

計測震度の分析による 鳥取県の地盤震動特性と地盤構造の関係

野口 竜也¹・西原 正典²・西田 良平³

¹鳥取大学 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

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

²日鉄鉱業株式会社 (〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目3番2号)

³鳥取大学 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

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

鳥取県内の50観測点で得られた1464地震(延べ4833個)の計測震度データの分析を行った。各観測点において、距離減衰式による推定震度と観測による震度の差の平均を求め、地盤増幅による増幅効果の指標とした。この指標と地盤特性を比較し関係を調べた。地盤の深さ30mまでの平均S波速度(AVS30)とは良い相関がみられ、AVSが小さいほど揺れやすい地点である関係がみられた。より深い地盤構造を反映している重力異常との比較では、特に相関がみられなかった。また、従来から境港市の近接2地点で震度差が生じる地点においては、AVS30がほぼ同じあるにも関わらず、今回の分析による増幅効果の指標においても同様な差異がみられた。

Key Words : Instrumental seismic intensity, Tottori prefecture, site amplification, characteristics of subsurface structure

1. はじめに

震度情報は地震発生の初期情報として、広く利用されており、自治体などの公共機関などでは初動体制の基準にもなっている。計測震度による観測体制が整備されてからは詳細な震度分布が得られるようになった。また、その他の研究機関による強震観測網(例えばK-NET, KIK-NET等)も整備され、強震波形記録のデータも揃うようになり、最近ではK-NET観測網でも震度値が公表されるようになった。現在の観測体制の後、発生した地震において得られたデータは地震動の評価に活用されている。このように、震度情報は行政や一般市民への情報としての役割を担う一方、強震動のデータとして被害予測の推定などの有力な情報にもなりうる。

このような背景のもと、能島ら¹⁾は岐阜県を対象として計測震度の分析を行い、震度情報の有効活用のための基礎資料を作成、その有用性を示している。そこで本研究では、鳥取県を対象として震度計設置点41点、K-net観測点9点の計50点において、計測震度の分析を行った。なお、K-net点では強震波形記録から計測震度値に換算

して分析した。この分析で得られた各観測点において、増幅効果の特徴を解明するとともに、地盤特性との関係を調べ、鳥取県における地震動評価を行うことを目的とする。

2. 計測震度データの分析

(1) 分析データ

本研究におけるデータとしては、気象庁による計測震度のデータベースおよび、データ防災科学技術研究所のK-NETの波形データから計測震度に換算したものを分析に用いた。気象庁の震度データベースは、鳥取県による各市町村および気象庁直轄の41観測地点について1997年～2006年の震度1以上(計測震度0.5以上)、9観測地点について1997年～2006年の最大加速度1gal以上の波形データを用いている。

分析に用いた期間において、気象庁震度データベースでは、地震数1464回、データ総数4833回、K-NETデータでは、発生した地震数217回、データ総数619回であった。

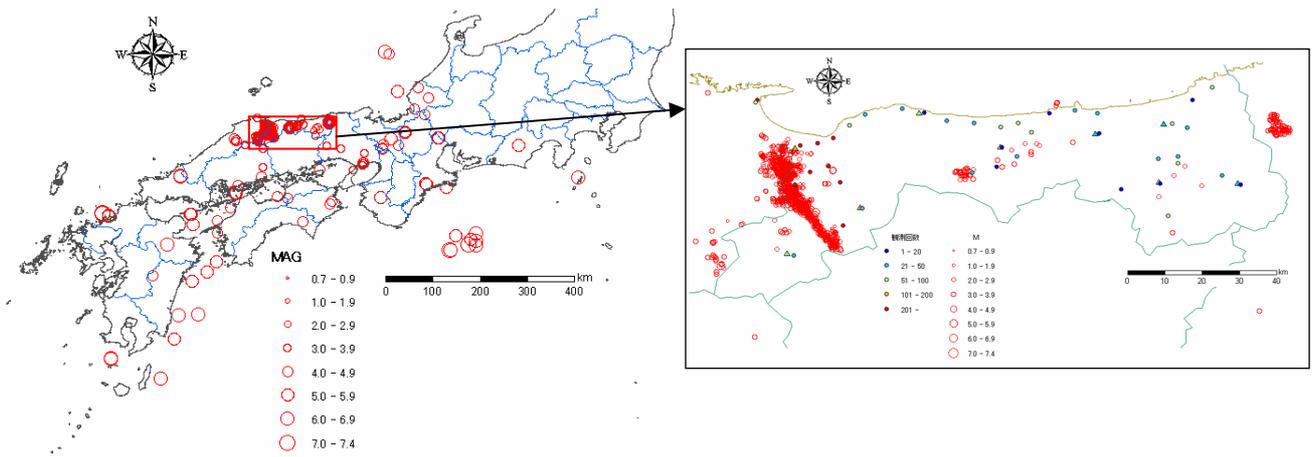


図-1 利用した地震記録の震央分布図

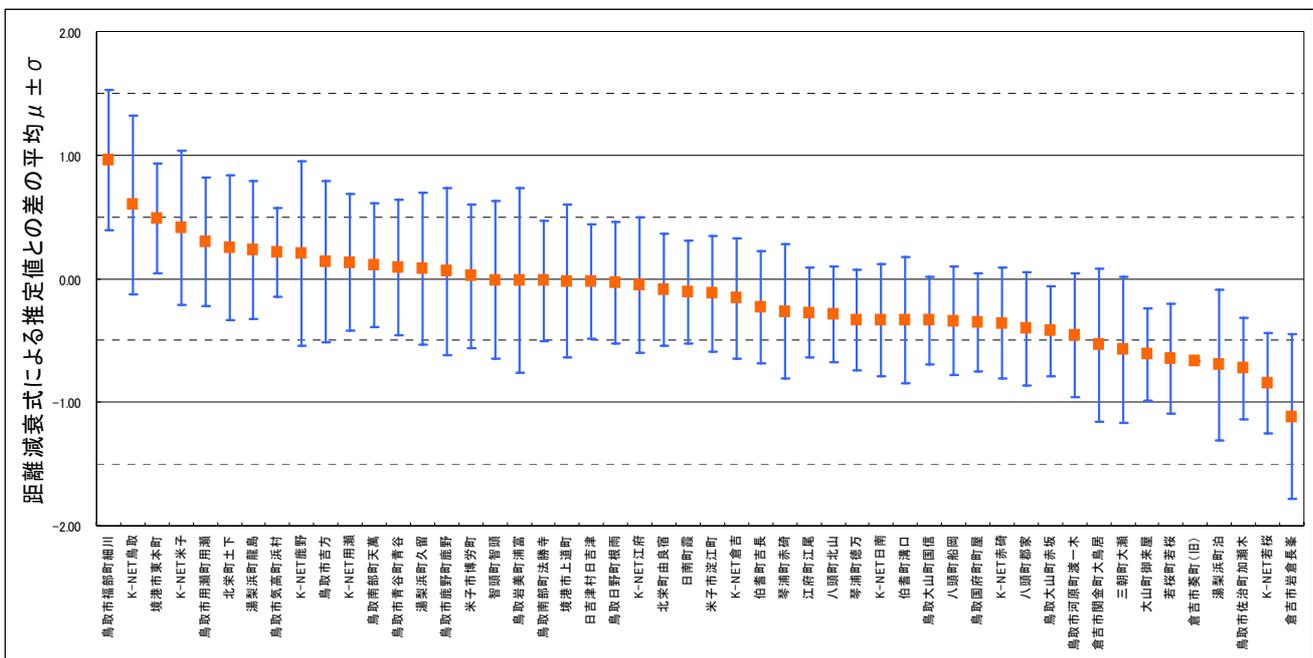


図-2 計測震度の推定値の差の平均 (増幅効果の指標) と標準偏差

それら地震の震央分布を図-1に示す。記録された地震の大部分は2000年鳥取県西部地震に伴う余震群で、内陸の地殻上部 (15km以浅) で発生したマグニチュード5以下地震である。よって、鳥取県西部の余震域の観測点で震央距離100km以上の遠方の地震はプレート境界、スラブ内地震が多い。

(2) 増幅効果の指標

能島ら¹⁾は、まず地震毎における各観測点の距離減衰を考慮した推定震度を、安中ら²⁾の距離減衰式 ((1)式) および翠川ら³⁾の計測震度の換算式 ((2)式) を用いて計算している。次に、観測点ごとに推定震度と観測で得られた震度との差をとり、全地震に関してその平均値と標

準偏差を求めている。そこで、本研究においても同じ手法を用いて推定震度、および推定震度と観測による震度の差の平均、標準偏差を求める。計算に用いた式は、次の通りである。

まず、各観測地点における計測震度を推定する。断層最短距離についてはデータベースにある震央距離とした。

$$\log V_{\max} = 0.725M + 0.00318H - 1.918 \log(R + 0.334e^{0.653M}) - 0.519 \quad (1)$$

$$I = 1.82 \log V_{\max} + 2.54 \quad (2)$$

ここに、
 M : 気象庁マグニチュード
 H : 震源深さ (km)
 R : 断層最短距離 (km)

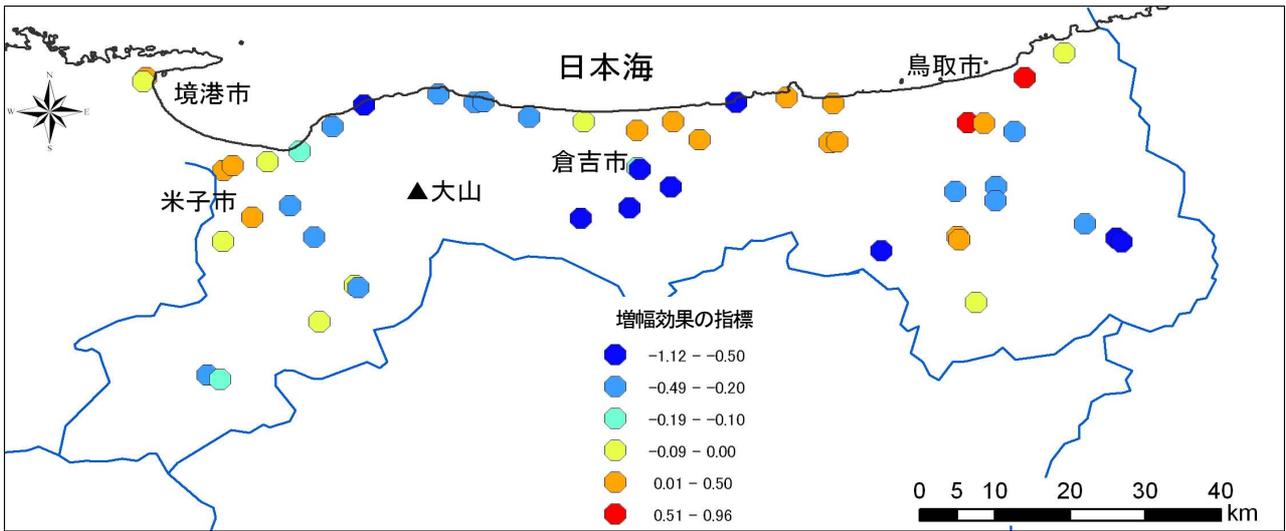


図-3 増幅効果の指標の分布図

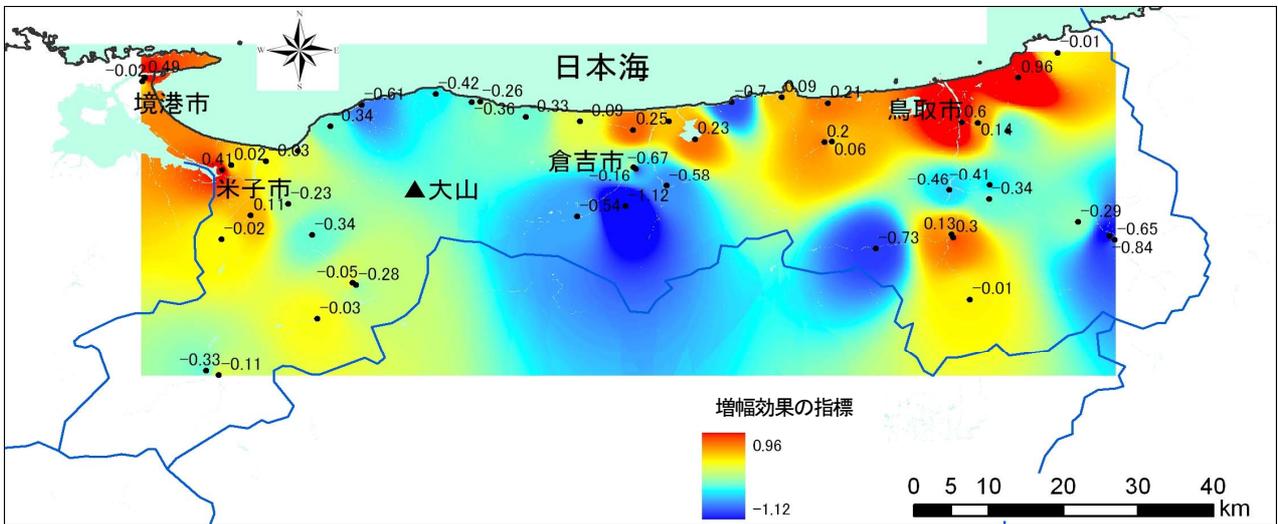


図-4 増幅効果の指標のゾーニング図

次に、地震*i*での観測地点*j*における計測震度の推定値と観測値との差 ΔI_{ij} を求める。

$$\Delta I_{ij} = I_{ij}^{obs} - I_{ij}^{est} \quad (3)$$

$$\overline{\Delta I_j} = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} \Delta I_{ij}}{m_j}, \quad \sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m_j} (\Delta I_{ij} - \overline{\Delta I_j})^2}{m_j - 1}} \quad (4), (5)$$

ここに、

I_{ij}^{obs} : 地震*i*において観測地点*j*で観測された計測震度

I_{ij}^{est} : 距離減衰式により推定される計測震度

m_j : 観測地点*j*において観測された計測震度の総数

式(1)はS波速度300~600m/sの洪積台地を対象とした工学的基盤相当の地震動を評価している²⁾と考えられる。能島ら¹⁾は推定震度と観測による震度の差は、少なからず地盤増幅が影響していると指摘している。本対象地域でも同様であれば、工学的基盤より上層に堆積層がある地点では、増幅効果により推定震度よりも観測の震度が大きくなり、プラス側の値を示すと考えられる。よって、ここでは(4)式の値を増幅効果を評価する指標として考える。(4)、(5)式の各観測点の計算結果を図-2に示す。図-2は縦軸に増幅効果の指標(推定震度と観測震度の差の平均)に標準偏差を加え、指標の大きい順に並べて示している。

3. 鳥取県内の増幅効果の指標分布

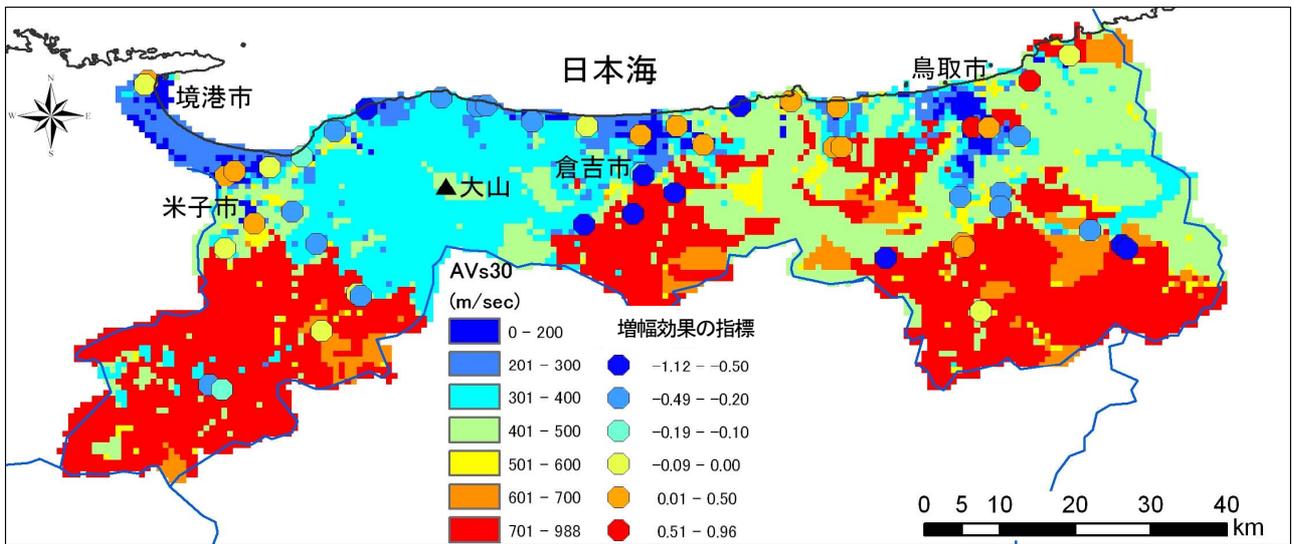


図-5 増幅効果の指標と AVs30 の分布図

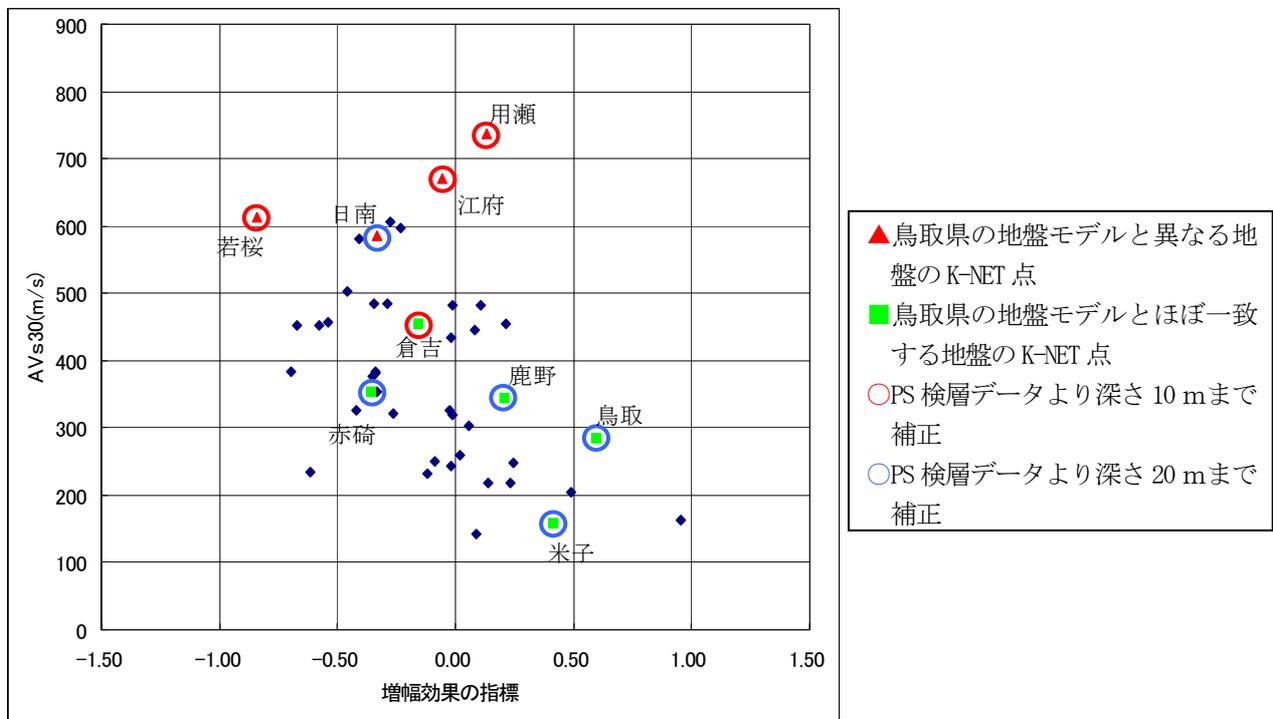


図-6 増幅効果の指標と AVs30 の比較

鳥取県内の増幅効果の指標分布を概観するために、2. で得られた結果について地図上に示したものを図-3に示す。増幅効果の指標が大きい暖色系の地域は鳥取市、米子市、境港市、倉吉市に集中していることが分かる。反対に増幅効果の小さい寒色系の地域は、内陸部と倉吉市～米子市に挟まれた海岸部である。地域性をより明確に判断するために、内挿補完によりゾーニング化したものを図-4に示す。暖色系の領域がより鮮明となり、東部では鳥取市の海岸部と内陸部の一部、中部では倉吉市、西部では米子市と境港市に広がっている。これらの地域はほとんどが、平野部の堆積地盤上に位置する。寒色系の

地域は内陸部と倉吉市～米子市に挟まれた第四紀火山である大山の周辺に広がっている。内陸部は山地で第三紀以前の基盤岩類の地質である。地盤構造との関係については、4. でより詳細に関係をみていく。

4. 増幅効果と地盤構造の比較

(1) 地盤構造データ

増幅効果の指標が地盤構造とどの程度関係するのかを調べるために、鳥取県内における表層地盤の平均S波速

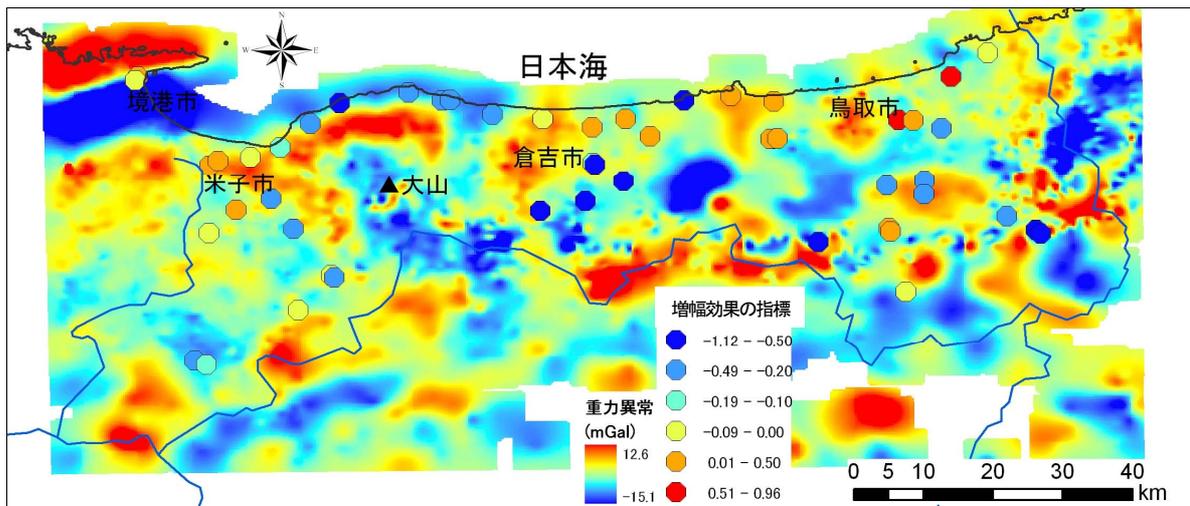


図-7 増幅効果の指標と重力異常の分布図

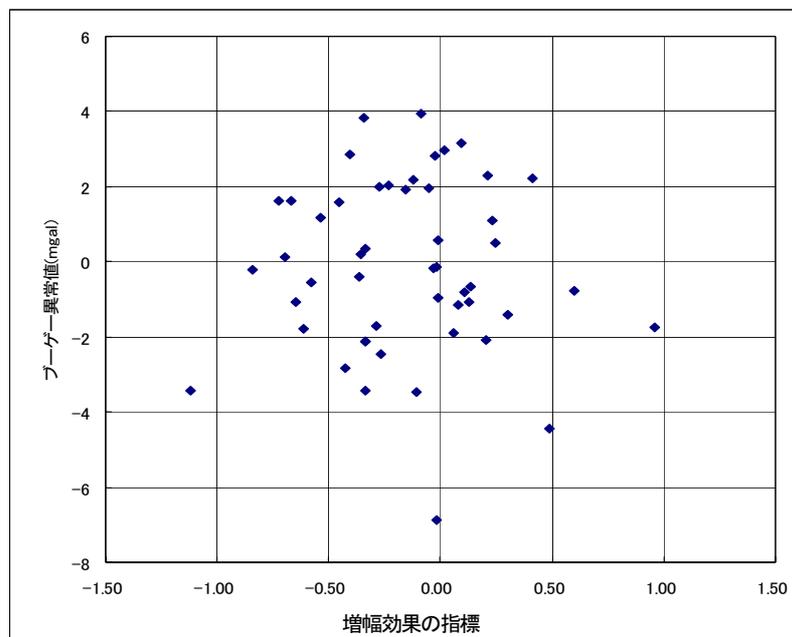


図-8 増幅効果の指標と重力異常の比較

度を示すAVS30, より深部の構造を反映している重力異常の分布図を作成した. ここで, AVS30は鳥取県⁹⁾によるグリッドサイズ500mの地盤データ, 重力異常は重力データベース^{5) 6)}を用いた. ただし, AVS30に関してK-NET点については, 深さ10mもしくは20mまでのPS検層データのモデルに置き換え, そこから深さ30mまでは元の地盤モデルの値を用いて計算している.

重力異常の仮定密度は鳥取県内の平均的な基盤(山地)の密度である 2.5t/m^3 を用いている. なお, 重力異常は深部の地殻構造までの情報を反映した長波長のトレンド成分を取り除くため, 5kmの上方接続フィルターを用いてその残差を取る処理を施している. このフィルター処理後の重力異常は, 地震基盤より上層おける密度の不均

質分布を反映していると考えられる.

(2) 地盤構造との比較

AVS30の分布と各観測点の増幅効果の指標を重ねて示したものを図-5に示す. AVS30の小さい寒色系の地域は, 鳥取市, 倉吉市, 米子市, 境港市に分布しているが, 3.で述べた通りその地域の増幅効果の指標は大きくなる傾向を示す. つまりAVS30の小さい領域ほど, 増幅効果の指標が大きく, 表層地盤の増幅傾向と良い相関を示すことになる. この関係について, 縦軸にAVS30, 横軸に増幅効果の指標をとって比較したものを図-6に示す. AVS30が小さくなるほど, 増幅効果の指標が大きくなる(右下がりの)明瞭な傾向がみられる.

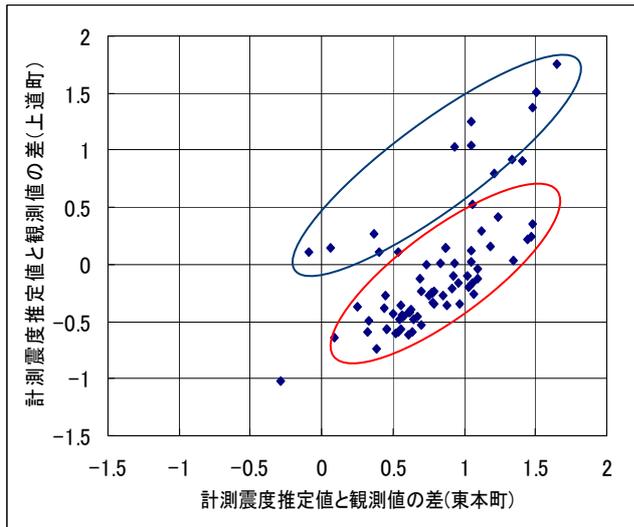


図-9 境港市の近接2地点における計測震度推定値と観測値の差の比較

重力異常についても同様に増幅効果の指標を重ねて示したものを図-7に示す。基盤の密度が大きく変化しないとすれば、重力異常が小さい寒色系ほど表層の密度が小さい、もしくは層厚が厚いと判断できるが、増幅効果との相関は明確ではない。すなわち、重力異常が小さくなるにつれ、揺れやすくなるという関係がみられない。図-8は縦軸に重力異常値、横軸に増幅効果の指標をとって比較したものであるが、やはり無相関と判断できる。このことから、増幅効果の指標は深部地盤までの影響は受けていないと考えられる。

これらの比較から、鳥取県内の増幅効果は表層地盤と明確な相関があることがわかった。これは既往の研究⁷⁾においても同様の指摘がされており、その結果を支持するような関係であった。また、この関係からAVS30の分布を用いて、増幅効果の指標の補完を行うことにより、今後鳥取県の増幅効果マップの作成も可能であると考えられる。

5. 境港市の近接2地点について

境港市の近接2地点においては、2000年鳥取県西部地震の際、距離が600m程しか離れていないにも拘らず、東本町（境測候所）が上道町（境市役所）よりも計測震度で0.6大きい値を示した。既往の研究⁸⁾でアンケート震度、強震観測波形および震度データの比較においても東本町が大きい値となることが報告されている。そこで、この2地点について2. の分析結果により比較する。また、増幅効果については近傍のK-NET美保関のデータとの比較も行い、地盤構造との関係も考察する。

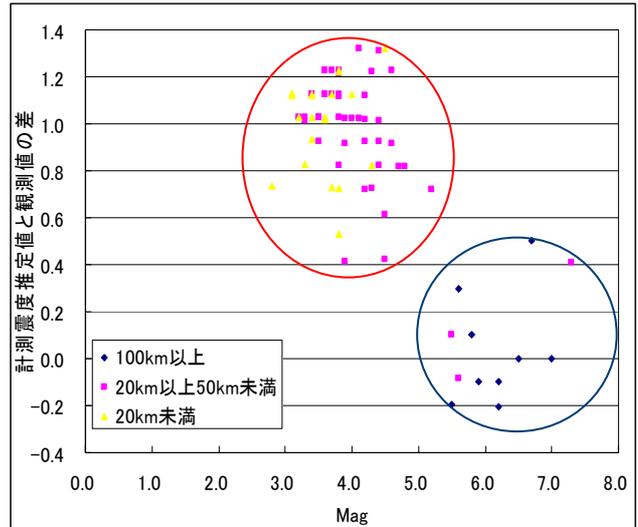


図-10 境港市の近接2地点における計測震度推定値と観測値の差；マグニチュードと震源距離の関係

a) 計測震度による差異について

まず、計測震度の震度1以上が観測された回数について、東本町のみが284回に対し上道町のみが1回だけである。2点同時に測定されたケースは75回あり、東本町が平均約0.8大きかった。次に、計測震度推定値と観測値の差は東本町0.49（観測回数；359回）、上道町-0.02（観測回数；76回）で2地点間の差は0.51であった。このことから、本研究による分析からも、東本町の方が明らかに大きな値を示すことがわかった。K-NET美保関については、増幅効果の指標が0.14であった。これらの関係から、上道町が特に揺れにくい地点であると判断できる。ここで、2点同時に観測されたデータを用いて、2地点間の計測震度推定値と観測値の差を比較したものを図-9に示す。この図から、およそ1東本町が大きくなる赤で囲んだプロット群とほぼ1:1となる青で囲んだプロット群に分かれる。これらの地震の内訳の関係をより詳しくみるために、東本町と上道町の計測震度推定値と観測値の差を縦軸に、横軸にマグニチュードをとって、震源距離を色別にしたものを図-10に示す。この図から、差が大きいものはマグニチュードが5以下で震央距離が50km未満、差が小さいものはマグニチュードが5以上で震央距離が100km以上である。このことから、マグニチュードが大きく遠い地震では2地点間の差が小さくなることがわかる。

b) 地盤構造との関係について

AVS30は東本町で204m/sec、上道町で243m/secであり、震度差を生じさせるほどの違いではない。野口ら⁹⁾もこの地域で地盤構造を詳細に調査しているが、その結果からもS波速度構造に明確な差はみられなかった。K-NET美保関は、公開資料の深さ10mまでのPS検層データによ

ればAVS10が264m/secであるが、この地点はすぐ近傍に第三紀の基盤が露頭しており、AVS30はさらに大きくなることが予想され、地盤は境港の2地点よりは明らかに硬い地盤であると思われる。地盤構造の関係からも、上道町の地震動が小さくなる原因については不可解な点が多く、今後さらに検討していく必要がある。

6. まとめ

鳥取県を対象として、1997年～2006年の計測震度データを用いて、地盤震動特性を把握し、地盤構造との関係を調べた。その結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 増幅効果の指標の分布は、鳥取市、倉吉市北部、米子市、境港市の主要都市部で大きくなり、山間部や大山の周辺地域で小さくなる傾向がみられた。
- (2) 地盤構造との関係では、平野部のAVS30の小さい地域で増幅効果の指標が大きくなる傾向があった。表層地盤の増幅度と増幅効果の指標には、明瞭な相関があることがわかった。
- (3) 重力異常との比較では相関がみられず、地震基盤までの深部地盤構造と震度による増幅効果には明確な関係はみられなかった。
- (4) 境港市の近接2地点において、今回のデータを用いて増幅効果の比較を行ったところ、既往の研究の通り上道町が異常に小さな値を示した。近傍のより硬質地盤のK-NET美保関との比較でも、上道町の方が小さくなった。
- (5) 東本町と上道町の増幅効果指標の差について、マグニチュードが大きく遠い地震では差が小さく、その反対では差が大きくなることがわかった。

川博文氏には、気象庁の震度データを提供して頂いた。岐阜大学の能島暢呂教授には解析等について多くの助言を頂いた。また、アーバンパイオニア設計（現鳥取大学大学院）の真鍋典子氏、鳥取大学大学院の小村紘平氏には、解析の際に協力して頂いた。ここに、記して感謝する。

参考文献

- 1) 能島暢呂, 太田裕, 杉戸真太: 2000～2004年に岐阜県内で観測された計測震度の分析, 土木学会地震工学論文集, 第28巻, 2005.
- 2) 安中正, 山崎文雄, 片平冬樹: 気象庁87型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.161-164, 1997.
- 3) 翠川三郎, 藤本一雄, 村松郁栄: 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, 地域安全学会論文集, Vol.1, pp51-56, 1999.
- 4) 鳥取県: 鳥取県地震防災調査研究報告書, 2005
- 5) 駒澤正夫, 日本重力異常グリッドデータベース, 日本重力 (CD-ROM第2版, 数値地質図 P-2, 地質調査総合センター, 2004.
- 6) The Gravity Research Group in Southwest Japan: Gravity Database of Southwest Japan (CD-ROM), Bull. Nagoya University Museum, Special Rept., No.9, 2001.
- 7) 例えば 翠川三郎, 松岡昌志, 作川孝一: 1987年千葉県東方沖地震の最大加速度・最大速度にみられる地盤特性の評価, 日本建築学会構造系論文報告集, 第442号, pp.71-78, 1992
- 8) 野口竜也, 西田良平, 林宏一: 境港市の震度異常域における2次元表層地盤構造の推定, 土木学会地震工学論文集, 第28巻, 2005.

(2007.4.6 受付)

謝辞: 解析にあたり、防災科学技術研究所のK-NETの強震波形記録および地盤データを用いた。鳥取気象台の雛

RELATIONSHIP BETWEEN SEISMIC GROUND MOTION AND SUBSURFACE STRUCTURE BY ANALYSIS OF INSTRUMENTAL SEISMIC INTENSITY IN TOTTORI PREFECTURE, SOUTHWEST JAPAN

Tatsuya NOGUCHI, Masanori NISHIHARA and Ryohei NISHIDA

A dataset of instrumental seismic intensities recorded at 50 stations in Tottori Prefecture, southwest Japan, 1464 events (4833 records) has been compiled. An average difference between recorded seismic intensities and those estimated using the attenuation was defined as an index representing the site amplification; standard deviation and number of observations were also used. Relationship between the index and subsurface ground structure was studied. There was a correlation of the index with AVS30. At

close two stations in Sakaiminato City, we analyzed a difference of instrumental seismic intensities the same method. The difference of two stations was confirmed on this analysis.