

CFRP による超軽量トラックの検討とその省エネルギー効果予測

Structural design and energy saving effect of ultra lightened truck by CFRP

学籍番号 30740 志田 龍亮

指導教員 高橋 淳

(平成 18 年 2 月 9 日提出)

Keywords: CFRP, FEM, truck, energy saving, Chinese motorization

1. 序論

1.1 運輸部門の現状

近年地球規模での環境・エネルギー問題はますます深刻化しており、特に石油依存性が高い運輸部門におけるエネルギー消費の著しい増大が問題視されている。

その背景にあるのが、急激な自動車輸送の台頭である。現行の自動車はエネルギー消費原単位・CO₂排出原単位共に、他の輸送機関と比した際悪く、それが現状のまま主要な輸送機関として使われることはエネルギー・環境の観点から見て望ましくはない。さらに今後は昨今の急激な経済発展に伴って BRICs 諸国を始めとした発展途上国においても、かつて先進国が経験したものと同様な急激なモータリゼーションの勃発が予測されるため、自動車の省エネルギー技術の確立は急務であると言える。

1.2 車体軽量化技術

現在検討されている自動車の省エネルギー技術には様々なものがあるが、最も直接的と考えられるのは自動車単体の燃費向上策であり、その中でも燃料電池車などに代表されるような動力源変更、そして車体軽量化による燃費向上が効果的であるとして検討が進んでいる。

しかし前者の導入に当たっては先進国においても大規模なインフラの改築が必要であり、既に萌芽にある途上国のモータリゼーションへの早期適用は難しい。よって本研究では車体軽量化技術による燃費向上の方が連続効果的な対策技術としての可能性が高いと判断し、具体的な代替材料の検討を行った。

その結果、運輸部門における省エネルギー対策として、優れた比剛性・比強度を持つ炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastics; CFRP)による超軽量トラックの導入を検討し、その軽量化率とそれによる省エネルギー効果の定量的評価を行った。

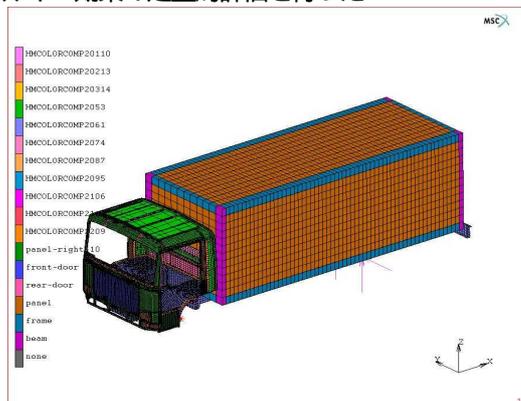


Fig.1 FEM Analytical model

2. CFRPトラック軽量化試算

2.1 FEM解析モデル

軽量化試算に当たりヒアリングの結果から得られた、いすゞの 4tトラックの部位別重量割合のデータと、中型トラック Forwardの主要諸元を基に、FEM (Finite Element Method; 有限要素法) 解析モデルを作成した (Fig.1)。

2.2 使用材料

既存トラックではボディ部とコンテナパネルのみアルミ合金、その他は全て鉄鋼とした。超軽量トラックでは熱硬化性CFRPであるCF/Epoxy ($V_f=60\%$)と熱可塑性CFRPであるCF/PP ($V_f=40\%$)の二種類を検討した。

2.3 評価基準

キャブ・シャーシ部における評価基準は、曲げ剛性、ねじり剛性、強度とし、剛性については、軽量化前の鉄鋼におけるモデルと同等の基準を満たす際の重量をFEM解析により算出した。強度においては最大積載量の2.5倍の荷重に対し相当応力が、材料の降伏応力、もしくは破断強度に対して1.8の安全率を満たすことを条件とした。

ボディ部のコンテナへは複合一貫輸送を視野に入れ、JIS規格Z1618「国際一般貨物コンテナ」の強度基準を参照に解析を行った。

2.4 解析結果

2.4.1 キャブ・シャーシ部

全部位における板厚を等倍に変化させて解析した場合、CF/Epoxy、CF/PPの双方においてねじり剛性の方が曲げ剛性よりも容易に増加し、強度基準には大きな余裕があることが示された。よって板厚は曲げ剛性を基準とする必要がある。

その結果鉄鋼からCF/Epoxyによる全代替は29.5%の軽量化となったが、CF/PPによる全代替は逆に7.7%の重量増加となった。これは主にCF/PPの圧縮剛性の小ささに起因していると考えられる。

2.4.2 ボディ部

ボディ部においてもCFRPは強度には余裕があったため、上部つり上げ試験における基準点の変位において鉄鋼と比較した軽量化率はCF/Epoxy: 24.7%、CF/PP: 25.1%となった。

3. 構造部材最適化

3.1 CF/PPへの代替

キャブ・フレーム部における部材代替では圧縮剛性がCF/PPよりも大きいCF/Epoxyにおける軽量化率の方

が大きくなったが、環境・エネルギー・経済性という側面では製造原単位が CF/Epoxy よりも小さく、安価でリサイクル性も高い CF/PP の積極的利用の方が望ましい。よって部位ごとに CF/PP と CF/Epoxy を比較し、CF/PP の場合に曲げ剛性が上昇、もしくはほぼ変わらない部位へは、CF/PP を用いることにした。

その結果、フレーム部とキャブとシャーシの接合部位を除く全ての部位において CF/PP を適用することにした。

3.2 感度解析

また同時に、各部位ごとの最適板厚比を求めるために感度解析を行った。ここで指標として(感度) = (曲げ剛性向上量) / (エネルギー消費増加量) と定義する。この基準では、全ての部位における感度が等しくなる板厚割合が最適解となる。しかし、フレーム部における感度は板厚増分と共に増加する傾向にあり、曲げ剛性においてキャブ部はほとんど寄与していないことが明らかとなったため、フレーム部のみの板厚を増加させ、他の部位は最低板厚のまま止めた。

3.3 最適化結果

以上のような構造部材の代替による最適化を行って解析したところ、キャブ・シャーシ部においては 41.8%、ボディ部においては 35.7%、車両重量においては、17.5% の重量減となった。

4. 省エネルギー性

4.1 LCA による評価

FEM 解析によって得られた軽量化率から、そのエネルギー削減量を包括的に評価するため LCA を導入し、軽量化前と軽量化後におけるエネルギー消費量を比較する。LCA におけるシステム境界は素材製造・車体製造組立・走行とした。

トラックにおいては軽量化分だけ積載貨物が増加することが考えられるため、1 台あたりで見た場合、省エネルギー効果はほぼないが、1 台あたりの積載量が増えたことからトラック全体の台数の減少が考えられる。その効果を加味した場合、Fig.2 に示すようにエネルギー削減率は 17.2% となり、車体軽量化率とほぼ等しい値となった。

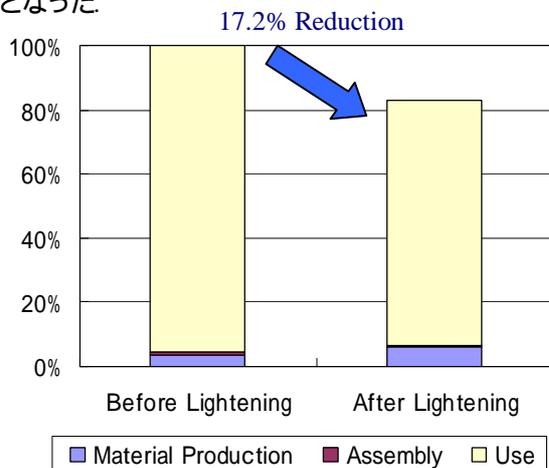


Fig.2 The comparison of Life Cycle Energy consumption

4.2 中国のモータリゼーションにおける効果

4.2.1 トラック普及予測

近年中国における自動車産業の発達は目覚ましく、とりわけトラックの保有台数は著しい勢いで増加している。一般にトラックの保有台数は実質 GDP と相関があるとされているが、近年ではその相関の乖離も指摘されている。

よって変動要因として、産業構造の変化を挙げその影響を加味したところ、途上国においては先進国とは違うモデルである、第二次産業比率の対数弾性モデル (1) が適当であることを時系列分析により示した。但し x : 第二次産業 GDP, y : トラック保有率であり、モデルの妥当性の評価には AIC (赤池情報量基準) を用いた。

$$\ln(y) = \beta_1 + \beta_2 (\ln(x)) + \beta_3 (\ln(x))^2 + \beta_4 (\ln(x))^3 + u, \quad (1)$$

4.2.2 省エネルギー効果シミュレーション

式 (1) より 2050 年までのトラックによるエネルギー消費を予測し、LCA によって算出されたエネルギー削減量から、CFRP トラックが運輸部門に及ぼす省エネルギー効果を予測する。CFRP による軽量化は構造設計の見直し等によりさらに効率的になるものと考えられるので、最大エネルギー削減率は 30% と設定した。

Fig.3 には中国のモータリゼーションにおける CFRP トラックの省エネルギー効果を表している。2010 年導入の Positive case と 2020 年導入の Negative case は同様の普及率設定にも関わらず、2050 年までの間の両者のエネルギー消費量の差は 1781 (Mtoe) と莫大な値になっており、早期導入による効果が大いことが示された。

5. 結論

本研究では FEM 解析を通して CFRP のトラックへの応用を検討し、そのエネルギー削減効果を定量的に示し早期導入の効果と必要性を明らかにした。目前に迫る途上国のモータリゼーションを防ぐためには即効性の高い車体軽量化による燃費改善技術は必要不可欠であり、途上国への適用の下地を確立するためにも、早期に先進国での導入と応用に着手すべきであると考えられる。(参考文献は紙面の都合上割愛した)

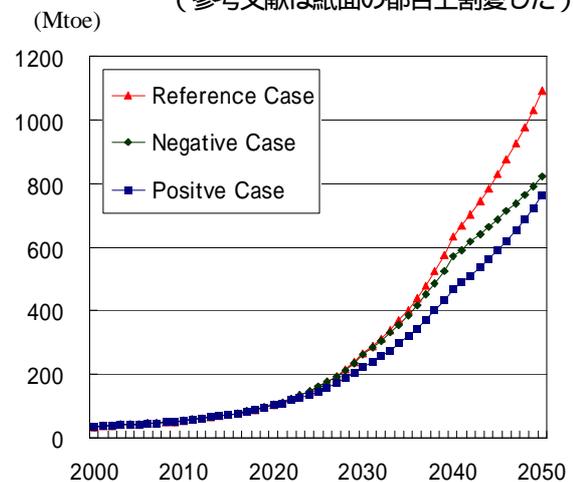


Fig.3 Energy saving effect of ultra lightened truck