# 鬼首地域における地震動増幅の要因分析

山田 雅行1・長尾 毅2・野津 厚3

 <sup>1</sup>株式会社ニュージェック 技術開発グループ(〒531-0074大阪市北区本庄東2-3-20) E-mail: yamadams@newjec.co.jp
<sup>2</sup>神戸大学都市安全研究センター(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1) E-mail: nagao@people.kobe-u.ac.jp
<sup>3</sup>独立行政法人港湾空港技術研究所(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1) E-mail:nozu@pari.go.jp

比較的小さな盆地構造を有する鬼首地域において,臨時地震観測を実施し、サイト増幅特性の算定を 行い、一方で、常時微動観測(アレイ観測および単点H/V)を行い、地盤モデルの精度向上を図った.この 地盤モデルに対する2次元地震応答解析により得られた伝達関数を、観測から得られたサイト増幅特性、 一次元計算による伝達関数と比較した.

その結果,サイト増幅特性が伝達関数の平均~平均+標準偏差の間に対応していることがわかった. 入射方向,詳細な地盤構造,表層地盤の影響により生じるバラツキを勘案すると,良い対応といえる. 一方,小さい盆地構造を有する地盤のサイト増幅特性は,スペクトルインバージョンに用いる地震動の 入射方向などに影響を受ける可能性があることがわかった.

Key Words: site amplification factor, microtremor, transfer function, deep subsurface profile

## 1. はじめに

地震動は、震源特性、伝播経路特性に加えて、浅 部・深部地盤による地震動増幅特性に依存するため、 構造物の設計において考慮すべき地震動の評価にお いては、これら諸特性を最大振幅の形ではなく周波 数特性を考慮して評価すべきことが土木構造物の耐 震設計ガイドライン(案)<sup>1)</sup>に述べられている.筆者 はこれまでに、港湾構造物の耐震性能照査に用いる 入力地震動の合理化の観点から、これら諸特性を考 慮した地震ハザード解析などの検討を行っており<sup>2)</sup> <sup>~4)</sup>、深層地盤による地震動増幅特性(以下、サイ ト増幅特性)については、強震記録をもとにしたス ペクトルインヴァージョン<sup>5</sup>により評価している.

スペクトルインヴァージョンによるサイト増幅特 性の評価に関する問題点は,強震計の設置間隔が数 キロ〜数十キロメートル離れており,強震計の設置 されていない地点のサイト増幅特性の評価が困難な 点にある.強震計の設置されていない地点の地震動 や地震動の増幅特性を,主に常時微動 H/V スペク トル比を用いて,対象地点より離れた地点において 得られている強震記録などを用いて評価する試みも 見られる<sup>677</sup>.著者らも,常時微動 H/V スペクトル のピーク周波数・振幅について,ミディアムレスポ ンスを用いて表面波,実体波の波動成分の混入比等 の観点から解釈を行い、サイト増幅特性の経験的な 補正方法の提案を行っている<sup>899</sup>.

しかし,サイト増幅特性は,深い複雑な地盤構造 により,1次元の水平成層構造で説明できない特徴 を持つ場合がある.例えば,関東平野のような深い 堆積構造を有するサイトでは,そのサイト増幅特性 は1Hz以下の周波数帯域で明瞭なピークを有さな いことがある<sup>10</sup>.またその増幅倍率も,盆地構造に 対する斜め入射の角度に依存し,斜め入射の程度が 大きくなるほど増幅率が増加するため,1次元の増 幅倍率から説明される倍率よりも大きいと指摘され ている<sup>11)</sup>.同様に深い盆地構造の大阪平野でも,そ のサイト増幅特性が1次元の増幅倍率と一致しない ことが指摘されている<sup>12</sup>.

著者らは、前報<sup>13)14)</sup>において、大阪平野と釧路平 野を対象に、2次元有限要素解析において入射方向 *θ*を 10°~170°の間で変化させた伝達関数と、ス ペクトルインヴァージョン結果の比較を行っている。 前報<sup>13)14)</sup>では、スペクトルインヴァージョンによる 増幅特性が、スペクトルインヴァージョンに用いる 地震の入射方向によって、2次元有限要素解析の最 大値に近い値または平均値に近い値を示すことを明 らかにした(本研究における「入射方向」の定義は 後述する).



図-1 鬼首地域<sup>15)</sup>

このように、これまで大阪平野、釧路平野など規 模の大きな堆積構造に対して、サイト増幅特性と2 次元地震応答解析結果がよく一致することを示して きた.本研究では、規模の小さな盆地構造を有する 鬼首地域を対象に、サイト増幅特性が2次元地震応 答解析結果によって説明可能かどうかを検討するも のである.

## 2. 鬼首地域におけるサイト増幅特性

#### (1) 鬼首地域の概要

鬼首地域は、宮城県北西部の秋田県および岩手県 との県境付近に位置している.図-1には概略位置図 (左上)と電子国土による色別標高図<sup>15)</sup>を示す.

図-1には、駒澤ら<sup>16</sup>によって重力異常から求めら れたカルデラの位置を加筆している.これによると、 鬼首地域は、新旧2つのカルデラによって構成され た盆地構造を成しており、鬼首集落がある旧カルデ ラがより深い構造を有している.

#### (2) 鬼首地域におけるサイト増幅特性

2008 年岩手宮城内陸地震において, KiK-net 鳴子 では 20cm/s 弱の最大速度を記録したのに対し, K-NET 鳴子では約 70cm/s の最大速度を記録しており, この時, K-NET 鳴子では周期 3 秒程度の表面波が 強く励起されていることが知られている<sup>17)</sup>.

常設地震観測点であるK-NET鳴子およびKiK-net 鳴子のサイト増幅特性は、スペクトルインバージョ ン法<sup>5)18)</sup>によって算定されている.サイト増幅特性 の算出方法は以下のとおりである.

九州,中国・四国,近畿,中部,関東,東北・北 海道の6つのブロックにおける防災科学技術研究所 のK-NET<sup>19</sup>,KiK-net<sup>20</sup>および港湾地域強震観測<sup>21)</sup>の 観測記録を対象とした.K-NET 鳴子および KiK-net 鳴子が含まれる東北・北海道において,対象地点数



図-2 地震観測点位置<sup>15)</sup>

は696、対象地震数は318、対象記録数は11603であ る. 基準観測点は対象地点の中で、周波数毎に最も サイト増幅特性の小さい地点とした(ただし軟弱地 盤上の観測点を除く). スペクトルインバージョン 解析は2段階に分けて行った. 第一段階ではS波を含 む40秒間のデータから計算したフーリエスペクトル を対象とし、震源特性の分離を行った.このとき基 準観測点でのサイト増幅特性を1.0とした. 第二段 階では,震源特性を第一段階で得られたものに固定 し、後続位相を含む160秒間のデータから計算した フーリエスペクトルを対象に解析を行い、サイト増 幅特性の評価を行った.このように解析を二段階に 分けて行ったのは、基準観測点となるような堅固な 観測点であっても、40秒のデータから計算したフー リエスペクトルと160秒のデータから計算したフー リエスペクトルには若干の差があり、この差が震源 特性の評価に与える影響を避けるためである.また, 後続波の影響も加味したサイト増幅特性を得るため である. 分離された震源特性の低周波側のフラット レベルから地震モーメントを評価した値は, F-net<sup>22)</sup> のCMT解と概ね対応することから、ここで得られ たサイト増幅特性はほぼ地震基盤に対するものと考 えている.

図-2は、図-1の黒枠の中を詳細に示した電子国土 による地形図<sup>15)</sup>である.図中に、常設地震観測点の K-NET鳴子および臨時地震観測であるKMK, LOD, DAM, PAKの4地点の位置を示した.図-3に地震観 測状況を示す.この4地点において、スペクトルイ ンバージョン法ではなく,近傍の常設地震観測点の サイト増幅特性(スペクトルインバージョン法によ る)を、両者の同時記録のスペクトル比により補正 する方法を用いてサイト増幅特性の算定を行った (図-4)<sup>23)</sup>. なお, サイト増幅特性の補正に用いた地 震については、4章において述べる. 旧カルデラの 中央部に位置するK-NET、KMK、DAMは0.3~ 0.6Hzに50倍にも達する大きなピークを有し、旧カ ルデラの中心から少し離れた位置と考えられるLOD, PAKは10~20倍程度,旧カルデラからは遠く新カル デラの周縁部に位置するKiK-netは1Hz付近に5倍程 度のピークがある程度である.

#### 3. 鬼首地域の地盤モデル

鬼首地域の地盤モデルとして、(独)防災科学技術



図-3 地震観測状況



研究所により公開されている地震ハザードステーション(J-SHIS)<sup>24)</sup>による深部地盤情報を基礎モデルとして用いた.

このモデルに対して,鬼首周辺において,常時微 動観測(アレイ観測:7箇所および単点H/V:67点)を 行い,モデル化の精度向上を図った.常時微動観測 には,周期20秒までフラットな特性を有するサーボ 型速度計(Lennertz製,LE-3D/20s)とサーボ型加速度 計(白山工業製,JU210<sup>25</sup>)を併用した.常時微動H/V スペクトルの算出においては長周期の波動成分の影 響も考慮できるように,各観測地点について擾乱の 少ない163.84秒間のデータを3区間抽出し,その平 均値としている.水平成分は直交する2成分の二乗 平均の平方根とした.スペクトルの平滑化について は,長周期においてもピークを明瞭に判別できるよ うにする観点から水平成分,鉛直成分ともに0.05Hz のParzenウィンドウを用いている.

アレイ観測は、中心とほぼ正三角形となる円周上 の頂点の4点同時観測を基本とした.アレイ観測点 は、図-2の臨時地震観測点(4点)と図-1のA3,A4, A5の7箇所において実施した.各箇所において、ア レイサイズの異なる複数のアレイ観測を行った(表-1).極小アレイ(0.6m)はCCA法<sup>26)27)28</sup>,中、大アレ

表-1 アレイサイズ一覧

観測点	アレイサイズ(m)
KMK	20,50,100,173,346,500,3000,5190
LOD	0.6,20,50,116,200,500,1000
DAM	27,100,200
PAK	20,40,100
A3	0.6,50,100,200
A4	0.6,50,100,200
A5	0.6,50,100,200



イ(20m以上)は空間自己相関(SPAC)法<sup>29)</sup>を用いて位 相速度の算定を行った(詳細は付録に示す).

単点H/Vの算定を行った67地点のうち,アレイ観 測を行った7箇所の結果を図-5に示す. 横軸が周波

表-2 地盤モデル一覧

		-	-		,	/-		
		1層	2層	3層	4層	5層	6層	基盤
Vs(m/s)		170	460	650	1200	1500	2000	3500
Vp(km/s)		1.2	1.8	2.0	2.6	3.87	5.0	5.9
ρ(t	.f/m3)	1.80	1.95	2.15	2.25	2.35	2.40	2.60
	KMK	0	196	364	73	25	272	
	LOD	0	100	200	180	100	272	
ц	DAM	40	160	260	73	25	100	
н (m)	PAK	0	80	80	300	100	272	
	A3	10	20	50	150	100	270	
	A4	15	20	60	150	100	270	
	A5	15	85	170	180	100	270	

数(Hz),縦軸が常時微動H/Vスペクトル比を示す. 旧カルデラの中央部に位置するDAM,KMKは0.3Hz 付近に振幅10倍程度の大きなピークを有しているが, 新カルデラ内のA5~A3ではそれほどピークが明瞭 とは言えない.

本研究では、常時微動観測から得られた位相速度 およびH/Vスペクトル比を説明できるように、各層 の速度を固定し、層厚のみ(KMK,LOD, PAKは2層~ 6層, DAM,A3,A4,A5は1層~6層を対象)を修正する フォワードモデリングによって、J-SHISによるS波 速度構造(初期モデル)の修正を行った.表-2に常時 微動アレイによって推定したS波速度構造モデルを 示す.

#### 4. 2次元地震応答解析結果との比較

#### (1) 2次元地震応答解析結果

常時微動観測結果を用いて深部地盤構造を明らか にした鬼首地域に対して、盆地構造(東西断面)のモ デル化を行った(図-1の赤破線に沿った断面). 微動 アレイを行った位置(上記断面に投影した位置)にお ける各層の深度を合わせるように、モデル化を行っ た.図-6には、J-SHIS による初期モデルと微動によ る修正後のモデルを示す.2次元モデルでは、計算 条件の制約から Vs=170m/s 層をモデル化せず, 1~5 層が常時微動アレイによって推定した S 波速度構造 モデルの 2~6 層に対応する.2 次元モデルは微動 アレイにより推定した各層のS波速度構造を与えた 不均一モデルとすべての層に対して基盤物性を与え た均一モデルの2ケースのモデルを作成した. こ この モデルに対して、入射方向を変化させた SH 波, SV 波および表面波の計算を 2 次元 FEM を用いて行っ た.

伝達関数は、不均一モデルの結果/岩盤物性均一 モデルの結果によって表されるものと定義した.こ れは伝達関数を求める際に、モデル底面の入力損失 やモデル形状、境界の影響を考慮して、入力を定義 するためである.

2次元地震応答解析により得られた伝達関数を, 観測から得られたサイト増幅特性,一次元計算によ る伝達関数と比較して,図-7,図-8に示した.図中, ピンク線(サイト)は観測から求めたサイト増幅特性, 水色線(AVE)は各入射方向の伝達関数の平均値,緑



線(AVE+SIG),黄色線(AVE-SIG)はそれぞれ平均値 +標準偏差,平均値-標準偏差,紫線(1D)は一次元 地震応答解析による伝達関数を示す.背景の細線は, 入射方向 10~170°のそれぞれの場合の伝達関数を 示す.なお,入射方向は図-9のように定義し,図-7 は 10~170°の全方向の伝達関数の対数平均,図-8 は 110~160°の方向に限定して伝達関数の対数平 均を行ったものを示している.

0.3~0.6Hz に着目すると、図-7に比べて図-8の伝 達関数の平均値が、大きい値を示し、観測から得ら れたサイト増幅特性に近づく傾向を示すことがわか る.これは、入射方向によって、サイト増幅特性が 変わる可能性があることを示唆するものと考えられ る.

#### (2) サイト増幅特性との比較

K-NET のサイト増幅特性算定に用いた地震およ びその震央図をそれぞれ表-3,図-10に示す.K-NET のサイト増幅特性算定には、牡鹿半島付近に 震央がある入射方向 160° 前後の地震記録が多く用 いられていることがわかる.2次元地震応答解析に おいて、全入射方向の平均値よりも、サイト増幅特 性算定時に近い入射方向 110~160°に限定して平 均した値の方が、サイト増幅特性に近い値を示した ことに対応しているものと考えられる.また,図-11に示すように、地震ごとのサイト増幅特性は広 い周波数範囲で倍半分程度のバラツキを有している ことがわかる.2次元地震応答解析による入射方向 110~160°の伝達関数と地震観測から得られたサイ ト 増幅特性の比較において, サイト 増幅特性が 伝達 関数の平均~平均+標準偏差(σ)の間に対応してい ることの要因のひとつと考えられる.



図-7 2次元地震応答解析結果(10~170°全方向平均)



図-8 2次元地震応答解析結果(110~160°方向限定平均)



図-9 2次元地震応答解析における入射方向

地震 番号			発震	日日	寺			緯度	ŧ	経度	深さ	М	角度
No.1	1996	5	23	18	36	29.8	38	38.84	142	18.83	38.23	5.1	165
No.9	1996	8	11	5	39	45.43	38	53.23	140	38.84	9.36	4.5	135
No.85	1999	3	11	20	5	54.01	39	36.3	141	55.38	30.04	4.8	168
No.110	2000	2	11	16	8	36.31	39	1.39	140	54.23	10.88	4.9	161
No.171	2001	11	13	16	45	5.4	39	20.22	142	4.16	48.03	4.8	160
No.183	2002	2	13	18	54	47.67	38	45.96	141	8.48	8.63	3.9	168
No.189	2002	4	21	9	10	40.65	38	20.15	141	38.47	59.85	4.1	149
No.191	2002	5	6	17	12	4.12	38	27.95	142	9.08	40.39	5	163
No.210	2002	10	25	5	0	38.64	39	49.16	139	57.53	20.07	4.5	171
No.213	2002	11	4	4	14	44.21	38	50.26	142	7.93	43.70	4.8	161
No.216	2002	12	2	8	2	29.98	38	40.04	141	52.84	54.07	4.3	153
No.218	2002	12	5	0	50	41.99	38	42.64	142	19.07	40.09	5.3	164
No.219	2002	12	5	0	53	2.23	38	43.14	142	15.71	36.99	4.9	165
No.256	2003	7	26	0	13	8.25	38	26.07	141	9.85	11.55	5.6	169
No.258	2003	7	26	10	22	24.56	38	27.39	141	9.88	13.01	5.1	167
No.259	2003	7	26	16	56	44.53	38	30.02	141	11.37	12.04	5.5	168
No.260	2003	7	28	4	8	5.12	38	27.5	141	8.98	13.69	5.1	166

一方, 臨時観測点(KMK,LOD,DAM,PAK)のサイト 増幅特性算定に用いた地震およびその震央図をそれ ぞれ表-4,図-12に示す.2011年東北地方太平洋沖 地震後の 2011 年 10~12 月に観測したため、牡鹿半 島を中心としたに太平洋沖に震央を有するものが多 く見られる.これらの地震も上述の K-NET と同様 に入射方向は 160°前後となっていることがわかる. したがって、臨時観測点においても、2次元地震応 答解析結果のうち、入射方向 110~160° に限定し て平均した値の方が、サイト増幅特性に近い値を示 したことに対応しているものと考えられる. 例えば, DAM のサイト増幅特性算定は, K-NET との同時記 録のスペクトル比を用いて算定している.図-13に は地震ごとの DAM/K-NET のフーリエスペクトル比を 示す. 図-11と同様に、地震ごとのフーリエスペクト ル比は広い周波数範囲で倍半分程度のバラツキを有 していることから、算定された DAM におけるサイ ト増幅特性もバラツキを有しているものと推察され る. したがって、DAM におけるサイト増幅特性も、 2次元地震応答解析による入射方向 110~160°の伝 達関数の平均~平均+標準偏差(σ)の間に対応して いることは、十分に良い対応であるものと考えられ る.

以上のように、入射方向、詳細な地盤構造、表層 地盤の影響により生じるバラツキを勘案すると、地 震観測から得られたサイト増幅特性が、2次元地震 応答解析による入射方向110~160°の伝達関数の平 均~平均+標準偏差(σ)の間の値となっていること は、良い対応といっても過言ではないと考えられる. このように小さい盆地構造を有する地盤のサイト増 幅特性は、スペクトルインバージョンに用いる地震 動の入射方向などに影響を受ける可能性があること がわかった.





(a)地展相几													
地震 番号	発震日時							緯度		経度	深さ	м	角度
1	2011	10	31	22	18	15.13	38	20.24	141	46.7	16.30	3.6	172
2	2011	11	2	10	43	25.8	39	0.36	141	46.51	62.55	4.3	148
3	2011	11	10	1	5	4.32	38	19.49	142	7.05	38.33	4.1	165
4	2011	11	10	7	43	12.1	39	34.82	140	26.58	7.48	4.1	175
5	2011	11	17	17	34	31.88	38	48.44	142	2.18	46.89	4.7	159
6	2011	11	20	2	36	55.47	37	46.19	141	46.46	47.67	4.6	163
7	2011	11	20	10	23	40.78	36	42.64	140	35.29	8.99	5.3	178
8	2011	11	24	4	24	30.45	37	19.81	141	36.76	45.41	6.1	166
9	2011	11	24	19	25	33.75	41	45.02	142	53.24	43.21	6.2	174
10	2011	11	26	10	43	20.59	38	50.7	142	6.76	43.96	4.5	161
11	2011	11	29	3	53	31.5	38	37.69	141	55.78	48.25	4.4	157
12	2011	11	30	21	55	16.72	38	25.38	141	59.85	63.21	4	153
13	2011	12	2	9	50	29.41	38	11.13	141	46.53	55.89	4.6	155
14	2011	12	2	17	58	45.65	38	37.23	141	54.34	48.03	3.8	157
15	2011	12	3	13	16	38.24	38	53.07	141	58.77	49.52	4.4	157
16	2011	12	5	4	20	4.94	38	10.72	141	46.05	55.80	4.4	155

(b)同時記録
---------

整理 番号			発	震時			кмк	ROG	PAK	DAM	MYG 005	MYG H02	備考
1	2011	10	31	22	18	15.13	0		0	0	0	TICE	即時記録
2	2011	11	2	10	43	25.80	0	0	0	0	0	0	
3	2011	11	10	1	5	4.32	0	0	0	0	0		即時記録
4	2011	11	10	7	43	12.10	0	0	0	0			
5	2011	11	17	17	34	31.88	0	0		0		0	
6	2011	11	20	2	36	55.47	0	0		0	0		
7	2011	11	20	10	23	40.78	0	0		0			
8	2011	11	24	4	24	30.45	0	0		0	0	0	
9	2011	11	24	19	25	33.75	0	0		0			
10	2011	11	26	10	43	20.59	0	0		0	0		
11	2011	11	29	3	53	31.50	0	0		0	0	0	
12	2011	11	30	21	55	16.72	0	0		0	0	0	
13	2011	12	2	9	50	29.41	0	0		0	0	0	
14	2011	12	2	17	58	45.65	0	0		0	0		即時記録
15	2011	12	3	13	16	38.24	0	0		0	0	0	
16	2011	12	5	4	20	4 94	0			0	0	0	



# 図-13 DAM/K-NETのフーリエスペクトル比のバラツキ

# 5. おわりに

本研究では、比較的小さな盆地構造を有する鬼首 地域において、臨時地震観測を実施し、サイト増幅 特性の算定を行い、一方で、常時微動観測(単点H/V およびアレイ観測)を行い、地盤モデルの精度向上 を図った.この地盤モデルに対する2次元地震応答 解析により得られた伝達関数を、観測から得られた サイト増幅特性、一次元計算による伝達関数と比較 した.

その結果,サイト増幅特性が伝達関数の平均~平

均+標準偏差(σ)の間に対応していることがわかっ た.入射方向,詳細な地盤構造,表層地盤の影響に より生じるバラツキを勘案すると,良い対応といえ る.一方,小さい盆地構造を有する地盤のサイト増 幅特性は,スペクトルインバージョンに用いる地震 動の入射方向などに影響を受ける可能性があること がわかった.

謝辞:宮城県および大崎市には,臨時地震観測およ び常時微動観測の実施を快く受け入れていただきま した.ここに深く謝意を表します.また,K-NETお よびKiK-netの強震観測記録及び土質データについ ては独立行政法人防災科学技術研究所のホームペー ジ(http//:www.kik.bosai.go.jp)より入手しました.ま た,港湾地域強震観測のデータはホームページ (http://www.mlit.go.jp/kowan/kyosin/eq.htm)より入手可 能である.

## 付録 微動アレイによる位相速度の算定

常時微動アレイ観測をおこなった7箇所における 位相速度およびH/Vスペクトルのフィッティング結 果を示す.



**付録図-1** KMK地点の位相速度分散曲線(上)とH/Vスペ クトル(下)



**付録図-3** DAM地点の位相速度分散曲線(上)とH/Vスペ クトル(下)





frequency(Hz) 付録図-5 A3地点の位相速度分散曲線(上)とH/Vスペクト ル(下)



付録図-6 A4地点の位相速度分散曲線(上)とH/Vスペクト





**付録図-7** A5地点の位相速度分散曲線(上)とH/Vスペクト ル(下)

#### 参考文献

1) 土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会:土木構

造物の耐震設計ガイドライン(案)ー耐震基準作成 のための手引きー,2001.

- 長尾 毅,山田雅行,野津 厚:フーリエ振幅と群 遅延時間に着目した確率論的地震ハザード解析,土 木学会論文集,No.801,I-73, pp.141-158, 2005.
- 3) 野津 厚,山田雅行,長尾 毅:経験的サイト増幅・位相特性を考慮した盆地生成表面波のシミュレーションー九州地方のカルデラを例としてー,土木学会論文集A, Vol.62, No.4, pp.891-905, 2006.
- 4)長尾 毅,山田雅行,野津 厚:確率論的地震ハザ ード解析の適用ー八戸港,仙台塩釜港(塩釜港区)にお けるレベル1地震動,第12回日本地震工学シンポジ ウム,CD-ROM, 2006.
- 5) 岩田知孝,入倉孝次郎:観測された地震波から,震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を 分離する試み,地震2, Vol.39, No.4, pp.579-593, 1986.
- 6) 神山 眞, 松川忠司:常時微動 H/V スペクトルによ る地震動増幅スペクトルの一推定法, 土木学会第 61 回年次学術講演会, I-268, pp.535-536, 2006.
- 原田隆典,王 宏沢,斉藤将司:常時微動 H/V スペクトル比による地震動推定法とその検証例,地震工学論文集, pp.123-131, 2007.
- 8) 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, CD-ROM, 2010.
- 9)長尾 毅,山田雅行,野津 厚:常時微動 H/V スペ クトルを構成する波動成分に関する一解釈,土木学 会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.68, No.1, pp.48-62, 2012.
- 10)長尾 毅,山田雅行,野津 厚,諸星一信,小林哲 人,安中 正:微動 H/V を用いた東京港のサイト増 幅特性のグルーピング,地震工学論文集,pp.197-205, 2007.
- 増井大輔, 翠川三郎:工学的基盤での地震動にみられる深い地盤構造による増幅特性, 土木学会論文集A, Vol.62, No.2, pp.225-232, 2006.
- 12)長 郁夫, 鶴来雅人, 岩田知孝, 香川敬生: 大阪盆 地のサイト増幅特性-理論と実際の比較-, 地球惑 星科学関連学会合同大会予稿集(CD-ROM), S046-017, 2003.
- 13)長尾 毅,山田雅行,野津 厚:深い盆地構造にお けるサイト増幅特性に対する入射角の影響に関する 研究,構造工学論文集,Vol.54A, pp.247-255, 2008.
- 14)長尾 毅,山田雅行,野津 厚:深い盆地構造にお けるサイト増幅特性の2 D-FEM を用いた入射方向依 存性に関する研究 ~ 大阪平野と釧路平野の検討 ~, 応用力学論文集, Vol.12, pp.579-588, 2009.
- 15)国 土 地 理 院 : 電 子 国 土 Web.NEXT, http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/index.html, 2012.
- 16)駒澤正夫,村田泰章:栗駒地熱地域の重力解析,地 質調査所報告,第268号,pp.285-313,1988.
- 17)鈴木晴彦,山中浩明,元木健太郎,福元俊一,江藤 公信:地震記録と微動探査データを用いた鬼首地域 のS波速度構造モデルの推定,物理探査学会第121 回学術講演会論文集, pp.9-11, 2009.
- 18)野津 厚,長尾 毅,山田雅行:スペクトルインバ ージョンに基づく全国の強震観測地点におけるサイ

ト増幅特性とこれを利用した強震動評価事例,日本 地震工学会論文集,第7巻,第2号,pp.215-234, 2007.

- 19)Kinoshita, S.: Kyoshin Net (K-net), *Seim. Res. Lett.*, Vol. 69, pp.309-332, 1998.
- 20)Aoi, S., K. Obara, S. Hori, K. Kasahara, and Y. Okada: New strong-motion observation network: *KiK-net, Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 81, 329.
- 21)野津 厚, 菅野高弘:港湾地域強震観測年報(2007),港湾空港技術研究所資料 No.1184, 2008.
- 22)Fukuyama, E., M. Ishida, S. Hori, S. Sekiguchi and S. Watada: Broadband seismic observation conducted under the FREESIA Project, *Rep. Nat'l. Res. Inst. Earth Sci, Disas. Prev.* 57, 23-31, 1996.
- 23)土木学会構造工学委員会:2010 年制定 土木構造物 共通示方書Ⅱ(作用・荷重), p59, 2010.
- 24)(独)防災科学技術研究所:地震ハザードステーション J-SHIS, http://www.j-shis.bosai.go.jp/.
- 25)先名重樹,安達繁樹,安藤 浩,荒木恒彦,飯澤清

典,藤原広行:微動探査観測システムの開発,第115 回物理探査学会学術講演会講演論文集,pp.227-229, 2006.

- 26)Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki : A new method to determine phase velocities of Rayleigh waves from microseisms, Geophysics, 69, 1535-1551, 2004.
- 27)Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki : Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, J. Geophys. Res., 111, B09315, doi:10.1029/2005JB004235, 2006.
- 28)Tada, T., I. Cho, and Y. Shinozaki : New horizons in the utility of horizontal-motion microtremors, Proc. 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Center for Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2010.
- 29)Aki, K.: Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst., University of Tokyo, Vol. 35, pp.415–456, 1957.

## A STUDY ON SITE AMPLIFICATION FACTOR AT ONIKOBE AREA

### Masayuki YAMADA, Takashi NAGAO and Atsushi NOZU

The site amplification factor was evaluated with temporary seismic observation datum at Onikobe area that has relatively small basin subsurface structure. Microtremor measurements were carried out in order to evaluate deep subsurface profile using dispersion curves and horizontal-to-vertical (H/V) spectral ratio. The site amplification factor was compared with the transfer function calculated by two-dimensional seismic response analyses with different incident angles of seismic motion.

The site amplification factor was in between the average value and the average plus one standard deviation values of the transfer function calculated by two-dimensional analyses. It was regarded as comparatively good agreement considering the range of incident angles of seismic motions used in the calculations of the site amplification factor.