

「各種指標の比較」

資料目次

1．旧震度（体感震度）と各種指標との比較

2．計測震度と各種指標との比較

3．罹災証明全壊率と計測震度などとの比較

(参考) 負傷者数と建物全壊数などとの関係

(巻末資料) 検討に使用したデータ数値表および参考文献

1. 旧震度（体感震度）と各種指標との比較

1988-1994 年及び 1995 年兵庫県南部地震の 87 型地震計の記録と観測された旧震度（体感震度）を用いて、旧震度（体感震度）と各種指標との比較を行った。

- 計測震度と旧震度（体感震度）の関係
- 境ら(2004)提案震度と旧震度（体感震度）の関係
- 清野ら(1999)提案震度と旧震度（体感震度）の関係
- 最大加速度と旧震度（体感震度）の関係
- 最大速度と旧震度（体感震度）の関係
- SI 値と旧震度（体感震度）の関係

今回、旧震度（体感震度）Ⅲ以上について調査した。旧震度Ⅱ及びⅠについては、次回に整理する。

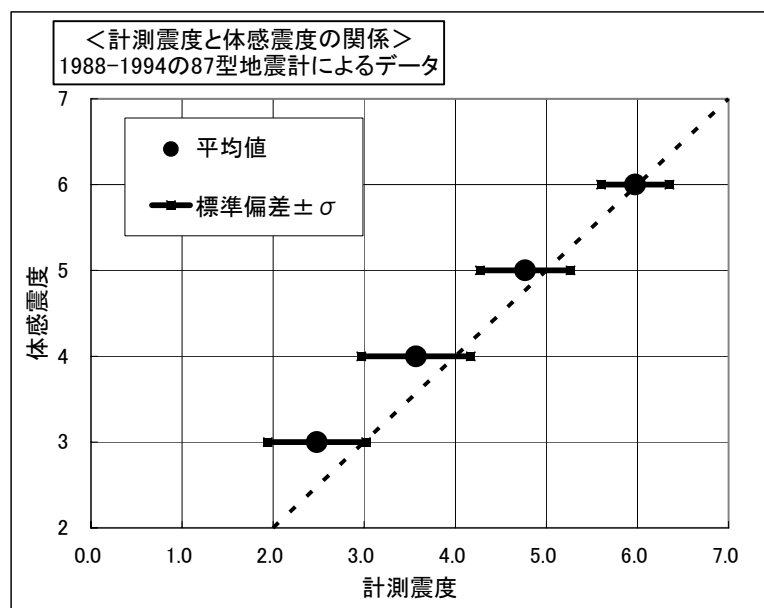


図 1-1 (1) 体感震度と計測震度の関係

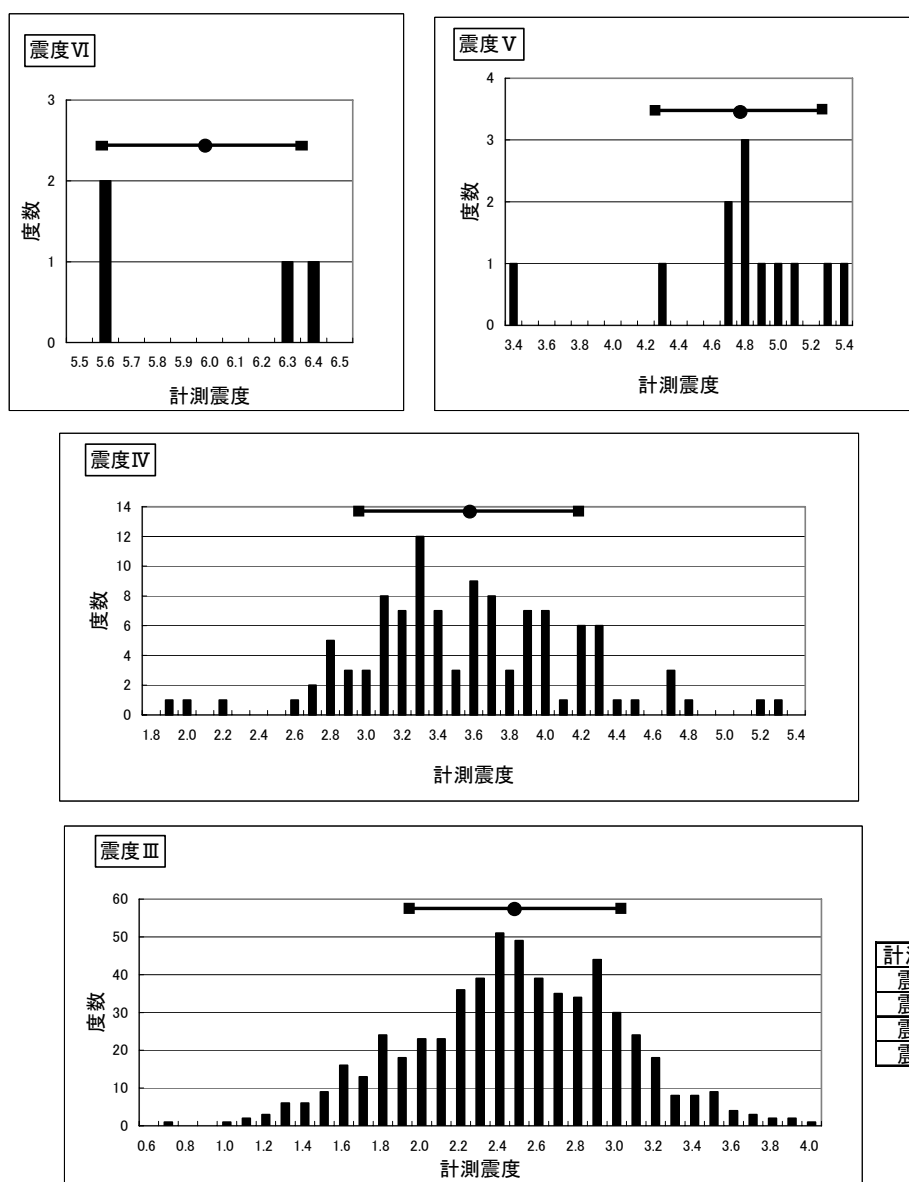
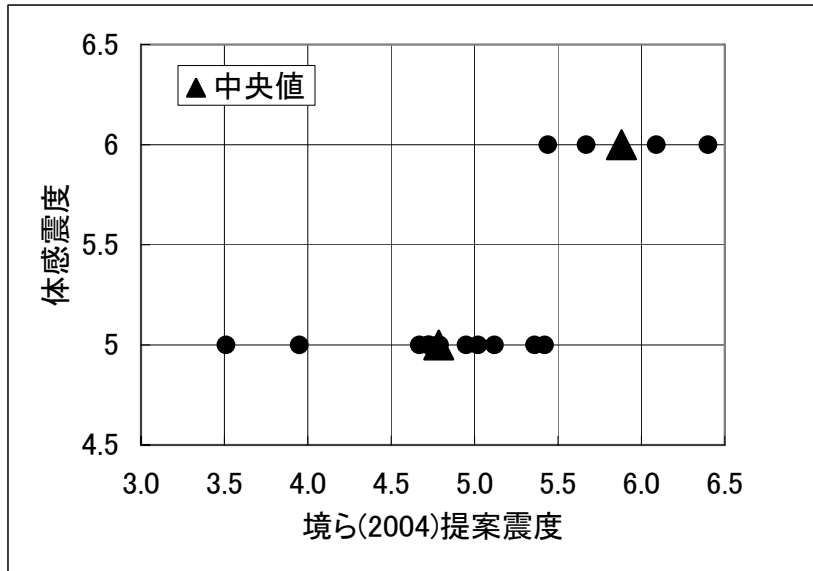
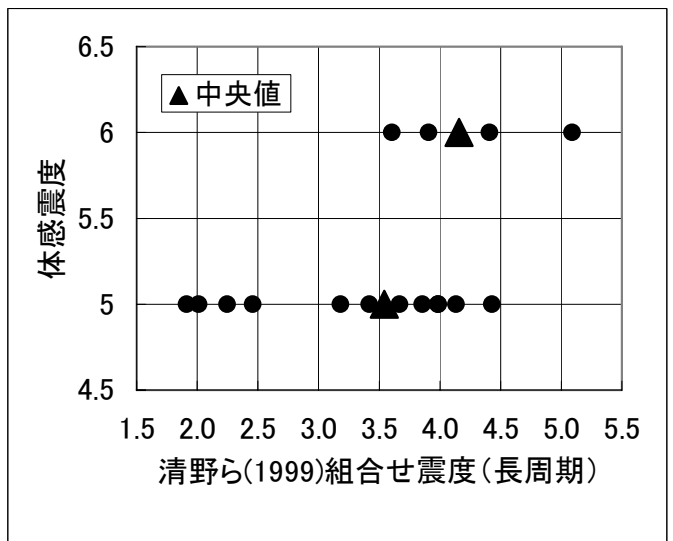
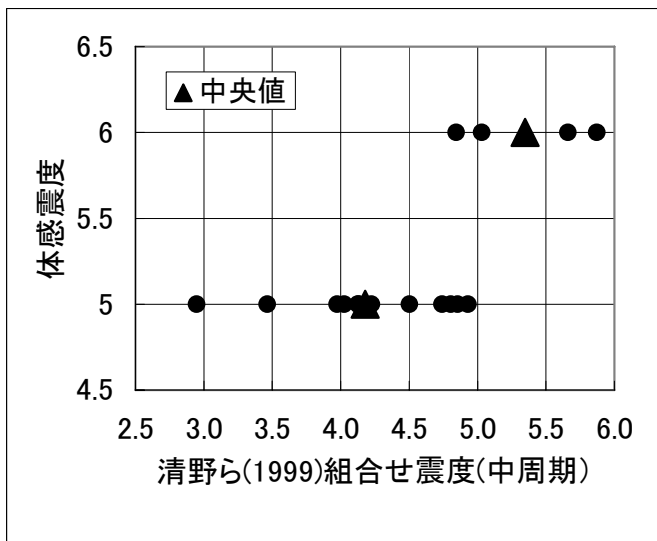


図 1-1 (2) 各体感震度別の計測震度の度数分布



a) 境ら(2004)の提案震度



b) 清野ら(1999)組合せ震度(中周期および長周期)

図 1-2 体感震度と各種震度の比較

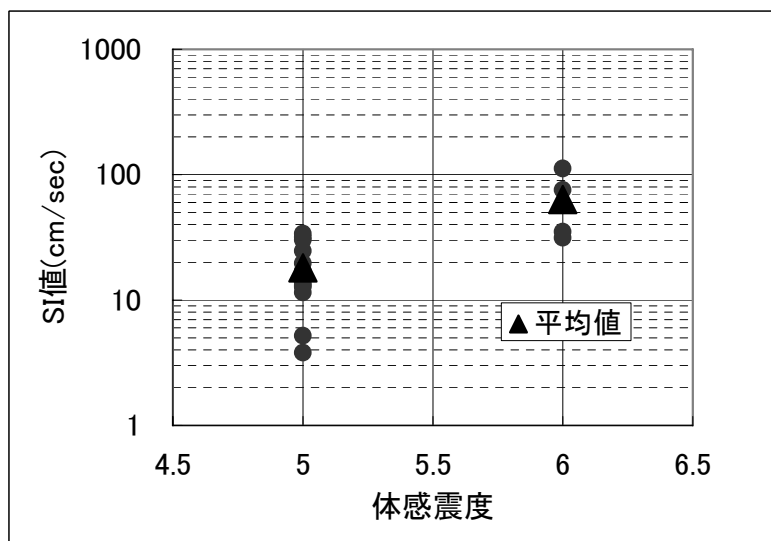
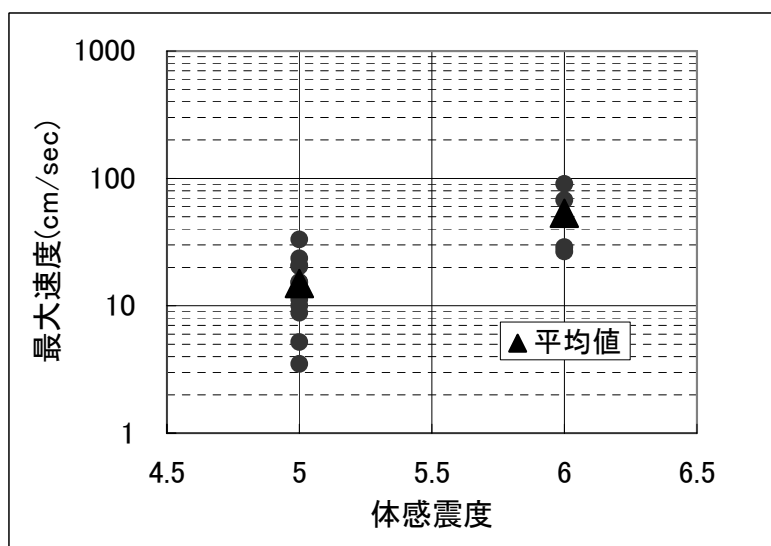
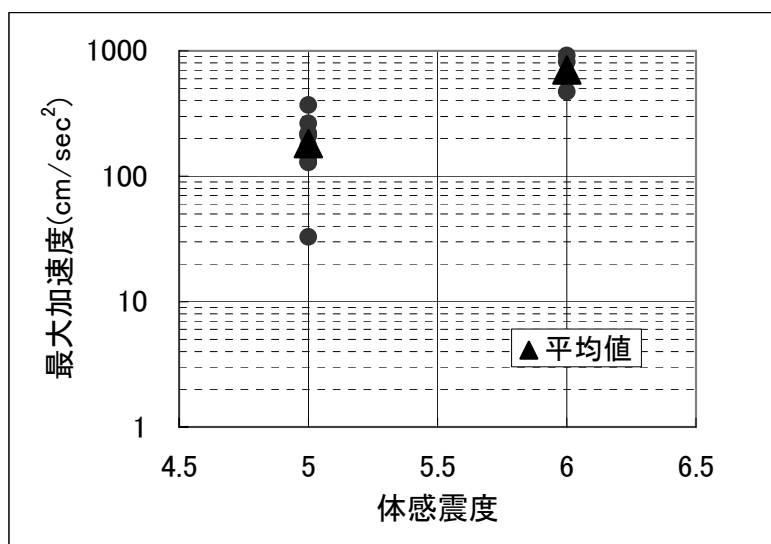


図 1-3 体感震度と最大加速度、最大速度、SI 値との関係

2. 計測震度と各種指標との比較

1988-1994 年及び 1995 年兵庫県南部地震の 87 型地震計の記録を用いて、計測震度と各種提案震度の比較を行った。清野ら(1999)の組合せ震度（短周期）は、以下の定義式であり気象庁計測震度と同じ値となるため図を省略した。

$$I_s(\text{短周期震度}) = 2.0 \log(a_0) + 0.94$$

計測震度、境ら(2004)提案震度および清野ら(1999)組合せ震度と、最大加速度、最大速度および SI 値との関係を、図 2-2～図 2.3 に示した。

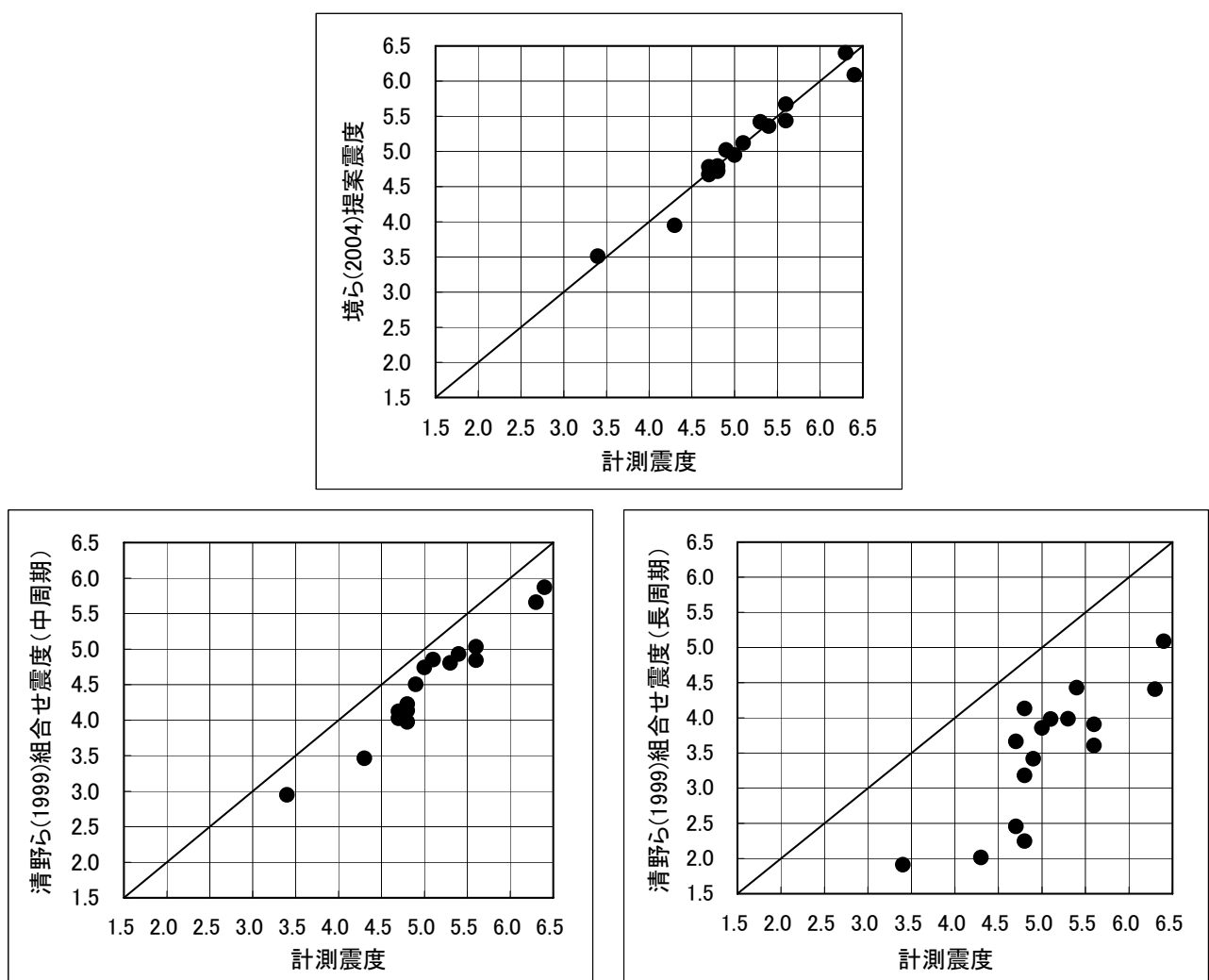


図 2-1 計測震度と各種震度の比較

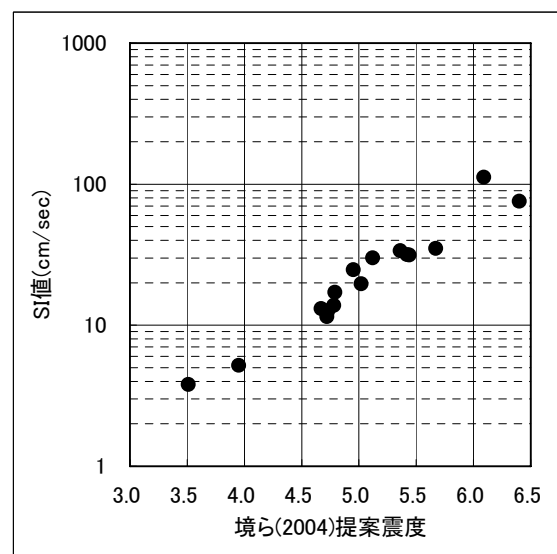
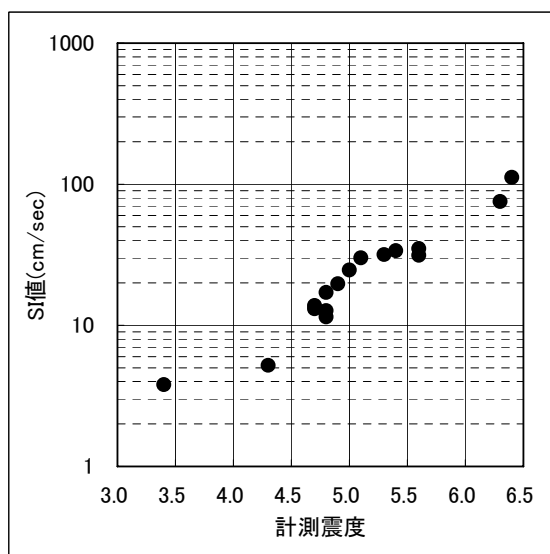
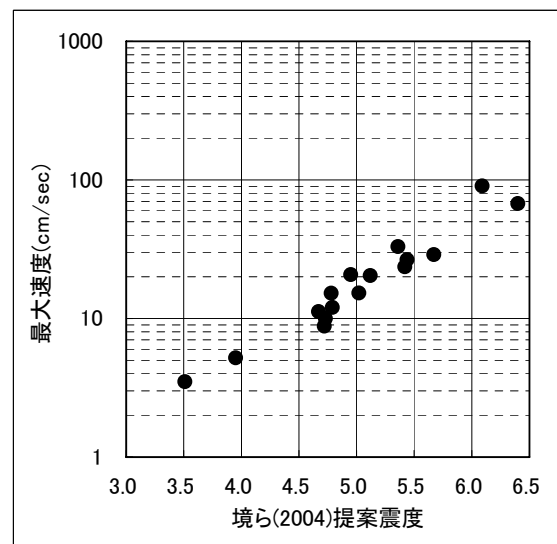
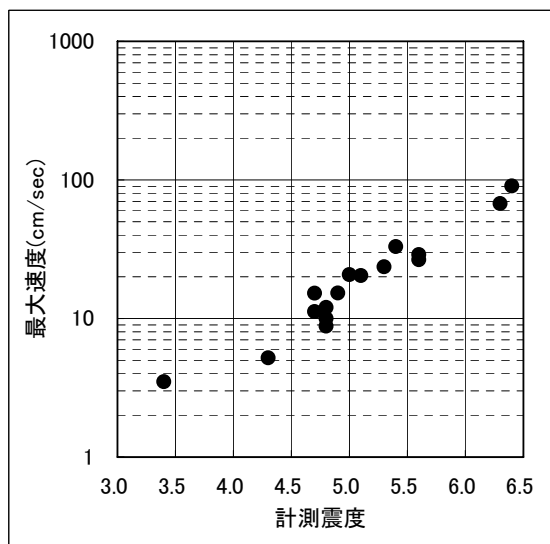
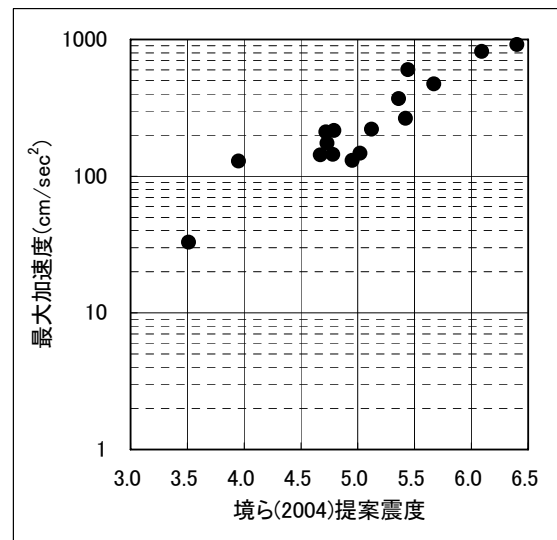
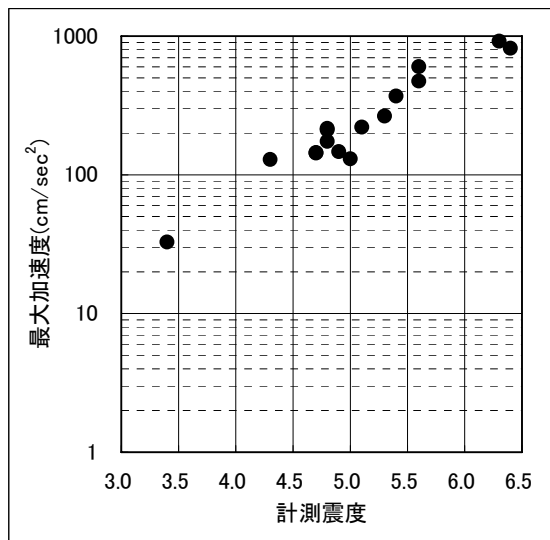


図 2-2 計測震度、境ら (2004) 提案震度と最大加速度、最大速度、SI 値の比較

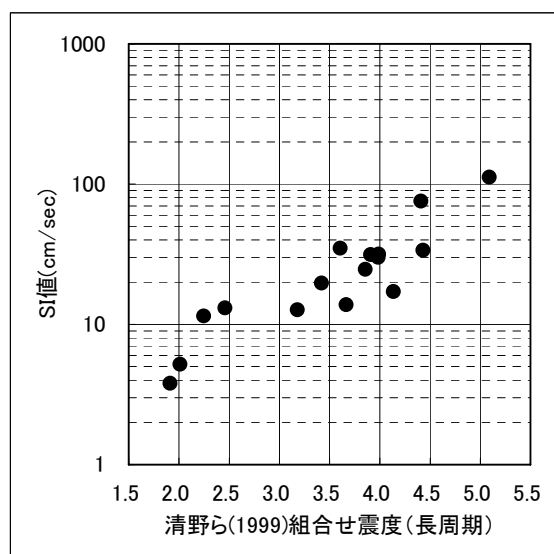
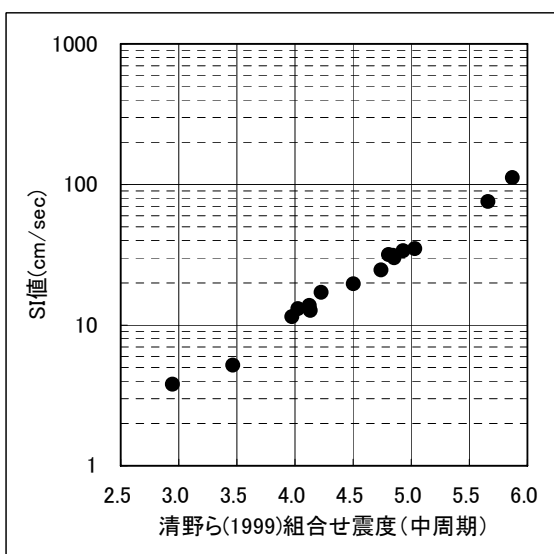
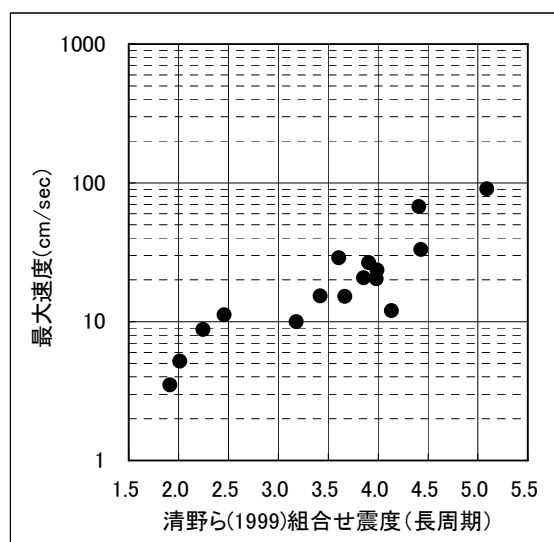
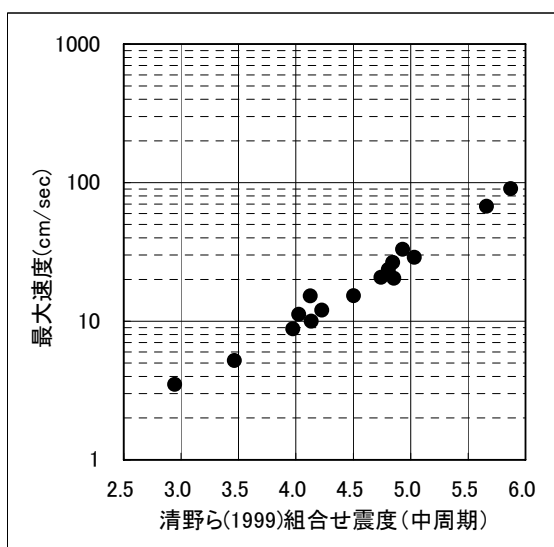
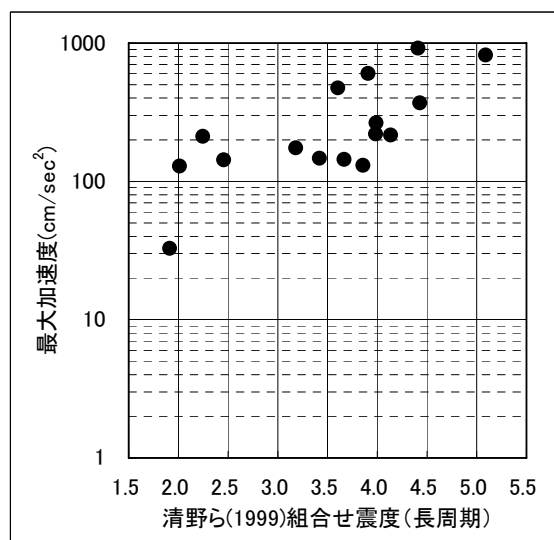
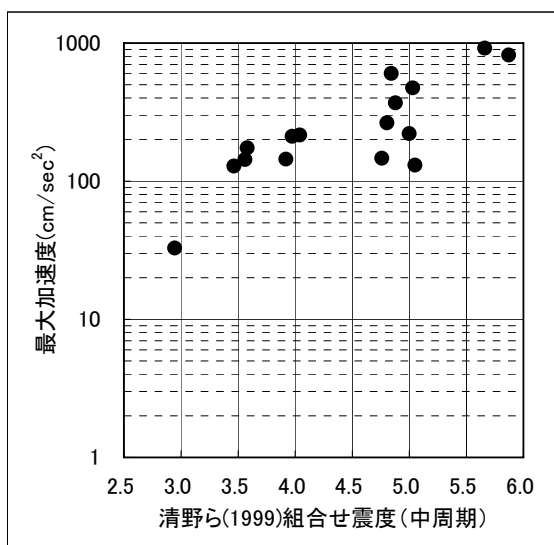


図 2-3 清野ら(1999) (中周期・長周期) 組合せ震度と最大加速度、最大速度、SI 値の比較

3. 罹災証明全壊率と計測震度などとの比較

3-1 気象庁収集データによる検討

気象庁は、巻末に示す地震について、観測地点を中心に半径 200m の範囲内の罹災証明による全壊率、半壊率および一部損壊率を調査している。この表の中で波形データのある記録を用いて、計測震度及び境ら(2004)の提案震度を計算し、罹災証明全壊率などとの関係を検討した。

表 3-1 に対数正規分布関数の累積確率を用いた回帰分析結果を示した。この対数正規分布関数は以下のように表せる(村尾・山崎(2000))。

$$P_r(I) = \Phi((\ln(I) - \lambda) / \xi)$$

ここで、 λ は計測震度の平均値、 ξ は $\ln(\text{計測震度})$ の標準偏差である。

対数正規分布関数は、建物被害率と計測震度または最大速度の関係で様々の文献で用いられているため今回も回帰式として用いている。(岡田・鏡味(1991)、宮腰・林(1997)、村尾・山崎(2000)など)

表 3-1 対数正規累積確率分布を用いた回帰分析結果一覧表(気象庁収集データ)

対数正規分布の累積確率分布関数を用いた回帰分析結果	計測震度との関係			境ら(2004)提案震度との関係		
	λ (x 平均値)	ξ ($\ln(x)$ 標準偏差)	回帰分析の相関係数(R)	λ (x 平均値)	ξ ($\ln(x)$ 標準偏差)	回帰分析の相関係数(R)
全壊率－計測震度の関係 (1981年以前の建物)	6.924	0.092	0.977	7.536	0.159	0.855
全壊率－計測震度の関係 (1982年以降の建物)	—	—	—	—	—	—
全半壊率－計測震度の関係 (1981年以前の建物)	6.548	0.098	0.971	6.768	0.148	0.900
全半壊率－計測震度の関係 (1982年以降の建物)	7.601	0.134	0.824	10.992	0.363	0.475
半壊率－計測震度の関係 (1981年以前の建物)	7.119	0.143	0.919	7.571	0.205	0.900
半壊率－計測震度の関係 (1982年以降の建物)	8.132	0.166	0.838	13.333	0.454	0.477
一部損壊率－計測震度の関係 (1981年以前の建物)	5.769	0.124	0.530	5.642	0.215	0.407
一部損壊率－計測震度の関係 (1982年以降の建物)	5.672	0.077	0.692	5.415	0.131	0.591

※回帰分析は、全壊率、半壊率、一部破損率が 0%になるデータを除いて分析している

※全壊率－計測震度の関係における 1982 年以降については、データが少ないため、回帰分析を行っていない

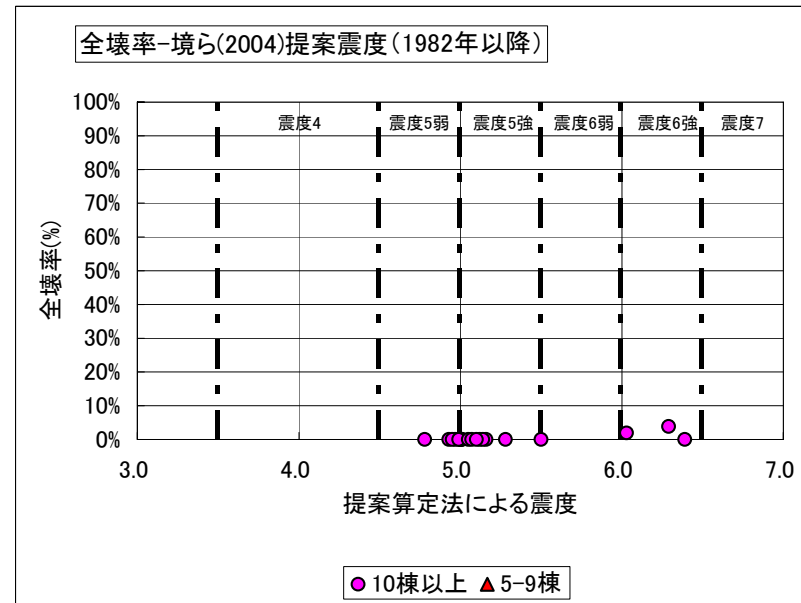
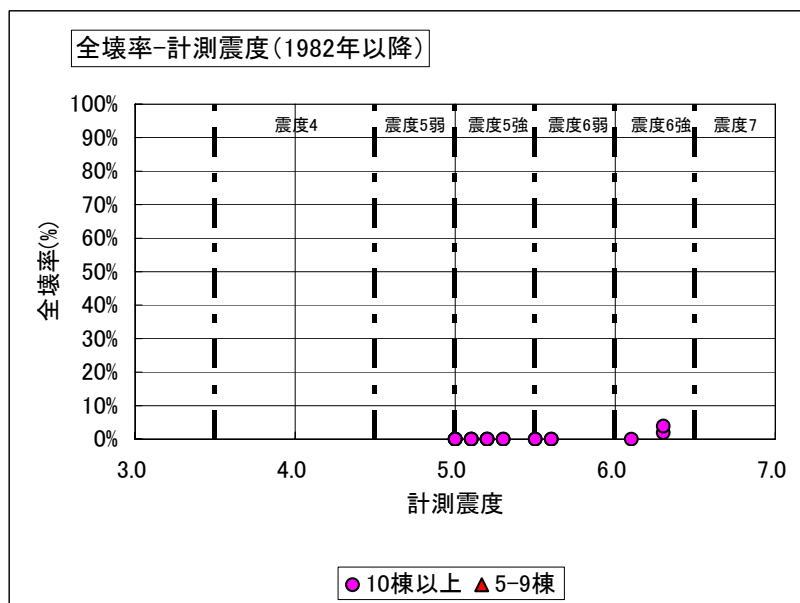
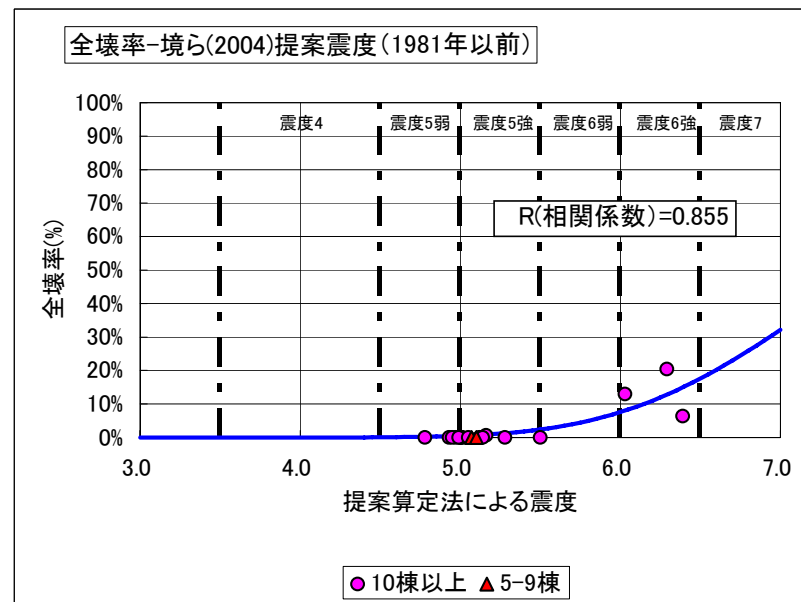
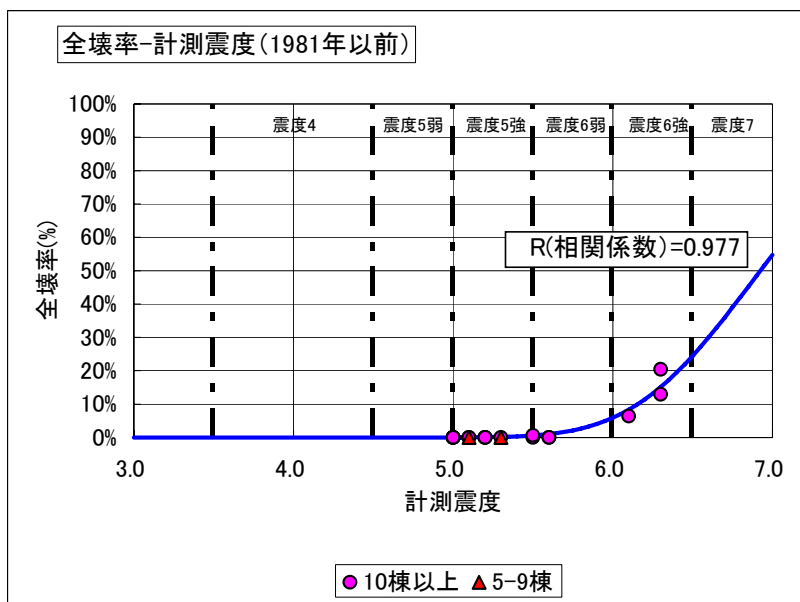


図 3-1 (1) 木造全壊率と計測震度および提案震度の関係(気象庁データ)

※1982 年以降については、データが少ないため、回帰を行っていない

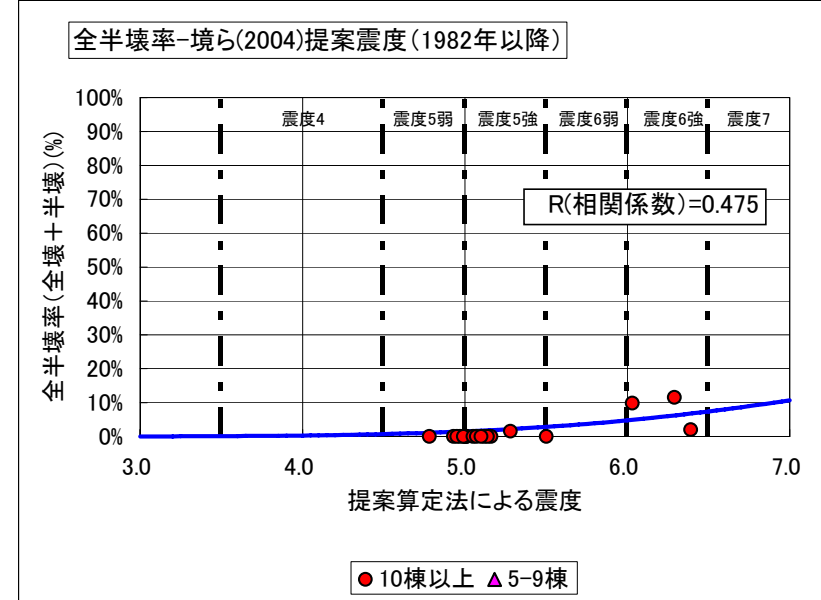
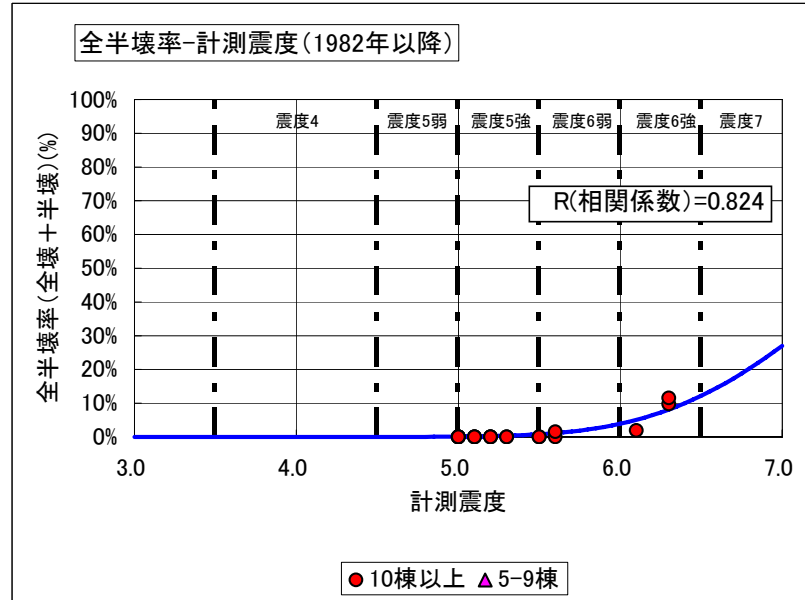
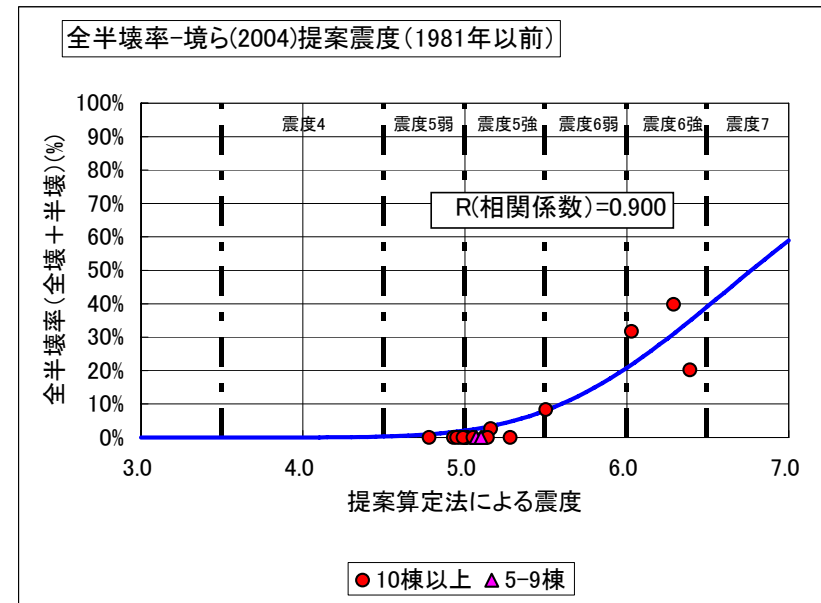
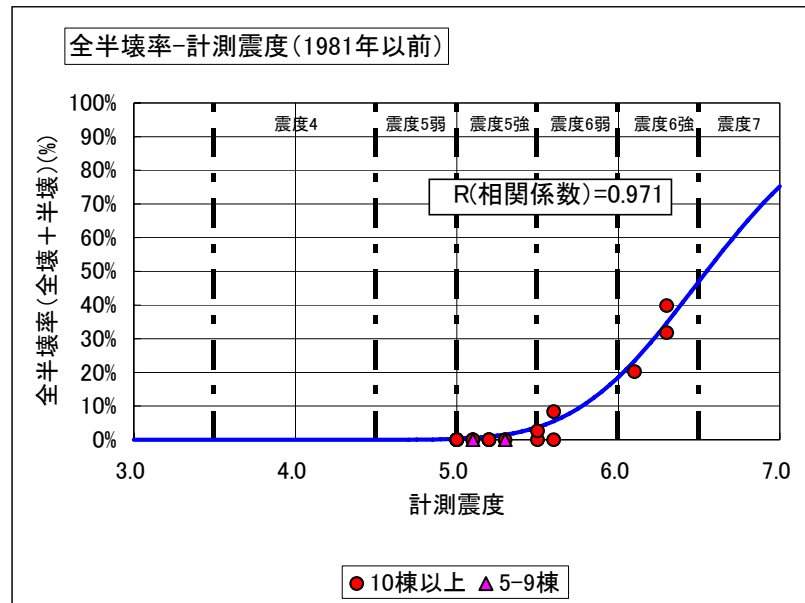


図 3-1 (2) 木造全半壊率と計測震度および提案震度の関係(気象庁データ)

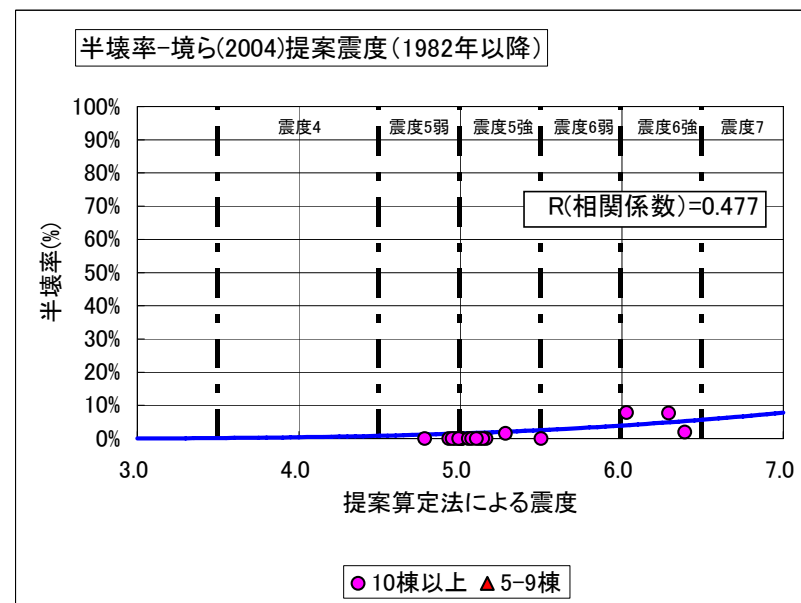
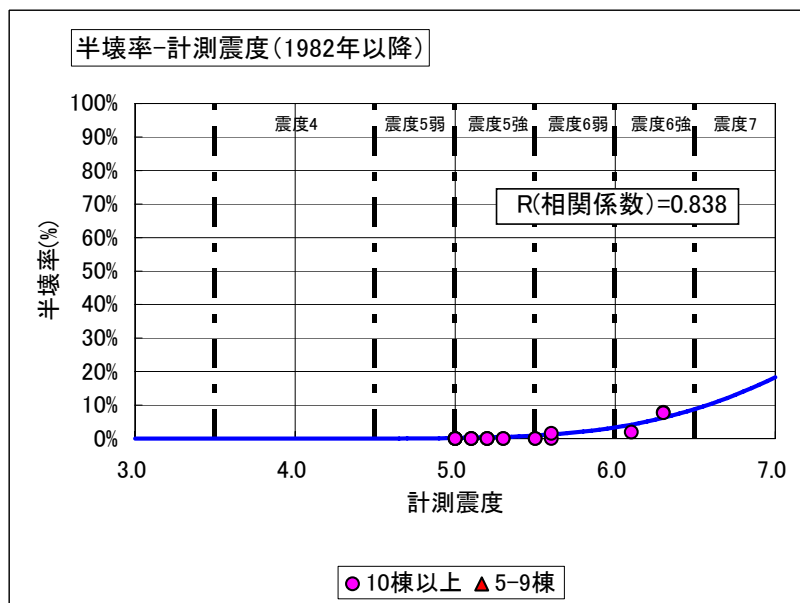
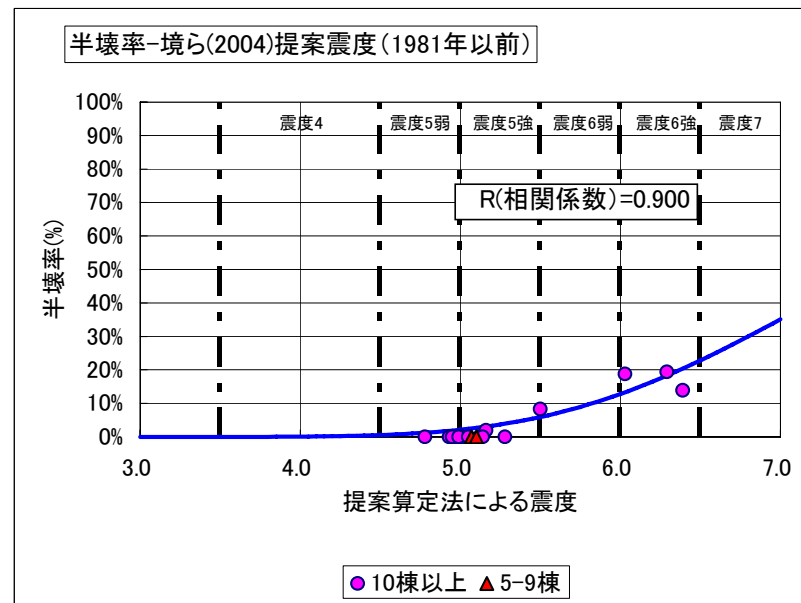
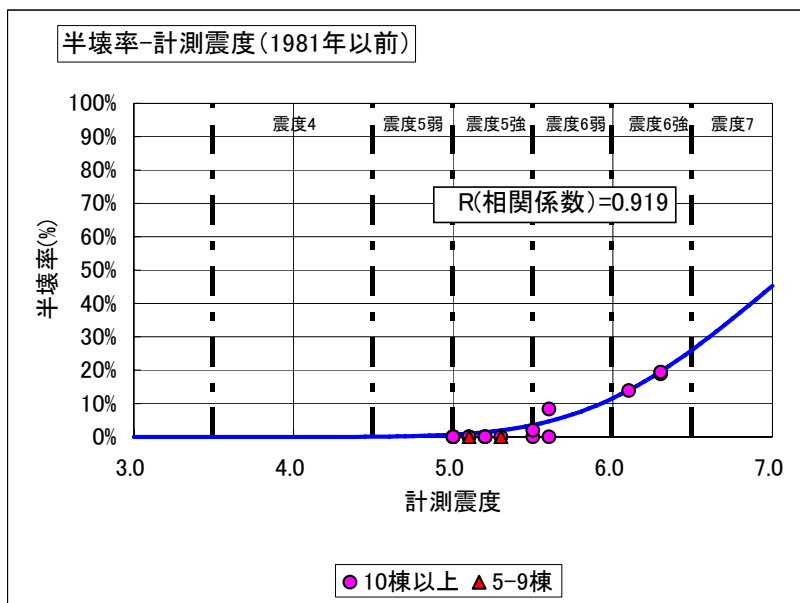


図 3-1 (3) 木造半壊率と計測震度および提案震度の関係(気象庁データ)

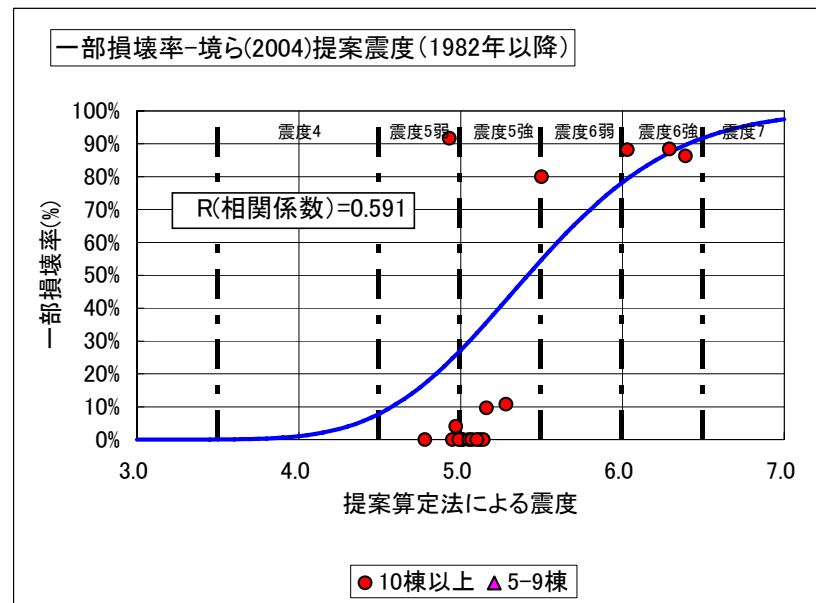
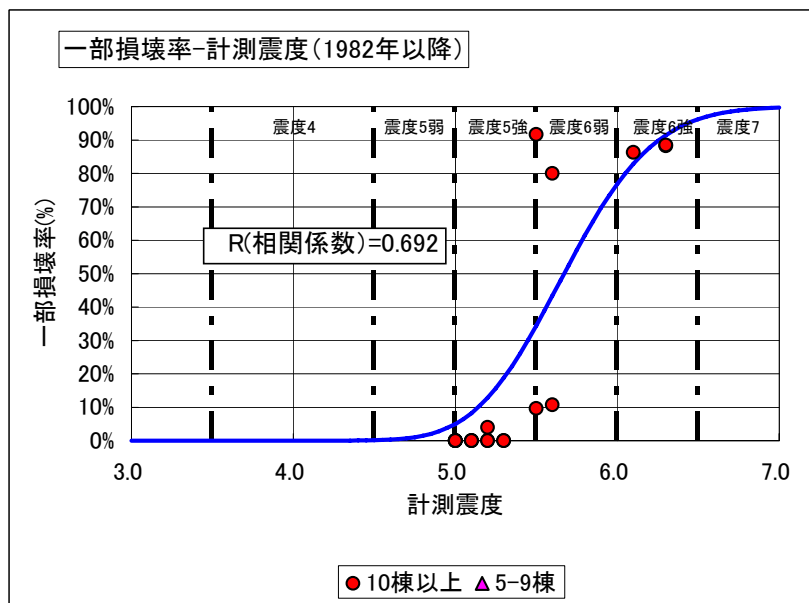
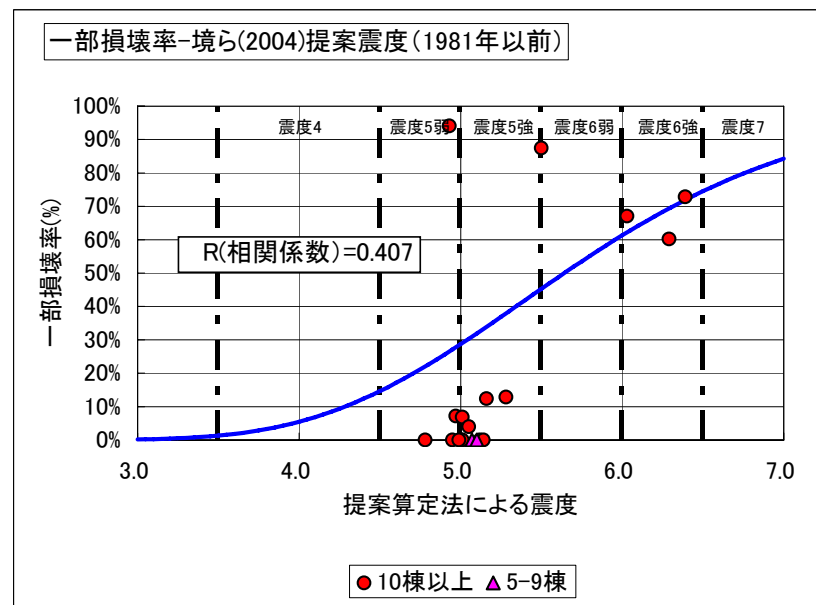
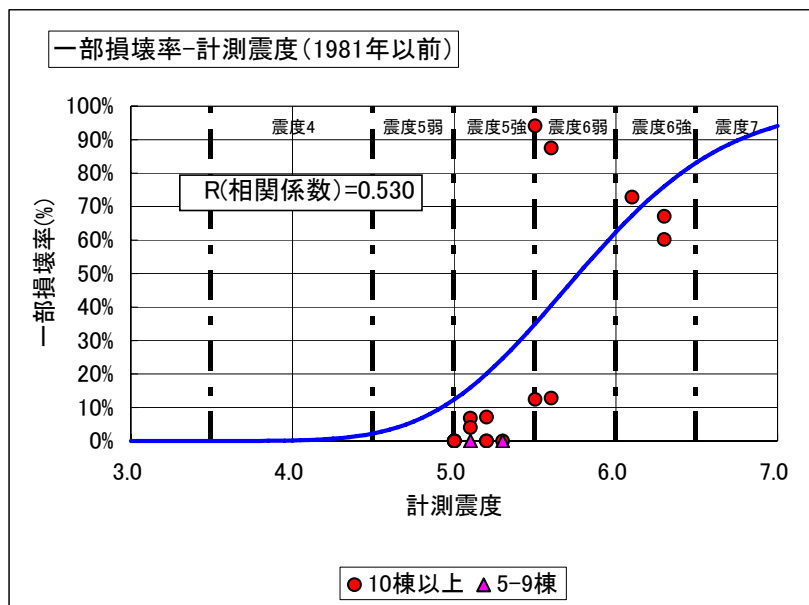


図 3-1(4) 木造一部損壊率と計測震度および提案震度の関係 (気象庁データ)

3-2 境ら(2004)論文データを加えた検討

ここでは、表 3-2 に示す境ら(2004)の論文で提案された提案震度(I_p)および計測震度(I_J)と木造全壊率(D_H)および木造全半壊率(D_M)を用いて、それらの関係を検討した。前節と同じように、対数正規分布関数の累積確率を用いた回帰分析を実施した。

$$P_R(I) = \Phi((\ln(I) - \lambda)/\xi)$$

ここで、 λ は計測震度の平均値、 ξ は $\ln(\text{計測震度})$ の標準偏差である。図 3-2 に境ら(2004)論文データを使用した関係図、図 3-3 に境ら(2004)論文データと気象庁データを加えた関係図を示した。

表 3-2 境ら (2004) 論文中的数据

地震	地点	I_J	I_L	I_M	I_H	I_p	C	D_M	D_H
1995 年兵庫県南部	JR 鷹取	6.48	6.10	5.77	6.63	6.63	1	81.0	59.4
"	葺合	6.49*	6.15*	5.89	6.40	6.40	1	57.6	20.2
"	NTT 神戸	5.83	5.57	5.35	5.94	5.87	2	65.5	16.1
"	JR 宝塚	6.15	6.09	5.68	5.92	5.89	2	36.1	7.2
"	本山第一小	6.12	5.87	5.58	5.74	5.65	2	48.9	6.5
"	神戸 JMA	6.43	6.40	6.15	6.09	6.09	1	58.6	3.2
1994 年三陸はるか沖	八戸市庁舎	5.82	5.79	5.55	5.38	5.55	5	-	1.9
1993 年釧路沖	釧路 JMA	5.95*	5.96*	5.47	5.35	*5.47	5	-	0.0
1993 年北海道南西沖余震	乙部小	6.15	5.99	5.10	4.93	*5.10	5	-	0.0
2001 年芸予	K-NET 大野	5.63	5.76	5.29	4.82	*5.29	5	-	0.0
"	K-NET 東予	5.57	5.62	5.15	4.74	*5.15	5	0.0	0.0
"	K-NET 三原	4.98	4.81	4.08	3.92	4.81	3	0.0	0.0
1997 年鹿児島県北西部 3/26	K-NET 宮之城	5.53	5.51	5.11	4.72	*5.11	5	-	0.0
1997 年鹿児島県北西部 5/13	K-NET 宮之城	5.92	5.87	5.39	4.94	*5.39	5	-	0.0
2000 年鳥取県西部	境港測候所	6.01	5.86	5.48	5.92	5.85	2	13.0	1.1
"	KiK-net 伯太	5.76	5.62	4.87	4.87	+4.87	5	11.4	0.0
"	JMA 米子	5.15	5.22	4.80	4.59	+5.03	4	1.3	0.0
"	K-NET 米子	5.82	5.57	5.19	5.76	+5.49	2	2.9	0.0
2003 年三陸南 (5/26)	K-NET 赤穂	4.00	4.05	3.55	3.59	4.05	3	-	-
"	K-NET 尻屋	2.35	2.48	1.83	1.46	2.48	3	-	-
"	K-NET 下屋地	2.99	2.93	2.48	2.68	2.93	3	-	-
1994 年 Northridge	Sylmar	6.20	6.14	5.75	5.95	5.92	2	-	-
"	Tarzana	6.54	6.50	6.06	5.81	5.90	2	-	-
1999 年台湾集集	埔里	6.04	6.06	5.84	6.03	6.03	1	-	-
"	石岡	6.03	5.66	5.29	5.86	5.69	2	-	-
"	新街	5.98	5.91	5.39	5.39	5.39	5	-	-
2000 年新島・神津島	神津島金長	5.78	5.74	5.39	4.93	5.39	5	-	-
1940 年 Imperial Valley	El-Centro	5.43*	5.46*	5.13	4.94	5.16	4	-	-
1952 年 Arvin-Tahachapi	Taft	4.96*	4.96*	4.53	4.49	4.96	3	-	-
1968 年十勝沖	八戸港湾	5.28*	5.31*	4.97	5.06	5.10	4	-	-
1978 年宮城県沖	東北大学	5.55*	5.51*	5.22	5.49	5.22	5	-	-

I_J : 計測震度 (*がついたものは水平 2 成分による値), I_L , I_M , I_H : それぞれ 0.1-1 秒震度, 0.5-1 秒震度, 1-2 秒震度, I_p : 提案算定法による震度, C: 本文および図 8 中の Case 番号, D_M : 全半壊率(%), D_H : 全壊率(%)。

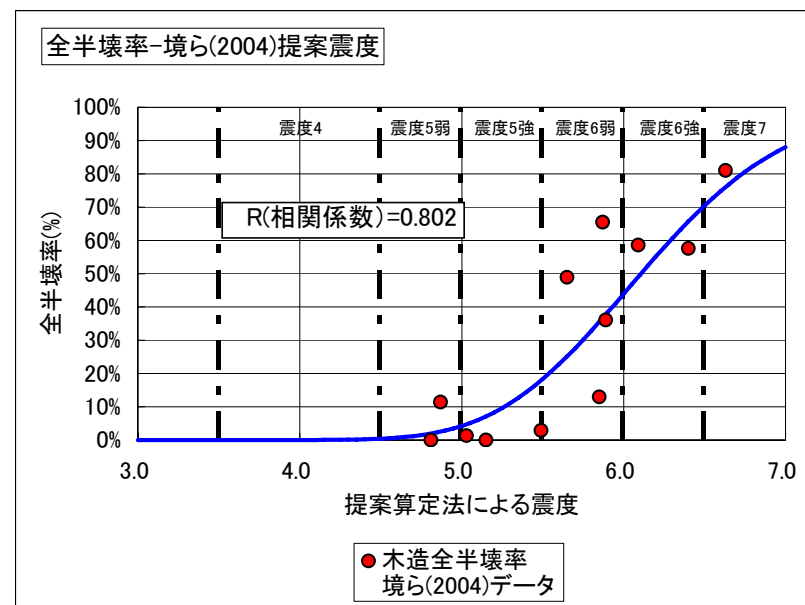
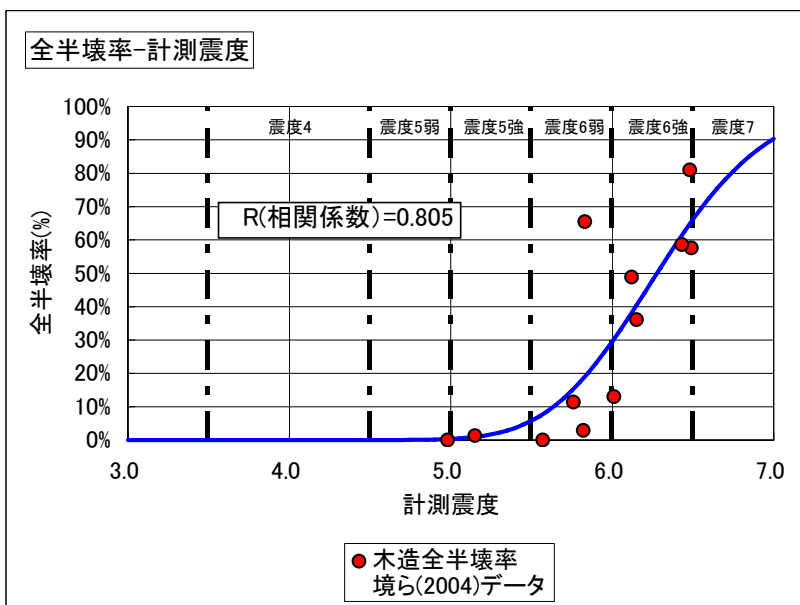
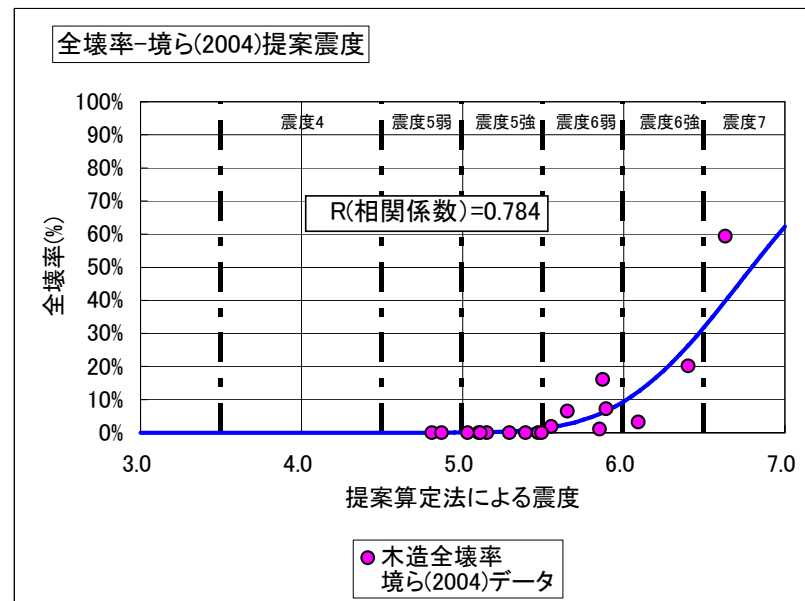
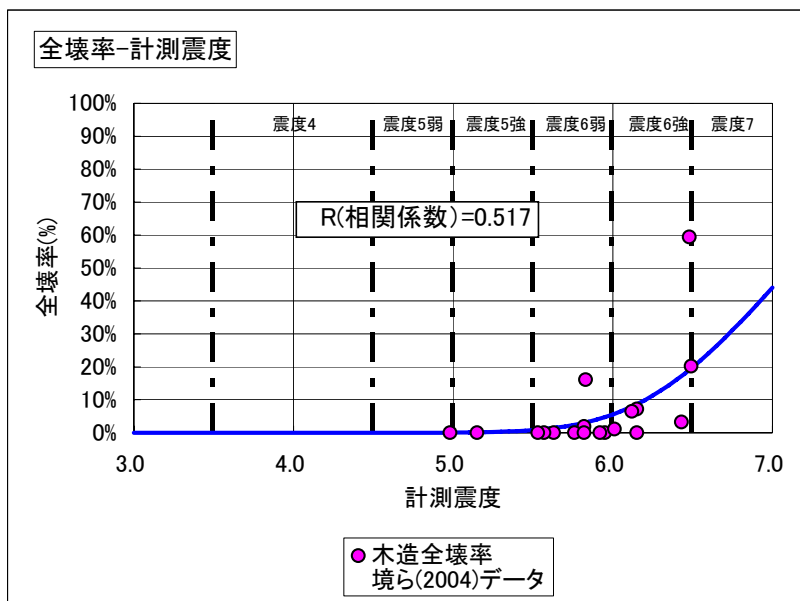


図 3-2 木造全壊率、木造全半壊率と計測震度および提案震度の関係（境ら(2004)論文データ）

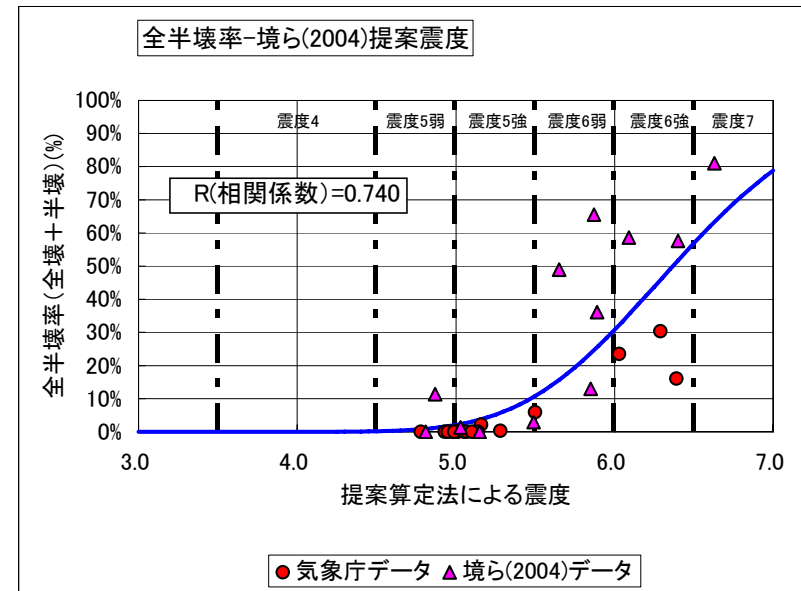
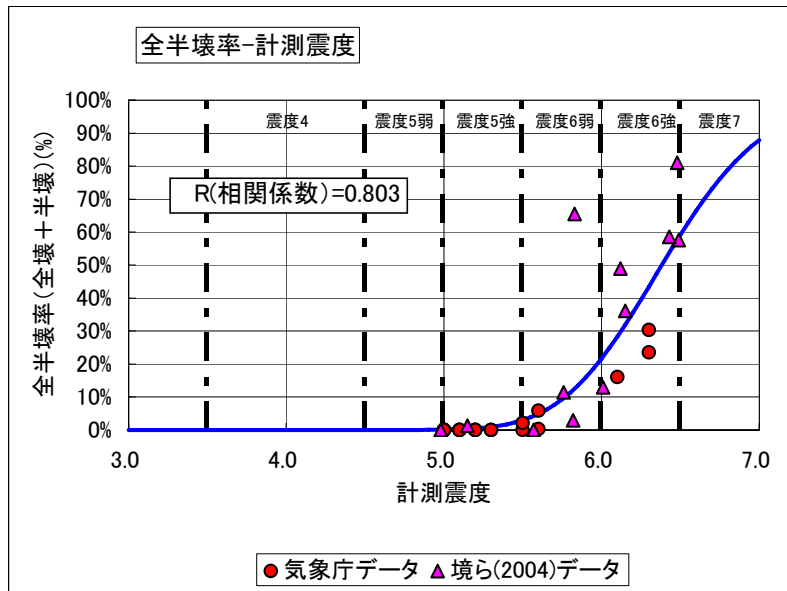
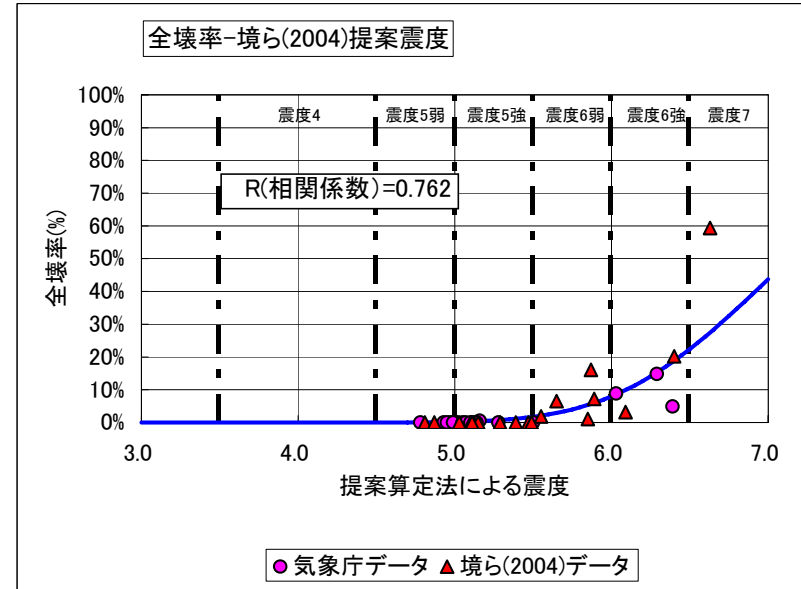
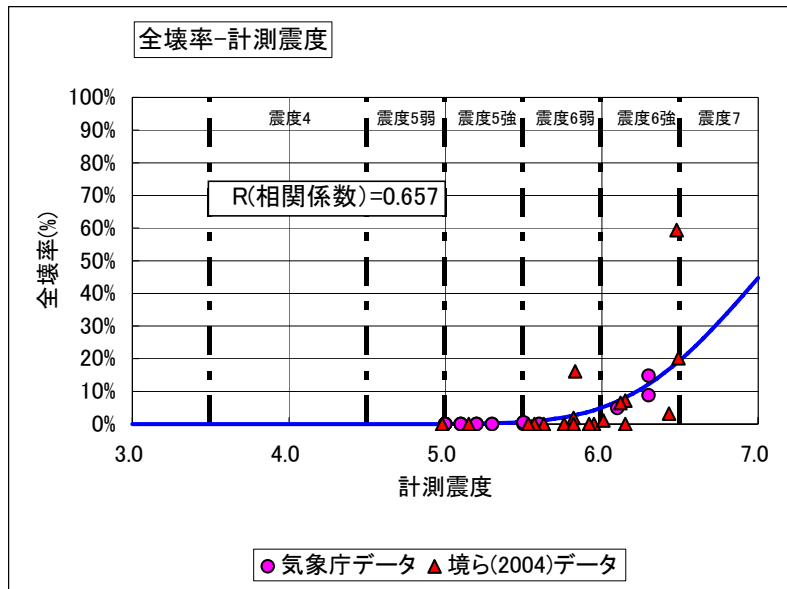


図 3-3 木造全壊率、木造全半壊率と計測震度および提案震度の関係（境ら（2004）論文データ＋気象庁データ）

(参考) 負傷者数と建物全壊数などの関係

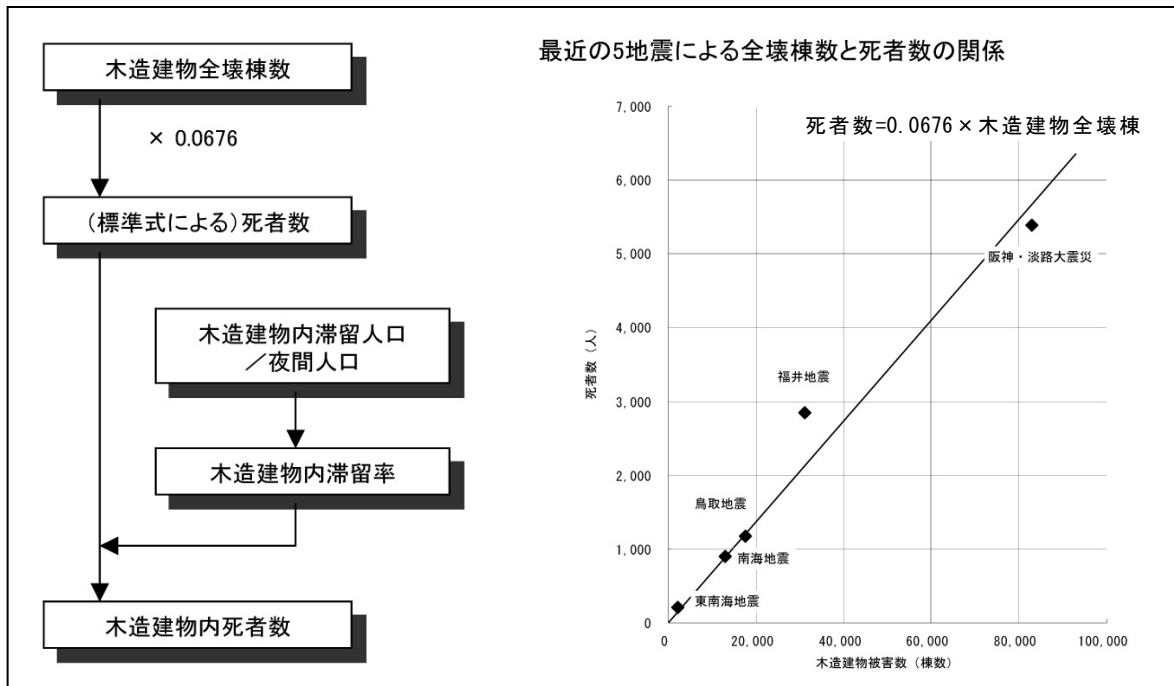


図 4-2 木造建物全壊数と死者数の関係

(中央防災会議(2005)：首都直下地震に係る被害想定手法について, p34.)

- ・ 阪神・淡路大震災時における建物被害率と負傷者率との関係を用いた大阪府(1997)の手法に従い、以下の式により負傷者数を算出する。

$$\text{負傷者率} = 0.12 \times \text{建物被害率} \quad (0 \leq \text{建物被害率} < 0.25)$$

$$\text{負傷者率} = 0.07 - 0.16 \times \text{建物被害率} \quad (0.25 \leq \text{建物被害率} < 0.375)$$

$$\text{負傷者率} = 0.01 \quad (0.375 \leq \text{建物被害率})$$

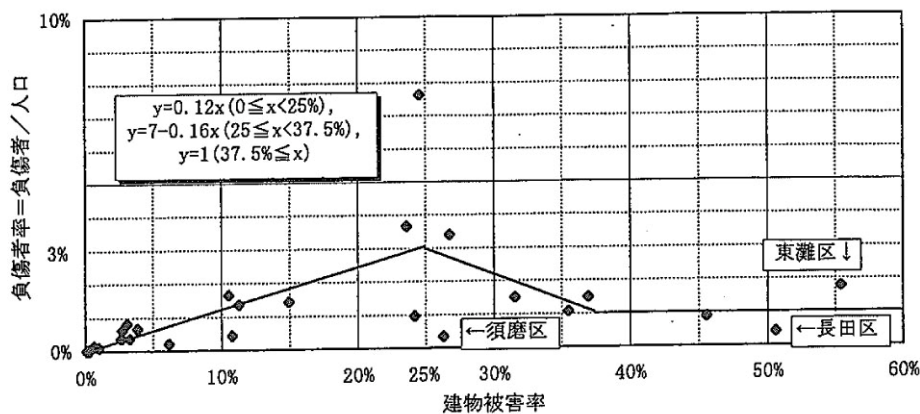
※ ここで、建物被害率 = 全壊率 + $1/2 \times$ 半壊率

※ 負傷者率は木造／非木造別にそれぞれ算出する

$$\text{木造負傷者数} = \text{木造建物内滞留人口} \times \text{負傷者率 (木造)}$$

$$\text{非木造負傷者数} = \text{非木造建物内滞留人口} \times \text{負傷者率 (非木造)}$$

阪神・淡路大震災時における建物被害率と負傷者率の関係



(出典) 大阪府地震被害想定調査(平成9年3月、大阪府)

図 4-3 建物被害率（全壊率 + $1/2$ 半壊率）と負傷者率との関係

(中央防災会議(2005)：首都直下地震に係る被害想定手法について, p35.)

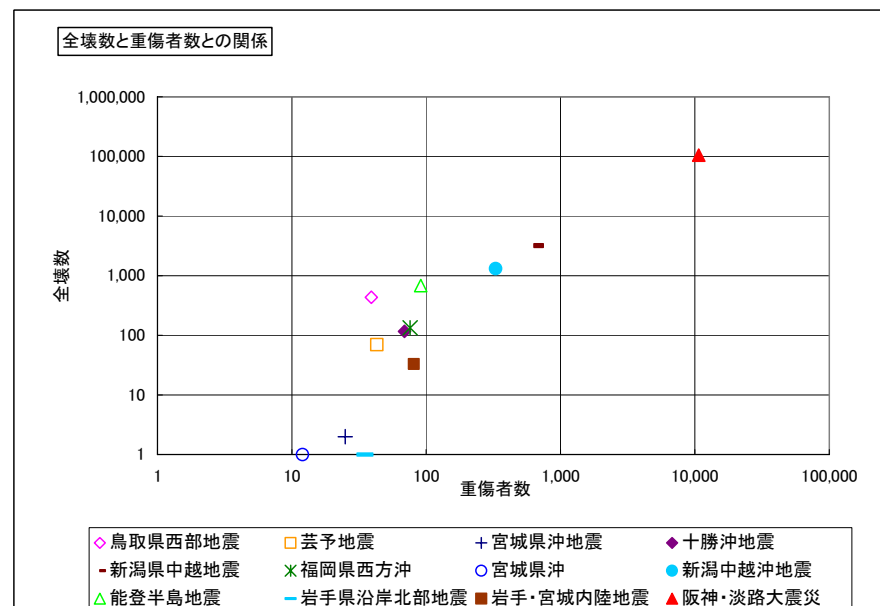
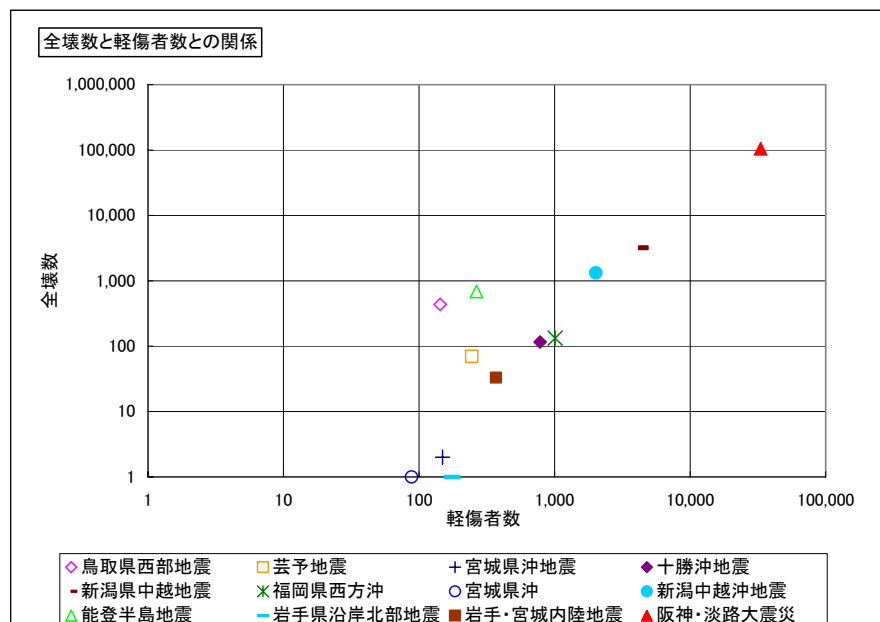
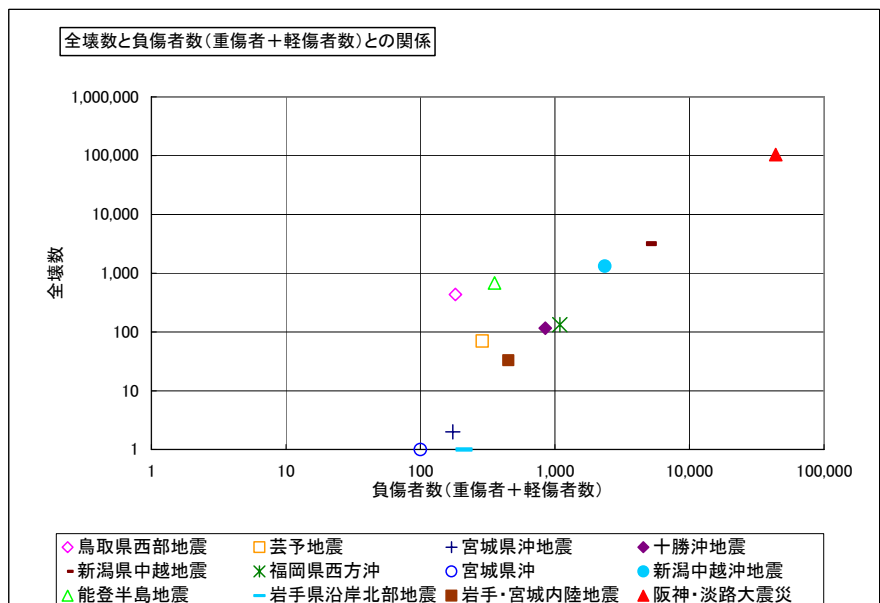


図 4-4(1) 建物全壊数と負傷者数との関係

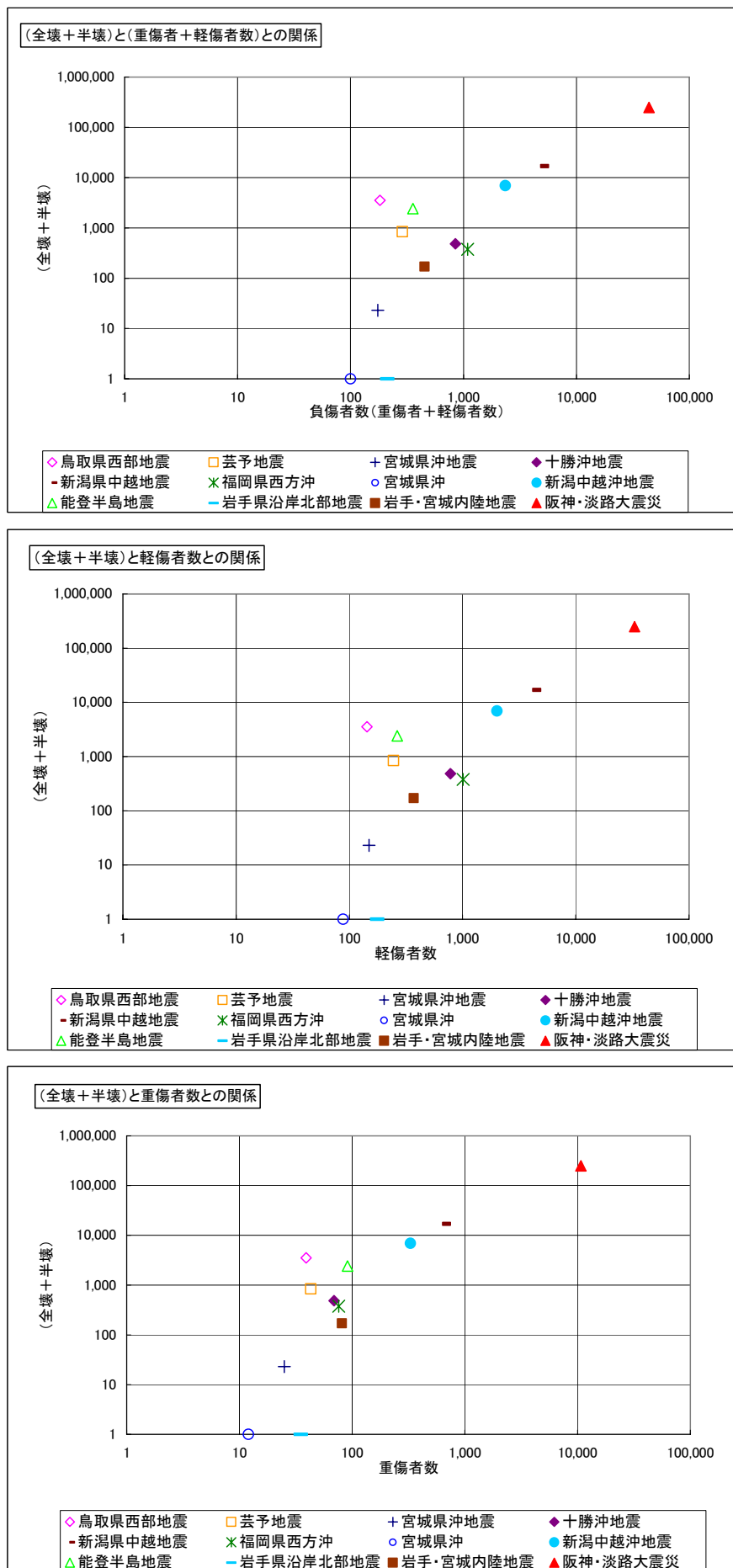


図 4-4 (2) 建物全半壊数と負傷者数との関係

(巻末資料) 検討に使用したデータ数値表および参考文献

巻末表-1 計測震度などの比較に用いた数値表（体感震度Ⅵ、Ⅴ）

地震名	観測点名	気象庁	計測震度 (計算値)	境ら(2004)提案震度				清野ら(1999)組合せ震度			最大加速度		最大速度		SI値	
		(a) 体感震度		短周期 (0.1-1秒)	中周期 (0.5-1秒)	長周期 (1-2秒)	(b) 震度	短周期 (a ₀)	(c) 中周期 (v ₀)	(d) 長周期 (d ₀)	NS	EW	NS	EW	NS	EW
1993/1/15 釧路沖	北海道釧路市幣舞町(旧)	Ⅵ	6.3	5.92	5.56	5.87	6.40	6.35	5.66	4.41	814.9	919.3	67.4	60.4	73.3	75.6
1994/10/4 北海道東方沖	北海道釧路市幣舞町(旧)	Ⅵ	5.6	5.05	4.72	5.05	5.67	5.70	5.03	3.61	455.0	473.4	28.9	28.9	35.0	31.3
1994/12/28 三陸はるか沖	青森県八戸市湊町	Ⅵ	5.6	4.69	4.48	4.78	5.44	5.66	4.84	3.91	602.3	488.4	26.6	23.8	31.4	29.3
1995/1/17 兵庫県南部	兵庫県神戸市中央区中山手通	Ⅵ	6.4	6.39	6.15	6.09	6.09	6.44	5.87	5.09	818.0	617.3	90.6	74.7	112.1	85.2
1989/3/6 千葉県東方	千葉県銚子市川口町	Ⅴ	3.4	3.10	2.80	3.51	3.51	3.45	2.95	1.91	23.5	32.8	1.9	3.5	2.5	3.8
1992/2/2 東京湾	東京都千代田区	Ⅴ	4.8	3.99	3.56	4.72	4.72	4.86	3.97	2.25	211.1	184.2	8.6	8.8	10.4	11.5
1993/1/15 釧路沖	北海道浦河町潮見	Ⅴ	5.3	5.07	4.77	5.13	5.42	5.36	4.81	3.99	224.5	264.7	19.1	23.6	22.8	31.7
1993/1/15 釧路沖	青森県八戸市湊町	Ⅴ	4.3	3.02	2.66	3.95	3.95	4.36	3.46	2.01	129.0	113.0	5.2	4.6	5.2	4.6
1993/2/7 能登半島沖	石川県輪島市鳳至町	Ⅴ	5.0	4.64	5.05	4.95	4.95	5.07	4.74	3.86	115.7	130.6	18.0	20.7	24.7	20.1
1993/7/12 北海道南西沖	北海道寿都町新栄	Ⅴ	4.8	4.17	4.04	4.79	4.79	4.90	4.23	4.13	216.0	202.2	11.1	12.0	12.4	17.1
1994/8/31 北海道根室半島南東沖	北海道釧路市幣舞町(旧)	Ⅴ	4.7	4.18	3.56	4.67	4.67	4.73	4.03	2.46	143.2	99.1	11.2	4.8	13.1	5.2
1994/10/4 北海道東方沖	北海道浦河町潮見	Ⅴ	4.7	4.29	3.92	4.78	4.78	4.72	4.13	3.67	114.8	144.5	9.8	15.2	12.7	13.8
1994/10/4 北海道東方沖	北海道根室市弥栄	Ⅴ	5.4	4.84	4.88	4.99	5.36	5.41	4.93	4.43	369.0	313.2	33.1	24.2	33.8	25.4
1994/12/28 三陸はるか沖	青森県青森市花園	Ⅴ	5.1	4.85	5.00	5.06	5.12	5.18	4.85	3.98	172.4	220.7	16.5	20.4	23.2	30.1
1994/12/28 三陸はるか沖	岩手県盛岡市山王町	Ⅴ	4.8	4.05	3.58	4.73	4.73	4.82	4.13	3.18	140.3	174.3	10.0	10.0	11.1	12.7
1995/1/17 兵庫県南部	滋賀県彦根市城町(旧)	Ⅴ	4.9	5.04	4.76	4.43	5.02	4.99	4.50	3.42	136.8	146.9	15.3	14.8	19.7	17.6

巻末表-2 計測震度、境ら(2004)の提案震度と木造全壊率との比較に用いた数値一覧表(棟数5未満は使用していない)

No.	ファイル名	観測点名	計測震度	境ら(2004)提案震度	木造全壊率 1981以前	木造全壊率 1982以降	木造全半壊率 1981以前	木造全半壊率 1982以降	木造半壊率 1981以前	木造半壊率 1982以降	木造一部損壊率 1981以前	木造一部損壊率 1982以降	木造棟数 1981以前	木造棟数 1982以降
1	新潟県中越地震	小千谷市城内	6.3	6.03	12.94%	1.96%	31.76%	9.80%	18.82%	7.84%	67.06%	88.24%	85	51
2	新潟県中越地震	長岡市幸町	5.5	4.93	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	94.12%	91.67%	51	24
3	新潟県中越地震	六日町伊勢町	5.2	4.97	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	7.14%	4.00%	84	25
4	新潟県中越地震	出雲崎町米田	5.2	-1.00	0.00%	-1.00%	0.00%	-1.00%	0.00%	-1.00%	50.00%	-1.00%	2	0
5	能登半島地震	輪島市鳳至町	6.1	6.39	6.36%	0.00%	20.23%	1.96%	13.87%	1.96%	72.83%	86.27%	173	51
6	能登半島地震	志賀町富来領家町	5.6	5.50	0.00%	0.00%	8.33%	0.00%	8.33%	0.00%	87.50%	80.00%	24	10
7	能登半島地震	能登町宇出津	5.6	5.28	0.00%	0.00%	0.00%	1.54%	0.00%	1.54%	12.83%	10.77%	265	65
8	能登半島地震	七尾市本府中町	5.3	5.02	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	0	0
9	新潟県中越沖地震	出雲崎町米田	5.9	5.73	25.00%	0.00%	25.00%	0.00%	0.00%	0.00%	75.00%	100.00%	0	0
10	新潟県中越沖地震	上越市大手町	5.3	5.12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	73	49
11	新潟県中越沖地震	小千谷市城内	5.1	4.99	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	18.82%	7.84%	67.06%	88.24%	0	0
12	新潟県中越沖地震	南魚沼市六日町	5.0	4.78	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	85	27
13	能登半島地震(K-NET)	穴水町大町	6.3	6.29	20.39%	3.85%	39.81%	11.54%	19.42%	7.69%	60.19%	88.46%	103	52
14	能登半島地震(K-NET)	志賀町香能	5.9	5.25	0.00%	0.00%	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%	50.00%	0.00%	2	2
15	能登半島地震(K-NET)	輪島市河井町	5.5	5.16	0.65%	0.00%	2.61%	0.00%	1.96%	0.00%	12.42%	9.68%	153	31
16	能登半島地震(K-NET)	七尾市袖ヶ江町	5.2	5.00	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	-1.00%	0	0
17	能登半島地震(K-NET)	珠洲市正院町	5.1	5.01	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.82%	0.00%	44	19
18	新潟県中越沖地震(K-NET)	上越市五智	5.2	5.14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	98	65
19	新潟県中越沖地震(K-NET)	長岡市千手	5.0	5.00	-1.00%	0.00%	-1.00%	0.00%	-1.00%	0.00%	-1.00%	100.00%	0	1
20	新潟県中越沖地震(K-NET)	十日町市高山	5.0	4.95	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	21	15
21	新潟県中越沖地震(K-NET)	飯山市飯山福寿町	5.0	5.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	37	13
22	新潟県中越沖地震(K-NET)	信濃町柏原東裏	5.0	5.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	43	27
23	宮城県北部地震	古川三日町	5.0	5.01	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	148	30
24	宮城県北部地震	石巻市泉町	5.2	4.99	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	16	28
25	福岡県西方沖地震	中央区大濠	5.1	5.05	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4.00%	0.00%	25	19
26	福岡県西方沖地震	志摩町初	5.3	5.07	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6	27
27	福岡県西方沖地震	久留米市津福本町	5.1	5.10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	7	65

【参考文献】（50 音順）

- 1) 岡田成幸・鏡味洋史(1991)：震度による地震被害系統評価のためのバルナラビリティ関数群の構成, 地震 第 44 巻, pp.93-108.
- 2) 清野純史・藤江恵悟・太田 裕(1999)：組合せ震度の提案・定式化とその応用について, 土木学会論文集, No.62/ I -62, pp.143-151.
- 3) 境 有紀・神野達夫・瀬瀬一起(2004)：震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第 585 号, pp.71-76.
- 4) 中央防災会議 (2005)：首都直下地震に係る被害想定手法について, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/15/shiryou3.pdf>.
- 5) 鉢嶺 猛(1989)：震度の計測化について, 験震時報, 第 52 巻, pp.43-68.
- 6) 宮腰淳一・林康裕・渡辺宏一・田村和夫(1997)：1995 年兵庫県南部地震の建物被害に基づく建物の耐震性評価, 日本建築学会構造工学論文集, vol.43B, pp.269-276.
- 7) 村尾 修・山崎文雄(2000)：自治体の被害調査に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, 第 527 号, pp.189-196.