

V-33

Wavelet 関数による路面凹凸特性の把握方法について

函館工業高等専門学校 正員 川村 彰

1. はじめに

路面と車の相互作用を研究する上で、路面のプロファイル測定およびその上を走行する車両に及ぼされる過度的振動データを処理することがしばしば要求される。これまで Fourier 変換による周波数応答解析やスペクトル解析がしばしば用いられてきたが、これらは、マクロテクスチャに関する路面の一般的波状特性は把握できても、段差やポットホールなどの局所的路面の存在を的確に掌握できない。

本研究においては、近年、時間 - 周波数解析 (time-frequency analysis) に効果的とされる Wavelet 関数 (以下 WT 関数と称す) に着目し、その基本理論を紹介すると共に、幾つかの路面上を走行する際の車の過度的振動データ特性解析に、WT 関数を応用しその有用性について検討を行った。

2. ウェーブレット理論

2. 1 基本原理

WT 理論は、近年、数学者、工学者の双方から信号処理の新手法として注目されている理論であり、周波数領域で信号を表現する Fourier 解析の性質に加えて、変動の時間的または空間的推移も同時に把握できるといふ、従来では困難であった時間特性および周波数特性の同時解析が可能となる。またこの性質を利用した解析を時間周波数解析と称す。WT は、古くは 1930 年頃にあった概念であるが、実用化は多重解像度解析の概念が確立され、1988 年に Daubechies による連続な直交 WT が発表されてからである。信号データを生成する小波を表す様々な関数の使われかた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時の最少単位として用いられる。このような目的の関数 $\phi(x)$ を b だけ平行移動し、 a だけ伸縮した $\phi((x-b)/a)$ により WT 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 $\phi(2^j x - k)$ (j, k は整数) を用いて、

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

上式における、 b を横軸、 $1/a$ を縦軸とする信号平面にプロットすれば時間周波数分析が可能となる。この場合、もとの $\phi(x)$ をマザーウェーブレットと呼んでいる。また、逆に WT から次式により基の信号に逆変換できる。

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

$$\text{ここで、} d_k^{(j)} = 2^j \int_{-\infty}^{\infty} \psi(2^j x - k) f(x) dx$$

2. 2 多重解像度解析

(2)式において、 $g(x) = \sum d_k^{(j)} \phi(2^j x - k)$ として $f_j(x) = g_{j-1}(x) + g_{j-2}(x) + \dots$ とすると信号 f は、WT 成分 g_j により分解できると共に、 $f_j(x) = g_{j-1}(x) + f_{j-1}(x)$ として再帰的表現できる。したがって、各 j (レベルと称す) の値に関する k と $d_k^{(j)}$ よりなる信号平面を作成することにより、信号の解像度の段階的解析が可能

になる。このためには、マザーウェーブレット ϕ が基底 (basis) 関数となるものでなければならず、スケーリング関数 ϕ により、次式で定義される。

$$\psi(x) = \sum q_x \phi(2x - k) \quad (3)$$

また、スケーリング関数 ϕ は、次式で示される。

$$\phi(x) = \sum p_x \phi(2x - k) \quad (4)$$

ここで、 $\{p_k\}$ は与えられた数列であり上式を満たす関係を、スケーリング関数 ϕ についてのトゥースケール関係 (two-scale relation) という。このスケーリング関数により、生成される関数空間 V_j の定義がなされ、対応する WT の空間が作成されて分析がおこなわれる。このことを多重解像度解析 (Multiresolution analysis, MRA) という。

3. WT理論の車の振動特性解析への応用

一般的にラフネスが車の乗り心地に及ぼす影響の把握は、車に及ぼされる振動加速度を測定することによりなされるが、その際に外乱 (disturbance) と称される路面のポットホール、パッチング、マンホール箇所や橋のジョイントにより生ずる過渡的振動と通常の振動とは性質の異なるものであるから、それぞれ個別に把握・評価できることが望ましい。本研究では、そのための基礎解析として、大型車両の座席シート部に加速度計を設置し、突起乗り越し実験を行った結果を基に、WT 関数による時間周波数解析を行った。図-1は、大型車が時速 30 km で、高さ 80mm、幅 600mm、長さ 400mm の薄鋸形上のハンプを乗り越した時上下方向加速度に対して、多重解像度解析を行った結果である。この場合、マザー・ウェーブレット関数には、4階のカーディナルBスプラインを用いた。図の j はレベルの階位を示す。また図は、解析データに対して、補間する関数を求め、これをスケーリング関数と WT の部分に分解して、これを数段繰り返して得られたものである。図より、下に示されるに従って長波成分が抽出され、時間的に関与している部分が判別される。

4. さいごに

本報告では、WT 理論の簡単な紹介とそれを車と路面の振動解析に適用させた例について、基本的検討を行った。車両走行時においては他の過渡的振動である外乱 (突風) の影響や橋と車の相互作用など数多くの問題処理にも WT 理論の適用が期待されることから、今後それらの問題に対しても本研究を継続して行っていきたい。本研究を行うのに際して、いず自動車北海道試験場の関係各位に多大な協力を頂いた。紙面を借りて、感謝の意を表したい。

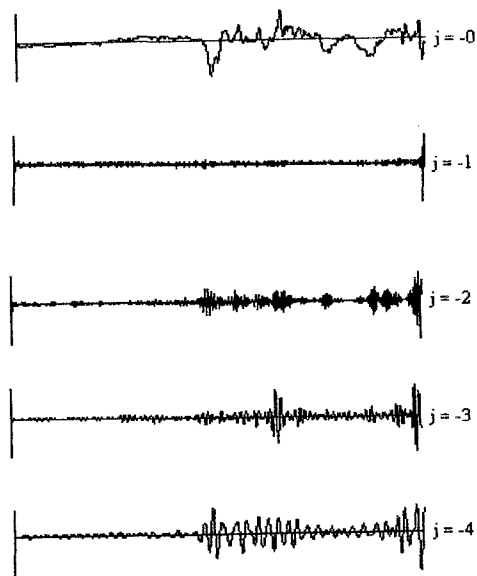


図-1 車の振動加速度の WT 解析 (突起乗り越し)