

## 常時微動による地震動の差異の定量的評価の試み

An Attempt at Quantitative Evaluation of the Difference in Estimated Seismic Ground Motions  
using Microtremor Measurement

一井康二	Koji ICHII	(広島大学大学院工学研究院)
角 礼雄	Reo SUMI	(広島大学大学院工学研究科)
秦 吉弥	Yoshiya HATA	(日本工営(株)中央研究所)
保利 修	Osamu HORI	(広島港湾空港技術調査事務所)

構造物設置地点の地震観測データを利用して、地震動を予測する手法が提案されている。しかし、実際の地震計と構造物の位置は必ずしも完全に一致するわけではなく、位置のずれにともなう地震動の差異の程度を評価する必要がある。そこで、本研究では、常時微動 H/V スペクトルの比較に基づいてサイト増幅特性を補正して地震動を推定する手法に着目し、異なる 2 地点における推定地震動の差異の程度を常時微動 H/V スペクトルの観測結果に基づいて定量的に評価する手法を提案した。また鳥取県の境港における常時微動計測結果に提案手法を適用し、試算例を示した。

キーワード：常時微動計測，H/V スペクトル

(IGC : E08)

## 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(例えば、<sup>1)</sup>)。しかし、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。そこで実際の地震観測地点と検討対象位置のずれに応じた地震動の差異の程度を評価する必要がある。ここで地震動の差異とは、振幅や位相、振動特性等の違いである。

本研究では、常時微動 H/V スペクトルの比較に基づいてサイト増幅特性を補正して地震動を推定する手法<sup>2)</sup>に着目し、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 スペクトルの観測結果から定量的に評価することを試みた。ただし、差異としては応答スペクトルの違いに着目した指標を用いることとした。

具体的には、既往の研究結果(2009 年の駿河湾地震<sup>3)</sup>および 2007 年の能登半島地震<sup>4)</sup>の地震動推定結果)に対して、推定地震動の差異をその応答スペクトルの形状により評価し、常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数の差異とを比較した。そして、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手法を提案した。また鳥取県の境港において常時微動計測を実施し、提案手法を適用して試算例を作成した。

## 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を提案する。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。つまり、地震動 B の応答スペクトルを地震動 A の応答スペクトルで除することによって比を求める。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)。応答スペクトルの面積は SI 値等の指標に使われていることから、本研究では着目した。ただし、目的に応じて適切な指標は異なると考えられ、今後の課題である。

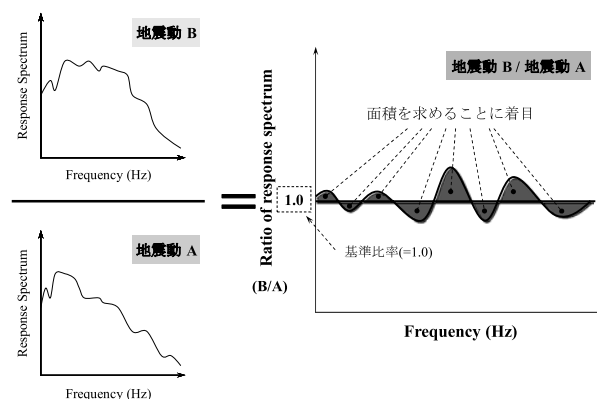


図-1 応答スペクトル比における基準比率からのずれの面積に基づく評価指標(基準比率 1.0 の場合)

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、具体的な方法は今後の課題であり、本検討では簡単のため振動数毎の違いの考慮は行わないこととした。

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を前提とする。そして、面積は、両対数軸上での面積とし、土構造物の被害に大きく影響を及ぼす範囲として 0.5Hz から 2.0Hz の範囲の面積とした。

なお、地震動の差異の指標として応答スペクトルに着目した理由は、構造物の設計において応答スペクトルがよく用いられるためである。ただし、目的に応じて適切な指標は異なると考えられ今後の課題である。

### 3. 地震動の推定精度と常時微動 H/V スペクトルの差異により生じる推定地震動の差異

#### 3.1 2009 年の駿河湾の地震における地震動推定結果に

##### 基づく地震動の推定精度の検討

2009 年 8 月に発生した静岡県駿河湾の地震(Mj6.5)において東名自動車道の盛土が崩落した。これに対して、秦ら<sup>3)</sup>は、2 種類の手法を用いて盛土崩落地点周辺の地震観測点での地震動を推定している。本研究では、この推定結果を元に地震動の推定精度を検討した。

表-1 および図-2 に盛土崩落地点周辺の強震観測点の一覧と分布図を示す。

また図-3 に、表-1 における 12 地点の強震観測点で観測された観測地震動の加速度応答スペクトルと、秦ら<sup>3)</sup>が断層モデルに基づく手法により推定した地震動の加速度応答スペクトルの比率を示す。なお、秦ら<sup>3)</sup>は震源モデルの構築という手順を経ることなく地震動の事後推定を行うことができるサイト増幅特性置換手法を用いても地震動を同様に推定しているが、断層モデルに基づく方法の方が応答スペクトルの推定精度が高いということを報告しているため<sup>3)</sup>、本研究においては、断層モデルに基づく手法で算出した結果を用いることにする。また、簡単のため、水平成分である EW 成分と NS 成分に着目した。

そして、土構造物の変形などに比較的影響を及ぼす 0.5Hz~2Hz の振動数帯に着目し<sup>5)</sup>、この範囲に限定して検討した。表-2 に、12 の強震観測点における NS 成分と EW 成分の、応答スペクトル比の基準比率からのずれの面積を示す。

表-2 に全ての値の平均として示した 0.0316 の値は、NS 成分の応答スペクトル比の面積と、EW 成分の応答スペクトル比の面積の値を全て足し合わせて、総数の 24 で除したものである。この値は、強震観測点における地震動推定

表-1 盛土崩落地点周辺における強震観測点の諸元<sup>3)</sup>

観測点名	略称	地震計設置機関	崩落地点からの直線距離(km)
K-NET榛原	KNT	(独)防災科学技術研究所	3.69
榛原庁舎	HBR	静岡県	3.58
吉田町役場	YSD	静岡県	5.81
大井川庁舎	OIG	静岡県	9.97
静岡空港	SAP	静岡県	4.02
JMA島田	SMD	気象庁	9.10
金谷庁舎	KNY	静岡県	10.54
菊川市役所	KGC	静岡県	9.77
菊川I.C.	KGI	中日本高速道路(株)	9.58
小笠支所	OGS	静岡県	11.37
JMA牧之原	MKN	気象庁	8.70
相良庁舎	SGR	静岡県	7.70

表-2 12 の強震観測点における応答スペクトル比のずれの面積

観測点名	応答スペクトル比のずれの面積	
	NS成分	EW成分
K-NET榛原	0.0528	0.0213
榛原庁舎	0.0547	0.0174
静岡空港	0.0328	0.0104
菊川I.C.	0.0443	0.0260
JMA牧之原	0.0121	0.0125
JMA島田市中央	0.0286	0.0195
金谷庁舎	0.0257	0.0297
菊川市役所	0.0370	0.0461
小笠支所	0.0244	0.0264
相良庁舎	0.0366	0.0195
大井川庁舎	0.0640	0.0607
吉田町役場	0.0261	0.0304
全ての値の平均	0.0316	



図-2 盛土崩落地点周辺における強震観測点の分布<sup>3)</sup>

の平均的な精度を示していると考えられる。つまり、地震観測によりサイト増幅特性を考慮する高度な手法で推定した場合でも、多くの場合にこの程度の誤差が生じるといふ定量的な指標として解釈することができる。ただし、表-2 では地点による値のばらつきは大きい。より多くのデータが揃った時点で、地点の状況の違いなどの背景に基づいた詳細な検討が必要である。

本研究では、限られたデータに基づく、いわば暫定的な値として、この平均値を精度として利用することとした。

### 3.2 2007年能登半島地震における地震動推定結果と

#### 常時微動 H/V スペクトルの利用の効果

秦ら<sup>4)</sup>は、常時微動計測結果を利用して、2007年能登半島地震において被災した能登有料道路の各地点の地震動を推定している。具体的には、まず、常時微動計測結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。そして、各ゾーンで実施した短期間の地震観測記録からサイト増幅特性を求め、そのサイト増幅特性を各ゾーン内の個々の地点の常時微動計測結果を利用して補正することで、個々の地点での地震動も推定している。

図-4に能登有料道路の盛土崩落地点と常時微動観測位置を、図-5に地震観測地点(地震観測によるサイト増幅特性の算定地点)と常時微動計測記録によりサイト増幅特性が補正された各地点の関係を示す。つまり、常時微動観測記録により、地盤震動特性が比較的類似していると考えられる各ゾーンに地震計を1つずつ設置し(具体的には、縦-9、盛-10、縦-10、縦-38と名付けられた地点)、中小地震の観測によって、それぞれの地震観測地点におけるサイト増幅特性をまず推定している(図-6)。そして、次に、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し<sup>2)</sup>、個々の地点の地震動を推定している。ここで用いられた補正手法は、港湾の基準において竹補正と呼ばれている方法であり、図-7に補正方法のイメージ

を示す。地震動のサイト増幅特性の形状が、常時微動の H/V スペクトルの形状に、少なくともピーク振動数の位置については定量的に、また、H/V スペクトルの形状についても定性的には対応していることを背景に、サイト増幅特性の形状を補正する方法である。

秦らが推定した各地点の地震動の大きさの分布を図-8に示す。秦らは、常時微動計測結果を用いることで、きめ細かく、地震動を推定できたと評価している。ここで図-8は最大加速度で表記されているが、図-8の推定地点それぞれで波形も推定されており、本研究ではそのデータを用いた。

### 3.3 推定地震動の差異の評価手法

上述の能登有料道路の事例において、各ゾーンごとの地震計設置地点に対して推定した地震動の応答スペクトルを基準とし、各地点に対して、常時微動 H/V スペクトルに基づいてサイト増幅特性を補正したうえで推定した地震動の応答スペクトルの比を考える。この事により、常時微動 H/V スペクトルの差異と推定された地震動の応答スペクトルの差異の関係が評価できる。ただし、ここでは H/V スペクトルの差異は、上述の竹補正により地震動を推定していることから、単純化のため、ピーク振動数の差異のみで評価することとし、ずれの値の正負は無視して絶対

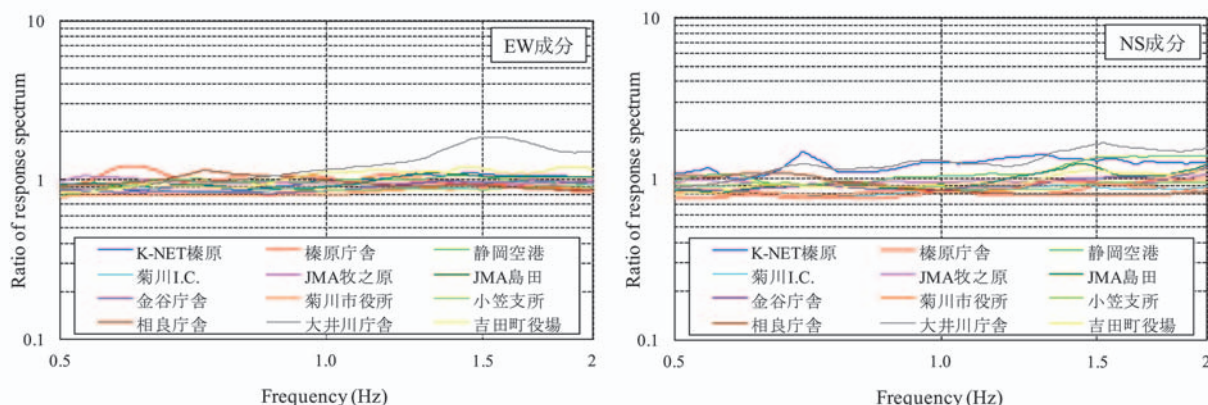


図-3 加速度応答スペクトルの比率[推定波/観測波]<sup>3)</sup>

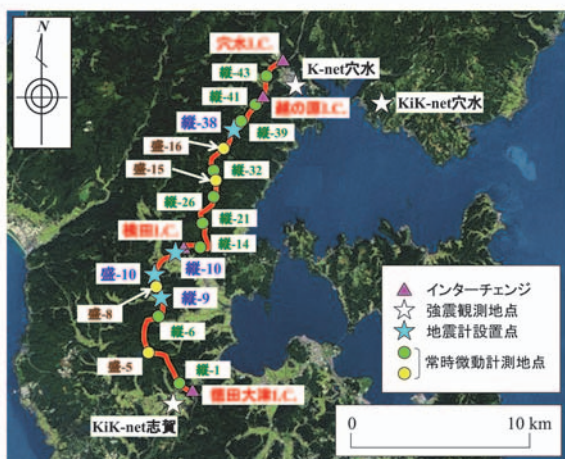


図-4 盛土崩落地点とその周辺における常時微動の計測位置<sup>3)に加筆</sup>

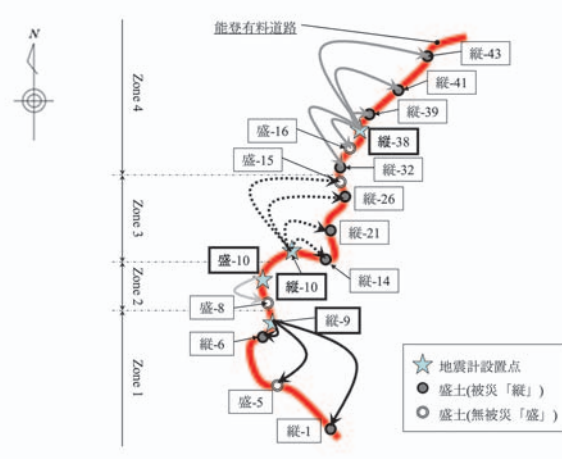


図-5 地震計設置地点と地震動推定地点の関係

値のみで評価する。

例えば、Zone1では、地震計を設置した地点が縦-9であるので、(縦-1/縦-9)、(縦-6/縦-9)、(盛-5/縦-9)のように計3通りの応答スペクトルの比がとれる。同様にZone2においては、盛-10に地震計を設置しているので、(盛-8/盛-10)の1通り、Zone3は(縦-14/縦-10)、(縦-21/縦-10)、(縦-26/縦-10)、(盛-15/縦-10)の計4通り、Zone4は(縦-32/縦-38)、(盛-16/縦-38)、(縦-39/縦-38)、(縦-41/縦-38)、(縦-43/縦-38)の計5通りとなる。なお、上下動は無視しているが、水平2成分

あるので、実際はその倍の点が評価できる。

応答スペクトル比のずれの面積計算の際には駿河湾の地震における検討と合わせるために、振動数領域を、0.5Hz～2.0Hzの範囲とした。さらに、実際には地点毎に震源距離が異なるため、厳密には面積計算の際の基準比率は1.0にはならないが、簡単のため、ここでは基準比率を1.0として評価した。実際には距離に応じて振動数毎の減衰が違うので、そのまま1.0として評価することが妥当ではなく、後の検討結果に悪影響を及ぼしている可能性は否定できない。このあたりの評価は今後の課題である。

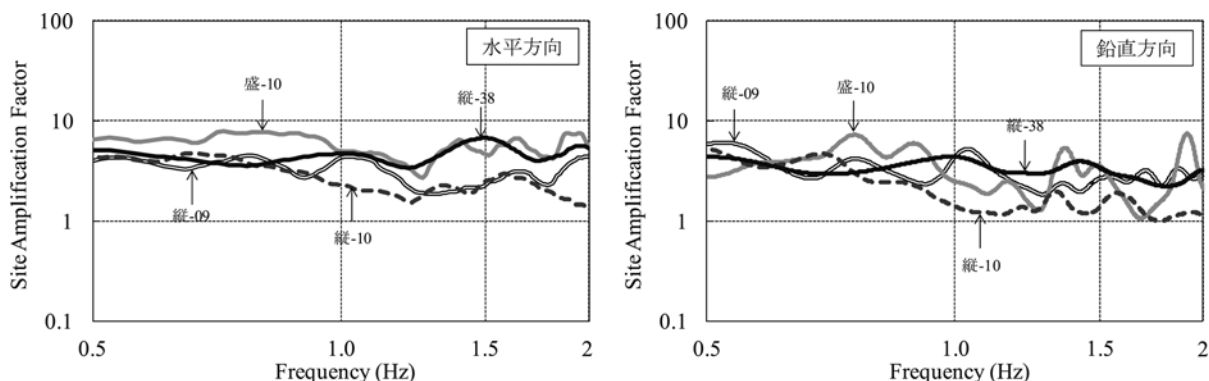


図-6 能登有料道路における地震計設置点のサイト増幅特性<sup>4)</sup>

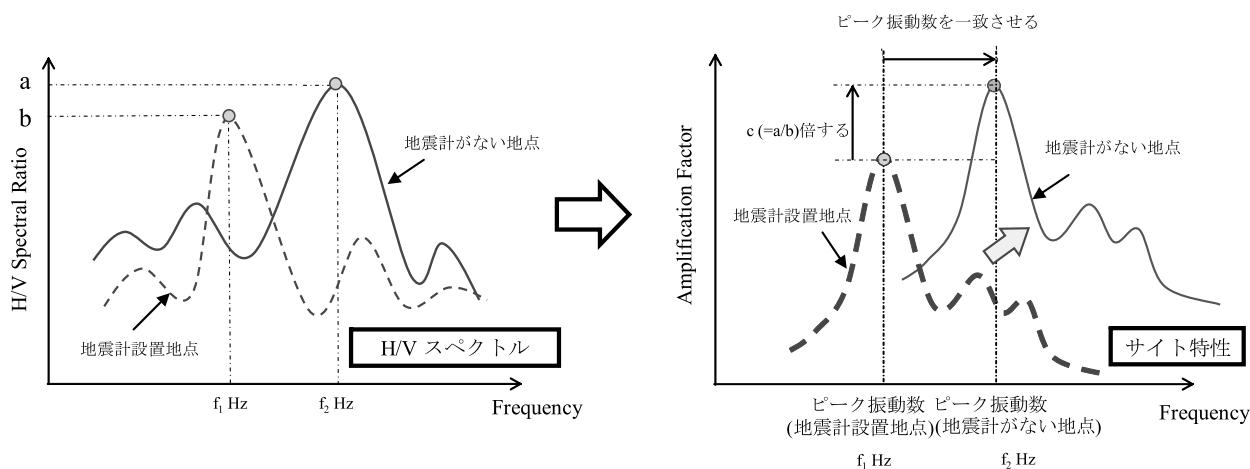


図-7 補正方法のイメージ

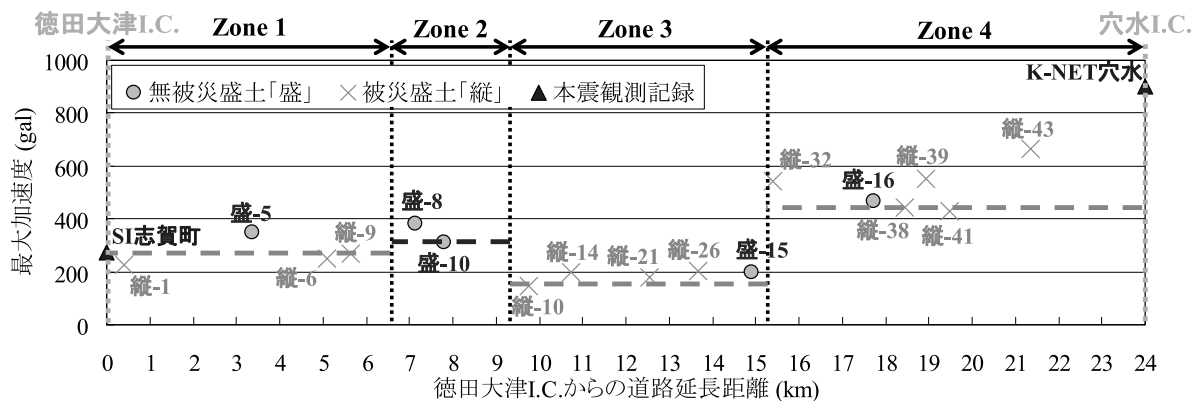


図-8 能登有料道路における地震動推定結果(最大加速度)の分布<sup>4)</sup>  
(図中の破線は地震計設置地点における推定地震動の値)

図-9 に、各ゾーンごとに、応答スペクトル比のずれの面積と、補正時に考慮された2地点間におけるH/Vスペクトルのピーク時の振動数のずれの関係を示す。また、3.1節で駿河湾の地震動をもとに検討した地震動推定の精度も合わせて示す。なお、振動数軸は一般的には、対数軸で表記しているが、ずれの値は小さいため関係を明瞭に把握できる線形軸で表記した。

なお、2地点間のH/Vスペクトルのピーク時の振動数のずれが0のときは、応答スペクトル比の面積も理論上0になる。これは、振動数のずれが0のとき、サイト増幅特性を補正しないためである。そこで、図-9の結果は原点を通る直線で近似することとした。ただし、理論上原点を通ることは確かであるが、直線となる保証はない。データ数が少ないため、あくまでも単純化のための仮定である。

図-9における直線近似の傾きはゾーン毎に異なる。この理由は、定性的には、竹補正の際の補正量がサイト増幅特性の形状に依存するためであると考えられる。すなわち、図-10に示すように、サイト増幅特性のピークが明瞭な形状を示していれば、近似直線の傾きが大きくなる。逆にサイト増幅特性の形状がフラットであれば、近似直線の傾きが小さくなると思われる。しかし、図-6で示した、各ゾーンのサイト増幅特性の形状には、必ずしも明瞭な違いはみられない。従って、近似直線の傾きへのサイト増幅特性の形状の影響を定量的に評価することは現段階では難しく、今後の課題である。

ここで、駿河湾の地震動推定結果から得られた推定精度の値(0.0316)は、現状の地震動推定で生じ得る誤差のレベルを示している。この値が例えば、他地域においても適用できる一般的な値であるかどうかは定かではないが、一般的な値であるとする、たとえH/Vスペクトルのピーク振動数のずれにより、サイト増幅特性を補正して地震動を推定したとしても、この程度の誤差は本質的に内包していると解釈できる。そして、このずれの程度は他地域の事例がないため、検討は今後の課題であるが、どの地域にも同様に存在すると考えることが当面は妥当であろう。

すなわち、H/Vスペクトルのピーク振動数の小さなずれは(図-11の $\Delta f_A$ もしくは $\Delta f_B$ の範囲)、これを地震動の差異として評価したとしても、地震動の推定精度の問題から、地震動の差異としては合理的には評価できない誤差の範囲であるといえる。簡単にいえば、図-11における $\Delta f_A$ もしくは $\Delta f_B$ は現状の地震動推定で生じ得る誤差のレベルに対応する程度のピーク振動数のずれであり、この範囲のずれに対しては同一の地震動が作用するとみなすことが合理的であると考えられる。

このとき、同一の地震動が作用するとみなすことが合理的であるピーク振動数のずれの範囲はサイト増幅特性によって異なり、能登有料道路のケースでは、図-11に示すように、ゾーン2と3の平均にあたるA(0.166Hz)と、ゾーン1と4の平均にあたるB(1.42Hz)の、ほぼ2通り存在していたといえる。

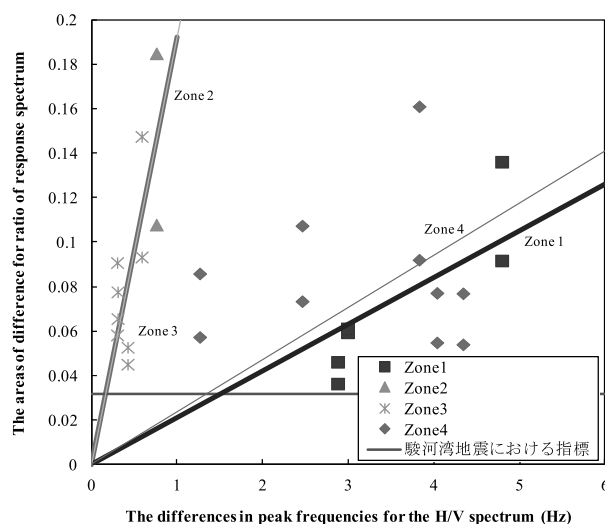


図-9 推定地震動の差異とH/Vスペクトルのピーク振動数の差異との比較

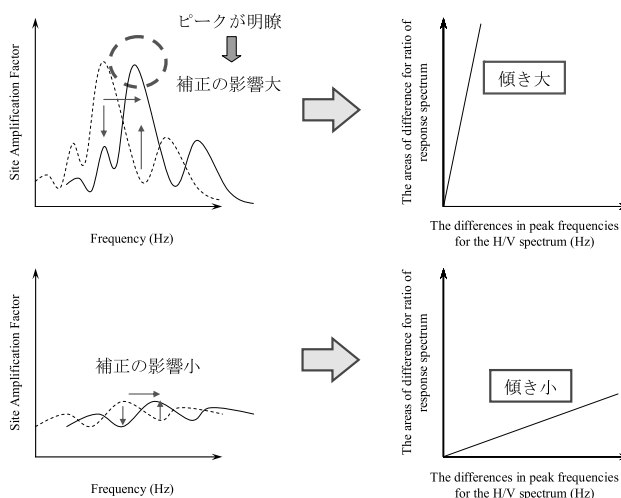


図-10 直線近似の傾きとサイト増幅特性の形状の関係

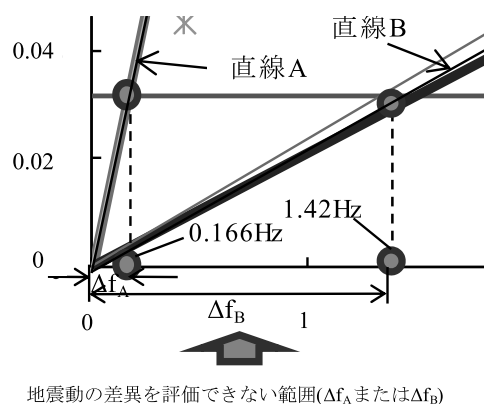


図-11 地震動の差異を評価できない範囲

#### 4. 境港における常時微動計測による試算

実際に提案した推定法のフィージビリティを検討するため、鳥取県境港市の境港において常時微動計測を実施した。計測地点は境港における外港中野地区を中心とした埠頭用地付近を選定し、約 200m おきに計 17 地点で計測した。ここで、図-12 における地点名として、B-1、B-2 などの表記における数字は計測地点を、A、B、C は計測器の違いを示す(これらは同一種類の他機であり、観測結果が同等であることを確認している)。また、A-1-1 は A-1 の地点で計測回数が 1 回目、A-1-2 は A-1 の地点で計測回数 2 回目であることを意味している。これは、A-1、A-2 の埠頭用地が建設途中段階のため、他地点と異なる結果となり、確認のため 2 度の計測を実施したためである。また、C 地点では地震観測が実施されていたことから、この地点を基準として、どの範囲までが同一の地震動が作用すると判断できるかを評価することとした。

計測には、物探サービス株式会社製の速度計(GEONET283D)を用いてサンプリング周波数 100Hz で 660 秒間計測した。そして、常時微動の時刻歴データから 163.84 秒間のデータを 3 区間選択し、この 3 区間のデータを解析対象とした。選択した 3 区間のデータを高速フーリエ変換(FFT)し、フーリエスペクトルを求め、バンド幅 0.05Hz の Parzen Window で平滑化を行った。そして、水平動フーリエスペクトルを上下動フーリエスペクトルで除して H/V スペクトルを算出した。そして、3 区間の H/V スペクトルを平均化した H/V スペクトルのピークを固有振動数とし、H/V スペクトルのピーク振動数のずれを求めた。

地震計設置位置である地点 C の H/V スペクトルのピーク振動数と、各計測地点の 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-12 に示す。なお、図-12 の各計測地点の隣の値はその地点の H/V スペクトルのピーク振動数である。ただし、A-1-1、A-1-2、A-2-1、A-2-2 の地点は、埋立て直後の地盤のため(図-12 の破線部)、他地点と異なる結果となり除外した。なお、以下の検討でも同様に A-1-1、A-1-2、A-2-1、A-2-2 の地点は除外しており、埋め立て間もない建設途中の地点における常時微動特性については、今後の課題である。

なお、C 地点のみ約 3 時間の連続計測を行い、測定中の波浪や潮汐の変動による影響を確認した。図-13 に計測期間の、各時点における計測結果(それぞれ 11 分間のデータを他地点と同様に処理したもの)を示すが、計測期間中の変動は小さく、波浪の変化や潮汐の影響は小さいと思われる。図-14 に計測によって得られた H/V スペクトルを示す。A-1、A-2 の地点は傾向が異なるが、他はスペクトル形状が類似しており、ピークが 0.5Hz から 1.0Hz の間に存在している。つまり、A-1、A-2 を除くと、サイト増幅特性は類似していると考えられ、竹補正の適用にも問題がない。

次に、推定される応答スペクトル比のずれの面積を評価した。第 3 章で推定した直線 A、直線 B が、他地域であるこの地点に適用できるという保証はないが、直線 A と直



図-12 H/V スペクトルのピーク振動数のずれの分布 (国土地理院の電子国土 Web システムの配信データに追記)

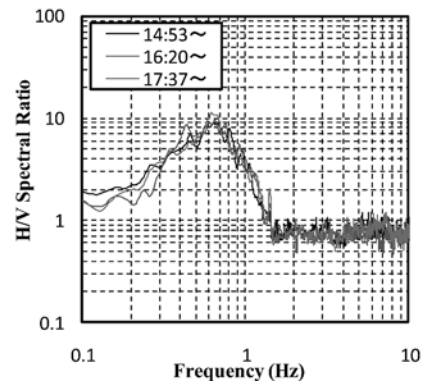


図-13 地点 C の H/V スペクトルの時間的推移

線 B は異なる傾きを有しており、この範囲に一般的な関係が含まれるだろうと仮定して、試算することとした。図-14 より、地点 C からの振動数のずれ分布を示したものが図-12 である。このずれに例えば、直線 A の傾き(0.19)を掛け、応答スペクトルの差異を評価した。図-11 に示したゾーン 2 と 3 の平均にあたる直線 A を用いた場合の結果を図-15 に示す。

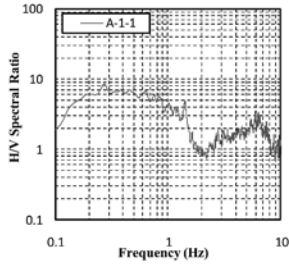
図-15 において、駿河湾地震における推定精度の値である 0.0316 のラインから北側は地震動が同一とみなすことができ、反対に 0.0316 のラインから南側は地震動が同一ではないとみなすことが妥当であると考えられる。

つづいて、ゾーン 1 と 4 の平均にあたる直線 B を用いた場合を検討した。結果を図-16 に示す。

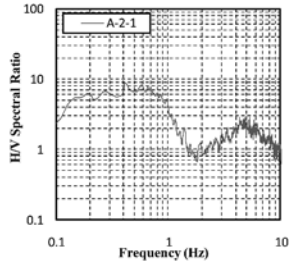
図-16 に示すように、直線 B の場合は、応答スペクトル比のずれは全体的に小さい。したがって、直線 B の場合、地点 C と同様の地震動が観測される範囲はかなり広い範囲であると考えられる。

なお、実際の推定地震動の差異は、当該地域のサイト増幅特性の形状に依存すると考えられる。本事例では、H/V スペクトルのピークが明瞭であり、直線 A の事例に近いため、図-15 と図-16 では、図-15 の方が妥当ではないか

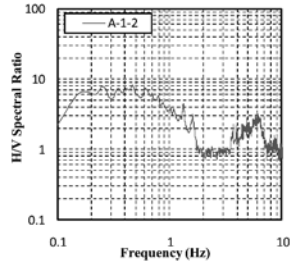
常時微動による地震動の差異の定量的評価の試み



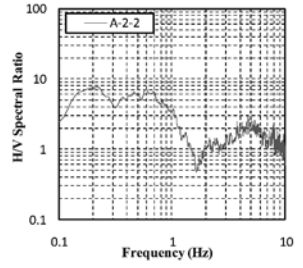
(a) A-1-1



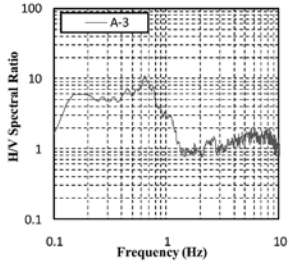
(b) A-2-1



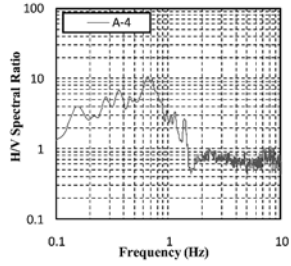
(c) A-1-2



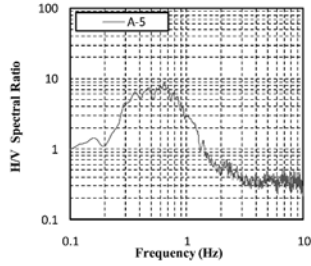
(d) A-2-2



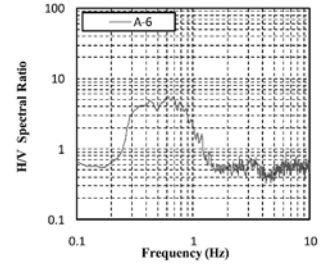
(e) A-3



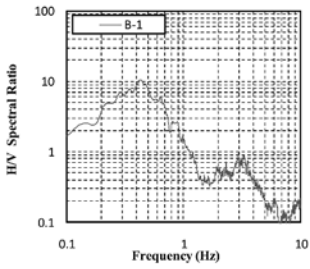
(f) A-4



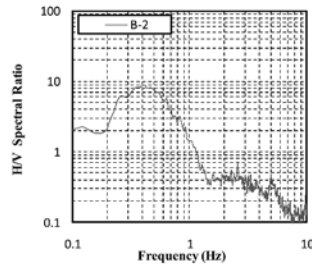
(g) A-5



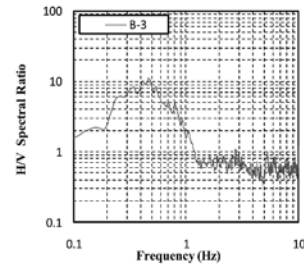
(h) A-6



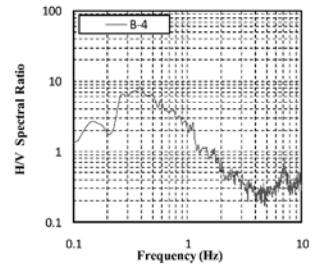
(i) B-1



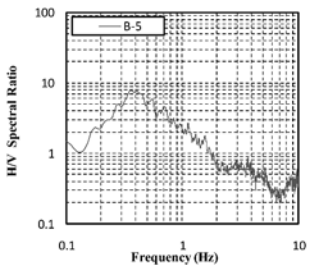
(j) B-2



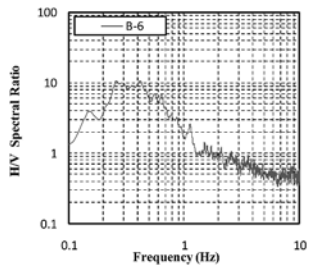
(k) B-3



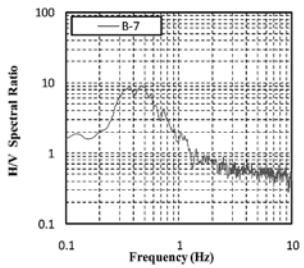
(l) B-4



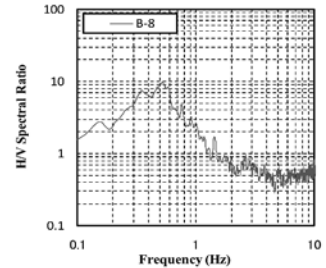
(m) B-5



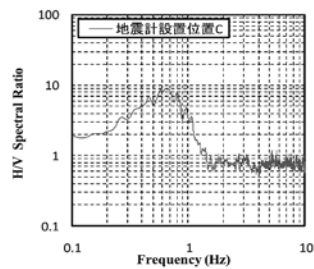
(n) B-6



(o) B-7



(p) B-8



(q) 地震計設置位置 C

図-14 境港における常時微動 H/V スペクトル

と考えられる。しかし、実際にはサイト増幅特性に応じた定量的な評価が難しく今後の課題である。しかしいずれにせよ、試算結果によると、常時微動計測地点で囲まれたほぼ 1km 四方のエリアのほぼ全ては、同一の地震動が作用すると考えられることが分かった。

## 5. 結論

本研究では、実際の地震観測地点と検討対象位置のずれに応じた地震動の差異の程度を評価する手法として、常時微動 H/V スペクトルを用いた手法を検討した。特に、現在の地震動の推定精度と比較することで、地震動が同一と見なすことが合理的な範囲を推定する手法を提案した。また、実際に鳥取県の境港において常時微動計測を実施し、提案手法による試算結果を示した。以下に、それらの結果から得られた知見を示す。

- 1)地震観測点で観測した地震動と、推定した地震動との2つの地震動の応答スペクトルの比による、地震動の差異の指標を提案した。また、地震動の推定結果から、ある既往の研究事例に限られるが、現在の地震動の推定精度を定量的に評価した。
- 2)推定地震動の差異と常時微動 H/V スペクトルのピーク振動数の差異の関係を示し、H/V スペクトルのピーク振動数のずれから地震動の差異を評価する手法を提案した。
- 3)境港で常時微動計測を実施した結果に提案手法を適用し、地震観測点と常時微動観測点における推定地震動の差異を試算した。その結果、境港の約 1km 四方の全エリアにおいて、ほぼ同一とみなせる地震動が作用すると考えられることが分かった。

なお、今後の課題として、本研究で提案した手法の妥当性は、多くのサイトでの高密度地震観測結果に基づいて検証していくことが必要である。そして、本論文における境港の事例は、比較検証すべき地震観測の密度についての参考になる。

## 参考文献

- 1) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法の改良—因果性を満足する地震波の生成—, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.3, pp.808-813, 2009.
- 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, pp.324-333, 2010.
- 3) 秦吉弥, 一井康二, 野津厚, 古川愛子, 常田賢一: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した 2009 年駿河湾の地震における東名高速道路盛土崩落地点での地震動の推定, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.4, 2010.

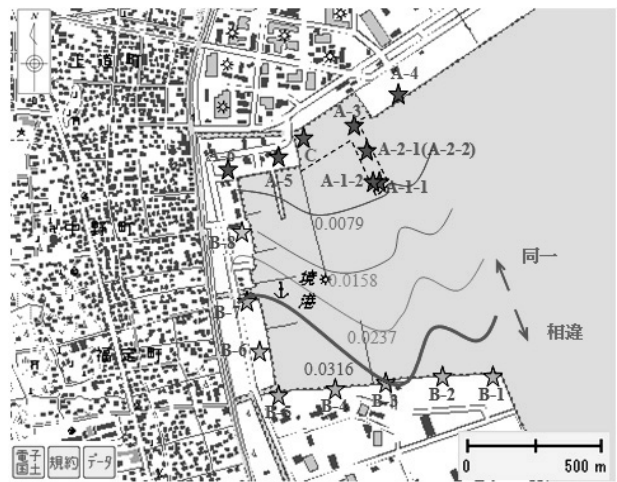


図-15 応答スペクトル比のずれ分布 (直線 A)

(国土地理院の電子国土 Web システムの配信データに追記)

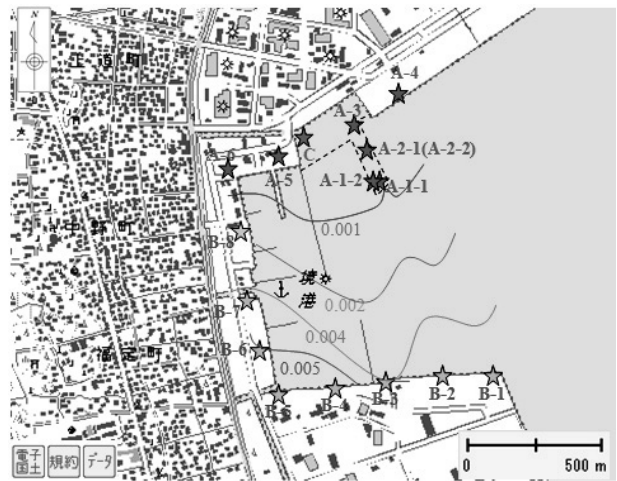


図-16 応答スペクトル比のずれ分布 (直線 B)

(国土地理院の電子国土 Web システムの配信データに追記)

- 4) 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.
- 5) 野津厚, 井合進, 一井康二, 沼田淳紀: ケーソン式岸壁の変形に寄与する地震動の振動数成分, レベル 2 地震に対する土構造物の耐震設計シンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp.311-318, 2000.

(2011 年 6 月 29 日 受付)