

2016年鳥取県中部地震の地震観測記録に基づく 大分平野の地震動増幅特性

吉見 雅行¹・林田 拓己²

¹ 正会員 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 (〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第7)
E-mail:yoshimi.m@aist.go.jp

² 建築研究所 国際地震工学センター (〒305-0802 茨城県つくば市立原 1 番地)
E-mail: takumi-h@kenken.go.jp

別府湾周辺に広帯域地震計 12 台を約 2 年間および大分平野および別府の低地に加速度強震計 9 台を 5 ヶ月間展開して連続観測を実施した。2016 年熊本地震の余震系列および日向灘での地震に加え、2016 年 10 月の鳥取県中部地震の地震動が観測された。鳥取県中部地震の観測地震動は、大分平野内にて顕著な長周期の揺れを伴うものであり、周期 1 秒以上の疑似速度応答スペクトル値の大きさは、本地域の基盤深度に定性的に対応する傾向が見いだされた。さらに、平野内観測点での微動アレイ観測を実施し観測点の特性を把握した。

Key Words: *Beppu sedimentary basin, long-period ground motion, site amplification*

1. はじめに

大分平野を含む別府湾周辺は、東西方向を長軸とする楕円形の東に開いた堆積盆地である。基盤震度は別府湾中央部で約 4,000m、陸域では別府湾南縁の大分平野北部で 3,000m に達する (由佐ほか, 1992; 広島ほか, 2002; 大分県, 2000, 2002)。基盤の上には、上部白亜系堆積岩の大野川層群、鮮新—中部更新統の碩南層群及び大分層群が載ると推定される (吉岡ほか, 1997)。微動アレイ探査 (宮越ほか, 2007; 吉見ほか, 2008; Yoshimi & Hayashida, 2016) に基づく推定では、大野川層群の S 波速度は 1,500m/s 程度、碩南層群はばらつきが多いものの概ね 500~1,000m/s 程度とされる。

大分平野では周期 1~10 秒の広い帯域で揺れやすく (岡田・鏡味, 1976; Mamura et al., 1984)、2000 年鳥取県西部地震の際には、平野内の観測点にて周期 5~10 秒の波が増幅した継続時間の長い地震動が観測され、堆積盆地の速度構造モデルを用いた差分法波動伝播解析により大分平野内 3 点の観測波形の特徴が概ね説明された (岩城ほか, 2008)。

2016 年 10 月 21 日に発生した鳥取県中部地震 (Mj6.6, Mw6.2) は、2000 年鳥取県西部地震 (Mj7.3, Mw6.6) よりも小規模な地震であるが、この地震でも大分平野には長周期地震動がもたらされた。地震発生時には、気象庁、自治体、防災科学技術研究所の定常観測点に加え、文部科学省委託研究「別府一万年山断層帯 (大分平野—由布

院断層帯東部) における重点的な調査観測」の一環として、多くの臨時地震観測点が別府湾周辺域および大分平野内に配置されており、地震記録が取得された。そこで、速度構造モデルの検証を目的に、臨時地震観測点で取得された地震記録を基に大分平野を中心とした別府湾周辺域の地震動増幅特性を調べるとともに、観測地点での微動アレイ探査を実施した。

2. 大分平野周辺における臨時地震観測

別府湾周辺域の臨時地震観測点を含む地震観測点分布を図 1 に、臨時観測点のうち平野内観測点の緯度経度情報を表 1 に示す。臨時地震観測点は、別府湾を取り巻く広帯域地震観測網 (BEP-NET: 設置期間 2014/9/3~2017/2/2) 12 点、大分平野および別府の低地に設置した強震観測網 (OITY-NET: 設置期間 2016/8/29-2017/2/7) 8 点、および大分製鉄所敷地に設置された産総研観測点 (AIST, 設置期間 2009/2~) 1 点である。観測機器は観測網毎に異なっており、BEP-NET: 広帯域速度計 (Trillium Compact 120s) と 24bit ロガー (白山工業社製, LS-8800)、OITY-NET: サーボ型加速度計 (アカシ製, V403BT) と 24bit ロガー (alab 製, AK002)、産総研観測点: サーボ型速度計 (東京測振製, VSE-355EI) と 24bit ロガー (白山工業社製, LS-8800) である。

これら臨時地震観測点のうち平野内観測点の稼働中に地震波形記録が得られた主な地震を表 2 に示す。およそ

5ヶ月間の観測期間中に、2016年熊本地震の余震、2016年鳥取県中部地震の本震および日向灘のやや深い地震（深さ55km）の地震動が記録された。

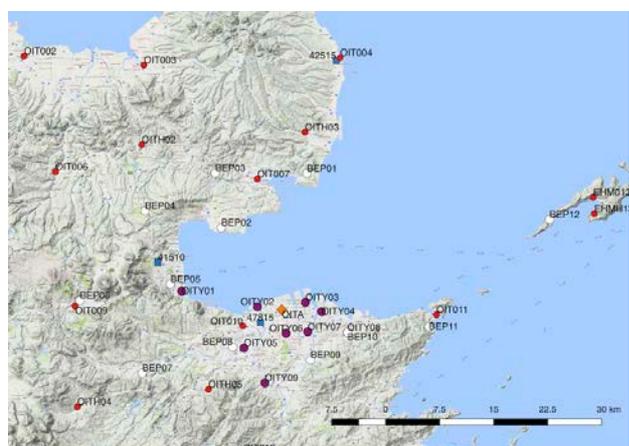


図1 地震観測網分布（赤丸：防災科研，青四角：気象庁・自治体震度計，白丸：OITY-NET，紫丸：BEP-NET，橙菱：産総研観測点）

表1 臨時地震観測点（OITY-NET）の緯度経度（観測期間：2016/08/29-2017/02/07）

名称	緯度	経度	メモ
OITY01	33.27532	131.50233	沖積低地
OITY02	33.25568	131.61490	沖積低地
OITY03	33.26133	131.68628	沖積低地
OITY04	33.24998	131.71018	沖積低地
OITY05	33.20430	131.59487	沖積低地
OITY06	33.22277	131.65763	台地，2016/9/17-2016/10/24 欠測
OITY07	33.22447	131.68967	沖積低地
OITY08	33.22377	131.74847	沖積低地，BEP10と同地点
OITY09	33.16055	131.62590	台地
AIST	33.251987	131.651158	埋立地

表2 OITY-NETで観測した主な地震の震源情報

発生時刻	震源緯度	震源経度	深さ(km)	M	震央地名
2016.8.31 19:46	32.72	130.62	13	5.2	熊本地方
2016.9.1 6:33	32.73	130.62	12	4.8	熊本地方
2016.9.7 1:56	32.74	130.63	13	3.9	熊本地方
2016.10.21 14:07	35.38	133.85	11	6.6	鳥取県中部
2016.10.22 3:33	32.78	131.94	55	4.4	大分県南部
2016.11.11 10:12	32.73	130.66	12	4.2	熊本地方
2017.1.11 19:11	32.90	130.86	9	3.4	熊本地方

3. 臨時地震観測網で記録された2016年鳥取県中部地震の地震動

(1) 地震記録の特徴

臨時地震観測網にて、2016年10月21日に発生した鳥取県中部地震（Mw6.2）の地震動が記録された（OITY06は欠測）。2000年鳥取県西部地震時に比べ、大分平野内における観測点数は3点（OIT010，気象庁，大分市の自治体震度計）から12点へと増加した（OITY08とBEP10は1点と数える）。図1の定常観測点のうち、OIT004，OIT013，EHM013，OITH02，OITH04，OIHT05では、2016年鳥取県中部地震の地震動記録は取得されていない。別府湾周辺の観測機器は、加速度計と速度計が混在しているが、ここでは全てを速度波形にして示す。加速度記録の数値積分に際しては、0.05-40Hzのバンドパスフィルターを施した。

BEP-NETの観測速度波形を図2に示す（時刻0は2016年10月21日14:08，図3も同様）。BEP-NET観測網のうちBEP02，BEP08観測点において、継続時間の長い波形が確認できる。BEP01，BEP05，BEP10，BEP11，BEP12観測点では長周期の波は顕著ではない。これらから、BEP02，BEP08は堆積盆地内に位置することが推定される。次に、OITY-NETおよび産総研観測点の速度波形を図3に示す。BEP-NETの波形に比べて、水平動の振幅が大きく、継続時間が長い。特に大分平野北部にあるAIST，OITY02，OITY03の3点では、平野内の他の観測点と比べても地震動の増幅が顕著である。OITY09の異常な上下動は機器の不調によるものである。このように、別府湾周辺の稠密な観測によって、別府湾周辺の地震動の違いが明らかとなった。

(2) 速度応答スペクトルの特徴

図4に速度応答スペクトルの比較を示す。OITY-NETおよび産総研観測点のスペクトルを実線で、BEP-NETのスペクトルを波線で示す。周期1秒以上の帯域に限ると、OITY02，OITY03，aistのスペクトルが大きく、特に、OITY02観測点の応答スペクトルは1秒以上の周期帯域で他の観測点のスペクトルを上回っている。卓越周期は、水平動では周期1～2秒帯域および周期4～6秒の2系統が確認できる。また、OITY02，03およびaistでは上下動に周期4秒の卓越が見られる。図3の時刻歴波形の時刻70～100秒付近の後続波に対応することから、周期4秒の波はレイリー波に対応するものと考えられる。

図5に周期2～6秒の速度応答スペクトル値の分布を示す。全体的に大分平野北部の観測点のスペクトル値が大きい。なお、周期4秒では別府湾北部の観測点（BEP02）においてEW成分のスペクトル値が大分平野北部と同等の値となっている。BEP02観測点付近は別府

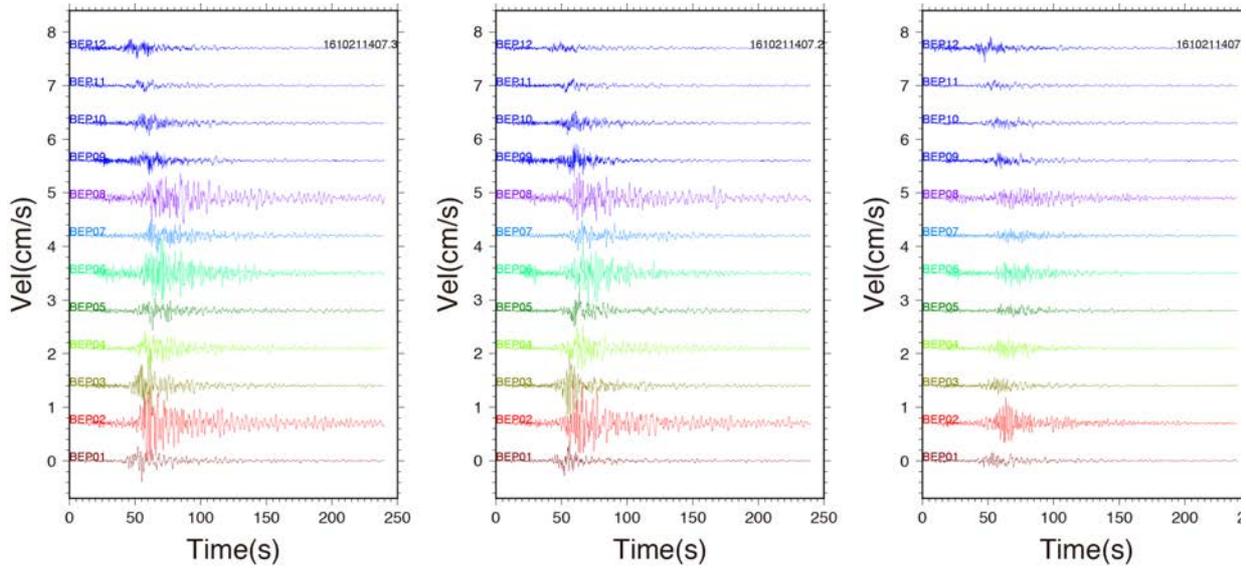


図2 別府湾周辺 BEP-NET 観測点で記録された 2016 年鳥取県中部地震の地震動 (左から, NS, EW, UD 成分)

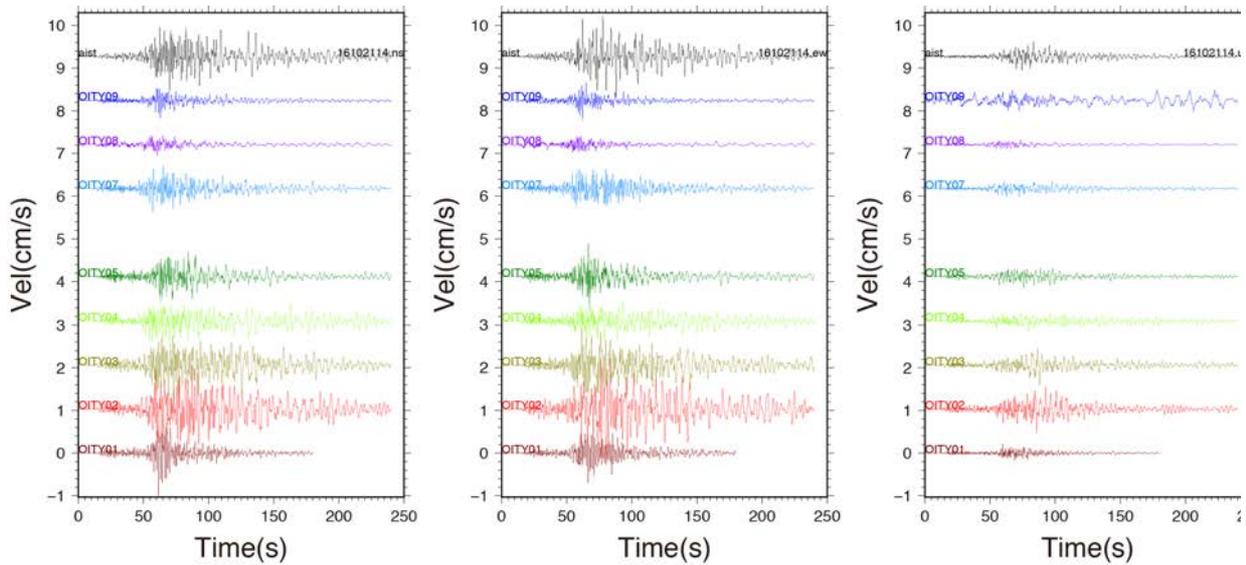


図3 大分平野および別府の観測点 (OITY-NET, 産総研観測点) で記録された 2016 年鳥取県中部地震の地震動 (左から, NS, EW, UD 成分)

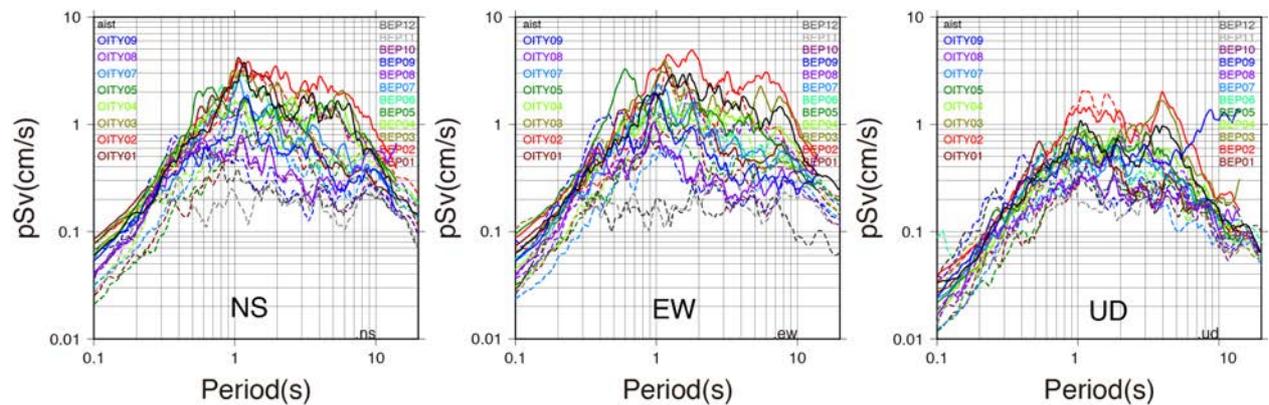


図4 BEP-NET, OITY-NET および産総研観測点で記録された波形の速度応答スペクトル (減衰 5%)

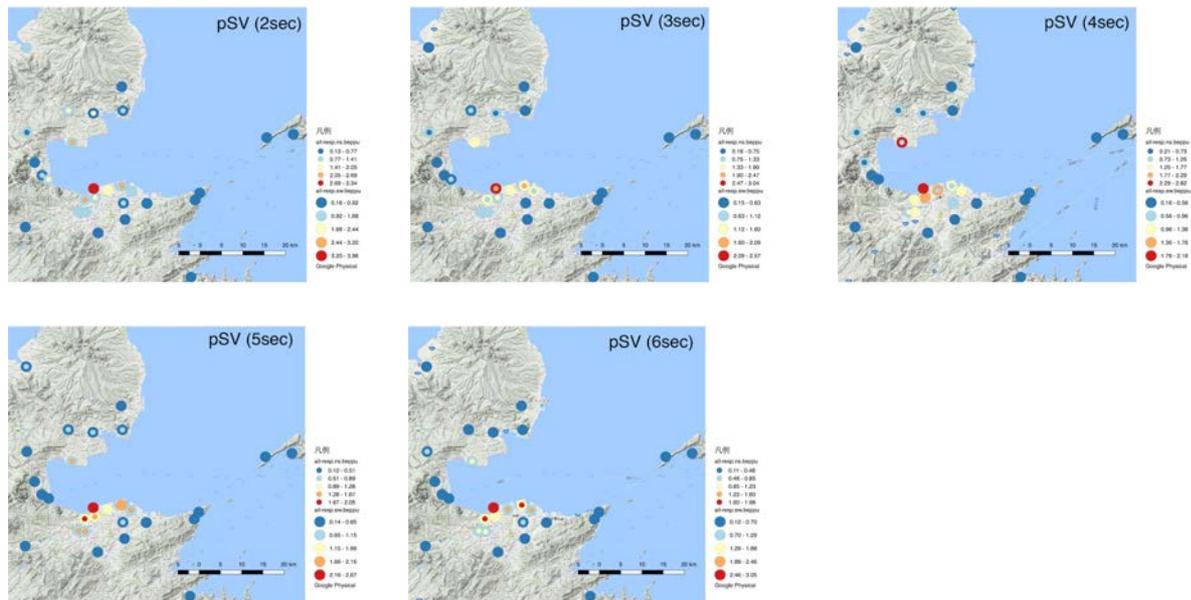


図5 周期毎のスペクトル値分布 (外側：EW成分，内側：NS成分)

堆積盆地内にあることが示唆される。なお、別府地域では、長周期地震動の卓越は見られない。

大分平野の地下構造は、平野北部で最も基盤深度が大きく南側ほど基盤深度が浅くなる。観測された地震動のうち周期1秒以上の帯域のスペクトル値は、平野北側の観測点ほど大きい傾向が見られ、基盤深度の大きさと定性的に対応する。

4. 平野内臨時観測点における微動アレイ探査

観測点直下の速度構造を把握するため、OITY-NET 全点にて3成分速度計（固有周期10秒，東京測振 SE-321）を用いた微動アレイ探査を行った。観測諸元を表4に示す。観測時間は、半径2mは15分間、半径4m、15m（OITY05は14m）は45分間、半径30m、60mは60分間とし、すべて200Hzサンプリングで記録した。地震計はすべて1chを磁北に合わせた。

観測データを10.24秒ずつ（2048サンプル）の区間に分割しBIDO2.0（Tadaほか，2007）を用いてSPAC法およびV法による解析を実施した。交通振動等によるノイズの大きい部分は解析には含めないよう、パワースペクトルの最頻値から外れるものは除外した。異なる半径での観測データを用いた解析結果を統合して連続性の良い部分を選択し、最終的な観測位相速度とした。これらを図6に示す。台地上の観測点（OITY06，OITY09）では高周波帯域の位相速度が他地点に比べて大きく、表層地盤の違いが見て取れる。低周波数帯域の位相速度は、OITY02，OITY03およびOITY01にて小さく、S波速度の小さい層が他地点に比べて厚いことが推察される。

表4 OITY-NET 観測点での微動アレイ観測半径一覧

名称	観測半径 (m)	観測日
OITY01	2, 4, 15, 30, 60m	2016/6/7, 8
OITY02	2, 4, 15, 30, 60m	2016/6/22
OITY03	2, 4, 15, 30, 60m	2016/6/8
OITY04	2, 4, 15, 30, 60m	2016/6/9
OITY05	2, 4, 14, 30, 60m	2016/6/22, 23
OITY06	2, 4, 15, 30, 60m	2016/6/9
OITY07	2, 4, 15, 30, 60m	2016/6/10
OITY08	2, 4, 15, 30, 60m	2016/6/20
OITY09	2, 4, 15, 30, 60m	2016/6/10

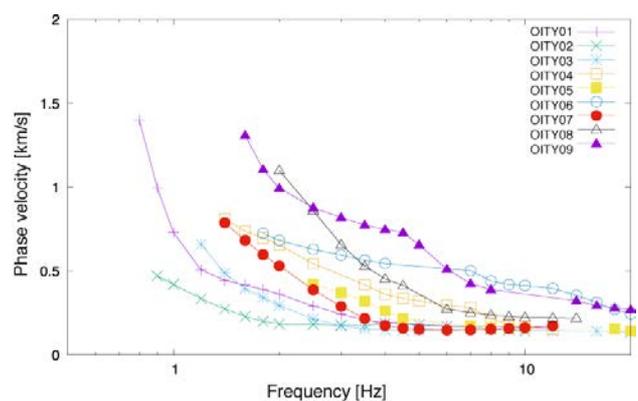


図6 OITY-NET 観測点における観測位相速度

5. まとめと今後の課題

別府湾周辺域に展開されていた臨時地震観測網において2016年鳥取県中部地震に伴う地震動記録が観測され

た。2000年鳥取県西部地震の際と同様に、別府湾周辺域には長周期地震動がもたらされた。大分平野域では、平野北部の地震動と平野南部の地震動に大きな違いが認められた。平野内観測点にて微動アレイ観測を実施した。

今後は、既往速度構造モデルおよび微動アレイ観測に基づく構造モデルを用いた増幅特性の検証を行うと共に、地震動シミュレーション等によって、3次元的な増幅の効果の検証を行っていく予定である。

謝辞：本研究で別府湾周辺の広帯域地震動観測（BEP-NET）および大分平野内強震観測（OITY-NET）は文部科学省委託研究「別府-万年山断層帯（大分平野-由布院断層帯東部）における重点的な調査研究」の一環として行われたものです。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松本徂夫：九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題,地質学論集,16,127-139, 1979.
- 2) 由佐悠紀・竹村恵二・北岡豪一・神山孝吉・堀江正治・中川一郎・小林芳正・久保寺章・須藤靖明・井川猛・浅田正陽：反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造,地震 2,45, 199-212, 1992.
- 3) 広島俊男・森尻理恵・駒澤正夫・牧野雅彦・村田泰章・名和一成：大分地域の重力異常について,地質調査研究報告,53,11-36, 2002.
- 4) 大分県：平成 11 年度地震関係基礎調査交付金「別府-万年山断層帯に関する調査成果報告書」, 2000.
- 5) 大分県：平成 13 年度地震関係基礎調査交付金「別府-万年山断層帯に関する調査成果報告書」, 2002.
- 6) 吉岡敏和・星住英夫・宮崎一博：大分地域の地質,地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所,65p, 1997.
- 7) 吉見雅行・吉田邦一・関口春子・堀川晴央・竿本英貴・松浦旅人：微動アレイ探査で推定した大分平野の S 波速度構造, 活断層・古地震研究報告, No.8, p.295-315, 2008.
- 8) Yoshimi, M. and T. Hayashida, Velocity structure survey in Beppu Bay basin, Japan, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, Paper ID 7.,2017.
- 9) 宮腰研・山本容維・凌甦群・岩田知孝, 微動アレイ観測による大分平野の地下構造調査, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S150-P005, 2007.
- 10) 岩城麻子・岩田知孝・関口春子・浅野公之・吉見雅行・鈴木晴彦：大分平野における想定南海地震による長周期地震動のシミュレーション, 地震, 第 2 輯, 161-173, 2009.
- 11) 岡田成幸・鏡味洋史：日本各地におけるやや長周期の地盤特性の定量評価の試み,日本建築学会論文報告集,29-38,1976.
- 12) Mamula, Lj., Kudo, K. and Shima, E. : Distribution of Ground-Motion Amplification Factors as a Function of Period (3-15 sec), Bull. Earthq. Res. Inst. Univ Tokyo, 467-500, 1984.
- 13) 吉見ほか：3.3 断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究, 別府-万年山断層帯（大分平野-由布院断層帯東部）における重点的な調査観測報告書, 文部科学省, 2017.

SITE AMPLIFICATION OF THE OITA PLAIN OBSERVED DURING THE 2016 TOTTORI CHUBU EARTHQUAKE

Masayuki YOSHIMI and Takumi HAYASHIDA

Long period ground motion was observed around Beppu Bay basin during the 2016 Tottori-ken Chubu earthquake (Mj6.6, Mw6.2) with temporal seismic station deployed on the Oita plain and Beppu area in addition to permanent seismic stations operated by NIED, JMA, Oita prefecture. Spacial distribution of the velocity response spectra for longer period (2-6 sec.) roughly agree with the distribution of the depth of the basement of the Beppu Bay basin. Microtremor array survey was conducted at the temporally stations to detect the subsurface velocity structure.