

# 波形合成に用いる中小地震記録のフーリエ位相特性が合成波に与える影響に関する基礎的検討

若井 淳<sup>1</sup>・野津 厚<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (独) 港湾空港技術研究所 地震動研究チーム  
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:wakai-a@pari.go.jp

<sup>2</sup> (独) 港湾空港技術研究所 地震動研究チームリーダー  
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:nozu@pari.go.jp

経験的サイト増幅・位相特性に基づく強震動評価手法<sup>1)2)</sup>では、グリーン関数のフーリエ位相特性として、対象地震の震源域近傍で発生した中小地震による地震動のフーリエ位相特性を用いる。この手法では、中小地震の選択が強震動のフーリエ振幅特性に影響を及ぼすことはないが、そのフーリエ位相特性に対して影響を与える。また、その結果として構造物の応答にも影響する可能性がある。したがって、採用する中小地震によって強震動がどのように変わるかを体系的に調べることは重要である。本論文では、採用する中小地震に起因する強震動のばらつきを評価する。

**Key Words :** *Fourier phase, strong motion simulation, variability*

## 1. はじめに

地震動を精度よく予測する上で、堆積層が地震動に与える影響を考慮することは重要である。統計的グリーン関数法のバリエーションの一つである、経験的サイト増幅・位相特性に基づく強震動評価手法<sup>1)2)</sup>では、堆積層がフーリエ振幅特性及びフーリエ位相特性の双方に与える影響を考慮することが可能である。

この手法では、主に大地震の震源域の近くで発生した中小地震による地震動のフーリエ位相特性が、グリーン関数のフーリエ位相特性として採用される。実際、大地震の主要なアスペリティの近くで発生した中小地震を選択すると、観測波形が良好に再現されるということが、既往の研究<sup>例えば3)</sup>で指摘されている。同手法では、中小地震の選択が大地震による地震動のフーリエ振幅特性に影響を与えることはないが、そのフーリエ位相特性に対しては影響を与える<sup>例えば4)</sup>。その結果、構造物の応答にも影響する可能性がある。

したがって、選択する中小地震によって大地震による地震動がどのように変化するかを体系的に調べることは重要である。特に、大地震の震源域近傍で発生した中小地震が少ない場合もあり、大地震の震源域からやや離れた中小地震を選択せざるをえない場合があるが、その場合の影響については十分に調

べられていないのが現状である。

本論文では、例として2003年十勝沖地震(M<sub>j</sub>8.0)を取り上げ、経験的サイト増幅・位相特性に基づいた強震動評価手法を用いて、中小地震の選択により合成波形が観測波形と比較してどのようにばらつくのかを体系的に検討する。

## 2. 検討方法

2003年十勝沖地震(以下、本震という)に対する合成波形が、フーリエ位相特性の評価に用いる中小地震に応じてどのようにばらつくかを検討するため、帯広周辺の強震観測地点であるTKCH06、TKCH07、TKCH08及び釧路周辺の強震観測点であるTKCH02、KSRH02、KSRH09の6地点を対象とし、それらの観測点で得られている中小地震記録のうち、M<sub>j</sub>4.5以上かつ7.0以下、震源深さ90km以下、震央距離200km未満の条件を満たす53の中小地震の記録を対象とする。図-1に、本論文で検討対象とする強震観測地点(▲印)、中小地震の震央位置(☆印)、本震の破壊開始点(×印、気象庁発表)、本震の不均質震源モデル<sup>5)</sup>、この震源モデルに基づいた特性化震源モデル(赤の矩形)<sup>6)</sup>を示す。

本震に関する既往の研究では、不均質震源モデル<sup>5)</sup>に基づいた特性化震源モデル<sup>6)</sup>が提案されている。ここでは、本モデルを用いて強震動シミュレーショ

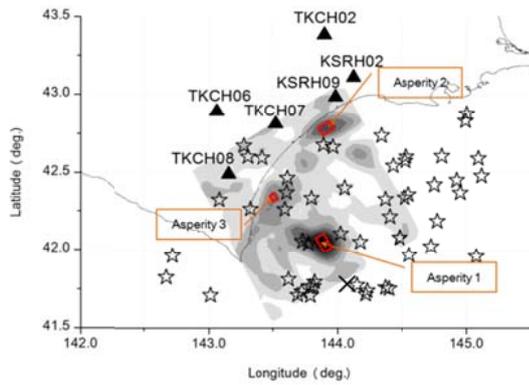


図-1 強震観測点 (▲印), 中小地震の震央位置 (☆印), 2003年十勝沖地震の破壊開始点 (×印, 気象庁発表), 不均質震源モデル<sup>5)</sup>, 及び特性化震源モデル<sup>6)</sup>

表-1 特性化震源モデルのパラメータ

parameter	Asperity1	Asperity2	Asperity3
seismic moment (Nm)	$4.2 \times 10^{19}$	$2.1 \times 10^{19}$	$2.4 \times 10^{18}$
length (km)	6.0	8.0	4.0
width (km)	12.0	6.0	4.0
rise time (s)	0.6	0.6	0.4
divided number	5×5×5	3×3×3	1×1×1

ンを行う。本モデルのパラメータを表-1に示す。

合成波形のばらつきを評価するために、観測波形との類似度を用いる。ここでは、双方の速度波形のS波初動時刻を合わせ、双方のcomplex envelope<sup>7)</sup>の差の自乗の時間積分値を観測波形の自乗の時間積分値で除した値を類似度とする。そして、地震発生位置と類似度の関係を地図上に示す。

### 3. 合成波形のばらつき

結果の例として、図-2に、TKCH07における観測波形(黒)と合成波形(赤)を比較したものを示す。上が類似度が高いケース、下が類似度が低いケースを表している。これを見ると、選択する中小地震によって合成波形がある程度ばらつくことがわかる。

図-3は、TKCH07に関して、中小地震の地震発生位置と観測波形及び合成波形の類似度の関係を示したものである。図では、暖色系ほど類似度が高いことを意味している。これを見ると、選択する中小地震によって、合成波形にはばらつきが生じることがわかる。特に、TKCH07に対して影響が大きいと考えられるアスペリティ1の周辺で発生した中小地震について、比較的、類似度が高くなる傾向がある。

同様の傾向は、対象としたどの地点においても認められた。

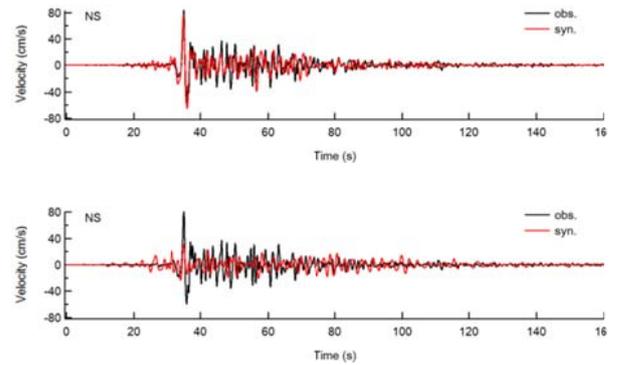


図-2 強震観測点 (TKCH07) における観測波 (黒) と合成波 (赤) の比較 (NS成分, 上: 類似度が高いケース, 下: 類似度が低いケース)

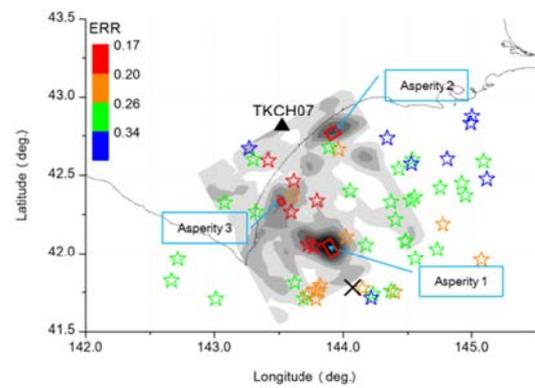


図-3 強震観測点 (TKCH07) における地震発生位置と観測波及び合成波の類似度の関係 (暖色系ほど類似度が高い)

## 4. まとめ

本論文では、経験的サイト増幅・位相特性に基づいた強震動評価手法を用いて、複数の中小地震のフーリエ位相特性により、合成波形がどのようにばらつくかを体系的に検討した。その結果、対象としたどの地点でも、合成波形はある程度のばらつきを持つことが示された。また、各観測点に影響が大きいと思われるアスペリティ周辺で発生した中小地震を選ぶと、比較的、類似度が高くなることが示された。

**謝辞:** 本論文では、(独) 防災科学技術研究所のKiK-netの強震記録を使用させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 古和田明, 田居優, 岩崎好規, 入倉孝次郎: 経験的サイト増幅・位相特性を用いた水平動および上下動の強震動評価, 日本建築学会構造系論文集, 第514号, pp.97-104, 1998.

- 2) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法の改良—因果性を満足する地震波の生成—, 土木学会論文集A, Vol.65, pp.808-813, 2009.
- 3) 野津厚, 菅野高広: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法—内陸活断層地震および海溝型地震への適用性の検討—, 港湾空港技術研究所資料, No.1120, 2006.
- 4) 若井淳, 野津厚: 地震動のフーリエ位相特性と地震発生位置に関する基礎的検討, 土木学会論文集A1, Vol.68, No.4, pp.209-219, 2012.
- 5) Nozu, A. and Irikura, K.: Strong-motion generation areas of a great subduction-zone earthquake-Waveform inversion with empirical Green's functions for the 2003 Tokachi-oki earthquake, BSSA, Vol.98, No.1, pp.180-197, 2008.
- 6) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: スペクトルインバージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例, 日本地震工学会論文集, Vol.7, pp.215-234, 2007.
- 7) 理論地震動研究会: 地震動 その合成と波形処理, 第4章, 鹿島出版会, 1997.

## VARIABILITY OF PREDICTED STRONG MOTIONS CAUSED BY DIFFERENT FOURIER PHASE CHARACTERISTICS OF WEAK MOTIONS RECORDS

Atsushi WAKAI and Atsushi NOZU

In the simulation method of strong ground motions based on empirical site amplification and phase characteristics<sup>1),2)</sup>, Fourier phase at a target site for a small event that occurred close to the target earthquake is used. In this method, the selection of the small event does not affect the Fourier amplitude of the predicted ground motion, but the selection affects its Fourier phase and may consequently affect the response of structures. Thus, from a practical point of view, it is very important to investigate systematically how the predicted ground motion can vary due to the selection of the small event. In this paper, the variability of the predicted ground motion due to the selection of the small event is investigated.