鳥取県気高地域における微動観測に基づく地盤構造推定

鳥取大学工学部 野口 竜也・久野 雅幸・上野 太士・中井 翔・香川 敬生

Determination of Subsurface Structure by Microtremor Observation in the Ketaka Area, Tottori Prefecture, Japan

> Tatsuya Noguchi, Masayuki Kuno, Hiroshi Ueno, Sho Nakaiakao and Takao Kagawa Tottori University

Abstract

In this study, subsurface structures were determined and we grasped characteristics of ground motion by microtremor survey in the Ketaka area, Tottori Prefecture. Microtremor single-point 3-components observations and array observations were carried out at 195 and 7 sites respectively. As analysis of microtremor surveys data, we determined S-wave velocity structures by using phase velocities obtained from array observations and predominant periods of H/V spectrum obtained from single-point 3components observation records. Further, we estimated amplification factors of site amplification effects based on predominant periods of H/V spectrum.

1. はじめに

本研究の対象地域である鳥取県鳥取市気高町・鹿野町は,鳥取県の東部に位置し,浜村温泉や鹿野温 泉,鹿野城下町の街並み保全地区などの観光地がある。これらの観光地を中心に住宅が集中しており,市 役所の支所や小学校,公民館などの公共施設も集まっている。また,1943年の鳥取地震で鹿野町の市街 地,気高町の浜村温泉街では甚大な被害が発生しており,被害状況に地域性がみられ,地盤増幅による 影響が示唆される。よって,対象地域は地震防災上重要な地域であり,地震動予測に基づく被害想定等 を行う必要がある。地震動予測を行うためには,地盤構造の情報が必要不可欠である。この地域では既 往の研究¹⁾で物理探査が実施されており,地盤構造が推定されている。本研究では既往の観測地点を補 間するように微動観測を追加して行い,対象地域の地盤震動特性と地盤構造をより詳細に把握した。

2. 観測および解析

地盤の単点3成分観測では3成分加速度計を用いて既往の観測点間を補間するように200~500m程度の測点間隔で163点,また浜村駅前ではより稠密に50m間隔で32点の観測を実施した(図1)。アレイ観測では単点観測と同じ機器を正三角形と重心配置し地震計間隔は0.6~30mとして7地点(浜村地区;SBR,HST,HSS,SSM,鹿野地区;IMC,TJN)で実施した。なお,以下の解析では既往の観測結果¹⁾も含めている。解析については,3成分単点観測記録からは水平動と上下動のスペクトル比(H/V)を求め,卓越周期を読み取った。

アレイ観測記録からは, CCA 法³⁾, Nc-CCA 法 $^{4)}$, V 法 $^{4)}$, SPAC 法 $^{5)}$ により 位相速度分散曲線を求め、H/V と位相速 度分散曲線を用いたフォワードモデリン グによりS波速度構造を推定した。各半 径で位相速度を求める際に用いた手法に ついて, 主として CCA 法の結果を用いた が、一部の地点で CCA 法の結果のみでは 分散曲線が十分に得られず、半径毎の分 散曲線が連続しない場合があり, その場合 は V法, SPAC 法で得られた結果を採用 した。これは、観測時の設置条件や微動の 震動特性により, SPAC法, V法では円の 中心のデータを利用することで安定的に 位相速度が得られる場合もあると推測さ れる。位相速度分散曲線が100~400m/s の範囲で得られたことから, その範囲では Vs=500m/s 層までの堆積層の速度および 層厚, それより深部の構造については既往 の結果^{1),2)}より速度を決め、H/Vを用い て層厚を調整するという手順で推定した。



図1 H/Vの卓越周期分布

表1 地盤構造モデル

HST	
層厚(m)	ρ (t/m ³)
13	16

層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs (m∕s)
13	1.6	1390	90
10	2	1845	500
80	2.1	2180	800
100	2.2	2955	1500
8	2.3	4065	2500

SBR

層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
3.8	1.9	1400	100
12	2	1845	500
30	2.1	2180	800
120	2.2	2955	1500
8	2.3	4065	2500
MC			

層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m /s)	Vs (m∕s)
2.6	1.8	1400	100
20	2	1570	250
10	2.2	1845	500
30	2.4	2180	800
100	2.5	2955	1500
∞	2.6	4065	2500

層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m /s)	Vs (m∕s)
13	1.6	1400	100
10	1.7	1600	300
8	2	1845	500
30	2.1	2180	800
100	2.2	2955	1500
8	2.3	4065	2500
0.011			

SSM

HSS

層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m /s)	Vs (m∕s)
13	1.8	1400	100
30	2.1	2180	800
150	2.2	2955	1500
8	2.3	4065	2500

TJN

1.411			
層厚(m)	ρ (t/m ³)	Vp (m /s)	Vs (m /s)
3	1.6	1380	80
5	2	1510	200
15	2.1	1845	500
20	2.2	2180	800
60	2.3	2955	1500
8	2.4	4065	2500

鳥取県において微動の卓越周期とサイト特性の関連性が検討されており¹⁾,サイト特性の指標:Gと微動 H/V の卓越周期: T_p について、次式の関係式が得られている。

$$logG = a + blogT_p \tag{1}$$

そこで,(1)式を用いて地盤増幅度の指標を求めることとする。なお,地盤増幅度の指標としては,微動の卓越周期と相関係数が比較的高かった地盤増幅度(PGV)(a:0.55, b:0.30)¹⁾について,微動観測点における地盤増幅度の指標を求めた。



図2 S波速度構造モデル

3. 全域の地盤震動特性と地盤構造

H/Vの卓越周期の分布(図1)をみる と、0.05~1.1秒の範囲であり、内陸に行 くほど周期が短くなる傾向が見られるが、 海岸部や東側の谷筋、内陸の鹿野市街地付 近で周期1秒近くの長周期の領域がみら れる。地盤構造モデル(表1)より何れの 地点でもVs=100m/s程度の軟弱層が最大 で10m程度存在することがわかる。S波 速度構造モデル(図2)より、工学的基盤 (Vs=500m/s層)までの層厚(図2の赤 線の境界;数値は層厚)は最大で20m程 度であることがわかる。

H/Vの卓越周期がS波速度構造モデル より工学的基盤までの層厚にほぼ対応して いることから、1/4波長則(H=T・V/4; H:層厚,T:卓越周期,V:表層のS波速度) を用いて表層厚を推定した。このとき表 層のS波速度について,最寄りのS波速 度構造モデルが得られている地点の結果 を用いることとし、1層目の値、もしくは 2層目までの層厚による重み付き平均の値 を用いた。層厚分布(図3)をみると、数 m~40m程度の厚さで分布してしおり、 海岸部ほど層厚が厚くなる傾向がみられ、 また層厚20m以上の領域は周期1秒程度 の長周期領域に対応している。

気高町総合支所 (HSS) には震度計が設 置されており, 地震記録によって得られた サイト増幅特性²⁾ (観測値) が得られてい る。今回得られた Vs=500m/s 層までと既 往研究 2) の深部地盤の構造を組み合わせ たモデルから得られる SH 波伝達関数 (理 論値)を求めた。サイト増幅特性と SH 波 伝達関数を重ねて図 4 に示す。この図よ り卓越周波数の 2Hz 付近は概ね一致して おり堆積層の地盤モデルは妥当であると 考えられる。また, 卓越周波数が2~3Hz (卓越周期 0.3~0.5 秒)であることは, 木 造建物の固有周期 (0.3~0.4 秒) に近く,



図4北高支所のサイト特性

地震時に共振により損傷する可能性が高いと考えられる。

H/Vの卓越周期による地盤増幅度(PGV)の分布(図5)から,海岸に近い浜村地区や内陸の鹿野地 区で地盤増幅度が大きくなる地域があり 2.5 を超えている。また,SSM より北側,HST 周辺,IMC 周 辺で地盤増幅度が3を超えるような大きい領域がみられる。地盤増幅度の大きい領域は住宅集中している地域でもあり、地域住民の防災意識の向上と地震対策の普及が求められる。

4. 浜村駅周辺の地盤震動特性と地盤構造

浜村駅前では1943年鳥取地震で局所的 に被害が出ており, その要因について検討 する。浜村駅周辺の卓越周期分布(図6) より、線路沿いの約1kmの東西の範囲で は、西側から東側にかけて周期が長くな り, 西側では 0.3 ~ 0.4 秒, 東側では 0.6 ~0.8秒に変化していることがわかる。地 盤増幅度の分布(図7)より,浜村駅周辺 では地盤増幅度が2.5を超えており、特に HST の周辺では3を超える領域となって いる。浜村駅前(HST)のS波速度構造 モデルからは、第1層が Vs=90m/s と低 速度であることから、この地域全域で地盤 増幅が強く影響し, さらに地盤の卓越周期 と当時の木造建物の固有周期との関連で, 選択的に被害が生じた可能性がある。



図5 地盤増幅度 (PGV) の分布



図6 浜村駅周辺の卓越周期分布



図7 浜村駅周辺の地盤増幅度 (PGV) の分布

5.まとめ

鳥取県気高地域における微動観測に基づき地盤構造を推定した結果、以下のことがわかった。

- 微動 H/V の卓越周期は 0.05 ~ 1.1 秒の範囲であり、内陸に行くほど周期が短くなる傾向が見られ、 周期 1 秒程度の長周期の領域が各所にみられた。S 波速度構造は Vs=100m/s 程度の軟弱層が最大で 10m 程度、工学的基盤までの層厚は最大で 20m 程度であった。
- 微動 H/V の卓越周期に基づき地盤増幅度 (PGV) を求めたところ,住宅が集中する地域の多くで, 地盤増幅度が3を超えることがわかった。
- 鳥取地震の際,浜村駅前において建物被害が局所的に発生した要因として、地盤卓越周期の変化と 軟弱地盤による地盤増幅が複合的に影響したことが示唆された。

参考文献

- 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,土木学会論文集 A1(構造・地震工学) Vol.72, No. 4, [特] 地震工学論文集, Vol.35, p.I __646-I __ 658, 2016.
- 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.
- Cho I., Tada T. and Shinozaki Y.: Centerless circular array method : Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor record, J. Geophys. Res. 111, B09315, doi;10. 1029/2005JB004235, 2006
- 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., 97, 2080-2095, doi:10.1785/0120070058, 2007.
- Aki, K. :Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull.Earthq.Res,Inst., 35, pp415 456, 1957.