

I-479

ウェーブレット変換を用いた 強風の非定常性の検出の可能性

東京大学大学院 学生員 北川徹哉
東京大学大学院 正 員 若原敏裕
東京大学工学部 正 員 藤野陽三
日本大学理工学部 正 員 野村卓史

1. まえがき

ウェーブレット変換は多重解像度解析であり、基底関数をスケール変形、シフトさせることにより時間領域から時間-振動数領域へ変換するため、フーリエ変換では難しい時間と振動数との対応を、基底関数のサポートの範囲で議論できる。偏微分方程式の数値解法、有限要素法、画像処理、最適化問題、乱流など応用は多岐にわたり、風の分野では山田ら¹⁾が大气乱流の解析に適用している。従来、風工学の分野では10分間を1つの単位とし、さらに風の変動は定常ランダムとして扱っているが、実際の強風は場合によっては非定常性も強いと思われ、この強風の非定常をどのように取り入れるかは1つの課題と考えている。本研究では、変動風速による加速度応答をウェーブレット変換にかけ、応答の微小かつ急激な変化の発生をとらえる性質を利用し、構造物の加速度応答と風速の非定常性との対応について検討した。

2. 離散ウェーブレット変換

関数 $x(t)$ の離散ウェーブレット変換 $\alpha_{j,k}$ (j : スケールパラメータ k : シフトパラメータ) は、次のように与えられる。

$$\alpha_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{j,k}^*(t) x(t) dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

$\psi_{j,k} = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k)$: ウェーブレット基底、

$*$: 複素共役 $\psi \in L^2(R)$: 2乗可積分

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(\omega)|^2 / |\omega| d\omega < \infty$$

ここで、 $\Psi(\omega)$ は $\psi(t)$ のフーリエ変換である。また、逆変換は直交系ウェーブレットの場合、次のようになる。

$$x(t) = \sum_j \sum_k \alpha_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

以上の条件を満たす様々な基底が考案されているが、今回は正規直交系であり、周波数領域でコンパクトサポートを持つY.Meyerの離散ウェーブレットを用いた。そのサポートは、

$$\text{supp} \Psi_{j,k}(\omega) = [2^{j+1} \frac{\pi}{3T}, 2^{j+3} \frac{\pi}{3T}] \quad T: \text{継続時間}$$

である。Y.Meyerのウェーブレットは時間領域でコンパクトサポートではないものの、その局在化の程度が非常に良い。²⁾

3. 適用データと解析結果

外力としての風荷重を固有振動数0.2Hz、減衰率1%の1自由度系のシステムに与え、数値積分により加速度応答を求めた。風速は0~20secでスムージングをかけ、また今回は空力アドミタンスを考慮していない。図1は、200sec 400secで故意に5.0m/sずつ増加させており、全体としての平均風速は20.0m/sである。この応答をウェーブレットにかけると0.2Hzをサポートする $j=7, 8$ で応答の包絡線のような結果が得られる(図3、 $j=8$ のみ掲載)。 j の増加に伴い局在化が良くなり、図4のように認識しにくい不連続点を検出する。この特性を利用して、自然風³⁾を用いて同様に数値解析を行った。図5では、平均風速29.9m/sまわりで定常ランダムである。応答(図6)は、ほとんど固有振動

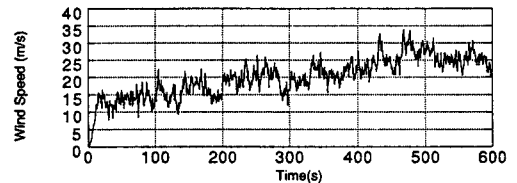


図1 カルマンスペクトルによる人工風速

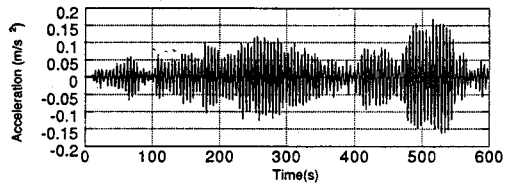


図2 加速度応答

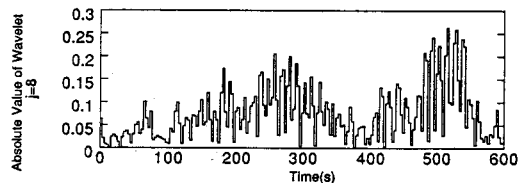


図3 $|\alpha_{j,k}|$ $j=8$

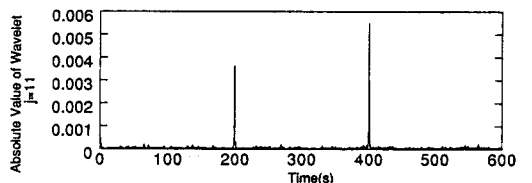


図4 $|\alpha_{j,k}|$ $j=11$

数にのり（図7）、不連続点、つまり高振動数成分を持つ時間位置が継続時間内でほとんど存在しないことが、図8のウェーブレット変換からわかる。これと比較して平均風速29.6m/sである図9の風速の場合、 $j=7, 8$ （図11、 $j=8$ のみ掲載）で、やはり応答曲線（図10）の形をとらえるが、図12では430sec付近でウェーブレット変換が突出した値を示している。これは風速の変動成分が、応答というフィルターを通過したにもかかわらず、高振動数成分として加速度応答にあらわれていることになる。図9において、430secの位置が平均風速の大きな変化がみられる移行点であり、全体的には弱非定常であると考えられる。

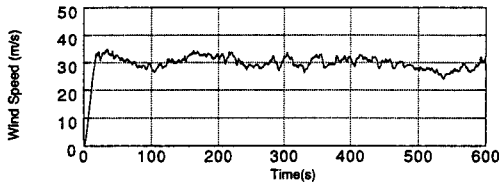


図5 自然風 1

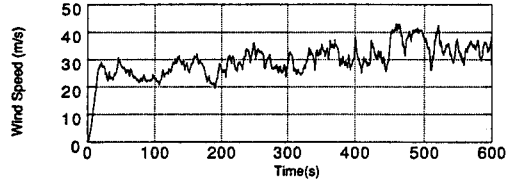


図9 自然風 2

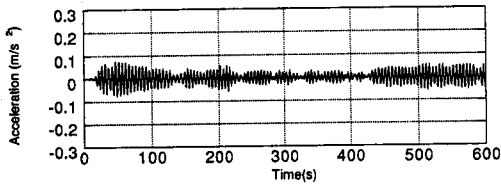


図6 加速度応答 1

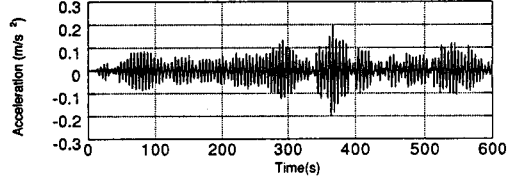


図10 加速度応答 2

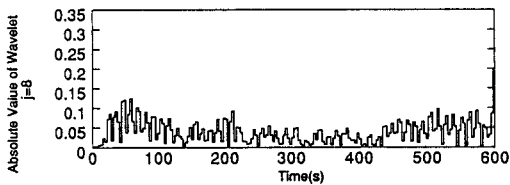


図7 $|\alpha_{j,k}|$ $j=8$

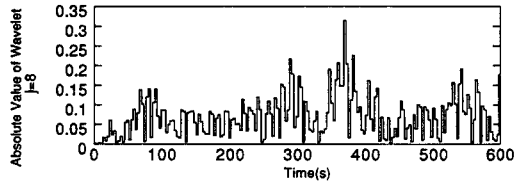


図11 $|\alpha_{j,k}|$ $j=8$

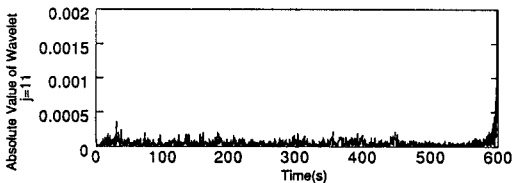


図8 $|\alpha_{j,k}|$ $j=11$

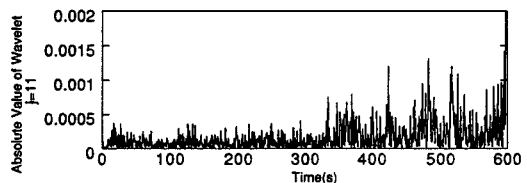


図12 $|\alpha_{j,k}|$ $j=11$

4. 結論

加速度応答をウェーブレット変換を用いて調べることで、振動を起因している変動風の非定常性及び平均風速そのものが変化する時間的位置をみつけることができた。設計風荷重の評価やバッシブダンパー制振装置性能の評価、アクティブ制振装置の作動タイミングなどの情報を与えることができると考える。また、今回のウェーブレット以外にも I.Daubechies や D.E.Newland などのウェーブレットも検討する必要がある。

参考文献

- 1) 山田道夫、樋口宗彦、林泰一、光田寧：風速変動のウェーブレット解析、京都大学防災研究所年報 No.33, B-1, 1990.
- 2) 佐々木文夫、前田達哉：データ解析におけるウェーブレット変換の基本的性状の検討、日本建築学会構造系論文報告集 No.453, Nov., 1993.
- 3) 若原敏裕、田村幸雄、日比一喜：強風時における高層タワーの応答特性、日本風工学会誌 No.55, May., 1993.