

I—23、積雪や砂利道での路面凹凸のスペクトル解析

室蘭工大 正員 松岡 健一
 室蘭工大 正員 岸 徳光
 室蘭工大 正員 田中 功
 室蘭市役所 正員 能町 浄彦

1. はじめに

雪国において、はげしい降雪の後、車輛交通の頻繁な道路上、特に交叉点の近くでは10cm～20cm程度の周期性をもった路面凹凸がまたたく間に一面に生じたり、暖気でぬかるみになった路面が日没急冷とともに堅固な凹凸に変化し異様な起伏を形成することは、我々北国に住む人々にはしばしば経験するところである。また、このような現象は交通の頻繁な舗装前の道路や、工事用の砂利道においてもえられる。これは俗にソロバン道路と云われているものであり、砂ぼこりと共に走行安定性や乗り心地が悪く、運転者にとっては悩みの種である。

この種のランダム凹凸は車輛交通によって引き起こされるが、この路面を車輛が高速で走行する場合、車輛と路面凹凸との動的相互作用により生ずる車輛の走行安定性や路盤強度への影響などの問題が存在する。また、冬期積雪の場合は橋梁の路面にも凹凸が発生することも考えられ、橋梁構造物の安全信頼度がどのように評価されるかについても北国特有の重要な問題と考えられる。

このように出現する路面凹凸は、全く同一のものは絶対に発生するものではなく、統計的な量として

処理しなければならないものと考えられる。またその特性は実測によってのみ与えられるものである。

本文では、車輛と道路や橋梁などの路面凹凸との動的相互作用問題を解析するための基礎データを得ることを目的として、夏季砂利道1地点と積雪路面1地点において現場実測を行い、その路面凹凸のスペクトル解析やフラクタル次元解析を行ったので報告する。

2. 積雪路面凹凸の記録写真例

写真1(a)は一昨年の暮に室蘭市中島町の交叉点近くで記録したものであり、10cm～20cmの間隔で高さ2cm程度の山が道路幅員方向と道路に沿った方向に不規則に発生している。

(b)は昨年の1月中旬頃に室蘭工業大学正門前のゆるやかな上り坂で記録したものであり、波頭間隔が40～50cm程度、振幅が4cm～5cm程度であった。この路面凹凸の形状は写真(a)と異なりタイヤ接地部分約1m幅で道路に沿ってほぼ一様な単純な波形を形成している。

(c)は昨年の二月下旬頃北大の生協会館裏の道路の苗穂方面へ向かう車線での記録である。(a)、



写真-1(a)

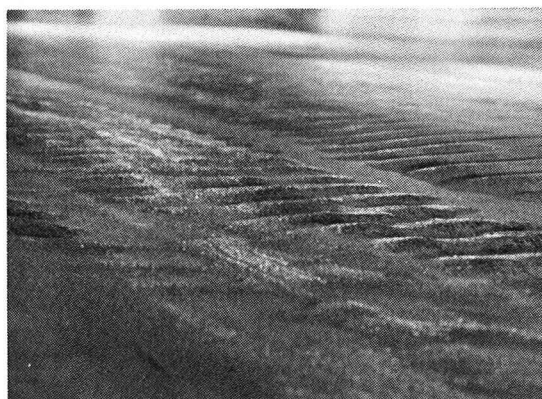


写真-1(b)

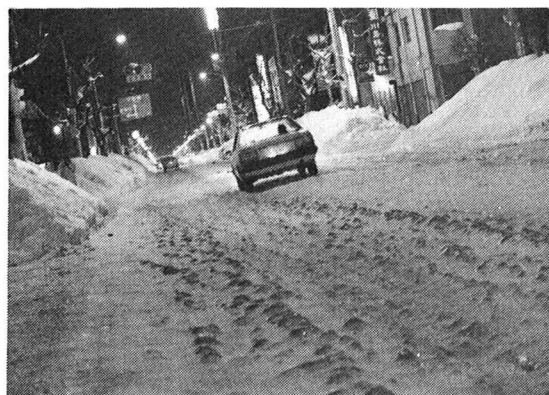


写真-1 (c)



写真-1 (d)

写真-1 積雪路面凹凸の記録写真例

(b) は波形の谷部分で所々アスファルトがみえている状態であったが、(c) は積雪も多く谷部は堅固なアイスバーン状態であった。路面は昼の暖気状態から日没急冷とともにできたもので凹凸は完全に氷状になっていた。凹凸は山脈のように山が連なっており、山の鋭角部は走行車輛により丸みをおびているようであった。

(d) は札幌植物園裏の国道交叉点近くでの記録である。(c) と同時期の記録で日没急冷とともにできたものであるが、歩道に近い部分で車輛交通によるすりへりが少ないため、(c) に比較して山の部分も険しくまた高さも大きくなっている。

3. 路面凹凸の測定方法

写真-2 に示したような路面プロフィールメーターを試作し、最大ストローク 10 cm の変位計を毎秒 3 cm で走行させて出力を DC アンプで増幅の後データ



写真-2 路面プロフィールメーター

ーレコーダーに記録している。収録したデータはフォトコーダーを用いてアナログ量に変換し、さらにデータ処理を施すためにデジタル化を行った。

4. データ処理方法

いま路面凹凸の標本値を X_m とすると、 X_m のフーリエ変換 C_k は次式のように示される。

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{-i(2\pi km/N)} \quad k=1, 2, 3 \dots, N-1 \dots (1)$$

従ってフーリエスペクトル $F(k)$ 、パワースペクトル $G(k)$ は全スパンを L とすれば

$$F(k) = L |C_k| \dots (2)$$

$$G(1) = F(1)^2/L \dots (3)$$

$$G(k) = F(k)^2/L \dots (4)$$

$$G(N_{fold}) = F(N_{fold})^2/L \dots (5)$$

として示される。本文では FFT (高速フーリエ変換) を用いているのでデータ総数を 2^n 個 (4096 個) とって処理を行っている。

路面凹凸のように相互の関連がまったくない統計的な量を定量的に表す指標の 1 つにフラクタル次元と呼ばれるものがある。たとえば凹凸曲線を単位の異なる物差しで測定したとき、物差しを操作した回数を N とすれば、 N は次式で与えられる。すなわち

$$N = (\text{物差しで測った距離}) / (\text{物差しの長さ})$$

$$= (\text{定数}) * (\text{物差しの長さ})^{-D} \quad \dots (6)$$

このときのDをフラクタル次元と呼ぶ。

また、このときの不規則曲線のパワースペクトル $G(F)$ は次のように示されることが B.B.Mandelbrot¹⁾ によって証明されている。

$$G(F) \propto F^{2D-7} \quad \dots (7)$$

本文ではパワースペクトルとフラクタル次元について調べることにする。

5. 路面凹凸のスペクトル解析

5.1 砂利道凹凸のスペクトル

本実測は室蘭市白鳥台3丁目を通っている舗装前(砂利道)の市道約100mについて行った。

図-1に20m区間ごとの凹凸波形を示している。図より0.0m~20.0m区間では波長200~250cm程度の凹凸が卓越しているようである。この区間は舗装路から砂利道へ続く不連続な区間で車輛交通と路面との動的相互作用に舗装路が大きく影響しているものと考えられる。20.0m以降はまったくランダムな交通にかかわらず波長50~80cm程度のはば一様な路面凹凸が発生していることがわかる。また、図-2には20mごとのランニ

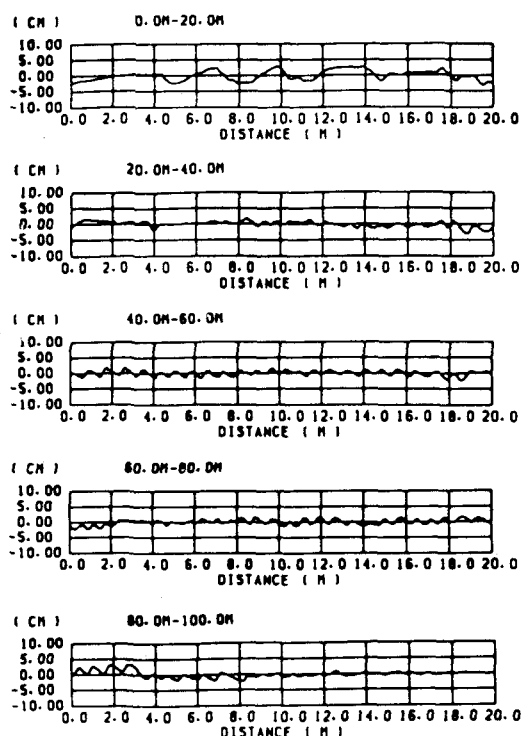


図-1 砂利道における区間毎の路面凹凸分布
ングパワースペクトルと全体としてのパワースペクトルを示しているが、この図からも上記の現象を推察することが出来る。

図-2よりフラクタル次元を調べてみると全体を

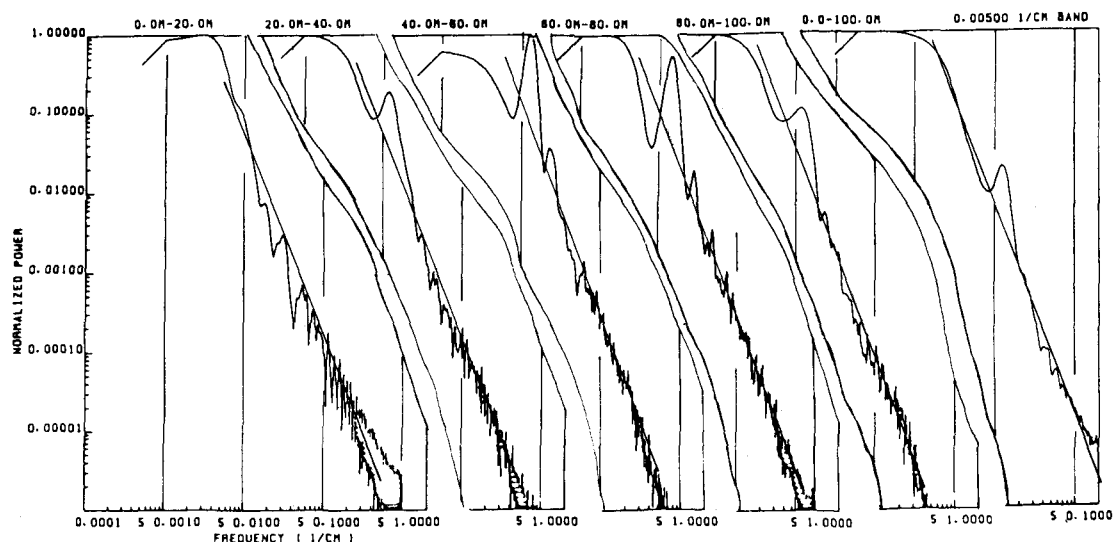


図-2 砂利道におけるランニングパワースペクトル図

通してパワースペクトルの勾配が $1/F^{3.0}$ であり $D \approx 2.0$ であることがわかる。

5. 2 積雪路面凹凸のスペクトル

本実測は昭和58年3月9日に札幌市北区の市道で行った。測定区間は約40mで湿雪による圧雪路面であった。図-3に路面凹凸の波形を前記同様20mごとに示している。交通量の少ない道路であったので交通量の多いアイスパーン状の道路では見られない波長の比較的に長い波形成分が多いようである。図-4にランニングパワースペクトルと全体のパワースペクトルを示している。砂利道同様フラクタル次元を調べてみるとパワースペクトルの勾配が砂利道の場合に比べてやや急では $1/F^{2.5}$ となり従って $D \approx 2.25$ となる。

6. まとめ

車輛と道路や橋梁などの路面凹凸との動的解析を行うための基礎資料を得ることを目的として、砂利道や積雪路面凹凸の現場実測を行い、その周波数特性を調べた。解析結果2地点ともパワースペクトルの勾配が $1/F^{2.5} \sim 1/F^{3.0}$ 、フラクタル次元が $D = 2.00 \sim 2.25$ である。この値は兼重氏²⁾が車のバネ下振動から推定した値とはほぼ等しい値であった。

今後、さらに砂利道や積雪路面凹凸のデータの蓄積とともに、これらのパワースペクトルを用いた動的応答解析³⁾も行う予定である。

7. 参考文献

- 1) Mandelbrot, B.B. : Fractals, Form, Chance and Dimension. Freeman, San Francisco, 1977
- 2) 兼重一郎 : 相関関数およびスペクトル (磯部孝編) 東京大学出版会
- 3) Macvean, D.B. : Response of Vehicle Accel-

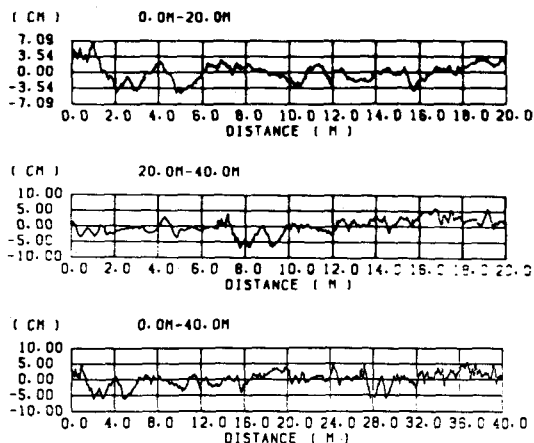


図-1 区間毎の積雪路面凹凸分布

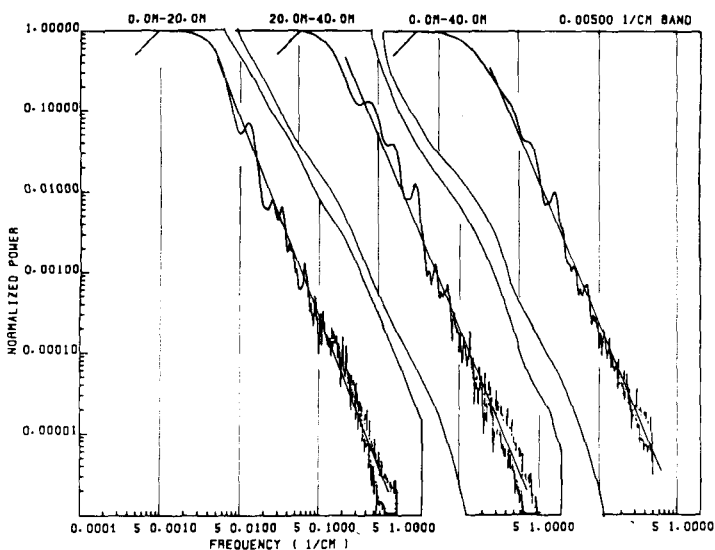


図-2 積雪路面凹凸におけるランニングパワースペクトル図

rating over Random Profile, Ingenieur-Archiv, 49 (1980)