

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○角 礼雄
 広島大学大学院工学研究院 正会員 一井 康二
 日本工営（株）中央研究所 正会員 秦 吉弥
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 森 佑樹

1. はじめに

構造物設置地点の地震観測データを利用した地震動予測手法が提案されているが、地震観測点の数が限られていたり、構造物設置地点に適切な観測地点を設置できないなどの理由から、構造物設置地点と実際の地震観測地点の位置がずれることもある。そこで、設計実務に予測地震動を適用する上では、実際の地震観測地点と検討対象位置が異なることによって、どの程度の地震動の差異が生じるかを評価する必要があると考えられる。

本研究では、常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数の差異に基づいたサイト増幅特性の補正によって地震動を推定する手法¹⁾に着目した。そして、この補正方法が妥当であるという前提の上で、異なる 2 地点における推定地震動の差異を常時微動 H/V スペクトルの差異²⁾から、対象地点のサイト増幅特性を考慮する改良点を加え、定量的に評価する手法を提案した。また、さらに提案手法の精度の検証を、アンケート震度との比較により試みた。

2. 地震動の差異の評価指標の検討

地震動の差異を評価する際の定量的指標として、応答スペクトルに着目した指標²⁾を用いることにする。具体的には、例えば地震動 A と、地震動 B のそれぞれの応答スペクトルを求め、各周期におけるスペクトルの値の比(B/A)をとる。もし、これらの 2 つの地震動が全く同じであれば 2 つの地震動の応答スペクトルの比率は全周期帯域にわたり 1.0 になるが、実際には若干のずれが生じる。そして、基準となる比率の値（基準比率）を定めて、基準比率からどの程度応答スペクトル比がずれたか、その間の面積を求めて差異の指標とする(図-1)。

なお、同一地点における観測波と推定波を対象とする場合には、基準比率が 1.0 となる。異なる 2 地点の地震動の比較においては、震源からの距離に応じて地震動が減衰する程度が振動数に依存することを考慮し、距離の差異に応じて、振動数毎に異なる値を基準比率として設定することが望ましいと考えられる。ただし、本稿の範囲では、簡単のため振動数毎の違いの考慮は行っていない。

ここで面積の算定方法について述べる。いくつかの方法が考えられるが、本研究では、グラフの縦軸を対数軸で表記し、横軸の振動数(Hz)も対数軸で表記することとした。そして、面積は両対数軸上で算出される値とし、土構造物の被害に大きく影響を及ぼす範囲である、0.5Hz から 2.0Hz の範囲の面積とした。

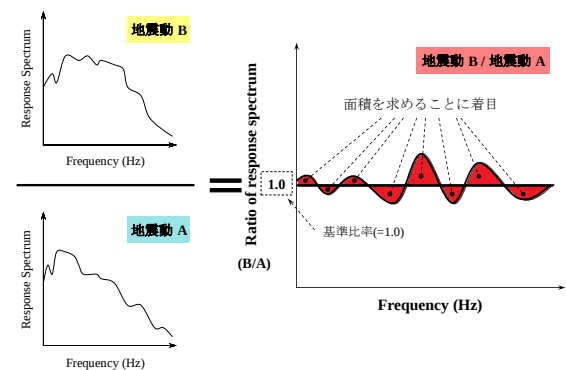


図-1 応答スペクトル比における基準比率からのずれの面積に基づく評価指標(基準比率 1.0 の場合)

3. 推定地震動の差異の評価手法

著者らがすでに提案した異なる 2 地点における推定地震動の差異を定量的評価する手法²⁾について、簡単に説明する。対象とした手法は、常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数の差異に応じてサイト増幅特性を補正する手法¹⁾が妥当であることを前提に、地震動の差異の程度を常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数のずれにより評価するものである。すなわち、図-2 で示した各直線を用いると、検討地域における常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数のずれを求めることにより、推定地震動の差異(応答スペクトル比のずれの程度)を評価できる。

ここで、図-2 の Zone 1~4 は、能登有料道路における地震動推定の際の検討事例³⁾によるものである(常時微動計測結

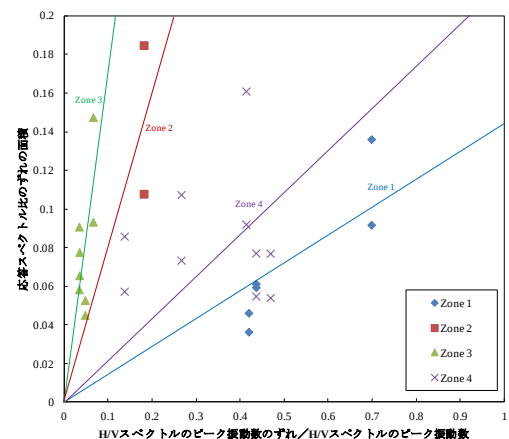


図-2 推定地震動の差異と H/V スペクトルのピーク振動数の差異との比較

果に基づき能登有料道路を4つのゾーンに分割している)。なお、図-2は著者らがすでに提案した図表²⁾に対し、横軸を修正して改良したものである(具体的には、能登有料道路の各ゾーンにおいて、地震観測地点の常時微動 H/V スペクトル³⁾のピーク振動数を基に、他地点の常時微動 H/V スペクトル³⁾のピーク振動数のずれを除いたものとして評価した)。また、能登有料道路における地震観測地点のサイト増幅特性³⁾と、常時微動計測によって得られた H/V スペクトルに基づき、サイト増幅特性を補正する手法¹⁾(竹補正)によって推定された個々の常時微動計測地点のサイト増幅特性の比をとり、上述の基準比率からのずれの面積に基づく評価指標と同様に、サイト特性の比の基準比率 1.0 からのずれを面積で評価した。図-3にその計算結果を示す。なお、図-3の横軸は図-2と合わせることにした。図-3は図-2とほぼ同様の関係を示しており、Zone 1, Zone 4, Zone 2, Zone 3の順番で差異の程度が大きくなりやすい(傾きが大きい)ことがわかる。

しかし、直線は4つあり、どの直線が最も適切なもののかの評価は困難である。そこで、図-2と図-3が対応していることに着目し、検討地域のサイト増幅特性に着目することで、下記のように一般化を図る。

具体的には、図-3における各直線の傾きと、図-2における各直線の傾きを比較したものを、図-4に示す。これはほぼ直線になっていることから、検討地域のサイト増幅特性に応じて、適切な直線の傾き(図-2における直線の傾きで、常時微動 H/V スペクトルの差異に応じた地震動の差異の程度)を算出する。以下に評価の手順を示す。

1. 検討地域におけるサイト増幅特性を求める。
2. サイト増幅特性のピーク振動数を少しずつずらすように補正し、サイト増幅特性比のずれを面積として求める。
3. 補正時のピーク振動数のずれとサイト増幅特性比のずれの面積の関係から、図-3の直線の傾きに当たる指標(ピーク振動数の差異に応じたサイト増幅特性比の差異の増加傾向)を得る。この値を、図-4の横軸の値とする。
4. 図-4を用いて、応答スペクトル比のずれの面積に関する、適切な直線の傾き(図-2における直線の傾きで、常時微動 H/V スペクトルの差異に応じた地震動の差異の程度)を算出する。
5. 図-2の関係において、当該地域のサイト増幅特性に応じた適切な直線が得られたので、検討対象地点のそれぞれに対し、常時微動 H/V スペクトルを求め、ピーク振動数の差異に応じた地震動の差異を評価する。

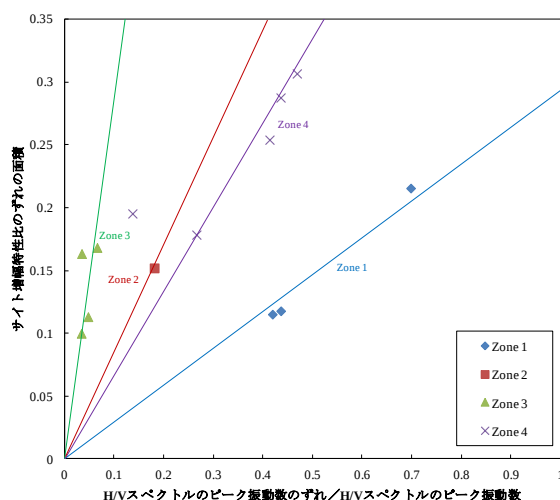


図-3 サイト増幅特性の差異と H/V スペクトルのピーク振動数の差異との比較

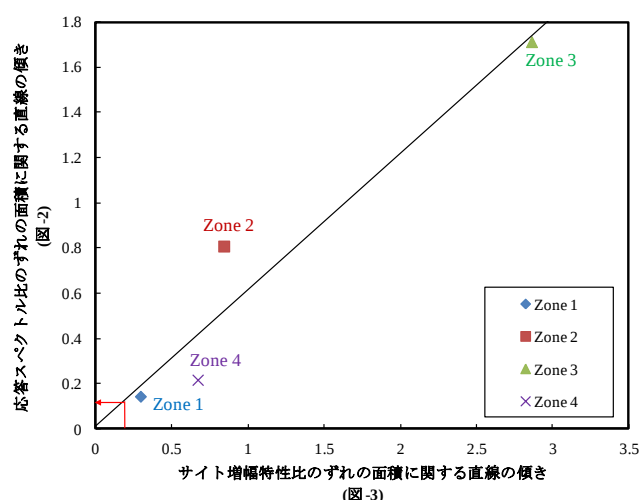


図-4 図-2の直線の傾きと図-3の直線の傾きの関係

4. 提案手法の適用事例と妥当性の検証の試み

4.1 提案手法の適用結果

アンケート震度調査⁴⁾が実施されている呉市(図-5)に対して、提案手法を適用し、提案手法の妥当性の検証を試みた。まず、呉市における常時微動計測結果を基に、実際に提案手法を適用した。すなわち、常時微動計測から常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数を求め、強震観測地点である K-NET 呉(中央)のサイト増幅特性を基準に、各常時微動計測地点の H/V スペクトルのピーク振動数を少しずつずらすように補正し、呉市の常時微動計測地点のサイト増幅特性を推定する。そして、第3章における評価手順により、常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数の差異に応じた地震動の差異を評価する。評価結果を能登における Zone 1~4 の例と合わせて図-6に示す。図-6

より呉市の検討における直線の傾きは 0.23 であり，図-4 から応答スペクトル比のずれの面積の傾きでは 0.16 に相当する(図-7 参照)．この傾き(0.16)を用いて，呉市の推定地震動の差異を評価することができる．

ここで，強震観測地点(K-NET 呉)における常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数と，各計測地点の常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数のずれのコンター図を描いた結果を図-8 に示す．ここで，K-NET 呉の地点は星印で示している．そして，このずれに，呉市の応答スペクトル比のずれの面積の傾き(0.16)を掛けて，呉市の応答スペクトルの差異を評価した．図-9 にその試算結果を示す．両者とも，宮原の地点周辺が大きく異なる値を示している．



図-5 呉市の等価アンケート震度⁴⁾

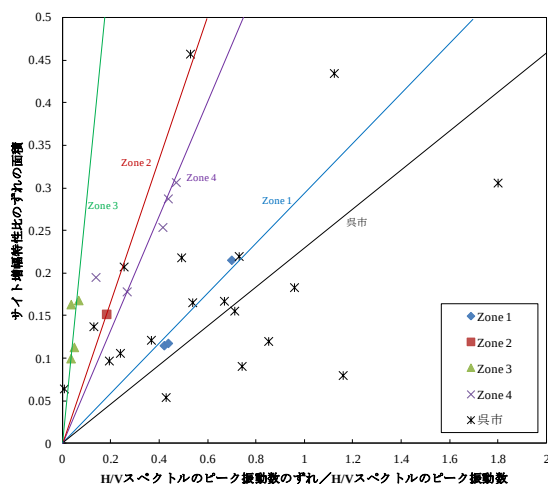


図-6 呉市の結果を考慮したサイト増幅特性の差異と H/V スペクトルのピーク振動数の差異との比較

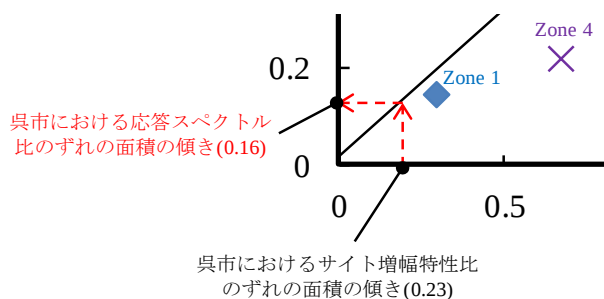


図-7 呉市における応答スペクトル比のずれの面積の傾きの推定

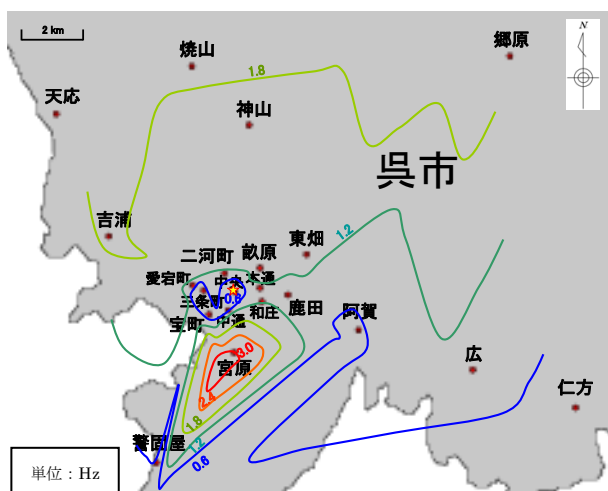


図-8 H/V スペクトルのピーク振動数のずれの分布

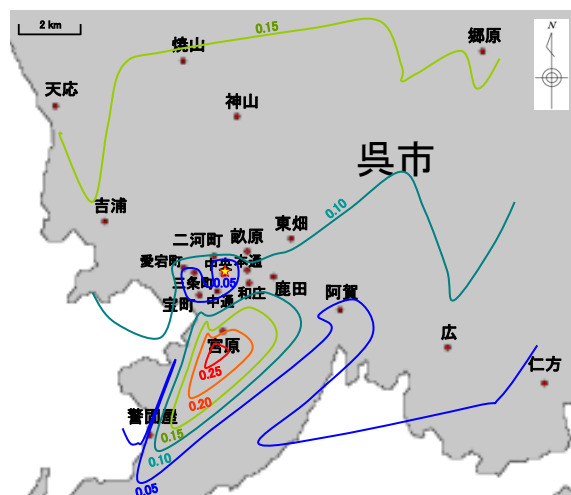


図-9 応答スペクトル比のずれの分布

4.2 提案手法の妥当性の検証

提案した推定法の妥当性を検証するために，広島県呉市内のアンケート震度調査結果⁴⁾を利用した．図-10 に呉市のアンケート震度のコンター図を，図-11 に K-NET 呉(中央)を基準としたアンケート震度の差異と応答スペクトル比のずれの関係を，それぞれ示す．なお，本稿におけるアンケート震度とは，アンケートの結果を気象庁震度に変換した等価アンケート震度のことを指す．図-10 のコンターは，図-8 もしくは図-9 のコンターと，必ずし

も傾向が一致していないが、阿賀から広にかけてのコンターの形状や、K-NET 呉(中央)付近のコンターの形状は似ているといえなくもない。また、図-11 では推定した地震動の差異の程度(応答スペクトル比のずれの程度)と、アンケート震度の差異にある程度のある関係があるように見える。以上から、提案手法にはある程度の妥当性があると推測できる。

図-12 に呉市におけるアンケート震度と常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数の関係を示す。今回の例では、K-NET 呉(中央)のアンケート震度が他地点と比較して大きく、ピーク振動数が高振動数側にずれても、低振動数側にずれても、アンケート震度の低下につながるため、図-11 である程度の関係性があるように見えた可能性がある。しかし、他の地点を基準として地震動の差異を評価した場合は、図-11 のような関係性が得られないということが、図-12 により推測できる。

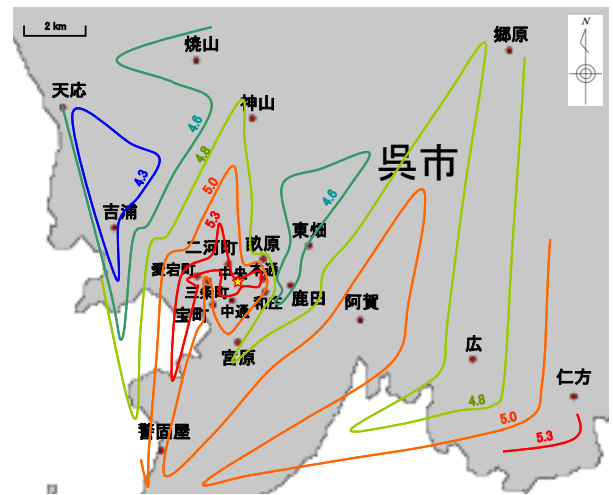


図-10 等価アンケート震度の分布

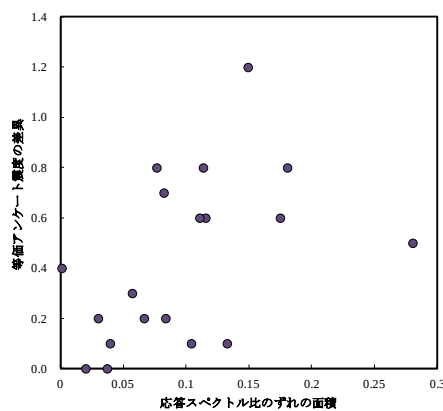


図-11 等価アンケート震度の差異と
推定した地震動の差異の程度との比較

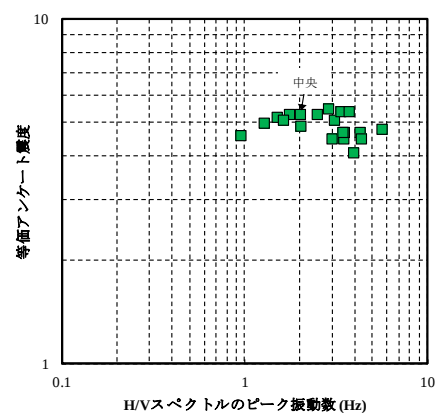


図-12 等価アンケート震度と H/V スペクトルの
ピーク振動数の比較

5. 結論

- 1) 常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数のずれに応じた推定地震動の差異の程度(応答スペクトル比のずれの程度に関する直線の傾き)を、対象地点のサイト増幅特性の形状に応じて評価する手法を提案した。この提案手法の妥当性は、能登有料道路における 4 つのゾーンの検討事例により確認した。
- 2) 呉市で常時微動計測を行い、K-NET 呉(中央)の地点を基準に、地震動の差異の程度の分布を評価した。評価結果を等価アンケート震度分布と比較したところ、ある程度は整合する結果となり、提案手法の妥当性を確認できた。

謝辞

(独)防災科学技術研究所 K-NET の地震観測記録を使用させていただきました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 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, pp.324-333, 2010.
- 2) 一井康二, 角礼雄, 秦吉弥, 保利修: 常時微動による地震動の差異の定量的評価の試み, 地盤工学会中国支部論文報告集「地盤と建設」, Vol.29, No.1, pp.55-62, 2011.
- 3) 秦吉弥, 一井康二, 村田晶, 野津厚, 宮島昌克: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した線状構造物における地震動の推定とその応用—2007 年能登半島地震での道路被災を例に—, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.4, 2010.
- 4) 重松尚久, 森伸一郎, 河村進一, 俵司: 2001 年芸予地震における広島県内のアンケート震度調査および呉市の被害について, 土木学会第 57 回年次学術講演会, pp1503-1504, 2002.