

### 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の統計的な推定法の提案

国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 ○福永 勇介  
 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 正会員 野津 厚  
 株式会社ニュージェック 正会員 山田 雅行  
 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 正会員 長坂 陽介

#### 1. 緒言

サイト増幅特性が未知の地点（以下、対象地点と呼称）においてそのサイト増幅特性を推定する際、対象地点の周辺に位置するサイト増幅特性が既知の地点（以下、参照地点と呼称）のサイト増幅特性を補正して適用する。その推定法は、両地点の強震観測記録のフーリエ振幅スペクトルを用いる方法（以下、松補正と呼称）と両地点の常時微動 H/V スペクトルを用いる方法に大別され、後者の推定法として、サイト増幅特性のピーク周波数のみを補正する方法（以下、竹補正と呼称）<sup>1)</sup>、サイト増幅特性のピーク周波数とピーク値の何れも補正する方法<sup>2)</sup>（以下、新竹補正と呼称）の2つの方法が提案されており、現在、港湾の施設の設計入力地震動の評価の際に用いられている。常時微動観測は強震観測に比して観測に要する時間が概して短く、観測経費も安く抑えられるため、常時微動 H/V スペクトルを用いる推定法は非常に有用であるが、新竹補正により推定された対象地点のサイト増幅特性が時に過大評価となり、推定精度が確保できないという問題がある。本研究では、新竹補正により対象地点のサイト増幅特性が過大評価されてしまう場合において、対象地点のサイト増幅特性を合理的に推定する方法について検討した。

#### 2. 対象地点のサイト増幅特性の推定法の提案

##### 2. 1 対象地点のサイト増幅特性のピーク値の推定

本研究では、対象地点のサイト増幅特性のピーク値を推定する方法として、統計的なアプローチを取っている。サイト増幅特性と常時微動 H/V スペクトルが既知の地点において、これらのピーク値のデータを用いて、サイト増幅特性（以下、この用語は地震基盤～地表のものとして使用する）のピーク値を被説明変数、常時微動 H/V スペクトルのピーク値を説明変数として、両ピーク値の関係式（以下、キャップ関数と呼称）を

定式化する。

##### (1) キャップ関数の定式化に用いたデータ

キャップ関数の定式化に当たっては、表 1 に示す全 71 組のサイト増幅特性のピーク値、常時微動 H/V スペクトルのピーク値のデータ対を用いた。サイト増幅特性はスペクトルインバージョンによって算出し、常時微動 H/V スペクトルは現地の観測記録に基づき設定している。このデータ対は、港湾の施設の変形に寄与する 0.3~2.0 [Hz]に常時微動 H/V スペクトルがピーク周波数を有するもの、常時微動 H/V のピーク周波数÷1.2~×1.2の範囲にサイト増幅特性のピーク周波数があるもの、かつ、サイト増幅特性をスペクトルインバージョンにて推定した際、その精度の信頼性の観点から、用いた地震動の数が3以上のもののみとなっている。

表 1 キャップ関数の定式化に用いたサイト増幅特性と常時微動 H/V スペクトルのピーク値のデータ対

| ブロック     | 北海道 | 東北 | 関東 | 北陸 | 中部 | 近畿 | 中国 | 四国 | 九州 | 沖縄 | 合計 |
|----------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 使用したデータ数 | 3   | 8  | 16 | 7  | 9  | 4  | 9  | 9  | 5  | 1  | 71 |

##### (2) キャップ関数の定式化の方法

###### a) 双曲線関数による定式化

① サイト増幅特性のピーク値が対数正規分布に従うと仮定し、次式のとおり、サイト増幅特性のピーク値の中央値は  $p_{H/V}$  の双曲線関数に従い、対数変換後のサイト増幅特性のピーク値の分散は中央値によらないと仮定する。

$$\begin{cases} m_{SAF} = \frac{a p_{H/V}}{1 + x_c^{-1} p_{H/V}} \\ s_{SAF}^2 = \text{const.} \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 $m_{SAF}$ : サイト増幅特性のピーク値の中央値、 $s_{SAF}$ : 対数変換後のサイト増幅特性のピーク値の標準偏差、 $p_{H/V}$ : 常時微動 H/V スペクトルのピーク値、 $a, x_c$ : パラメータ

②  $x_c$  を  $\{1, \dots, 30\}$  の自然数の範囲で変化させ、各  $x_c$  に対して  $a$  を最尤推定する。

キーワード サイト増幅特性, 常時微動 H/V スペクトル, 新竹補正, キャップ関数

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 国土技術政策総合研究所 TEL 046-844-502

- ③ 各  $a, x_c$  の組について,  $s_{SAF}$  を算出する.
  - ④ 各  $a, x_c, s_{SAF}$  の組について, 式(1)の第 1 式の  $a, x_c$  に  $e^{\ln a + s_{SAF}}$ ,  $x_c$  の値をそれぞれ代入し, 式(1)のグラフの上側の領域に含まれるデータ対の数が最も少なくなる  $a, x_c$  の組を探索する.
  - ⑤ 式(1)の第 1 式の  $a, x_c$  に④で決定した  $e^{\ln a + s_{SAF}}$ ,  $x_c$  の値をそれぞれ代入して, それをキャップ関数とする.
- 以上により, キャップ関数は次式で表される.

$$p_{SAF} = \frac{12.8 p_{HV}}{1 + p_{HV}/6} \quad (2)$$

ここに,  $p_{SAF}$ : サイト増幅特性のピーク値

b) べき関数による定式化

- ① サイト増幅特性のピーク値は正值であるため, ガンマ分布, または対数正規分布に従うと仮定し, 次式のとおり, サイト増幅特性のピーク値の母平均, 母分散 (対数変換前の  $p_{SAF}$  に対するもの) はそれぞれ  $p_{HV}$  のべき関数, 母平均の 2 次関数に従うと仮定する.

$$\begin{cases} \mu_{SAF} = \beta_0 p_{HV}^{\beta_1} \\ \sigma_{SAF}^2 = \beta_2 \mu_{SAF}^2 \end{cases} \quad (3)$$

ここに,  $\mu_{SAF}, \sigma_{SAF}$ : サイト増幅特性のピーク値の母平均, 母標準偏差,  $\beta_i$ : パラメータ ( $i \in \{0, 1, 2\}$ )

- ②  $\beta_i$  を最尤推定して式(3)に代入して,  $\mu_{SAF} + \sigma_{SAF}$  の曲線の方方程式を算出し, それをキャップ関数とする.

以上により, キャップ関数は次式で表される.

$$\begin{cases} p_{SAF} = 26.3 p_{HV}^{0.213} & (\text{ガンマ分布}) \\ p_{SAF} = 28.1 p_{HV}^{0.210} & (\text{対数正規分布}) \end{cases} \quad (4)$$

式(2), (4)で表されるキャップ関数のグラフは図 1 のようになる.

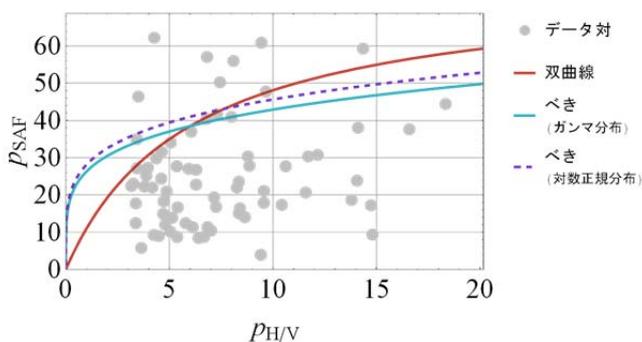


図 1 サイト増幅特性と常時微動 H/V スペクトルのピーク値の関係

2. 2 対象地点のサイト増幅特性の推定

対象地点のサイト増幅特性は, 参照地点のサイト増幅特性に竹補正を施した上で, 2. 1 で推定したサイト増幅特性のピーク値を用いて, 2 層系地盤の伝達関数

を基にした以下の関数による値を乗じて推定する.

$$r(f) := \begin{cases} [\cos^2(\pi f/2f_{tar}) + R^{-2} \sin^2(\pi f/2f_{tar})]^{\frac{1}{2}} & (f \leq 2f_{tar}) \\ 1 & (f > 2f_{tar}) \end{cases} \quad (5)$$

ここに,  $f_{tar}$ : 対象地点の常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数,  $R$ :  $p_{tar}/p_{ref}$  (参照地点を成層地盤の上層, 対象地点を下層とみなした場合, 一般的なインピーダンス比の定義<sup>3)</sup>の逆数となることに注意すること),  $p_{\alpha}$ : 地点  $\alpha$  のサイト増幅特性のピーク値 ( $\alpha \in \{tar, ref\}$ )

3. 提案したサイト増幅特性の推定法の妥当性の評価

2 で提案した対象地点のサイト増幅特性の推定法の妥当性を評価するべく, 下関港を対象として, 松補正により推定した対象地点のサイト増幅特性を真値とみなし, 本研究での提案手法, 並びに新竹補正による対象地点のサイト増幅特性の推定値を比較した. 図 2 に示すとおり, 本研究での提案手法の方が新竹補正よりも真値に近い結果を与えており, 妥当な結果となった.

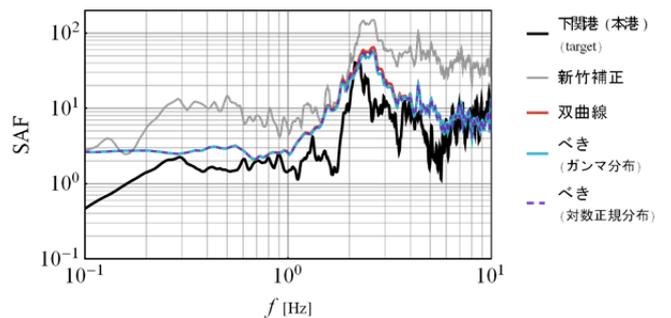


図 2 松補正, 提案手法, 新竹補正によるサイト増幅特性の比較 (例: 下関港)

4. 結言と今後の研究の展開

本研究では, 新竹補正によるサイト増幅特性の推定ではピーク値が過大に評価されてしまう場合について, 統計的手法により妥当なサイト増幅特性を推定する方法について提案した. 今後, 下関港以外の同様の状況にある地点にも本研究の提案手法を適用し, その妥当性について評価を重ねていく.

参考文献

- 1) 長尾 毅, 平松 和也, 曾根 照人, 野津 厚: 撫養港における入力地震動のゾーニングに関する研究, 海洋開発論文集 23, pp.805-810, 2007.
- 2) 長尾 毅, 山田 雅行, 野津 厚: 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の経験的補正方法に関する研究, 構造工学論文集 Vol.56A, 2010.
- 3) 大崎 順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, pp.167-198, 2002.