

2000年鳥取県西部地震におけるアンケート震度調査

森 伸一郎¹・圓井 洋介²・盛川 仁³・河原 莊一郎⁴・向谷 光彦⁵

¹フェロー会員 工博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

²正会員 ロードテック株式会社 (元・愛媛大学工学部学生) (〒672-8043 兵庫県姫路市飾磨区上野田209番地の1)

²正会員 工博 東京工業大学助教授 大学院総合理工学研究科 (226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

²正会員 工博 松江工業高等専門学校助教授 土木工学科 (〒690-8518 島根県松江市西生馬町14-4)

³正会員 工博 高松工業高等専門学校講師 建設環境工学科 (〒761-8058 香川県高松市勅使町355)

2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震の後、震源地および四国においてアンケート震度調査を実施した。これらの地域における被害の概要を示すとともにアンケート震度より換算された等価気象庁震度の分布とその特徴を示した。また、アンケートによる震度は計器で計測された震度と比較した。アンケートによる等価震度と計器による気象庁震度はよく一致した。境港市では全半壊家屋の分布は市北部に集中し、アンケート震度はこれと調和していた。また、重度の液状化地域の震度は大きかった。

Key Words: questionnaire seismic intensity, liquefaction, 2000 Western Tottori earthquake, seismic fault

1. はじめに

2000年10月6日13時30分頃にマグニチュード7.3 ($M_j = 7.3$)の鳥取県西部地震が起きた。この地震は北北西から南南東に延びる傾斜角85度程度の左横ずれ断層で、深さ方向に10km、水平方向に20kmの領域が主なすべり領域と考えられており、明瞭な地震断層は現れていない。この地震による特徴的な被害は次の3項目である¹⁾:(1)震源近傍の集落及び震源の北に位置する米子、境港の都市における振動による家屋被害、(2)震源の北に位置する米子、境港の埋立地の液状化被害、(3)震源近傍の斜面災害。これらの被害を考える際に地震動と関連させて理解することが重要である。したがって、震源近傍の集落と震源の北に位置する米子や境港の地震動の大きさを調査することは有益である。

1995年兵庫県南部地震以来、地震観測点の数は飛躍的に増加し、いまやこれらの地震観測網により得られる記録は被害地震を理解する上で重要な役割を果たしている。それでもなお、局所的な被害や被害分布をより詳細に理解するためには、さらに高密度な震度把握が望まれる。アンケートによる震度調査は長年行われ改良が加えられ、太田ら²⁾の方法はある程度確立したものと理解され、多くの調査で利用されているように高密度の震度把握に有効な方法である。

そこで、愛媛大学が中心となり10~12月に中国・四国の一部でこの地震のアンケート震度調査を実施した。ここでは、アンケート震度調査の概要を述べた後、震源

地付近の震度分布³⁾や境港・米子の震度と被害の対応に関する調査結果⁴⁾を報告する。

2. 調査方法

表-1にアンケート震度調査の規模と回収結果を示す。調査対象は、中国地方では震源に近い鳥取県、島根県、四国地方では愛媛県、香川県、徳島県とした。鳥取・島根の両県は先に述べた理由によるが、四国3県を対象にしたのは、四国4県で震度3~5強が観測されことは稀であり、地震防災上の重要性を勘案したからである。表-1に示したようにアンケートは各県の全県立高校を通じて生徒の家族を対象にした(地震は生徒が学校にいる時間帯に起きた)。1校あたり125枚を(40枚×3学級として120枚は生徒に5枚は先生に)配付した。ただし、鳥取県については被害地域である境港市、米子市、西伯町、日野町の全中学校(15校)の生徒の家族(125名/校)と米子市の安倍彦名団地、富益団地の住民(250枚/団地)に対してアンケート調査を実施した。震源に近い地域では全ての組織から回収され、有効回答率も高かった。地震の際にいた場所に関して市町村以下の住所の記入があったものを有効回答としており、回収数の2~10%は無効である。有効回答率は、有効枚数を配付枚数で除したものであり、125枚配付した用紙が必ずしも全て配付されたわけではない。例えば直接担当者と話し合

表-1 アンケート震度調査の規模と回収結果

県	配付先	配付		回収		回収率		担当
		組織数	枚数	組織数	有効枚数	組織	有効回答	
鳥取県	中学校	15	2,000	15	1,304	100%	65%	愛媛大
	自治会	2	500	2	393	100%	79%	愛媛大
島根県	県立高校	43	5,375	27	1,847	63%	34%	愛媛大+松江高専
愛媛県	県立高校	57	6,875	44	3,604	77%	52%	愛媛大
香川県	県立高校	34	4,250	19	1,266	56%	30%	愛媛大+高松高専
徳島県	県立高校	40	5,000	19	1,331	48%	27%	愛媛大
合計		191	24,000	126	9,745	66%	41%	

えた鳥取県においては真の回収率は 90% を越えた。191 組織に 24,000 枚送付して、66% の組織から回答を得た。さらに、現在、鳥取大、東工大、愛媛大が共同で鳥取県の全県立高校に同様な調査を実施している（5 月配付）。

アンケート調査は原則として太田ら²⁾の方法によるものとし、得られたアンケート震度を気象庁震度に変換した。計測震度の変換には高震度（4.5 以上）に対しては、太田ら⁶⁾の研究に基づき提案された小山・太田⁷⁾の補正式を用いた。また、島根県の全県立高校 43 校にも 125 枚/校、合計 5375 枚配付して、27 校から 1847 枚回収した（回収率 34%）。本論文では島根県の調査結果に含まれる鳥取県の結果を合体した。最終的に求められる計測震度計による気象庁震度に等価なアンケート震度を等価アンケート震度と言う。

太田らの方法によれば、アンケートの項目は 35 個あるが、感不感の問いが 1 問、場所・条件・属性に関するもの 12 問、揺れに関するもの 21 問、その他 1 問である。今回の調査では、揺れに関する質問で、液状化に関する項目を 1 問増やし 22 問とした。さらに 7 問については、震度 6 強から 7 などに相当する選択肢を増やした。アンケート震度 I_Q の算定は次のように行う²⁾。i 番目の質問に対して j 番目の選択肢を選んだときに割り当てられる、質問項目に対する震度を震度係数 k_{ij} とする。また、新築の木造を規準として、構造種別、階高、新旧により 0.973 ~ 1.098 の範囲で与えられている揺れ易さを表す条件係数 α を考慮する。有効な回答が得られた質問数を N_e とすると、アンケート震度 I_Q は次式で表される。（文献 2）に記載されている式とは異なることに注意。）

$$I_Q = \frac{1}{\alpha N_e} \sum_i N_i k_{ij} \quad (1)$$

k_{ij} は太田ら²⁾によって示されている。その多くは 0.3 ~ 7.7 の範囲にばらついている。この調査では、太田らによる震度係数をそのまま採用し、条件係数は考慮しなかった。 I_Q は次式により気象庁震度と等価な値に変換する²⁾。

$$I_{JMA} = 2.958 \times (I_Q - 1.456)^{0.547} \quad (2)$$

得られた I_{JMA} が 4.5 以上のときにはさらに次式により補正する⁷⁾。このようにして求められる気象庁計測震度と等価な震度 I_M をここでは等価アンケート震度と言う。

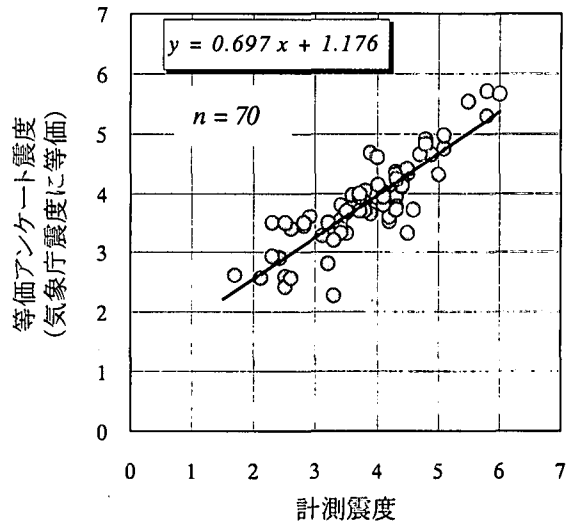


図-1 計測震度と等価アンケート震度³⁾

$$I_M = 1.684 \times e^{0.220 \times I_{JMA}} \quad (3)$$

有効回答 1 枚ごとに 1 つの等価アンケート震度が得られるが、原則として大字、字、町丁目の地域別に平均を求め、それを地域内の等価アンケート震度とした。原則として、地域内の母数が複数のものを議論の対象とする。

3. 調査結果と考察

(1) 全体的なアンケート震度の精度と傾向

はじめにこの等価アンケート震度の精度を調べる。図-1 に今回のアンケート震度調査の対象である中四国において得られた気象庁、K-Net の地震計の計測震度とそれら地震計のある場所（大字もしくは市町村）のアンケート震度の関係（70 地点）を示す。震度 4 より小さい領域でばらつきが多く、仮に線形回帰をすると切片が約 1.2 で傾きが約 0.7 となるが、震度 4.5 以上では両者の合致度はよい。全体的な等価アンケート震度の精度が概略把握できた³⁾。ただし、この関係は比較する条件を揃えて精査する必要がある。

震源が東西に長い島根県の東部に位置するため、島根県では震度の距離減衰が例示的に理解しやすい。図-2 に島根県の市町村別等価アンケート震度分布を示す。震度は震央に近いほど、西部では海岸に近いほど大きくな



図-2 島根県内の市町村別等価アンケート震度分布⁴⁾

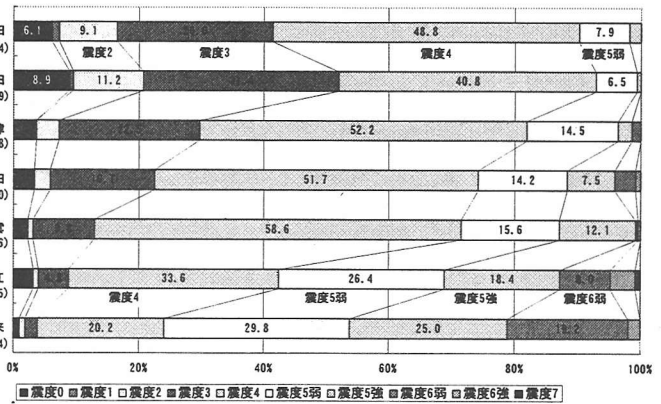


図-3 島根県内各市のアンケート震度階級の相対頻度分布⁴⁾

っている。図-3 に島根県各市の等価アンケート震度相対頻度分布を示す。震央に近いほど大きい震度の頻度が高くなっていること、どの市においても市内で震度にばらつきがあり、その大きさは約2であることがわかる⁴⁾。

(2) 震源地付近の調査結果と考察³⁾

次に、震源近傍地に限ってその精度を考察する。地震計の設置されていた日野町根雨の日野町役場では、EW が 1482 cm/s^2 、NS が 675 cm/s^2 で震度は6.3であった。また、この役場の裏にある墓場における墓石の転倒率は $224/290=0.77$ であり、金子・林⁷⁾の転倒率曲線によれば墓石震度は6.4となる。一方、日野町根雨の等価アンケート震度は6.1であり、三者はよく一致する。また、西伯町法勝寺の計測震度は5.9であったが、等価アンケート震度も5.9であった。計測震度の得られている場所の(等価アンケート、計測震度)を示すと、日南町(5.5, 5.5)、溝口町(6.2, 5.7)、江府町(5.7, 5.8)、会見町(6.3, 5.9)、倉吉市(4.3, 4.5)であり、両者は比較的よく一致している。

図-4 に西伯町から日野町にかけての震度分布図を示す。西伯町では推定地震断層の直上で6強から7の震度が見られる。NSで 2051 cm/s^2 、EWで 1406 cm/s^2 を記録した賀祥ダム近傍でも各所で6強である。西伯町の南に位置する日野町では平均的に震度が大きかったが、推定地震断層から離れても震度6強が見られる。図から地震断層の南側では揺れの大きい領域が広いと理解することができる。西伯町では全域平均で5.8、すなわち6弱となり、また、日野町では全域平均で6.1、すなわち6強となり、震央より南が震度が大きいと理解できる。

(3) 境港市と米子市の解析結果および考察⁴⁾

境港市と米子市では4箇所地震観測が行われている。K-Netの米子は米子市東町の5.3に対して、等価アンケート震度も5.3である。JMAの米子は米子市博労町町の5.1に対して等価アンケート震度は5.0である。JMAは境港市東本町にあり6.0であるのに対して、等価アンケート震度は、東本町を囲む相生町、朝日町、東雲町、日の出町、中町の周囲の大字の平均震度を求めると5.7

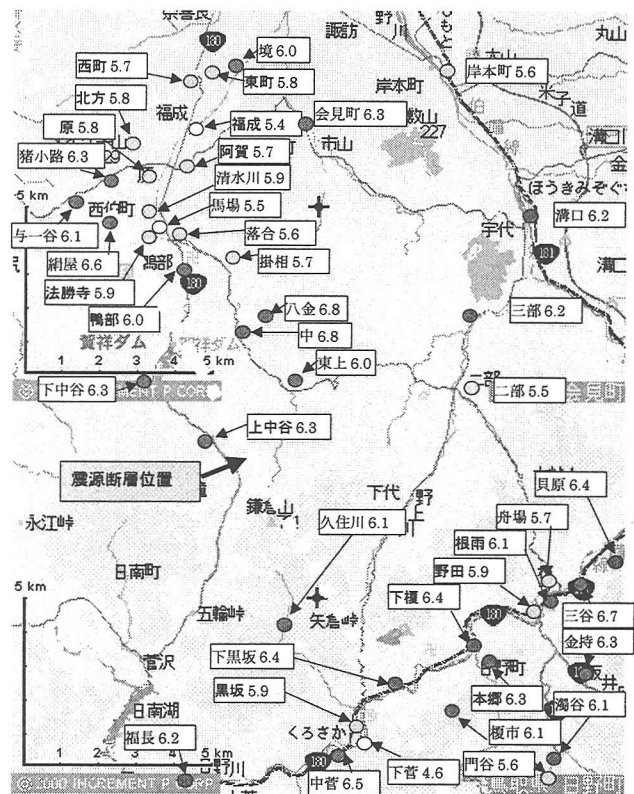


図-4 西伯町から日野町にかけての震度分布図³⁾

となる。消防防災用の地震計が設置してある境港市役所で5.6であるのに対し、アンケート震度は市役所の道を挟んだ向かいの元町では震度5.4となる。すなわち、境港市と米子市でも等価アンケート震度は計測震度と同程度であることがわかる。

次に、被害との関係を見てみよう。紙面の関係から米子地震観測の行われたSHW地点における米子市は省略する。図-5に境港市の全半壊家屋の分布と等価アンケート震度の分布を示す。昭和町と竹内工業団地でほぼ震度6強であるが、これは激しい液状化とそれによる被害に関係している。家屋の全壊または半壊の分布は、市の北端部に境水道に沿って広く集中的に分布しているのがわかる。図に示すように等価アンケート震度で6弱の領域と重なる。外江町や渡町にも家屋被害が集中している

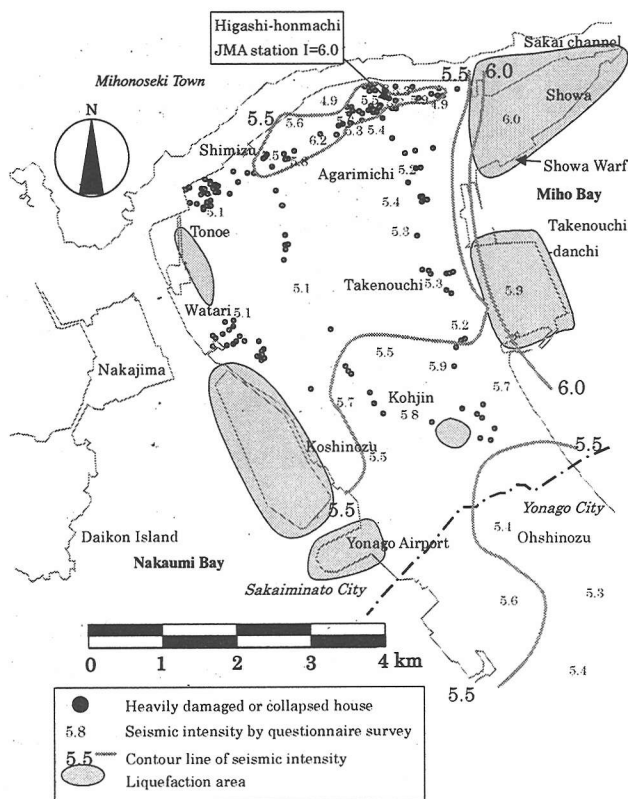


図-5 境港市の全半壊家屋と液状化地域の分布と等価アンケート震度の分布 (森ら⁹⁾の図に引用加筆)

が、震度は5強である。現地での観察では古い家屋が多いようであった。

米子空港と竹内団地に挟まれた領域は6弱の揺れである。ここにも被害家屋が散在し、米子空港の北に隣接する幸神町ではアンケート震度が5.8となっているが、幸神町墓地の墓石の転倒率は、 $161/187=0.86$ となり、金子・林の転倒率曲線から得られる墓石震度は6.4となる。米子空港は液状化が発生したものの滑走路などの被害は軽微で、6弱～6強の地震動を受けた割には比較的良好な挙動をしたものと考えられる。

液状化被害の著しかった安倍彦名団地は震度5.9と算定され周囲より震度が大きかった。局所的な液状化被害のあった富益団地の震度は5.4であり、周辺とほぼ同程度の揺れであった¹⁰⁾。

4. 結論

2000年鳥取県西部地震の後に、中国・四国地方でアンケート震度調査を行い、調査の精度や結果の傾向を考察し、震源近傍の震度分布を明らかにし、家屋被害や液状化の分布との比較検討を行い、次の結論を得た。

- (1) 地震計による計測震度と地震観測されている地点付近での等価アンケート震度を70地点について比較した結果、震度4以下ではばらつきがあるもの、震度4.5以上では両者は良く合致した。

- (2) 鳥取県では震央に近い市町村ほど大きい震度の頻度が高くなるという距離減衰の傾向が認められた。また、どの市内でも震度は大きさを2の範囲でばらついた。
- (3) 震源地付近だけでなく米子市や境港市では等価アンケート震度と計測震度の合致度は高く、墓石による推定震度とも調和した。
- (4) 推定される地震断層の直上とその南側に震度6強以上の強い揺れがあったことがわかった。
- (5) 境港市では境水道に沿う被害集中域があること、そしてその地域は周囲の震度5強より大きい震度6弱の地域と重なり、揺れがひととき大きい地域であることがわかった。
- (6) 液状化地域は震度6弱もしくは震度6強であり、体感の揺れが大きいことがわかった。

謝辞：アンケート調査においては、地震後の大変な折りにも関わらず、鳥取県の調査では米子市、境港市、西伯町、日野町の教育委員会と中学校および中学生のご家族、米子市の2団地の自治会の協力を得ました。鳥取県、愛媛県、香川県の調査では各県の教育委員会のご理解と県立高校および高校生のご家族の協力を得ました。また、北海道大学大学院の鏡味 洋史先生にアドバイスを戴きました。東濃地震科学研究所の太田 裕先生には文献³⁾4)の原稿にコメントを戴きました。記して深謝します。

参考文献

- 1) 森 伸一郎：2000年鳥取県西部地震とその被害の概要、豪雨と地震による土砂災害論文集、土木学会四国支部、第1巻、pp.1-12, 2001.2.
- 2) 太田 裕、後藤 典俊、大橋 ひとみ：アンケートによる地震時の震度の推定、北海道大学工学部研究報告、第92号、pp.117-128, 1979.
- 3) 森 伸一郎、圓井 洋介：2000年鳥取県西部地震における震源地付近のアンケート震度、第36回地盤工学研究発表会講演集、2001、掲載予定
- 4) 森 伸一郎、圓井 洋介、盛川 仁：2000年鳥取県西部地震における境港および米子のアンケート震度、第36回地盤工学研究発表会講演集、2001.6、掲載予定
- 5) 森 伸一郎：2000年鳥取県西部地震における液状化地盤でのアンケート震度、土木学会四国支部第7回技術研究発表会講演概要集、pp.82-83, 2001.5.
- 6) 太田 裕、小山 真紀、中川 康一：アンケート震度算定法の改訂-高震度領域、自然災害科学、16-4、pp.307-323, 1998.
- 7) 小山 真紀、太田 裕：アンケート震度の気象庁震度への略算変換式、自然災害科学、17-3、pp.245-247, 1998.
- 8) 金子 美香、林 康裕：剛体の転倒率曲線の提案、日本建築学会構造系論文集、第536号、pp.55-62, 2000.10.
- 9) 河原 荘一郎、森 伸一郎：鳥取県西部地震における鳥根県内のアンケート震度、土木学会第56回年次学術講演会講演概要集、2001、掲載予定
- 10) 森 伸一郎：X.液状化被害(その3)、平成12年鳥取県西部地震災害緊急調査団報告、地盤工学部、pp.78-82, 2000.12.