

路面凹凸の状態と自動車の燃費の関係に注目した環境負荷ならびに経済的損失

横浜国立大学 学生会員 ○武藤 秀人 正会員 シリンゴリンゴ ディオン
フェロー 藤野 陽三

1. 研究背景・目的

近年、地球温暖化が問題視され、CO₂削減が世界的に求められている。そこで手法の一つとして自動車の低燃費化が注目されている。自動車の燃費性能は車両性能だけでなく路面状態によって決まる。路面状態が寄与する理由としては路面凹凸から受ける抵抗力が自動車に振動を発生させ、仕事をし、エネルギーロスを発生させるからである。しかし、路面の状態がどれだけのエネルギーロスを生むか、また、路面抵抗によって余分に消費された燃料がどれだけの経済的損失に相当するかは定量的に評価されていない。よって本研究の目的は路面の状態が燃費に与える影響を定量的に評価し、その経済的損失を求めることである。

2. 研究方法

本研究では、はじめに自動車の走行する路面をシミュレートし、次に自動車のモデルを作成した。以上の2種のモデルから自動車の走行時の路面抵抗によるエネルギーロスの算出を行なった。この算出結果を燃料価格を基に換算し、首都高速道路を対象として集計することで1年間の路面抵抗による経済的損失を求めた。

3. 路面状態の再現

ISO8608より導出される路面凹凸の再現式(3.1)を用いて、規則波の重ねあわせによって路面の凹凸を再現した。¹⁾

$$h(x) = \sum_{i=1}^{L/B} \sqrt{L} \cdot 2^k \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{0.1}{i}\right) \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot \frac{1}{L} \cdot x + \varphi_i) \quad (3.1)$$

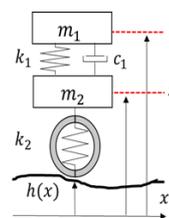
ここで、 x は自動車の進行方向に対する位置(m)、 $h(x)$ は路面の進行方向に対する路面の鉛直凹凸変位(m)、 L は路面の再現長(m)、 B はサンプリング間隔(m)、 k は路面の粗度指数($2 \leq k \leq 9$)、 φ_i は乱数発生させた位相差($0 \leq \varphi_i \leq 2\pi$)である。(3.1)では重ね合わせる波の振幅を k によって調節することで、路

面の凹凸の強度を、また、乱数発生させた位相差 φ_i を用いることで凹凸のランダム性を再現している。

4. 自動車モデルの作成

自動車のモデル化を行った。本研究では自動車の車輪一輪に注目した Quarter Car モデル(以下 QC モデル)を用いた。QC モデルは自動車の走行時の振動をばね上質量 m_1 (kg)、ばね下質量 m_2 (kg)の2自由度系の振動問題として解析できる。各パラメータの値を変えることで様々な種類の自動車を再現できるため、乗用車、バス、トラックの3種類を作成した。

QC モデルの運動方程式は以下のように記述される。



$$m_1 \ddot{z}_1 + c_1(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + k_1(z_1 - z_2) = -m_1 g \quad (4.1)$$

$$m_2 \ddot{z}_2 + c_1(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + k_1(z_2 - z_1) + k_2(z_2 - h(x)) = -m_2 g \quad (4.2)$$

図 4.1 Quarter Car モデルとその運動方程式

ここで、 k_1, k_2 は各ばねのばね定数(N/m)、 c_1 はサスペンションの減衰係数(kg/sec)、 z_1, z_2 は各質量の位置(m)を示している。

また、QC モデルを用いた路面の粗度の評価指標である国際ラフネス指数(International Roughness Index: 以下 IRI)(m/km)を用いて、(3.1)で作成した路面の粗度の評価を行った。

5. タイヤの軌道の再現

次にタイヤの軌道の再現を行った。QC モデルは路面と点で接触するモデルである。そのため、路面の縦断線形がそのまま、下側のばねに変位として入力される。しかし、実際のタイヤの軌道に注目すると、タイヤは面で路面と接触するため、タイヤは路面の縦断線形を平滑化したような軌道をたどる。よって本研究では自動車の種類ごとにタイヤの半径、接地長さ、変形量、接地圧分布を考慮した重み付き平均を求め、入力することで路面の平滑化を行った。均

キーワード 地球温暖化, Quarter Car モデル, IRI, 路面凹凸, 自動車, 燃費

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL 045-339-4243 FAX 045-348-4565

平滑化処理の結果を図 5.1 に示した.

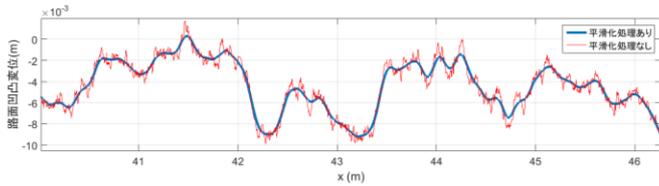


図 5.1 平滑化処理を行った路面の縦断線形

6. 路面抵抗によるエネルギーロスの算出

以上の平滑化した路面を QC モデルに入力することで、ばね上質量 m_1 、ばね下質量 m_2 は図 6.1 のような加速度応答を示した. なお、本研究では速度を 60,80(km/h)の 2 ケース設定し、解析を行った.

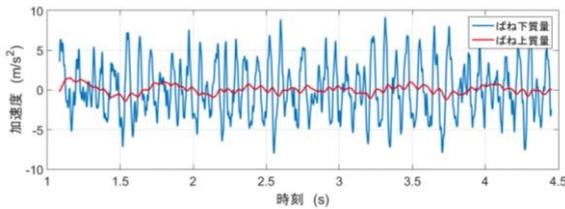


図 6.1 QC モデルの加速度応答

加速度応答より、(6.1)から(6.4)を用いて路面から鉛直反力 F_z 、進行方向と反対の抵抗力 F_{RR} 、 F_{RR} の仕事率 $P_{sink,RR}$ 、 F_{RR} の仕事量つまりエネルギーロス

$$F_z = (m_1 + m_2)g + m_1 \dot{z}_1 + m_2 \dot{z}_2 \quad (6.1)$$

$$F_{RR} = -\mu_{RR} F_z \quad (6.2)$$

$$P_{sink,RR} = V \cdot F_{RR} \delta_-(V \cdot F_{RR}) \quad (6.3)$$

$$W_{sink,RR} = \int_0^{L/V} V \cdot F_{RR} \delta_-(V \cdot F_{RR}) dt \quad (6.4)$$

$W_{sink,RR}$ を求めた. ここで、 μ_{RR} は転がり抵抗係数、 $\delta_-(V \cdot F_{RR})$ は $V \cdot F_{RR} < 0$ の場合は 1、 $V \cdot F_{RR} \geq 0$ の場合は 0 を示す関数である。 $W_{sink,RR}$ と IRI の関係を整理したものが図 6.2 である. 図 6.2 は横軸が路面の粗度 IRI、縦軸が 1km 走行あたりのエネルギーロスである.

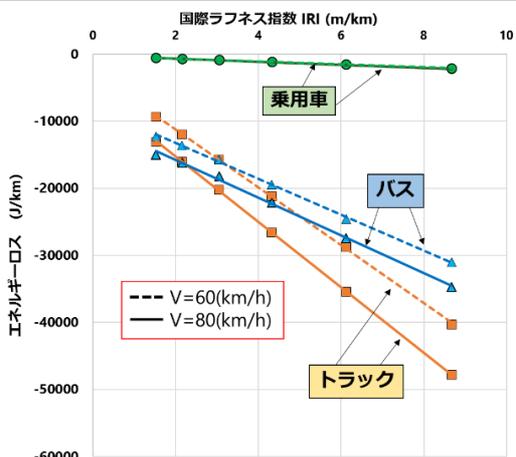


図 6.2 IRI とエネルギーロスの関係

これより、バス、トラックなどの大型車は路面の影響を受けやすいことがわかる. また、すべての車種に共通して、速度が大きいほどエネルギーロスが大きいことが読みとれる.

7. 首都高速道路ネットワークを対象とした集計

数値解析によって得られた結果図 6.2 を首都高速道路全体を対象として集計を行った.その際、大型車交通量の影響、速度の違いを考慮するため、首都高速道路を大型車混入率が高く、制限速度の高い湾岸線と制限速度の低いその他都市部に分けて集計した. また、時間経過に伴う路面の劣化も考慮した. 集計結果を図 7.1 に示す. 図 7.1 は横軸が経過年数、縦軸が燃料価格を基に算出した 1 年間に路面抵抗によって発生する経済損失を示している.

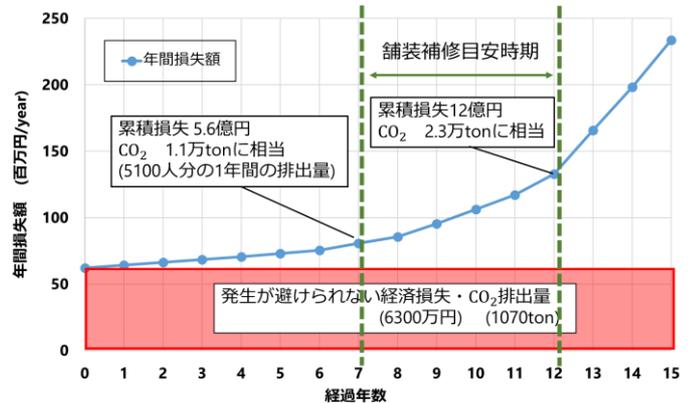


図 7.1 路面抵抗力による経済損失の経年変化

これより、新規舗装でも年間 6300 万円、15 年経過時で年間 2.4 億円の経済損失が路面抵抗力によって発生することが分かった. 新規舗装における経済損失は発生が避けられない経済的損失であるといえる. また、高速道路の実際の補修目安時期 7 年から 12 年に注目すると累積で 5.6 億円から 12 億円の経済損失が発生することがわかった.

8. 結論

本研究では数値解析によって自動車の走行を再現し、路面の状態と自動車の燃費の関係の定量的な評価を行った. またその結果を首都高速道路ネットワーク全体を対象にエネルギーロスの集計を行い、1 年間に発生する経済損失を求めた.

参考文献

- 1) S.Olita, The Vibrations Induced by Surface Irregularities in Road Pavements
- 2) S.Yucel, Time-Resolved Estimation of Fuel Consumption Breakdown of a Heavy Duty Truck Under Actual Road Conditions