

ノイズ混入応答波形のウェーブレット変換による 多自由度系動特性評価

金沢大学自然科学研究科	学生会員	高畠大知
金沢大学工学部	正会員	池本敏和
金沢大学工学部	正会員	宮島昌克
金沢大学工学部	フェロー	北浦 勝

1. まえがき

構造物の応答が非線形領域に入ると、動的定数が変化する。この変化は応答の加速時間度記録に動特性の情報を与えていると考えられる。従来の線形構造物に対する逆解析手法では、その評価法としてフーリエ変換が一般に用いられているが、この変換法では時間的な周波数の変化を捉えることが難しいため、逆解析の精度に限界が生じる。この問題は、時間領域の情報を効率よく捉えることができるウェーブレット変換を用いることにより解決できると考えられる。本研究では、非線形系の逆問題におけるウェーブレット変換の有効性を、多自由度系に適用して検証する。

2. 動特性評価法

モデル波形を用いた動特性評価の解析手順を図-1 に示す。まずターゲットとなる系を支配する方程式を解いて応答波形を求める必要がある。本研究では、系を 5 質点直列型非線形モデルとし、応答解析には直接積分法の 1 つであるウィルソン θ 法を用いる。その際の必要条件である減衰マトリックスの非連成仮定には、剛性比例型を用いた。復元力特性を表すモデルには折れ線型や曲線型が考えられが、本研究においては、バイリニヤ型の復元力特性を仮定した。モデル最上層における波形は、入力に対する応答に、0~20Hz の有帯域ホワイトノイズを加えたものである。これは実際の波形にノイズが載っている場合を想定している。一方で、動的定数を適当に設定し計算による応答波形を求める。そして各々の波形をウェーブレット変換し、スペクトルの誤差 2 乗和を評価関数として収束計算を行う。同様に、ウェーブレット変換の代わりに、フーリエ変換及び平滑化したフーリエ変換を用いた場合についても結果を求め、同定結果の違いについて考察を行う。平滑化のデータウィンドウの種類には様々なものがあるが、ここでは、Parzen ウィンドウを用いた。ここで、系の本来の動特性が失われないようにバンド幅は 0.4Hz とした。

3. 解析条件

(1) 入力波形

入力波形としては図-2 の波形を用いる。これは東京大学生産技術研究所千葉実験所のボーリング孔の地表面付近（深さ 3.5m）で観測された地震の EW 方向成分で、最大加速度は 68 (cm/s^2) である。本研究では、系を十分非線形領域に入れるために、振幅を 5 倍に拡大した波形を入力波として用いた。

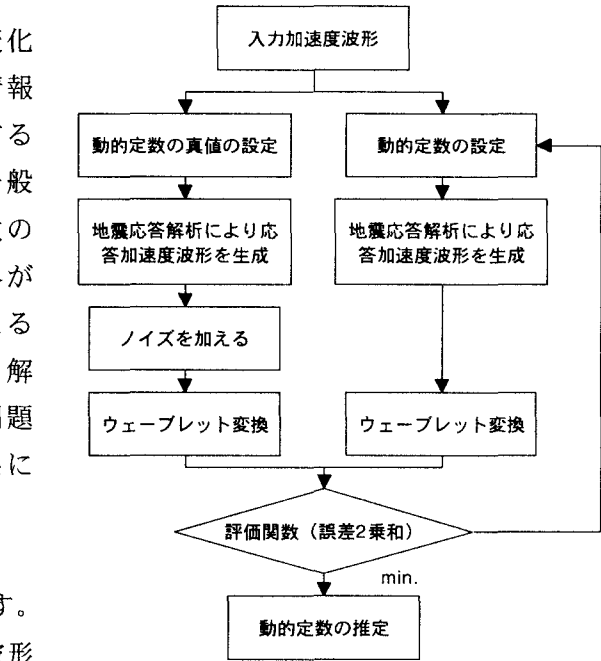


図-1 解析手順

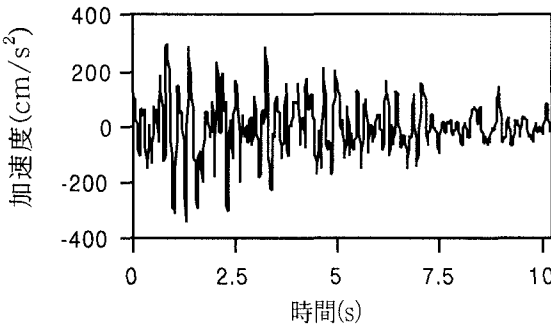


図-2 入力波形

(2) 評価対象の動的定数

評価の対象となる動的定数は質量、減衰定数、初期剛性、第 2 剛性、降伏変位の 5 変数が考えられ、5 質点モデルでは 21 変数となる。しかし、これらすべての変数を同定することは難しいので、今回は簡略化し、各層の動的定数は全て一定とし、初期剛性と降伏変位の 2 変数を解析対象とした。

(3) ノイズの量

本研究では、ノイズの量が同定精度にどのような影響を及ぼすかということを考える。そこで、最大加速度の振幅に対して標準偏差が 0%~50%の大きさを有する有帯域ホワイトノイズを加え、10%毎に計 6 ケースにおいて動特性評価を比較した。

(4) 真値の仮定

各層の質量は 0.05(t)、骨格曲線は図-3 に示すバイリニア型を用い、初期剛性は $k_1=1.2 \times 10^3(\text{kN/cm}) (=120(\text{tf/cm}))$ とし、第 2 剛性は $k_2=k_1/20$ 、降伏変位は $y=0.1(\text{cm})$ 、系の初期減衰定数は $h=0.03$ と仮定した。

4. 解析結果

解析結果を図-4、5 に示す。図-4 は、初期剛性 k_1 について、図-5 は、降伏変位 y について同定を行った結果である。両図共に、ノイズ量の増加に伴って、推定値が真値からはずれ、同定精度が低下していくことがわかる。特に、平滑化したフーリエを評価関数とした結果では、ノイズ量 50% では、同定精度が著しく離れている。これは、ノイズ量が大きすぎるため系固有の動特性に関する情報が相対的に小さくなったためであると考えられる。一方、図-4 のウェーブレットを用いた場合のノイズ量 40、50%における結果は、ノイズ量が少ない場合よりも高精度で求まっている。これらは、推定値周辺の解局面が平坦であったため、たまたま良い精度で解が求まったものと考えられる。

また、両図からフーリエ変換に比べウェーブレット変換を用いた場合が全体的に高精度で求まっていることがわかる。これは、ウェーブレット解析では時間領域に関してスペクトルが平均化されないため、系の動特性の時間的な情報を捉えた結果であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、ウェーブレット解析が多自由度非線形系の逆問題に対して有効であることを示した。今後は、多自由度非線形系の未知変数を徐々に増していき、解析を行う予定である。

[参考文献]

- 1) 曾根 彰, 山本鎮雄, 増田 新: ウェーブレット変換による構造物のシステム同定, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2455~2460, 1998.
- 2) 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, pp.43~48, 1998.

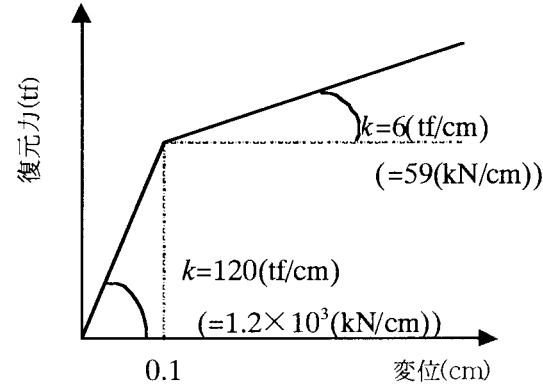


図-3 骨格曲線

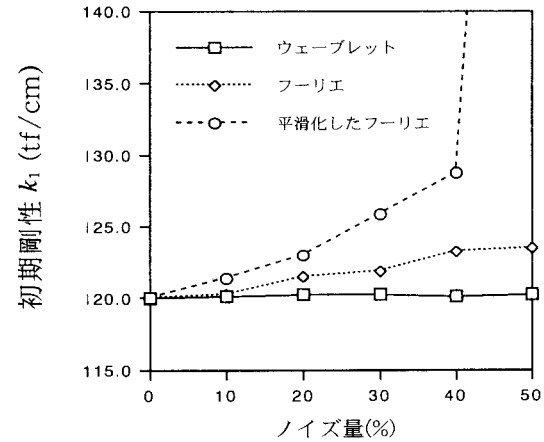


図-4 初期剛性 k_1 の推定値

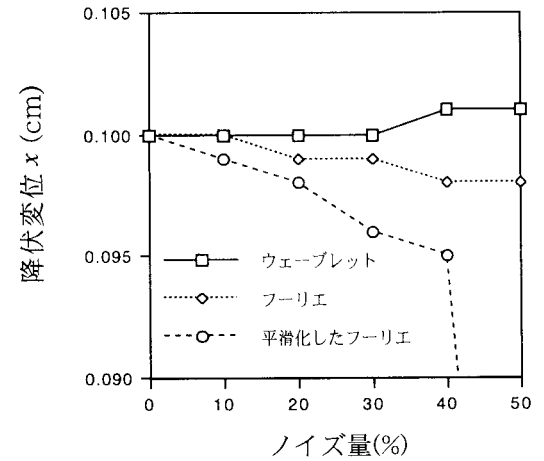


図-5 初期剛性 x の推定値