

地震観測に基づき評価されたサイト増幅特性のばらつきの定量化と地震動指標への影響評価

国土技術政策総合研究所 正会員 ○菅原 法城, 竹信 正寛, 神保 壮平 非会員 佐野 新
 港湾空港技術研究所 正会員 野津 厚, 長坂 陽介
 株式会社ニュージェック 正会員 山田 雅行, 江口 拓生

1. 背景・目的

港湾施設の耐震設計では、サイト増幅特性を考慮したレベル 1 地震動¹⁾に基づく性能照査が行われる。港湾基準におけるサイト増幅特性の評価手法の一つである臨時の地震観測記録を用いた評価方法²⁾(松補正)では、複数の地震観測記録に基づいて評価するが、その際、幾何平均で代表させて確定的に設定するため、そのばらつきに関する知見は十分でない。

本研究では、臨時の地震観測記録を用いたサイト増幅特性の評価方法²⁾を対象として、そのばらつきを、スペクトルインバージョン³⁾によるばらつき、臨時の地震観測記録を用いた評価方法²⁾によるばらつきに分けて扱い、両者の定量化を試みる。その上で、岸壁天端の地震時残留水平変位との相関が良好である速度 PSI 値⁴⁾を指標として、各ばらつきが当該指標に与える影響を確認する。

2. サイト増幅特性のばらつきの定量化の方法

(1) スペクトルインバージョンに基づくサイト増幅特性のばらつき

スペクトルインバージョンは、複数の地点で取得された複数の地震による強震記録に対して一種の回帰分析を適用してサイト増幅特性等を設定する方法である³⁾。観測記録のフーリエ振幅スペクトルは震源特性 $S(f)$ ・伝播経路特性 $P(f)$ ・サイト増幅特性 $G(f)$ の積で表されるが、スペクトルインバージョンでは、その常用対数をとって計算を行う。その上で、 M 個の地震 ($i=1,2,\dots,M$) と N 個の観測点 ($j=1,2,\dots,N$) があるとした時、その組み合わせ毎の観測値との誤差の二乗の和 (式(1)) の最小化問題として未知パラメータを推定する。

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \delta_{ij} (\log_{10} O(f)_{ij} - \log_{10} S(f)_i - \log_{10} P(f)_j - \log_{10} G(f)_j)^2 \quad \text{式(1)}$$

ここで、 δ_{ij} は、観測点 j で i 番目の地震動の観測記録が得られている場合は 1、記録がない場合は 0 を返す関数である。なお、野津ら³⁾は、伝播経路特性 $P(f)$ は既知とした上で、二段階に分けて未知パラメータの推定を行っている。第一段階では、S 波を含む 40 秒間のデータを対象に観測スペクトルを算出し、震源特性 $S(f)$ 、サイト増幅特性 $G(f)$ を仮推定する。二段階目では、S 波と後続位相を含む 160 秒間のデータを対象に観測スペクトル O_{ij} を再度算定し、一段階目で推定した震源特性 $S(f)$ を既知の量として与えて、サイト増幅特性 $G(f)$ をあらためて推定する。本研究では、二段階目の計算における観測スペクトルの常用対数 $\log_{10} O_{ij}$ とその推定値との残差の二乗の算術平均を求めて、その 1/2 乗をサイト増幅特性 $G(f)$ のばらつき $\log_{10} \sigma$ として扱う。

(2) 臨時の地震観測記録を用いた評価方法に基づくサイト増幅特性のばらつき

当該評価方法では、設計対象地点 (以下、対象地点と表記する) において臨時の地震観測を行い、その近傍で十分に信頼性の高いサイト増幅特性が得られている地点 (以下、参照地点と表記する) と対象地点の同時地震観測記録を用いてサイト増幅特性を評価する。計算方法としては、対象地点及び参照地点における複数地震動に関する同時加速度記録を対象に離散フーリエ変換を行い、参照地点に対する対象地点のフーリエ振幅スペクトルの比 SR を計算する。この比は、地震動の数だけ得られるが、その幾何平均 SR_{ave} を代表値として用いて、それを参照地点の既知のサイト増幅特性に乘じることにより、対象地点のサイト増幅特性を求める²⁾。本研究では、式(2)に示す量を、当該評価方法によるサイト増幅特性のばらつき $\log_{10} \sigma$ として扱う。

$$\log_{10} \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (\log_{10} SR - \log_{10} SR_{ave})^2} \quad \text{式(2)}$$

キーワード 港湾, 地震動, サイト増幅特性, スペクトルインバージョン, 速度 PSI 値
 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 TEL046-844-5029

3. サイト増幅特性のばらつきの結果と地震動指標への影響の評価結果

国土技術政策総合研究所のホームページで公表された表-1 に示す 20 地震動を対象に，サイト増幅特性のばらつきを算出した．算出したばらつきに関する各 10 地震動の平均について図-1 に示す．なお，ばらつきについての本文や図の数値は常用対数をとらずに， σ として表示している．また，0.2Hz～2.0Hz の算術平均の更に各 10 波の地震動に対する算術平均をとると，スペクトルインバージョンによるばらつきが 1.42 程度（数値はフーリエ振幅スペクトルとしての表記であり，松補正のばらつきの表記も同様），松補正によるばらつきが 1.72 程度となり，それぞれのばらつきの目安を得ることができた．ただし，スペクトルインバージョンのばらつきには震源や伝播経路特性のばらつきも含まれ，また，松補正のばらつきは 2 地点のばらつきがすべて対象地点のばらつきであると仮定したものであるため，両者の大きさの比較にはこれらの条件の違いに留意する必要がある．また，式(3)によりばらつき σ を考慮した振幅スペクトル A_{new} を算出した．

$$\log_{10} A_{new} = \log_{10} A + \alpha \log_{10} \sigma$$

式(3)

20 地震動を対象に，ばらつきを付加する際の係数 α を 1.0 として計算した際の，0.2～2.0Hz のばらつきの算術平均に対する速度 PSI 値のばらつき考慮前後の比の関係を図-2 に， α を 0.1 刻みで 0.0～2.0 の範囲で変化させた 20 地震動分の速度 PSI 値の変化を図-3 に示す．図-2 からは， $\alpha=1.0$ とした場合，最大で 2.31 倍程度に変化する場合が確認された．図-3 からは， α が大きくなると，速度 PSI 値の変化が大きくなる様子が確認できた．一方，この結果は，係数 α の速度 PSI 値への感度を確認したのみであり，個々のスペクトル比を直接用いて速度 PSI 値を算出した場合には， α を 0.0～2.0 の範囲で変化させた時の速度 PSI 値の変化の幅ほど大きな変化を示すわけではないことを別途確認している．

参考文献 1)港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，2018.2) 錦織勇人，福永勇介，野津厚，宮田正史：港湾におけるレベル 1 地震動の補正手法に関する包括的整理，国土技術政策総合研究所資料 No.1065，2019.3)野津厚，長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料 No.1112，2005.4) 野津 厚，井合 進：岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察，第 28 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，2001.

表-1 対象としたレベル 1 地震動の一覧

L1地震動名 (スペクトルインバージョンのばら つきの検討に使用)	L1地震動名 (松補正のばらつきの検討に使用)
釧路港9004	釧路港9019
相馬港9120	相馬港9123
宮古港9113	宮古港9121
横須賀港9210	横須賀港9218
四日市港9312	四日市港9324
和歌山下津港9411	和歌山下津港旧9426
徳山下松港9515	徳山下松港9540
広島港9517	広島港9527
松山港9612	松山港9638
鹿児島港9751	鹿児島港9729

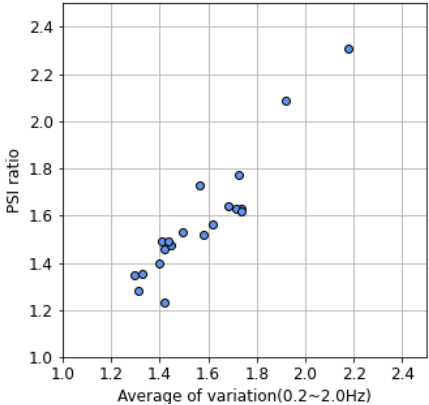


図-2 $\alpha=1$ とした場合のばらつきの 0.2~2.0[Hz] の算術平均と速度 PSI 値の比の関係

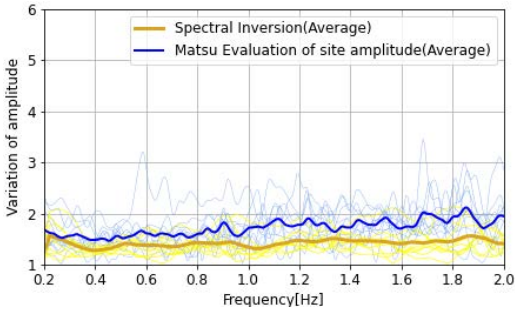


図-1 サイト増幅特性のばらつき

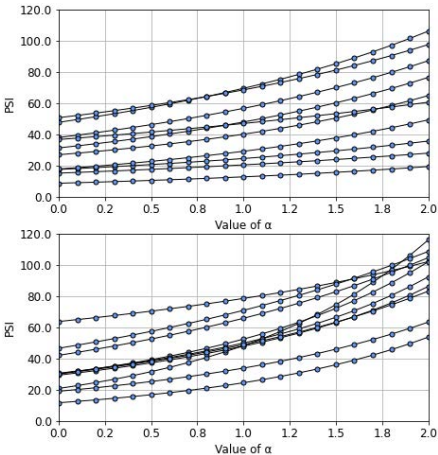


図-3 α の値と速度 PSI 値の関係
(上図：スペクトルインバージョン，下図：松補正)