

IV-14

路面の2次元プロファイルが車の運動に及ぼす影響について

函館工業高等専門学校 正 員 川村 彰

1. はじめに

今日における路面と車の運動の相互関係のトピックスは、道路利用者の車一人一道路系に求める質的内用の変化に対応したものとなってきた。これを項目別に把握するならばおよそ次のようなものが考えられよう。

- ・乗り心地問題
- ・安全性問題
- ・水はね問題
- ・周辺への振動・環境問題
- ・路面の維持管理問題

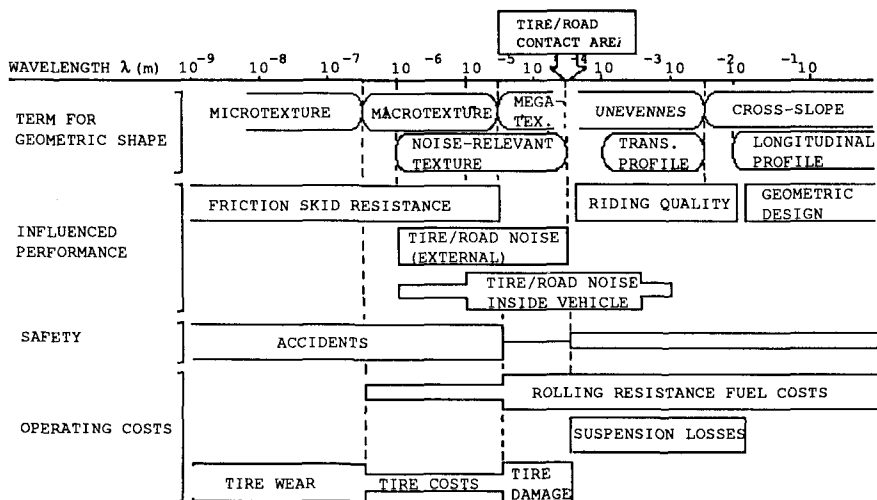
これらは、従来より研究がなされてきているが、今日においては問題の把握法がより多角的面から捉え、総合的になってきていることならびに問題の評価の基準が質の高いものとなっている。本研究は、これらを考慮し、従来より単一目的面から捉えがちであった路面の評価法をより総合的なものにするために行なった路面の立体的把握法及び車の運動評価への影響などに関して報告するものである。

2. 路面性状の基礎的把握

路面の波状特性に注目した評価は、路面のプロファイルの測定の後、統計的に処理され、種々の目的により作成された評価指標によって行なわれる。図-1に、PIARCで提案されている路面の特性分類を示す。

1) 図でも分かるように路面のプロファイルは、縦断の他に横断も考慮されており、特に後者は路面が車

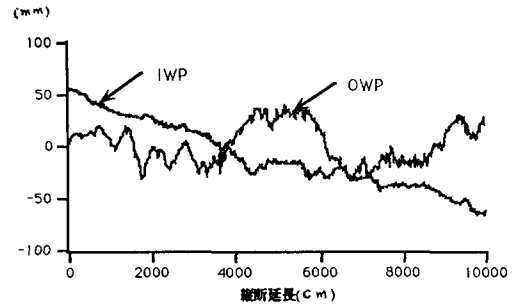
図-1 路面の波状特性による分類



Influence of Two-dimensional Road Profile on the Vehicle Dynamics

by Akira KAWAMURA

の動適応問題、騒音問題、燃費、車両の懸架装置への影響に関連することが分かる。路面の波状特性の統計的把握には、これまでスペクトル解析が広く用いられている。²⁾ 図-2に、一般道路の車輪軌跡に沿った縦断プロフィールとスペクトル分析結果を示す。分析対象の道路は、栃木環状線のうち、平坦性が悪くわだち掘れを生じている路面である。



図で示されるように、空間周波数の増加に連れて中央車線よりの車輪軌跡 (IWP) と路肩よりの車輪軌跡 (OWP) に関するスペクトル値に相違を生じているのが分かる。これは図-3に示す両軌跡間のコヒーレンス関数においても推察される。このように、悪路になると両輪におけるプロフィールに関しても波状特性で違いが生じ、その上を走行する車両に複雑な運動を強いることとなる。

3. 2次元プロフィールの特性把握

先の結果にも示されるように、路面が車の運動に及ぼす影響をより総合的に評価するには、路面の一次元的な取り扱いでは不十分であり、図-4に示されるような路面の二次元的性状を取り扱う必要がある。これまで、路面の立体的特性把握には、高次モーメント³⁾ を利用したもの、多次元フーリエ級数によるもの⁴⁾ 等があり、そのモデル化については、路面を定常不規則確率過程として捉え、パワースペクトル計算により行なったものなどがある⁵⁾。

ここでは、車の動的応答特性との対応及び既存の評価指標との利用に関して有利とされるパワースペクトルによる把握法により考察する。

金属表面腐食の把握に関しては、古くからその統計的処理方法が開発されてきており、形状関数の重ね合わせにより金属表面を立体的に再現する試みが行なわれている⁶⁾。

ここでは、腐食により生じる表面の凹凸を二次元の確率過程として捉え、自己相関関数を計算し、起伏のパワースペクトルを求めている。一般的表現をするならば、2次元の形状関数 $Z(x,y)$ は、

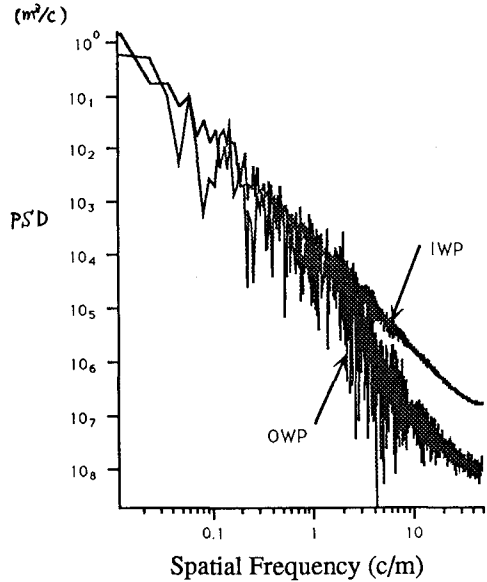


図-2 路面のプロフィールとそのスペクトル

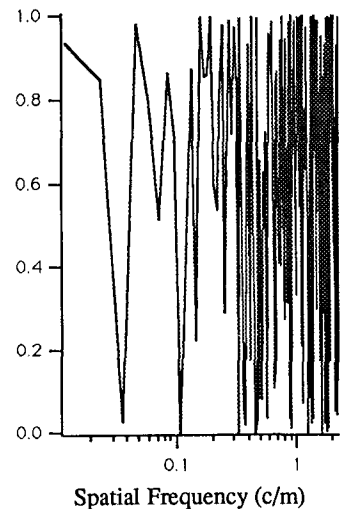


図-3 両輪軌跡間のコヒーレンス

$$Z(x,y) = \sum_{k=1}^N a_k f(x) g(y) \quad \dots(1)$$

で表され、ここで、 a_k は、起伏の発生確率に関係する起伏高であり、 $f(x)$ 、 $g(y)$ はそれぞれ道路の縦断方向、横断方向の路面近似関数である。近似関数には、縦断プロファイル、横断プロファイルごとに提案されてきている⁷⁾。張らは、形状関数を正弦波で扱い2次元路面のパワースペクトルを算出しており⁵⁾、2次元形状関数については、

$$Z(x,y) = \sum_{k=1}^N a_k \sin \frac{\pi}{b_k} (x - \xi_k) \sin \frac{\pi}{c_k} (y - \eta_k) \quad \dots(2)$$

$$(\xi_k \leq x \leq \xi_k + b_k, \eta_k \leq y \leq \eta_k + c_k)$$

ここで、 N は起伏の個数で、発生がポアソン過程に従うものであり、 a_k は k 番目の起伏波高、 b_k 、 c_k はそれぞれ x および y 方向の一様分布をする半波長、 ξ_k 、 η_k はそれぞれ x および y 方向の起伏位置である。上式により2次元の自己相関関数を求め、ウィナー・キンチン関係式 (Wiener-Khinchine relations) より起伏のパワースペクトルが次式により算定される。

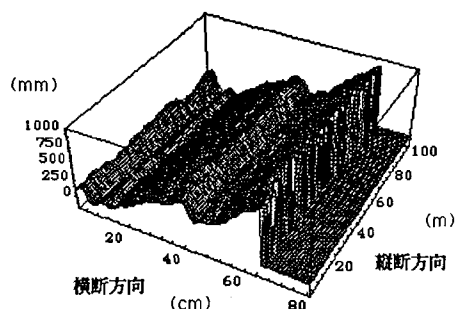
$$S(n_1, n_2) = 8 v_0 a^2 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P(b_i) P(c_j) b_i^2 c_j^2 \frac{(\cos 2\pi n_1 b_i + 1)(\cos 2\pi n_2 c_j + 1)}{\pi^4 (1 - 4n_1^2 b_i^2)^2 (1 - 4n_2^2 c_j^2)^2} \quad \dots(3)$$

ここで、 n_1 、 n_2 はそれぞれ x および y 方向の空間周波数であり、 n_0 は単位面積当たりの起伏の発生回数である。また、 $P(b_i)$ 、 $P(c_j)$ は i 番波の x 方向半波長 b_i と j 番波の y 方向半波長 c_j の発生確率である。

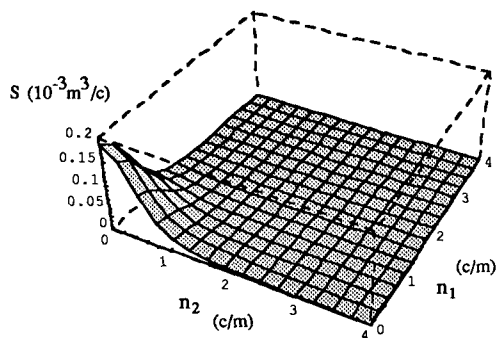
図一5に(3)式によるパワースペクトルの解析結果を示す。図で示されるように、ISO等でこれまで示されている一次元の路面プロファイルとの対応もよく判別できる。また、これは横断プロファイルの特殊性を加味していないが、わだち路面やポットホール、パッチングによる影響に関しても形状関数の選定により、2次元パワースペクトル表示が可能である。

4. 路面と車の運動

今後期待される2次元プロファイルが車の運動に及ぼす影響解析として、多次元を考慮した車の振動乗り心地及び操縦性安定性問題が考えられる。特に両輪の走行軌跡で波状特性及び形状が異なる状況に関しては、前後左右の振動のほか回転を伴う運動が予期されることより、従来のQuarter-Carモデルより、自由度の増すHalf-Car以上のモデルの活用が必要とされる。乗り心地の評価指標についても、車の振動システムから誘導される周波数応答特性に振動



図一4 路面の立体プロファイル



図一5 路面の2次元プロファイル (等方性)

方向に関する重み付けを行なうことにより算定されるK値が、単一の項目だけでなくより総合的に処理されるようになってきている8)。すなわち、

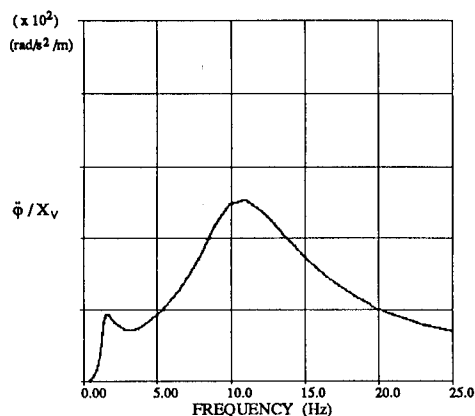
$$K = \sqrt{K_1^2 + K_2^2 + \dots + K_n^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2} \quad \dots (4)$$

ここでKは、「総合K値」であり、K_iはi項目（例、座席位置の上下方向振動加速度）に関するK値である。なお、一般的なK値は次式により算定される。

$$K^2 = \int_0^{\infty} B_i^2 \cdot T_i^2 \cdot \phi_h(\omega) d\omega \quad \dots (5)$$

ここでB_i、T_iは、それぞれi項目に関する重

み付け評価関数（ISOやVDIにより、提案されている）及び路面凹凸との周波数応答関数であり、 $\phi_h(\omega)$ は空間周波数 ω による路面の凹凸スペクトルである。筆者らは、(5)式によりQuarter-Carモデルについて各種縦断プロファイルからK値の算定をこれまで行なってきた9)。しかしながら、乗り心地面からの総合的評価として今後期待されることとして、車の振動モデルからの理論的アプローチに関しては、各評価項目について車の周波数特性をより忠実に再現するモデルを吟味する必要がより一層高まると思われる。図一6にピッチングに関する4自由度モデルの周波数応答関数を示す。



図一6 前輪の上下変位 (X_v) に対するピッチ角の周波数応答関数

5. おわりに

本研究は、今後その活用が大いに期待される2次元プロファイルを考慮した車の運動との相関について基礎的報告を行なったものである。車の運動のみならず舗装設計面に及ぼす影響等についても以後報告予定である。最後に、本研究を行なうに当たり路面プロファイルデータの提供をいただいた日産化学工業の関係者に紙面を借りて厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) Henry J.J. and Wambold J.C. : The Relationship of Skid Resistance to Surface Characteristics, ASTM Draft Report :Committee 1. Working Group A (E-17), 1990.
- 2) BSI: ISO/TC108/WG9 Document No.5 1972
- 3) 日野幹雄： スペクトル解析、朝倉書店、1977
- 4) 佐藤、大堀： 2次元表面粗さ測定とそのフーリエ解析に関する研究、機講論790-5、1979
- 5) 張 湘偉、中桐 滋： 二次元フィルタードポアソン過程による不規則路面のモデル化とそのスペクトル解析、日本機学会論文集（A編）、52巻477号、1986
- 6) 辻 恒平、久田俊明、北川英男： 腐食路面の三次元的不規則性のスペクトル解析による評価、日本機学会論文集（A編）、49巻439号、1983
- 7) 中辻 隆、加来照俊ら： わだち路面の形状に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集 昭和58年度、1982
- 8) VDI-Richtlinie 2057, Blatt 2057 : Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf der Menschen, 1983
- 9) 川村 彰、加来照俊： 車速を考慮した路面凹凸の評価方法 一振動乗心地を例として一、土木学会北海道支部論文報告集 平成2年度、1991