

スペクトル比法により推定した周波数依存する サイト増幅率を用いたリアルタイムサイト補正

青木 重樹・干場 充之 (気象研究所地震火山研究部)

1. はじめに

Hoshiba¹⁾ は震源や M の推定を介さずに、波動場のモニタリングを用いて地震動を予測する手法を提案している。その手法で用いるサイト補正はリアルタイム処理が可能であることが求められる。また、サイト補正は震度増分などのスカラー量による補正よりも、周波数依存する増幅率を用いた方が高精度であると期待される²⁾。そのため Hoshiba³⁾ は漸化式デジタルフィルタを利用したリアルタイムサイト補正手法を開発した。

本研究では、スペクトル比法により導出した気象庁震度観測点のサイト増幅率を用いて、この手法によるリアルタイムサイト補正の実験を行ったので報告する。

2. サイト補正手法

ある 2 観測点を考え、その観測点間隔 d に比べて震央距離 l が長い地震の S 波部分 (理論 S の 2 秒前から 20 秒間) のスペクトルは、震源やパスの影響が同一とみなせるため、それらの比は両観測点のサイト増幅率の比とみなすことができる。本研究で用いたスペクトル比法は、 $d \leq 30\text{km}$ および $100\text{km} \leq l \leq 350\text{km}$ という条件を満たす複数の地震に対しスペクトル比の平均を取り、2 観測点の相対的増幅率を求める手法である。

Hoshiba³⁾ のサイト補正フィルタは、複数の 1 次と 2 次のアナログフィルタの結合で表現され、それらのフィルタのパラメタは、震度の帯域に注目して、 $0.1 \sim 20\text{Hz}$ までの振幅特性が上記のスペクトル比法により推定したサイト増幅率と一致するように非線

形最小自乗法で推定される。所要の漸化式デジタルフィルタは、このアナログフィルタに双一次変換とプリワーピングを適用することにより設計される。

図 1 は、千代田区から 30km 以内の各観測点に対する千代田区観測点のスペクトル比法による相対的増幅率 (赤線) と、これらに基づき設計したデジタルフィルタの振幅特性 (青線) を示している。図 2b は、このフィルタを、2004 年中越地震の加速度波形に逐次適用し得られた模擬波形から、実時間震度時刻歴を計算⁴⁾したものである。この手続きは各観測点のサイト特性を千代田区と同一の特性に置換することに相当し、フィルタを適用する前の実時間震度時刻歴 (図 2a) と比べ、補正後の時刻歴は実際の千代田区の時刻歴 (赤線) とよく一致していることがわかる。このことは、リアルタイム処理に適用可能な本サイト補正手法が有効に働いていることを示している。また、補正前の杉並区 (黄線) と千代田区

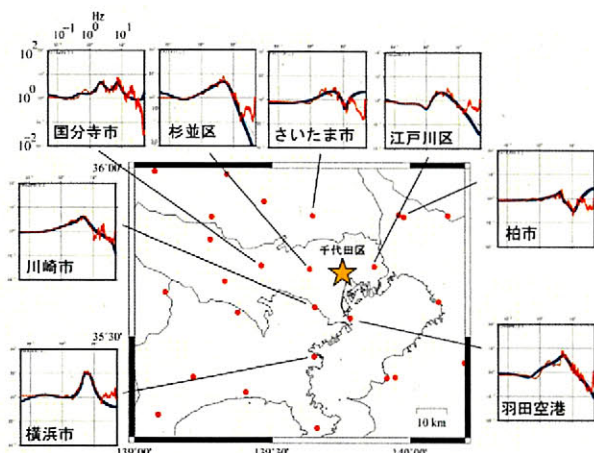


図 1. 千代田区周辺の震度観測点分布。各グラフは、当該観測点に対する千代田区観測点の相対的サイト増幅率 (赤線) と補正フィルタの振幅特性 (青線) を示す。

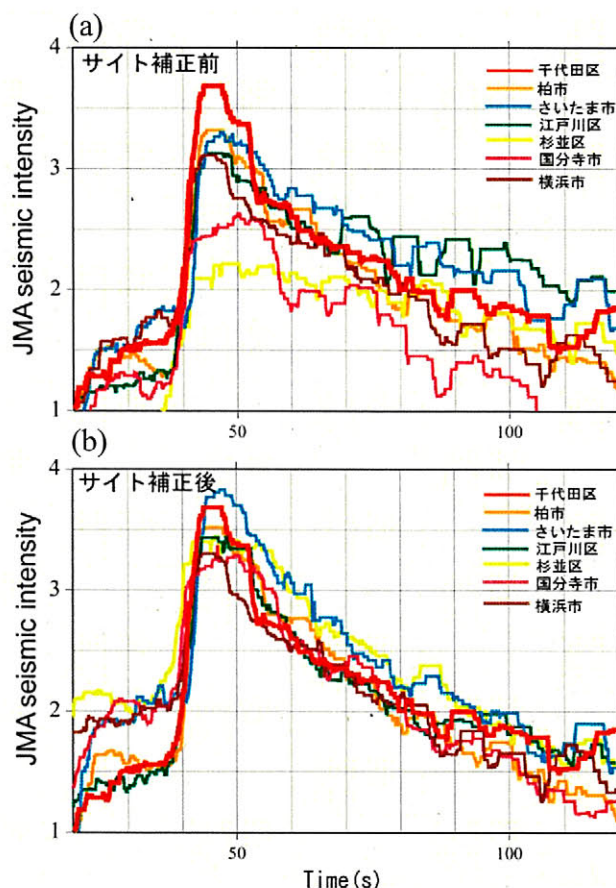


図 2. 千代田区から 30km 以内の観測点の 2004 年中越地震の際の (a) 実際の実時間震度時刻歴と (b) 補正フィルタを適用後の実時間震度時刻歴。赤線は千代田区の実際の時刻歴を示す。各時刻歴のピークが互いに一致するよう、時刻を前後している。

の時刻歴に注目すると、その差が一定でないことがわかる。このような場合、スカラー量による補正では適切には補正できないが、本手法のように周波数依存する増幅率を用いた補正(図2b)では、経過時間によらず良好に補正されていることがわかる。

3. サイト補正の効果

本章では、この手法によるサイト補正の妥当性を定量的に確認するため、同一地震の2点の観測震度の違いはサイト特性の違いのみによって説明できるとみなせる $d \leq 30\text{km}$ および $l \geq 100\text{km}$ を満たす1996-2010年の気象庁震度観測点の加速度波形データを用い、一方を予測元、他方を予測先観測点として震度予測実験を行った。予測手法は、前述の補正フィルタを予測元の観測波形に適用し予測先の模擬波形を得た後に予測震度を得る手法A(周波数依存補正)と、予測元の観測震度値に2点の平均震度差を加えて予測震度を得る手法B(スカラー補正)を用い、結果を比較した。

図3は、一例として郡山市朝日観測点に対する田村市船引町観測点($d:19\text{km}$)の相対的サイト増幅率(水平動合成のスペクトル比)および震度予測残差(「予測先観測震度」-「予測震度」)を示している。この観測点ペアの結果は、手法Aの方が予測残差分布のRMSが小さくなっており、手法Bよりも精度よくサイト補正が行われていることを示している。

表1は、観測点間隔 d (最大30km)が D_{lim} 以内の

観測点ペアのうち、予測対象地震が8個以上記録されているものについて、手法Aと手法Bの予測残差のRMSを比較したものである。全306ペアを対象としたRMSの平均では、手法Aが手法Bに比べ5%改善していたが、 d が20km以内のものだけを対象にすると、改善率は10%に上昇した。これは d が短い方が、2点間の波形において、震源やパスによる影響の違いがより小さくなるためだと考えられる。

次に、観測点ペアのうち手法Bでの補正の精度が劣るもの(手法BのRMSが α 以上)だけを抽出し比較した。表1から α が大きくなるにつれ改善率が上昇し、0.35以上では手法Bに対し20%以上改善することがわかった。これは、スカラー補正では適切に補正できないペアほど、周波数依存する増幅率の使用による改善の効果が大きいことを示しており、本補正手法(手法A)の有効性を示すものである。

謝辞 本報告では、1996-2010年までの「強震観測報告」に掲載されている気象庁の震度観測点の記録を利用しました。

参考文献

- 1) Hoshiya, M.: Real-time prediction of ground motion by Kirchhoff-Fresnel boundary integral equation method: Extended front detection method for Earthquake Early Warning, *J. Geophys. Res.*, **118**, 1038-1050, doi:10.1002/jgrb.50119, 2013.
- 2) 岩切一宏・干場充之・深井戸の強震データによる震度予測:震度差による方法とスペクトル比による方法, *日本地震学会秋季大会*, P2-41, 2011.
- 3) Hoshiya, M.: Real-time correction of frequency-dependent site amplification factors for application to Earthquake Early Warning, *Bull. Seism. Soc. Am.*, in press.
- 4) 功刀卓・他:震度のリアルタイム演算法, *地震*, **60**, 243-252, 2008.

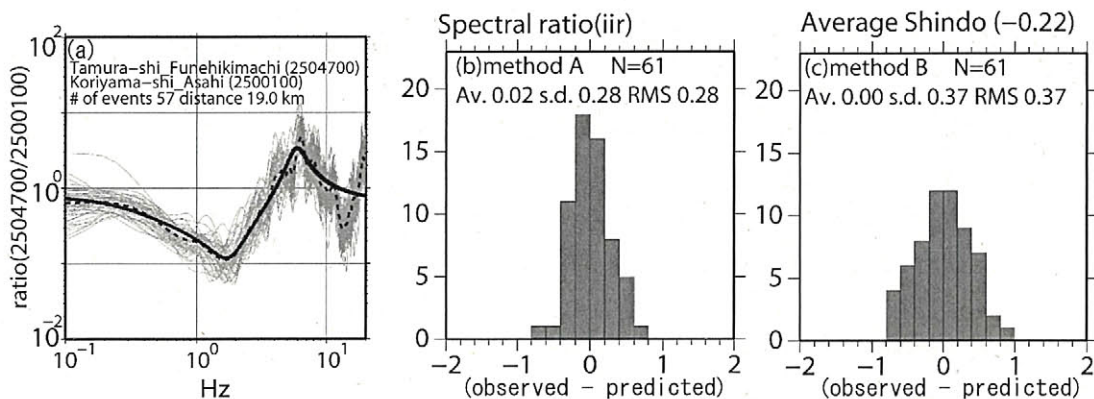


図3. 郡山市朝日に対する田村市船引町の(a)相対的サイト増幅率および(b)手法Aおよび(c)手法Bによる震度予測残差(「予測先観測震度」-「予測震度」)分布。(a)の太線は補正フィルタの振幅特性、点線は57地震のスペクトル比(細線)の幾何平均。

表1. 震度予測実験結果

D_{lim} (km)	α	N	RMS_A	RMS_B	$I.R.$ (%)
30	-	306	0.308	0.326	5.5
20	-	102	0.269	0.299	10.1
20	0.15	96	0.275	0.310	11.1
20	0.25	68	0.302	0.351	13.9
20	0.35	29	0.324	0.419	22.6

RMS_A, RMS_B : 手法AおよびBでの該当観測点ペアに関するRMSの平均

N : 該当観測点ペア数, $I.R.$: RMSの改善率 $(RMS_B - RMS_A)/RMS_B$