

2016 年鳥取県中部の地震の 臨時余震観測点とその記録を用いた強震動評価

吉田 昌平¹・香川 敬生²・野口 竜也³

¹ 学生会員 鳥取大学大学院工学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南四丁目 101 番地)

E-mail: D16T4003B@edu.tottori-u.ac.jp

² 正会員 鳥取大学 大学院工学研究科 教授 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南四丁目 101 番地)

E-mail: kagawa@cv.tottori-u.ac.jp

³ 正会員 鳥取大学 大学院工学研究科 助教 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南四丁目 101 番地)

E-mail: noguchit@cv.tottori-u.ac.jp

2016 年 10 月 21 日に鳥取県中部を震源として $M_j 6.6$ の地震が発生した。この地震により鳥取県内の 3 観測点で最大震度 6 弱を記録した。この地震による建物被害は局所的であり、被害要因を検討することを目的として、本震発生後に建物被害の集中地域を中心として計 9 点の臨時余震観測点を配置した。本検討では、臨時余震観測点で得られた記録を要素波として、経験的グリーン関数法による強震動シミュレーションから臨時余震観測点での本震波形の再現を試みた。その結果、建物被害が集中する地域は、地震動の振幅及び応答スペクトルの周期 0.4-1.0 秒程度の建物家屋に影響する周期帯が特に大きくなり、被害状況と概ね対応する結果となった。これらの情報は、今後の地震防災や減災において極めて重要な情報になると考える。

Key Words: 2016 central Tottori earthquake, aftershock observation, strong motion simulation, empirical green's function method

1. はじめに

2016 年 10 月 21 日に、鳥取県中部を震源として $M_j 6.6$ ($M_w 6.2$) の地震が発生し、鳥取県内の倉吉市、北栄町、湯梨浜町の 3 観測点で最大震度 6 弱を記録した。特に(国研)防災科学技術研究所(以下、NIED)の TTR005(倉吉)¹⁾では、1400gal 程度の強い揺れが観測された。NIED の F-NET²⁾のモーメントテンソル解によると、この地震は、北北西-南南東方向に走向を持つ鉛直横ずれ断層であり、従来知られている活断層ではなく未知の活断層が活動したことで生じた地震であった。

この地震により全壊した建物家屋は 18 棟と少ないものの、半壊または一部損壊は 15000 棟³⁾を超えており、広範囲で強い揺れが生じたことが示唆される。また倒壊家屋は、北栄町の一部に集中⁴⁾しており、筆者らは原因解明のために臨時余震観測や常時微動観測など精力な調査を実施した。北栄町の一部を含む建物家屋の被害地域は、自治体震度観測点や K-NET, KiK-net (NIED) などの常設観測点が周辺に無いため、十分な強震動評価が実

施できていない。また、Kagawa *et al.*⁵⁾によると、沿岸部に位置する震度観測点(北栄町土下、湯梨浜町龍島)では、軟弱地盤に起因した非線形挙動の影響で地震動が長周期化したことを確認しており、地盤構造の影響を含めた強震動評価の重要性が示されている。

地震調査研究推進本部⁶⁾は、2016 年 7 月に活断層が明瞭ではない中国地方北部の活断層の長期評価を実施し、 $M 6.8$ 以上の地震の 30 年以内の発生確率を 40%に引き上げており、今後も当該地域で大規模地震の発生が危惧される。そのため、当該地震で生じた建物家屋の被害要因を検討することは非常に有意義であり、被害地域で適切に強震動を再現し、強震動評価を実施できれば今後の地震防災や減災の観点から極めて重要な情報になると考える。

そこで本検討では、建物家屋の被害原因を解明することを目的として、本震後に被害地域を中心に設置した臨時余震観測点で得られた余震記録を基に特性化震源モデルを構築し、経験的グリーン関数法^{7,8)}を用いた強震動シミュレーションの結果から、被害要因を含めた強震動

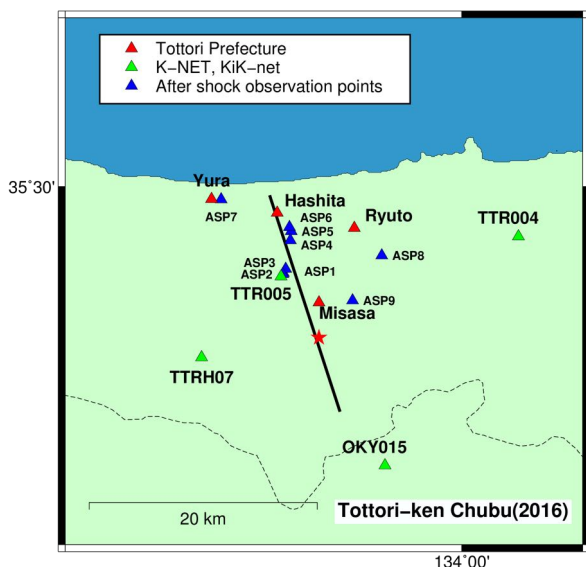


図-1 余震観測点および常設観測点(自治体震度観測点, NIED)
黒線:震源インバージョンによる震源断層⁹⁾, 赤星:破壊開始点

特性を検討した。

2. 臨時余震観測

図-1 に臨時余震観測点 (ASP1-ASP9), 震源断層周辺の常設観測点の位置を示す。なお, 震源断層 (黒線) は NIED の震源インバージョンの結果⁹⁾, 破壊開始点 (赤星) は気象庁の結果を各々示している。臨時余震観測は, 倉吉市, 北栄町, 湯梨浜町, 三朝町を中心に計 9 点を配置した。各地域の臨時余震観測点の設置箇所の詳細地図を図-2,3,4 に示す。倉吉市街地 (図-2) では, TTR005 から北側の河川に向かって 3 点 (ASP1-3) を設置した。TTR005 は古第三紀以前の流紋岩が表層付近にある硬質な丘陵地に設置されているのに対して, 白壁土蔵群等が位置する北側の市街地は完新世の礫・砂および泥等の堆積層が比較的厚く¹⁰⁾, 地盤構造の違いに起因して地震動の強さが場所によって異なった可能性が示唆される。周辺の被害状況としては, 倒壊した建物家屋は少ないものの, 写真 1-(a), (c) に示すような壁面の剥離や瓦の落下等, 多くの建物家屋が被害を受けていた。また, 写真 1-(b) に示すような墓石の転倒および落下, 写真 1-(d) の体育館のコンクリート基礎の損傷等も見られ, この地域一帯に強い地震動が作用したと考えられる。

倉吉市北部 (図-3) は, 野口ほか¹¹⁾の常時微動観測による卓越周期分布を参考に, 地盤の卓越周期の急変部に臨時余震観測点を 3 点 (ASP4-6) 設置した。具体的には,

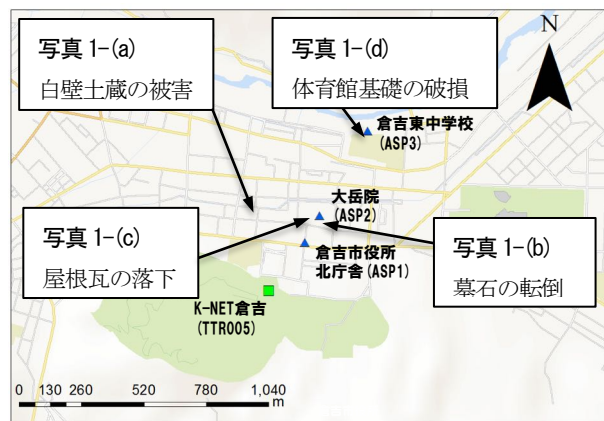


図-2 倉吉市 TTR005 付近の臨時余震観測点の詳細図

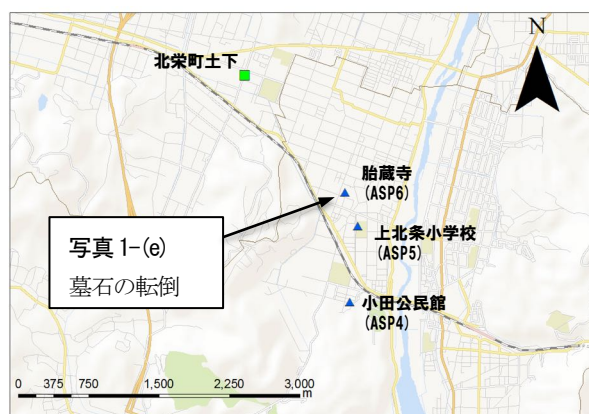


図-3 倉吉市北部の臨時余震観測点の詳細図

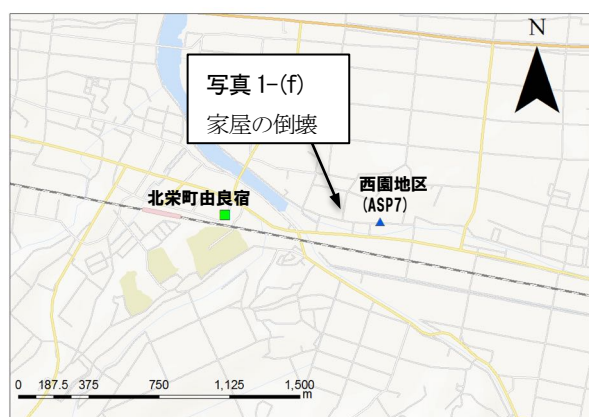


図-4 北栄町の臨時余震観測点の詳細図

倉吉市街地の卓越周期 0.4 秒程度に対して, 日本海沿岸部は卓越周期 1.0-1.5 秒程度で, 沿岸部に向けて卓越周期は長くなる。これは更新世および完新世の堆積層の層厚の違いを反映していると考えられる。TTR005 と北栄町土下観測点は, 同じ震度 (Int=5.8) の強震波形を記録しているが, TTR005 は短周期帯域 (0.1-0.3 秒程度), 北栄町土下は中間周期帯 (1.0-2.0 秒) が各々卓越することから, 地震動特性の違いは各々の地盤構造を反映している



(a) 白壁土蔵の被害



(b) 大岳院の墓石の転倒



(c) 民家の被害(屋根瓦の落下)



(d) 東中学校体育館の基礎の破壊



(e) 胎蔵寺の墓石の転倒



(f) 西園地区の家屋の倒壊

写真-1 鳥取健中部の地震の臨時余震観測点周辺における被害

可能性が考えられる。したがって、地盤構造の違いに起因した地震動特性の違いを把握することを目的として、卓越周期の急変する南北ラインに臨時余震観測点を配置した。この地域も倉吉市街地と同様に、一部の建物家屋に瓦の落下や建物の損傷が見られ、また写真 1-(e) に示すように、多くの墓石が転倒および落下していることから、この地域一帯にも強い地震動が作用したと考えられる。

北栄町西園地区は、写真 1-(f) に示すような全壊および大破した建物家屋が多く見られる地域であり、被害要因の解明のために、臨時余震観測点を 1 点 (ASP7) 設置した。西園地区の近隣に位置する北栄町由良宿 (図-4) では、過去に微動アレイ観測¹²⁾がなされており、S 波速度が 100m/s 程度の完新世の軟弱層が 4m と薄く、本震時の建物被害も一部に軽微な被害が生じた程度であった¹³⁾。この地域周辺は、微動による地盤の卓越周期が急激に変化する地域¹¹⁾であり、西園地区は被害状況の明瞭な違いから、地盤構造の違いに起因して由良宿と異なる地震動特性を有していた可能性が考えられる。

湯梨浜町では、各震度観測点のサイト増幅特性を計算するために設けた基準点として、基盤の露出した東郷ダム (ASP8) に設置した。ここでは堆積層に起因したサイト増幅特性の影響はほとんどないと推測される。三朝町には、自治体震度観測点 (Misasa) より東側にある三

朝町温泉街 (ASP9) に設置した。自治体震度観測点は、倉吉平野の一部に位置しているのに対し、ASP9 はより東の山奥であるため、堆積層に起因したサイト増幅の影響は極めて小さいと考える。ASP9 周辺も倒壊家屋はないものの、一部の建物家屋に瓦の落下や建物家屋の損傷などが見られた地域である。

臨時余震観測に用いた観測機器は、加速度型微動計 JU410 (白山工業製) で、サンプリング周波数は 100Hz、増幅率は ASP8 の 10 倍を除いて全て 2 倍とした。観測方向は NS, EW, UD の 3 成分とし、トリガーは設定せず常時観測を継続するシステムとした。観測開始日時は観測点毎に異なっており、ASP1-2 が 2016 年 10 月 21 日、ASP3-7 が 10 月 22 日、ASP8 が 10 月 23 日、ASP9 が 10 月 27 日であり、いずれの観測点も 2016 年 12 月 7 日まで観測を継続した。

3. 特性化震源モデル

(1) 経験的グリーン関数に用いる要素地震

本研究では、経験的グリーン関数法^{7,8)}を用いた強震動シミュレーションを実施する。この手法は、本震の震源近傍で発生し、かつ類似した震源メカニズムの小地震を経験的グリーン関数として適切に選定できれば、伝播

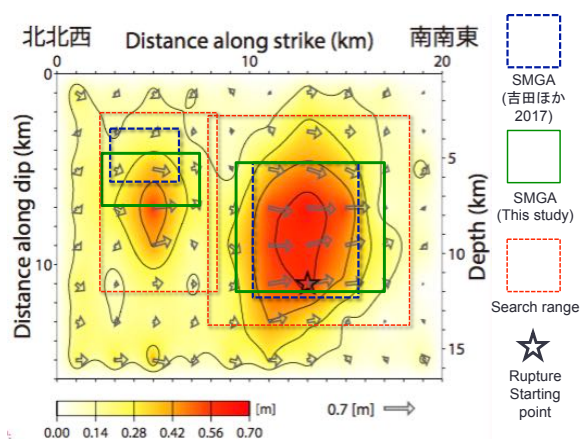


図-5 推定した鳥取県中部の地震の最適特性化震源モデルと既往のモデル¹⁴⁾との比較（NIEDの震源インバージョン結果⁹⁾に加筆）

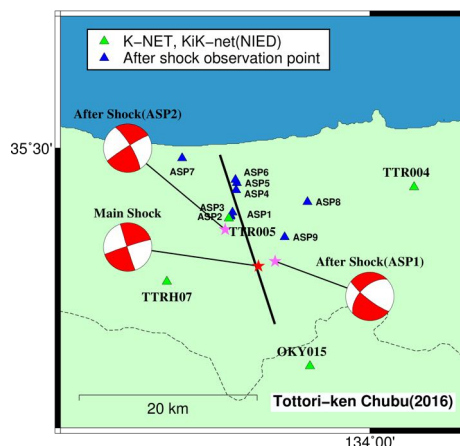


図-6 解析に用いた観測点と要素地震に用いた余震の震源位置と震源インバージョンによる震源断層⁹⁾の地表面投影（黒線）

表-1 各地震の諸元

	本震	余震1 (SMGA1)	余震2 (SMGA2)
発生日時*	2017/10/21 14:07	2016/11/17 21:42	2016/11/08 17:17
震央位置*	38. 3805 133. 8562	35. 3863 133. 8828	35. 4177 133. 8272
震源深さ (km)*	11	8. 34	10. 52
Mo (Nm)**	2. 24E+18	4. 38E+14	4. 41E+14
Mw**	6. 2	3. 7	3. 7
走向/傾斜/すべり角 (deg.)**	162/88/9	128/78/-35	128/87/-1

*: 気象庁, **: F-NET

経路特性およびサイト増幅特性が大地震と小地震で同じと想定できるため、本震時の強震動波形は震源断層の破壊進行のみで合成できる。すなわち、経験的グリーン関数の選択は予測地震動の精度に大きく寄与するため、慎重に適切な地震動を選択する必要がある。

吉田ほか¹⁴⁾は、NIEDのK-NET、KiK-net（地中）、自治体震度観測点、鳥取大学常設観測点（高辻）の震源近傍の観測点で得られた地震記録を基に、経験的グリーン関数法⁷⁸⁾のフォワードモデリングにより、特性化震源モデルを構築している。その結果、破壊開始点付近と破壊開始点北側の2つの強震動生成域（SMGA）を配置（図-5）することで、観測された強震動波形および周期特性を表現できることを示した。しかし、SMGAは本震前に発生した前震（2016年10月21日12時12分）の記録を経験的グリーン関数として推定されているため、前震記録が収集されていない臨時余震観測点では、直接強震動シミュレーションを実施できない。そこで、余震観測期間中に得られた記録を要素地震として、既往の特性化震源モデル¹⁴⁾を再調整し、臨時余震観測点の強震動シミュレーションを実施した。

本検討では、2つのSMGAに別々の要素波を与えた。

破壊開始点付近にあるSMGA（以下、SMGA1）の要素波は、2016年11月17日21時42分に発生した地震（ M_j 3.8）を用いた。この地震は、本震震源より2km程度東側を震源に発生した地震（図-6）で、震源メカニズムは本震と概ね類似している。破壊開始点北側にあるSMGA（以下、SMGA2）には、2016年11月8日17時17分に発生した地震を用いた。この地震も同様に震源メカニズムが本震と類似しており、SMGA2付近で発生した地震（図-6）である。表-1に本検討で用いた経験的グリーン関数法の要素波の気象庁一元化震源およびF-NETで得られている諸元をまとめる。

解析手順としては、まず震源近傍に設置されているNIEDのK-NET及びKiK-net（地中）4点（図-6）で、本震時の強震動波形と最も良く対応するように、既往の特性化震源モデル¹⁴⁾を調整する。要素地震を変えたことで応力降下量比や重ね合わせ数、小地震の断層面積などが変化するため、最適な特性化震源モデルを再度調整する必要がある。調整に用いる観測点は、常時微動観測¹²⁾の結果から硬質な地盤であると判断でき、本震時の非線形の影響は極めて小さかったと推測される。本震波形を十分に再現できるように特性化震源モデルを調整した後に、

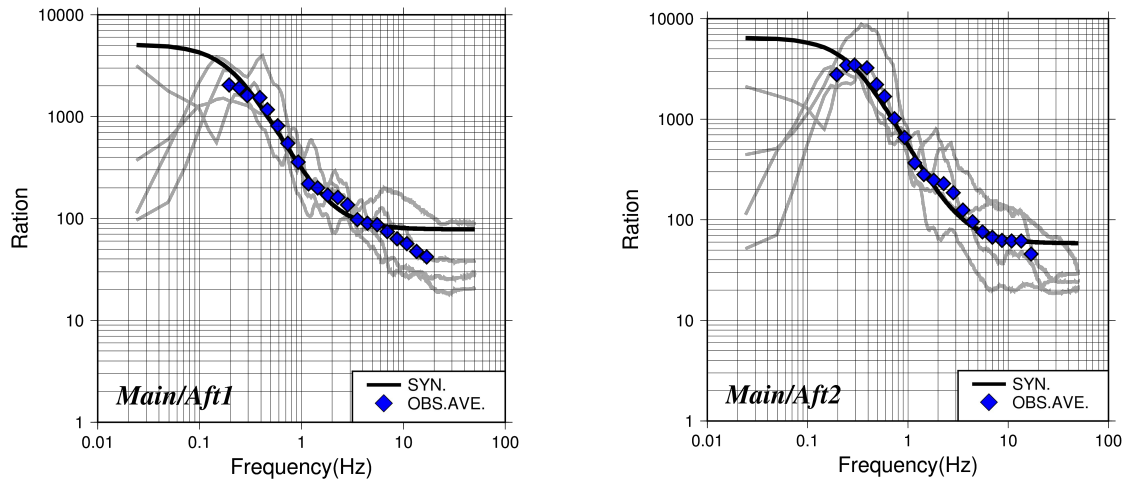


図-7 観測震源スペクトル比と理論震源スペクトル比のフィッティング(左：本震/余震1，右：本震/余震2)

表-2 震源スペクトル比のフィッティングにより算定した諸量

	余震1 (SMGA1)	余震2 (SMGA2)
地震モーメント比	5114	6455
コーナー周波数(大地震) [Hz]	0.22	0.29
コーナー周波数(小地震) [Hz]	1.78	3.05
応力降下量比	10	10
重ね合わせ数	8	6
小地震の断層面積*	1.66(≒1.3×1.3)	0.56(≒0.7×0.7)
小地震の応力降下量*	0.49	1.95

*：円形クラックモデルを仮定したBruneの式¹⁷⁾¹⁸⁾により算出

表-3 SMGA のグリッドサーチの探索範囲

	グリッド数 (長さ方向)	グリッド数 (幅方向)	ライズタイム (sec)	応力降下量比
SMGA1	4-6	4-6	0.2-0.5	5-15
SMGA2	4-8	4-8	0.2-0.5	1-10.0
Interval	1	1	0.1	0.5

臨時余震観測点の強震動シミュレーションを実施する。

応力降下量比や重ね合わせ数，コーナー周波数等の震源モデルの必要な諸量は，観測震源スペクトル比と理論震源スペクトル比 (ω^{-2} 則比) のフィッティング¹⁵⁾により算定した。震源スペクトルを算出する際の伝播経路特性の非弾性減衰は天池ほか¹⁶⁾ ($Q=57Q^{0.95}$) の値を用いて補正した。震源域の S 波速度と密度は，既往の研究¹⁴⁾を参考に 3.5km/s, 2.8g/cm³ と仮定した。地震モーメント比は，小地震の低周波数側の精度が落ちるため，F-net の値を用いて固定値としている。小地震の応力降下量と断層面積は，コーナー周波数から円形クラックを仮定した Brune¹⁷⁾¹⁸⁾ の式より評価した。本震と余震の震源スペクトル比のフィッティングを図-7，得られたパラメータを表-2 にまとめる。対象周波数帯は，図-7 に示す震源スペクトル比から小地震の低周波数側の SN 比を考慮して 0.2-10Hz とした。

(2) 特性化震源モデルの再評価

特性化震源モデルの最適な震源パラメーター (SMGA の位置，サイズ，立ち上がり時間など) は，一意に決定することができないため，グリッドサーチによる最適パラメーターの探索を実施した。既往の研究¹⁴⁾と同様，地震動は SMGA から生成されるものが支配的で，背景領域以外の寄与はないものとした。また破壊伝播速度は，既往のモデル¹⁴⁾を参考に 2.5km/s とし，破壊は破壊開始点から同心円状に広がると仮定した。グリッドサーチによる観測波と合成波の一致度の照査は，(1)式に示される水平 2 成分の観測波と合成波の残差値 R ^(例えば15)により評価した。

$$R = \sum_{station} \sum_{component} \left[\frac{\sum_i (a_{env,obs} - a_{env,syn})^2}{\{(\sum_i a_{env,obs}^2)(\sum_i a_{env,syn}^2)\}^{1/2}} + \frac{\sum_i (u_{obs} - u_{syn})^2}{\{(\sum_i u_{obs}^2)(\sum_i u_{syn}^2)\}^{1/2}} \right] \quad (1)$$

表4 グリッドサーチにより算定した震源パラメーター

	SMGA1	SMGA2
長さ (km)	6.5	5.6
幅 (km)	7.8	2.8
面積 (km ²)	50.7	15.7
合計面積 (km ²)	66.4	
地震モーメント (Nm)*	1.01E+18	1.99E+17
応力降下量 (Mpa)	6.9	7.8
ライズタイム (sec)	0.3	0.5

*: 円形クラックモデルを仮定した Eshelby¹⁹⁾の式により算定

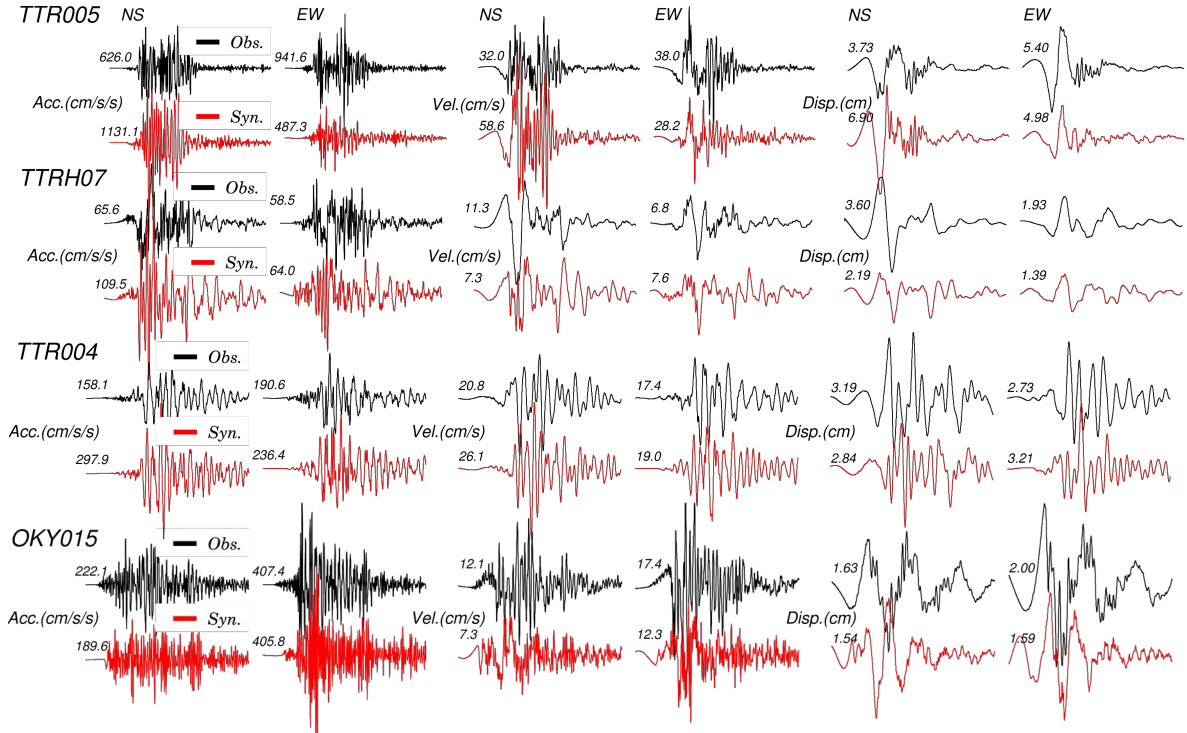


図-7 観測波形と合成波形の比較(左：加速度波形，中：速度波形，右：変位波形)

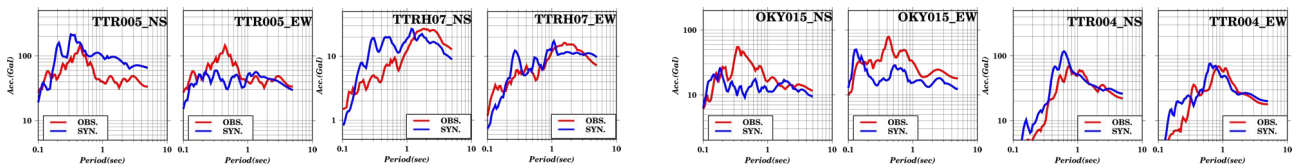


図-8 減衰 5%の水平成分の相対速度応答スペクトルの観測値と計算値の比較

ここに、 u 、 a_{env} は変位波形と加速度エンベロップ（バンド幅 0.4 秒で移動平均した値）で、 obs と syn は観測値と計算値を示している。 t は時間の総サンプル数、 $componet$ は成分の数（ここでは2成分）、 $station$ は観測点数（ここでは4点）を示している。すなわち、加速度エンベロップが高周波数帯域、変位波形が低周波数領域の一致度を評価するため、残差値 R が小さければ広帯域で再現精度が高いことを示す。また、残差値 R とは別に加速度応答スペクトルを算出し、観測と合成の加速

度応答スペクトル比から周期特性の一致度を目視で確認している。

グリッドサーチの手順として、まず SMGA1 の最適パラメーターを算出した。探索範囲は図-5 に示すように SMGA を含むやや大きな領域（図中、赤線）内とし、表-3 に示す値を変数として最適値を求めた。グリッドサイズは要素地震の断層面積の一定値とし、長さ方向と幅方向にグリッド数を変化させて探索を実施した。SMGA1 の応力降下量比は、震源スペクトルのフィッテ

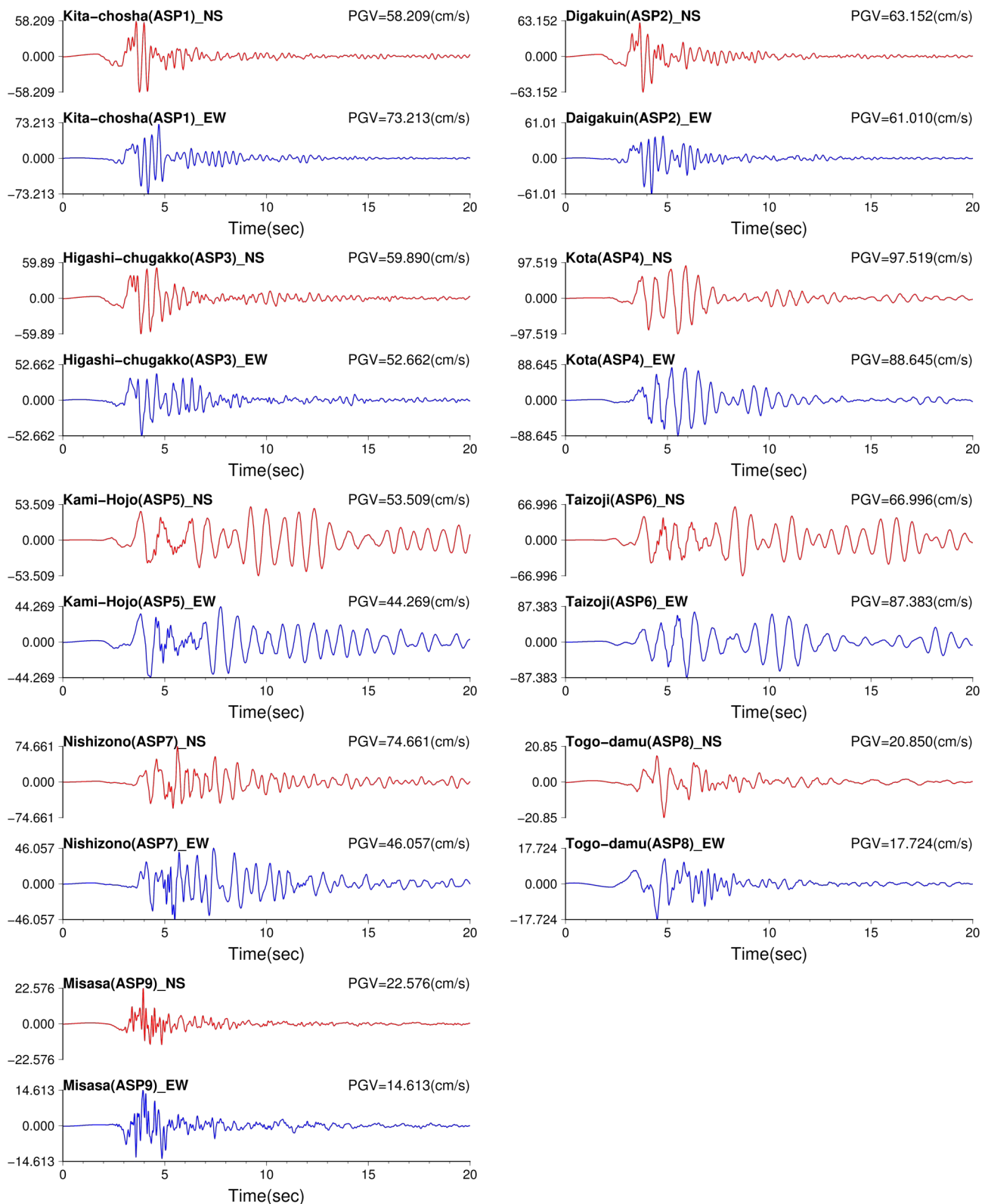


図-9 臨時余震観測点の合成波形の速度時刻歴波形

ィング結果 ($C=10$) を中心に C に対して ± 5 のばらつきを許容した。残差値 R が小さく、波形形状や周期特性の一致度が高いものを $SMGA1$ のパラメーターとした。 $SMGA1$ の震源パラメーターを決定した後、同様の手順

で $SMGA2$ を設定した。 $SMGA2$ の応力降下量比は、フイッティング結果 ($C=10$) を最大値となるような探索範囲を設定した。以上の解析で得られた $SMGA$ を図-5に示す。 $SMGA$ は震源インバージョン⁹⁾のすべり量の大小

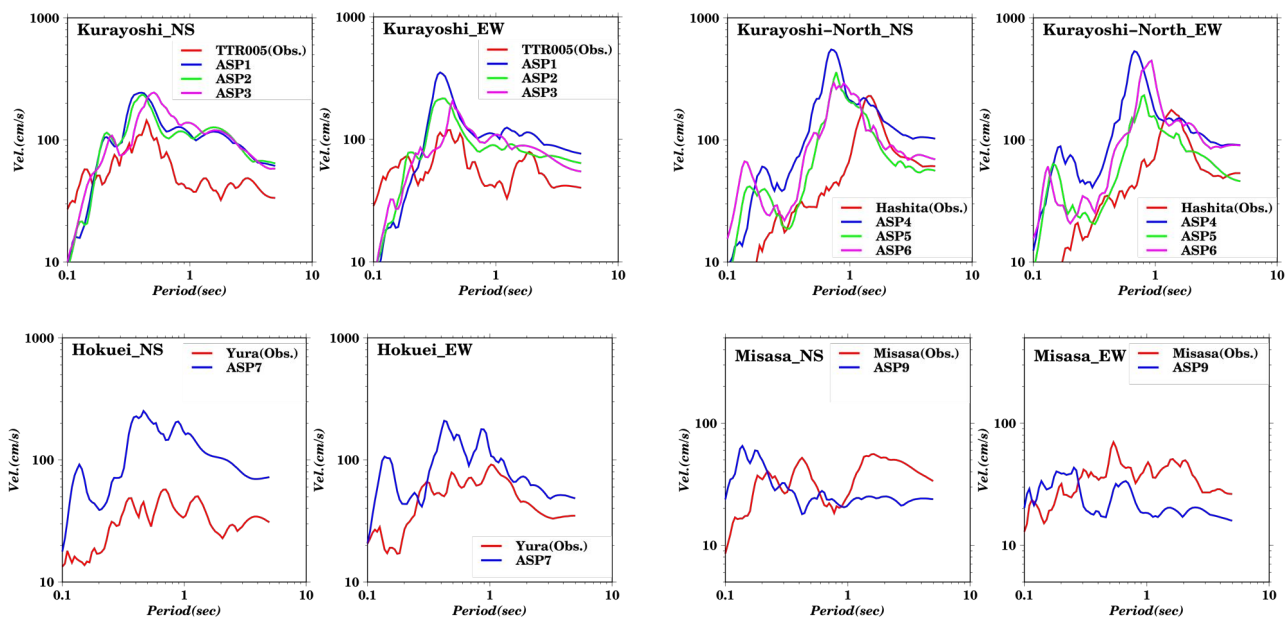


図-10 臨時余震観測点と震度観測点の相対速度応答スペクトル（減衰 5%）の比較

きい位置に求まり、既往の特性化震源モデル¹⁴⁾の SMGA と比較しても矛盾のない位置と大きさで求まった。図-7 に観測波形と合成波形の比較、図-8 に減衰 5% の相対速度応答スペクトルの観測値と合成値の比較を示す。図-7 に示すように、最大値に多少のばらつきが見られるが、ディレクティビティに起因した明瞭なパルス波など波形形状は概ね対応している。図-8 の相対速度応答スペクトルで示される周期特性の比較は、TTRH07 や TTR004 で良く対応する結果が得られているが、TTR005 や OKY015 で観測値と合成の差異がやや大きい。この原因として、放射特性の違いを含めた要素地震の地震動特性を補正する必要性や複雑な震源破壊過程を特性化震源モデルで十分に表現できていない可能性などが挙げられる。臨時余震観測点の強震動シミュレーションの精度にも影響するので、原因を精査して精度の向上に努めていきたい。

4. 強震動シミュレーション

前述で求めた最適な特性化震源モデルを用いて強震動シミュレーションを実施した。図-9 に臨時余震観測点で得られた地震動の速度時刻歴波形、図-10 に臨時余震観測点と周辺の震度観測点の相対速度応答スペクトル（減衰 5%）の比較を示す。ASP1-ASP3 は、図-2 に示すように、観測点を近接して設置しているため、最大速度及び波形形状の類似した合成波形が得られている。速度応答スペクトルに着目すると、周期 0.1-0.2 秒を除いた

周期帯で、3 観測点とも TTR005 の記録を上回っており、地盤構造の違いを反映した結果と推測される。速度応答スペクトルの卓越周期が 0.4 秒程度と短周期成分のみが卓越するため、全壊する建物家屋が少なく、瓦の落下や壁の剥離など、比較的軽微な被害が広範囲で生じた原因と考える。また、Hata *et al.*²⁰⁾は、白壁土蔵（写真-1(a)）でサイト特性置換法を用いた強震動評価を実施しており、本検討の結果と整合する結果が得られている。

ASP4-ASP6 は、図-9 に示すように他観測点と比較して極めて大きい振幅で、特に ASP5 と ASP6 では継続時間の長い合成波形が得られている。これら 3 観測点は完新世の堆積物が厚く堆積する軟弱地盤であると考えられ、大振幅の生成原因になったと考えられる。また継続時間の長い波形は、軟弱地盤に起因した要素地震の比較的大きい表面波を合成することで生成されたと推測される。一般的に軟弱地盤は、入力波の振幅レベルが大きくなると地盤が非線形挙動を示し、地盤の剛性が低下し、減衰が増加する。Kagawa *et al.*⁹⁾は、本震波形と前震及び余震記録の H/V スペクトルの比較から、北栄町土下の震度観測点で記録された本震波形が非線形の影響を受けていることを示している。本検討の速度応答スペクトル（図-10）の比較でも、土下の記録は、高周波成分が少なく卓越周期も比較的長周期に位置している。余震観測を実施した 3 点も地盤の非線形が生じている可能性があり、強震動評価を適切に実施するためには、観測点直下の地盤構造を把握し、非線形の影響を考慮する必要があると考える。

ASP7 は、図-9 に示すように ASP1-ASP3 と同程度の振

幅を有している。北栄町由良宿で得られた本震記録と比較した速度応答スペクトル（図-10）では、ASP7の合成波の方が全周期帯で上回っており、前述した被害状況と調和的である。2 観測が比較的近距离に位置していることから、地盤構造の違いを反映している可能性が高く、地盤構造を評価した上で詳細な検討を今後実施する必要がある。

ASP8 及び ASP9 は、基盤が表層に露出するような硬質地盤に設置しているため、図-9 に示すように他の観測点と比較して、低振幅となっている。図-10 に三朝町の自治体震度観測点で記録された本震波形と ASP9 の合成波形の速度応答スペクトルの比較を示す。ASP9 は 0.1-0.3 秒、三朝町大瀬は 0.3-5.0 秒で各々卓越しており、地盤の堆積層の厚さを反映していると考えられる。前述したように三朝町の震度観測点は倉吉平野に近く、一方で ASP9 は山地に近いため、三朝町の震度観測点の方が堆積層が厚いと推測される。このため、卓越周期に違いが生じたと考えられる。

以上のように強震動シミュレーションを実施した結果、被害地域では最大速度及び速度応答が常設の観測点より大きくなる傾向が見られた。今後は地盤構造を含めて多角的に強震動評価を実施する必要があると考える。

5. まとめ

2016 年鳥取県中部の地震において、建物家屋などの被害要因を明らかにすることを目的として、臨時余震観測点を設置し、その記録を用いて強震動シミュレーションを実施した。その結果、以下の成果が得られた。

- ・ 比較的被害の大きい地域を中心に広範囲に計 9 点の臨時余震観測点を設置し、約 2 ヶ月程度の余震観測記録を得ることができた。
- ・ 臨時余震観測で記録された余震波形を用いて、特性化震源モデルを再構築した。その結果、既往の研究¹⁴⁾と調和的なモデルとなり、周辺の観測波形を概ね再現することができた。
- ・ 強震動シミュレーションの結果、被害地域では最大速度振幅及び最大速度応答が大きくなった。ただし、ASP4-6 のような軟弱地盤の観測点は、非線形挙動により過大評価となっていることが懸念される。

今後は、特性震源モデルの精度を向上させ、強震動シミュレーションの精度向上に努めたい。また、地盤構造を把握し、非線形挙動を考慮することで、適切な強震動評価を実施していきたい。

謝辞：本検討には、（国研）防災科学技術研究所の F-net と気象庁で公開されている震源情報を使用しました。

（国研）防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net の強震観測記録を使用しました。鳥取県内の自治体震度観測点の記録は鳥取県がとりまとめたものを提供して頂きました。臨時余震観測に用いた機器の一部は、東京大学地震研究所よりお借りしました。一部の図の作成には、GMT²¹⁾を使用しました。ここに記して、関係諸氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Aoi, S., Kunugi, T. and Fujiwara, H. : Strong-motion seismograph network operated by NIED : K-NET and KiK-net, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol. 4, No. 3(special issue), pp.65-74, 2004.
- 2) 福山英一, 石田瑞穂, Douglas, S. D., 川井啓廉 : オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震第 2 輯, 第 51 巻, pp. 149-156, 1998.
- 3) 鳥取県 : 鳥取県中部地震(第96報) (2017年8月18日12:00), <<http://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1082176/96.pdf>> [2017/8/20 閲覧]
- 4) 香川敬生 : 2016 年鳥取県中部の地震(M6.6)について, 地震ジャーナル, No. 63, pp. 14-22, 2017.
- 5) Kagawa, T., Noguchi, T., Yoshida, S. and Yamamoto, S. : Effect of the surface geology on strong ground motions due to the 2016 Central Tottori Earthquake, Japan, *Earth Planet and Space*, 69:106, DOI10.1186/s40623-017-0689-0, 2017.
- 6) 政府地震調査研究推進本部 : 中国地域の活断層の地域評価, <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/16jul_chi_chugoku/chu_honbun.pdf> [2017/8/20 閲覧]
- 7) Irikura, K. : Prediction of strong acceleration motion using empirical green's function, 7th Jpn. Earthq. Eng. Symp., pp. 151-156, 1986.
- 8) 入倉孝次郎, 香川敬生, 関口春子 : 経験的グリーン関数を用いた強震動予測手法の改良, 日本地震学会講演予稿集, 1997 年秋季大会, B25, 1997.
- 9) （国研）防災科学技術研究所 : 近地地震記録を用いた 2016 年 10 月 21 日鳥取県中部で発生した地震の震源インバージョン解析, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/Tottori_20161021/inversion/in_v_index.html> [2016 年 8 月 20 日閲覧]
- 10) 地質調査所 : 20 万分の 1 の地質図, 1974.
- 11) 野口竜也, 香川敬生 : 微動および重力探査による倉吉平野臨海部の地盤構造推定, 土木学会論文輯 A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.4 (地震工学論文集 33 巻), I_888-I_896, 2014.
- 12) 野口竜也, 西川隼人, 吉田昌平, 香川敬生 : 鳥取県内の地震観測点における地盤構造の把握とサイト特性の評価, 土木学会論文輯 A1 (構造・地震工学), Vol. 72, No. 4 (地震工学論文集 35 巻), I_646-I_658, 2016.
- 13) 応用アール・エム・エス株式会社 : 鳥取県中部の地震災害調査レポート, <[http:// www.oyorms.co.jp/re-](http://www.oyorms.co.jp/re-)

lease/OYORMS_TottoriEQ_report.pdf> [2017/8/20 閲覧]

- 14) 経験的グリーン関数法を用いた 2016 年鳥取県中部の地震の特性化震源モデルの構築, 日本地震工学会, 投稿済.
- 15) 三宅弘恵, 岩田知孝, 入倉孝次郎; 経験的グリーン関数法を用いた 1997 年 3 月 26 日 ($M_{JMA}6.5$) 及び 5 月 13 日 ($M_{JMA}6.3$) 鹿児島県北西部地震の強震動シミュレーションと震源モデル, 地震第 2 輯, 第 51 巻, pp.431-442, 1999.
- 16) 天池文男, 植竹富一, 八代和彦: 内陸地殻内地震に対する伝播経路 Q_s 値特性の研究, 日本建築学会大会学術梗概集, pp.291-292, 2006.
- 17) Brune, J. N. : Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake, *J. Geophys. Res.*, No. 75, pp. 4997-5009, 1970.
- 18) Brune, J. N. : Correction, *J. Geophys. Res.*, No. 76, pp. 5002, 1971.
- 19) Eshelby, J. D. : The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, *Proceedings of the Royal society*, pp. 376-369, 1957.
- 20) Hata, Y., Noguchi, T., Kagawa, T. and Yoshida, S., : Ground motion estimation in Shirakebe-Dozo area, Kurayoshi city, Japan, damaged by the 2016 Mid Tottori prefecture Earthquake based on the site-effect substitution method, *Earth Planets and Space*, in press.
- 21) Wessel, P. and Smith, W. H. F. : Free software helps map and display data, *EOS Trans., Amer. Geophys. U.*, Vol. 72, No.41, p. 441, 1991.

STRONG GROUND MOTION EVALUATION AT AFTER SHOCK OBSERVATION SITES DUE TO THE 2016 CENTRAL TOTTORI EARTHQUAKE

Shohei YOSHIDA, Takao KAGAWA and Tatsuya NOGUCHI

An earthquake of M_{JMA} 6.6 occurred in the central Tottori prefecture in Japan on October 21, 2016. At several observation points recorded JMA seismic intensity were 6 lower. Partial area were suffered serious damage. Aftershock observations were conducted at damaged area to clarify causes of the damage. In this study, we calculated strong ground motions at aftershock observations points using empirical green's function method. It was found that damaged sites tended to have high peak ground velocity and high response value in periodic range from 0.4 to 1.0sec.