

Title	ハニカムサンドイッチパネルにおける数値シミュレーションモデル開発
Author(s)	梶井, 省吾
Citation	平成27年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2016
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/54644
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

平成 27 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏 名	かじい しょうご 梶井 省吾		学部 学科	工学部 応用理工学 科	学年	3 年
ふりがな 共 同 研究者名	ぐじ ようすけ 具治 洋輔		学部 学科	工学部 応用理工学 科	学年	2 年
						年
アドバイザー教員 氏名	吉田 憲司		所属	大阪大学工学研究科		
研究課題名	ハニカムサンドイッチパネルにおける数値シミュレーションモデル開発					
研究成果の概要	CFRP パネルの弾性係数の同定，簡易モデルの弾性係数の同定，学生フォーミュラ車両への適用					

1. 研究背景・目的

我々が所属する大阪大学フォーミュラレーシングクラブ(以下 ^{オフラック} OFRAC)では全日本学生フォーミュラ大会への出場を目標とした小型レーシングカーの製作を行っており，その車体は鋼管を用いたスペースフレームで構成されている．一方，航空宇宙分野や F1 などのレーシングカーにおいては炭素強化繊維プラスチック(以下 CFRP)とアルミハニカムコアからなるサンドイッチパネルを用いたカーボンモノコックが車体構造に用いられている．その理由はサンドイッチパネルが重量比剛性においてはスペースフレームより優っているからであり，OFRAC においてもカーボンモノコックの開発を検討している．そこで問題となるのがサンドイッチパネルの数値解析の難しさや解析時間の長さである．先行研究によると均質化法を用いた方法が一般的であるが，この方法では応力が集中する部分において誤差が大きくなる問題点がある．そこで，厳密に再現したモデル及び均質化法の簡易モデルの 2 つのモデルを用いることで解析時間の短縮及び誤差問題を解決する．また，これらの結果を踏まえたサンドイッチパネルモデルの学生フォーミュラ車両への適用を試みる．

2. 実際のサンドイッチパネル及び CFRP パネルの剛性の測定

まず，サンドイッチパネルを自作し，3 点曲げ試験によって剛性を測定する．パイプにサンドイッチパネルを載せ，丸材をのせて線荷重を印加する．そして変位をダイヤルゲージで計測した(Fig.1)．このとき，固定点はサンドイッチパネルがたわんだ際には線接触となるように配置している．測定したサンドイッチパネルは固定スパン 380 mm，短辺 236 mm，コア厚さ 15mm，CFRP パネルの厚さ 0.9 mm(4 ply)である．また，使用したアルミハニカムコアはニッカル商工株式会社より購入した AC-25 である．次に，固定スパンを 220 mm にした同様の実験系において CFRP パネルのみで 3 点曲げを行う．これらの測定結果よりサンドイッチパネルおよび CFRP パネルの剛性を計測すると $4.4 \times 10^{-2} [\text{kgf}/\mu\text{m}]$ 及び $1.9 \times 10^{-4} [\text{kgf}/\mu\text{m}]$ と求まった(Fig.2)．

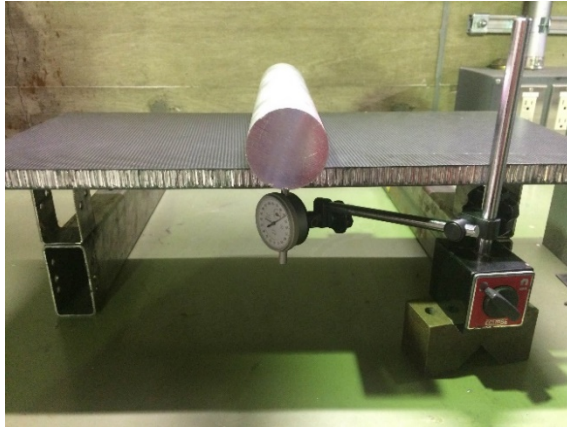


Fig.1 実験系

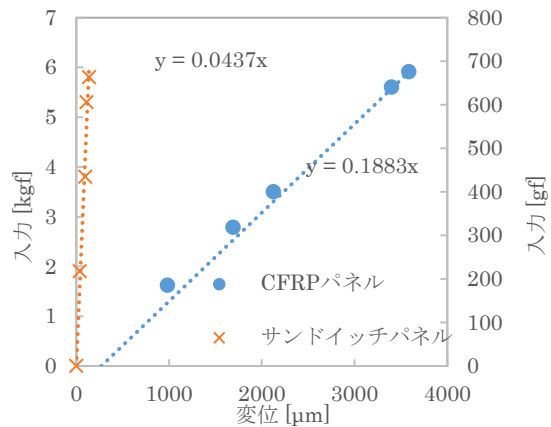


Fig.2 変位と入力荷重の関係

3. CFRP パネルの弾性係数及び簡易モデルの弾性係数

まず、アルミハニカムコアの弾性係数を求める[1][2]。展張方向の弾性係数はデータシートより $980 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ である。また、展張方向の弾性係数 E_x はコア密度を R 、アルミニウムの縦弾性係数を E_s とすると

$$E_x = 12E_s R^3 \quad (1)$$

であり、厚み方向の弾性係数 E_z は

$$E_z = \frac{8}{3} E_s R \quad (2)$$

であるので、

$$E_z = \frac{2}{9R^2} E_x \quad (3)$$

となる、よって厚み方向の弾性係数は $3568071 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ と求められる。

次に、CFRP パネルの弾性係数をもとめる。3 点曲げを行った CFRP パネルの解析モデルを作成し、弾性係数を変えながら解析を行い CFRP パネルの弾性係数を求める。数値解析において計算時間の短縮のためモデルを入力点及び片側の側面で半分に分割し、分割面の境界条件を「対称」とした 1/4 モデルとなっている (Fig.3)。これより CFRP パネルの弾性係数を求めるために解析を行ったところ以下のような結果となった (Fig.4)。入力・変位の関係が線形となっていないことから正確な数値解析が行えていないと予測できる。CFRP パネルがほぼ等方性材料であることを考慮すると、これはモデルの厚みが 0.9mm と極端に小さいため最小メッシュサイズなどの制約が原因だと考えられる。そこで、サンドイッチパネルのモデルから CFRP パネルの弾性係数を同定する。サンドイッチパネルを厳密に再現したモデルを用意するが、ここでアルミハニカムコアについて、solid works simulation の最小メッシュサイズがアルミハニカムコアの箔厚よりも大きく、メッシュの作成が不可能であるため、弾性係数などの材料特性を再現した中実モデルとした。また、CFRP パネルとアルミハニカムコアとの境界条件はボンド(剛結合)となっている。この解析より 95%の精度を補償するような CFRP パネルの弾性係数を同定すると $600000 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ と求まった。

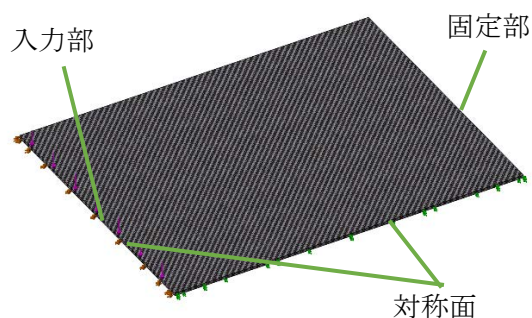


Fig.3 解析条件

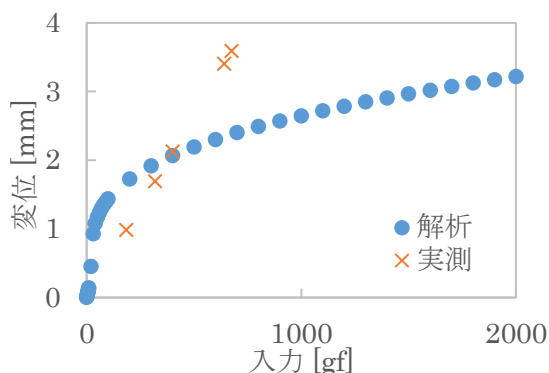


Fig.4 CFRP パネルの入力-変位

また、同様の方法で均質化法で用いる簡易モデルの弾性係数を同定する．先ほどと同様の解析条件で今度は解析モデルが1枚の板となっている．解析を行い，実測値との精度が95%以内となるような簡易モデルの弾性係数を求めると $53000 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ と求まった．

4. 学生フォーミュラ車両の Frame への適用

上記で作成した厳密なモデルの有用性を学生フォーミュラ車両の **Frame** を用いて実証する．厳密なモデルと簡易モデルの解析時間の差が微小であることから解析モデルには厳密なモデルを使用する．OFRAC の車両においても CFRP-アルミハニカムサンドイッチパネルを使用しているが，解析の時にはパイプに置き換えていた．それを厳密なモデルに置き換えて解析を行う (Fig.7)．解析を行った結果，実測値と比較してパイプを用いた場合には 1.24 倍の Toe 剛性が，厳密なモデルを用いた場合には 0.83 倍の Toe 剛性が求まり Frame 解析の精度向上を達成した (Fig.8)．

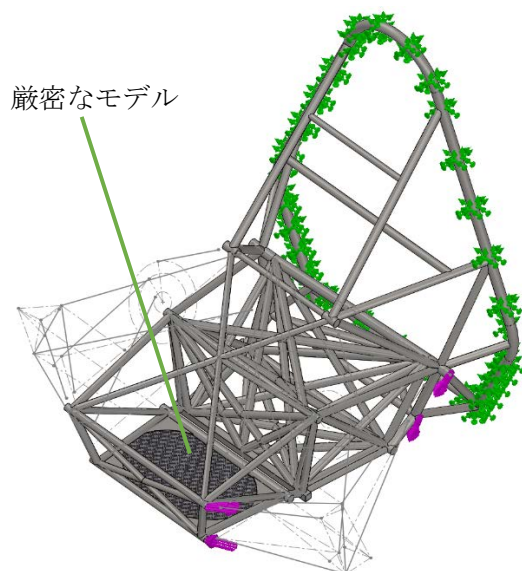


Fig.7 Frame 解析

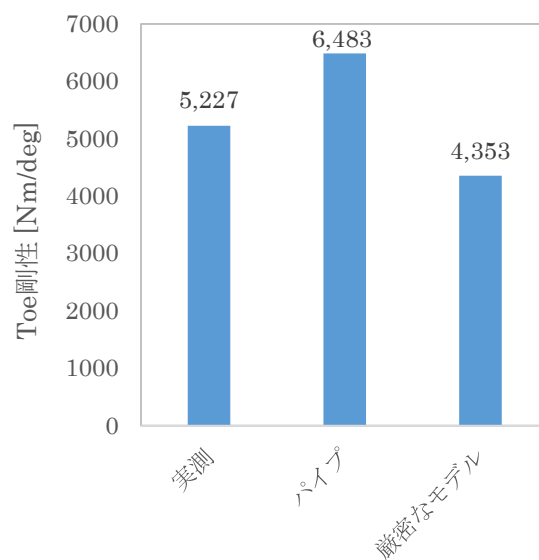


Fig.8 Toe 剛性精度

5. 結論

CFRP-アルミハニカムサンドイッチパネルを厳密に再現したモデルを作成することで従来の解析手法よりも正確な解析を行うことが可能となった。また、アルミハニカムコアを中実モデルで再現することで解析時間は均質化法をもちいた簡易的なモデルと変わらないまま、より正確な解析が可能となった。

6. 今後の課題

3点曲げ試験においてダイヤルゲージを用いて測定を行ったが測定対象の重量が小さく、ダイヤルゲージの摺動抵抗の影響を受けてしまった可能性がある。このことからより高度な測定機器を用いて測定を行い、より精度の高い弾性係数を求める必要がある。また、今回3点曲げ試験ではリソースの制約上約6 kgfまでの入力しか与えられなかったが、実際走行中の車両のモノコックには今回与えた入力よりもかなり大きな値の入力が加わる。そのためより大きな入力を与えた場合のサンドイッチパネルの変位の推移を見ることが必須である。最後にCFRPパネルについて、今回はモデルの大きさや使用したシミュレーションソフトの影響から正確な数値解析を行うことができなかったが、サンドイッチパネルを用いて同定したCFRPパネルの弾性係数の妥当性をより正確に把握するためにも厚みを増したCFRPパネルを作成し、3点曲げ試験及び解析を行うべきである。

7. 参考文献

- [1] アルミハニカムコアデータ, <http://www.nikkal.net/archives/2009/03/-a.html>
- [2] 小笠原 永久 “ハニカムサンドウィッチパネルの機械的・熱的特性評価に関する研究” 博士学位論文

8. 謝辞

今年度におきましても教職員の皆様方やスポンサーの皆様方のご理解・ご協力のおかげで我々OFRACの活動を十分に行うことができ、再び表彰台に返り咲くことができました。主要メンバーの入れ替わりが多く、チームとしての強さがなければ優秀な成績を継続して残すことが困難なこの活動で、毎年全日本学生フォーミュラ大会において好成績を残すことができていたのも皆様のご支援あつてのことです。その中でも自主研究奨励事業では数多く採択していただき、今年度の好成績の獲得につながったと感じております。改めて大阪大学学生部教務係の方々をはじめとしたご協力いただいている皆様に御礼申し上げます。

これからも我々OFRACは日本、ひいては世界を舞台に輝けるように大阪大学の学生である誇りを持って精進を続けて参りますので今後ともご理解・ご協力のほど何卒よろしくお願い致します。