平成23年度 システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース 卒業論文
(2012/02/14)

CFRTPのソフトスキン効果に関する研究

Research on soft skin effect of CFRTP

平成24年2月
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
山下 慎一郎
指導教員　髙橋 淳　教授

Contents

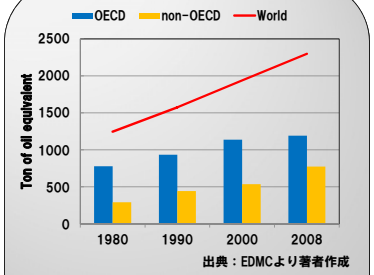
- 研究の背景・目的
- ソフトスキン効果の評価方法
  - 振動減衰特性の比較
  - 計装化落錘衝撃試験
  - FEM解析
- 実験結果・考察
- シミュレーション結果・考察
- 結論

Contents

- 研究の背景・目的
- ソフトスキン効果の評価方法
  - 振動減衰特性の比較
  - 計装化落錘衝撃試験
  - FEM解析
- 実験結果・考察
- シミュレーション結果・考察
- 結論

環境・エネルギー問題

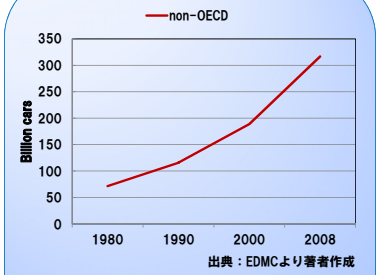
世界の運輸部門におけるエネルギー消費量



出典：EDMCより著者作成

- 増え続けている＋高石油依存
- 大部分が自動車による消費

非OECD諸国の自動車保有台数



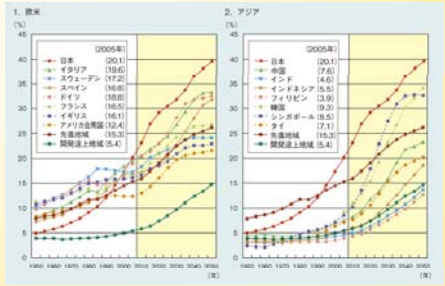
出典：EDMCより著者作成

- BRICsを始めとした発展途上国でのモータリゼーションの勃興

運輸部門、特に自動車における省エネルギー対策は不可欠かつ急務
その一環としてCFRPを用いた車体軽量化に関する研究が進められている

■ 高齢化社会

欧米・アジアにおける高齢化率の推移・予測



出典：内閣府ホームページ http://www8.cao.go.jp/

- 世界規模で高齢化が進行
- 高齢者が高齢者を支える機会も増える

様々な製品の軽量化・ソフト化は社会的に大きな意味を持つ

■ CFRPの課題

~~CFRTS（熱硬化性CFRP）~~

- 現在のCFRPの大半を占める
- リサイクルが困難
- 成形に時間がかかる
- コストが高い

CFRTP（熱可塑性CFRP）

- リサイクル性に優れる
- 成形時間が短い
- 比較的コストが低い

- CFRPを軽量化材料として様々な製品に適用するためには、CFRTPの利用が望ましい
- 強度や剛性など主要部分の研究は進められているが、わかっていない材料特性が少なからずある
- 適用フロンティア拡大のためには、軽量・高強度・安価だけでなく、様々な特性を理解しておくことが必要

■ 本研究の目的

わかっていない特性の一つである「人に対する優しさ」に注目
この優位性は適用フロンティア拡大への付加価値となる

CFRTPのソフトスキン効果について評価を行い、
CFRTPに「人に優しい材料」という価値を付加、
適用フロンティア拡大に向けての第一歩とする

■ Contents

- 研究の背景・目的
- ソフトスキン効果の評価方法
  - 振動減衰特性の比較
  - 計装化落錘衝撃試験
  - FEM解析
- 実験結果・考察
- シミュレーション結果・考察
- 結論

■ ソフトスキン効果の評価指標

- ソフトスキン効果とは
  - 日常的な軽い衝撃時の「不快感」や「痛み」を低減する効果
  （人間がモノにぶつかった場合／人間が接しているモノに衝撃が加わった場合）
- 「不快感」や「痛み」の定量化は医学的にも難しい
- 本研究では、医学の見解と一般的見地を踏まえ、以下の3点に関して優れた材料をソフトスキン効果が高い材料だと考え、比較を行った

1．人体に加わる応力（力）の大きさの緩和能力

2．人体に応力（力）が伝わる速度の緩和能力

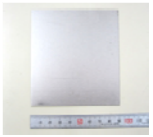
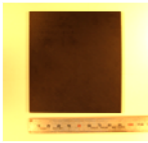
3．振動減衰特性

■ 比較材料

CFRTP
- CF/PP擬似等方材（V_f=50%）
- CTT（炭素繊維テープ強化CF/PP, V_f=50%）
- CMT（炭素繊維マット強化CF/PP, V_f=20%）
- PP（V_f=0%, 母材単体）

Metal
- Steel（代表的な金属）
- Aluminum（代表的な軽量化材料）

CFRTS
- CF/EP（代表的な熱硬化性CFRP, V_f=60%）

曲げ応力のかかる部材に適用することを想定し、
各材料の曲げ剛性*EI*が等しくなるように、材料の成形・準備を行った

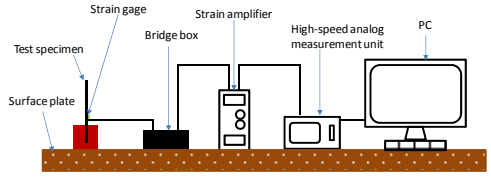
■ 評価方法

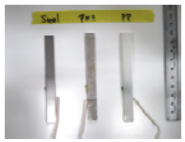
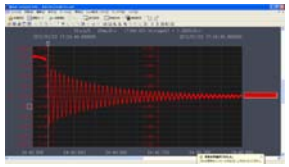
- 片持ち梁を用いた振動減衰特性の比較
  材料そのものの基本的な振動減衰特性を明らかにする
- 計装化落錘衝撃試験
  軽衝撃時の衝撃部背面における
  各材料のソフトスキン効果を比較する

- 有限要素法（FEM：Finite Element Method）による解析
  材料に衝突する物体（人間）側の
  応力の挙動を明らかにする

■ 片持ち梁を用いた振動減衰特性の比較

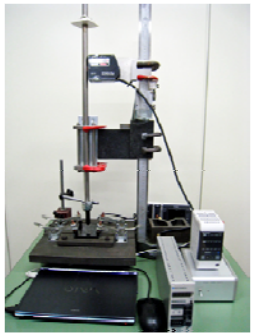
- 各材料の基本的な振動減衰特性を明らかにする
- 片持ち梁形状の試験片の先端に初期変位を与え、振動減衰の様子を測定した

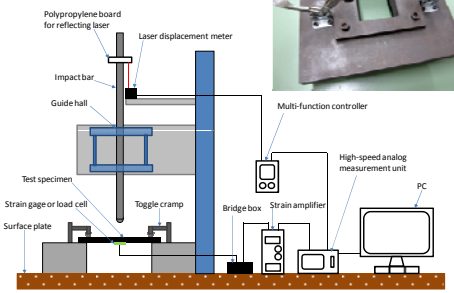


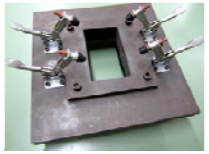



■ 計装化落錘衝撃試験

- 軽衝撃（材料に塑性変形が出ない程度）の評価を可能にするために**試験機を自作**
- 衝撃時に衝撃部背面に加わる荷重と、ストライカー先端の変位を動的に計測することが可能





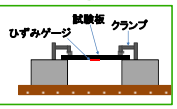


■ 衝撃試験条件

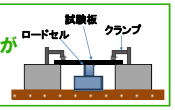
- 衝撃棒の自由落下により、試験板（90mm×100mm）に軽衝撃を与える

	A-10	A-30	A-50	B-10	B-30	B-50	C-10	C-30	C-50
衝撃棒質量(kg)	0.15			0.15			0.50		
拘束条件	クランプのみ			クランプ＋衝撃部背面に接したロードセル			クランプ＋衝撃部背面に接したロードセル		
落下高さ(mm)	10	30	50	10	30	50	10	30	50
衝撃エネルギー(J)	0.015	0.044	0.074	0.015	0.044	0.074	0.049	0.147	0.245
衝撃時速度（m/s）	0.44	0.77	0.99	0.44	0.77	0.99	0.44	0.77	0.99

試験板のたわみが許される（振動しやすい）



試験板のたわみが許されない

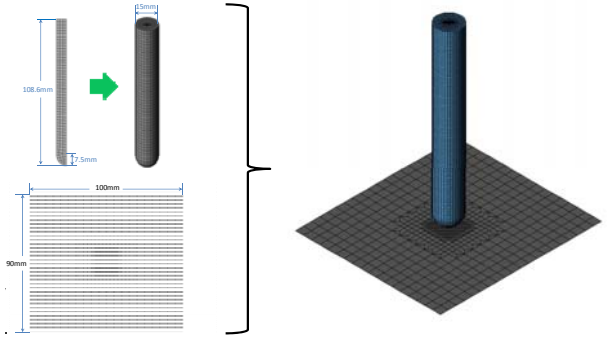


全ての材料が弾性変形

金属のみ塑性変形

■ FEM解析

- 本研究における落錘衝撃試験の再現を行い、**実験では測定できなかったストライカー側に加わる応力の挙動**を明らかにする
- LS-DYNA（Version971）をソルバーとして使用
- 実験条件A-50を再現

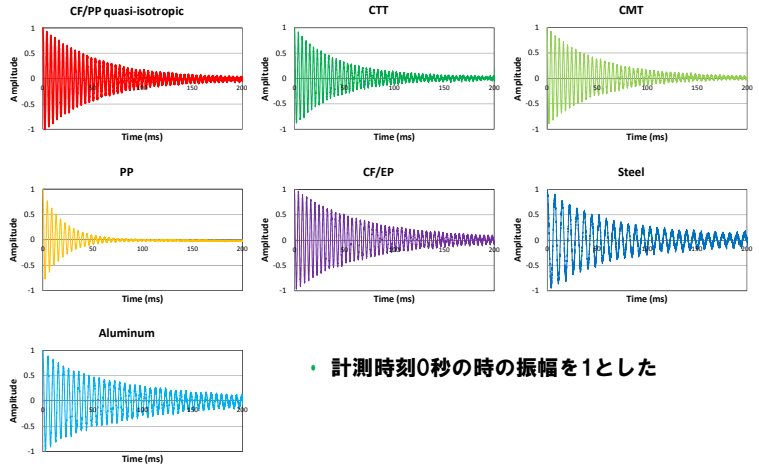


■ Contents

- 研究の背景・目的
- ソフトスキン効果の評価方法
  - 緩衝特性の比較
  - 計装化落錘衝撃試験
  - FEM解析
- 実験結果・考察
- シミュレーション結果・考察
- 結論

■ 片持ち梁を用いた振動減衰特性の比較

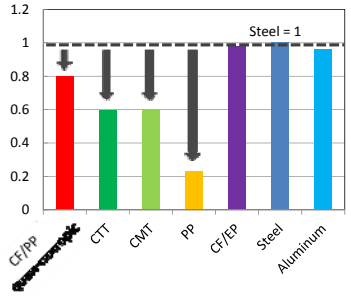
■ 振動減衰試験結果



- 計測時刻0秒の時の振幅を1とした

■ 振動減衰試験結果 (Steel=1とした場合)

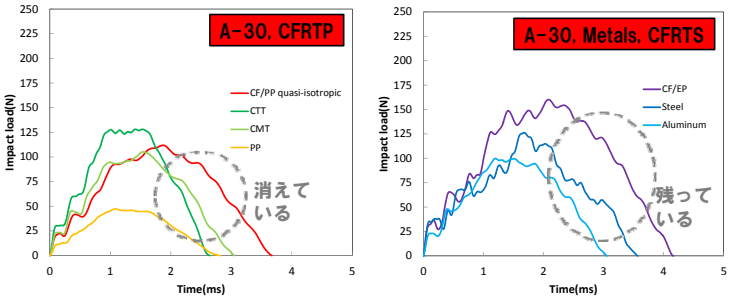
- 計測時刻0秒の時の振幅を1とし、振幅が0.5になるまでの時間を指標に振動減衰特性を比較した



- CFRTPは、金属類やCFRTSに比べて**振動減衰特性が優れている**
- V_fの大小との相関関係については、今回の結果だけでは断言できない

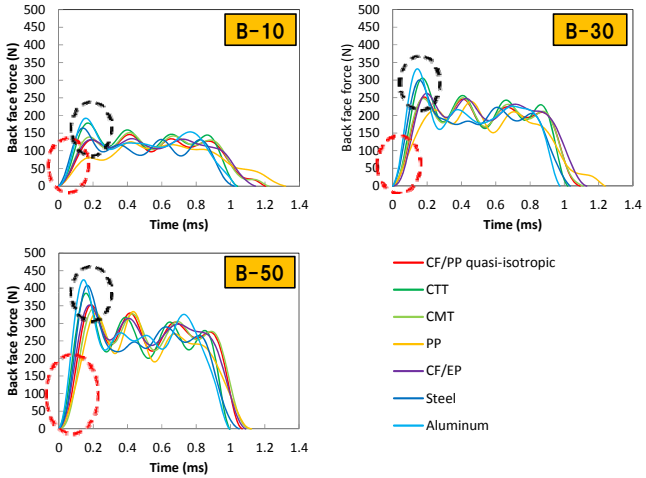
■ 計装化落錘衝撃試験

■ 衝撃部背面に伝わった力の履歴（条件A）

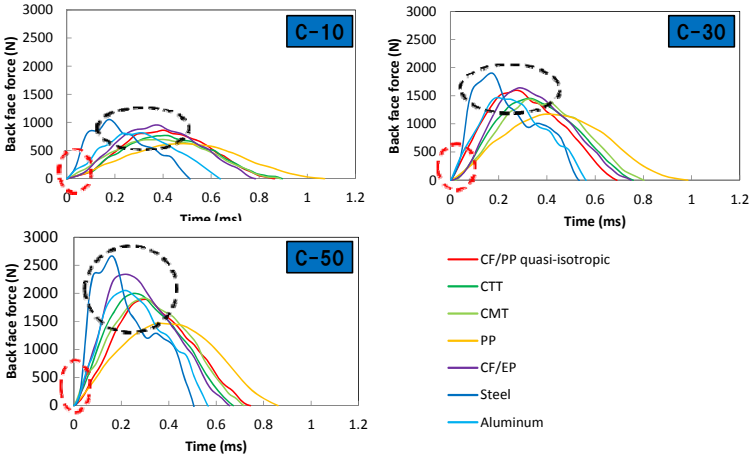


- CFRTPは、金属類やCFRTSに比べて振動減衰特性が優れている
- 片持ち梁の振動減衰特性と同様の傾向が見られた

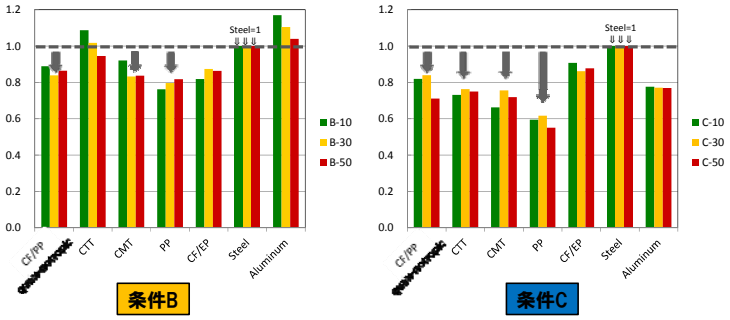
■ 衝撃部背面に伝わった力の履歴（条件B）



■ 衝撃部背面に伝わった力の履歴（条件C）

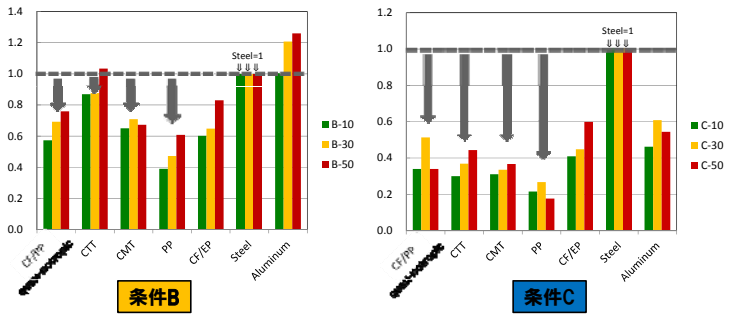


■ 衝撃部背面に伝わった力の最大値（Steelを1とした場合）



条件Bにおいては10%から20%、条件Cにおいては20%から30%の
衝撃部背面に伝わる力の最大値の緩和効果が見られた

■ 衝撃部背面に加わった力の速度（Steelを1とした場合）



条件Bにおいては20%から40%、条件Cにおいては50%から60%以上の
衝撃部背面に伝わる力の速度の緩和効果が見られた

■ 考察

■ ソフトスキン効果の考察

1．人体に加わる力の大きさの緩和能力

- CFRTPは、人体に加わる力の大きさの緩和能力に優れている
- これは、CFRTPの内部損失の大きさに起因していると考えられる

2．人体に力が伝わる速度の緩和能力

- CFRTPは、人体に力が伝わる速度の緩和能力に優れている
- 1と合わせて考えると、Steel製品では材料への軽衝撃負荷時に、その材料に接している人間に「一気に大きな力」が加わるが、CFRTP製品では「ゆったりと小さな力」が加わるものと考えられる

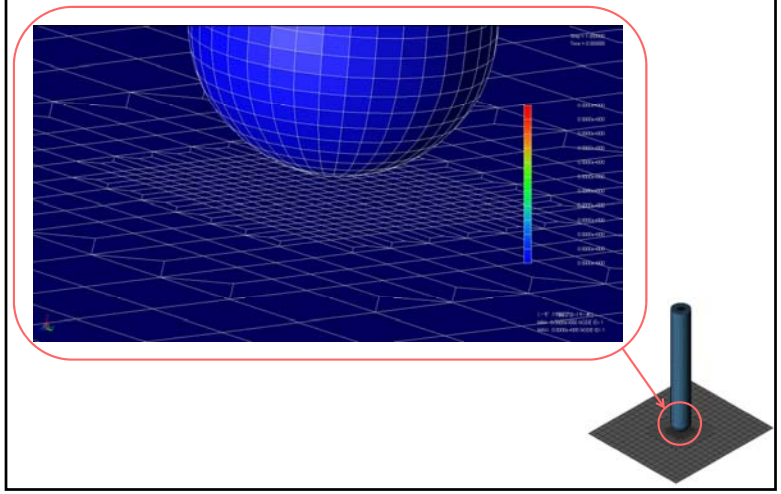
3．振動減衰特性

- CFRTPは、振動減衰特性に優れている
- CFRTPの内部損失の大きさに起因していると考えられる
- 優れた振動減衰特性は様々な製品において人間が感じる快適さに深く関係するため、CFRTP製品の付加価値を高めることに繋がる

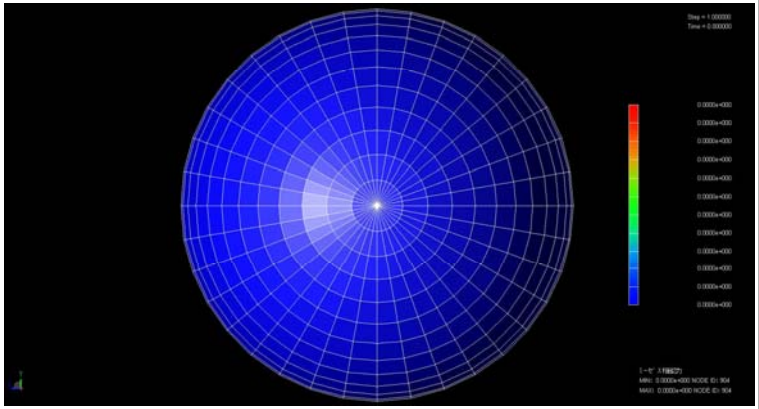
■ Contents

- 研究の背景・目的
- ソフトスキン効果の評価方法
  - 振動減衰特性の比較
  - 計装化落錘衝撃試験
  - FEM解析
- 実験結果・考察
- シミュレーション結果・考察
- 結論

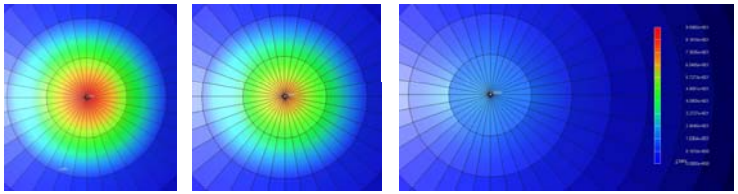
■ 接触中のミーゼス応力コンター描画 (Steel)



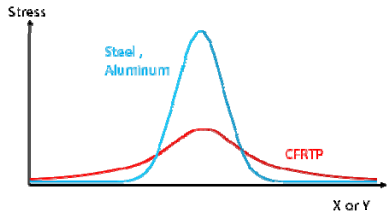
■ ストライカー先端のミーゼス応力コンター描画 (Steel)



■ 衝撃応力最大時のストライカー先端の応力分布

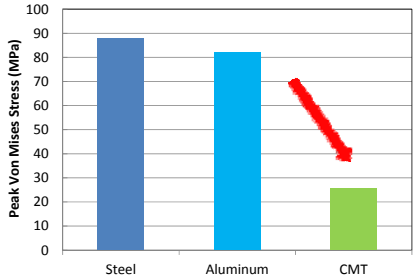


Steel　　Aluminum　　CF/PP (CMT)



- SteelやAluminumに比べてCF/PPでは**応力集中度合いが少ない**

■ ストライカー先端のミーゼス応力最大値の比較



- SteelやAluminumに比べて**CF/PPでは最大応力値が小さい**
- これは、SteelやAluminumより広い面積で接触しているためと考えられる
  （表面の軟らかさに起因）

Contents

- 研究の背景・目的
- ソフトスキン効果の評価方法
  - 振動減衰特性の比較
  - 計装化落錘衝撃試験
  - FEM解析
- 実験結果・考察
- シミュレーション結果・考察
- 結論

結論

- 衝撃緩和特性
  - CFRTPは衝撃部背面に伝わる力の最大値・速度の緩和効果が高いことが示された
  - CFRTPは材料に衝突した物体側にかかる衝撃応力の最大値の低減効果も高いことが示された
- 振動減衰特性
  - CFRTPは軽衝撃時の振動減衰特性に優れる材料であることが明らかになった
- ソフトスキン効果
  - 本研究で定義した3つの指標全てにおいて、CFRTPは他材料よりも優位であり、CFRTPはソフトスキン効果が高い材料であることが明らかになった
- ソフトスキンマテリアルとしてのCFRTPの開発に際して
  - 本研究から、ソフトスキン効果はV_fにあまり影響されないことが予想される
  - したがって、強度確保のためにV_fを上げてもソフトスキン効果は発揮され、適用フロンティア拡大に際しての付加価値の一つとなることが期待される

ご清聴ありがとうございました
Thank you for your attention!

本研究の一部は経済産業省－NEDOプロジェクト
「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」（平成20～24年度）
の一環として行われたものであり、開発中の試料並びに評価装置の提供等、
関係各位のご協力に謝意を表します。