fig. 13 Appearance after intrusion test of low modulus layer single panel

5.2. 低弾性率層複合単板の課題

サイドパネルの残りの要件であるエネルギー吸収量と破壊形態を Fig. 12 に示す。貫通変位が大きくなるほどエネルギー吸収量が増加するが、単板はサンドイッチパネルのような二段階の貫通ではないため、エネルギー吸収量が低い。また、貫通変位が大きくなると有機繊維層と炭素繊維層の界面で剥離が発生し、パネルの端部まで広がった(Fig. 13)。この破壊形態によりレギュレーション未達となった。サイドパネルの単板化には、さらなる界面剥離のコントロール技術が必要である。

6. まとめ

CFRP のマトリックス樹脂の高伸び率化により、低密度のアルミハニカムを適用したサンドイッチパネルで耐貫通性を確保する技術確立した。

RH421を適用したサイドパネルでは、ボトムパネルの薄肉化も可能となり、アルミハニカムの低密度化分を合わせて 1.1 kg の軽量化を達成した。この仕様は FIA の公式認証を得た。

このサイドパネルを適用した実車で実走評価をおこない、操安性への影響が無いことを確認した。

一方、さらなる軽量化が可能となる単板化については、界面剥離のコントロール技術が必要であることがわかった。

参考文献

- (1) Appendix to the 2007 FIA Formula One Technical Regulations, Article 18.6
- (2) Appendix to the 2007 FIA Formula One Technical Regulations, Article 15.4.7
- (3) <http://www.cytec.com/>

■ 著 者 ■



山田 泰宏