

震度に関する検討会
(第 1 回)

「震度階級関連解説表」の見直し

平成 20 年 12 月 8 日
消防庁・気象庁

震度階級関連解説表に関する検討事項

【Ⅰ】解説表と事例が合っていないと指摘されている事項

- 木造建築について、解説表に示されている被害の様相が実際と違いがあるのではとの指摘。「木造建物」の欄の記載をどのようにすべきか。
- 構造物の種類等により被害の様相が異なる。それぞれの被害を推定できる指標が必要ではないか。

【Ⅱ】最近の事例で社会的に注目されている事項を追加してはどうか

- 近年のエレベータの閉じ込めなどを解説表の「鉄筋コンクリート造建物」の欄に記載すべきか。
- 高層ビルなどで揺れが船の揺れに近いような長周期の揺れになるなどを解説表の「人間」の欄（体感の欄）に記載すべきか。
 - ※現在、解説表の表外に、長周期の揺れに特有な現象が発生することがあることを注釈として記述している。解説表の中に記載すべきか。
 - ※長周期地震動は関心が高いが、具体の被害事例は少ない。このため現時点においては、解説表への具体的な記載が難しいのではないか。
- 土砂災害や液状化などによる道路の破損により、孤立集落が発生する可能性がある等を解説表の「地盤・斜面」の欄に記載すべきか。
- その他、追加すべき項目はあるか。

【Ⅲ】用語や表現が分かりにくい事項を改善してはどうか

- 解説表にある建物の「倒壊」と、罹災証明における「全壊」との違いなど、用語の不統一がある。どのように記述すると分かり易いか。

気象庁震度階級について

震度は、地震による揺れの強さを総合的に表す指標で、防災対応の重要な基準として利用されている。

現在（平成8年4月より）、気象庁の震度は、震度計で観測した計測震度をもとに、震度階級で表現している。

震度は、かつては体感による観測を基本とし、震度7の判定については被害の状況を調査することで決めていた。迅速な防災対応のため速報の重要性が言われ、震度計による震度観測を平成3年（1991年）より一部の気象官署で試験的に運用開始。

この段階では、震度の各階級の定義はその説明文によるものであり、体感観測が廃止されたわけではなかった。また、震度7の判定も、依然として被害状況の調査によるものであった。

- 平成8年4月より、震度7も含め、震度計による観測を開始。
（震度5弱、5強、6弱、6強の分割の開始は平成8年10月）
- 「気象庁震度階級関連解説表（平成8年）」（以下、解説表）を作成。
（平成8年10月運用開始）
- 気象庁の震度は、解説表の記述から震度を決定するものではなく、計測震度から定めるものと定義。
建物、建造物の耐震性の向上などで実状と合わなくなった場合には、解説表の内容を変更。

計測震度の考え方

1. 震度を「地震動の強さの程度を数値化したもの」と定義し、震度計により計測される連続量であるとする。計測された値を計測震度と呼ぶ。
2. 震度の各階級は、計測震度の値で定義する（震度7も計測震度の値で定義）。
3. 震度5及び6の分割については、次のとおり。
 - 1) 地震動の強さも対応する被害の様相も連続的に変化すること
 - 2) ある震度に対応して発生する被害は、ある程度の幅があることこれらから、分割してできた震度階級間で全体として被害の様相が異なっていれば十分と考え、震度5、6は計測震度の階級を等分割とする。
4. 数値化するための式は、建物被害との相関を考慮して、震度算出に用いる地震動の周期の範囲を従来より長周期へ広げる。

●気象庁震度階級関連解説表

平成 8 年 10 月 1 日運用開始

震度は、地震動の強さの程度を表すもので、震度計を用いて観測します。この「気象庁震度階級関連解説表」は、ある震度が観測された場合、その周辺で実際にどのような現象や被害が発生するかを示すものです。この表を使用される際は、以下の点にご注意下さい。

- (1) 気象庁が発表する震度は、震度計による観測値であり、この表に記述される現象から決定するものではありません。
- (2) 震度が同じであっても、対象となる建物、構造物の状態や地震動の性質によって、被害が異なる場合があります。この表では、ある震度が観測された際に通常発生する現象や被害を記述していますので、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もあります。
- (3) 地震動は、地盤や地形に大きく影響されます。震度は、震度計が置かれている地点での観測値ですが、同じ市町村であっても場所によっては震度が異なることがあります。また、震度は通常地表で観測していますが、中高層建物の上層階では一般にこれより揺れが大きくなります。
- (4) 大規模な地震では長周期の地震波が発生するため、遠方において比較的低い震度であっても、エレベーターの障害、石油タンクのスロッシングなどの長周期の揺れに特有な現象が発生することがあります。
- (5) この表は、主に近年発生した被害地震の事例から作成したものです。今後、新しい事例が得られたり、建物、構造物の耐震性の向上などで実状と合わなくなった場合には、内容を変更することがあります。

計測震度	震度階級	人 間	屋内の状況	屋外の状況	木 造 建 物	鉄筋コンクリート造建物	ライフライン	地 盤・斜 面
0.5	0	人は揺れを感じない。						
	1	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。						
1.5	2	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。眠っている人の一部が、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。					
	3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。恐怖感を覚える人もいる。	棚にある食器類が、音を立てることがある。	電線が少し揺れる。				
3.5	4	かなりの恐怖感があり、一部の人は、身の安全を図ろうとする。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。	つり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が、倒れることがある。	電線が大きく揺れる。歩いている人も揺れを感じる。自動車を運転していて、揺れに気付く人がいる。				
	5弱	多くの人が、身の安全を図ろうとする。一部の人は、行動に支障を感じる。	つり下げ物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置物の多くが倒れ、家具が移動することがある。	窓ガラスが割れて落ちることがある。電柱が揺れるのがわかる。補強されていないブロック塀が崩れることがある。道路に被害が生じることがある。	耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁などに亀裂が生じるものがある。	安全装置が作動し、ガスが遮断される家庭がある。まれに水道管の被害が発生し、断水することがある。[停電する家庭もある。]	軟弱な地盤で、亀裂が生じることがある。山地で落石、小さな崩壊が生じることがある。
5.0	5強	非常な恐怖を感じる。多くの人が、行動に支障を感じる。	棚にある食器類、書棚の本の多くが落ちることがある。タンスなど重い家具が倒れることがある。変形によりドアが開かなくなることがある。一部の戸が外れる。	補強されていないブロック塀の多くが崩れる。据付けが不十分な自動販売機が倒れることがある。多くの墓石が倒れる。自動車の運転が困難となり、停止する車が多い。	耐震性の低い住宅では、壁や柱がかなり破損したり、傾くものがある。	耐震性の低い建物では、壁、梁、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。耐震性の高い建物でも、壁などに亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生することがある。[一部の地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
	6弱	立っていることが困難になる。	固定していない重い家具の多くが移動、転倒する。開かなくなるドアが多い。	かなりの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものがある。耐震性の高い住宅でも、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁や柱が破壊するものがある。耐震性の高い建物でも壁、梁、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生する。[一部の地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	地割れや山崩れなどが発生することがある。
6.0	6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。	固定していない重い家具のほとんどが移動、転倒する。戸が外れて飛ぶことがある。	多くの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補強されていないブロック塀のほとんどが崩れる。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものが多い。耐震性の高い住宅でも、壁や柱がかなり破損するものがある。	耐震性の低い建物では、倒壊するものがある。耐震性の高い建物でも、壁や柱が破壊するものがある。	ガスを地域に送るための導管、水道の配水施設に被害が発生することがある。[一部の地域で停電する。広い地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
	7	揺れにほんろうされ、自分の意志で行動できない。	ほとんどの家具が大きく移動し、飛ぶものもある。	ほとんどの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補強されているブロック塀も破損するものがある。	耐震性の高い住宅でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	耐震性の高い建物でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	[広い地域で電気、ガス、水道の供給が停止する。]	大きな地割れ、地すべりや山崩れが発生し、地形が変わることもある。

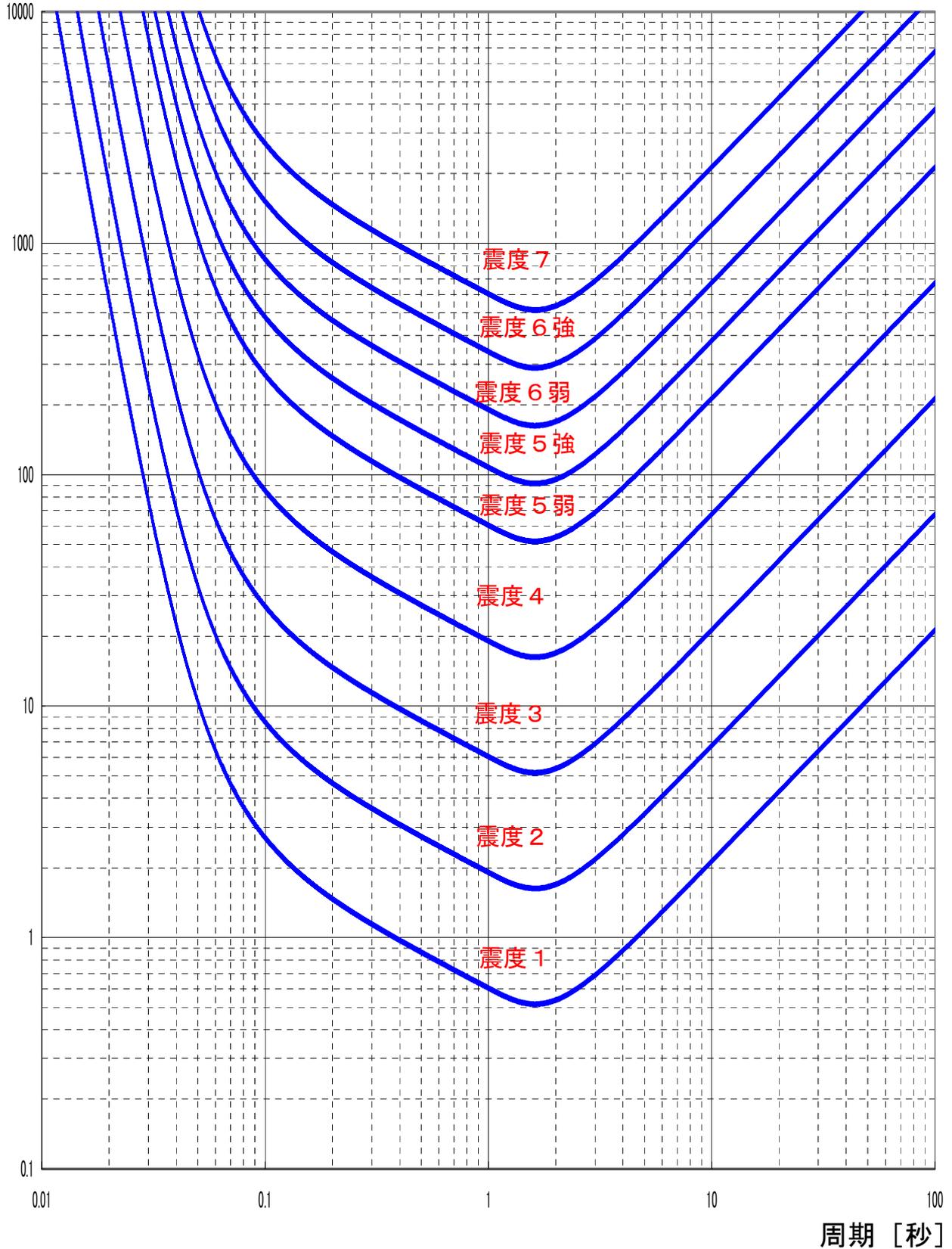
* ライフラインの [] 内の事項は、電気、ガス、水道の供給状況を参考として記載したものである。

(参考) 気象庁震度階級関連解説表と旧震度階級の比較

	震度階級関連解説表		旧震度階級 昭和 24 年～平成 8 年
	人間	木造建築	
0	人は揺れを感じない。		無感。 人体に <u>感じない</u> で地震計に記録される程度。
1	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。		微震。 <u>静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度</u> の地震。
2	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。眠っている人の一部が、目を覚ます。		軽震。 <u>大勢の人に感ずる程度</u> のもので、戸障子がわずかに動くのがわかるぐらいの地震。
3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。恐怖感を覚える人もいる。		弱震。 家屋が揺れ、戸障子がガタガタと鳴動し、電灯のようなつり下げ物は相当揺れ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。
4	かなりの恐怖感があり、一部の人は、身の安全を図ろうとする。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。		中震。 家屋の動揺が激しく、座りの悪い花瓶などは倒れ、器内の水はあふれ出る。また、 <u>歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度</u> の地震。
5 弱	多くの人が、身の安全を図ろうとする。一部の人は、行動に支障を感じる。	耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものがある。	強震。 壁に割れ目が入り、墓石・石灯ろうが倒れたり、煙突・石垣などが破損する程度の地震。
5 強	非常な恐怖を感じる。多くの人が、行動に支障を感じる。	耐震性の低い住宅では、壁や柱がかなり破損したり、傾くものがある。	
6 弱	立っていることが困難になる。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものがある。耐震性の高い住宅でも、壁や柱が破損するものがある。	烈震。 家屋の倒壊は 30 パーセント以下で、山崩れが起き、地割れを生じ、 <u>多くの人々が立っていることができない程度</u> の地震。
6 強	立っていることができず、はわないと動くことができない。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものが多い。耐震性の高い住宅でも、壁や柱がかなり破損するものがある。	
7	揺れにほんろうされ、自分の意志で行動できない。	耐震性の高い住宅でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	激震。 家屋の倒壊が 30 パーセント以上に及び、山崩れ、地割れ、断層などを生じる。

加速度
[cm/秒/秒]

計測震度と加速度



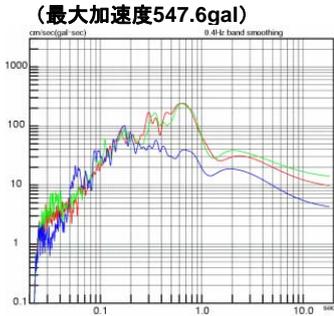
7月24日00時26分岩手県沿岸北部の地震 で観測された地震波(加速度波形)のスペクトル



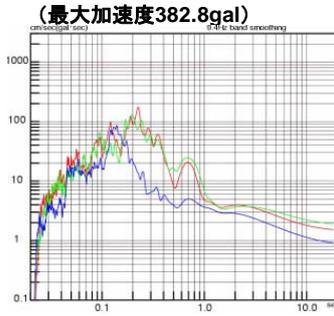
気象庁作成

※上段の()内の数値は計測震度を表す

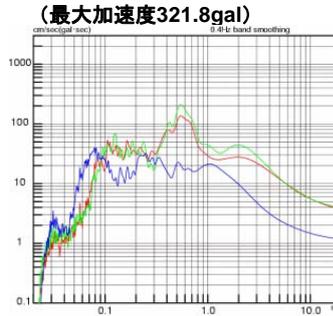
①青森県五戸町古館 6弱(5.8)



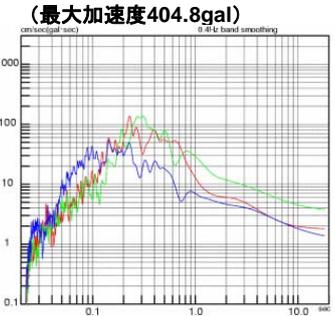
②青森県八戸市湊町 5強(5.0)



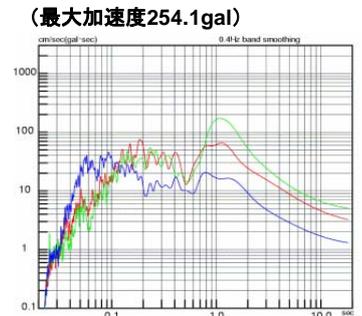
③岩手県二戸市福岡 5強(5.2)



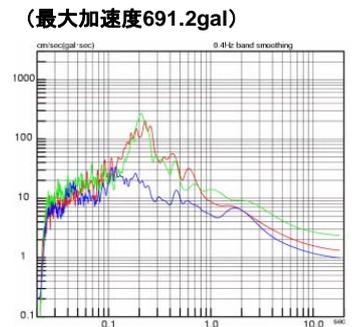
④岩手県洋野町種市 5強(5.2)



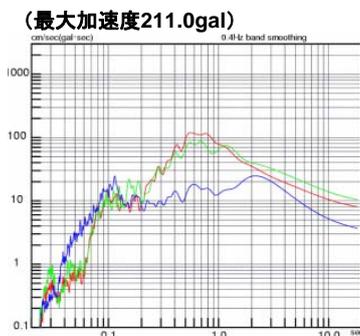
⑤岩手県久慈市川崎町 5強(5.3)



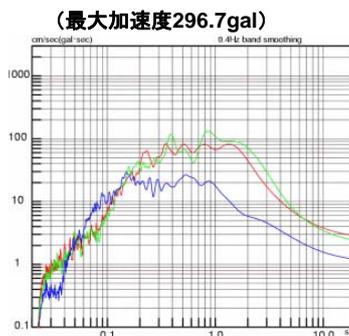
⑥岩手県大船渡市大船渡町 5強(5.4)



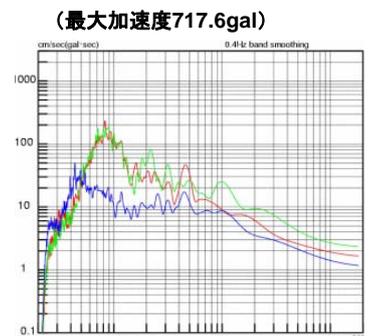
⑨宮城県大崎市古川三日町 5強(5.1)



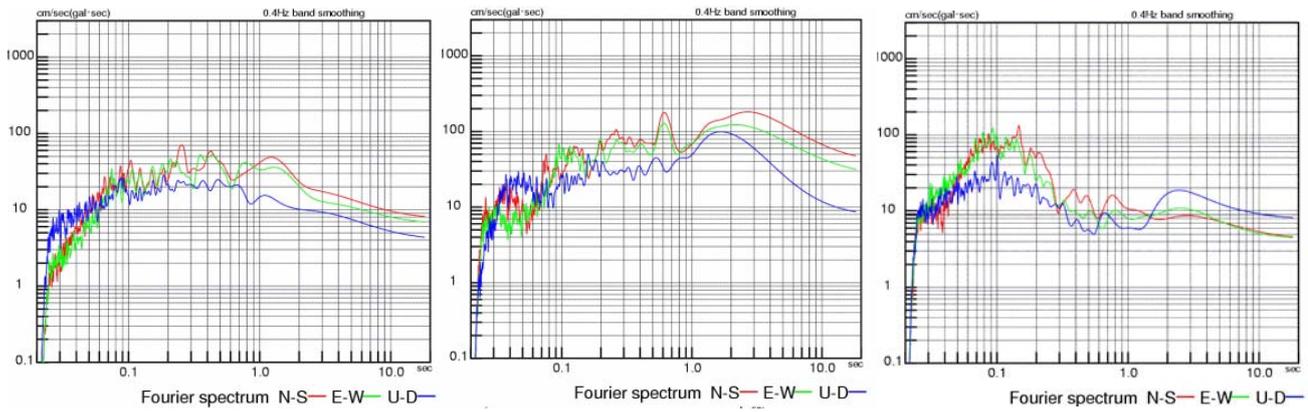
⑧宮城県涌谷町新町 5強(5.2)



⑦岩手県大船渡市猪川町 5強(5.0)



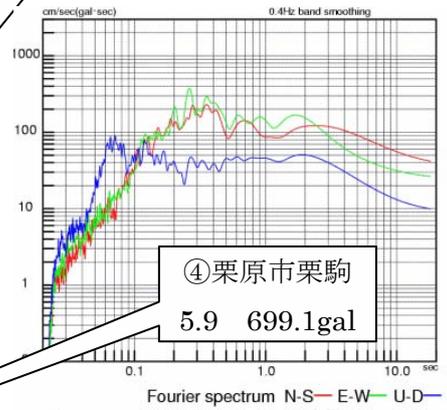
観測された地震波のスペクトル



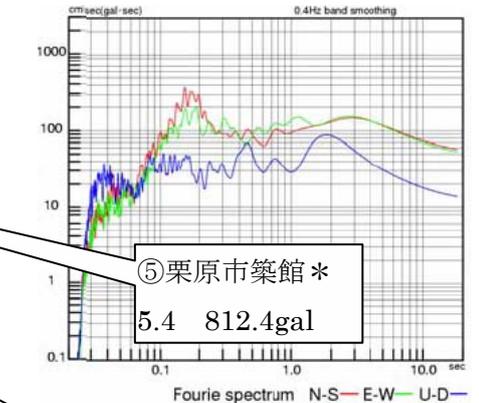
①北上市柳原町
4.5 238.0gal

②奥州市水沢区大鐘町
5.1 388.1gal

③一関市舞川
4.6 400.0gal



④栗原市栗駒
5.9 699.1gal

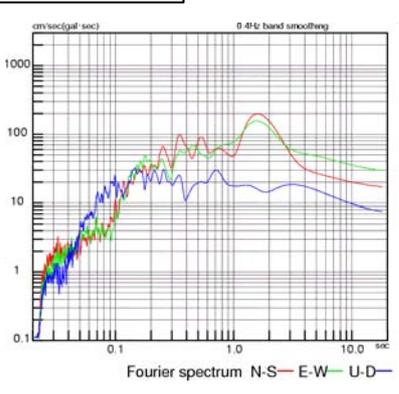
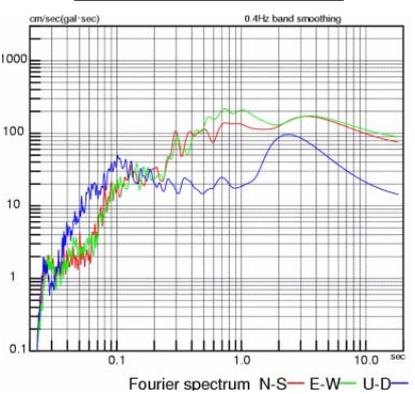
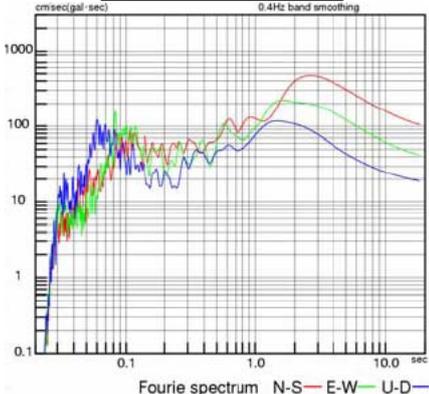


⑤栗原市築館*
5.4 812.4gal

⑧大崎市鳴子*
5.5 676.3gal

⑦大崎市古川三日町
5.6 341.5gal

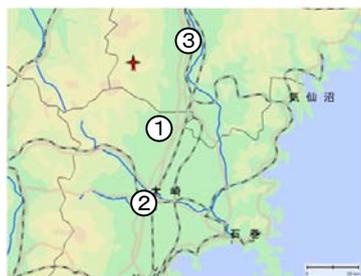
⑥涌谷町新町
5.0 178.1gal



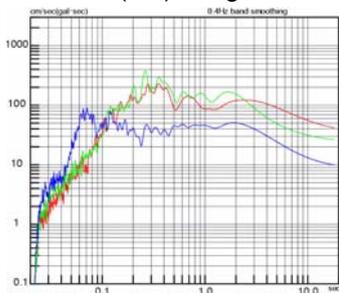
加速度波形のフーリエスペクトル(*) 南北動： ■ ，東西動： ■ ，上下動： ■
 (*)加速度波形に含まれる周期毎の波の強さを示す
 (*)数値は左から計測震度、最大加速度 (3成分合成)

観測された地震波(加速度)のスペクトル

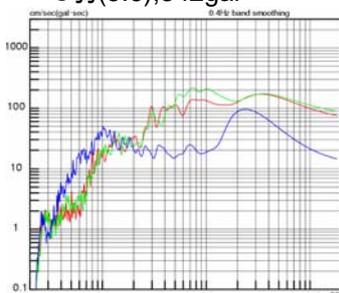
平成20年岩手・宮城内陸地震



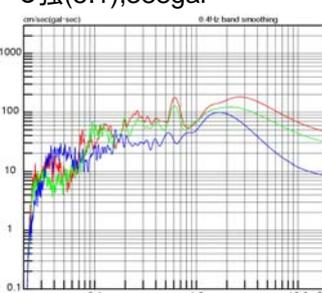
くりはらしくりこま
①栗原市栗駒
6弱(5.9), 699gal



おおさきしふるかわみつかまち
②大崎市古川三日町
6弱(5.6), 342gal



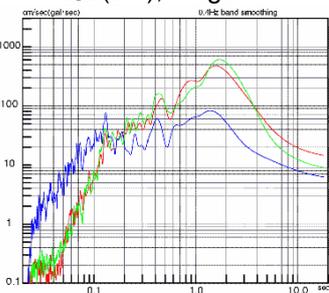
おうしゅうしみずさわくおおがねちよう
③奥州市水沢区大鐘町
5強(5.1), 388gal



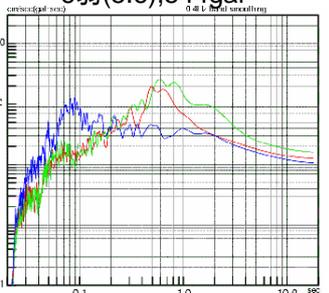
平成19年能登半島地震



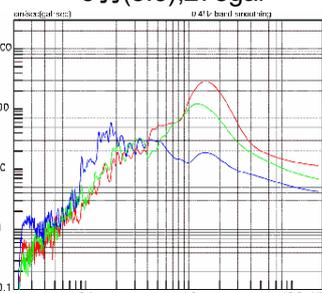
わじましふげしまち
①輪島市鳳至町
6強(6.1), 474gal



しまちとぎりようけまち
②志賀町富来領家町
6弱(5.6), 544gal



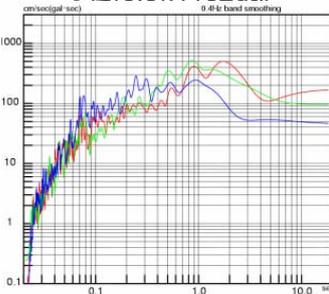
のちようしつ
③能登町宇出津
6弱(5.6), 278gal



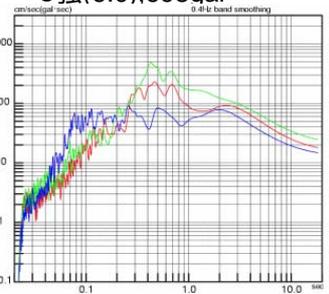
平成16年新潟県中越地震



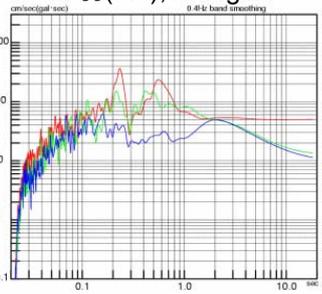
やまこしむらたけざわ
①山古志村竹沢(旧)
6強(6.3), 1132gal



にいがたおぐにまちほうさか
②新潟小国町法坂(旧)
6強(6.0), 698gal



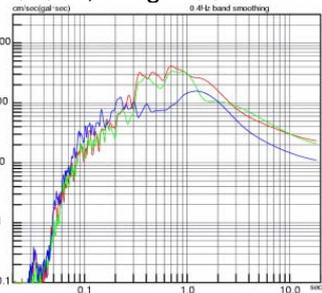
とうかまちしちとせちよう
③十日町市千歳町(旧)
6弱(5.9), 1338gal



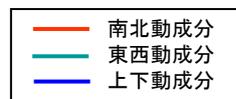
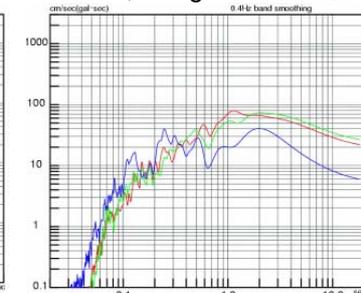
平成7年兵庫県南部地震



こうべちゆうおうくなかやまて
①神戸中央区中山手(旧)
震度6, 818gal(南北成分)

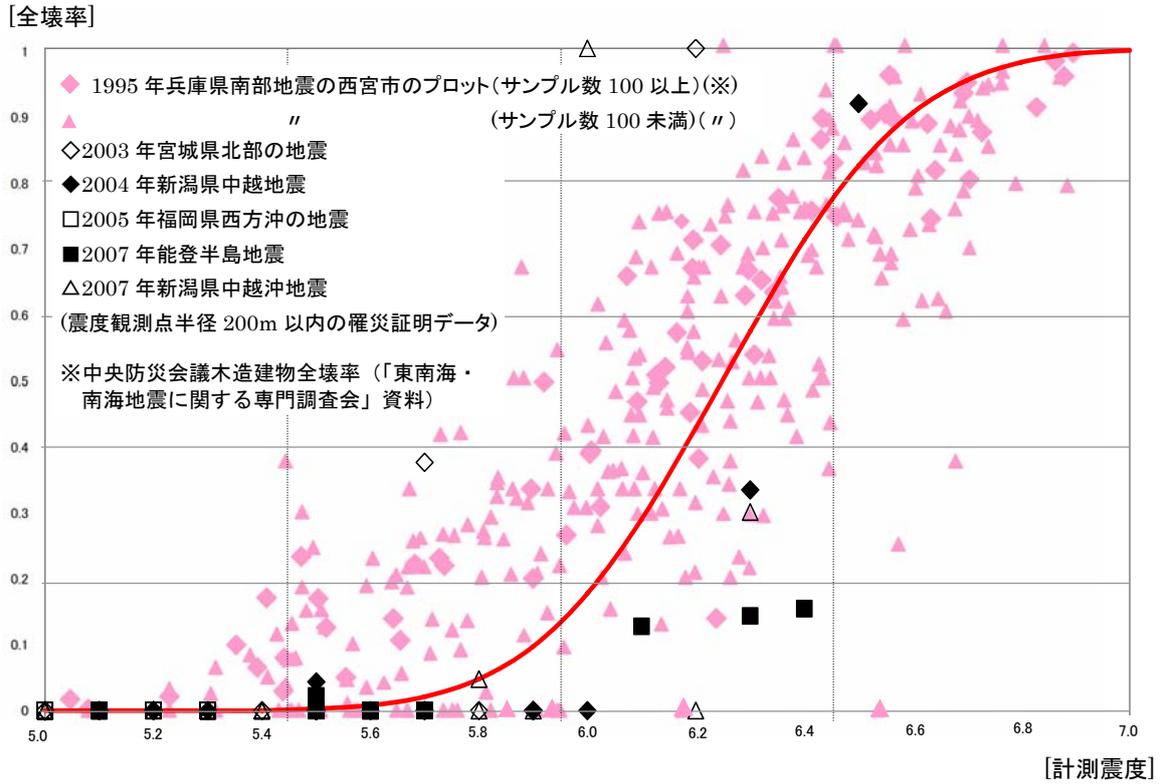


おおさかちゆうおうくおおもえ
②大阪中央区大手前
震度4, 81gal(南北成分)

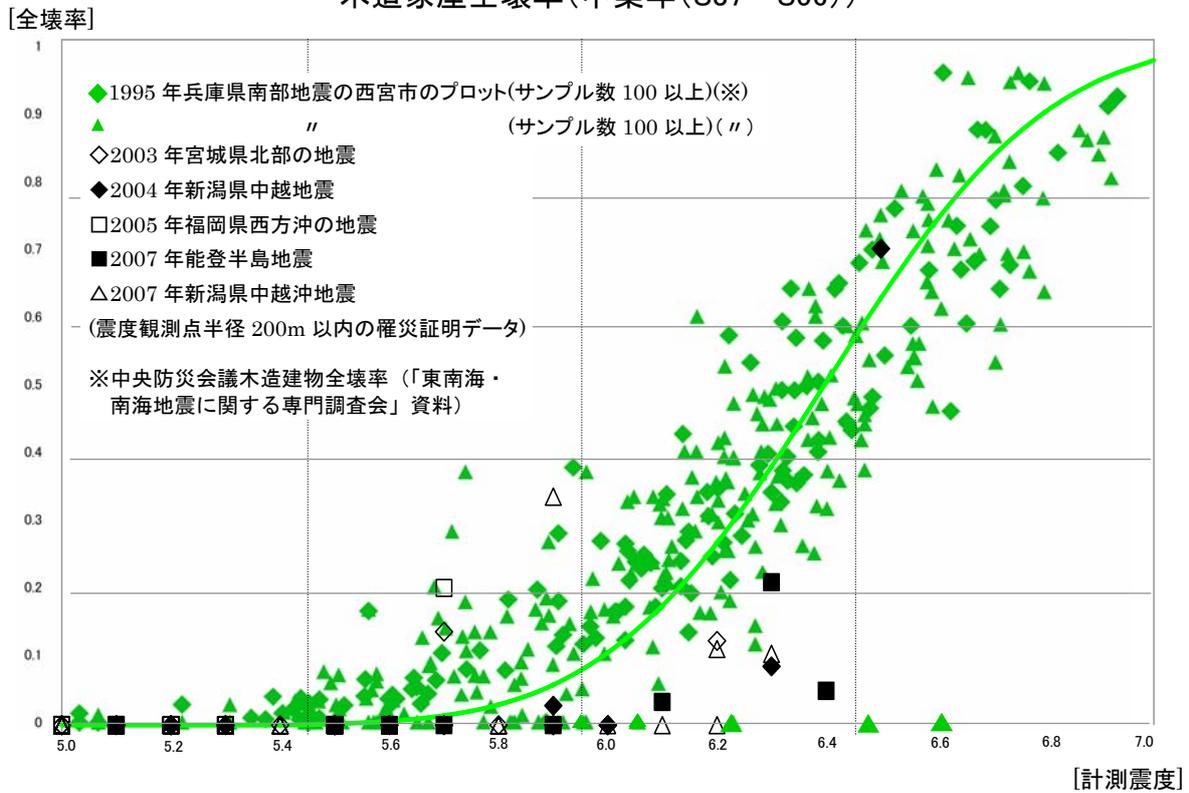


(地図出典:「電子国土」 URL <http://cyberjapan.jp/>)

木造家屋全壊率(旧築年(S36年以前))

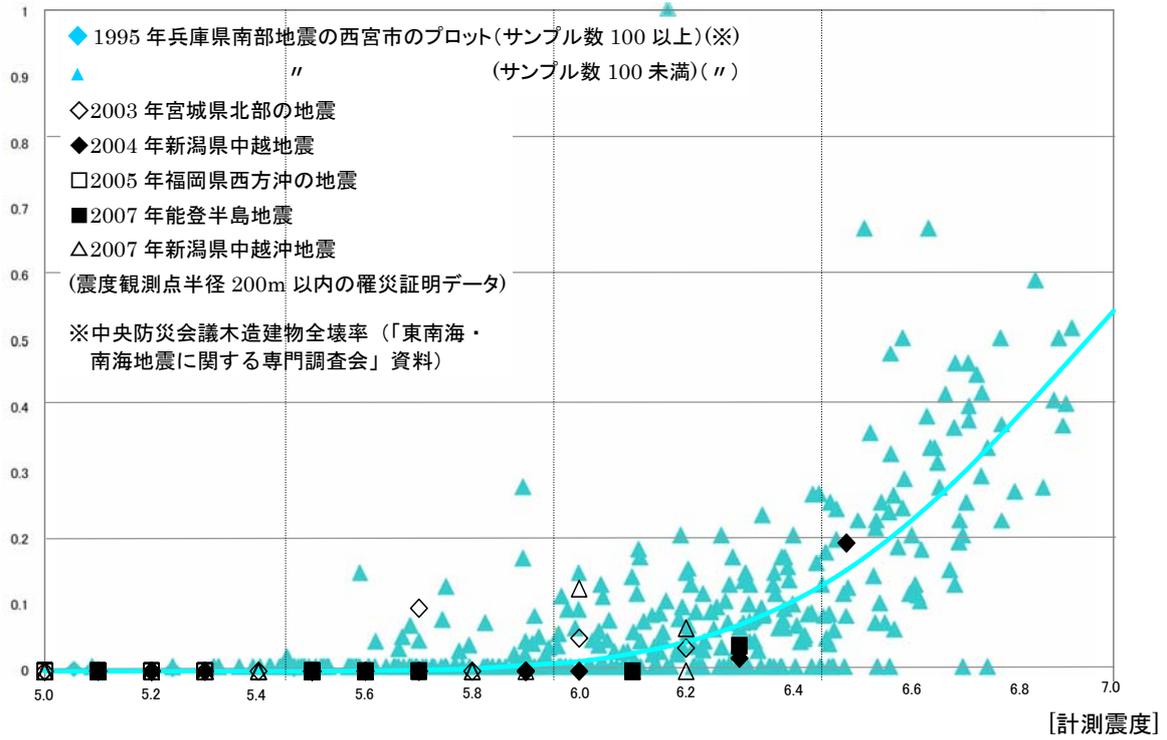


木造家屋全壊率(中築年(S37~S56))

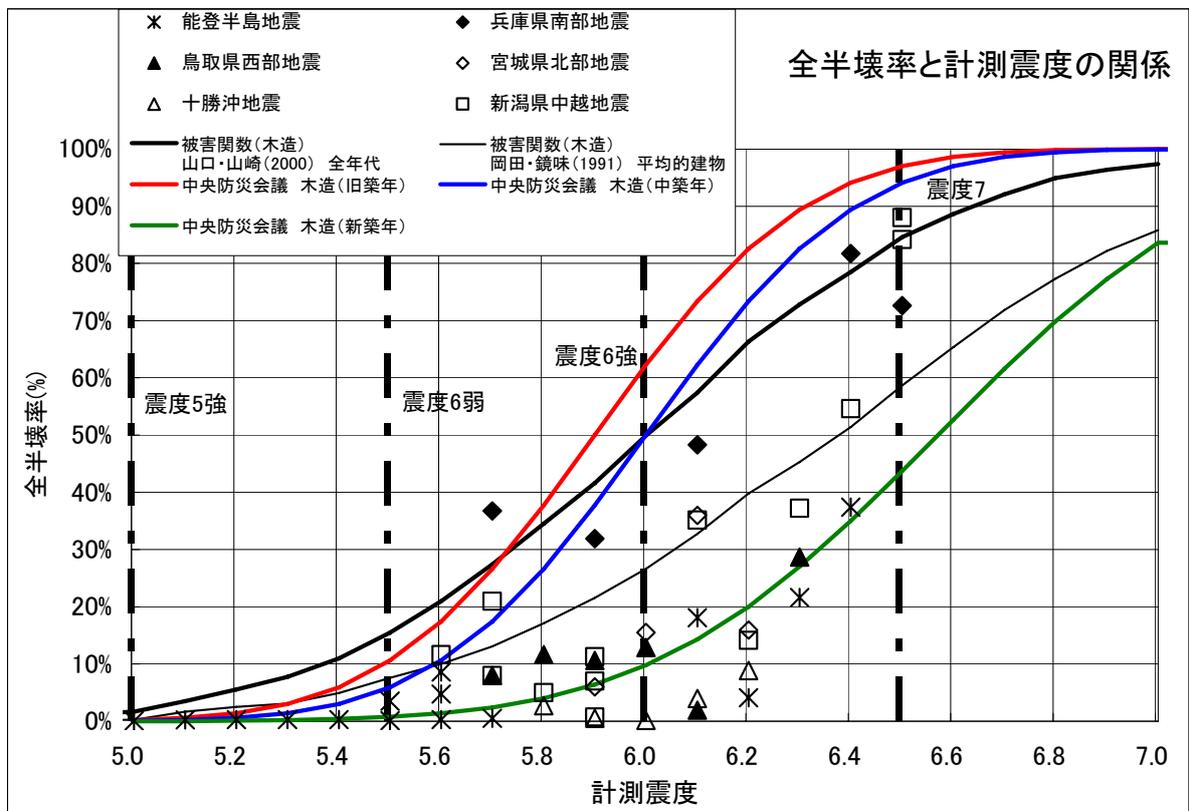
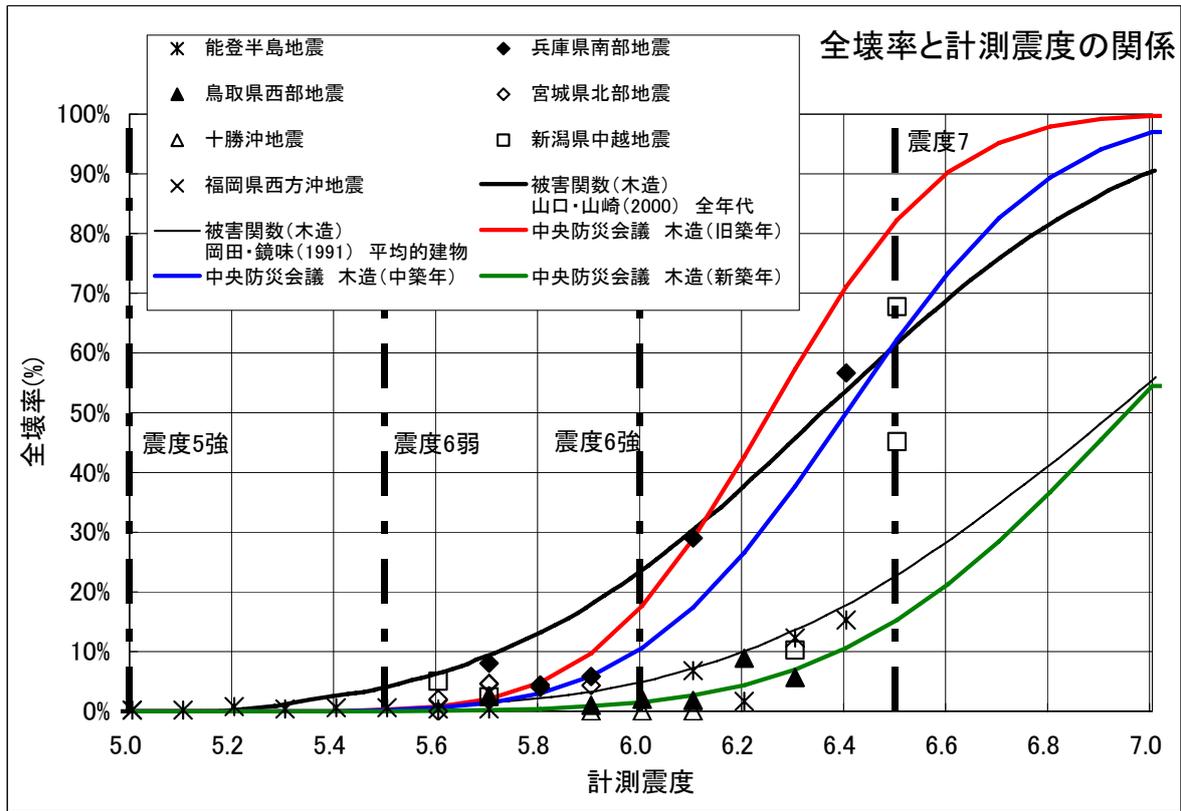


木造家屋全壊率(新築年(S57年以降))

[全壊率]

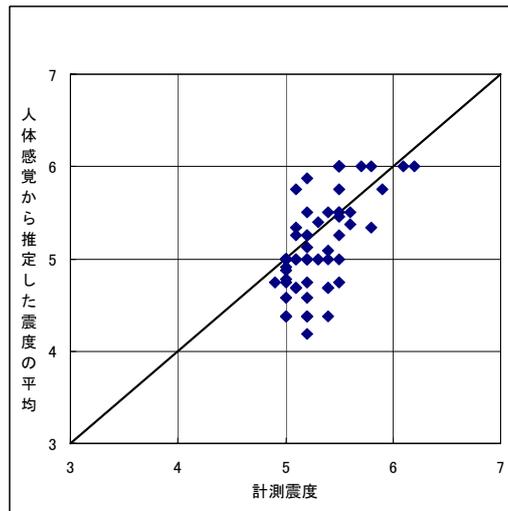


○既存の被害地震による全壊率および全半壊率と計測震度の関係

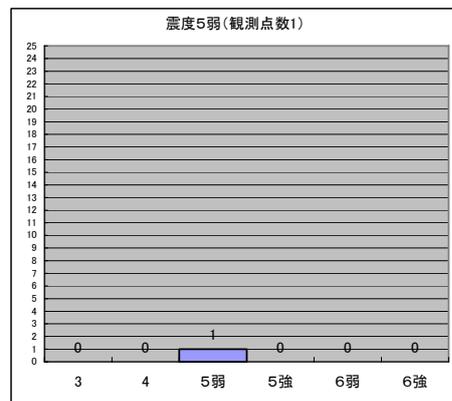
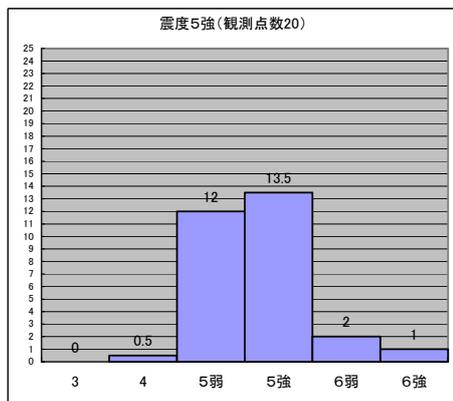
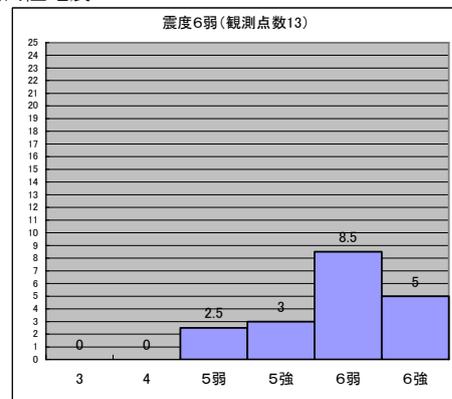
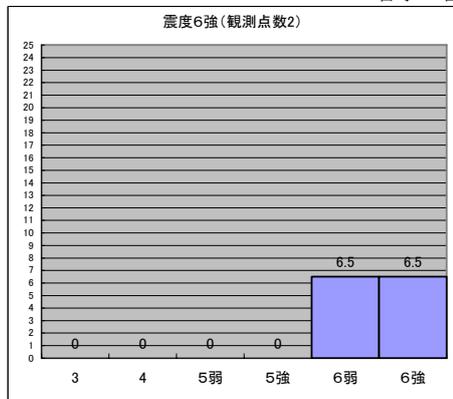


三浦・翠川(2008): 2007年能登半島地震における住家被害率と計測震度の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集.pp.679-680. 図-2に加筆

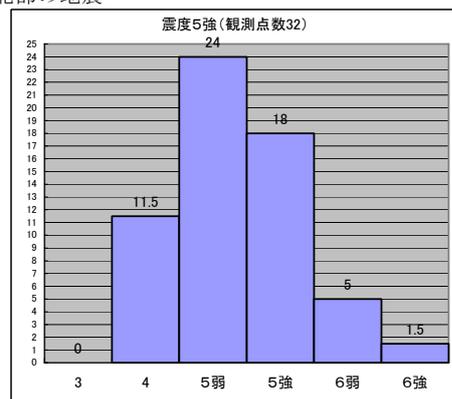
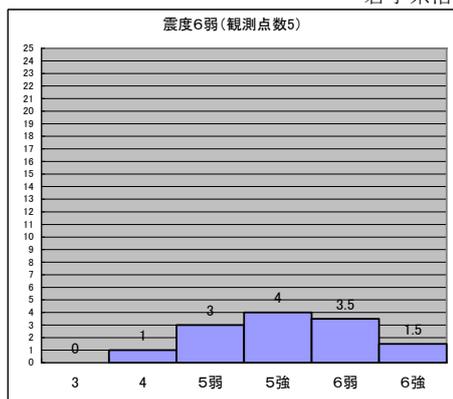
○人体感覚から推定した震度と計測震度の関係



岩手・宮城内陸地震



岩手県沿岸北部の地震



○人体感覚と震度階

震度を定める大きな要因は、低震度（震度 0～Ⅱ）では人体感覚、中震度（震度Ⅱ～Ⅳ）では物の動きであり、高震度（震度Ⅳ以上）では物の動きの他に建物や周囲の被害が加わる。人体感覚に対応する周期は 0.1 秒～1 秒で、最も敏感な周期は 0.25 秒、室内物品の動きに関しては 0.5 秒、大型の室内家具が 0.5 秒～1 秒という報告が出ている。現行の計測震度の周期帯 0.1 秒～1 秒は、これらのことから人体感覚と室内物品の動きに対応している。

§ 4. 震度階を決定づける要因

前章での結果を物理的に解釈するために、震度階を決定づける要因について検討した。震度階を判断するための項目の内、下位の震度では人体感覚が、中位の震度では屋内物品の挙動が、上位の震度では建物の被害等がそれぞれ主たる観測項目となっている [広野・佐藤 (1971)]。実際、1970 年の秋田県南東部地震のアンケート調査から、震度Ⅲ～Ⅳの地域では屋内物品の動きの項目が、震度Ⅴの地域では建物や周囲の被害に関する項目が震度を定める大きな因子となっていることが指摘されている [野越 (1976)]。これらのことから、震度を定める大きな因子は、低震度（震度 0～Ⅱ）では人体感覚、中震度（震度Ⅱ～Ⅳ）では物の動きであり、高震度（震度Ⅳ以上）では物の動きの他に建物や周囲の被害が加わると判断できる。

振動に対する人体感覚については、環境振動の分野で精力的な研究がなされている。三輪・米川 (1971a, 1971b) は、人体感覚を加速度レベルで評価した場合、1) 4 Hz 前後の振動に対して比較的敏感で、水平動に比べて上下動に対し 2～3 倍敏感なこと、2) 約 2 秒以上振幅が継続すれば衝撃振動と定常振動との差は認められないこと、を指摘している。一般に地震動の上下動成分の振幅は水平動成分のその 1/2 程度であり、継続時間は 2 秒を下回る場合はほとんどないことを考えあわせると、これらの人体感覚の性質によって、水平動成分と上下動成分の影響はほぼ同程度で、短周期成分と相関が高く、継続時間の影響はみられない等の前述の低震度での結果は説明できる。

屋内の物の動きについては、例えば、電灯の揺れの固有周期や金魚鉢の水面の揺れの周期は 0.5 秒前後である。また、屋内の物の動きはそれが置かれている建物の揺れ方にも影響されるはずである。建物としては木造家屋が一般的であり、最近の木造家屋の固有周期は 0.2～0.3 秒で、古いもので 0.4 秒程度である。[寺尾・他 (1979)]。これらのことは、水平動の周期 0.2～0.5 秒の成分と相関が高い等の前述の中震度での結果を支持している。

木造家屋の固有周期は振動の振幅が小さい場合には前述のように、0.2～0.4 秒である。しかし、強震時には、構造体が非線形的挙動を示し、その固有周期は 2 倍程度にまで延びることも予想される [例えば、HART *et al.* (1973)]。HOUSNER (1975) によれば、構造物の被害に関連した地震動強さをひとつのパラメータであらわすことは困難であり、振幅と継続時間の 2 つのパラメータを考える必要があると指摘している。また、震度Ⅴの定義にある墓石の転倒については、周期 0.5 秒程度以上の加速度が大きく関係していることが指摘されている [望月・小林 (1976)]。これらのことから、建物の被害なども関係しはじめる震度Ⅳ以上の高震度では、水平動の周期 0.5～1 秒の周期成分と相関が高く、継続時間の影響も認められることが期待され、これも前述の結果とよく符合する。

したがって、震度の大小での相関の高い物理量が異なるという前章の結果は、震度階を決定する要因が人体感覚、室内物品の動き、建物や周囲の被害という 3 つの異なる性質をもったもので構成されていることで物理的に説明できる。

翠川・福岡 (1988) : 「気象庁震度階と地震動強さの物理量との関係」抜粋

○アンケート震度と計測震度について

太田・小山・中川(1998):「アンケート震度算定法の改訂－高震度領域－」から引用する。1995年兵庫県南部地震のデータを用いて、アンケート震度算出手法を改訂している。具体的には、アンケートの各設問ごとに有効震度範囲を設定し、さらに感度の違いを考慮した重み付けを行っている。下記の式(1)および式(2)は変更していない。

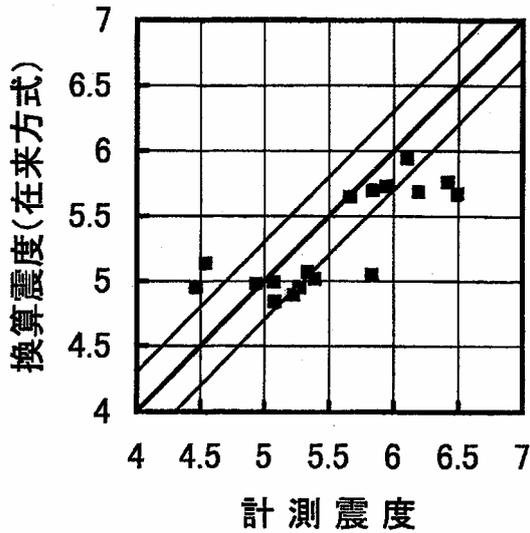


図1 在来法による震度と計測震度との比較。

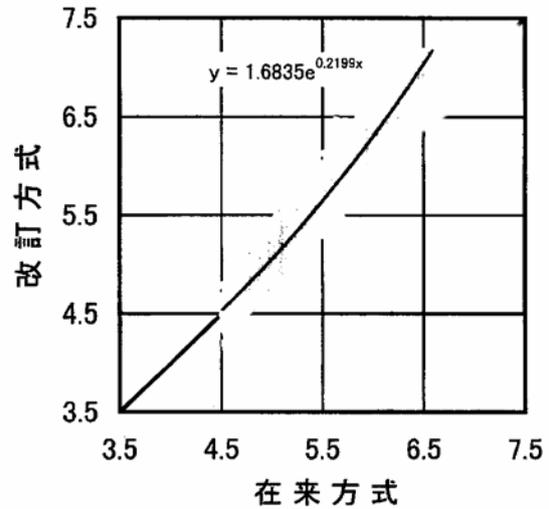


図4 在来法による震度算定値との比較。縦・横軸共に気象庁換算震度。

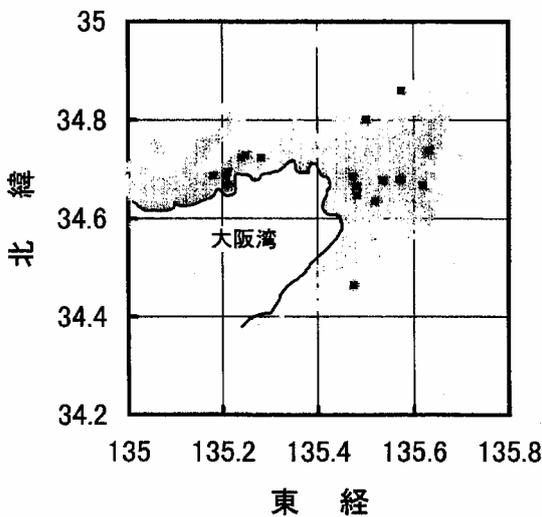


図5 計測震度算定地点(■)とアンケート調査地点(▨)分布。

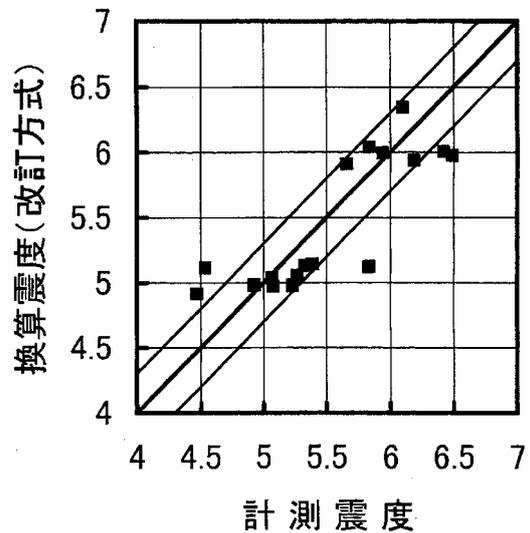


図6 計測震度と改訂計算結果との比較。

$$I_Q = \frac{\alpha}{N_e} \cdot \sum_i^{N_s} m_i \cdot \beta_i(m) \quad (1)$$

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

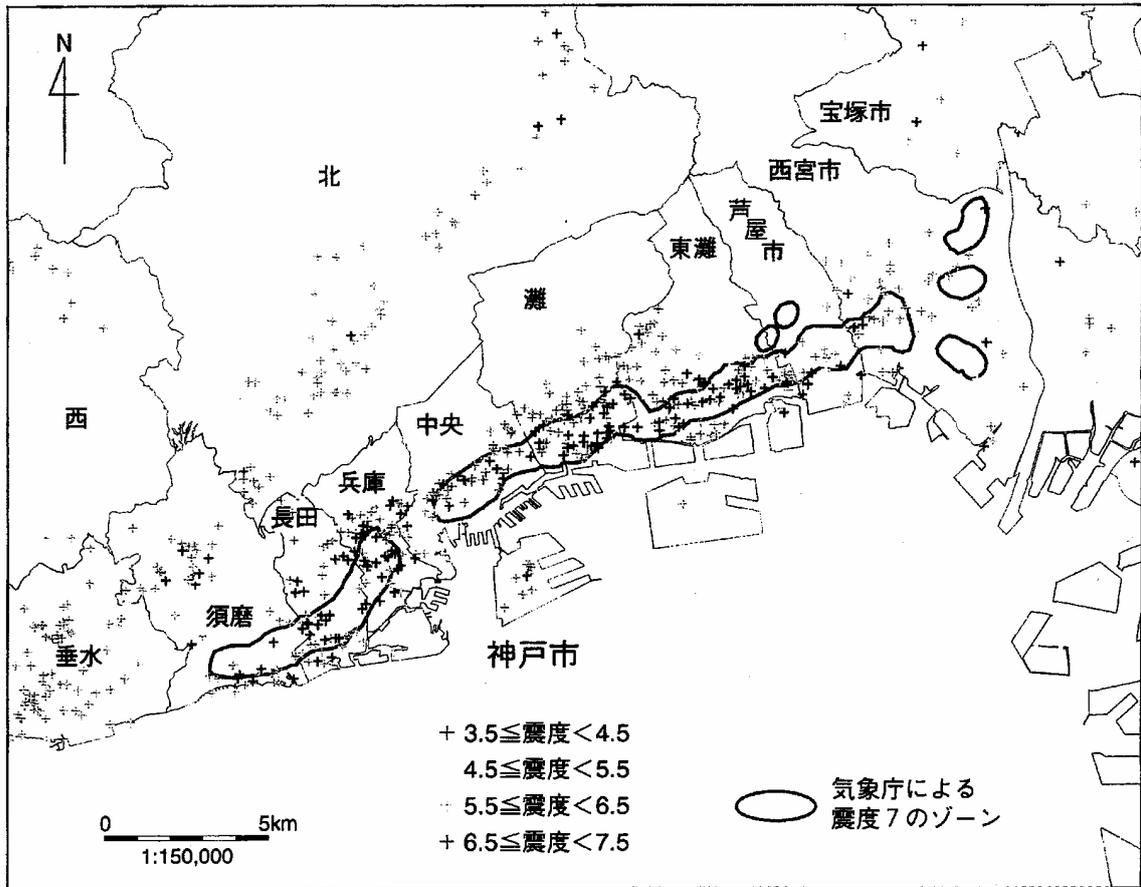
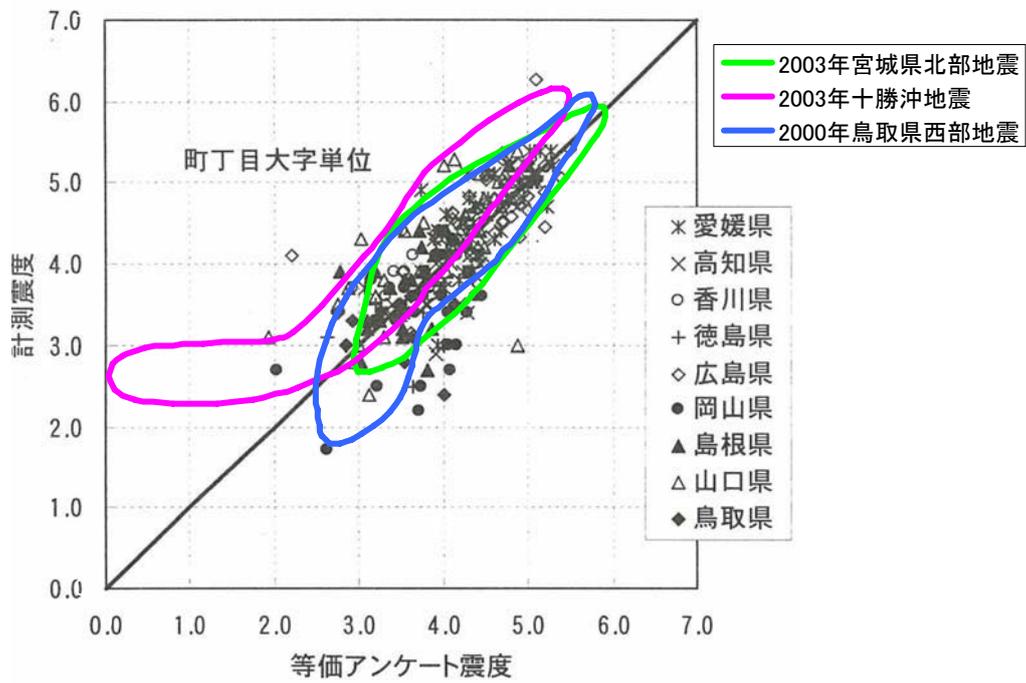
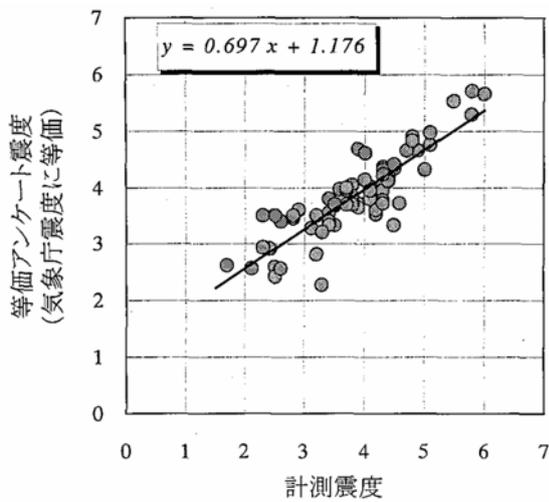


図7 神戸市を中心とする改訂法による震度分布図.

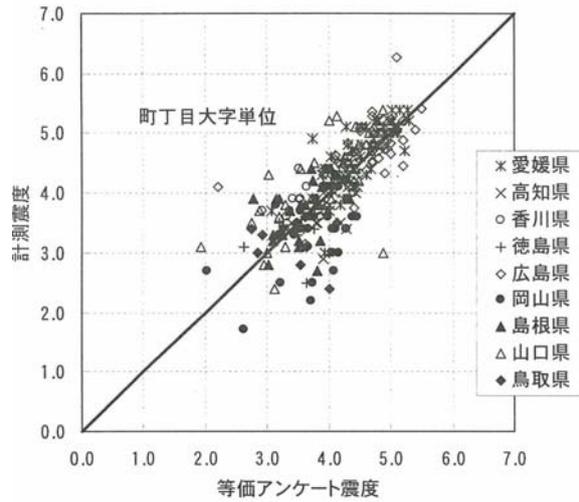
○他の被害地震のアンケート震度と計測震度の関係



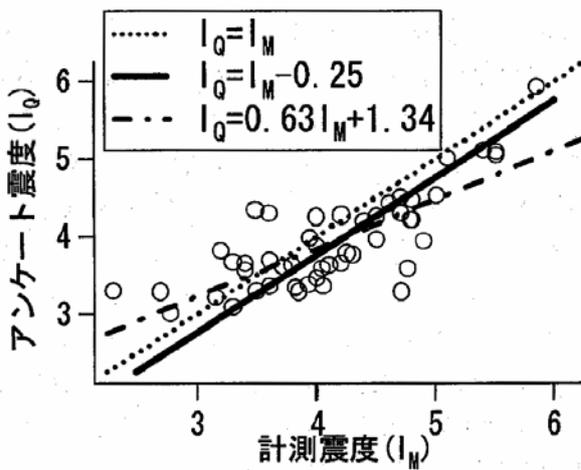
注：2001年芸予地震のアンケート震度と計測震度の関係に他の3地震の範囲を重ねてプロット



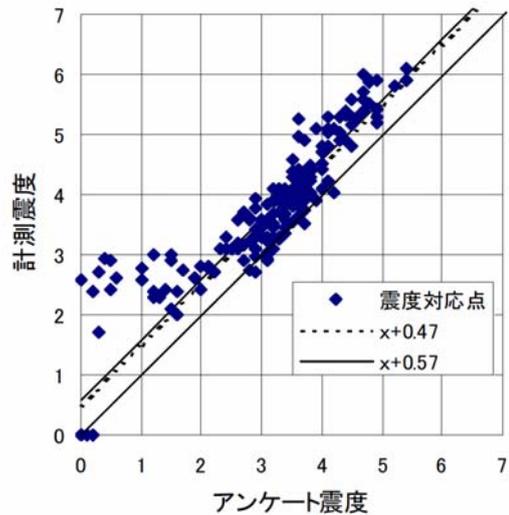
2000年鳥取県西部地震
(森・圓井¹(2001)による)



2001年芸予地震
(森(2002)²による)



2003年宮城県北部の地震(地震計設置地域)
(源栄³(2004)による)



2003年十勝沖地震
(鏡味(2004)⁴による)

¹ 森伸一郎・圓井洋介(2001): 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回地盤工学会研究発表会講演集、pp.2125-2126

² 森伸一郎(2002): 愛媛大学芸予地震学術調査団最終報告書、愛媛大学芸予地震学術調査団

³ 源栄正人(2004): 2003年5月26日宮城県沖の地震災害調査報告・2003年7月26日宮城県北部の地震災害調査報告、社団法人日本建築学会

⁴ 鏡味洋史(2004): 地震動特性と被害との関係調査、平成15年(2003年)十勝沖地震に関する緊急調査研究報告書(平田直編)、東京大学地震研究所

○地震動の揺れの強さを表す計測震度以外の指標

1) SI 値 (spectral intensity, スペクトル強度)

G.W.Housner により提案された指標。建造物の主要な周期が 0.1 秒から 2.5 秒の間にあるものと考え、この間のエネルギーの総量を表す速度応答スペクトル Sv (ダンピング h=20%) の積分値として定義している。以下に SI 値の定義式の説明図、童・山崎ら(1994) による木造被害率と SI 値の関係および木造被害率と最大加速度の関係を示した。

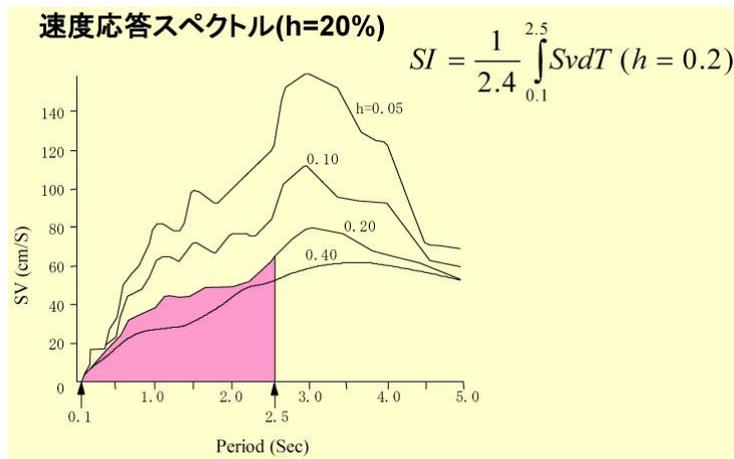


図 1-1 SI 値の定義式の説明図

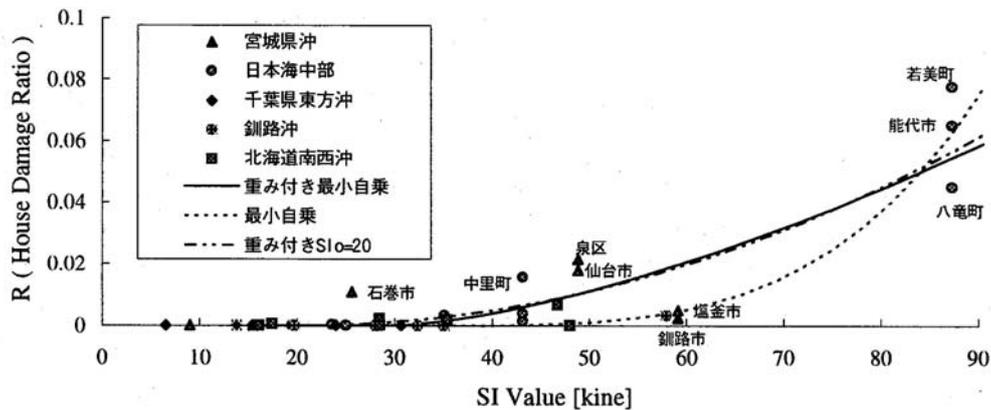


Figure 2. Relationship between SI and House Damage Ratio

図 1-2 童・山崎・佐々木・松本(1994)による木造被害率と SI 値の関係

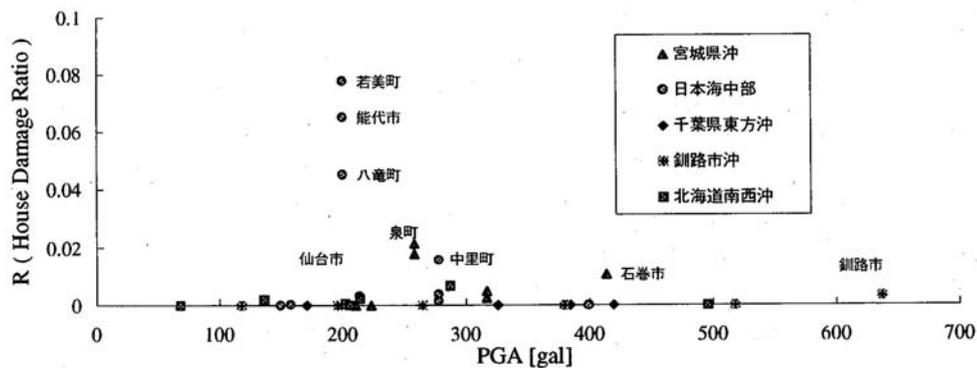


Figure 3. Distribution in House Damage Ratio and PGA

図 1-3 童・山崎・佐々木・松本(1994)による木造被害率と最大加速度の関係

2) 清野・藤江・太田(1999)による手法

清野ら(1999)の手法は、図 2-1 に示すように、加速度記録から積分して速度記録および変位記録を算出し、それぞれについて短周期震度、中周期震度および長周期震度の3種類を求めて、それぞれの特性に応じて用いることとしている。

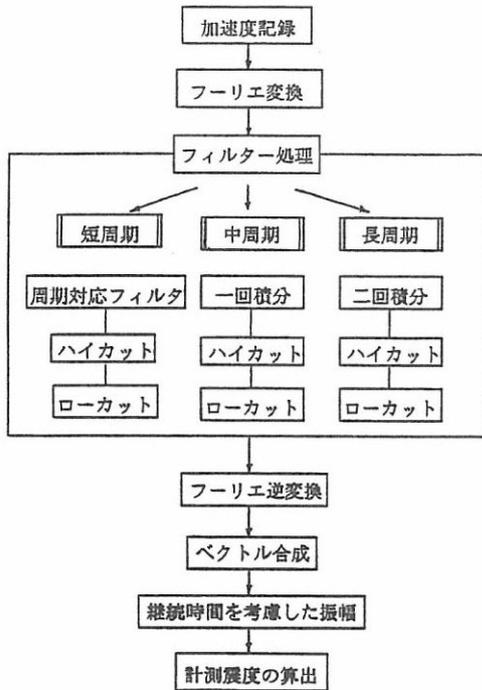


図 2-1 組合せ震度決定の手順

$$\text{短周期震度} : I_s = 2.00 \log(a_0) + 0.94 \quad (10)$$

$$\text{中周期震度} : I_m = 1.91 \log(v_0) + 2.50 \quad (11)$$

$$\text{長周期震度} : I_l = 1.94 \log(d_0) + 3.20 \quad (12)$$

図 2-3 短周期震度、中周期震度および長周期震度の算出式

表 2-1 継続時間を変化させた場合の振幅と震度の相関係数

	$\tau=0.1$	$\tau=0.3$	$\tau=0.5$	$\tau=1.0$	$\tau=1.5$	$\tau=2.0$
速度	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99
変位	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

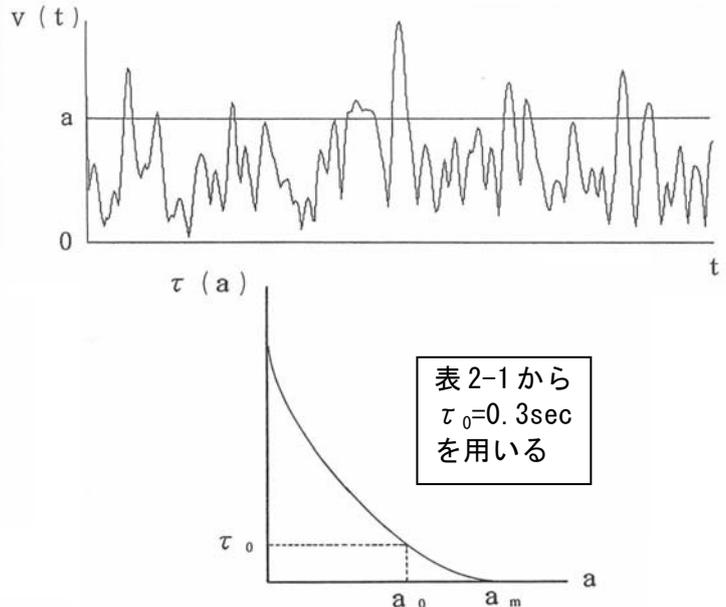


図 2-2 a_0, v_0, d_0 の決定手順

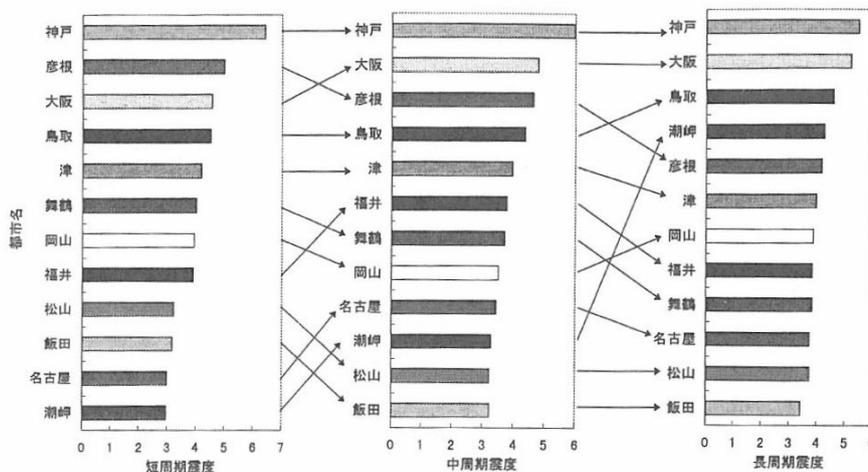


図 2-4 1995 年兵庫県南部地震における各観測点ごとの組合せ震度の比較

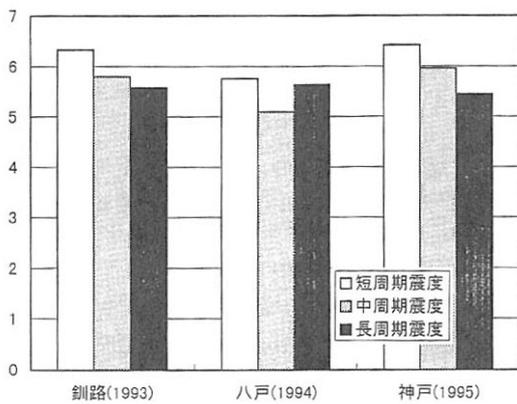


図 2-5 震度VIが観測された3つの地震に対する組合せ震度の比較 (1993年釧路沖地震、1994年三陸はるか沖地震、1995年兵庫県南部地震)

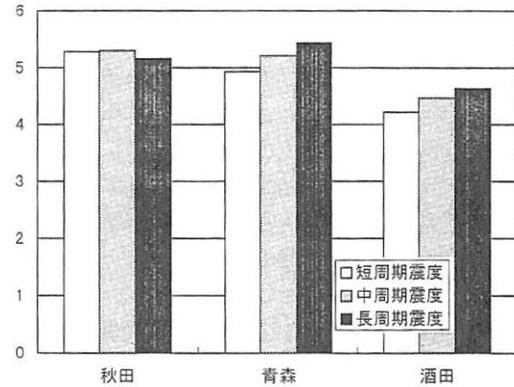


図 2-6 1993年日本海中部地震の際の秋田・青森・酒田観測波から求めた組合せ震度

3) 境・神野・瀬瀬(2004)の手法

境ら(2004)の手法は、震度を低(I_L)、中(I_M)、高震度(I_H)にわけ、それぞれを人体感覚と室内物品の動き、建物の中小被害および建物の大きな被害に対応するように定式化し、その3つの震度算定式を組み合わせ、最終的な震度を算定するアルゴリズムにしたがって震度を求める手法を提案している。

図 3-1 は、そのアルゴリズムを示す。たとえば、高震度(I_H)が、5.5以上 6.0未満の場合、中震度(I_M)と高震度(I_H)を用いて、 $I_H=5.5$ で I_M が 100%、 $I_H=6.0$ で I_H が 100%となるように比例配分している。

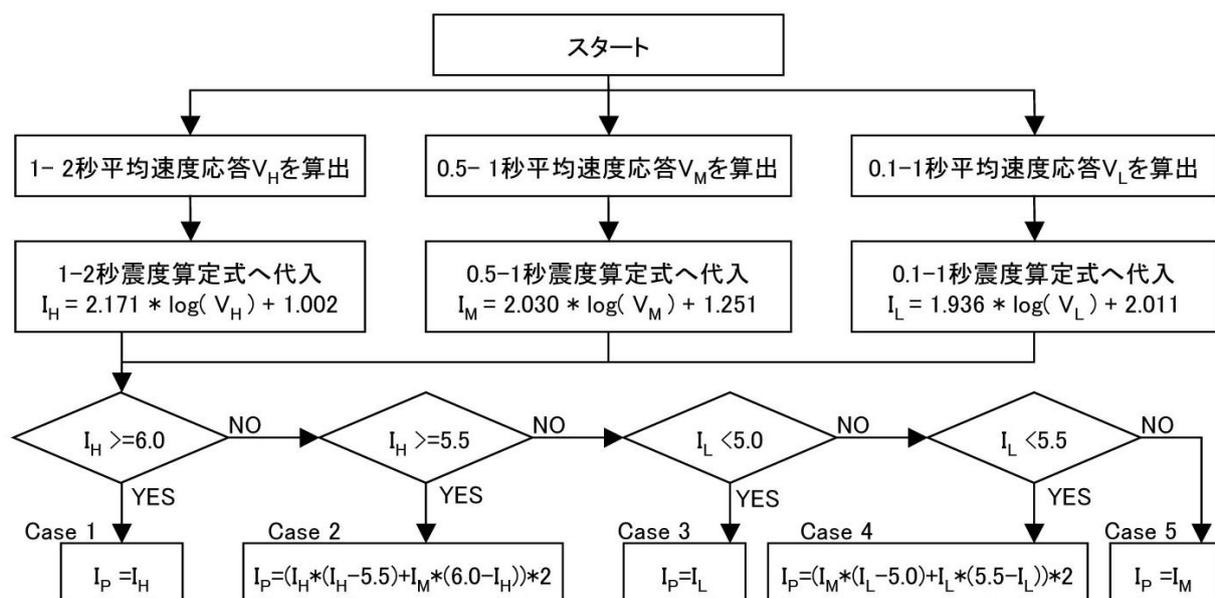


図 3-1 震度算定のフローチャート

a) 高震度

表 2 高震度の定式化に用いた強震記録と周辺の建物被害率

地震	地点	PGA	PGV	I _J	D _H
1995年兵庫県南部	JR 鷹取	742.7	161.9	6.48	59.4
"	葦合	834.0	139.8	6.49*	20.2
"	NTT 神戸	331.3	91.2	5.83	16.1
"	JR 宝塚	690.4	91.7	6.15	7.2
"	本山第一小	794.0	86.7	6.12	6.5
"	神戸 JMA	847.9	96.6	6.43	3.2
"	尼崎高架橋	340.7	57.9	5.69	2.4
"	尼崎竹谷小	367.8	60.2	5.70	1.7
"	尼崎港	473.2	64.8	5.74	0.0
"	関西総合技研	555.9	64.2	5.95	0.8
"	六甲アイランド	368.0	79.8	5.70	0.0
"	JR 新大阪	253.0	41.5	5.42	0.0
"	大阪 JMA	83.1	19.5	4.54	0.0
1994年三陸よるか沖	八戸市庁舎	433.7	49.2	5.82	1.9
2000年鳥取県西部	境港測候所	762.6	88.3	6.01	1.1
"	K-NET 米子	435.6	54.1	5.82	0.0
1993年釧路沖	釧路 JMA	752.3	45.8	5.95*	0.0
1993年北海道南西沖余震	乙部小	1615.6	58.3	6.15	0.0
2001年芸予	K-NET 大野	450.4	32.6	5.63	0.0
"	K-NET 東予	509.3	33.4	5.57	0.0
"	K-NET 三原	641.6	11.8	4.98	0.0
1997年鹿児島県北西部 3/26	K-NET 宮之城	542.8	37.7	5.53	0.0
1997年鹿児島県北西部 5/13	K-NET 宮之城	978.0	47.5	5.92	0.0

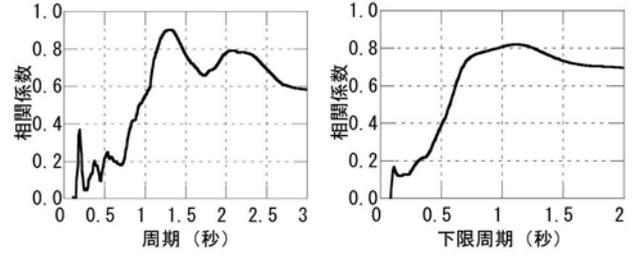
PGA: 地動最大加速度 (cm/s²), PGV: 地動最大速度 (cm/s) (いずれも水平 2 成分ベクトル和), I_J: 計測震度 (*がついたものは水平 2 成分による値), D_H: 観測地点周辺における大破・全壊以上の低層住宅の割合 (%), 2000 年鳥取県西部地震境港測候所周辺の建物総数は不明のため代わりに世帯数を用い, 被災度判定は自治体によるものなので, 建物被害率は 2 分の 1 とした¹¹⁾, PGV は周期 15 秒, 減衰定数 70.7% の系の最大速度応答¹²⁾, 表中の JMA は気象庁, K-NET, KiK-net は防災科学技術研究所の観測点を表す.

b) 中震度

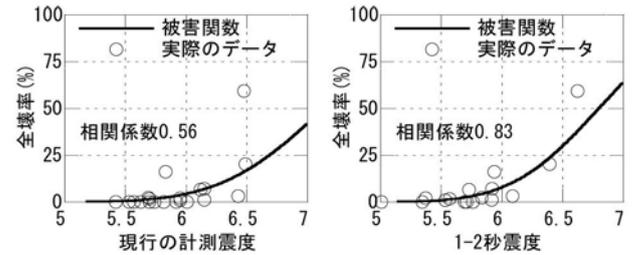
表 3 中震度の定式化に用いた強震記録と周辺の建物被害率

地震	地点	PGA	PGV	I _J	D _H	D _M	D _N	D _H /D _N
1995年兵庫県南部	関西総合技研	555.9	64.2	5.95	6.0	31.8	25.8	0.20
"	千里供給所	313.4	33.5	5.35*	0.0	0.0	0.0	-
"	NTT 豊中	266.7	31.7	5.41	0.0	0.0	0.0	-
"	JR 宝塚	690.4	91.7	6.15	5.4	36.1	30.8	0.18
"	(JR 鷹取)	742.7	161.9	6.48	5.6	91.0	24.1	2.36
"	(本山第一小)	794.0	86.7	6.12	29.1	48.9	19.8	1.47
"	尼崎竹谷小	367.8	60.2	5.70	7.9	36.6	28.7	0.28
"	* 神戸 JMA	847.9	96.6	6.43	12.5	58.6	46.1	0.27
"	* 尼崎高架橋	340.7	57.9	5.69	2.9	23.1	20.2	0.15
"	* (NTT 神戸)	331.3	91.2	5.83	27.6	65.5	37.9	0.73
"	* (尼崎港)	473.2	64.8	5.74	7.0	19.0	12.0	0.59
"	* (葦合)	834.0	139.8	6.49*	35.2	57.6	22.4	1.57
1997年鹿児島県北西部 3/26	JMA 阿久根	500.1	39.1	5.38	0.2	0.2	0.0	-
"	K-NET 阿久根	295.9	44.8	5.67	0.0	0.0	0.0	-
"	K-NET 出水	902.5	16.8	5.23	0.0	0.0	0.0	-
1997年鹿児島県北西部 5/13	K-NET 出水	753.1	23.1	5.23	0.0	0.0	0.0	-
2000年鳥取県西部	KiK-net 伯太	844.4	44.5	5.76	0.0	11.4	11.4	0.00
"	K-NET 新見	876.3	26.8	5.67	0.0	0.0	0.0	-
"	JMA 新見	788.3	21.7	5.09	0.0	0.0	0.0	-
"	JMA 米子	280.4	28.8	5.15	0.0	1.3	1.3	0.00
"	K-NET 米子	435.6	54.1	5.82	0.0	2.9	2.9	0.00
"	境港測候所	762.8	88.3	6.01	2.0	13.0	11.0	0.18
"	K-NET 松江	217.2	26.2	5.12	0.0	0.0	0.0	-
"	JMA 松江	223.5	17.6	4.88	0.0	0.0	0.0	-
"	K-NET 土庄	146.5	9.8	4.45	0.0	0.0	0.0	-
"	K-NET 高野	482.0	13.1	5.09	0.0	0.0	0.0	-
"	K-NET 油木	539.6	14.2	5.05	0.0	0.0	0.0	-
2001年芸予	(広島河内町)	1377.0	36.0	5.99	0.1	0.1	0.0	∞
"	K-NET 東予	509.3	33.4	5.57	0.0	0.0	0.0	-
"	K-NET 長浜	399.6	32.9	5.46	0.0	0.0	0.0	-
"	広島倉橋町	576.1	22.9	5.48	0.0	0.0	0.0	-
"	JMA 倉橋	385.2	11.7	4.91	0.0	0.0	0.0	-
"	K-NET 因島	401.7	19.3	5.29	0.0	0.0	0.0	0.00
"	JMA 三原	243.7	21.7	5.19	0.0	0.5	0.5	0.00
"	K-NET 三原	641.6	11.8	4.98	0.0	0.0	0.0	-
"	広島大柿町	579.4	18.0	5.18	0.0	0.0	0.0	-
"	広島新市町	274.0	7.8	4.51	0.0	0.0	0.0	-
"	K-NET 玖珂	191.6	18.6	4.89	0.0	0.0	0.0	-
"	広島世羅町	404.4	10.4	4.70	0.0	0.0	0.0	-
"	広島三良坂町	299.2	8.7	4.67	0.0	0.0	0.0	-
"	広島下蒲刈町	1212.0	30.7	5.37	0.0	0.0	0.0	-
"	K-NET 東和	223.2	23.5	5.23	0.0	0.4	0.4	0.00

地点が括弧になっているものは D_H/D_N>1/3 となり対象外となったもの, PGA: 地動最大加速度 (cm/s²), PGV: 地動最大速度 (cm/s), 周期 15 秒, 減衰定数 70.7% の系の最大速度応答¹²⁾ (いずれも水平 2 成分ベクトル和), I_J: 計測震度 (*がついたものは水平 2 成分による値), D_H, D_M, D_N: 観測地点周辺における自治体による全壊, 半壊以上, 半壊の家屋の割合 (%), 地点の前に*がついているものは, 補充した文献¹⁰⁾によるデータで D_H は, 自治体による全壊に対応する¹¹⁾「中程度の損傷」以上の割合した, 表中の JMA は気象庁, K-NET, KiK-net は防災科学技術研究所, 広島は広島県震度情報ネットワークの観測点を表す.



(1) 単一周期 (2) 周期帯
図 1 弾性速度応答の周期と全壊率との相関係数の関係



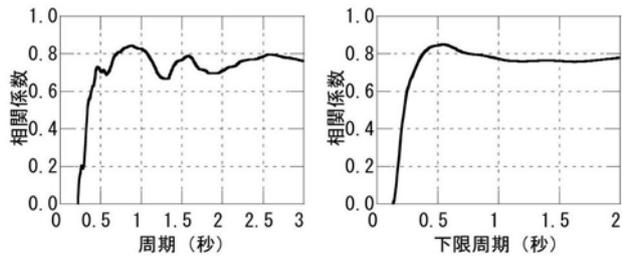
(1) 計測震度 (2) 1-2秒震度
図 2 震度と実際のデータ (全壊率) との対応

$$I_H = 2.171 * \log(V_H) + 1.002$$

V_H : 1-2秒弾性速度応答 (h = 5%)

$$I_M = 2.030 * \log(V_M) + 1.251$$

V_M : 0.5-1秒弾性速度応答 (h = 5%)



(1) 単一周期 (2) 周期帯
図 5 弾性速度応答の周期と全半壊率との相関係数の関係

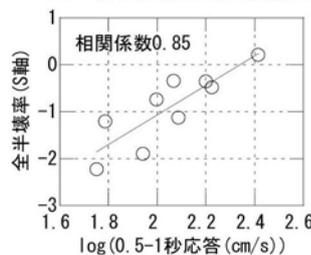


図 6 全半壊率 0 の点を除いた 0.5-1 秒応答と全半壊率の関係

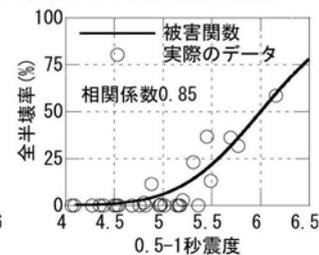


図 7 0.5-1 秒震度と実際のデータ (全半壊率) との対応

c) 低震度

$$I_L = 1.936 * \log(V_L) + 2.011$$

V_L : 0.1-1秒弾性速度応答 (h = 5%)

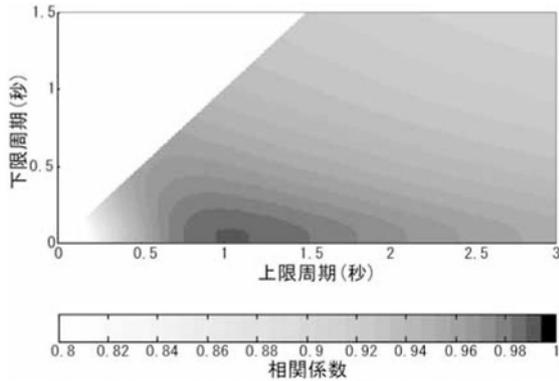


図3 弾性速度応答と現行の計測震度との相関係数

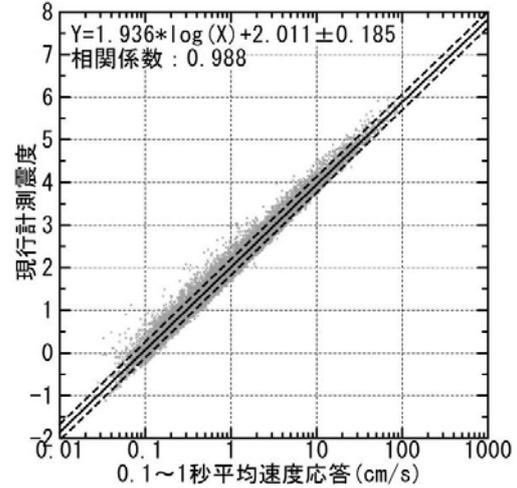


図4 0.1-1秒応答と現行の計測震度の関係

d) 現行の計測震度との比較

表4 提案する算定法による震度と現行の計測震度

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(%).

e) 計測震度と境ら(2004)の論文による提案震度の比較

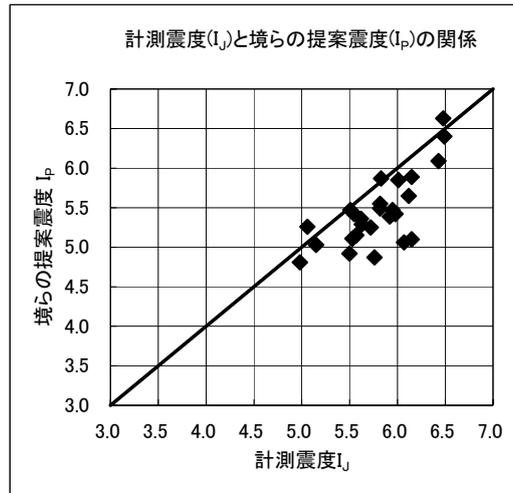


図 3-2 気象庁計測震度 (I_j) と境ら (2004) の提案震度 (I_p) との関係

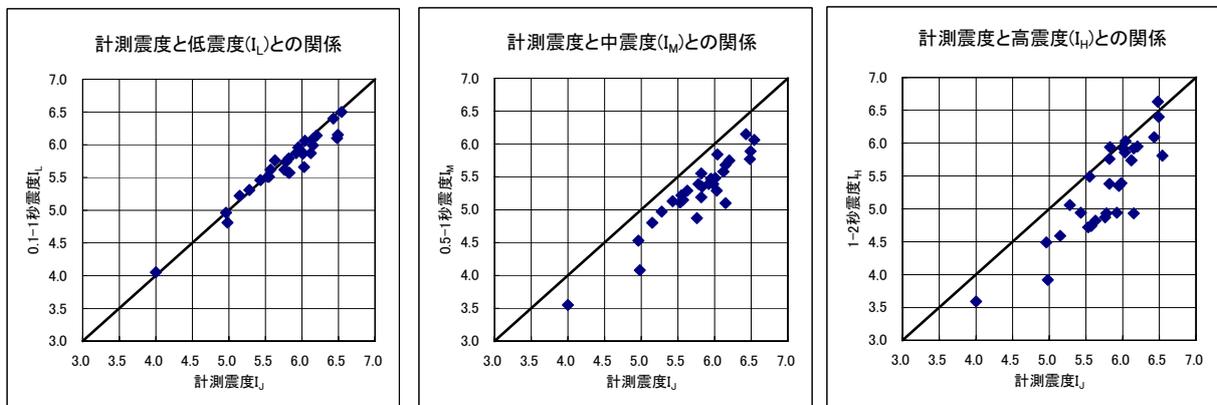


図 3-3 気象庁計測震度 (I_j) と境ら (2004) の低震度 (I_l), 中震度 (I_m), 高震度 (I_h) の関係

I_j (気象庁計測震度)

I_p (境ら(2004)の提案震度)

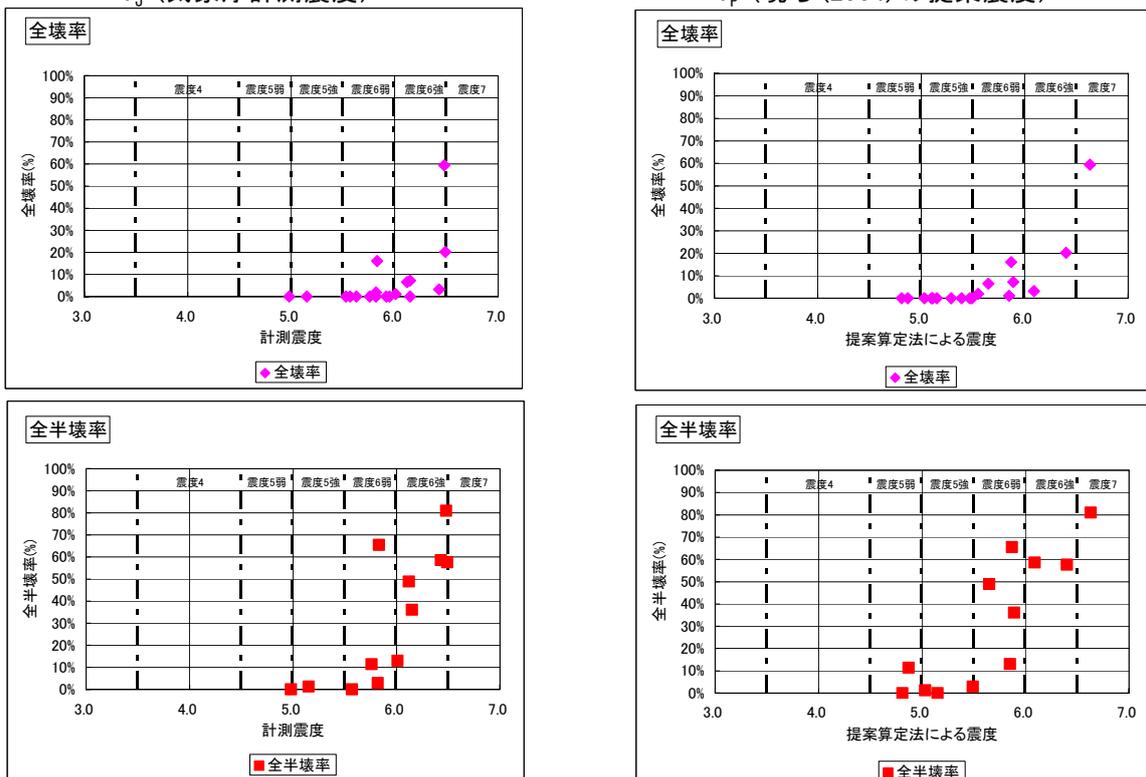


図 3-4 気象庁計測震度 (I_j), 境ら (2004) の提案震度 (I_p) と建物全壊率・全半壊率の関係

○地震時のエレベータの機能障害

翠川三郎, 三浦弘之, 石井一徳: 地震時のエレベータの機能障害について, 地域安全学会梗概集, No.19, pp.39-42, 2006. から引用する。

表-1 比較的最近の主要地震におけるエレベータ被害状況

地震名称	宮城県沖地震	兵庫県南部地震	鳥取県西部地震	三陸南地震	宮城県北部地震	十勝沖地震	新潟県中越地震	福岡県西方沖地震	千葉県北西部地震	宮城県沖地震
発生日	S53.6.12	H7.1.17	H12.10.6	H15.5.26	H15.5.27	H15.5.28	H16.10.23	H17.3.20	H17.7.23	H17.8.16
震度階	5	7	5強	6弱	6強	6弱	6強	6弱	5強	6弱
保守台数	4551	64380	5066	15531	4912	20663	232461	40845	227000	278500
地震時管制運転装置付き	—	—	1719	12582	3602	13244	136408	—	144000	178750
作動台数	—	—	1160	8841	1848	7860	8322	5848	64000	16200
閉じ込め台数	53	156	0	14	2	8	12	67	78	38
地震時管制運転装置付き	—	—	—	—	—	—	—	—	73	33
故障・損傷台数	468	7335	16	108	6	121	289	301	44	99
脱レール台数	188	1063	6	26	4	39	69	38	19	36
調査対象都道府県	青森 秋田 山形 宮城 岩手 福島	近畿地区	鳥取 岡山 広島 島根 香川	青森 秋田 山形 宮城 岩手 福島	青森 秋田 山形 宮城 岩手 福島	北海道	新潟, 石川 長野, 宮城 山形, 福島 群馬, 山梨 栃木, 茨城 埼玉, 東京 千葉, 神奈川	福岡 佐賀 大分 長崎 熊本 宮崎	東京 千葉 埼玉 神奈川	青森, 秋田 山形, 宮城 岩手, 福島 茨城, 東京 千葉, 埼玉 神奈川, 栃木 群馬, 新潟 山梨, 長野

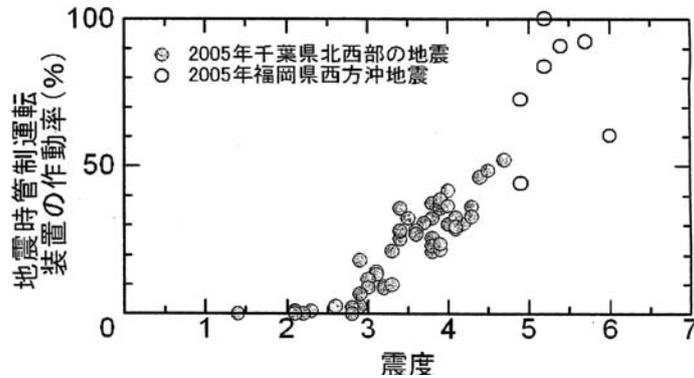


図-1 地震時管制運転装置の作動率と震度の関係

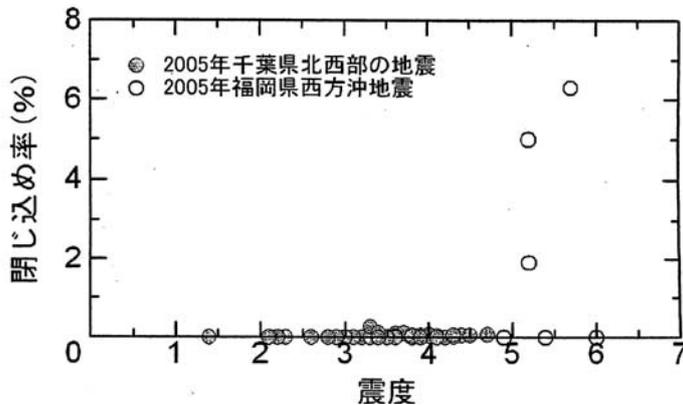


図-2 エレベータ内閉じ込め率と震度の関係

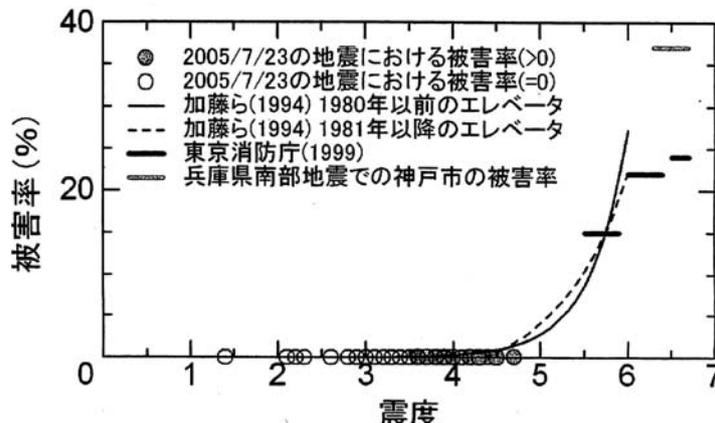


図-3 エレベータ物的被害率と震度の関係

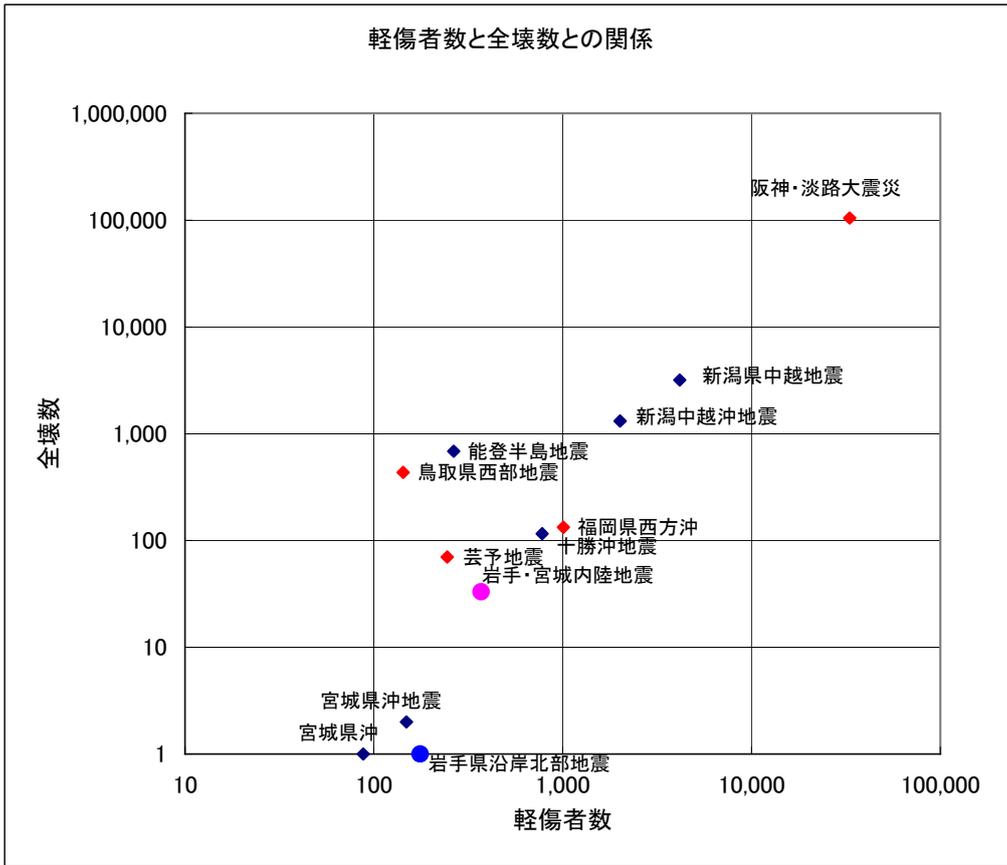


図-1 軽傷者数と全壊数の関係（出典：消防庁災害対策本部資料による）

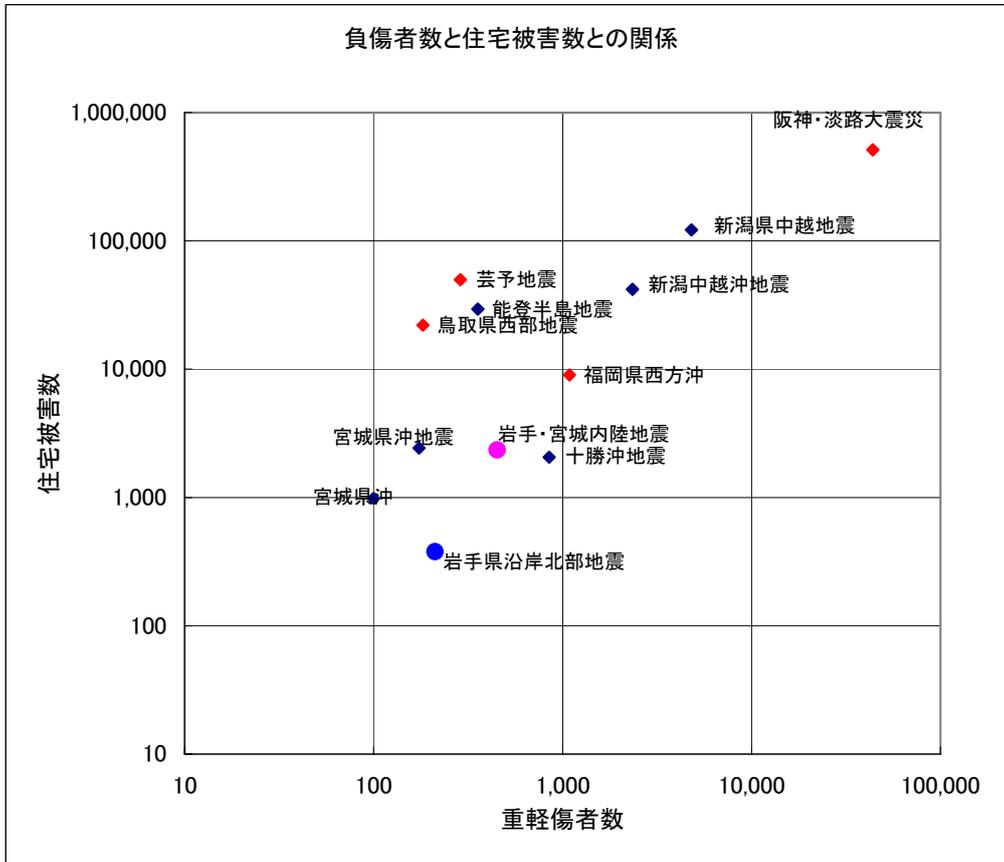


図-2 重軽傷者数と住宅被害数（全壊・半壊・一部損壊）の関係（出典：消防庁災害対策本部資料による）

○建物の被災度等の指標について

1) 建物の被災度等の指標の説明

(1) 罹災証明 府政防第 361 号で用いられる区分け

被災度等	内容
半壊	住家はその居住のための基本的機能の一部を喪失したものの、すなわち、住家の損壊が甚だしいが、補修すれば元通りに再使用できる程度のもので、具体的には、損壊部分はその住家の延床面積の 20%以上 70%未満のもの、または住家の主要な構成要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が 20%以上 50%未満のものとする。
大規模半壊	半壊の内、造耐力上主要な部分の補修を含む大規模な補修を行わなければ当該住宅に居住することが困難であると認められるもの。 具体的には、損壊部分はその住家の延床面積の 50%以上 70%未満のもの、または住家の主要な構成要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が 40%以上 50%未満のものとする。
全壊	住家はその居住のための基本的機能を喪失したものの、すなわち、住家全部が倒壊、流失、埋没、焼失したもの、または住家の損壊が甚だしく、補修により元通りに再使用することが困難なもので、具体的には、住家の損壊、焼失若しくは流失した部分の床面積がその住家の延床面積の 70%以上に達した程度のもので、または住家の主要な構成要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が 50%以上に達した程度のものとする。

(2) 建物応急危険度判定で用いられる区分け

被災度等	内容
調査済	建築物の被災程度は小さい、建築物は使用可能である。
要注意	建築物に立ち入る場合は十分な注意が必要。応急的に補強する場合には専門家の指示が必要
危険	建築物に立ち入ることは危険、倒壊の恐れあり。専門家に相談し、応急補強を行った後でないと立ち入り不可

(3) 日本建築学会 木造建築 被災度判定基準（1984）で用いられる区分け

被災度等	内容
無被害	・外見上被害がまったくない。
被害軽微	・一部の屋根がわらに損傷が見られる。 ・一部の垂れ壁・腰壁・仕上げ材にひび割れが生じている。
小破	・大部分のれんがおよび一部の屋根がわらが破損している。 ・一部の壁にひび割れが生じている。 ・一部の壁仕上げ材が脱落している。 ・基礎の一部にひび割れが生じている。
中破	・大部分の壁、垂れ壁・腰壁にひび割れ生じ、一部が脱落している。 ・大部分の屋根がわらが破損している。 ・基礎のひび割れが著しい。
大破	・大部分の壁・垂れ壁が破損し、内外装材がほとんど脱落している。 ・筋かいが折損し、柱・はりに割れが生じ、床が破損している。
倒壊	・屋根・壁・床・柱等の損壊が全面にわたり、建物の変形が著しい。 ・周辺地盤の崩壊により、建物の変形が著しい。

(4) 岡田、高井の提案で用いられる区分け 文献 2)

被災度等	Damage Grade	Damage Index	内 容	
無被害	D0	0.0	・無被害	
		0.1	・側面の亀裂及び外装材の若干の剥落	
一部破損	D2	0.2	・屋根瓦・側面のモルタル等の大幅な剥落	
		0.3		
半壊	D3	0.4	・柱・梁、壁の一部が構造的に破壊されているが、内部空間を欠損するような被害は生じていない。	
		0.5		
全壊	D4	0.6	・柱・梁の破壊により、内部空間が欠損する。	
		0.7		
	D5	0.8	・破壊がかなり進み、居住空間が著しく損なわれる。	
		0.9	・屋根が接地しているか接地しそうである。	
		1.0		

2) 建物の被災度等の指標の相互関係

1) 宮腰・林・福和(2000)による比較

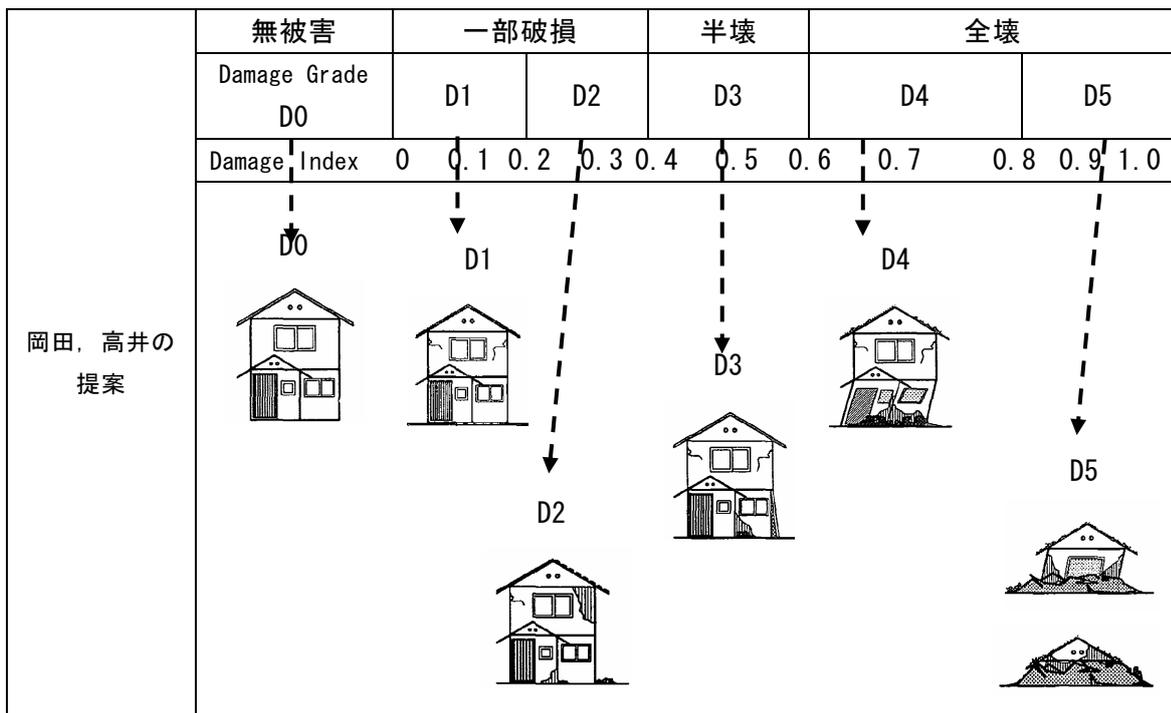
日本建築学会 1984	無被害	被害 軽微	小 破	中 破	大 破	倒 壊
----------------	-----	----------	--------	--------	--------	--------

罹災証明	無被害、 一部損壊	半壊	全壊
------	--------------	----	----

2) 岡田・高井(1998)による比較

罹災証明	無被害、 一部損壊	半壊	全壊
------	--------------	----	----

建物応急危険 度判定	調査済	要注意	危険
---------------	-----	-----	----



※文献 1) 宮腰淳一 林 庸裕 福和伸夫、地震被害データに基づく各種の被災度指標の対応関係の分析 構造工学論文集 Vol. 46B pp. 121-134 2000 年

※文献 2) 岡田成幸、高井伸雄、地震被害調査のための建物分類と破壊パターン 日本地震工学シンポジウム論文集 Vol : 10-3 巻 pp. 3235-3240 1998 年

○木造住宅の耐震基準の変遷

年次	変遷	備考
1920年 (大正09年)	●市街地建築物法施行	
1923年 (大正12年)	★関東大震災	凌雲閣(12階)大破他、石造・煉瓦作りの建物が多く倒壊する。
1924年 (大正13年)	●市街地建築物法の大改正 ・耐震規定が法規に初めて盛り込まれる。 ・木造では筋違などの耐震規定が新設	
1950年 (昭和25年)	●建築基準法制定 ・壁量規定が導入 ・床面積あたりの必要壁長さや、軸組の種類・倍率などが定義	
1959年 (昭和34年)	●建築基準法の改正 ・壁量規定が強化 ・床面積あたりの必要壁長さや、軸組の種類・倍率などが改定	
1964年 (昭和39年)	★新潟地震	液状化現象
1968年 (昭和43年)	★十勝沖地震	R C 構造物の脆性破壊
1981年 (昭和56年)	●建築基準法施行令大改正 ・壁量規定の見直し ・構造用合板等追加 ・床面積あたりの必要壁長さや、軸組の種類・倍率などが改定	新耐震設計基準
1995年 (平成07年)	★兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)	S56年以前の建築物に対する耐震診断、耐震改修の必要性
2000年 (平成12年)	●建築基準法改正 ①地耐力に応じて基礎を特定 ②構造材とその場所に応じて継手・仕口の仕様を特定 ③耐力壁の配置にバランス計算が必要(偏心率計算等)	在来の許容応力度計算に加え、性能型設計(限界耐力計算等)が導入

※出典：大橋雄二 日本建築構造基準変遷史 1993年 を基に作成