

V - 46

路面の二次元プロファイルの評価方法について

- 路面の波状特性に着目して -

函館工業高等専門学校 正 員 川村 彰

1. はじめに

従来より路面の評価は、a)舗装の設計・維持管理、b)交通安全、c)乗り心地、d)車の耐用性・燃費などの問題と密接に関係することより、舗装のみならず交通関係、自動車関係などの数多くの分野で研究がなされてきた。そのうち路面プロファイルに関しては、路面性状調査の主たる項目であり、種々の測定装置がこれまで開発されてきた。しかしながら得られた路面プロファイルの評価は、縦断もしくは横断の一次的処理でなされる傾向にあり、現実の複雑な路面状況の評価に際しては、二次元プロファイルによる路面の立体的取り扱いが必要である。このことから、本研究は、路面の二次元パワースペクトルを算定することにより、立体的路面の波状特性分析を行い、路面評価への適用性について検討を行った。

2. 二次元フーリエ変換による実路面の立体的評価

路面の縦断プロファイルのパワースペクトルによる評価は、これまで多くの研究結果があり、ISO（国際標準化機構）やDIN（ドイツ工業規格）で評価基準も作成されている。路面のパワースペクトルの算定法は幾つかあるが、ここでは二次元フーリエ変換によりパワースペクトルの算定を行った。二次元フーリエ変換は離散形式で表現すると次式によって行われ、距離空間（ k, l ）より波数空間（ m, n ）に変換される。

$$F(m, n) = 1/\sqrt{M \cdot N} \cdot \sum_{k=-M/2}^{M/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} f(k, l) \cdot W_M^{km} \cdot W_N^{ln} \quad (2.1)$$

ここで、 W_m と W_n はフーリエ変換因子で、路面の縦断と横断方向に関して、以下の両式で与えられる。

$$W_M = \exp(-i \cdot 2\pi / M) \quad (2.2)$$

$$W_N = \exp(-i \cdot 2\pi / N) \quad (2.3)$$

ここで、 M と N はそれぞれ対象路面の横幅と縦幅をデータ数にて表示したものである。 $F(m, n)$ はフーリエ変換後のフーリエ像であり、 $f(k, l)$ は変換前の原画像である。データ行列は、実数部 $f_r(k, l)$ と虚数部 $f_i(k, l)$ の二つの部分よりなるが、これらはフーリエ変換によりそれぞれ、 $F_r(m, n)$ と $F_i(m, n)$ へと変換され、二次元波数座標の各点におけるパワースペクトルは次式により算定できる。

$$Ps(m, n) = Fr(m, n)^2 + Fi(m, n)^2 \quad (2.4)$$

上式により、実際に測定された路面の二次元パワースペクトルを算定した結果を図-1に示す。結果から、一般路面は縦横断の波状特性に関し、様々な様相を呈していることがわかる。

3. 路面凹凸の立体的モデル

前述の実路面状況を基に、路面の二次元プロファイルをモデル化し、シミュレーションすることにより、理論的に路面の立体プロファイル評価を行う方法について述べる。路面の凹凸のモデル化に関しては、これまで1)自己回帰過程に基づく方法【1】、2)凹凸の形状関数を仮定して行う方法などが提案されている【2】。本研究では、計算の便性及び複雑な路面形状に対応可能な点を考慮して後者の方法によりモデル化を試みた。この手法では、形状関数を次式の二重正弦波により行う。

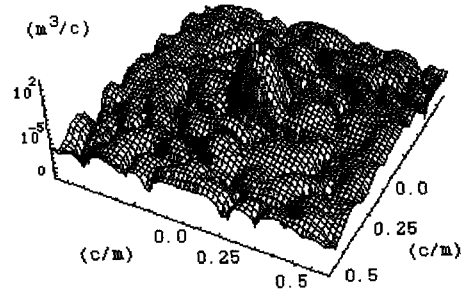
$$Z(x, y) = \sum_{k=1}^M a_k \sin \frac{\pi}{b_k} (x - \xi_k) \sin \frac{\pi}{c_k} (y - \eta_k)$$

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

$$(2.5)$$

$$=0 \quad (\text{その他の場合})$$

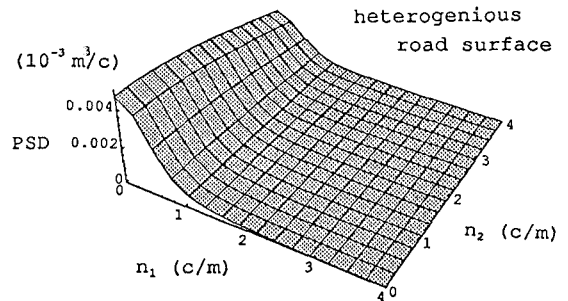
ここで、 M は解析対象路面の平面 XY 上の路面起伏の個数で、ポアソン分布に従うものとする。また、 k 番目の凹凸値（振幅値） a_k は指数分布をするものとし、 x および y 方向の半波長 b_k と c_k は一様分布をし、 ξ_k と η_k は起伏位置を示す。上式より凹凸の自己相関関数を求め、二次元フィルタードポアソン過程【2】を用いてフーリエ変換を行うと次式により、二次元路面のパワースペクトルが計算できる。



図ー1 路面の二次元パワースペクトル

$$S(n_1, n_2) = 8v_0 a^2 \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L P(b_i) P(c_j) b_i^2 c_j^2 \times \frac{(\cos 2\pi n_1 b_i + 1)(\cos 2\pi n_2 c_j + 1)}{\pi^4 (1 - 4n_1^2 b_i^2)^2 (1 - 4n_2^2 c_j^2)^2} \quad (2.6)$$

ここで、 $P(b_i)$ 、 $P(c_j)$ は、それぞれ i 番波の x 方向半波長と j 番波の y 方向半波長の発生確率であり、 n_1 、 n_2 はそれぞれ x, y 方向の空間周波数、 v_0 は単位面積当たりの凹凸の発生確率である。下図に上式による算定結果を示す。図は、縦断方向と横断方向で異なる波長成分割合のものである。図では、空間周波数がゼロ付近でも有限値を持つことから、従来のISO規格で提唱されている路面凹凸のスペクトル曲線よりも現実に近いものと言えよう。



図ー2 理論的算出による路面の二次元パワースペクトル

4. おわりに

本研究では、路面の波状特性に着目し、立体的な路面プロファイルを評価する試みを行った。今後の課題として、より複雑な路面問題および立体的な路面が他の問題へ及ぼす影響などについて取り上げてみたい。

参考文献

- 【1】D. Ammon: Approximation und Generierung stationärer stochastischer prozesse mittels linear dynamischer Systems, Diss., Univ. Karlsruhe, 1989
- 【2】張、中桐：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、日本機械学会論文集（A編）、52巻477号、1986