EVEN データを用いた Wavelet 解析による路面性状評価

北見工業大学大学院　学生員　井上要人
北見工業大学　正会員　川村　彰
北海道開発局　岡本拓三

１．はじめに

路面プロファイルの波状特性を解析する方法として、従来、フーリエ関数や、パワースペクトル密度関数（PSD）による周波数解析が用いられてきた。しかし、路面のプロファイルのごく一部分に、局在する損傷データが含まれる場合、プロファイルのスペクトル全体に歪みが生じる。それに対し、Wavelet 理論を用いた「空間－周波数解析」では、スペクトルを位置と周波数の 2 変数関数として表現可能なことより、特異箇所の位置特定や、対象周波数の特定も可能である。このことから、損傷の除去前後での平坦性の比較や路面の均質性の検討を行えるので、最終的には道路の維持管理に適用が可能になる。本研究では、1998 年に実施された PIARC 国際共通試験で使用した EVEN（Evenness Experiment）データを用いる。EVEN データは既に基礎的解析が行われているものであるが、今回ウェーブレット理論を用いて解析することによってこの方法の適用性について検討する。

２．ウェーブレット理論による解析原理

ウェーブレットとは、波形データを育成する小波を表す様々な関数の使われ方に関連した呼び名であり、座標 x の関数 f(x)から、ある特定成分を取り出すときの最小単位として用いられる。解析に用いる基本関数 ψ(x)を b だけ空間座標において平行移動し、a だけ伸縮した ψ((x-b)/a)により、ウェーブレット変換は、離散表現では、2 進移動と 2 進ダイレーションを施した $\psi(2^j x-k)$(j,k は整数)を用いて、式(1)で定義される。

$$\left(W_\psi f\right)\left(2^{-j},2^j\right)=2^j\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{a}}\left(2^j x-k\right)f(x)dx \quad \cdots（1）$$

式(1)における b を横軸、1/a を縦軸とする平面にプロットすれば「空間－周波数解析」が可能となる。

このとき、もとの ψ(x)をマザーウェーブレットと呼び、マザーウェーブレットに直交ウェーブレットを用いれば、式(2)、(3)の離散ウェーブレット変換により、元の関数(信号)f(x)に再合成でき、「多重解像度解析」が可能になる。

$$f(x)\approx\sum_j\sum_k d_k^{(j)}\psi\left(2^j x-k\right) \quad \cdots（2）$$

$$d_k^{(j)}=2^j\int_{-\infty}^{\infty}\psi\left(2^j-k\right)f(x)dx \quad \cdots（3）$$

３．解析データ

解析にあたっては、種々の平坦性路面を利用することから、1998 年に世界の 3 地域で実施された第 2 回 PIARC 国際共通試験で使用した EVEN（Evenness Experiment）データのうち、日本（北海道）で実施された共通試験のデータを用いる。このデータは、**表－1** に示す道内における国道、道道、高速道路の全 15 の測定サイトのうち、No.2～No.14 及び No.17 の計 14 サイトを用いた。

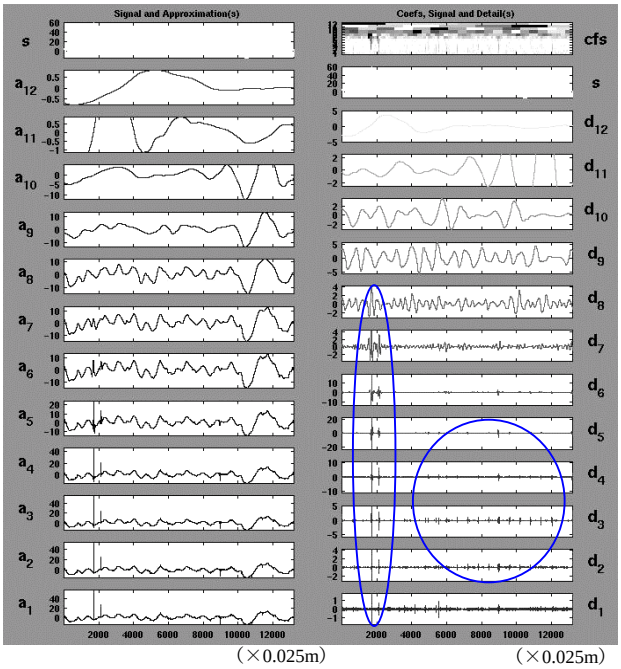
表－1　解析データ TRAGET MATRIX

No	ROAD ID	EVENNES IRI m/km	MEGA TEXTURE	MACRO TEXTURE	FEATURES	RUTTING
1	N.H.36	4.0<IRI<5.0	LOW	LOW	LOW	LOW
2	N.H.276	4.0<IRI<5.0	HIGH	HIGH	LOW	LOW
3	N.H.234	4.0<IRI<5.0	-	-	YES	HIGH
4	N.H.451	4.0<IRI<5.0	-	-	LOW	MEDIUM
5	N.E.	2.5<IRI<4.0	LOW	LOW	LOW	LOW
6	H.P.R.259	2.5<IRI<4.0	HIGH	HIGH	LOW	LOW
7	N.H.337	2.5<IRI<4.0	-	-	YES	HIGH
8	N.H.275	2.5<IRI<4.0	-	-	LOW	MEDIUM
9	N.H.234	1.5<IRI<2.5	LOW	LOW	LOW	LOW
10	N.H.234	1.5<IRI<2.5	HIGH	HIGH	LOW	LOW
11	N.H.337	1.5<IRI<2.5	-	-	YES	HIGH
12	N.E.	1.5<IRI<2.5	-	-	LOW	MEDIUM
13	N.E.	1.0<IRI<1..5	LOW	LOW	LOW	LOW
14	N.H.234	1.0<IRI<1..5	HIGH	HIGH	LOW	LOW
15	-	1.0<IRI<1..5	-	-	YES	HIGH
16	-	1.0<IRI<1..5	-	-	LOW	MEDIUM
17	N.E.	IRI<1.0	LOW	LOW	LOW	LOW
18	-	IRI<1.0	HIGH	HIGH	LOW	LOW
19	-	IRI<1.0	-	-	YES	HIGH
20	-	IRI<1.0	-	-	LOW	MEDIUM

key words：road profile, road surface evaluation, wavelet analysis, multi-resolution analysis, space-frequency analysis
連絡先：〒090－8507　北海道北見市公園町 165　／　交通工学研究室　Tel　0157－26－9516

4．空間周波数解析による平坦性評価

図－1 は、No.14 の N.H.234 について多重解像度解析を行った結果である。数値解析処理ソフトである MATLAB による図では上に示されるに従って長波成分、即ち低周波が抽出されている。マクロテクスチャ、メガテクスチャ共に振幅が小さいが、およそ 14m 間隔で d_2 から d_5 にかけての損傷個所が全体を通して連続している。特に 50m 付近にある 2 ヶ所の損傷は非常に大きい。この路面は局在的損傷が顕著である例として、損傷個所除去前後の比較検討に用いることとする。また、d_9 がこの路面を構成している要素として代表されることから、d_9 の除去前後についても比較する。



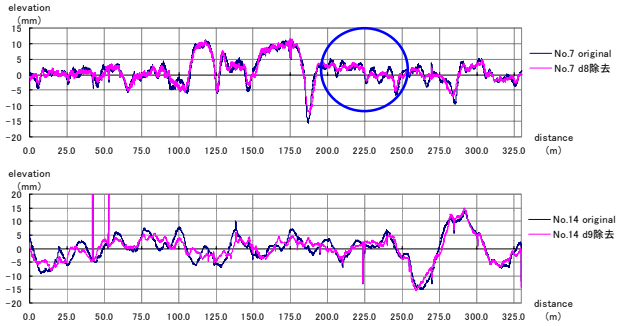
（×0.025m）　（×0.025m）

図－1　No.14 に関する空間周波数分析図

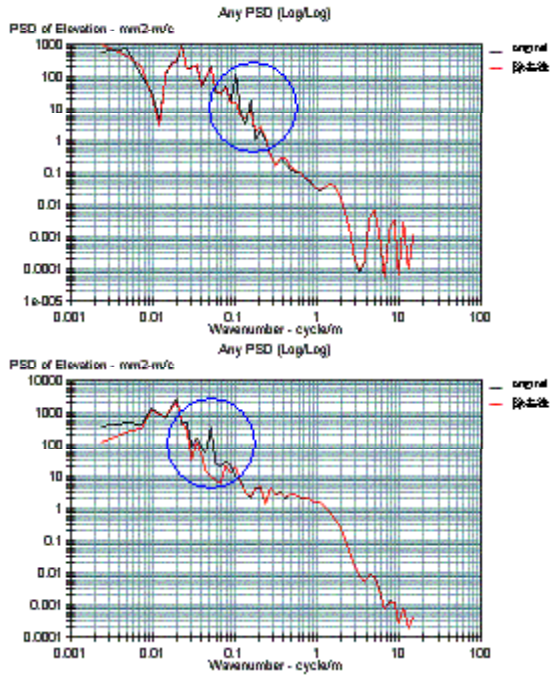
5．パワースペクトル解析による平坦性評価

図－2（上）は、No.7 の original 波形と、この路面を構成している大きな要素であると考えられる d_8 を除去したプロファイルを重ねて表示したものである。特に 200m から 250m にかけて平坦性が向上している。（下）No.14 については、d_9 を除去したプロファイルを重ねて表示したものである。全体を通して平坦性の向上が見受けられることから、d_9 がこの路面を構成している代表的な要素であることがわかる。

図－3 は、No.7、No.14 の損傷個所除去前後のスペクトル比較を行った結果である。No.7 は、○で囲んだレベル－8 {0.156c/m}、No.14 は、レベル－9 {0.078c/m} 周辺のパワースペクトル値が減少し、その分だけ路面が平坦性を増している。



図－2　断面 Profile（上: No.7、下:No.14）



図－3　PSD 解析による平坦性比較

（上: No.7、下:No.14）

6．特定周波数成分除去前後の IRI 指標の評価

No.7 で d_8 除去前後の IRI 値（original:1.45,除去後:1.24）及び、No.14 で d_9 除去前後の IRI 値（original:1.60,除去後:1.44）を比較すると、プロファイル比較の場合、d_9 を除去した方が変化を見て取れたが、IRI 値による比較では d_8 を除去した方が下がり幅は大きい。

7．おわりに

Wavelet 解析によりプロファイル表示では検出しにくい「高周波－小振幅」成分を検出できた。また、特定周波数成分除去後の IRI 値のプロファイル比較より、路面性状評価の指標として国際的に用いられている IRI の数値に含まれる局在的損傷を検出することができた。今回は、局在的損傷に対応するレベルの周波数を全て除去して比較を行った。これらの成果について、現実的施工現場における対応方法等ついての検討が今後期待される。