

深層地盤情報を用いた中国地方・四国地方のサイト増幅特性の簡易推定法

神戸大学 学生会員 加納嵩士 神戸大学 正会員 長尾 毅
(株)ニュージェック 正会員 山田雅行

1. 研究の背景・目的

地震動に影響を及ぼす特性のうち深層地盤による増幅特性(サイト増幅特性)は強震記録の解析により求められており、単に深層地盤の一次元構造としての評価では過小評価となることが多い。強震観測の行われていない地点のサイト増幅特性の評価法として、長尾ら¹⁾は強震観測点でのサイト増幅特性と H/V スペクトルにより重複反射理論による一次元周波数伝達関数を補正する方法を提案しているが、微動データが必要であること、一次元周波数伝達関数そのものではサイト増幅特性の包絡形状を正確に評価できないなどの問題がある。本研究では一次元周波数伝達関数に既往の研究の問題点を考慮した補正を施すことで強震観測点以外でのサイト増幅特性を簡易的に推定する方法の開発を目的としている。

2. 補正概要

中国地方・四国地方を対象に、防災科学研究所(K-NET, KiK-net)²⁾、地震ハザードステーション(J-SHIS)³⁾および港湾地域強震観測網⁴⁾の土質データより得られた一次元周波数伝達関数に対し smoothing 補正、base の補正、peak の補正を行って強震観測点でのサイト増幅特性を評価し、推定法の精度を検討する。

2.1 補正式

本研究では次のサイト増幅特性の評価式を用いて一次元周波数伝達関数を補正する。

$$a(f) = \left\{ (a_s(f) - 1) \frac{p_e \times p_d}{b \times p_s} + 1 \right\} \times b_s \quad (1)$$

ここで、 $a(f)$: サイト増幅特性推定値、 $a_s(f)$: smoothing 処理後の一次元周波数伝達関数の増幅倍率を低周波数側の増幅倍率で除した値、 p_e : peak の補正における補正倍率、 p_d : 0.2-10Hz の一次元周波数伝達関数の最大増幅倍率、 b_s : base 補正值、 p_s : 0.2-10Hz の $a_s(f)$ の最大増幅倍率、 f : 周波数

ただし本研究では建造物の耐震性およびスペクトルインバージョンの精度を考慮して 0.2~10Hz の範囲を対象とする。

2.2 smoothing 処理補正

ピークとディップの激しい一次元周波数伝達関数ではサイト増幅特性の包絡形状を正確に評価できない。本研究では Parzen ウィンドウを用いた平滑化を行うことでこの問題の解決を図る。一次元周波数伝達関数の最大増幅倍率を示す周波数をバンド幅とし、地点ごとに設定している。

2.3 base の補正

一次元周波数伝達関数は長周期側では倍率が 1 となるがサイト増幅特性は地震基盤から上の地盤の多次元効果等を含んでいるため一般的に 1 よりも大きな振幅を示す。この倍率は堆積環境に影響を受けていると考えられるため、表層 30m の平均 S 波速度 (AVS30) は表層地盤による増幅特性を表現する指標として頻繁に用いられている⁵⁾が、AVS30 の値は間接的に深層地盤の堆積層の厚さと関係していると考えられるため、本研究では AVS30 と $V_s=1000\text{m/s}$ 以上の土層の深さ⁶⁾の 2 つの指標でサイト増幅特性の長周期側の倍率を評価する。後者については、 $V_s=1000\sim 2000\text{m/s}$ の範囲で 200m/s 刻みで層の深さ (D_{V_s}) を算出し、長周期側の増幅倍率 (0.2-0.3Hz の平均倍率: b_s) との相関が最も高くなる S 波速度を用いる。結果として中国地方・四国地方において D_{1800} が最も良い相関を示した。中国地方・四国地方における回帰式は式(2)の通りである。

$$b_s = 3.258 \times AVS30^{-0.096} \times D_{1800}^{0.059} \quad (2)$$

2.4 peak の補正

サイト増幅特性の増幅倍率は上述のように 3 次元地盤構造に対する斜め入射等の影響を受けているため、一次元構造による倍率と比較して大きい。両者のピーク倍率の比を取り、QGIS⁷⁾を用いて図-1 に示す。

キーワード：サイト増幅特性、一次元周波数伝達関数、smoothing 補正、base の補正、peak の補正
連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 都市安全研究センター TEL 078-803-6471

この結果等をもとにピーク倍率の補正を行う。

表-2 補正結果例におけるバンド幅, base, 補正倍率, 対数残差 2 乗

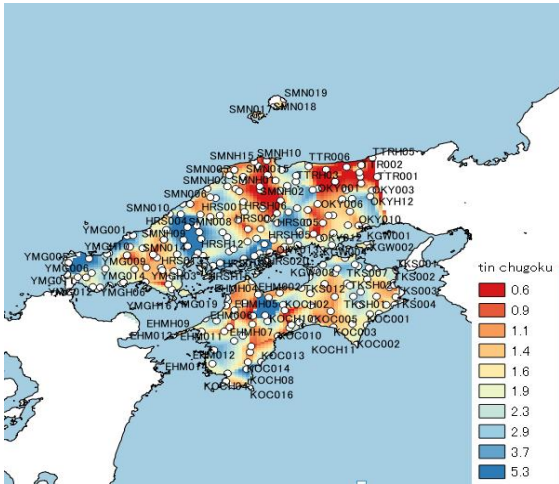


図-1 QGISによる中国・四国地方の補正倍率

地点	EHM001	KOC002	TTR004	OKY005	SMNH12	HIROSHIMA-G
バンド幅(Hz)	1.6	1.9	8.2	5.6	7.5	0.9
b_s	2.745	2.582	2.526	2.219	2.234	2.565
p_e	1.9	2.3	0.6	1.1	1.1	2.3
ms 対数残差 2 乗①	0.332	1.798	0.397	0.407	1.489	2.499
ts 対数残差 2 乗①	3.367	2.571	1.476	1.463	0.47	5.715
ms 対数残差 2 乗②	0.856	2.052	0.819	1.119	4.973	4.276
ts 対数残差 2 乗②	5.025	6.285	2.195	2.092	0.786	7.597

3. まとめ

表-2 の対数残差 2 乗より EHM001, KOC002, TTR004, OKY005, HIROSHIMA-G においては一次元周波数伝達関数に比べ補正結果がよりサイト増幅特性を良好に評価できていると考えられる。しかし, SMNH12 のように低周波数領域において過大評価となり補正精度の悪い地点がみられた。これは base の値の推定精度等の影響と考えられる。図-2 の結果やその他の地点の結果を見ると補正前に比べ本研究における補正による補正結果の方が概ね良い精度でサイト増幅特性を評価できたと考えられるが, 今後の課題として補正法の精度の向上, サイト増幅特性が未知な地点において本研究の補正を行い精度を検討する必要がある。

謝辞: 本研究は科研費 26420458 の助成を受けたものです。港湾空港技術研究所・野津厚領域長から貴重な助言を頂きましたことに感謝します。

参考文献

- 1) 長尾ら: 深層地盤構造と常時微動の活用によるサイト増幅特性の評価に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol69(2013)No.4 p.I-252-I-259.
- 2) <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>.
- 3) <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 4) 野津ら: 港湾地域強震観測年報 (2010), 港湾空港技術研究所資料 No.1243, 2011.
- 5) 翠川三郎: 地震断層と地盤条件を考慮した地表面最大加速度・最大速度分布の推定, 第 8 回地盤振動シンポジウム, 1980.
- 6) Morikawa et al. : A new ground motion prediction equation applicable up to Mw9 based on data from the 2011 Tohoku-oki earthquake, Proceedings of 15th WCEE, 2012, Paper No.3988.
- 7) QGIS: 地理情報システム <http://qgis.org/ja/site/>

2.5 補正結果

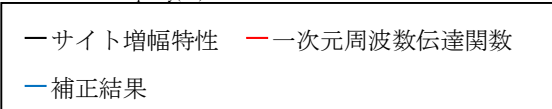
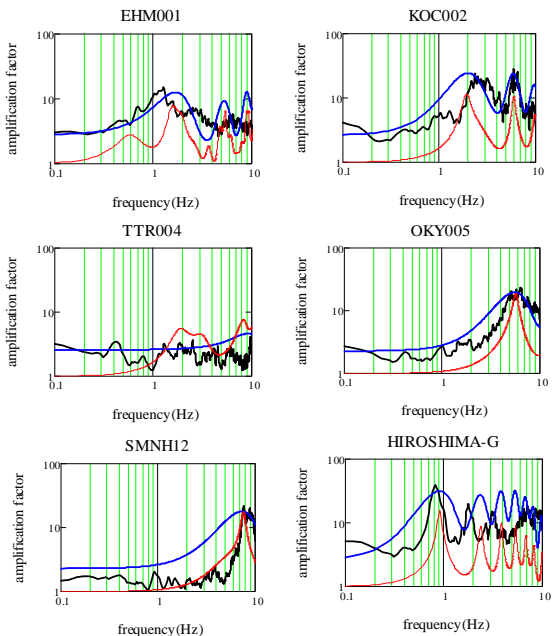


図-2 中国地方・四国地方における補正結果例

以上による補正例を図-2 に示す。また表-2 は各地点における smoothing バンド幅, base, 補正倍率, 補正精度を対数残差 2 乗で評価した結果をまとめたものである。ここで, 対数残差 2 乗は一次元周波数伝達関数とサイト増幅特性との対数残差 2 乗 (ts) と本研究による補正結果とサイト増幅特性との対数残差 2 乗 (ms) の 2 種類であり, 表-2 における①は 0.2-1Hz, ②は 0.2-5Hz の対数残差 2 乗である。