

CFRPによる最適自動車構造の検討

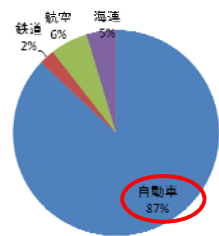
東京大学工学部システム創成学科
 環境・エネルギーシステムコース4年
 090863 後藤壮滋
 指導教員 高橋淳

発表構成

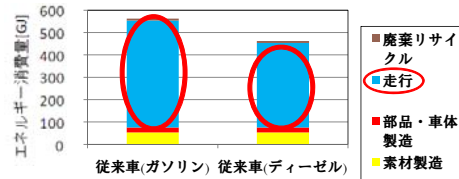
1. 研究背景
2. 従来車FEM解析
鉄鋼車のパネル、フレームの役割の分析
3. CFRTP物性評価実験
CFRTSとの物性の違い
4. CFRTP車FEM解析
CFRTPに有利なパネル、フレームの割合、軽量化の可能性
5. 結論・今後の課題

1. 研究背景 運輸の現状

日本の運輸におけるエネルギー消費の割合



ガソリン車とディーゼル車の環境負荷比較

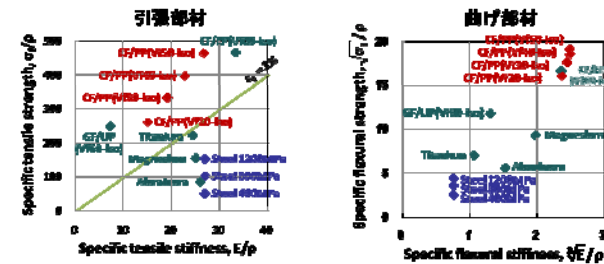


日本の運輸の中心は自動車とバスで、これらのエネルギーの大半は走行中に使う。

→ 車体軽量化が必要

参考：EDMC、桐原貴大2009年度卒業論文

1. 研究背景 なぜCFRTPか？



- CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)は比剛性も比強度も高く構造物の軽量化に適した材料である。
- その中でもCFRTPは粘り強い性質を持つため、脆弱なCFRTSより自動車のボディ材料に適している。
※CFRTSは熱硬化性樹脂、CFRTPは熱可塑性樹脂を用いたCFRPのこと

1. 研究背景

現状・本研究の目的

- 現在でもCFRTSで作られた自動車(高級車、コンセプトカーなど)があり、製造のために解析も行われてきた。

↓ しかし

- 量産車を作るにはCFRTPで自動車を作る必要がある。
- CFRTSの車の材料を、材料物性の違うCFRTPに単純に置き換えることはできない。
- CFRTP車の解析は行われていない。

↓ そこで

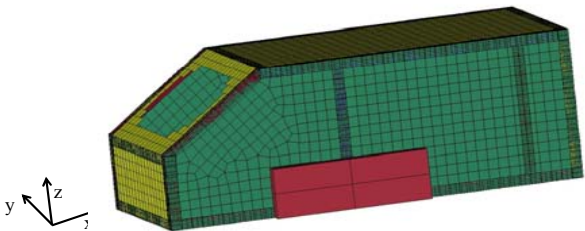
- 本論文ではCFRTPを用いた車体の構造解析を行い、どの程度の車体軽量化ができるかを見積もる。
- 解析結果から、現在の自動車と比べて構造がどのように変わるかを推察する。

発表構成

- 研究背景
- 従来車FEM解析**
鉄鋼車のパネル、フレームの役割の分析
- CFRTP物性評価実験
CFRTSとの物性の違い
- CFRTP車FEM解析
CFRTPに有利なパネル、フレームの割合、軽量化の可能性
- 結論・今後の課題

2. 従来車FEM解析

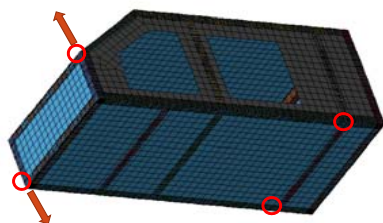
解析に用いるモデル



- 国内で多く販売されている量産車の形であるミニバン型の自動車モデルを利用した
- 全体はパネル部材とフレーム部材で構成している。
- 剛性解析で用いるモデルはドア部分を取り除いている。衝突解析で用いるモデルはドア部分があるモデルを用いて解析を行った。

2. 従来車FEM解析

解析条件① ねじり剛性



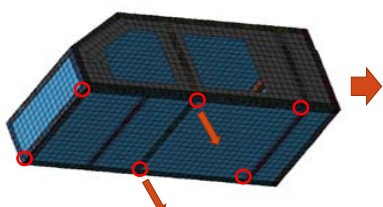
ホイールベース間距離：L
前輪間距離：R
荷重の大きさ：W
たわみ量：δ
ねじり剛性：GJ

$$\frac{GJ}{L^3} = \frac{WR}{L^2 \arctan \frac{\delta}{R}}$$

- 後輪部にあたる部分を固定する。
- 車体先端部の角2カ所に逆向きの集中荷重をかける。
- 荷重がかかった部分2カ所のたわみ量を求める。
- ねじり剛性をホイールベースの3乗で割った値で評価する。

2.従来車FEM解析

解析条件② 曲げ剛性



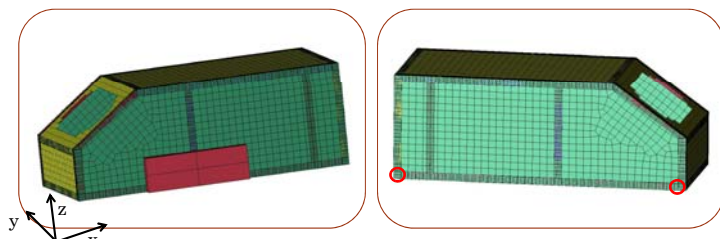
ホイールベース間距離：L
荷重の大きさ：F
荷重点変位：δ
曲げ剛性：EI

$$\frac{EI}{L^3} = \frac{F}{48\delta}$$

- タイヤ部分にあたる4カ所を固定する。
- ホイールベースの中央に-z方向への荷重をかける。
- 車体の荷重点変位を求める。
- 曲げ剛性をホイールベースの3乗で割った値で評価する。

2.従来車FEM解析

解析条件③ 側面衝突

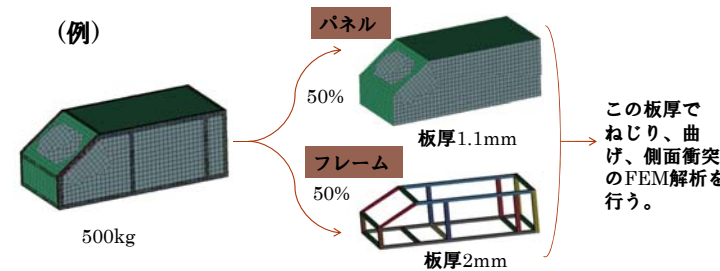


- 車体に対して重量950kgの物体をy方向に11m/s(≒40km/h)で衝突させる。
- 衝突させる部分と反対側の2ヵ所を固定する。
- 車体のy方向最大変位を衝突変位とし、この値で評価する。

2.従来車FEM解析

解析方法

(例)



500kg

パネル 板厚1.1mm

フレーム 板厚2mm

この板厚でねじり、曲げ、側面衝突のFEM解析を行う。

1. 衝突変位解析用のモデルの重量を決める。
2. モデル全体に対するパネル部分の重量の割合、フレーム部分の重量の割合を決める。
3. パネル、フレームの板厚が決まる。
4. 決定した板厚を元のモデルに適用し、ねじり、曲げ、衝突の解析を行う。
5. 解析結果をグラフにプロットする。

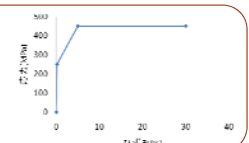
2.従来車FEM解析

材料物性

- 従来車のボディの大半は鉄鋼材料できているため、鉄鋼材料の材料データを用いて解析を行う。
- 密度は8g/cm³、弾性率は210GPaとする。
- ねじり剛性、曲げ剛性の解析では弾性体、衝突の解析では弾塑性体として扱う。

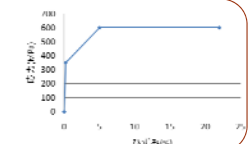
パネル部材

衝突解析における応力ひずみ曲線は右の図のような圧延鋼データを利用した。降伏応力は250MPa、強度450MPa、破断ひずみ30%である。

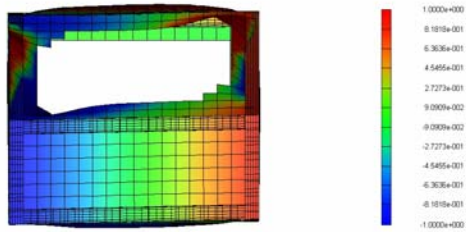


フレーム部材

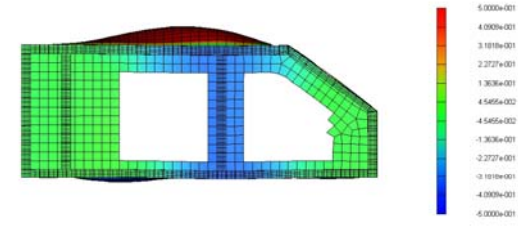
衝突解析における応力ひずみ曲線は右の図のような高張力鋼板データを利用した。降伏応力は350MPa、強度600MPa、破断ひずみ22%である。



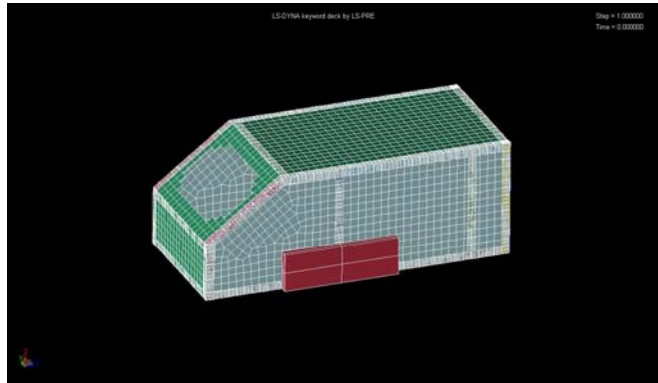
ねじり(車体350kg、パネル50%)



曲げ(車体350kg、パネル50%)

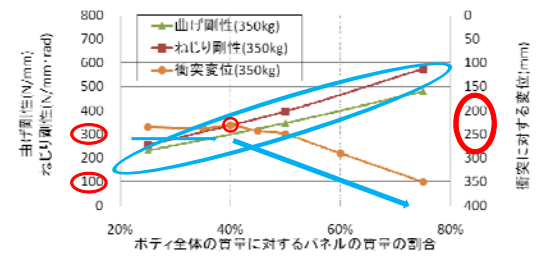


衝突(車体350kg、パネル50%)



2.従来車FEM解析

結果



- グラスから前面までの点でねじり剛性、曲げ剛性の基準を満たすが、衝突変位が大きい。このため、パネルの骨平の割合を定める。
- 衝突変位が250mm以下になるように、パネル材の骨平の割合を定める。
- 衝突変位が100mm以下になるように、パネル材の剛性を定める。
- 本車は衝突変位が250mm以下になるように、衝突変位に対する基準は250mm、この車体における安全基準の値とする。

発表構成

1. 研究背景
2. 従来車FEM解析
鉄鋼車のパネル、フレームの役割の分析
3. **CFRTP物性評価実験**
CFRTSとの物性の違い
4. CFRTP車FEM解析
CFRTPに有利なパネル、フレームの割合、軽量化の可能性
5. 結論・今後の課題

3.CFRTP物性評価実験

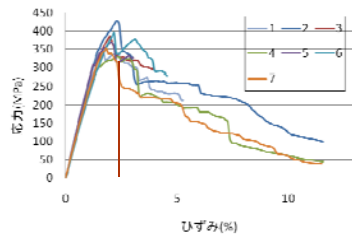
材料

- 本研究で用いたCFRTPは板厚4mm、繊維体積含有率47%のランダム材である。
- ランダム材とは、一方向材のテープをランダムに積層した板材のことである。一方向材を元になっているため、体積含有率が高く、剛性が高い。
- 一方向材に比べ、繊維がところどころ切れているので、成形性にも優れる。



3.CFRTP物性評価実験

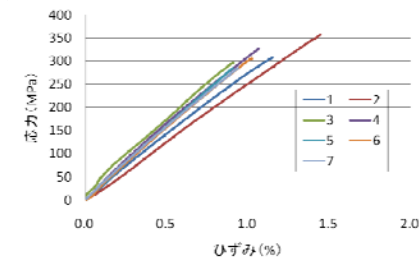
実験結果① 3点曲げ試験



- 降伏応力は350~400MPaとなり、降伏後は緩やかに応力が小さくなった。
- 曲げ剛性の平均は約25GPaとなった。
- CFRTSが脆性材料であるのに対し、CFRTPは粘り強いという性質を持つことがわかる。

3.CFRTP物性評価実験

実験結果② 引っ張り試験



- 最大応力は300~350MPaとなった。また、曲げ試験とは異なり、引張試験では最大応力の点で試験片が破断した。
- 引張剛性の平均は約34GPaとなった。

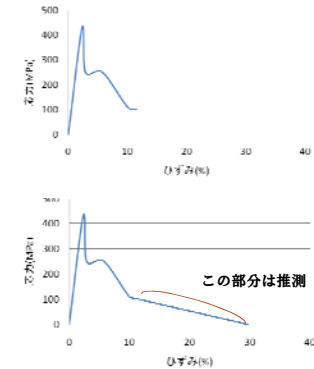
発表構成

1. 研究背景
2. 従来車FEM解析
鉄鋼車のパネル、フレームの役割の分析
3. CFRTP物性評価実験
CFRTPとの物性の違い
4. CFRTP車FEM解析
CFRTPに有利なパネル、フレームの割合、計量化の可能性
5. 結論・今後の課題

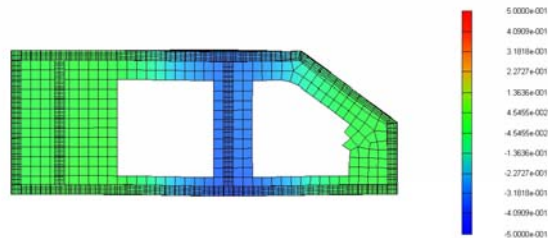
4. CFRTP車のFEM解析

材料物性

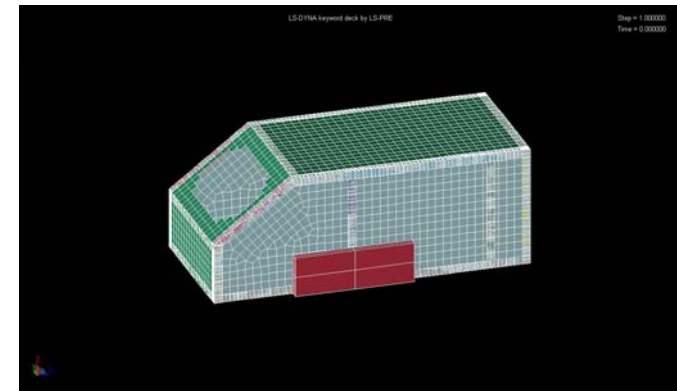
- 密度は 1.35g/cm^3 、弾性率は 34GPa とする。
- 鉄鋼材料でのFEM解析の結果同様、今回のモデルはねじりに対して強いので、ねじり剛性の結果の表示を割愛した。
- 曲げ剛性の解析では弾性体、衝突の解析では弾塑性体として扱う。
- 実験の結果から、応力ひずみ線図は右の図のようになった。ただしこれは破断して応力が0になるまで描かれていないため、近似を使い右下の様な応力ひずみ線図を解析に用いた。



曲げ(CFRTP180kg、パネル75%)

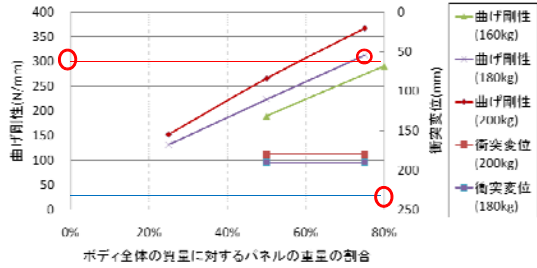


衝突 (CFRTP180kg、パネル75%)



4. CFRTP車のFEM解析

結果



- 剛性は軽量化の割合が増えるほど高くなる
- 衝突変位は軽量化の割合が増えるほど小さくなる
- 衝突変位は軽量化の割合が増えるほど小さくなる
- 衝突変位は軽量化の割合が増えるほど小さくなる

発表構成

1. 研究背景
2. 従来車FEM解析
鉄鋼車のパネル、フレームの役割の分析
3. CFRTP物性評価実験
CFRTSとの物性の違い
4. CFRTP車FEM解析
CFRTPに有利なパネル、フレームの割合、軽量化の可能性
5. 結論・今後の課題

5. 結論・今後の課題

- 自動車のボディの部材を大きく分けてパネルとフレームに分類した時、剛性に対する寄与はパネルのほうが大きく、衝突強度に対する寄与はフレームのほうが大きい。
- CFRTPランダム材を使って、鉄鋼と同じ剛性や強度を満たすボディを作った場合、ボディは半分の重さにすることができる。これにより運輸における環境負荷低減を望むことができる。
- CFRTPは、鉄鋼と比べると特に比強度が高く、CFRTSと比べると降伏後のエネルギー吸収量が大きい。そのため、フレームが少ない構造であっても強度が高くなる。したがってCFRTPで作った車は完全モノコック構造に近い構造になるといえる。
- 本研究でパラメータとしなかったCFRTPの異方性、各フレーム別の板厚の変更、部材形状の変化を考慮することによりさらなる軽量化が期待できる。

- ご清聴ありがとうございました