

I-B31

ウェーブレット変換を用いた非線形1自由度系の動特性評価

金沢大学大学院 学生員 ○高島大知 金沢大学工学部 正会員 池本敏和
金沢大学工学部 フェロー会員 北浦 勝 金沢大学工学部 正会員 宮島昌克

1.はじめに

兵庫県南部地震のような強大な地震波が入力されると構造物は線形領域を越え塑性領域に突入する。また、それほど大きな地震波を受けなくとも塑性領域に入ってしまうという現象が現実的に起きている。したがって当然のことながら、構造物の設計、メンテナンスに際しては、非線形領域の挙動にも配慮する必要があると言える。そのためには動的定数の時間的変化の情報を効率よく捕らえる手法を開発する必要がある。ところで、ウェーブレット変換はこの機能を備えており、しかも非線形振動を起こす系の解析にも有効であると考えられる。同定問題にウェーブレット変換を用いた研究はこれまでも行われている^{1)~3)}。しかし、観測応答加速度波形の卓越周波数付近に含まれるノイズの影響は考慮されていない。以上の観点から、本研究では地震時に非線形挙動を呈する構造物の動特性評価をノイズ量の影響も考慮して行った。

2.ウェーブレット解析

ウェーブレット変換とは時間と周波数の両領域にまたがった解析を可能にした変換法である。この方法では、解析対象の信号のある部分をいくらかに伸縮、拡大させたマザーウェーブレットとの相似性を数値で表わすという操作を全区間に対して行う。また、直交性を有するウェーブレットを用いると座標を離散化したウェーブレット変換が可能となる。この離散ウェーブレット変換を用いれば、解析対象の信号を他の局在した関数の線形結合で表すことができる。

3.動特性評価法

動特性評価シミュレーションを図1のフローに従い行った。まず、構造物の応答加速度を生成する。すなわち構造物をバイリニア型の復元力特性を有する1自由度の剛性ばねモデルと仮定し、質量 m 、減衰係数 c 、初期剛性 k 、の真値を定める。地表面観測加速度として東大千葉実験所の中央ボーリング孔で観測された地震波形を用い、ウィルソン θ 法による直接積分により運動方程式を解いて、1自由度系の応答加速度(1)を計算する。次に応答加速度波形(1)に0~20Hzの有帯域ホワイトノイズを混入させ、実際の観測応答加速度に相当する波形(2)を生成する。一方、各動的定数に適当な値をパラメータとして設定し、応答加速度(3)を計算する。こうして得られた応答加速度波形(1)と応答加速度波形(3)をそれぞれウェーブレット変換し、両者のウェーブレットスペクトルの誤差二乗和をとる。用いるウェーブレットは Daubechies($n=2$, n はウェーブレットの種類を定義する番号)である。誤差2乗和が最小となるまでこの操作を繰り返し動的定数の最適解を求める。

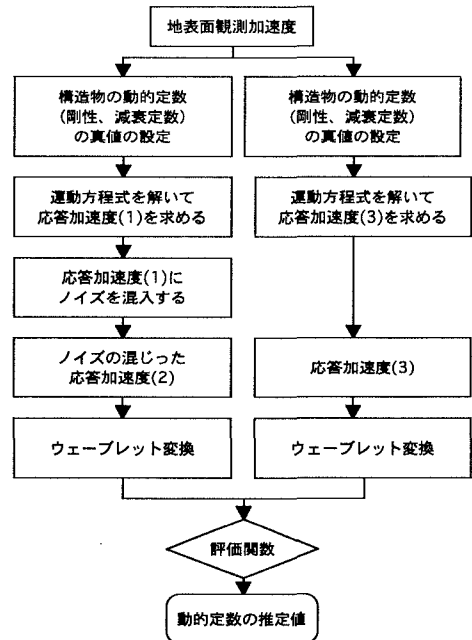


図1 動特性評価のフローチャート

本研究では質量 m には真値を与えて、減衰係数 c 、剛性 k を同定の対象とする。また、構造物が非線形領域へ

キーワード：ウェーブレット変換、同定、フーリエ変換、非線形、ホワイトノイズ

連絡先：〒920-8667 金沢市小立野2-40-20 金沢大学工学部 Tel：072-234-4656 Fax：072-234-4644

入ることを考えると第2剛性 k_2 及び、降伏変位 x_y も同定の対象に含まれる。ここでは簡単のために x_y には真値を与えて、第2剛性 k_2 は rk で与えることにし、 $r=1/20$ と仮定する。

ウェーブレット変換の適用性を検討するに当たりフーリエ変換を用いた動特性評価も同時に行い、同定結果を比較する。フーリエ変換を用いた逆解析では、平滑化したフーリエスペクトルを評価関数として用いることにより同定精度が向上することが知られている⁴⁾。従ってここではスペクトルを平滑化した場合としない場合も比較対象として考えた。これらの条件の下、応答加速度の最大値の0～50%の振幅を有するホワイトノイズを応答加速度波形(1)に混入し、線形及び非線形の場合に対して減衰係数 c 、剛性 k の同定を行った。

4.結果

それぞれの条件の下に算出された推定値とノイズの量の関係を図2～5に示す。全体的にみるとノイズの量が増すにつれ、推定値は真値 ($k=120, c=2.0$) から離れた値をとっており、ノイズの量が同定精度に影響を及ぼしていることがわかる。また図2は、系の振動が線形モデルの結果であり、図3は非線形モデルに入って振動した結果である。図2からウェーブレット変換を用いた結果が比較的良好な精度で求まっていることがわかる。一方図3では、ウェーブレット変換を用いた結果はノイズ量が高い領域においても真値に近い値を示しているが、フーリエ変換と平滑化を行ったフーリエ変換を用いた

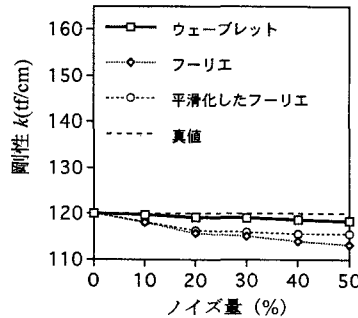


図2 剛性 k の推定値 (線形)

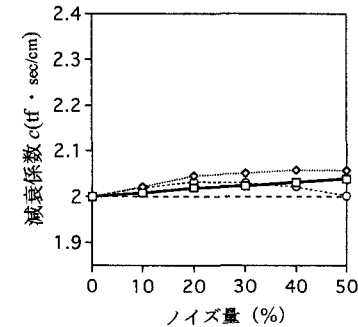


図4 減衰係数 c の推定値 (線形)

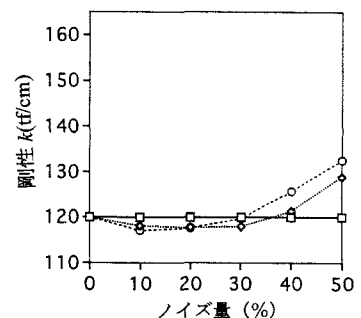


図3 剛性 k の推定値 (非線形)

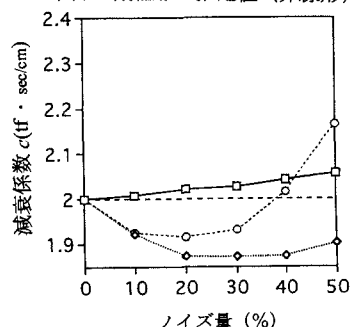


図5 減衰係数 c の推定値 (非線形)

場合では、ノイズ量が増えるにつれ、推定値は真値から離れてしまう傾向にある。図4、5は減衰係数 c に対する同定結果である。本結果に対しても、剛性 k の結果と同様な相関が認められる。線形モデルの場合、同定結果にほとんど差はないものの、非線形モデルの場合にはフーリエ変換を用いた場合の推定値は不安定である。一方、ウェーブレット変換を用いた場合、若干精度の低下は起こるものの、極端な変化はなく、安定した同定結果が得られた。

5.まとめ

本研究の結果から、ウェーブレット変換を用いることにより、より正確な非線形系の動特性評価が可能になるということがわかった。しかし、本研究はあくまでも限られた条件の下に得られた1つの結果に過ぎない。例えば、復元力特性がバイリニアのような折れ線型ではなく、曲線型であっても同様の結論が得られるとは言えない。今後、曲線型の復元力特性を有するモデルに対しても同様な動特性評価を行い、考察を行う予定である。

〈参考文献〉

- 1) 来田義弘：ウェーブレットによる非線形構造システムの同定，日本建築学会構造系論文集，第504号，1998.2.
- 2) 宮脇幸治郎他：ウェーブレット変換による履歴復元力系の動特性評価に関する研究，土木学会論文集，No.577/I-41，27-40，1997.10.
- 3) 曾根彰他：入出力のウェーブレット変換を用いた多自由度系のパラメトリックなシステム同定，日本建築学会構造系論文集，第512号，61-66，1998.10.
- 4) 本田秀夫他：実地震加速度記録に基づく地盤の動的物性定数の逆解析，土木学会論文集，No.517/III-31, pp.125-133，1995.6.