

実測地震波形の時間-周波数特性を利用した模擬地震動の作成

広島工業大学大学院

学生会員

○土田 隼人

広島工業大学工学部

フェロー会員

中山 隆弘

1. まえがき

構造物の設計用地震動を作成する方法には様々なものがあるが、位相をランダムに設定したり、特定の1つの波の位相特性のみを利用する方法¹⁾では、多くの観測地震波形の持つ位相特性が反映されたものにはならない。

そこで、本研究では、時間-周波数解析において有効な手法として用いられているウェーブレットを利用することにより、複数の実測地震波形に含まれている時間-周波数特性および振幅特性をそのまま取り入れて模擬地震動を作成²⁾し、これを用いて他の地震動のシミュレーション法との比較を行うことを研究目的としている。

2. ウェーブレット変換の概要

基本となるアナライジング・ウェーブレットと呼ばれる関数を図-1に示すようにスケール a :(伸縮)やトランスレート b :(平行移動)することにより、任意の波形の局在的な部分を表すことができる。

ウェーブレット変換の定義式は次式で与えられる。

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \phi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (1)$$

ここで、パラメータ a , b は整数 j , k を用いて $a=2^j$, $b=k2^j$ で表される。

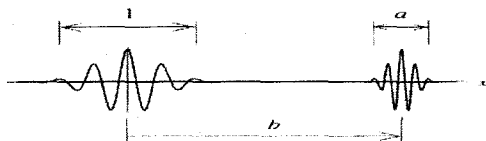


図-1 アナライジング・ウェーブレット

3. 模擬地震動の作成方法²⁾

本研究では、目標とする応答スペクトルと観測地震波形の時刻歴をもとに、自作プログラムにより図-2に示す以下の処理を行って模擬地震動を作成した。

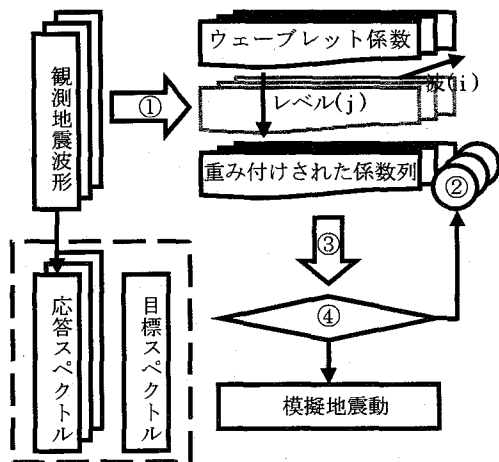


図-2 模擬地震動作成の処理ブロック図

次に、図中の各ステップ①～④について説明する。

① 複数の地震のデータを選択し、ウェーブレット変換をすることにより、各レベル(j)毎のウェーブレット係数列 $w_{j,k}^i$ を得る。

② レベル(j)毎の各観測地震波形の係数列に次式で定義される重み付けを行う。

$$W_{j,k}^i = \beta_j^i \times w_{j,k}^i \quad (2)$$

ここで、重み β_j^i は次式による目標応答スペクトル S_0 への規格化定数 C_i ($i=1 \sim L$),

$$C_i = (\sqrt{S_0} / \sqrt{S_i})^{1/2} \quad (3)$$

$\overline{S_0}$, $\overline{S_i}$:それぞれのスペクトル速度 S_0 及び S_i の解析周期範囲(0.02~2秒)を対数的に50等分した各点(計51点)の平均値。

および純粋な重み α_j^i との積で定義し、純粋な重みの初期値はランダムに設定する。

$$\beta_j^i = C_i \times \alpha_j^i \quad (4)$$

③ 重み付けされた係数列 $W_{j,k}^i$ をウェーブレット逆変換して得られる各時刻歴データの和を模擬地震動として、速度応答スペクトルを計算する。

④ 目標の応答スペクトルとの誤差が小さくなるように地震動の各レベルの係数列の重み β_j^i を補正し、誤差が目標値以内になるまで②～④を繰り返す。

4. 作成結果

今回は、土木構造物等の耐震設計に用いられる大崎スペクトルにおいて、マグニチュード M および震央距離 R が $M=7.25$, $R=12.0\text{km}$ の速度応答スペクトルを目標スペクトルに設定し、表-1に示す7地震×12地点=計84波のKiK-netデータの中から無作為に選択された10波の観測地震波形を使用して模擬地震動の作成を行った。

表-1 観測地震波形データベース

地震	観測日時	M^*	波形数
芸予地震	2001/3	6.4	12波
瀬戸内を震源とする その他6地震	2000/1 ~2005/12	4.4 ~5.0	72波
計84波中10波を選択			

※ 気象庁マグニチュード

今回、このような地震波の選定を行った理由は、入倉らによって提案されている経験的グリーン関数による波形の組み合わせを行う方法を用いて作成された、広島市や広島県の地震被害想定においても採用されている安芸灘を震源とする最大規模の推定地震波との比較を行うためである。

次に、作成した模擬地震動の時刻歴を図-3に示す。

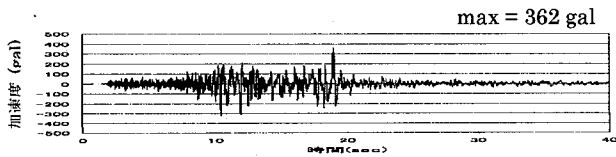


図-3 模擬地震動の時刻歴(解放基盤面)

また、作成した模擬地震動の速度応答スペクトルを目標スペクトルと比較したものを図-4に示す。

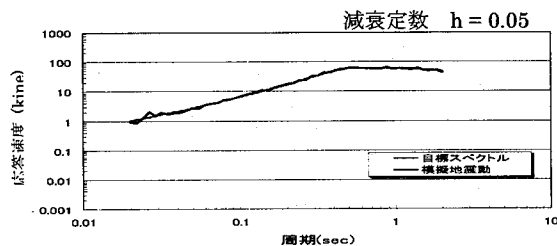


図-4 速度応答スペクトルの比較

同図より、大崎スペクトルを与えた0.02～2秒の周期範囲において、作成された模擬地震動の速度応答スペクトルは、目標とする速度応答スペクトルとよく一致し、目標スペクトル特性を満たす模擬地震動を作成することができたといえる。

5. 安芸灘断層推定最大地震波との比較

図-5に安芸灘を震源とする最大規模の推定地震波(E-W成分)の時刻歴(耐震設計基盤面)を示す。

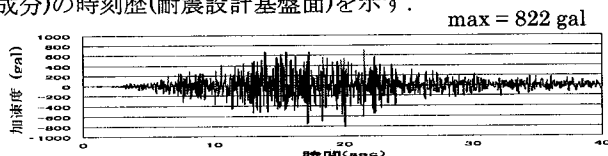


図-5 安芸灘断層推定最大地震波³⁾(E-W成分)

ただし、同地震波では、断層モデルの条件に1905年の芸予地震の観測データを使用している。

また、経験的グリーン関数法で使用する小地震には、芸予地震の余震の中から最も大きい余震のデータを選定している。

次に、FDELの地盤応答解析によって、呉観測点の地盤モデルから安芸灘断層推定最大地震波の観測地点である耐震設計上の基盤面における模擬地震動の時刻歴を計算したものを図-6に示す。

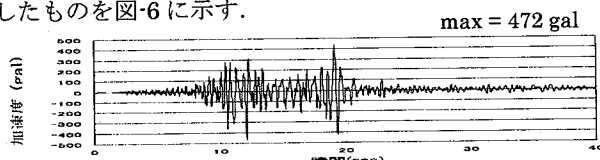


図-6 耐震設計上の基盤面における加速度時刻歴

同図および図-5から、両者の最大加速度の比は0.57であり、模擬地震動のほうはかなり小さい値を示した。

次に、両地震波の加速度応答スペクトル($h=0.05$)を、

道示におけるレベル2地震動のI種地盤に対する加速度応答スペクトルと併せて図-7に示す。

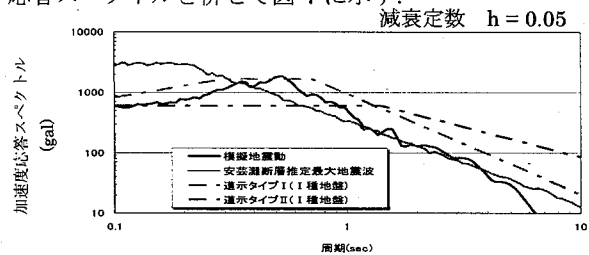
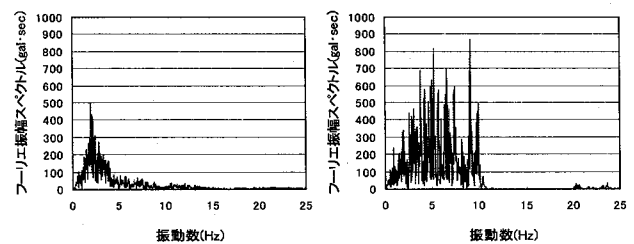


図-7 加速度応答スペクトルの比較

作成した模擬地震動と安芸灘断層推定最大地震波を比較すると、模擬地震動が周期0.4秒より小さい短周期領域ではかなり小さく、周期が0.4～1.0秒付近では少し大きめで、周期1.0秒以上の長周期領域では比較的一致する。

さらに、各地震動の振動特性を明確にするために、両者のフーリエ振幅スペクトルをとったものを図-8に示す。



(a) 模擬地震動

(b) 安芸灘断層地震波

図-8 フーリエ振幅スペクトルの比較

両図を見れば明らかなように、両者の振動特性にはかなりの違いがみられる。

6. まとめ

本研究により得られた結果を以下にまとめる。

- 1) ウェーブレットを利用することにより、複数の地震波形の時間・周波数特性を考慮した模擬地震動を作成することができた。
- 2) 作成した模擬地震動と安芸灘断層地震波との比較を行った結果、両者の地震動特性にはかなりの違いがみられた。これは、①目標スペクトル、②断層モデル、③地盤モデルなどが原因として考えられる。

謝辞

図-5については、(株)リョーセンエンジニアズ技術計算センタ担当次長山本利弘様から提供していただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 藤原豪紀，中山隆弘：位相の非定常性を考慮した地震動シミュレーション法の開発，土木学会論文集，2000
- 2) 玉置，田辺，中村，佐々木，水町，山田：観測地震波形を利用した模擬地震動の作成，日本地震工学会論文集，2003.
- 3) 岡谷，音部，大倉，中山：橋梁と基礎-音戸大橋の耐震補強設計-，(株)建設図書，pp.27～32，2003.12.