

鳥取県鹿野地域での 1943 年鳥取地震時の 地震動特性と建物被害に関する検討

野口 竜也 (鳥取大学) 上野 太士 (元鳥取大学)・香川 敬生・
吉田 昌平・向坊 恭介・浅井 秀子 (鳥取大学)

Investigation of Strong Ground Motion Characteristics and Building Damage of 1943 Tottori Earthquake in Shikano Area, Tottori Prefecture, Japan

Tatsuya Noguchi, Hiroshi Ueno, Takao Kagawa, Shohei Yoshida,
Kyosuke Mukaibo, Hideko Asa (Tottori University)

In this study, we grasped characteristics of ground motion and building damage of the 1943 Tottori Earthquake by microtremor survey in the Shikano area, Tottori Prefecture. Microtremor array observations were carried out at 4 sites and S-wave velocity structure models were determined by using phase velocities obtained from these array observation records. We also conducted microtremor observations in the existing buildings since 1943. As a result of microtremor observation of the building, the dominant period and attenuation rate of the building were found out. Using the ground structure model, the earthquake ground motion that reproduced the 1943 Tottori earthquake was obtained by the equivalent linearizing method based on SHAKE. Based on the obtained seismic motion, the acceleration response spectra (damping ratio 5%) of horizontal components were obtained and the maximum response deformation angle of wooden building (R_{max}) was calculated. R_{max} was calculated to be less than 1/50. This result suggests that this earthquake caused many buildings to collapse and cause major damage

1. はじめに

1943 年鳥取地震 (M7.2) の地震が発生し, 死者 1000 名以上, 全壊家屋 1 万戸以上の甚大な被害が発生した。鳥取市鹿野町はこの地震により, 当時全戸数に対し 7 割の家屋で被害が生じたとの報告されている¹⁾。また, この地域は鹿野断層の西端部であり, 被害が集中した市街地は断層端部から北西に約 1km 離れた地域である。地盤構造としては軟弱層が存在し, 深部の地震基盤面が窪地のようになっている²⁾。これらの地盤構造や地盤震動特性の特徴により, 地震動が局所的に増大する可能性が示唆されている。

本研究では, 微動探査の実施により地盤構造モデルを構築し, それを用いて地震動を評価した。また, 評価した地震動を用いて木造の最大応答変形角を推定し, 建物被害との関係を調べた。さらに, この地震で倒壊せずに現存する建物を対象に微動観測を実施し, 建物の振動特性と地震動との関係を調べた。

2. 微動観測および解析

殿町, 鹿野町総合支所, 鹿野小学校, T 邸の 4 地点において, 微動アレイ観測を実施した (図 1)。3 成一体型の微動計 (加速度計) 4 台を正三角形の頂点と重心に配置した。頂点と重心の間隔について,

T 邸では 0.6m のみ、T 邸以外の 3 地点は 0.6 ~ 100m 範囲で 6 パターンとした。サンプリング周波数は 200Hz とし、各微動計は GPS クロックで同期させた。解析としては、3 成分記録より水平動と上下動のスペクトル比 (H/V)、上下成分の記録より CCA 法³⁾、V 法⁴⁾ を用いて位相速度分散曲線を求め、これと H/V を用いてレイリー波基本モードの理論値によるフォワードモデリングにより地盤構造モデルを推定した。モデリングのパラメータは同地域の既往の研究結果²⁾ を参考にした。また、大工町の 5 地点について、既往の研究の H/V および位相速度分散曲線を用いて同様の手順により地盤構造モデルを推定した。図 2 に 6 地点の S 波速度構造モデルを示す (図中の赤線は工学的基盤の境界、数字はその層厚を示す)。

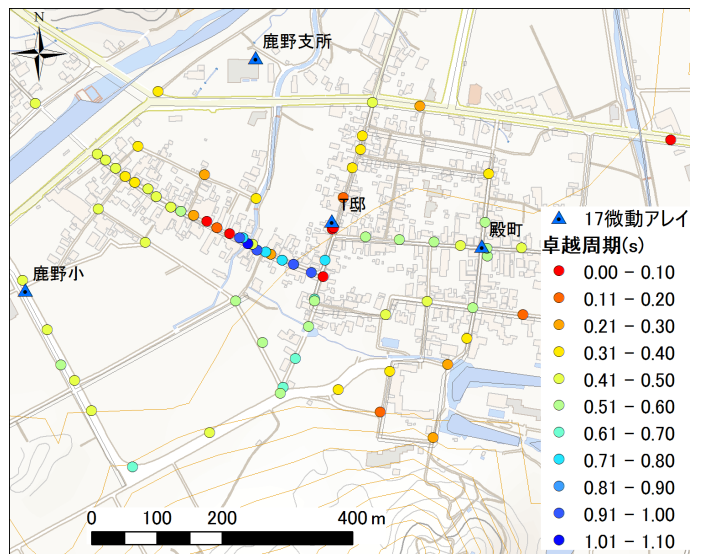


図 1 対象地域の H/V の卓越周期とアレイ観測点位置

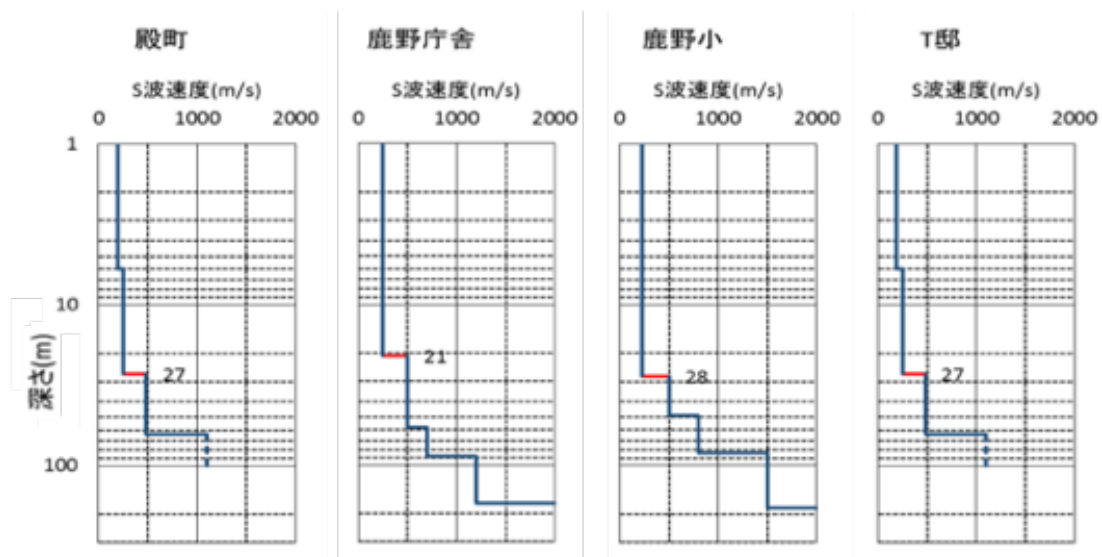


図 2 S 波速度構造モデル

現存する建物 (T 邸) についても微動観測を実施した。同様の微動計を用いて、地盤上と建物の 1 階、2 階の床上の 6 箇所、水平方向をけた行きと張り間方向に合わせ同時観測を行った。サンプリング周波数は 100Hz、各微動計は GPS クロックで同期させている。また、人力加振による振動測定も行っている。地盤と各床上の水平動記録からフーリエスペクトルを算出し、それらのスペクトル比より卓越振動数を求めた。その結果、T 邸の卓越周波数は、けた行き方向；1 次：2.88Hz、2 次：6.88Hz、張り間方向；1 次：3.32Hz、2 次：7.37Hz、ねじれ振動モード：3.88Hz であった。1 階の全面壁は張り間方向の方が多く、それによりけた行き方向より高周波数であると考えられる。また、人力加振記録の分析より建物の減衰定数は 3% であった。

3. 地震動特性と木造建物の最大応答変形角

表1 T邸の地盤構造モデル

層厚	p(t/m ²)	Vp(m/s)	Vs(m/s)
1	1.5	1378	80
8	1.7	1499	190
30	1.8	1620	300
30	2.0	1840	500
∞	2.2	2115	759

地盤構造モデルを用いてSHAKEに基づく等価線形解析法により地震動を求めた。入力波としては、鳥取地震の特性化震源モデル⁵⁾をもとに算出された鹿野町総合支所の位置における工学基盤波⁶⁾を用いた。また、非線形応答特性にはH-Dモデル⁷⁾を用いており、基準ひずみと最大減衰は鳥取県による動的変形特性⁶⁾を基に設定した。

T邸における地盤構造モデルを表1、解析で得られた水平2成分(NS, EW)の加速度波形を図3、それらの減衰定数5%の加速度応答スペクトルを図4に示す。全般にEW成分の方が大きく、両成分とも0.2と0.4秒付近、EW成分には0.7秒付近にピークがみられる。他の地点でも同様の傾向であるが、0.2と0.4秒付近のピーク値が大きく変動する。これは浅部の地盤構造の差異が影響している。当時の建物がT邸と概ね類似した特性と持つと考えると、1次の卓越周波数(周期)が約3Hz(0.3秒)であり、地盤の0.3秒付近の卓越周期に近く、まず共振により初期破壊を受けた可能性がある。さらに建物の破壊進行に伴う非線形化により固有周期が長周期化し、地震動の0.7秒付近の卓越周期と共振して、被害が拡大した可能性がある。

得られた地震動より、水平動2成分の加速度応答スペクトル(減衰定数5%)を求め、林⁸⁾に基づく方法より木造建物の最大応答変形角:Rmaxを算出した。T邸における地表の南北NSおよび東西EW成分の加速度応答スペクトル:Saと木造建物の性能等価加速度応答スペクトル:Sae(ベースシヤ係数:Cy=0.1~1.0の0.1毎)を図5に示す。この図においてSaとSaeとの交点よりRmaxが求められる⁸⁾。対象

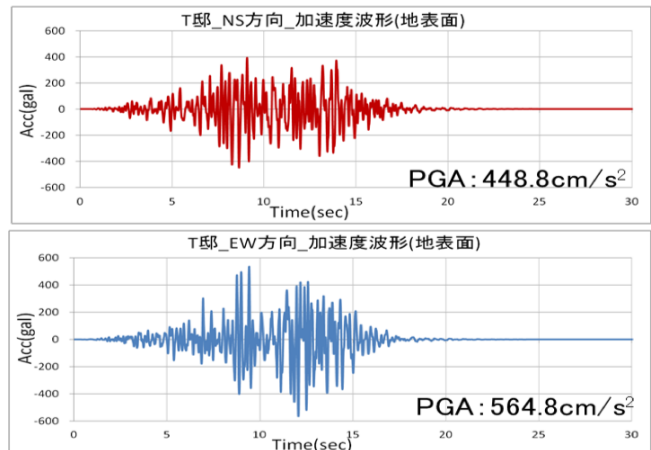


図3 T邸の加速度波形

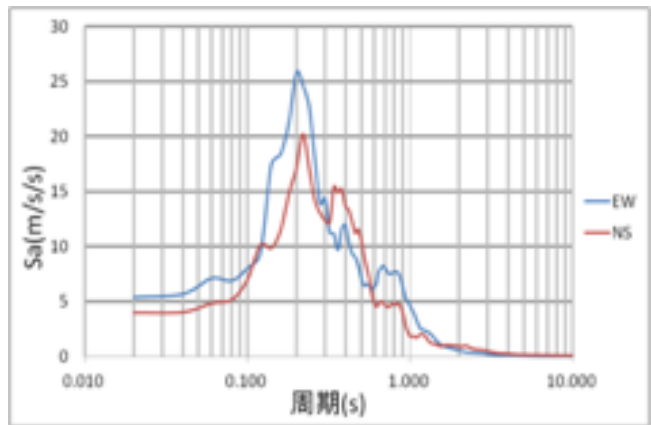


図4 T邸の加速度応答スペクトル (h=5%)

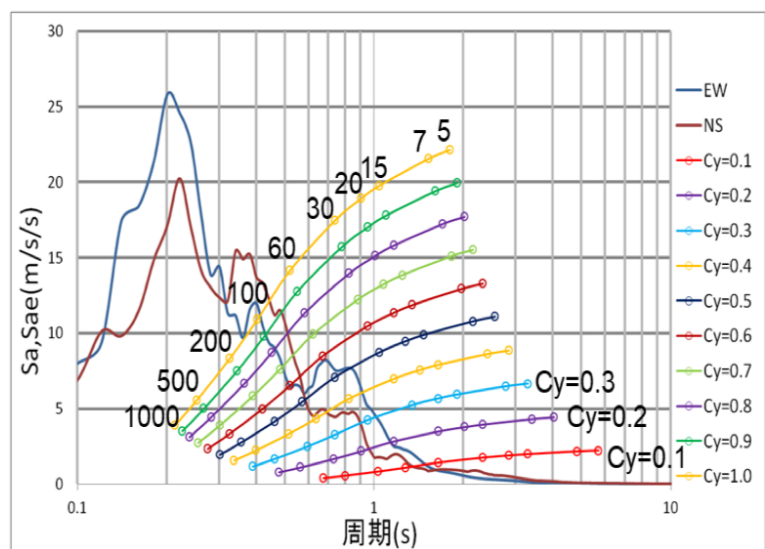


図5 T邸の加速度応答スペクトルと木造建物の性能等価加速度応答スペクトル (h=5%)

表 2 推定された木造建物の最大応答変形角 R_{max}

	殿町	大工町 A	大工町 B	大工町 C	大工町 D	大工町 E	T 邸宅
NS	1/79	1/92	1/98	1/97	1/97	1/89	1/88
EW	1/46	1/67	1/66	1/69	1/70	1/64	1/62

とした 7 地点の R_{max} ($C_y=0.2$) を表 2 に示す。全体として EW 成分が NS 成分よりも大きく、殿町の最大 1/46 (EW 成分) となっている。その他の地点では 1/60 ~ 1/70 の範囲 (EW 成分) となっており大きな差はない。損傷度の目安⁸⁾によれば、1/50 ~ 1/10 が全損 (内外壁の大きな剥落や柱が大きく傾く損壊) 1/100 ~ 1/50 で内外壁の損傷や瓦の落下が発生するとされており、この地震により多くの建物で倒壊あるいは大きな損傷が生じた¹⁾ ことと概ね整合する結果が得られた。

4. まとめ

1943 年鳥取地震の際に被害が多くみられた鹿野地域において、地盤この地震で被災した現存建物で微動観測を実施し、地盤モデルの構築、地震動評価および対象建物の最大応答変形角の算出を試みた。その結果、以下のことがわかった。

1. EW 成分が NS 成分よりも大きくなり、加速度応答スペクトルの卓越周期は 0.2 ~ 0.4 秒 (EW 成分には 0.7 秒付近でも卓越) であった。
2. 現存する建物の微動観測を行い、建物の振動特性を調べた結果、1 次卓越振動数は 3Hz、2 次卓越振動数は 6 ~ 7Hz、ねじれの卓越振動数は 4Hz で、張り間方向がけた行き方向より高振動数であった。
3. 地盤増幅による卓越周期に建物が共振し初期破壊、建物によっては破壊が進行し、さらに長周期側で共振し倒壊した可能性が示唆される。
4. 評価した地震動より、木造建物の最大応答変形角を推定した。その結果、EW 成分で 1/60 ~ 1/70 の範囲であり、地震動により建物が大きな損傷を受けたことを説明できる。

参考文献

1. 鹿野町：鹿野町誌，1991.
2. 野口竜也，上野太士，西川隼人，吉田昌平，香川敬生，鳥取県鹿野地域の地盤構造および地盤地震動特性，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.73, No. 4, [特] 地震工学論文集, Vol.36, p. I.894-I.906, 2017.
3. Cho, I., Tada T. and Shinozaki Y.: Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, J. Geophys. Res., 111, B09315, 2006.
4. Tada, T., I. Cho, and Y. Shinozaki: Beyond the SPAC method: exploiting the wealth of circular-array methods for microtremor exploration, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.97, pp.2080-2095, 2007.
5. 鳥取県：鳥取県地震防災調査報告書，2005.
6. Tatsuya Noguchi, Takao Kagawa, Shohei Yoshida, Hiroshi Ueno; Estimation of Subsurface Structure based on Microtremor and Gravity Survey in the Shikano Area, Tottori Prefecture, Japan, 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017.
7. O.Hardin.and,V.P.Drnevich: Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves, J. SMFD, Proc., ASCE, Vol. 98, No. SM7, pp. 667-692, 1972.
8. 林康裕 (2002): 性能等価応答スペクトルに基づく建築物の地震荷重評価, 日本地震工学シンポジウム論文集, 第 11 巻第 1 分冊, pp. 651-656, 2002.