

震度に関する検討について

Studies on JMA Seismic Intensity (SHINDO)

横田崇¹, 川上徹人², 尾崎友亮³, 下山利浩⁴, 近藤さや³, 岡部来⁵, 吉田知央⁶,
坂本誠一⁷, 能勢努⁸, 辻村晃一⁹, 下坪善浩¹⁰
Takashi YOKOTA¹, Tetsuto KAWAKAMI², Tomoaki OZAKI³, Toshihiro SHIMOYAMA⁴,
Saya KONDO³, Rai OKABE⁵, Tomohisa YOSHIDA⁶, Seiichi SAKAMOTO⁷, Tsutomu NOSE⁸,
Koichi TSUJIMURA⁹ and Yoshihiro SHIMOTSUBO¹⁰

(Received September 10, 2010; Accepted December 2, 2011)

1 はじめに

震度は、地震による地面の揺れの強さを総合的に表す指標として、防災対応の重要な基準等に利用されている。多くの防災機関では震度を初動立ち上がりの基準や災害応急対策等に利用しており、地震災害の軽減を図る上で極めて重要な情報となっている。また、我が国では、一般の住民にとっても、地震の際の揺れの程度を知る指標として、大変に馴染みのあるものとなっている。

気象庁は、平成 8 年（1996 年）に震度観測を体感によるものから震度計によるものに完全に移行し、震度を速報する体制の強化と観測結果の客観化を行った。また、同時に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の目安を示す「震度階級関連解説表」を作成し、同年 4 月^(注)から用いてきた。（注 震度 5 及び震度 6

を、それぞれ震度 5 弱、5 強、6 強、6 弱に分ける運用は同年 10 月より開始）

同表の作成から 10 年余りが経過し、その間、規模の大きな被害地震がいくつか発生した。また、「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」や同年 7 月 24 日の岩手県沿岸北部の地震など、震度階級関連解説表上の表現に比べ、建物被害が少ないようにみえる事例があったことから、平成 8 年に導入した計測震度の計算手法についての再確認や、震度計の設置環境の確認を行うべきとの機運が高まった。

また、これまで、原則 1 市区町村に 1 箇所以上となるように、地方公共団体が震度計を設置していたが、平成の大合併で地方公共団体数が減少することにより、地方公共団体の震度計の減少が懸念され、配置基準についての検討が求められるようになって

¹ 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

現所属：気象研究所地震火山研究部, Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

² 地震火山部管理課, Administration Division, Seismological and Volcanological Department

³ 地震火山部地震津波監視課, Earthquake and Tsunami Observations Division, Seismological and Volcanological Department

⁴ 地震火山部地震津波監視課, Earthquake and Tsunami Observations Division, Seismological and Volcanological Department

現所属：内閣府 政策統括官（防災担当）付, Disaster Management, Cabinet Office

⁵ 文部科学省研究開発局地震防災研究課, Earthquake Research Division, Research and Development Bureau, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

⁶ 気象研究所企画室, Office of Planning, Meteorological Research Institute

⁷ 元地震火山部地震津波監視課, Formerly with Earthquake and Tsunami Observations Division, Seismological and Volcanological Department

⁸ 総務部民間気象事業振興課, Private Sector Development Division, Administration Department

⁹ 地震火山部地震津波監視課, Earthquake and Tsunami Observations Division, Seismological and Volcanological Department

現所属：原子力安全基盤機構耐震安全部, Seismic Safety Division, Japan Nuclear Energy Safety Organization

¹⁰ 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

現所属：予報部航空予報室, Office of Aviation Weather Forecast, Forecast Department

きた。

これらの状況を踏まえ、震度や震度観測に関する課題を整理し、適切な震度観測に資するため、気象庁は、地方公共団体の防災対策を所管する総務省消防庁と共同で、学識経験者及び関係行政機関から成る「震度に関する検討会」（以下、検討会）を設け、平成 20 年 12 月より 21 年 3 月にかけて、計 5 回の検討を行い、その結果をまとめた（気象庁・消防庁（2008、2009）、気象庁・消防庁（2009））。検討会の検討項目とその概要は、以下のとおりである。

（１）計測震度と被害等との関係について

計測震度が防災対応の指標として適当かどうか、過去の体感震度との比較、研究者により提案されている各種指標、震度と建物被害率との関係などを整理し、検討を行った。

（２）「震度階級関連解説表」の内容の変更

平成 8 年策定の震度階級関連解説表は、「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」をはじめとした、当時の被害地震の事例から作成されたものであった。

「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」や同年 7 月 4 日の岩手県沿岸北部の地震など、震度階級関連解説表上の表現に比べ、建物被害が少ないようにみえる事例があった。同解説表は「今後、新しい事例が得られたり、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、内容を変更する」としていることも踏まえて、近年の事例を含めた震度別の被害事例を出来る限り反映させつつ、解説表の見直しの検討を行った。

（３）震度計設置条件等の不適切な観測点の点検とその扱い

平成 20 年 7 月 4 日の岩手県沿岸北部の地震では、震度 6 強を観測した岩手県洋野町大野について、地震発生後に設置した臨時観測の震度計との比較結果から、震度 6 強の観測値を取り消して不明とすることとなった。同観測点における震度計の設置場所は、斜面に近く、盛り土でありかつ緩い地盤であることが、気象庁が行った現地調査により分かった（気象庁・消防庁（2008））。しかし、同観測点は、従前の評価指針による設置環境評価ではランク B（問題のない設置環境と判断されるが、さらに改善すべき点がある）の判定であり、この評価指針では、上記の原因が検知できないことが分かった。このため、新たな震度計設置環境基準や、気象庁からの震度情報の

発表対象とする観測点についての考え方について、検討を行った。

（４）地方公共団体が設置する震度計の具体的な配置基準

市町村合併を踏まえた、震度計の配置に関する具体的な基準について検討を行った。

気象庁は、検討会の検討結果を踏まえ、平成 21 年 3 月 31 日に「震度階級関連解説表」の改定を行った。また、震度計設置環境基準の検討結果を受け、平成 21 年 4 月から気象庁、地方公共団体、防災科学技術研究所は震度観測点の設置環境の調査・改善を進めている。

本稿では、震度に関する検討の前提として、まず、2 項で震度の活用のされ方と震度階級の変遷について整理する。次に、3 項から 6 項で、検討会の検討内容を項目毎に紹介する。最後に、7 項でまとめを述べる。

2 震度の活用と震度階級の変遷

2.1 震度の活用とその迅速な提供

気象庁の震度は、防災関係機関が初動対応を行う際の立ち上がりの基準や災害応急対策等に活用されている。また、住民においては、地震の際の揺れの程度を把握するための指標として用いられている。震度の活用のされ方をまとめると表 2.1 のとおり。

表 2.1 震度の活用。

・初動対応用情報
・災害応急対策用情報
・状況を確認するための情報

震度が防災対応の情報として活用されることから、その速報性や、客観的な指標であることが重要となる。そのため、気象庁は、震度計により観測した震度を迅速に提供するための震度観測網・情報伝達体制の整備を行ってきた。この十数年間に実施してきたことは、（１）震度計による自動観測・通報化（以下、「震度の計測化」という）、震度速報の開始（震度情報の迅速な提供）、（２）震度観測点の充実（気象庁震度観測点の整備、地方公共団体、独立行政法人防災科学技術研究所の観測データの収集・品質管理・発表）、（３）情報伝達体制の整備（オンライン

通信、衛星による通信環境の整備）である。

2.2 歴史地震の研究、過去事例から地震防災対策検討を行う際の震度の利用

震度計による震度観測は、観測された地震動から計測震度を算出し震度を求める、という方法に依っている。一方、被害状況等をもとに相当する震度を推定する、という方法も考えられる。震度計の導入以前、体感等により震度を求めているのは、基本的にはこうした考え方によるものであるが、震度計による観測への移行後も、気象庁において、聞き取り調査等により、相当する震度を求めた例がある。表 2.2 にその具体例を示す。

また、震度観測開始前の江戸時代以前の地震（歴史地震）について、文献（古文書）による被害記録により震度を推定する調査が研究者により行われている。これは過去の地震活動やその際の地震動の程度を知る重要な資料となっており、そうして分かった過去の被害地震の様相が地震工学や地震防災対策の検討に活用されている。明治時代以降の、震度観測が始まってからの地震についても、同様の方法により、震度観測点のない地点の震度を推定する試みが行われている。

さらに、震度を知るのみならず、推定した震度から、地震の震源域の詳しい様子を求める研究などが行われている。例えば、宮城県沖で繰り返し発生す

る地震を対象に、震度データから短周期の地震波を発生させた領域を推定した研究がある。（神田・武村（2005））

表 2.2 気象庁が現地調査等を行い、相当する震度により揺れの程度を調べた地震（平成 22 年 5 月までの主なもの）。

地震（相当する震度を求める際に着目した事項）
平成 16 年（2004 年）12 月 14 日の留萌支庁南部の地震（目視による建造物・構造物の被害状況、地面現象、聞き取り調査内容）
平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震（聞き取り調査内容）
平成 20 年 7 月 24 日の岩手県沿岸北部の地震（聞き取り調査内容）
平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震（アンケート調査）

2.3 震度観測の変遷

2.3.1 震度観測の変遷

日本における震度観測は、明治 17 年（1884 年）に約 600 箇所の観測点で始まった。明治 37 年（1904 年）には気象官署や民間への委託をあわせ 1,437 の観測所から震度データが収集されるようになり、昭和 30 年代までほぼ同数の観測点が維持されていた。当初は、現在のように地震計による観測がまだ十分

表 2.3 気象庁震度階級の変遷

① 震度の階級は、明治 17 年（1884 年）の地震報告心得では、微、弱、強、烈の 4 階級
② 明治 31 年（1898 年）より、微震（感覚ナシ）、微震、弱震（震度弱キ方）、弱震、強震（震度弱キ方）、強震、烈震の 7 階級。明治 41 年（1908 年）階級に説明を付加
③ 昭和 11 年（1936 年）から昭和 23 年（1948 年）に用いられたものでは、震度Ⅰ及び震度Ⅱは人間の感覚、震度Ⅲ及び震度Ⅳは室内の状況、震度Ⅴ及び震度Ⅵは家屋の被害などを記述。
④ 昭和 23 年（1948 年）の福井地震を踏まえ、昭和 24 年（1949 年）に震度Ⅶを設けた改良の際に、あわせて、震度を津波予報作業の基準に用いることとし、震度を素早く判定するために、体感での記述が追加された（震度Ⅲと震度Ⅳの区別に震度Ⅳに体感の記述を、震度Ⅴと震度Ⅵの区別に震度Ⅵに体感の記述）。ただし、震度の速報は震度Ⅵまでとし、震度Ⅶについては、後日の調査により被害状況から判定するものとしている。
⑤ 昭和 53 年（1978 年）には、体感による観測をより適切に行えるよう、気象庁の地震観測の指針（地震観測指針（観測編））の震度の観測方法の参考事項として、速報する震度Ⅵまでの全ての階級に体感を示す。
⑥ 平成 8 年（1996 年）には、気象庁で発表する震度は計測震度で観測するものとした。また、震度情報が、災害応急対策等の防災対策を実施する上で有効な情報となるためには、ある震度が観測された際に、実際にどのような現象、被害が発生するかをあらかじめ示しておく必要があり、このため、「気象庁震度階級関連解説表」を作成。

でなく、震度の観測も、その地点の揺れを把握するためのみならず、地震動の強弱や揺れの方向等についての体感、被害調査等を通じ、地震現象そのものを把握するために行う、といった側面があった。昭和 24 年の震度階級の改定では、震度Ⅲと震度Ⅳの区別のため震度Ⅳに体感の記述が、震度Ⅴと震度Ⅵの区別のため震度Ⅵに体感の記述が追加され、体感を中心に震度を判定できるようになった。これは、この年の 12 月から我が国としての津波警報が始まり、その実施基準として震度の大きさが定められ、震度をより早く報告できるようにするためのものであったと考えられる。

昭和 30 年代に入り、地震計による観測を中心とした体制の構築が行われてきたことから、地震観測としての震度観測はその役目を終え、昭和 33 年（1958 年）から、順次、観測所の整理が行われ、昭和 63 年には、全国 158 ヶ所の気象官署において震度観測が行われるのみとなった。気象庁の震度階級の変遷の概要を表 2.3 にまとめる（より詳しいものを付録 2 に掲載）。

2.3.2 震度観測の計測化と観測点数の増強

さらに時代が進み、震度が防災関係機関の初動対応の基準として極めて重要なものとの認識が広がり、より客観的かつ迅速な震度情報の提供、震度観測点数の増強への要望が高まった。そのため、気象庁では、次の取組を行った。

（1）震度の計測化

気象庁は、震度観測検討委員会の報告（昭和 63 年 2 月）を受けて、震度の計測化の試行を開始した（詳細については、2.3.3 参照）。この時、体感による震度観測自体は廃止せず、震度の計測化を並行して進め、平成 5 年度（平成 6 年）には、全ての震度観測点への震度計の整備を完了した。

（2）観測点の増設、地方公共団体等による震度データの活用

防災対策において震度の活用をより効果的に行うため、それまで約 150 箇所であった震度観測点を、「平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震」を契機に、約 300 箇所に増強、「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」を契機に、平成 8 年には約 600 箇所へ増強した。約 600 箇所の気象庁震度計は、マグニチュード 7 クラスで震度 6 となる地震を確実に捕らえるた

めに、震度計の基本的な配置が約 20km 間隔となるように整備したものである。また、平成 8 年より、震度は現行の計測震度を算出する方法により観測したものとし、体感による震度観測を廃止した。

さらに、「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」の経験により、地方公共団体は独自に震度計を設置し自らの初動防災対応への活用を始めた。気象庁では、地方公共団体や独立行政法人防災科学技術研究所が整備した震度計の震度データについて、準備のできたところから、気象庁が発表する震度情報に含めて発表してきた。

平成 22 年 7 月現在、気象庁約 600 箇所、（独）防災科学技術研究所約 800 箇所、地方公共団体約 2800 箇所、合計約 4300 箇所の震度観測点のデータを気象庁の情報発表に活用している。

観測された震度を気象庁に集約し、国として一元的に発表するにあたっては、震度データの品質を確認し、異常なデータは除外している。また、震度計の検定を行い、適切なもののみ震度情報の発表対象としている。

2.3.3 震度の計測化に関する検討

震度の計測化にあたり、気象庁では、昭和 60～63 年に震度観測検討委員会を設置し検討した（鉢嶺（1989））。さらに、平成 7 年に震度問題検討会を設置し、学識経験者等の意見を反映させつつ、検討を行った。以下にこれらの検討内容を簡単に記す。

昭和 60 年 3 月から昭和 63 年 2 月に設置した震度観測検討委員会（会長：宇津徳治東京大学地震研究所教授（当時））では、取り扱いに限界がある体感による震度から、地震動の強さに関連する物理学的要素に基づく震度に移るための検討を行い、具体的な震度の算出法を示した。ここでは、その手法による震度を、現行の計測震度と区別するために、「旧計測震度」と呼ぶ。旧計測震度では、即時の通報は震度 6 までとし、震度 6 か 7 であるかの判定は、事後に震度 6 の地域を調査し、被害や地変の状況が特に著しいと認められたときに 7 とするものとしていた。

平成 7 年 3 月～11 月に設置した震度問題検討会（座長：宇津徳治東京大学名誉教授（当時））では、震度計により計測された連続量である値を「計測震度」として定義するとともに、震度の各階級は計測震度の値で定義するとした。また、兵庫県南部地震

での現地調査の結果を踏まえ、

- ①震度 7 を計測震度 6.5 以上と定義すること
- ②震度 5 及び 6 については対応する現象の幅が大きいため、分割すること

とされた。また、あわせて、計測震度算出式について、被害建物との相関を考慮し、震度算出に用いる地震波形の周期の範囲を長周期側に広げる等の修正が示された。

気象庁では、この報告を受け、平成 8 年 4 月より、新たな方式による震度の計測化を実施した。これが現行の計測震度である。計測震度の求め方と計算式を表 2.4 に示す。また、この時、震度は体感によるものではなく、計測震度によるものとした。計測震度による震度階級の考え方のポイントは次の通り。

- (1) 震度 4 までについては、算出された値を四捨五入した整数値とする。
- (2) 震度 7 を、事後の調査によるものではなく、計測震度 6.5 以上を観測したものとする。

表 2.4 計測震度計算方法の主な変更点。

旧計測震度で用いていた水平動 2 成分に上下動を加えた 3 成分の加速度波形を用いる。
建物被害との相関を考慮し、震度算出に用いる地震動の周期の範囲を長周期へ広げる(図 2.1)。
計測震度の値が連続量として扱えるよう、継続時間考慮の方法を改良。
計測震度の計算式は、次のとおり。 $I = 2 \cdot \log(a) + 0.94$ I: 計測震度 a: 加速度 (gal = cm/秒/秒) (フィルター処理及び継続時間考慮後の加速度)

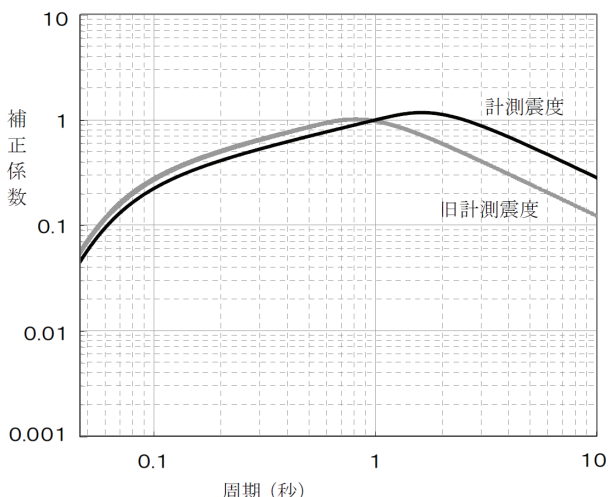


図 2.1 旧計測震度と計測震度のフィルターの比較。

- (3) 震度 5 及び 6 については、対応する現象の幅が大きいため、強、弱に分割する

- (4) 震度は、地震動から算出する計測震度によるものとし、併せて、観測された震度と、発生する現象や被害との関係を示した「気象庁震度階級関連解説表」を作成する。同解説表は、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

3 計測震度と被害等との関係

「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」や同年 7 月の岩手県沿岸北部の地震など、震度階級関連解説表上の表現に比べ、建物被害が少ないようにみえる事例があった。これらの地震では、木造家屋に影響を与えるような周期の地震波が小さかったが、計測震度は、このような場合でも定められた計算方式で算出されることとなり、その値は大きな値となる。そのため、計測震度はこのような地震における建物被害の指標としては不十分ではないかとの指摘があり、計測震度と被害の関係について、調査を行った。

調査は、建物被害を表す指標として提案されている境他（2004）による建物被害を表す新たな指標（以下、「境指標」という）、清野他（1999）による建物被害を表す新たな指標（以下、「清野指標」という）の検討も合わせて行った。

調査・検討を行った事項と、その観点は次のとおり。詳細を記したセクションの番号を括弧内に示す。

- (1) 旧震度（体感震度）と計測震度、最大加速度等の比較

体感で観測した震度（以下、「旧震度（体感震度）」という）と、現在の計測震度の関係を調べた。計測震度は、体感で観測していた震度と相違がないように考慮し作成されたものであるが、今回の各種指標等との比較にあたり、改めて観測データにより確認した（3.1.1）。また、旧震度（体感震度）と最大加速度及び最大速度との比較を行った（3.1.2）。

- (2) 計測震度と罹災証明による木造全壊率等との関係

防災対応に用いるものとして、計測震度が被害状況を示す指標として適当かを確認するため、計測震度と罹災証明による木造全壊率の関係をまとめた（3.2）。

(3) 建物被害率との相関からみた計測震度，境指標，清野指標の比較

建物被害率が高い場合について，各種指標の適用状況を見るため，計測震度，境指標及び清野指標の比較を行った (3.3).

(4) 計測震度と各種指標との比較

地震時の建物被害を示す指標として提案されている境指標，清野指標について，計測震度とどのような関係があるかを見るため，比較を行った (3.4).

(5) 建物全壊数と負傷者数との関係

罹災証明による計測震度と建物被害率（全壊率）の関係を広げ，計測震度と負傷者数との関係を見るため，内閣府資料，消防庁資料より建物全壊数と負傷者数との関係を調べた (3.5).

(6) 計測震度と聞き取り調査に推定した震度との関係

計測震度計がない場所の揺れの程度を知る手段としての聞き取り調査，アンケートによる震度について整理した (3.6).

以下，調査・検討内容の詳細を記す.

3.1 旧震度（体感震度）と計測震度，最大加速度等の比較

旧震度（体感震度）との関係を見るため，比較調査を行った. 使用データは，1988 年から 1994 年の地震及び「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」において得られた 87 型地震計の記録と観測された旧震度（体感震度）である（地震数 529. データを使用した地震（震央分布図）を図 3.1 に示す.

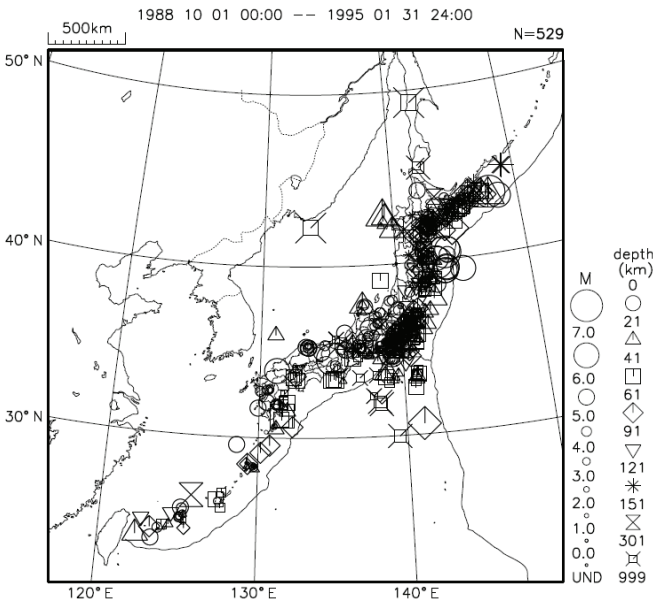


図 3.1 データを使用した地震の震央分布.

3.1.1 旧震度（体感震度）と計測震度との比較

地震計で観測した波形記録から，現在の方式による計測震度の算出を行い，観測されている旧震度（体感震度）と比較した.

図 3.2 に旧震度（体感震度）と計測震度の関係及び旧震度（体感震度）別に計測震度の度数分布を示す. 計測震度の平均値は，旧震度（体感震度）よりやや小さい傾向にあるが，標準偏差内（ $\pm 1\sigma$ 内）にあり，概ね一致している（図 3.2 及び表 3.1).

次に，最大震度が大きい地震と，最大震度が小さい地震で，傾向に差があるかを調べるため，旧震度（体感震度）の最大震度が VI と V の地震のみでの整理と，最大震度が IV 以下の地震のみでの整理を行った.

図 3.3 には，旧震度（体感震度）の最大震度(最大体感震度)が VI と V の地震のデータのみで，計測震度と旧震度（体感震度）の関係を示した. この場合は，計測震度の平均値と旧震度（体感震度）はほぼ一致する.

図 3.4 には，旧震度（体感震度）の最大震度(最大体感震度)が IV，III，II，I の地震のデータのみで，計測震度と旧震度(体感震度)の関係を示した. この場合は，旧震度（体感震度）に比べ計測震度の平均値がやや小さくなっている.

この違いは，大きな地震では周期の長い揺れを含んでいるためと考えられる.

表 3.2 に今回の調査で使した旧震度（体感震度）VI および V を観測した地震名及び波形記録から計測震度を算出した観測点名一覧表を示す.

表 3.1 旧震度（体感震度）別の計測震度の平均値，標準偏差.

体感震度	計測震度 平均値	計測震度 標準偏差
震度 VI	5.98	0.38
震度 V	4.77	0.50
震度 IV	3.60	0.59
震度 III	2.49	0.54
震度 II	1.60	0.48
震度 I	0.98	0.42

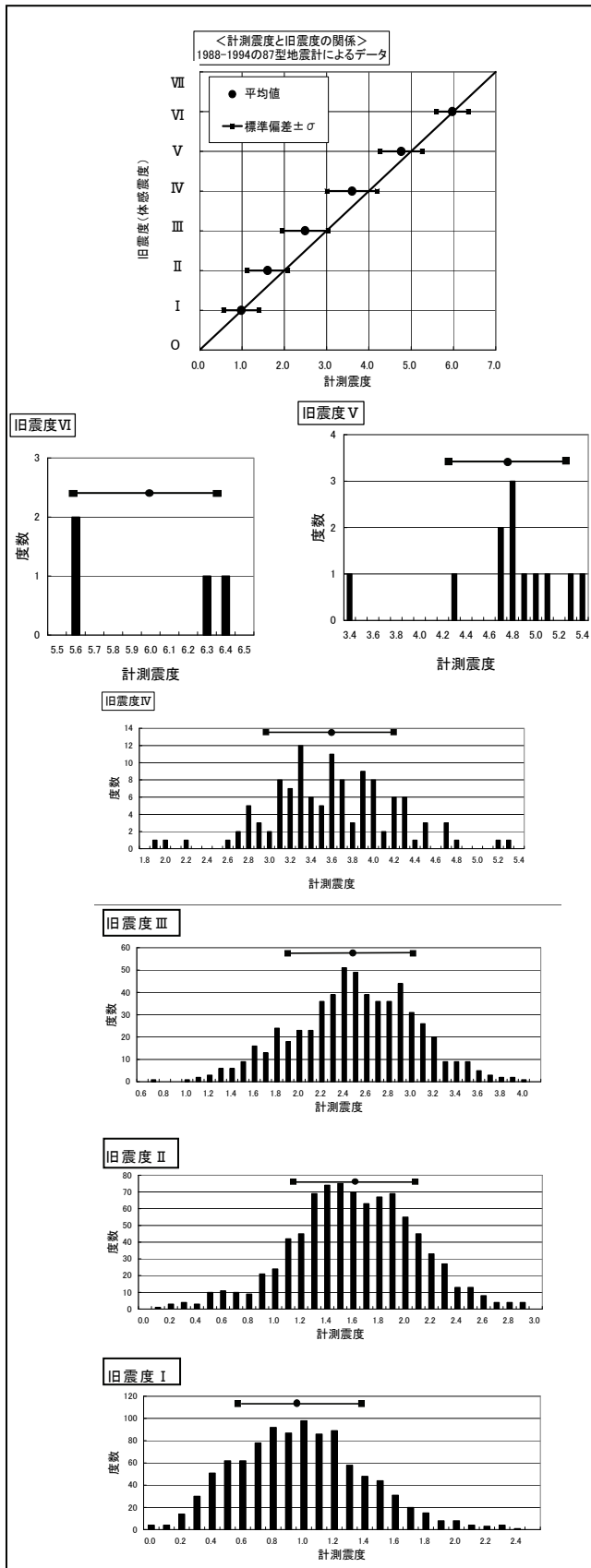


図 3.2 計測震度と旧震度（体感震度）との関係.

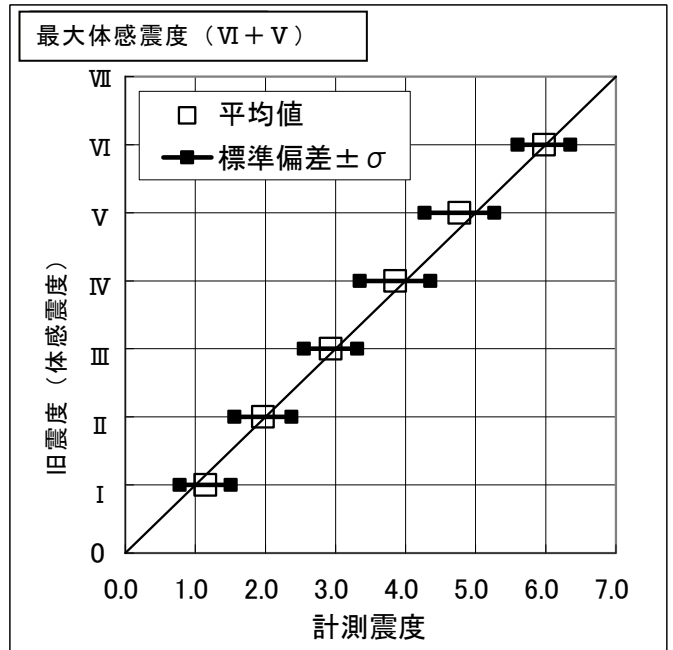


図 3.3 最大体感震度（VI+V）を観測した地震の旧震度（体感震度）と計測震度の関係.

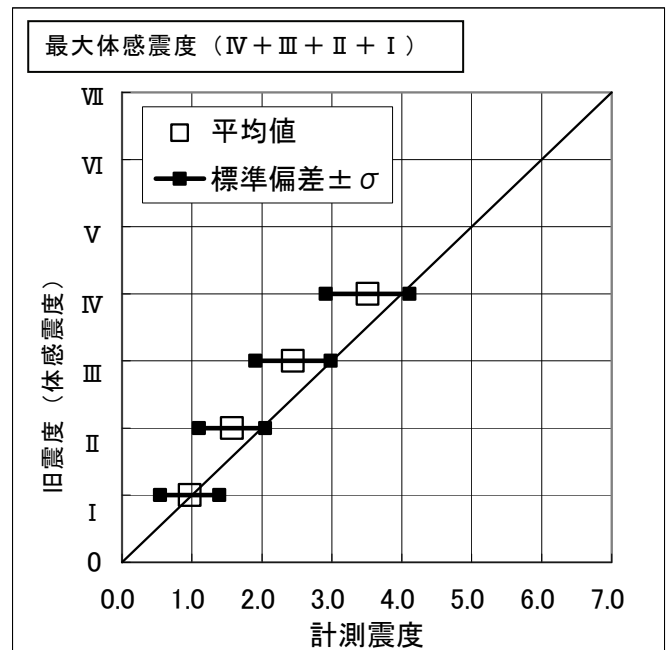


図 3.4 最大体感震度（IV+III+II+I）を観測した地震の旧震度（体感震度）と計測震度の関係.

表 3.2 旧震度（体感震度）VIおよびVを観測した地震名及び
波形記録から計測震度を算出した観測点名一覧表.

地震名	発生日時	観測点名	体感震度	計測震度
平成5年(1993年)釧路沖地震	1993/1/15	北海道釧路市幣舞町(旧)	VI	6.3
平成6年(1994年)北海道東方沖地震	1994/10/4	北海道釧路市幣舞町(旧)	VI	5.6
平成6年(1994年)三陸はるか沖地震	1994/12/28	青森県八戸市湊町	VI	5.6
平成7年(1995年)兵庫県南部地震	1995/1/17	兵庫県神戸市中央区中山手通	VI	6.4
平成元年の千葉県東方沖の地震	1989/3/6	千葉県銚子市川口町	V	3.4
平成4年の東京湾の地震	1992/2/2	東京都千代田区	V	4.8
平成5年(1993年)釧路沖地震	1993/1/15	北海道浦河町潮見	V	5.3
平成5年(1993年)釧路沖地震	1993/1/15	青森県八戸市湊町	V	4.3
平成5年の能登半島沖の地震	1993/2/7	石川県輪島市鳳至町	V	5.0
平成5年(1993年)北海道南西沖地震	1993/7/12	北海道寿都町新栄	V	4.8
平成6年の北海道根室半島南東沖の地震	1994/8/31	北海道釧路市幣舞町(旧)	V	4.7
平成6年(1994年)北海道東方沖地震	1994/10/4	北海道浦河町潮見	V	4.7
平成6年(1994年)北海道東方沖地震	1994/10/4	北海道根室市弥栄	V	5.4
平成6年(1994年)三陸はるか沖地震	1994/12/28	青森県青森市花園	V	5.1
平成6年(1994年)三陸はるか沖地震	1994/12/28	岩手県盛岡市山王町	V	4.8
平成7年(1995年)兵庫県南部地震	1995/1/17	滋賀県彦根市城町(旧)	V	4.9

3.1.2 旧震度（体感震度）と最大加速度及び最大速度との比較

最大加速度や最大速度と体感震度には相関があると言われている．その確認のため，3.1.1 で比較を行ったデータを用い，旧震度（体感震度）と最大加速度及び最大速度との比較を行った．

(a) 最大加速度との比較

図 3.5 に旧震度（体感震度）と最大加速度の関係を示した．図中には，河角（1943）による体感震度 I の範囲の中央値と最大加速度の関係式(3-1)を合せて示している．

最大加速度の平均値は(3-1)式よりも大きい，標準偏差内($\pm 1\sigma$)である．

$$\log \alpha = \frac{I}{2} - 0.35 \quad (3-1)$$

α : 最大加速度(cm/sec^2) I : 旧震度（体感震度）

(b) 最大速度との比較

図 3.6 に旧震度（体感震度）と最大速度との関係を示した．図中には，村松（1968）による震度 I と I-1 の境に対応する速度と震度の関係式(3-2)も示している．

最大速度の平均値は，(3-2)式に対応している．

$$\log v = \frac{I}{2} - 1.4 \quad (3-2)$$

v : 最大速度(cm/sec) I : 旧震度（体感震度）

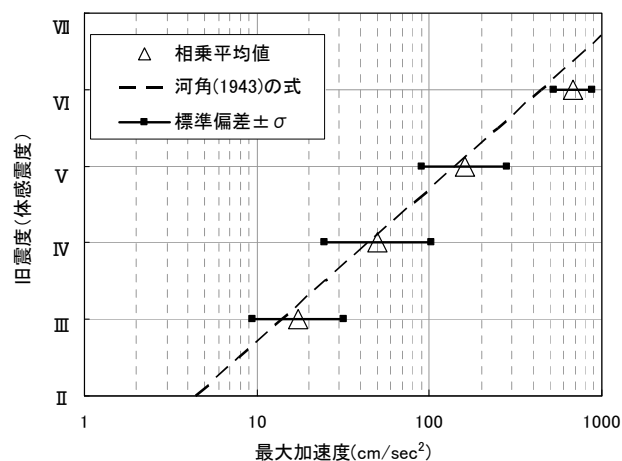


図 3.5 旧震度（体感震度）と最大加速度の関係．

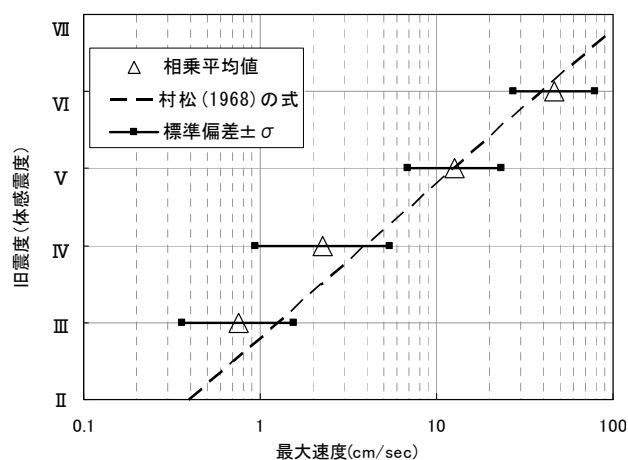


図 3.6 旧震度（体感震度）と最大速度の関係．

3.2 計測震度と罹災証明による木造全壊率等との関係について

気象庁は、以下の地震について、震度観測地点を中心に半径 200m の範囲内の罹災証明による木造家屋の全壊率、半壊率および一部損壊率を、耐震基準の変った昭和 56 年（1981 年）以前の建物と昭和 57 年（1982 年）以降の建物に分けて調査している。この調査の観測点の計測震度、および波形データのある記録を用いて、計測震度及び境指標を計算し、罹災証明全壊率などとの関係を検討した。

なお、罹災証明の「全壊」は、住家全部あるいは一部の階が倒壊するものに加え、住家の主要構造物の被害額が住家の時価 50% 以上のものを含んでいる。このことから、罹災証明の「全壊」は、「建物が倒れる」ものだけでなく、「建物が傾く」などの被害も含んでいる。

「対象とした地震(発生日, マグニチュード (M))」

- 平成 15 年の宮城県北部の地震
(2003 年 7 月 26 日, M5.6)
- 「平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震」
(2004 年 10 月 23 日, M6.8)
- 平成 17 年の福岡県西方沖の地震
(2005 年 3 月 20 日, M7.0)
- 「平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震」
(2007 年 3 月 25 日, M6.9)
- 「平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震」
(2007 年 7 月 16 日, M6.8)
- 「平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震」
(2008 年 6 月 14 日, M7.2)
- 平成 20 年の岩手県沿岸北部の地震
(2008 年 7 月 24 日, M6.8)

計測震度と全壊率などとの関係の解析・検討は、観測地点を中心として半径 200m 以内の木造家屋棟数が、昭和 56 年（1981 年）以前築、昭和 57 年（1982 年）以降築、それぞれの区分内で 100 棟以上あるものだけを抽出して行った。

各図には、相関をみるため、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ている。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回帰式として採用している（岡田・鏡味（1991）, 宮腰他（1997）, 村尾・山崎（2000）など）。また、家屋全壊率、半壊以上率が 0% となるデータについては、対数正規分布では建物被害率が 0% の点は理論的には存在しないため、それらのデータを除いている。

図 3.7 に、気象庁が調査した罹災証明全壊率および半壊以上率と計測震度の関係を示した。また、その中で全壊率と計測震度の関係を、昭和 56 年（1981 年）以前建物と昭和 57 年（1982 年）以降建物に分けて、「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」の木造家屋の被害率を併せてプロットした図を、図 3.8 に示した。今回の気象庁調査データについて、前記のように 100 棟以上を用いることとしたため、プロット数は少ないが、最近の 7 地震の木造家屋全壊率は、兵庫県南部地震の木造家屋全壊率より低いことがわかる。また、最近の 7 地震では、ほぼ計測震度 6.0 以上から木造家屋全壊が現れることがわかる。

これらの結果をみると、計測震度と罹災証明の木造全壊率との相関は良いことがわかる。

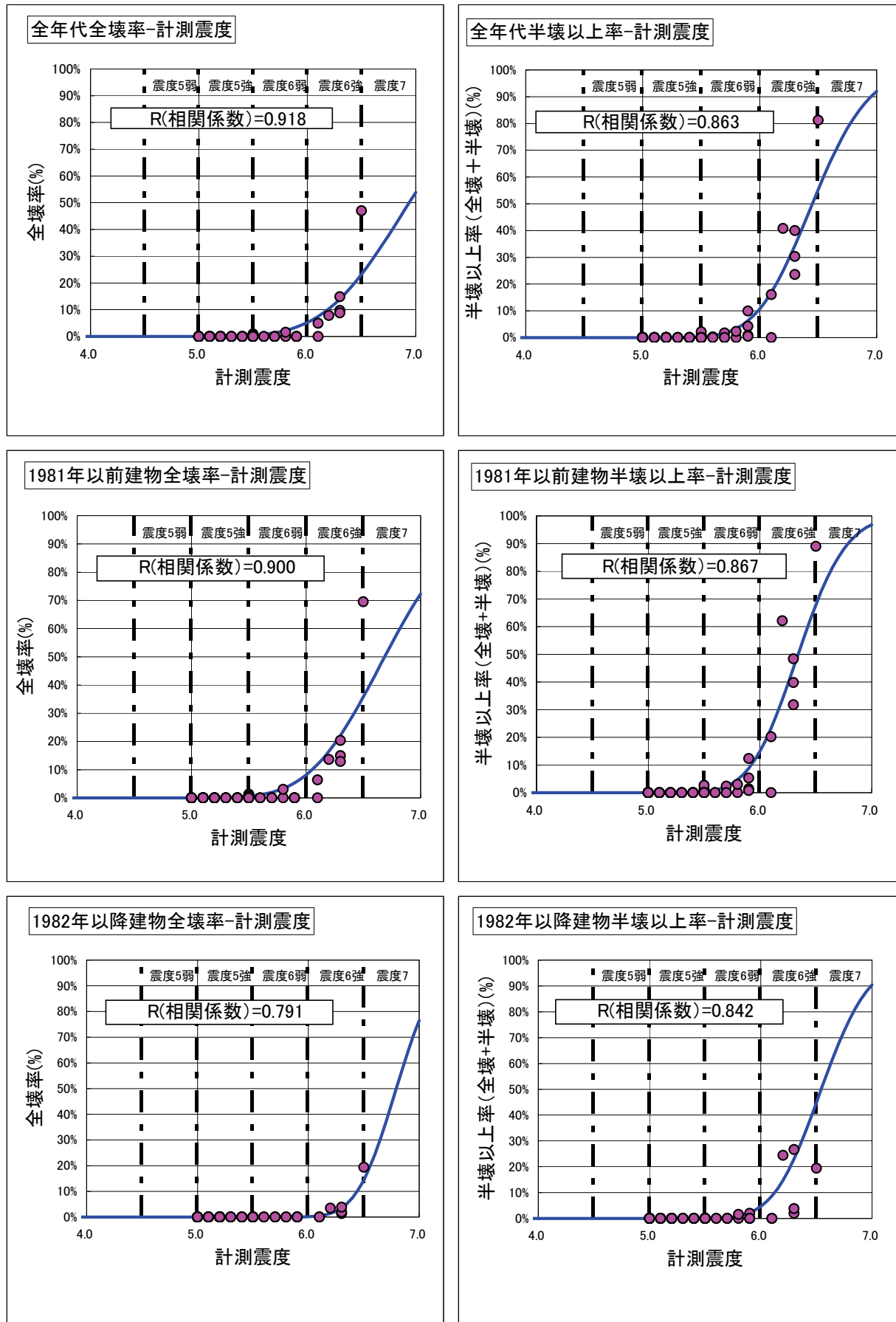


図 3.7 計測震度と木造被害率(罹災証明データ)の関係 (木造 100 棟以上)。

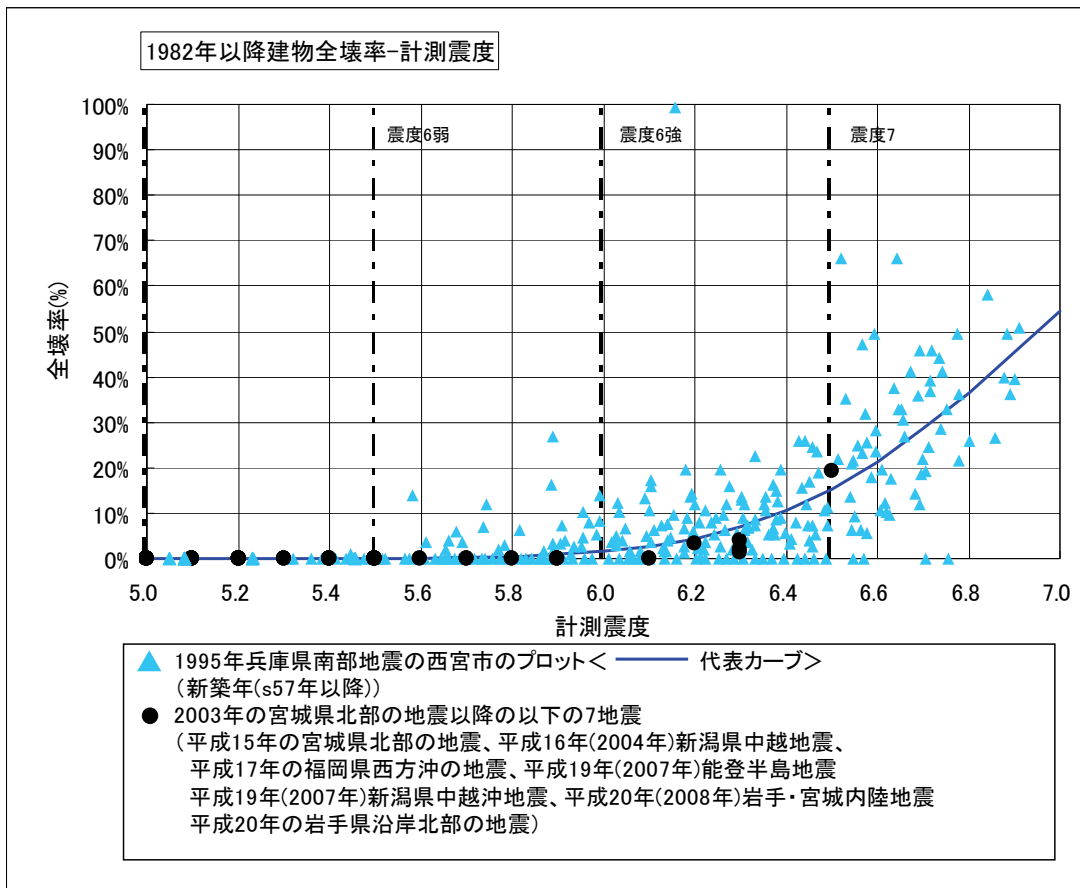
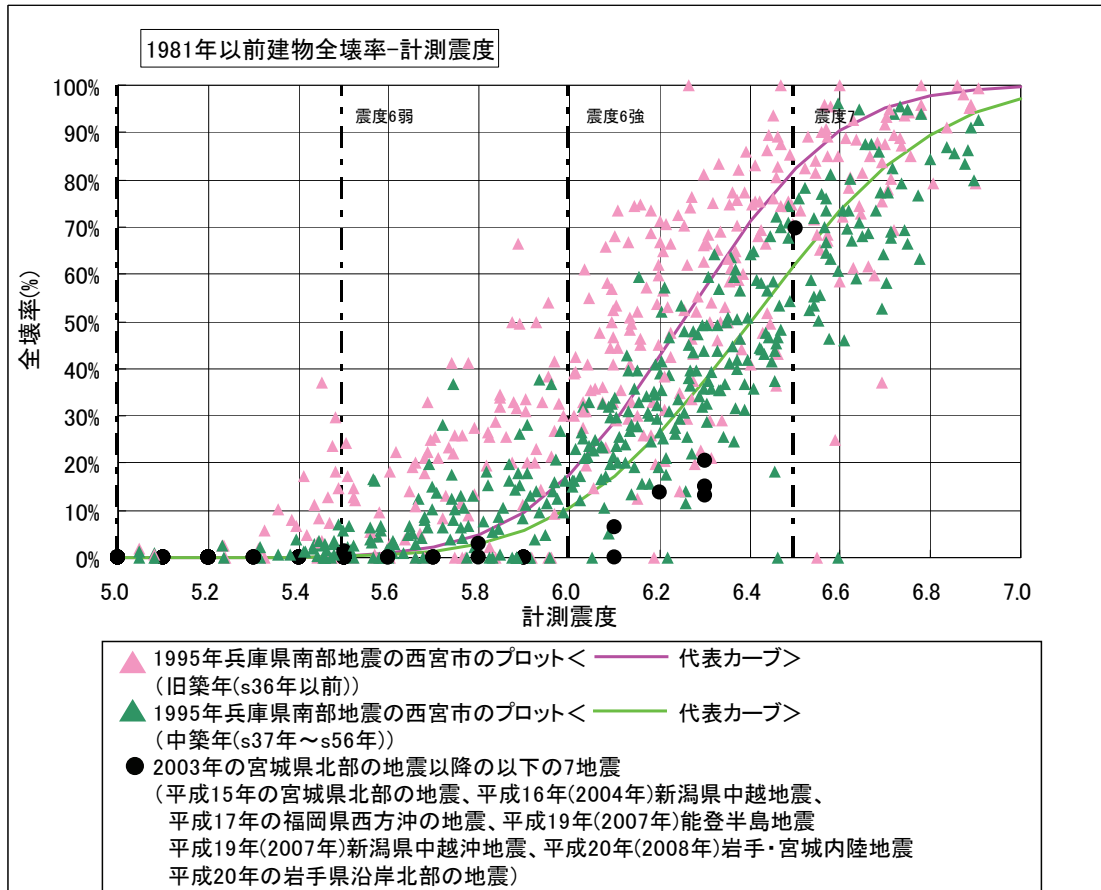


図 3.8 計測震度と木造全壊率の関係 兵庫県南部地震の木造被害との重ね合わせ
(中央防災会議のデータに加筆).

3.3 建物被害率からみた計測震度、境指標、清野指標の比較

計測震度は建物の倒壊による被害との相関が必ずしも良くないとの指摘がある。このため、木造建物倒壊率（大破・全壊率）と計測震度の関係を検討した。また、合わせて、木造建物倒壊率（大破・全壊率）と境指標、清野指標との関係について検討した。使用したデータは、境他（2004）の論文データである。

図 3.9 に木造建物を構造的にみた場合の大破・全壊率、半壊以上率と計測震度、境指標の関係を示した。この場合、境指標の方が計測震度より相関が高い。

い。

次に、罹災証明による全壊率・半壊以上率と、計測震度、境指標、清野指標の関係を見る。罹災証明による全壊率・半壊以上率は、建築年代を全年代としたものと、昭和 56 年（1981 年）以前建築の建物のみとしたもの、昭和 57 年（1982 年）以降建築の建物のみとしたもので整理した。

結果は、図 3.10(1)～(3)に示した。この結果をみると、計測震度と境指標及び清野指標について明確な差ではないが、計測震度の相関がやや高い。

ただし、ここで比較したデータには、高震度でのデータはあまり多くないことに注意が必要である。

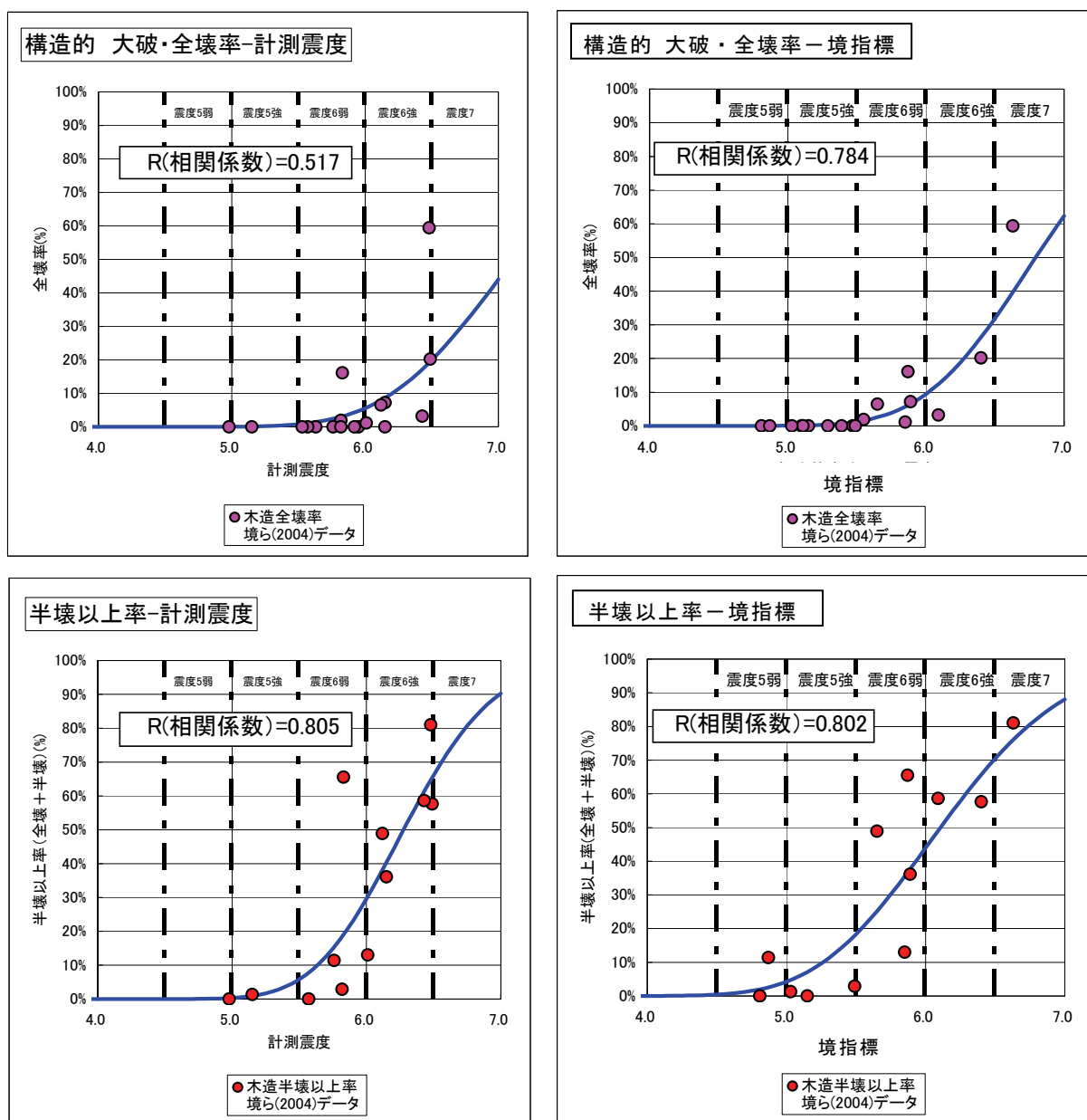


図 3.9 木造構造的 大破・全壊率、木造半壊以上率と計測震度および境指標の関係（境他（2004）論文内のデータを使用）。

計測震度

境指標

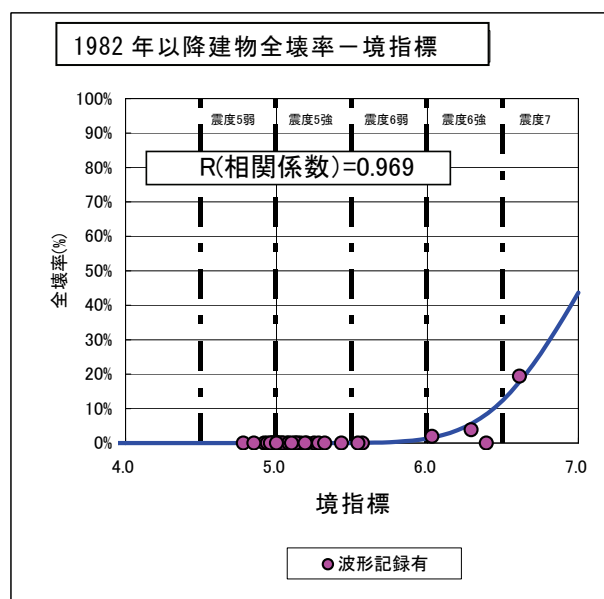
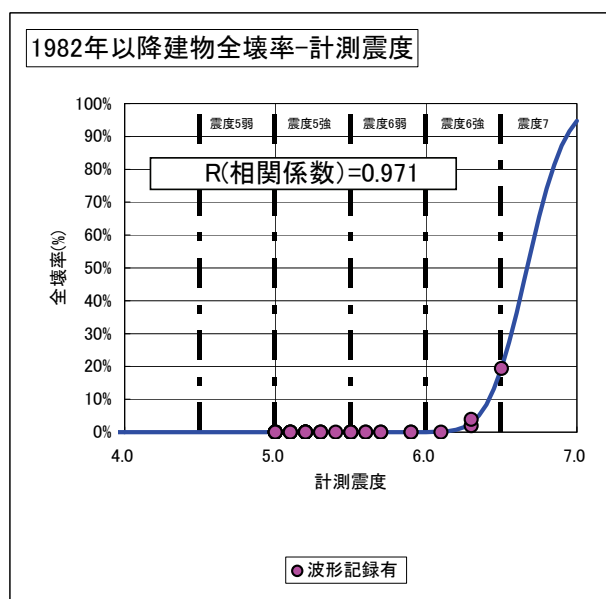
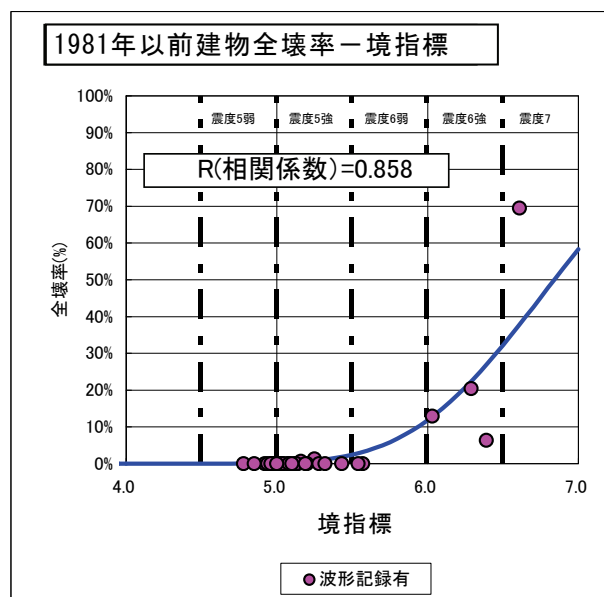
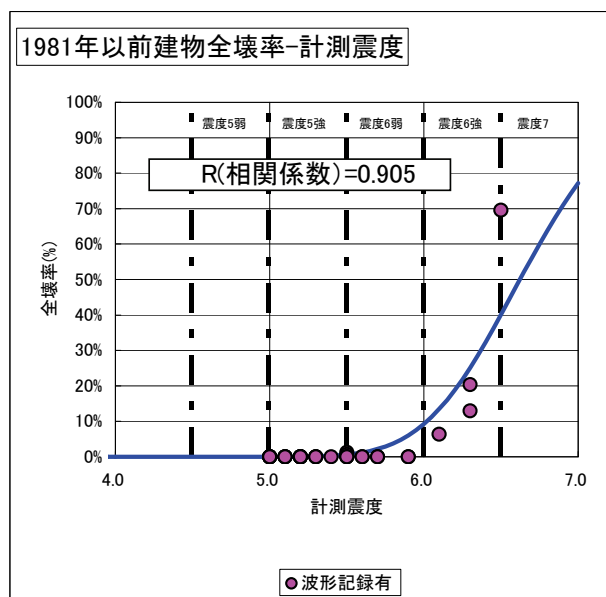
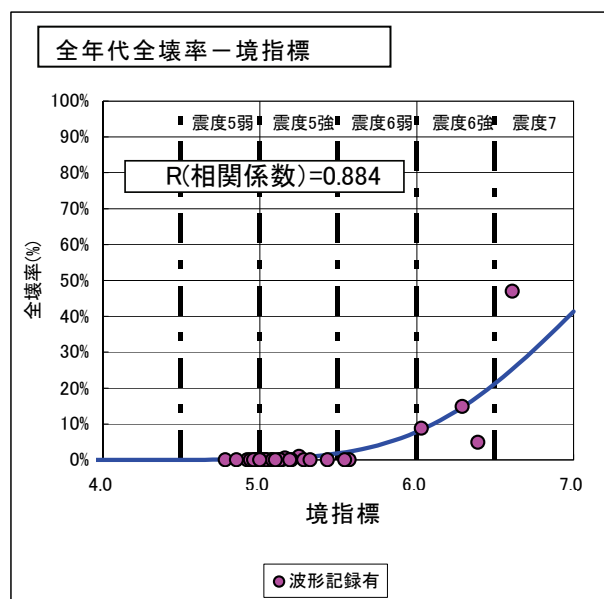
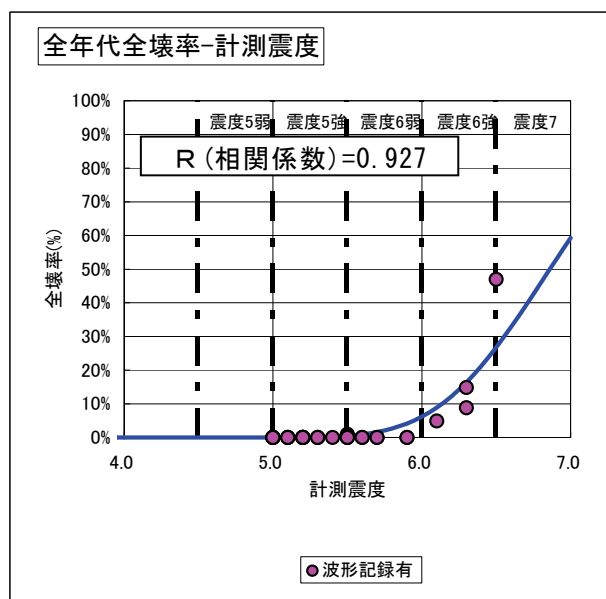
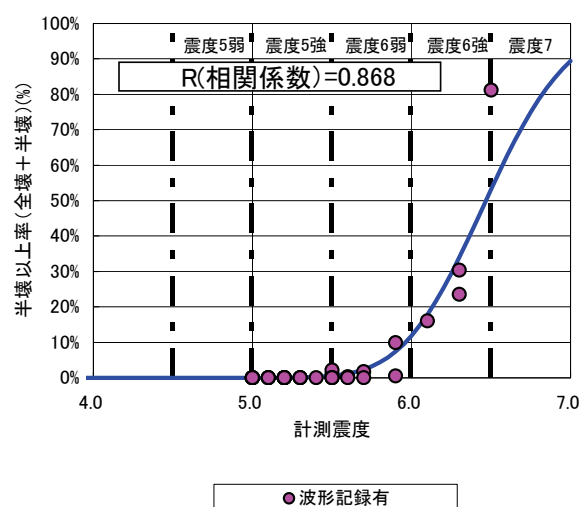


図 3.10(1) 計測震度、境指標と木造全壊率(罹災証明データ)との関係(木造 100 棟以上)。

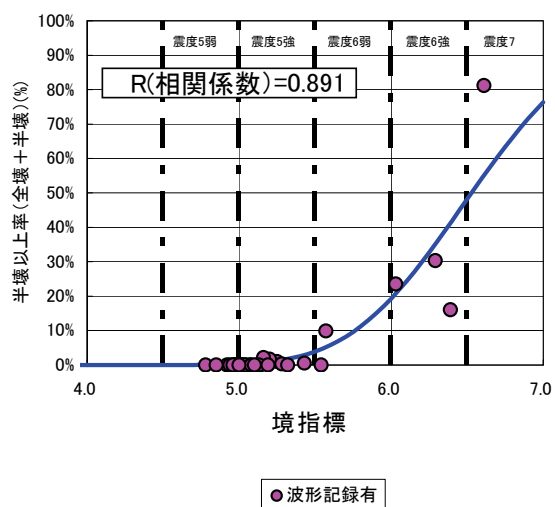
計測震度

境指標

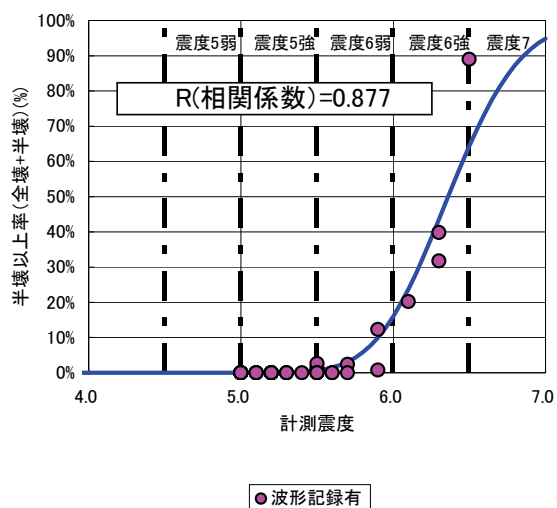
全年代半壊以上率-計測震度



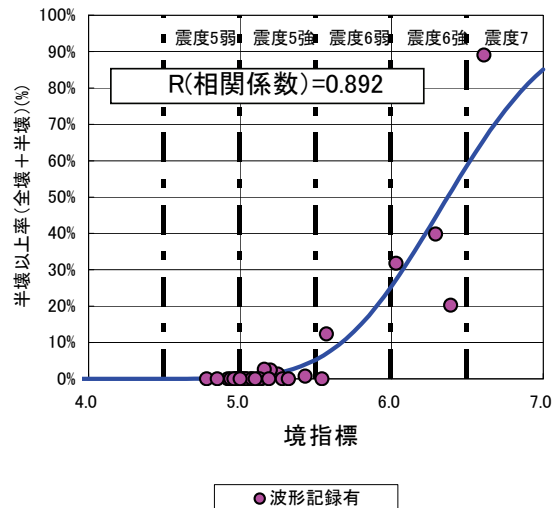
全年代半壊以上率-境指標



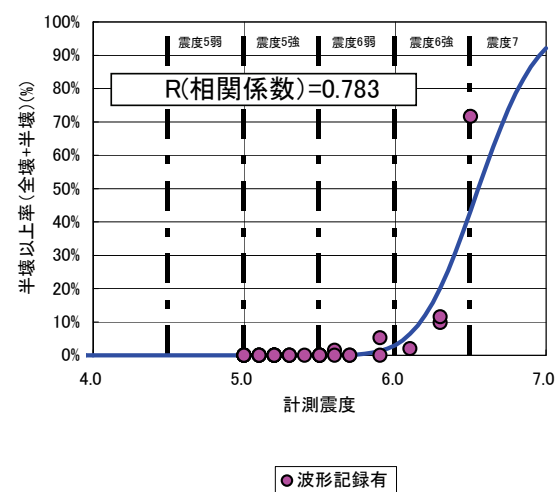
1981年以前建物半壊以上率-計測震度



1981 年以前建物半壊以上率-境指標



1982年以降建物半壊以上率-計測震度



1982 年以降建物半壊以上率-境指標

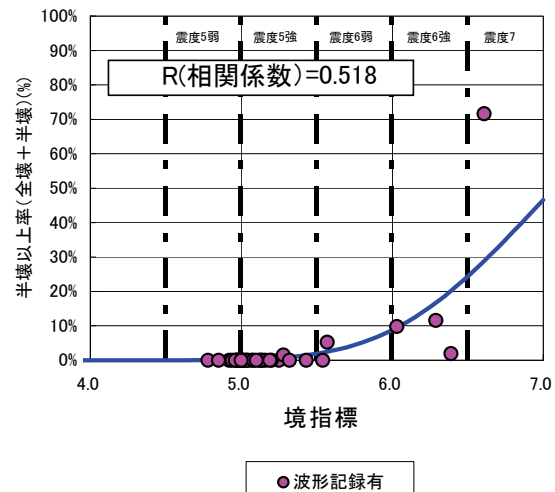


図 3.10(2) 計測震度，境指標と木造半壊以上率(罹災証明データ)との関係(木造 100 棟以上)。

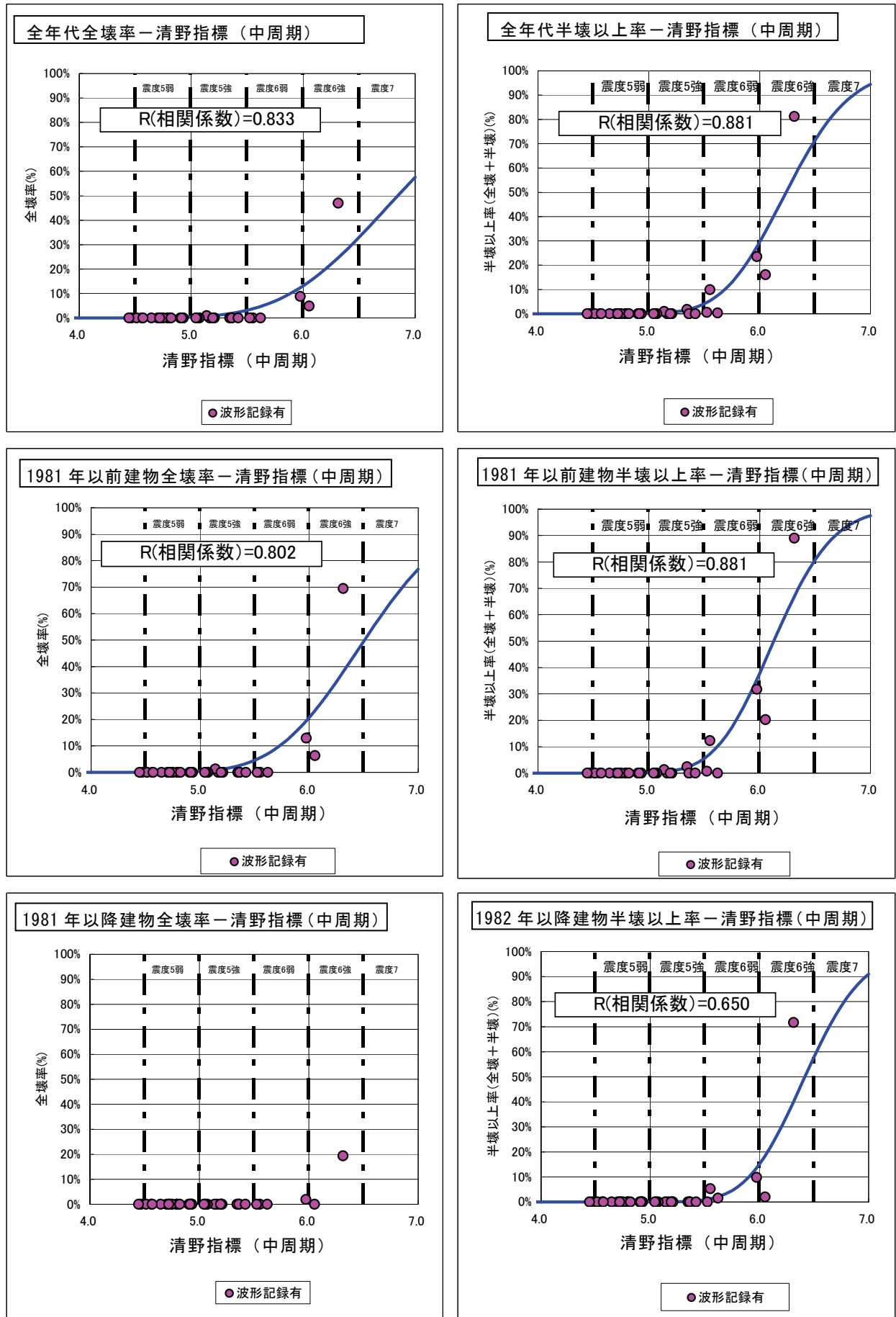


図 3.10(3) 清野指標（中周期）と木造全壊率，半壊以上率との関係（木造 100 棟以上）。

3.4 計測震度と各種指標との比較

以下示す昭和 63 年から平成 6 年の地震及び「平成 7 年（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指標の比較を行った。また、平成 15 年の宮城県北部の地震以降の以下の 7 地震について、計測震度、境指標および清野指標との比較を行った。

- 平成 15 年の宮城県北部の地震
- 「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」
- 平成 17 年の福岡県西方沖の地震
- 「平成 19 年（2007 年）能登半島地震」
- 「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震」
- 「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」
- 平成 20 年の岩手県沿岸北部の地震

（１）計測震度と境指標の比較

計測震度と境指標の比較を図 3.11 に示す。図中で、黒丸は 87 型地震計の波形記録から計算した結果であり、赤丸は境他（2004）の論文中の表 4 のデータ

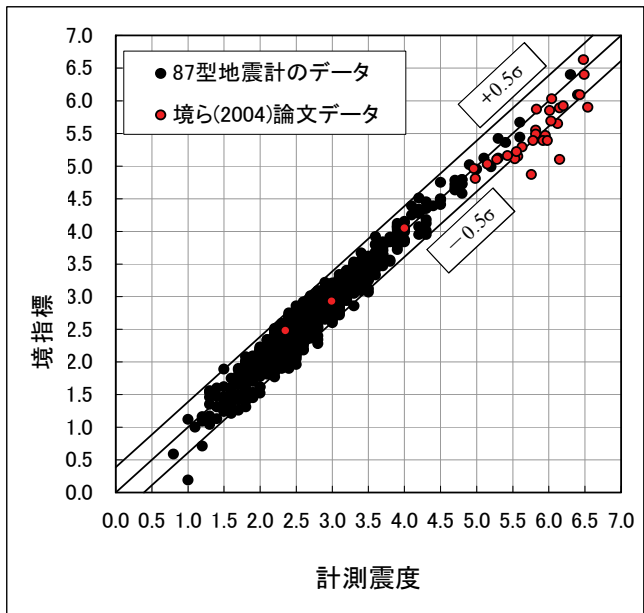


図 3.11 計測震度と境指標の比較。

である。87 型地震計の記録から算出した境指標と計測震度の関係は、ほぼ 1 対 1 の関係になっており、ほとんど $\pm 0.5\sigma$ （y の標準偏差）内に入っている。一方、境他（2004）の論文中のデータは、 -0.5σ からかなり外れるデータが 3 地点あり、その他のデータでも、境指標が計測震度より小さくなっている。この 3 地点の記録名は表 3.3 のとおりである。

また、平成 15 年の宮城県北部の地震以降の 7 地震について、境指標と計測震度の関係を、図 3.12 に示した。これら近年の地震については、 -0.5σ からかなり外れるデータが多くなっている傾向にある。この原因については、今後の検討が必要であるが、それぞれの地震及び観測点で記録された地震動の周波数特性（応答スペクトル特性）の違いが影響していると考えられる。

（２）計測震度と清野指標の比較

清野指標の中で、中周期(I_m)及び長周期(I_l)を比較する。短周期震度(I_s)は、式(3-3)が定義式であり、計測震度と同じ定義式となるため、両者の比較は行っていない。

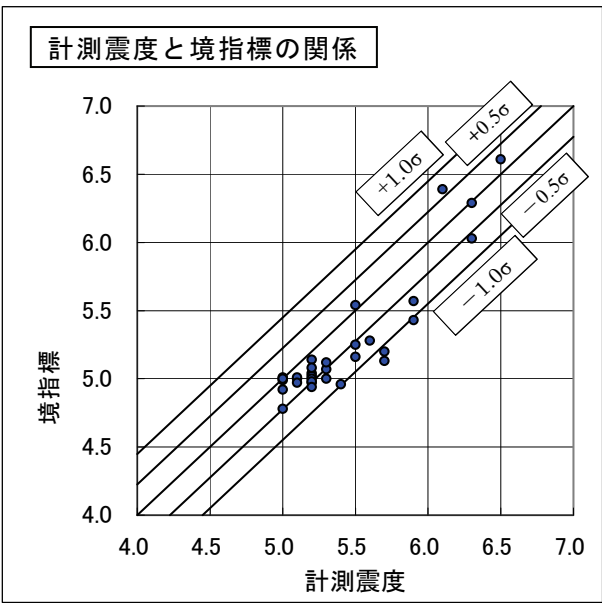


図 3.12 最近の 7 地震での計測震度と境指標の比較。

表 3.3 -0.5σ から外れるデータ。

計測震度	境指標	地震名	観測地点
6.2	5.10	平成 5 年(1993 年)北海道南西沖地震	乙部小
5.8	4.87	平成 12 年(2000 年)鳥取県西部地震	KiK-net 伯太
6.5	5.90	1994 年 Northridge 地震	Tarzana

$$I_s(\text{短周期震度}) = 2.0 \log(a_0) + 0.94 \quad (3-3)$$

図 3.13 に計測震度と清野指標（中周期(I_m)および長周期(I_l))の比較図を示した。清野指標の中周期(I_m)は、免震建物や高層建物を対象として、0.7 秒～5 秒程度の周期区分で設定されているため、計測震度と比較すると全体的に小さな値である（図 3.13 左）。

清野指標の長周期(I_l)は、石油タンクのスロッシングや頂戴構造物を対象として、5 秒程度以上の周期区分で設定されているため、計測震度と比較すると、さらに小さな値となっている（図 3.13 右）。

図 3.14 に最近の 7 地震での清野指標と計測震度の関係を示す。こちらも同様な傾向である。

（3）計測震度、境指標、清野指標と最大加速度等の比較

図 3.15 に計測震度および境指標と最大加速度、最大速度、SI 値との関係を示す。

最大加速度との関係は、計測震度、境指標ともばらつきが大きい。

計測震度、境指標とも、最大速度、SI 値との関係では、ばらつきが小さい。

図 3.16 に清野指標（中周期および長周期）と最大加速度、最大速度、SI 値との関係を示した。清野指標（中周期）(I_m)は、元々、最大速度を指標としているため、最大速度との関係のばらつきが少なくなっている。

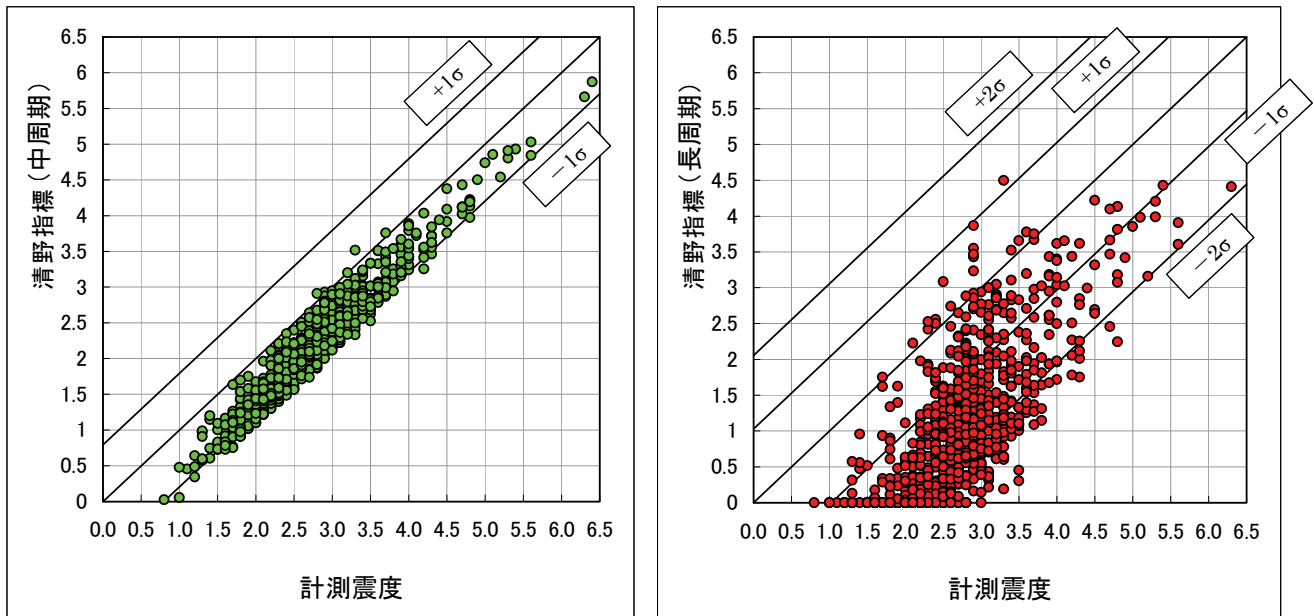


図 3.13 計測震度と清野指標の比較。

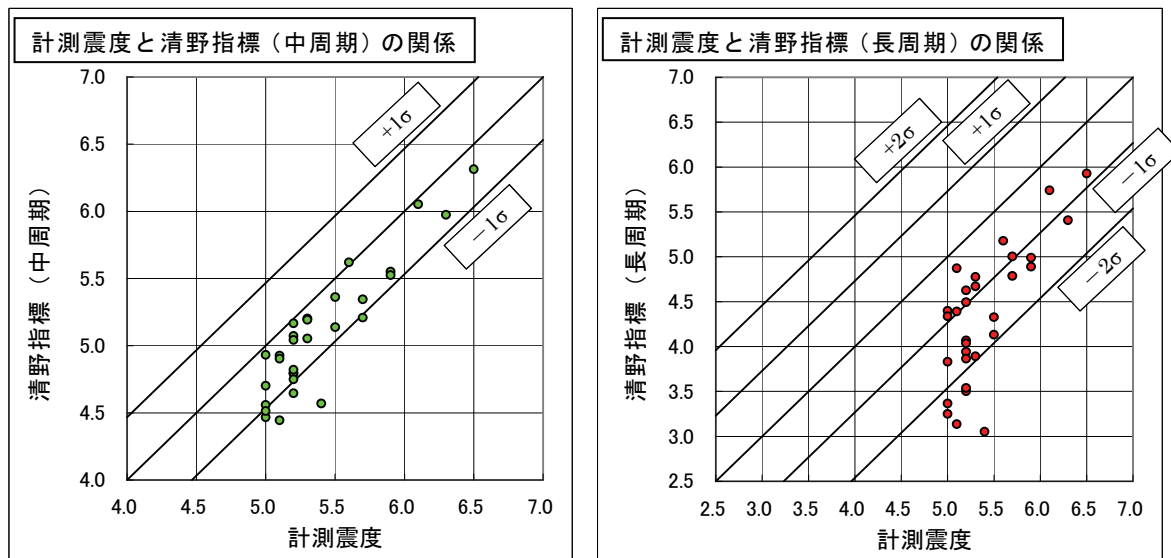


図 3.14 最近の 7 地震での計測震度と清野指標の比較。

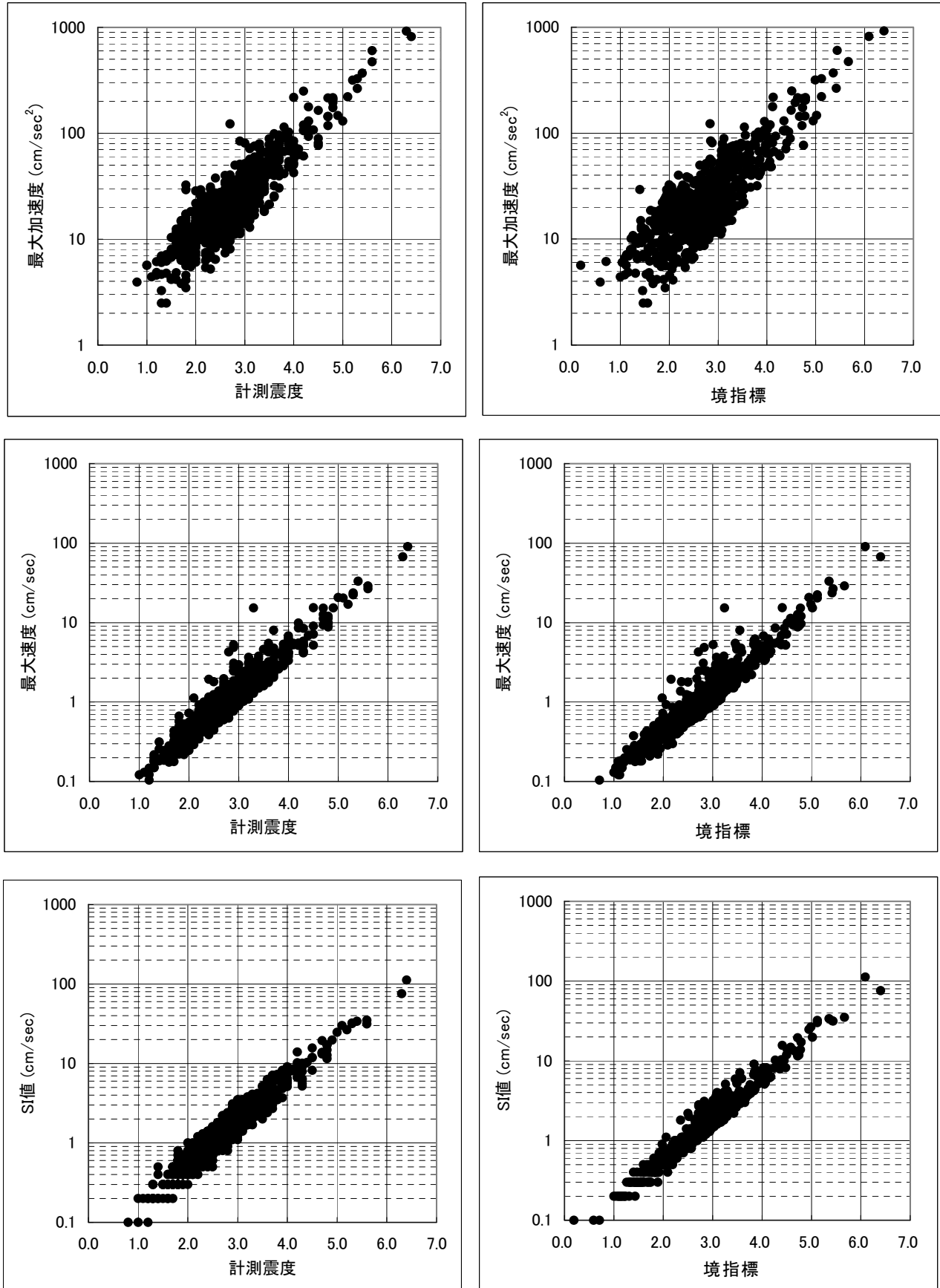


図 3.15 計測震度，境指標と最大加速度，最大速度，SI 値の比較．

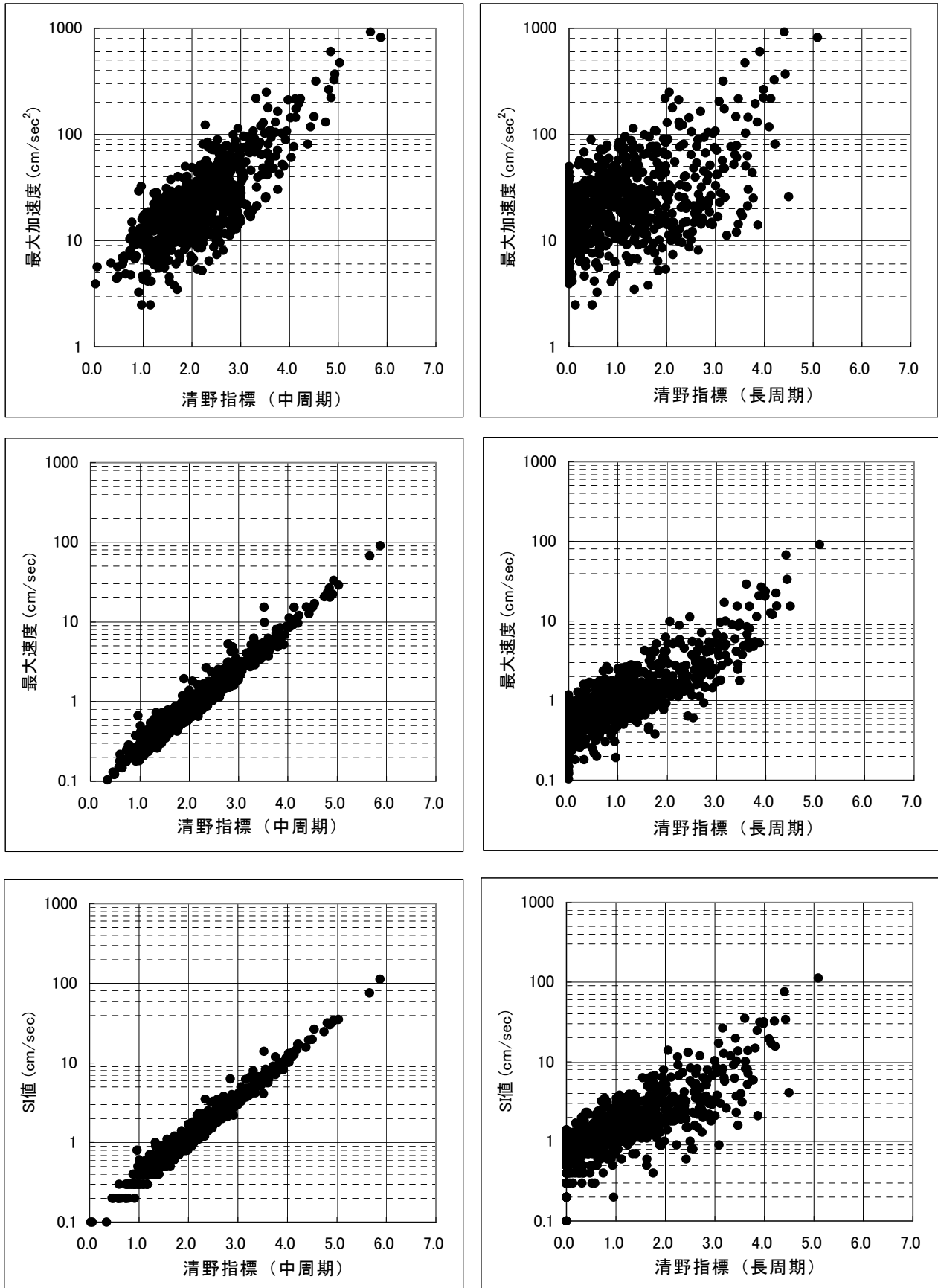


図 3.16 清野指標（中周期・長周期）と最大加速度，最大速度，SI 値の比較．

3.5 建物全壊数と負傷者数との関係

「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」以降の罹災証明による建物全壊数と負傷者数との関係および重傷者数との関係を図 3.17 に示す。建物全壊数と負傷者数（重傷者数+軽傷者数）との相関はかなり高く、全壊数が増えると、負傷者数も増える傾向にあ

る。

なお、図 3.18 および図 3.19 は、中央防災会議で使用された木造建物全壊数と死者数の関係および建物被害率（全壊率+1/2 半壊率）と負傷者の関係である（中央防災会議（2005））。これらはどちらも正の相関をもつ。

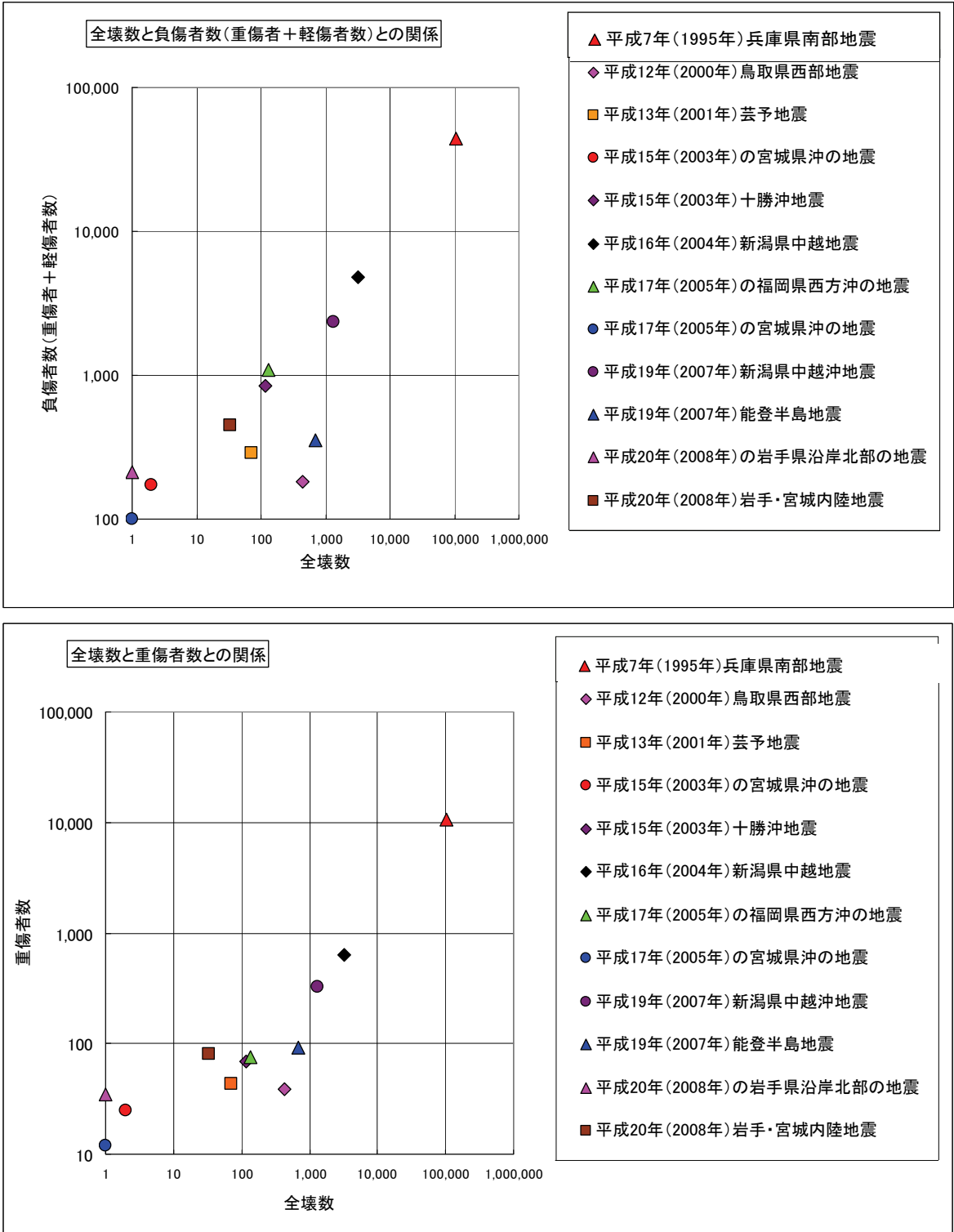


図 3.17 建物全壊数と負傷者数および重傷者数との関係（消防庁データ(消防庁災害情報一覧)を整理）。

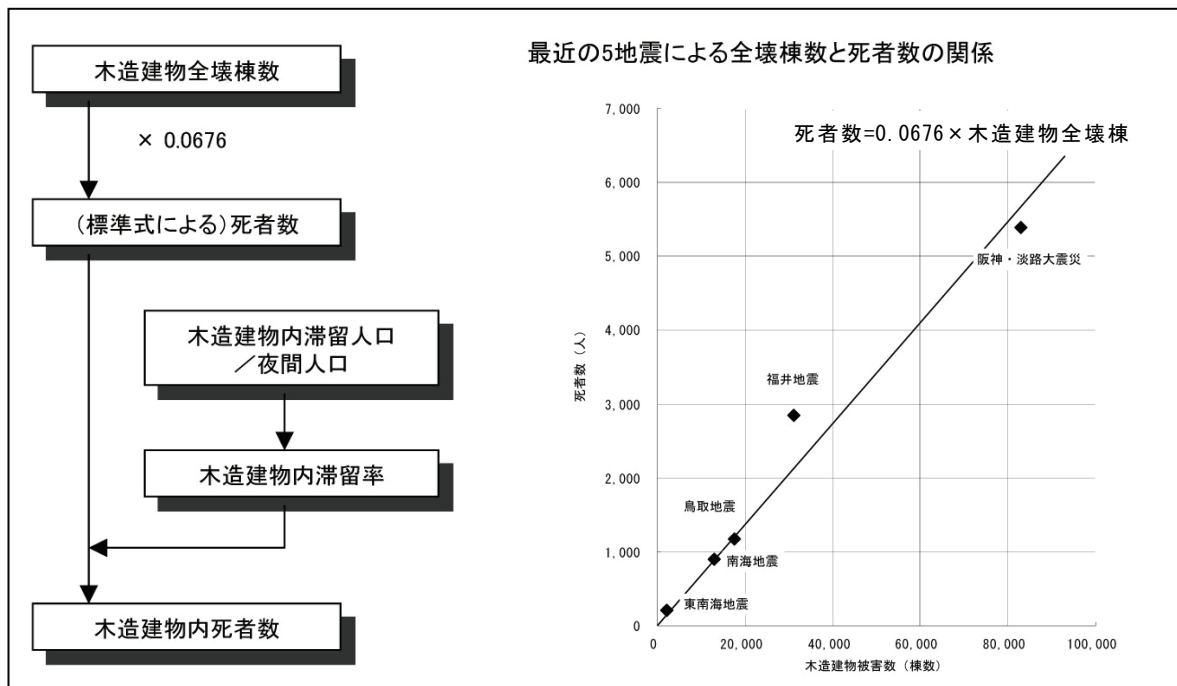


図 3.18 木造建物全壊数と死者数の関係

(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。

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

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

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

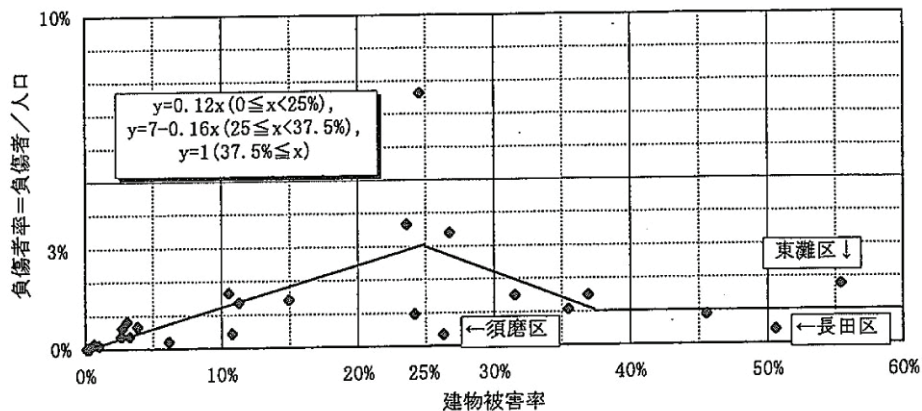
※ ここで、建物被害率 = 全壊率 + $1/2 \times$ 半壊率

※ 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 3.19 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.)

3.6 計測震度と震度の聞き取り調査等の比較

3.6.1 聞き取り調査から推定した震度と計測震度の関係

気象庁は「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」で、聞き取り調査を行い、人体感覚に着目して震度を推定している（気象庁（2008））。調査は、主に震度 5 強以上の強い揺れを観測した地域の周辺で行っている。図 3.20 には、「人体感覚から推定した震度」と計測震度との関係を示した。この図から、ばらつきはあるが、聞き取り調査から推定した震度と計測震度は、ほぼ対応していることがわかる。

3.6.2 太田他のアンケートによる震度

太田他（1979）により提唱されたアンケートによる震度（以下、「アンケート震度」という）については、面的な震度分布を知る方法として、様々な調査が行われてきた。

さらに、太田他（1998）により、「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」のデータを用い、高い震度階の適用について改定が行われた。具体的には、アンケートの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う手法である。

この改訂された手法を用いて、種々の地震でアンケート震度が求められている。過去に行われた主な結果の一つにまとめ、図 3.21 に示した。図 3.20 は、森（2002）による芸予地震の調査プロット

平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震

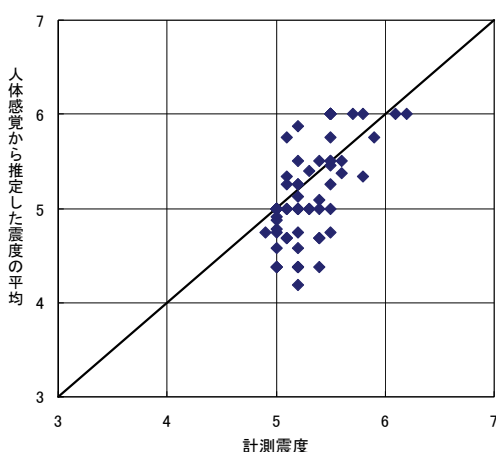


図 3.20 計測震度と人体感覚から推定した震度の平均の関係（平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震）。主に震度 5 強以上を観測した地域の周辺で調査を実施。

に、「平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震」の調査（森・圓井（2001））、2003 年宮城県北部の地震の調査（源栄（2004））、「平成 15 年（2003 年）十勝沖地震」の調査（鏡味（2004））の結果のプロット範囲を重ね合わせたものである。この図から、計測震度とアンケート震度に換算した震度は、計測震度と相関が良いことがわかる。

検討会では、今後、気象庁においても、顕著な被害地震などの際に実施する現地調査では、アンケート震度を基本にした調査を実施することが望ましいとされた。

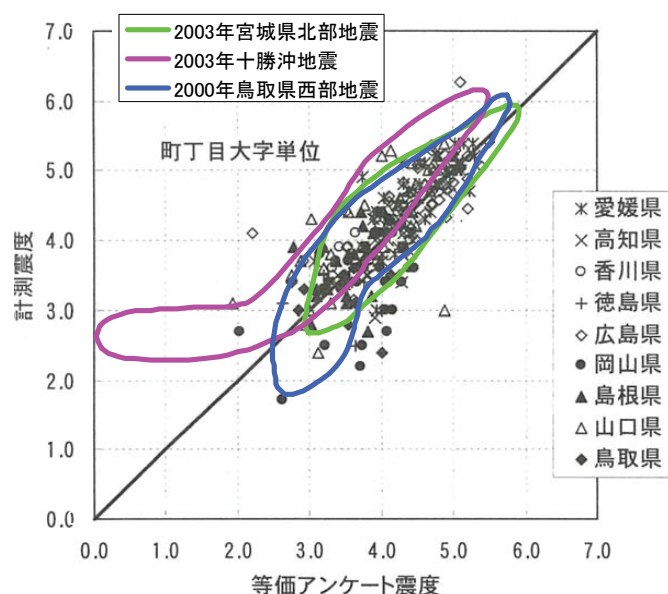


図 3.21 各種の被害地震におけるアンケート震度と計測震度の関係とりまとめ。森(2002)に、他の調査結のプロット範囲を重ね合わせた。

3.7 指標としての計測震度（まとめ）

計測震度を主として、建物被害にあうと提案されている各種指標との関係、罹災証明による建物被害率との関係、構造に着目した建物の大破全壊率との関係などを検討した。検討結果をまとめると次のとおり。

3.1 計測震度と旧震度（体感震度）との比較により、現在の計測震度は旧震度（体感震度）と概ね一致し、計測震度による震度は、体感震度と同等と考えてよいことがわかる。

3.2 計測震度と罹災証明による木造全壊率等との関係より計測震度は罹災証明による木造全壊率との相関が比較的よいことがわかる。

3.5 建物全壊数と負傷者数との関係により、建物全壊数は負傷者数との相関が良いことがわかる。

3.3 建物被害率からみた計測震度、境指標、清野指標の比較より、計測震度は、倒壊など重大な建物被害と計測震度の相関は必ずしも良くないことがわかる。

3.4 計測震度と各種指標との比較では、計測震度と境指標・清野指標に差異がみられる。しかし、これらは、まだデータが十分ではないため、はっきりとした傾向を述べられないと判断する。

3.1, 3.2 の結果から、計測震度は、全壊率との相関は高く、また 3.5 より全壊数が負傷者数、死者数と関係することから、防災の初動対応に用いる指標として、大きな問題はないと考える。ただし、倒壊など重大な建物被害と計測震度の相関は必ずしも良くないことに留意し、今後も倒壊など重大な建物被害と関係する指標の調査・検討を続ける必要がある。

4 「震度階級関連解説表」の見直し

4.1 概要

平成 8 年、気象庁は新たな気象庁震度階級の定義（平成 8 年 2 月 15 日気象庁告示第四号）を行った。この時、揺れや被害の状況により震度を定めていた以前の方式が、観測された加速度波形データから震度を算出する方式となった。震度階級（旧震度階級）を定める揺れや被害の状況を記した従前の説明表に替え、ある震度の揺れを観測した場合、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資料として、「震度階級関連解説表」を作成（平成 8 年）した。

同解説表では、「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」等、当時の被害地震の事例から作成されたもので、「今後、新しい事例が得られたり、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、内容を変更する」としていた。

同解説表の作成から、既に 10 年以上が経過し、この間、「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」や「平成 19 年（2007 年）能登半島地震」など、いくつか

の規模の大きな地震が発生し、また、平成 20 年 6 月 14 日の「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」や同年 7 月 24 日の岩手県沿岸北部の地震では、震度階級関連解説表上の表現に比して建物被害が少ないようにみえるなど、新たな事例も発生している。

検討会では、3 項の検討のとおり、計測震度は、人間の体感や行動等との相関が高く、また罹災証明の全壊率とも相関が高いことから、防災の初動体制に用いるものとして不適切ではなく、その計測方法をすぐに見直すものではないことを確認した。その上で、検討会では、これまでの事例を踏まえ「震度階級関連解説表」の見直しの検討を進め、改定案を作成した。

改定案の作成にあたっては、近年の新たな事例も含め、ある震度でどのような被害があったのかについての資料を整理した。被害事例は、比較的長周期の揺れを起こす海溝付近で発生する巨大地震の例などは少なく、具体例は十分ではないが、できる限り整理した資料を参考に、震度別に発生する現象や被害等の状況について点検した。

改定案は、解説表が地震防災上で活用されることを念頭に、誤解が無く、全体的に分かりやすくなるように表現を変更する等、必要な修正を行った。また、自分のいる場所や家がどのくらいの揺れの程度であったのかということが分かり、地震時の身を守る行動等に結びつくようなものとなるよう配慮した。

気象庁は、検討会による改定案を受け、平成 21 年 3 月 31 日に「震度階級関連解説表」の改定を行い、運用を開始した。改定した解説表を付録 3 に掲載する。

4.2 主な改善点

今回の改定は、震度階級と被害の基本的な関係は従来のものと変更はないが、解説表上の表現についてより分かりやすくするとともに、近年の被害で社会的にも影響があり注目される事項を追加したものである。

また、表現を変更した事項については、何故変更するのかの理由がわかるよう「気象庁震度階級関連解説表の変更点とその理由」を作成した。

主な改善点を列挙すると次のとおり。

○利用する人が自分のいる場所の揺れの強さが概ね

どの程度の震度に相当するのかがわかるよう、出来るだけ分かりやすくなるよう表現を変更。

- 震度 6 強と震度 7 は強い揺れであり、人間の感覚では区別が困難なため、人の体感・行動の事項では、震度 6 強と震度 7 の項を統合して記載。
- 木造建物や鉄筋コンクリート造建物の状況は、耐震性の高低に応じて記載。また、実際よりも大きな被害をイメージする用語が用いられていたことから、誤解を与えないよう、実際の現象を適切に表す表現に変更。
- ライフライン等の関係については、鉄道の停止、高速道路の規制、電話等通信の障害、エレベータの停止の事項を加え、「ライフライン・インフラ等への影響」としてまとめて記載。また、超高層ビル等の「大規模構造物への影響」についても記載。
- 被害などの数量や程度を表す副詞・形容詞について、「かなり」、「多い」など、人により数量・程度の大きさの理解や感じ方が異なるような用語を避け、一般の理解が共通している用語を使用。この場合においても、本資料で用いる際の一応の目安としての意味を定義し使用。
- 今後 5 年程度で定期的に内容の点検を行う旨を明記。

さらに、一般の方や防災担当者の方の利便性を考慮し、以下の参考資料や広報用資料を作成した。

- 震度に対応する被害等の状況が簡潔にわかるイラスト付きの資料として、「震度と揺れ等の状況(概要)」を作成し、加えて地震時にとるべき行動も記載した。
- 木造建物(住宅)の状況として、建物被害の程度がわかるイラスト付きの広報用資料を作成。
- 地震発生時にとるべき行動、計測震度と建物の全壊及び負傷者数との関係に関する資料や、地震後に揺れがどの程度であったかを調査する際に用いる調査票等についても、参考資料として作成。
- 上記をとりまとめた広報用の資料として、「気象庁震度階級の解説」を作成。

4.3 解説表の検討の際に収集・整理した資料

解説表の検討のために収集・整理した資料について説明する。

4.3.1 建物被害について

木造建物の震度別の被害の状況は、次の手法により見積もった。

① 中央防災会議(2005)、山口・山崎(2000)により計測震度別の木造建物の罹災証明による「全壊率」を計算。

「耐震性が高い」建物は、中央防災会議(2005)の「新築年(昭和 57 年以降)」, 山口・山崎(2000)の「1982 年以降の建物」とし、「耐震性が低い」建物は中央防災会議(2005)の「旧築年(昭和 36 年以前)」, 山口・山崎(2000)の「1971 年以前の建物」に対応するものとした(図 4.1 及び図 4.2)。

② 罹災証明の「全壊」と、日本建築学会が調査する「倒壊」とでは、被害の程度が異なっている。そのため罹災証明で「全壊」とされた建物が、「倒壊・崩壊」している割合及び「建物の傾斜」している割合を見積もることとした。

③ 割合の見積もりは、気象庁が小千谷市、柏崎市、輪島市、刈羽村の罹災証調査の内容を分析し、「平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震」, 「平成 19 年(2007 年)能登半島地震」及び「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」によって全壊の判定を受けた建物が、どのような壊れ方であったかを整理した結果(図 4.3)と、「平成 7 年(1995 年)兵庫県南部地震」でデータ(たとえば、宮腰他(2000))から、罹災証明の「全壊」のうち、2~30%を「倒壊・崩壊」, 9~58%を「建物の傾斜」とした。

④ ③で見積もった割合を、中央防災会議(2005)、山口・山崎(2000)による各震度の全壊率に乘じ、各震度における建物の「倒壊・崩壊率」, 「傾斜率」を算出した(表 4.1)。

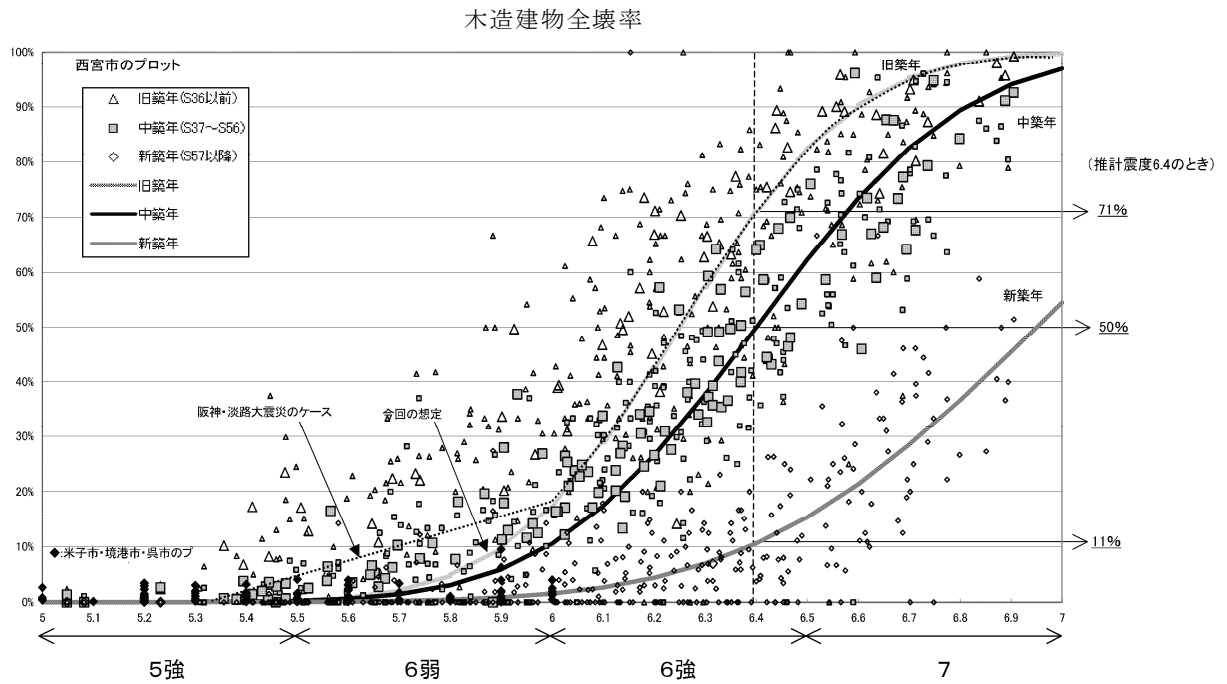


図 4.1 中央防災会議（2005）による木造建物全壊率と計測震度の関係。

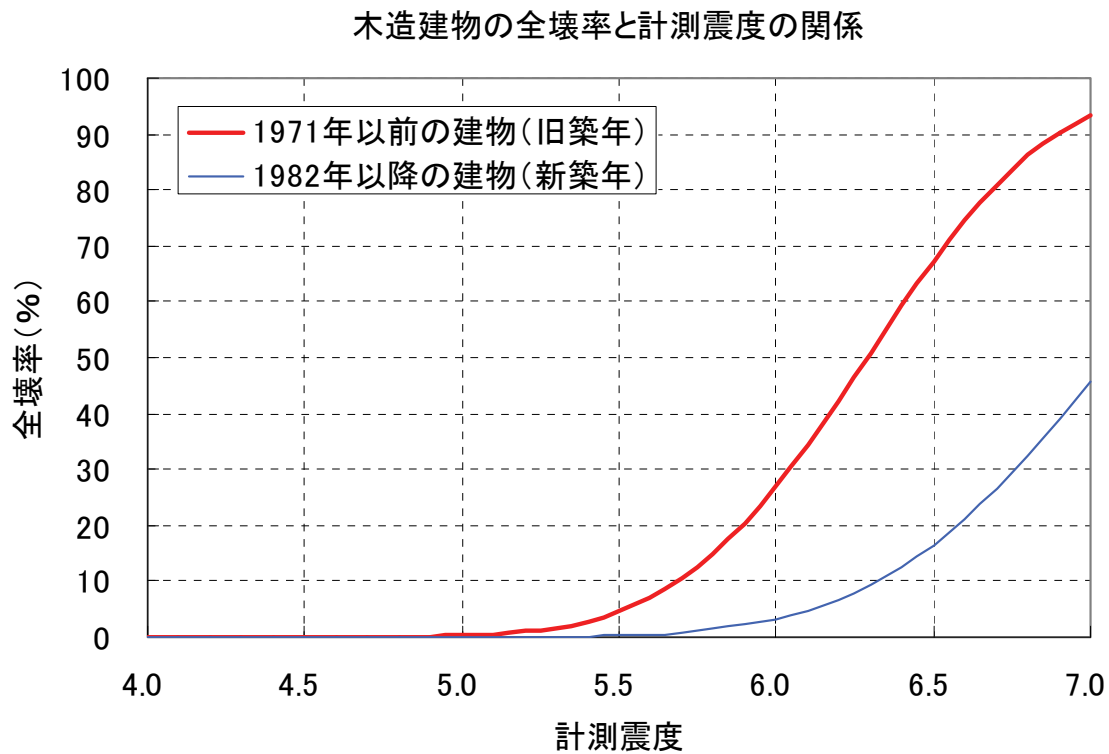
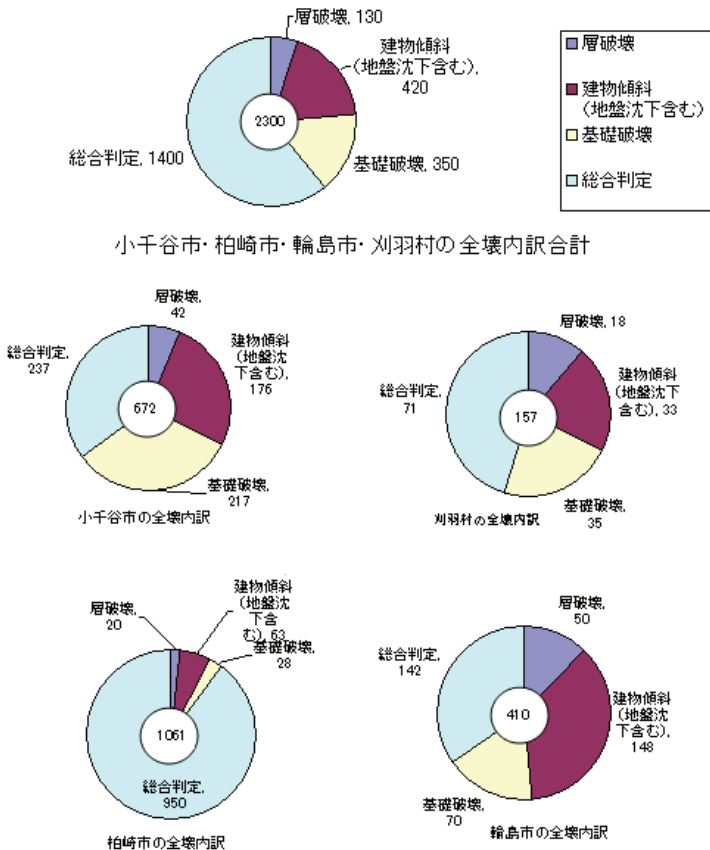


図 4.2 山口・山崎（2000）による木造建物全壊率と計測震度の関係。



※) 地方公共団体の罹災証明による全壊は以下の 4 つに分類されており、「層破壊」は「倒壊・崩壊」に、「基礎破壊」「建物傾斜」が「建物の傾斜」に相当する。

層破壊：一階がつぶれるなど、倒れたもの
 建物傾斜：外壁または柱の傾斜が 1/20 以上のもの(地盤破壊や液状化による建物沈下が 30 c m 以上の「建物沈下」も集計に含めた。
 基礎破壊：基礎の破壊により、建物全体がゆがんでいるもの
 総合判定：外壁又は柱の傾斜が 1/20 以下だが、屋根・壁部位損傷割合が大きいもの

図 4.3 気象庁調査における，建物全壊被害の内訳．※

表 4.1 各震度における木造建物被害の割合．(数値の単位は%)

震度階級	被害	耐震性が高い		耐震性が低い	
		中央防災会議 (2005)	山口・山崎 (2000)	中央防災会議 (2005)	山口・山崎 (2000)
5 弱	罹災証明全壊	0	0	0	0
	推定 倒壊・崩壊	0	0	0	0
	推定 建物の傾斜	0	0	0	0
5 強	罹災証明全壊	0	0	0	0～3
	推定 倒壊・崩壊	0	0	0	0～1
	推定 建物の傾斜	0	0	0	0～2
6 弱	罹災証明全壊	0～1	0～2	0～10	5～20
	推定 倒壊・崩壊	0	0～1	0～3	0～6
	推定 建物の傾斜	0～1	0～1	0～6	1～11
6 強	罹災証明全壊	2～11	3～13	18～71	27～59
	推定 倒壊・崩壊	0～3	0～4	0～21	1～18
	推定 建物の傾斜	0～6	0～8	2～41	2～34
7	罹災証明全壊	15～55	16～46	82～100	67～93
	推定 倒壊・崩壊	0～16	0～14	2～30	1～28
	推定 建物の傾斜	1～32	1～27	7～58	6～55

※ 罹災証明全壊の値は，中央防災会議(2005)及び山口・山崎(2000)による全壊率のグラフから算出した値，倒壊・崩壊及び建物の傾斜の値は推定した値である。

鉄筋コンクリート建物震度別の被害の状況についても、木造建物と同様に、次の手法により行った。

① 中央防災会議（2005）、山口・山崎（2000）により計測震度別の非木造建物の「全壊率」を計算。「耐

震性が高い」建物は「昭和 57 年（1982 年）以降の建物（新築年）」、「耐震性が低い」建物は「昭和 46 年（1971 年）以前の建物（旧築年）」に対応するものとした（図 4.4 及び図 4.5）。

非木造建物全壊率

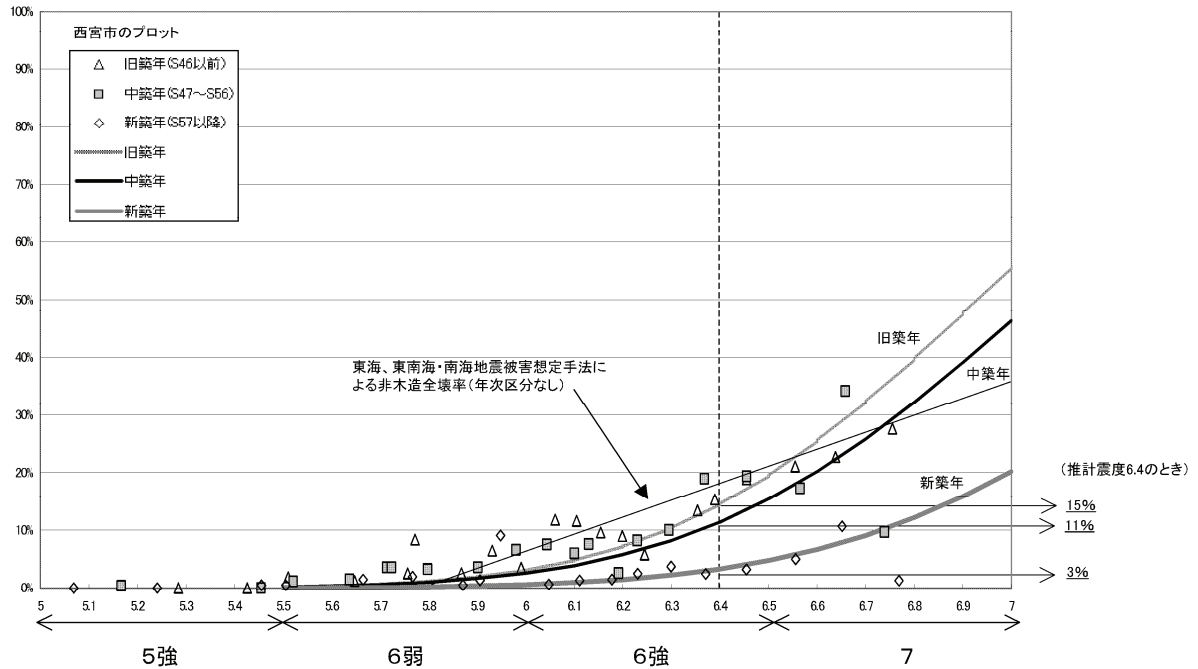


図 4.4 中央防災会議（2005）による非木造建物の全壊率と計測震度の関係。

※中央防災会議における東海地震の被害想定及び東南海・南海地震の被害想定において、非木造建物全壊率に、被害の出始める震度を切片とした直線を仮定している。また、非木造建物については建築年次による区分を行っていない。

鉄筋コンクリート建物の全壊率と計測震度の関係

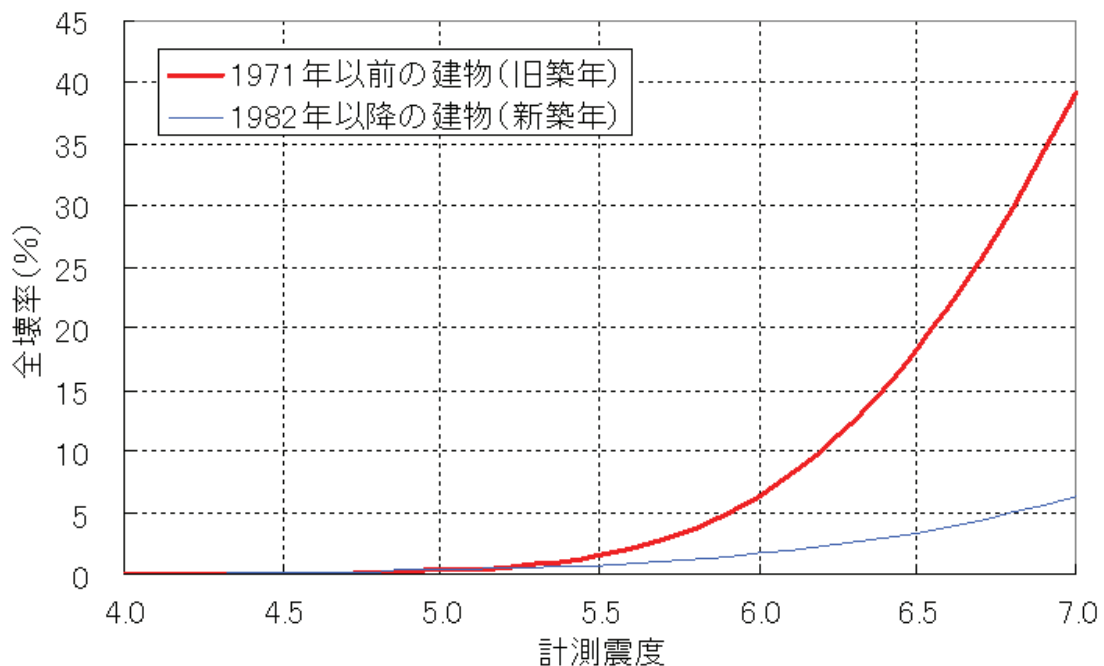


図 4.5 山口・山崎（2000）による鉄筋コンクリート建物の全壊率と計測震度の関係。

② これらの資料は地方公共団体が調査する罹災証明による「全壊」であるので、木造建物と同様に、罹災証明で「全壊」とされた建物が、「倒壊・崩壊」している割合及び「建物の傾斜」している割合を見積もることとした。

③ 割合の見積もりは、建築震災調査委員会（1995）による、兵庫県南部地震の調査事例における震度 7 相当の被害（表 4.2）のうち、倒壊または崩壊、大破、中破を罹災証明における全壊と仮定し、全壊した建物に対する「崩壊・倒壊」及び「傾斜」した建物の割合とした（表 4.3）。

④ 見積もった割合を、中央防災会議（2005）、山口・山崎（2000）による各震度の全壊率に乘じ、各震度における建物の「倒壊・崩壊率」、「傾斜率」を算出した（表 4.4）。

表 4.2 建築震災調査委員会（1995）による、兵庫県南部地震の鉄筋コンクリート建物の被害（震度 7 相当）

（単位：棟）

	昭和46年以前	昭和47～56年	昭和57年以降
倒壊又は崩壊	10 (11%)	3 (3%)	1 (2%)
大破	12 (13%)	2 (2%)	2 (4%)
中破	8 (9%)	4 (4%)	2 (4%)
小破	12 (13%)	12 (13%)	6 (13%)
軽微	37 (40%)	36 (38%)	17 (38%)
無被害	14 (15%)	37 (39%)	17 (38%)
総計	93 (100%)	94 (100%)	45 (100%)

表 4.3 全壊した建物に対する倒壊・崩壊及び傾斜した建物の割合。

被害	耐震性が高い	耐震性が低い
倒壊・崩壊	20% (1/5)	33% (10/30)
傾斜	40% (2/5)	40% (12/30)

表 4.4 各震度における鉄筋コンクリート建物の被害の割合。

（数値の単位は%）

震度 階級	被害	耐震性が高い		耐震性が低い	
		中央防災会議 (2005)	山口・山崎 (2000)	中央防災会議 (2005)	山口・山崎 (2000)
5 弱	罹災証明全壊	0	0	0	0
	推定 倒壊・崩壊	0	0	0	0
	建物傾斜	0	0	0	0
5 強	罹災証明全壊	0	0～1	0	0～1
	推定 倒壊・崩壊	0	0	0	0～0
	建物傾斜	0	0	0	0～1
6 弱	罹災証明全壊	0	1～2	0～2	2～5
	推定 倒壊・崩壊	0	0	0～1	1～2
	建物傾斜	0	0～1	0～1	1～2
6 強	罹災証明全壊	1～3	2～3	3～15	6～15
	推定 倒壊・崩壊	0～1	0～1	1～5	2～5
	建物傾斜	0～1	1	1～6	3～6
7	罹災証明全壊	5～20	3～6	20～56	18～39
	推定 倒壊・崩壊	1～4	1	6～18	6～13
	建物傾斜	2～8	1～3	8～22	7～16

※ 罹災証明全壊の値は、中央防災会議（2005）及び山口・山崎（2000）による全壊率のグラフから算出した値、倒壊・崩壊及び建物の傾斜の値は推定した値である。

4.3.2 家具の移動・転倒など

気象庁による「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の地震動調査の結果では、震度 5 弱から家具の移動・転倒の事例が現れる。さらに、震度階級が上がるごとに「大きく移動」するものの割合も増えていく（表 4.5）。また、佐伯他（1999）による被害関数式（図 4.6）から推定した被害率でも同様のことが言える。

表 4.5 平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震の地震動調査による家具の移動、転倒率。

震度 階級	家具の移動・転倒						転倒率 (推定値) (注)
	少しく移動		大きく移動		転倒		
	被害率	被害数 ／事例数	被害率	被害数 ／事例数	被害率	被害数 ／事例数	
5弱	74%	14／19	0%	0／19	5%	1／19	2.2～ 5.9%
5強	48%	15／31	10%	3／31	16%	5／31	7.4～ 16.1%
6弱	67%	10／15	13%	2／15	0%	0／15	19.0～ 33.7%
6強	0%	0／11	27%	3／11	9%	1／11	37.9～ 55.9%
7							60.3～ 79.7%

(注) 佐伯他 (1999) により示される被害関数式 (図 4.6) より算定した家具の転倒率

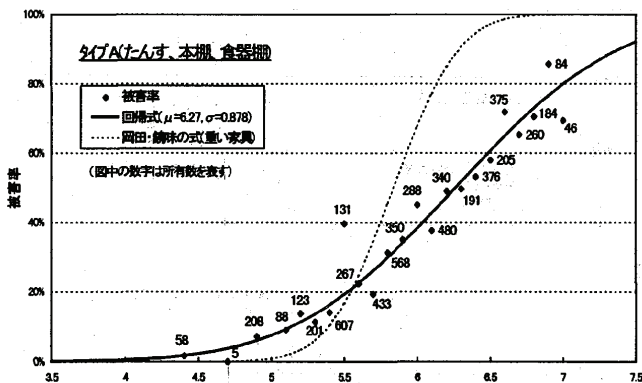


図 4.6 佐伯他（1999）による家財被害関数。

家具等の飛び出しについては、兵庫県南部地震における家具等の移動と被害の調査（北浦（1997））によると、遠くへ飛んだものの割合が、震度 7 と震度 6 強以下で大きく異なる（図 4.7）。

4.3.3 その他の室内の状況

その他の室内の状況について収集した資料について説明する。

○棚の食器や書籍類の落下

気象庁による「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の地震動調査の結果では、震度 5 強から、3

割以上の食器や書籍が落下する事例がある。8 割以上の落下の事例も震度階級が上がるにつれ増加している（表 4.6）。ただし、落下が現れ始める震度は不明である。

表 4.6 平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震の地震動調査による食器、書籍類の落下率。

震度階級	棚の食器や書籍類の落下				
	0～3 割	3 割～8 割		8 割以上	
	被害数 ／事例数	被害率	被害数 ／事例数	被害率	被害数 ／事例数
5 弱	13／19	0%	0／19	0%	0／19
5 強	16／31	16%	5／31	3%	1／31
6 弱	7／15	47%	7／15	27%	4／15
6 強	0／11	9%	1／11	45%	5／11

○テレビの落下

気象庁による「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の地震動調査の結果では、震度 5 強から、テレビの落下の事例がある（表 4.7）。

表 4.7 平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震の地震動調査によるテレビの落下率。

震度階級	テレビの落下	
	被害率	被害数／事例数
5 弱	0%	0／19
5 強	16%	5／31
6 弱	0%	0／15
6 強	18%	2／11

○ドアの開閉

平成 15 年 7 月 26 日の宮城県北部の地震では、震度 6 弱を観測した観測点の近傍 33 軒中 2 軒の世帯でドアが開かなくなったことが報告されている（気象庁地震火山部（2004））による）。

また、ドアの開閉については、以下の事例もある。

- ・平成 17 年 3 月 20 日の福岡県西方沖の地震では、震度 6 弱相当の揺れがあったと考えられる福岡市内にあるマンション 5 棟へのアンケート調査で、7%の世帯で玄関ドアが開閉不能に、17%の世帯で開閉に支障や、やや支障がみられた。5 棟のうち特に被害の大きいマンションでは、29.5%の世帯で開閉不能となった（日本建築学会（2005）による）。
- ・「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」では、6 強を観測した栗原市一迫の観測点近傍で、ドアが閉まりにくくなった 1 事例が報告されている

(気象庁 (2008) による)。

これらの事例も考慮し、ドアは非構造壁の開口に付けられることが多く、非構造壁に被害が及ぶと、ドア開閉にも支障が発生すると考えられる。震度 6 強以上では、建物の構造被害も増加することから、ドア開閉の支障も増加すると考えられる。

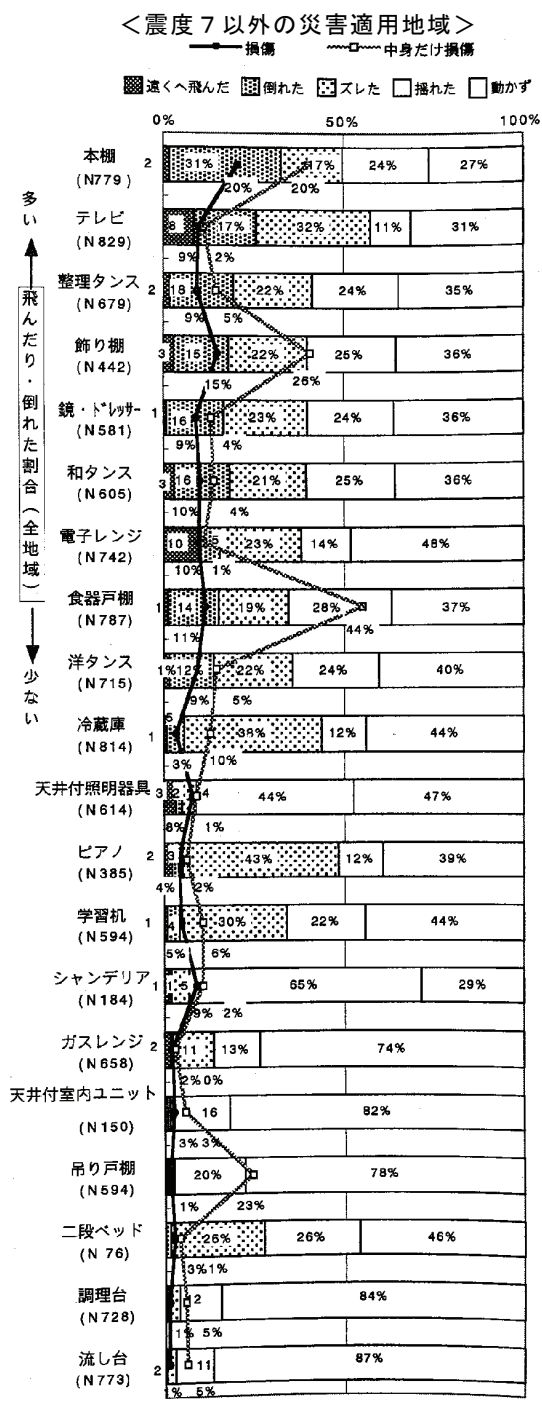
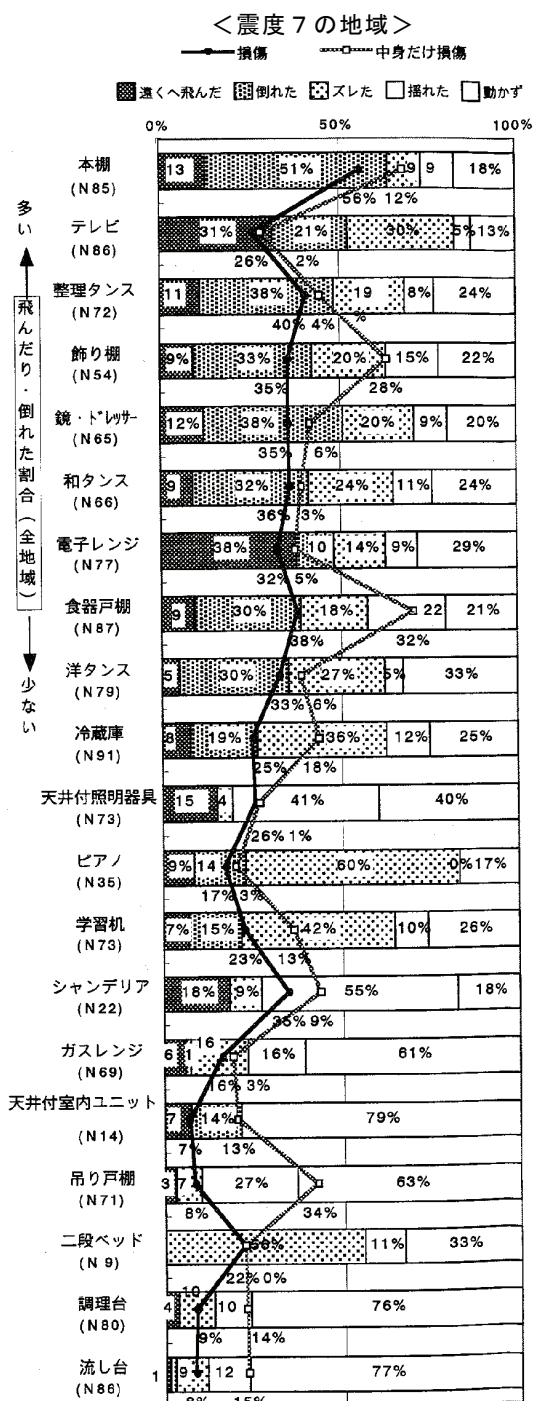


図 4.7 兵庫県南部地震における家具等の移動と被害 (北浦 (1997) による)。

4.3.4 屋外の状況他

屋外の状況の他、がけ崩れ、エレベーターの停止について収集した資料について説明する。

○ブロック塀の倒壊

「平成 13 年（2001 年）芸予地震」では、震度 5 強を観測した観測点の近傍でブロック塀の倒壊が報告されている（気象庁（2001）による）。

○窓ガラス

平成 15 年 5 月 26 日の宮城県沖の地震では、震度 5 弱を観測した観測点の近傍の小学校で校舎ガラス破損（30 数箇所）が報告されている（気象庁地震火山部（2004）による）。

「平成 13 年（2001 年）芸予地震」では、震度 5 強を観測した観測点の近傍で窓ガラスの破損が報告されている（気象庁（2001）による）。

平成 17 年 3 月 20 日の福岡県西方沖の地震では、震度 6 弱を観測した観測点の周辺で、昭和 56 年以前に建てられた地上 10 階建ての鉄筋コンクリート造建物の窓ガラスの破損、落下の事例がある（日本建築学会（2005）による）。

気象庁による「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の地震動調査の結果（表 4.8）では、窓ガラスの破損が 3 割以上の被害は、震度 6 強で見られる。落下が現れ始める震度は不明である。兵庫県南部地震の鉄筋コンクリート造建物の窓ガラスの破損率は、建築震災調査委員会（1995）によると、兵庫県南部地震では、鉄筋コンクリート造の場合、中破、大破、倒壊を合わせたものの 7～8 割で窓ガラスの被害が発生している（図 4.8）ことから、鉄筋コンクリート造の中破、大破及び倒壊を罹災証明における全壊

表 4.8 「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の地震動調査による窓ガラスの破損率と、「兵庫県南部地震」の鉄筋コンクリート造建物の被害から推定した破損率。

震度階級	平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震の窓ガラスの破損					兵庫県南部地震の破損率（推定値）
	0 割～3 割		3 割～8 割		8 割以上	
	被害数／事例数	被害率	被害数／事例数	被害率	被害数／事例数	
5 弱	10／19	0%	0／19	0%	0／19	0%
5 強	17／31	0%	0／31	0%	0／31	0%
6 弱	11／15	0%	0／15	0%	0／15	0～1.4%
6 強	7／11	18%	2／11	0%	0／11	0.4～10.2%

に相当するものと考え、鉄筋コンクリート造の全壊率の 70%を窓ガラスの破損率とした。この結果からの推定値では、震度 6 弱から被害が発生する（表 4.8）。

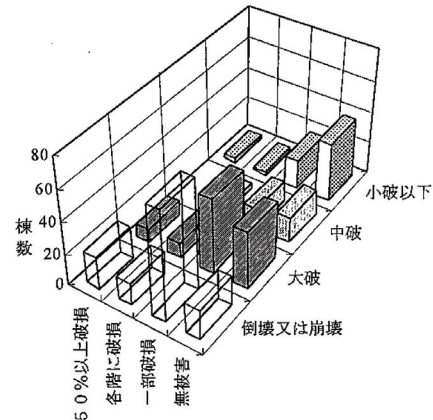


図 4.8 「兵庫県南部地震」における鉄筋コンクリート造の構造体の被災度と窓ガラス被害の関係（建築震災調査委員会（1995）による）。

○自動車の運転

気象庁による「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の地震動調査によると、震度 5 強で 1 件中 1 件、6 強で 1 件中 1 件、運転が困難となり停止した事例があった。

○道路の亀裂・段差の被害

気象庁による「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の地震動調査によると、震度 5 弱から、道路の亀裂・段差の被害が発生している（表 4.9）。

表 4.9 「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」の地震動調査による道路の被害率。

震度階級	亀裂・段差あり	
	被害率	被害数／事例数
5 弱	37%	7／19
5 強	39%	12／31
6 弱	93%	14／15
6 強	100%	11／11

○壁タイルの落下

「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」では、震度 6 弱を観測した栗原市築館の栗原市役所でタイルの落下が見られた（気象庁（2008）による）。「兵庫県南部地震」の鉄筋コンクリート造建物のタイルの破損被害から推定した被害率では、震度 6 弱

から被害が発生する（表 4.10）.

表 4.10 「兵庫県南部地震」の鉄筋コンクリート造建物の被害から推定したタイルの破損率.

震度階級	タイルの破損率（推定値）
5 弱	0%
5 強	0%
6 弱	0～0.7%
6 強	0.2～5.1%
7	1.7～19.5%

○瓦の被害

日本建築学会（1998）によると、木造建物の瓦の落下事例は全壊の建物で見られるが、半壊以下の建物では、ずれる程度である（図 4.9）. ただし、ここである全壊は、構造被害を示す.

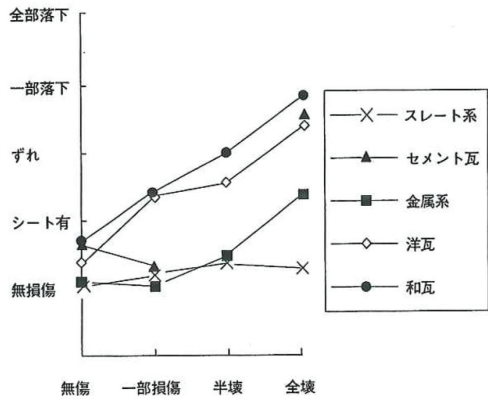


図 4.9 兵庫県南部地震における建物の被害と瓦の被害の関係（日本建築学会（1998）） ※図中の判定基準については、表 4.11 を参照

表 4.11 図 4.9 における建物被害の判定基準（日本建築学会（1998））.

被害程度	被害状況
大	建物が傾いたり、倒れており、修繕が不可能と判断した状態を「全壊」とした.
中	大幅な亀裂、崩れがあるが、修繕すれば住めると判断した状態を「半壊」とした. 調査時には殆ど住んでいない状況であった.
小	警備な損傷で何らかの修理が必要であるか、そのもまでも住めると判断した状態を「一部損傷」とした
無傷	外観上、構造上に被害が見られないと半田した状態を「無傷」とした.

○がけ崩れ

伊藤ほか（2009）によると、「平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震」, 「平成 19 年（2007 年）能登半島

地震」及び「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震」では、崩壊箇所が震度 5 弱以上の地域で現れている. 単位面積あたりの崩壊箇所数をみると、震度 6 弱で顕著に、震度 6 強ではさらに顕著になっている（図 4.10）.

○エレベーターの停止

国土交通省の報道発表資料（平成 17 年（2005 年）7 月 29 日発表）によると、平成 17 年 7 月 23 日の千葉県北西部の地震発生で停止したエレベーターは、保守管理大手 5 社（エレベーター総数の約 9 割を保守管理）合計で約 64,000 台であり、ほぼ全て地震時管制装置が作動したものであった. また、エレベーターの閉じ込めについては 78 台発生した. うち、地震時管制装置付きのエレベーターが 73 台であった（表 4.12）.

表 4.12 千葉県北西部を震源とする地震におけるエレベーターの停止・閉じ込め状況.

保守台数	227,000 台
うち地震時管制運転装置あり	144,000 台
うち装置が作動し停止	64,000 台
閉じ込め台数	78 台
うち地震時管制運転装置有り	73 台

※数値はいずれも関東地区内(東京都, 千葉県, 埼玉県, 神奈川県)の合計

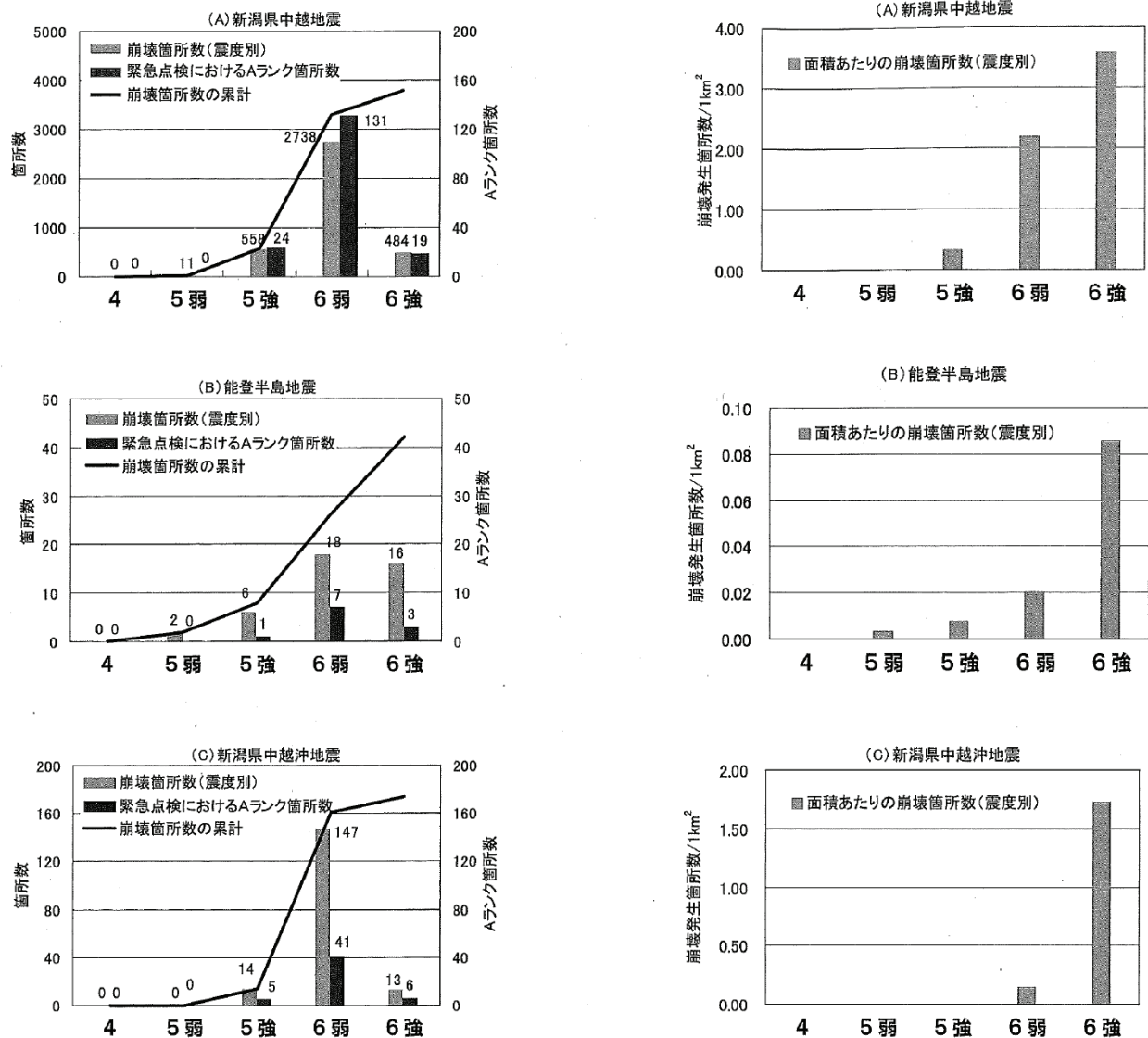


図 4.10 最近の被害地震における、震度階級ごとの土砂災害発生累積頻度（左）と単位面積あたりの崩壊発生箇所数（右）（伊藤他（2009）による）。

※A ランクについて：地震発生後、土砂災害危険箇所に対して実施した緊急点検による危険区分。土石流危険渓流については「特A」～「C」の4ランク、急傾斜地崩壊危険箇所及び地すべり危険箇所では「A」～「C」の3ランクに区分する。Aランク以上は早急に対処の必要がある箇所。

5 設置条件等の不適切な観測点の点検とその扱い

気象庁の発表する震度は、地表の揺れの強さを測定するものであり、その測定に用いる震度計は、計測部（加速度計）に地表面の揺れが適切に伝わるように設置される必要がある。

震度は、設置される地盤等によって異なるが、震度が地域の防災対応の基準として用いられることから、その地域の揺れを代表することが望ましく、そのためには、局所的に特殊な揺れとなるような場所・地盤を避けて震度計を設置する必要がある。また、落下物の衝突など、地震動以外の外力の影響により誤った観測の影響がないようにしておくことも必要である。

このような震度計設置場所や設置の仕方等の重要性から、気象庁では、望ましい設置場所や設置の仕方等を「震度計設置環境評価指針」としてとりまとめ、この指針をもとに、地方公共団体等へ震度計の設置に関する技術的助言を行うとともに、震度計の設置環境の評価を行っている。

これまで行ってきた評価は、基本的に、設置環境に関する評価項目毎に定められた配点を加算して、合計点に応じて A～E にランク分けすることにより実施されている。また、各ランクに応じた利用方法を定めており、A～C については気象庁の情報発表上の利用制限なし、D は品質を確認のうえ利用、E は利用しないこととしている。地方公共団体の震度計の設置環境評価結果については、平成 16 年 12 月及び平成 18 年 4 月に公表している。

しかし、平成 20 年 7 月の岩手県沿岸北部の地震において、震度 6 強を観測した岩手県洋野町大野について、地震発生後に設置した臨時観測の震度計との比較結果から、震度 6 強を取り消す（不明とする）こととなった。この原因について気象庁にて実施した現地調査から、震度計の設置地点は斜面に近く、盛り土でありかつ緩い地盤であったことなどが分かった。一方、当該観測点は、先に行っていた設置環境評価ではランク B の判定であり、この評価指針では上記の原因が検知できないことが分かった。

また、従来行ってきたランク付け方式については、採点方法が複雑で、B 以下の震度観測点について、どこを改善すればよいかが、必ずしも分かりやすいものとなっていなかった。さらに B 及び C ランクは、いずれも改善すべき点があるとされている一方で、

取り扱いには違いがなく、この 2 つを分ける必要性が必ずしも明確ではなかった。また、D ランクは震度階級で 1 程度異なるおそれがある一方、条件付きではあるが発表の対象とするなど、やや曖昧な取り扱いとなっている。

こうしたことを踏まえ、現行の震度計設置環境基準や、震度情報を気象庁からの発表対象とする観測点についての考え方について、検討会では、見直しの検討を行った。

5.1 見直しの考え方

従来行ってきたランク付け方式では、評価項目毎に設定された配点を合計して行ってきた。結果を A～E の 5 段階にランク分けしていたが、A～C で評価内容は異なるものの、震度情報としての取り扱いに違いを設けていなかった。また、合計点やランクが、改善すべき点を分かりやすく示すものではなく、設置環境のどこを改善すべきかがわかるものではなかった。さらに、ランク D は震度階級が 1 階級程度異なるおそれがあるが、震度情報取り扱いには大きな違いがなく、不適切な震度を発表してしまう可能性も少なくなかった。

こうしたことから、評価結果の分類は、以下のようにするのが適当とした。

- 設置環境は、適切／不適切、の 2 段階評価とする。
 適切……震度を観測するうえで適切な設置環境にある
 不適切…震度を観測するうえで適切な設置環境とは言えない

○点検表は、評価項目をリストアップしたものとし、改善すべき点が明確になるようにする。点検表だけでなく適切／不適切が判断できないものは、震度観測データや常時微動測定などにより調査を行い、適切な設置場所と同程度の揺れ（計測震度で $\pm 0.2 \sim 0.3$ 程度以下の違い）であれば、適切であるとする。

○震度計を設置し、観測を開始した後も、適切な設置環境にあるかどうかについて、定期的に点検を行う。

5.2 設置環境評価結果に応じた震度情報の取り扱いについて

これまでの設置環境評価では、設置環境の適否がそのまま気象庁からの震度情報に使用するか否かに対応していた。

一方、適切な震度が観測されているかどうかは、必ずしも設置環境の適否のみでは決まらず、その判断にあたっては、現実に関測された震度が適切なものであったかどうかを評価することが重要であると考えられる。

計測震度による震度観測が開始されてから 10 年以上が経過し、これまでに多くの震度観測データが蓄積されており、地震計によっては、高精度な観測波形データが蓄積されているものがある。これらのデータを解析することにより、震度計周辺の地盤条件に比して揺れが異常となる観測点のある程度把握することが可能となってきた。

また、大きな地震の際には、アンケート調査による震度分布の調査が行われるが、こうした住民による体感震度と比較することも、震度計による震度観測値が適正であったかどうかの判断に利用できると考えられる。

このことから、気象庁からの震度情報に使用するかどうかについては、単に地形の形状等による判定に基づくのではなく、これまでにデータの蓄積のある観測点については、上記の震度観測データや観測波形の詳細な解析結果等も活用して決定することも可能であると考えられる。

こうした観測波形のモニタリング結果は、強い揺れ等による設置環境の変化の把握、震度データの品質評価などにも有効である。

5.3 設置環境評価の項目及び基準の改正について

設置環境評価項目及び項目別の基準については、局所的に特殊な揺れとなるような場所・地盤を避けること等を基本として、主に以下の点について、見直しを行った。

①崖等の段差のある場所に設置する場合の取り扱い

- ・5 m未満の段差については、地形の影響が小さいとして上端付近からの高さ相当以上離れている必要はないとしていたが、5 m未満の段差であつても上端付近は地盤が緩くなっていることがあるこ

とから、全ての段差について取り扱う。

- ・段差の上部では、揺れが大きくなる可能性があることから、段差の下端からおおむね高さの3倍以上の距離を離す。
- ・段差の上端近傍では、揺れが大きくなることや崩壊の恐れがあることから、段差の高さと同じ距離以上離す。
- ・段差下においては、斜面の崩落の恐れがあることから、段差の下端から高さ程度以上離す。
- ・段差の上部における下端から高さの3倍以内および段差下における下端から高さ程度以内では、既存の震度観測データの解析や常時微動測定等により揺れの大きさに関する評価を行い、揺れが適切であると判断されれば、設置場所としても良いこととする。

②崖等の段差があり適切な観測場所が見当たらない場合の近傍の建物内設置への検討

地方公共団体における震度観測点は、防災対応の拠点であることや通信設備の利便性などから、地方公共団体の庁舎敷地内に設置されることが多い。その場合、屋外設置のものについては、敷地内の隅に設置され、場所によっては崖等の段差が近傍に存在するなど、問題のあることも少なくない。

屋内に設置する場合、震度観測値はやや小さめに出る傾向があるが、震度階級が異なる程度の差を生じることは少ないと考えられることから、屋外で適切な場所が見つからない場合には、次善の策として屋内(庁舎内)に設置することも適切であるとした。

③旧河道や池、沼等を埋め立てられた場所での観測

旧河道や池、沼等の埋立地等や台地や山地の谷などの特殊な地盤では、局所的に異常な揺れとなる可能性が大きいことから、観測地点として避ける。

④建物周辺への設置

- ・建物周辺の地盤は、建物の建設に伴い掘削された後埋め戻され、緩い状況になっている場合が多く、設置には配慮が必要である。また、地下埋設管等が震度計台の場所に埋められていないことを確認する。
- ・建物内の設置場所としては、1階の梁や基礎等が

ある強固な場所を推奨する。地下に設置する場合は、適正な設置環境との差が大きいことを確認する。

- ・犬走りへの設置については、強固な犬走りへの設置は差し支えないが、コンクリートに鉄筋が無く、ひびが入っているなど、地震時に崩壊の可能性があるような場所には設置しないか、補強工事が必要。

⑤地下埋設管が震度計の直下付近にある場合の設置

地下埋設管が震度計の直下付近に存在するかどうかを調査することは難しいが、震度計の近傍に排水枅等があり明らかに地下埋設管があると認められる場合には、観測地点を再検討する。また、地下埋設管が存在するかどうか不明の場合には、④で述べたように常時微動測定等を行い、震度観測に影響がないことを確かめる。

⑥震度計台の安定性の確認

震度計台が縦長または上面が下面より広い形状など、不安定な形状の場合は、ロッキング振動を起こしやすいことから、このような場合においては、震度計台を揺らすなどして安定性を確認する。

これらの見直し点を踏まえ、検討会では、新たな震度計設置環境基準（案）を示した。

気象庁では、提案された環境基準（案）を元に、震度計設置環境基準を改定した。その後、実際の調査を進める中で、記載内容をより明確にする等の修正を加えている。付録 4 に平成 22 年 3 月時点の震度計設置環境基準を掲載する。

5.4 気象庁から発表する震度情報への使用が不適切となった観測点の取り扱いについて

検討会では、震度観測データの解析や、設置環境基準の点検等により、最終的に、気象庁から発表する震度情報に使用することが不適切となった震度観測点の取り扱いについても検討し、以下のとおり取り扱うことが適当と示した。

震度の観測点は、整備目的により、次の 2 種類の観測点に大別される。

- （１）初動体制の基準用として整備された震度観測

点

気象庁整備の気象官署及び都市部等の震度観測点（約 440 地点）、地方公共団体整備の震度観測点（約 2840 地点）がこれにあたる。

（２）地震観測を目的として整備された震度観測点
気象庁の地震津波早期検知網（約 180 地点）、（独）防災科学技術研究所の K－N E T の観測点のうち震度情報を発表している観測点（約 780 地点）がこれにあたる。

気象庁から発表する震度情報に使用することが不適切となった観測点について、（１）のものについては、震度情報の発表対象から外すとともに、速やかに設置環境の改善や移設等の措置を行うことが適当であるが、（２）のものについては、設置の本来の目的を踏まえ、震度情報の発表対象から外すものの、必ずしも移設を行う必要はないと考えられる。ただし、（２）についても、地域で初動体制の基準として活用されているものについては、取り扱いについて、地元地方公共団体と協議を行う必要がある。

なお、上記により気象庁の震度情報の発表対象から外すこととなった観測点においてそれ以前に観測された震度については、特段の問題がない限り、取り消す必要はないと考えられる。

6 地方公共団体が設置する震度計の具体的な配置基準

検討にあたり、震度観測の現状を整理した(表 6.1)。

この整理も踏まえ、地方公共団体が設置する震度計の具体的な配置基準として、以下 1～4 の基準を示した。

- (1) 震度観測点は、平成の大合併前の市区町村ごとに、少なくとも 1 箇所は整備。
- (2) 東京 23 区および政令指定都市については、区ごとに最低 1 箇所は震度計を設置。
- (3) 震度計の設置場所については、基本的には、発災時に被害が大きくなる可能性の高い、人口集中地区を中心に設置するとともに、併せて、設置環境についても、設置地域の代表的な震度が適切に測られるよう十分配慮。
- (4) 一市区町村内に人口集中地区または新たに大規模な開発地域がある場合には、一つの震度計から 10km 以上離れている地域にも震度計を設置。

7 まとめ

平成 20 年度に行った震度に関する検討会で検討した内容をまとめた。

震度に関する検討会では、震度に関する課題を整理するとともに適切な震度観測に資するため検討を行った。

検討結果を簡単にまとめると、以下のとおりである。

(1) 計測震度と被害等との関係について調査を行った。結果、計測震度を防災の初動対応として用いることに大きな問題はないことを確認した。

(2) 「震度階級関連解説表」の内容の検討を行い、改定案を示した。改定案では、震度階級と被害との関係に大きな変更はないが、表現についてより分かりやすくすることなどを中心に、地震時の行動等に結びつくようなものとすることに配慮して作成した。

(3) 設置条件等の不適切な観測点の点検とその取り扱いに関する検討を行い、「震度計設置環境基準(案)」を示した。

(4) 地方公共団体が設置する震度計の具体的な配置基準について、市町村合併を踏まえた検討を行い、配置基準とその考え方を示した。

表 6.1 震度観測の現状。

設置機関	目 的	配置の思想	設置数 (H21.3 現在)	期待される責務
気象庁	○計測震度を常時観測し公表 ○M6.8 以上の地震が発生した場合、震度 6 弱を確実に観測	・20 km 間隔の観測網 ・震度 6 弱を確実に観測(山間地は除く)	約 600	国の初動対応(広域災害への対応)の確立
文部科学省 (防災科研)	○地震動の強さ、強い強震動の周期及び継続時間と空間分布の把握、震源域の詳細な破壊過程の解明を目的とした強震観測	・約 25 km 間隔の観測網	約 800	地震調査研究
各都道府県 (消防庁補助金)	○地方公共団体の防災初動体制確保 ・地震発生時の初動対応の迅速化 ・広域応援体制確立の迅速化 ○震度情報の提供、公表は当初、目的外	・市区町村の初動対応に資するため、1 市区町村に 1 観測点	約 2,800	・市区町村の初動対応確保 ・都道府県の初動対応確保

注) 都道府県の震度情報は、都道府県と地方気象台間の防災情報の交換に関する協定に基づき、都道府県から気象庁に提供された震度情報の内、気象庁の品質管理で適正と判断されたものについて気象庁から公表されることとなり、平成 9 年 1 1 月から段階的に公表が開始され、平成 15 年 3 月で全都道府県の震度データが公表されている。

謝辞

本稿は、平成 20 年度に行った「震度に関する検討会」の検討に基づいており、同検討会の検討資料、報告書の内容を補充し解説したものである。検討会において、ご議論いただいた検討会委員に感謝します。

気象庁とともに検討会の共同事務局を務めた総務省消防庁防災課 芳永和之氏（現所属 兵庫県企画県民部災害対策局災害対策課）、北畑雄一郎氏（現所属 奈良県防災統括室）及び大井治氏（現所属、愛知県防災局災害対策課）には、検討用資料作成を分担いただくとともに、資料作成の際にご議論いただいた。記して感謝します。

また、検討用資料の作成は、応用地質株式会社の篠原秀明氏、山本明夫氏、豊島勉氏に協力いただいた。記して感謝します。

文献

- 伊藤英之・小山内信智・西本晴男・臼井伸浩・佐口治(2009)：地震による崩壊発生箇所と震度分布との関係，砂防学会誌，61，No.5，46-51.
- 太田裕・後藤典俊・大橋ひとみ(1979)：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，92，117-128.
- 太田裕・小山真紀・中川康一(1998)：アンケート震度算定法の改訂－高震度領域－，自然災害科学 J. JSNDS，16-4，307-323.
- 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 2，44，93-108.
- 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
- 河角広(1943)：震度と震度階，地震 1，15，6-12.
- 神田克久・武村雅之(2005)：震度データから検証する宮城県沖で発生する被害地震の繰り返し，地震 2，58，177-198.
- 気象庁(2001)：災害時地震速報 平成 13 年(2001 年)芸予地震，災害時自然現象報告書，2001 年第 1 号
- 気象庁(2008)：災害時地震速報 平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震，災害時自然現象報告書 2008 年第 1 号

- 気象庁監修(1996)：震度を知る，ぎょうせい，238pp.
- 気象庁・消防庁(2008)：震度に関する検討会 検討会資料（第 1 回）
- 気象庁・消防庁(2009)：震度に関する検討会 検討会資料（第 2 回～第 5 回）
- http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_kentokai/index.html
- 気象庁・消防庁(2009)：震度に関する検討会報告書 http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_kentokai/kentokai_houkoku/report.pdf
- 気象庁地震火山部(2004)：宮城県沖の地震，地震機動観測実施報告，第 15 号，3-39.
- 気象庁地震火山部(2004)：宮城県北部の地震，地震機動観測実施報告，第 15 号，41-66.
- 北浦かほる(1997)：阪神淡路大震災の住宅内部被害と家財の耐震化，京都大学防災研究所の助成による研究集会 地震時における建物内部空間の安全性，pp2-12.
- 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.612/I-46，143-151.
- 建築震災調査委員会(1995)：平成 7 年阪神・淡路大震災建築震災調査委員会中間報告
- 佐伯琢磨・宮崎浩徳・山本晃司・翠川三郎(1999)：地震時の家財被害予測に関する研究－兵庫県南部地震におけるアンケート被害調査と家財被害関数の提案－，日本建築学会構造系論文集，517，45-51
- 境有紀・神野達夫・額額一起(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，No.585，71-76.
- 消防庁：災害情報一覧，
<http://www.fdma.go.jp/bn/2009/index.html>
- 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/shiryoku3.pdf>
- 日本建築学会(1998)：阪神・淡路大震災調査報告（建築編-4）
- 日本建築学会(2005)：2005 年福岡県西方沖地震災害調査報告
- 鉢嶺猛(1989)：震度の計測化について，験震時報，52，43-68.
- 宮腰淳一・林康裕・福和伸夫(2000)：建物被害デー

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，.46B，121-134.

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，43B，
269-276.

村尾修・山崎文雄(2000)：自治体の被害調査結果に
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，527，189-196.

村松郁栄(1968)：地震危険度，日本の地震学の概観，
地震 2，20-4，281-290.

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

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

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，2125-2126.

山口直也・山崎文雄(2000)：西宮市の被災度調査結
果に基づく建物被害関数の構築，地域安全学会論
文集，2，129-138.

付録 1 震度に関する検討会，委員名簿，開催状況

委員名簿

【学識委員】

座長

翠川三郎 東京工業大学大学院教授

青井 真 (独)防災科学技術研究所地震観測データセンター強震観測管理室長

大川 出 (独)建築研究所構造研究グループ主席研究監

桶田 敦 TBS テレビ報道局編集センター編集部担当部長

神山 眞 東北工業大学教授

清野純史 京都大学准教授

額額一起 東京大学地震研究所教授

境 有紀 筑波大学大学院准教授

田中 淳 東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター長

谷原和憲 日本テレビ放送網報道局社会部担当部長

中川和之 時事通信社編集委員

西山 功 国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部長

正木清貴 日本放送協会報道局災害・気象センター長

【行政委員】

池内幸司 内閣府参事官：地震・火山対策担当

飯島義雄 消防庁国民保護・防災部防災課長

長尾一郎 消防庁国民保護・防災部防災課防災情報室長

増子 宏 文部科学省研究開発局地震・防災研究課長

安藤 昇 国土交通省総合政策局技術安全課長

細見 寛 国土交通省河川局防災課長

牧野裕至 国土交通省河川局砂防部砂防計画課長

井上俊之 国土交通省住宅局建築指導課長

宇平幸一 気象庁地震火山部管理課長

横田 崇 気象庁地震火山部地震津波監視課長

熊谷龍一 宮城県総務部危機管理監

開催状況

第 1 回

(日時) 平成 20 年 12 月 8 日 (月) 15:00～18:00
(場所) 虎ノ門パストラル新館 5 階「ローレル」

第 2 回

(日時) 平成 21 年 1 月 20 日 (火) 14:00～16:00
(場所) グランドアーク半蔵門 3 階「光の間」

第 3 回

(日時) 平成 21 年 2 月 10 日 (火) 14:00～17:00
(場所) 虎ノ門パストラル新館 6 階「ペーシュ」

第 4 回

(日時) 平成 21 年 3 月 16 日 (月) 14:00～16:00
(場所) 気象庁 2 階講堂

第 5 回

(日時) 平成 21 年 3 月 23 日 (月) 14:00～16:30
(場所) 虎ノ門パストラル新館 5 階「ミモザ」

付録 2 気象庁震度階級の変遷 (気象庁監修(1996)より)

明治 17 (1884) 年～ 明治 30 (1897) 年 地震報告心得(明治 17 年)による	明治 31 (1898) 年～ 明治 40 (1907) 年	明治 41 (1908) 年～ 昭和 10 (1935) 年 中央気象台報、地震・部(明治 41 年)による	昭和 11 (1936) 年～ 昭和 23 (1948) 年 地震観測法 (昭和 11 年版) による	昭和 24 (1949) 年～ 平成 8 (1996) 年 地震津波業務規則 別表第 4 付表による	参考事項(昭和 53 年) 地震観測指針(観測編) (1991 年版)による	平成 8 (1996) 年～ 平成 28 年 2 月 15 日気象庁告示第 4 号による
	0. 微震 (感覚ナシ)	0 無感覚地震 地震計ニノミ感シタル地震	無感	階級 説明 0 無感 人体に感じないで地震計に記録される程度。	吊り下げ物のわずかにゆれるのが目視されたり、ガタガタと音がきこえても、体にゆれを感じなければ無感である。	震度階級 計測震度 0 0.5 未満
微：僅ニ地震アルヲ覚ヘシ者	1. 微震	一 微震 静止セル人若シクハ地震ニ注意シテ人ノ感シタル極メテ軽微ナル地震ナリ 二 弱震 (震度弱キ方) 一般ニ感セシ程度ノ地震ニシテ僅カニ戸障子ノ動ク音ヲ聞ク程度ノモノナリ	I 微震；静止してゐる人や特に地震に注意深い人へののみ感じた程度の地震	I 微震。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の地震。	1 静かにしている場合にゆれをわずかに感じ、その時間も長くない、立っいては感じない場合が多い。	0.5 以上 1.5 未満
弱：震動ヲ覚ユルモ戸外に避ルニ足ラザル者	2. 弱震 (震度弱キ方)	三 弱震 家屋動揺戸障子鳴リ振子時計止リ垂下物動揺、液体ノ動揺等を目撃セシ程度ノモノナリ	II 軽震；一般の人々に感ずる程度のものでも戸障子の僅かに動く位の地震 [従来弱震 (弱キ方) と呼ばれてゐたもの]	II 軽震。大勢の人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかる程度の地震。	2 吊り下げ物の動くのがわかり、立っいてもゆれをわずかに感じるが、動いている場合にはほとんど感じない。眠っいても目をさますことがある。	1.5 以上 2.5 未満
	3. 弱震	四 強震 (震度弱キ方) 家屋倒シシク動揺シ座リ悪キ器物ノ倒シ液体溢出等ヲ目撃シタルモノ	III 微震；家屋が動き戸障子が鳴動し電燈の様な吊下物や器内の水面の動くのが判る程度の地震	III 弱震。家屋が揺れ、戸障子がガタガタと鳴動し、電灯が揺れる。器内の水面の動くのがわかる程度の地震。	3 ちよつと驚くほどに感じ、眠っいている人も目をさますが、戸外に飛び出すまでもないし、恐怖感はない。戸外にいる人もかなりの人に感じるが、歩いている場合感じない人もいる。	2.5 以上 3.5 未満
強：往々物品ノ倒シ液体ノ溢出等アリ人々戸外に走り避ル者	4. 強震 (震度弱キ方)	五 強震 壁ニ割目が入リ臺石・石燈籠が倒れたり煙突や土蔵も破損する程度の地震	IV 中震；家屋の動揺が烈しく座りの悪い器物は倒れ器内の水は溢れ出る程度の地震 [従来強震 (弱キ方) と呼ばれてゐたもの]	IV 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、歩いている人にも感じられ、多くの人は戸外に飛び出す程度の地震。	4 眠っいている人は飛び起き、恐怖感を感じる。電柱・立木などのゆれるのがわかる。一般の家屋の瓦がずれるのがあつても、まだ被害らしいものではない。軽い目まいを感じる。	3.5 以上 4.5 未満
烈：屋宇ヲ毀損若クハ倒シ或ハ地面ノ変化ヲ起ス者	5. 強震	六 烈震 屋宇倒シ山嶽ヲ崩壊シ地割レヲ生シ断層ヲ生スルモノ又ハ之レニ相当スルモノナリ	V 強震；壁に割目が入り、臺石・石燈籠が倒れたり、煙突や土蔵も破損する程度の地震	V 強震。壁に割目が入り、臺石・石燈籠が倒れたり、煙突・石垣などが破損する程度の地震。	5 弱 立っいていることはかなりむずかしい。一般家屋に軽微な被害が出はしめる。軟弱な地盤では割れたりくずれたりする。すわりの悪い家具は倒れる。	4.5 以上 5.0 未満
	6. 烈震		VI 烈震；家屋が倒壊し山崩れが起り地割れを生ずる程度以上の地震	VI 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、多くの人が立っいていることができない程度の地震。	6 弱 歩行はむづかしく、はわないと動けない。	5.5 以上 6.0 未満
				VII 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。	6 強	6.0 以上 6.5 未満
					7	6.5 以上

付録 3 気象庁震度階級関連解説表

気象庁震度階級関連解説表

使用にあたっての留意事項

- 気象庁が発表している震度は、原則として地表や低層建物の一階に設置した震度計による観測値です。この資料は、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、それぞれの震度に記述される現象から震度が決定されるものではありません。
- 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あり、同じ市町村であっても場所によって震度が異なることがあります。また、中高層建物の上層階では一般に地表より揺れが強くなるなど、同じ建物の中でも、階や場所によって揺れの強さが異なります。
- 震度が同じであっても、地震動の振幅（揺れの大きさ）、周期（揺れが繰り返す時の 1 回あたりの時間の長さ）及び継続時間などの違いや、対象となる建物や構造物の状態、地盤の状況により被害は異なります。
- この資料では、ある震度が観測された際に発生する被害の中で、比較的多く見られるものを記述しており、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。また、それぞれの震度階級で示されている全ての現象が発生するわけではありません。
- この資料は、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、5 年程度で定期的に内容を点検し、新たな事例が得られたり、建物・構造物の耐震性の向上等によって実状と合わなくなった場合には変更します。
- この資料では、被害などの量を概数で表せない場合に、一応の目安として、次の副詞・形容詞を用いています。

用語	意味
まれに	極めて少ない。めったにない。
わずか	数量・程度が非常に少ない。ほんの少し。
大半	半分以上。ほとんどよりは少ない。
ほとんど	全部ではないが、全部に近い。
が（も）ある、 が（も）いる	当該震度階級に特徴的に現れ始めことを表し、量的には多くはないがその数量・程度の概数を表現できかねる場合に使用。
多くなる	量的に表現できかねるが、下位の階級より多くなることを表す。
さらに多くなる	上記の「多くなる」と同じ意味。下位の階級で上記の「多くなる」が使われている場合に使用。

※ 気象庁では、アンケート調査などにより得られた震度を公表することがありますが、これらは「震度〇相当」と表現して、震度計の観測から得られる震度と区別しています。

● 木造建物（住宅）の状況

震度階級	木造建物(住宅)	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5弱	—	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。
5強	—	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。
6弱	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。 壁などに大きなひび割れ・亀裂が入ることがある。 瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。
6強	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などに大きなひび割れ・亀裂が入るものが多くなる。 傾くものや、倒れるものが多くなる。
7	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。 まれに傾くことがある。	傾くものや、倒れるものがさらに多くなる。

- (注 1) 木造建物(住宅)の耐震性により2つに区分けた。耐震性は、建築年代の新しいものほど高い傾向があり、概ね昭和 56 年(1981 年)以前は耐震性が低く、昭和 57 年(1982 年)以降には耐震性が高い傾向がある。しかし、構造の違いや壁の配置などにより耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。
- (注 2) この表における木造の壁のひび割れ、亀裂、傾斜は、土壁(塗り竹下地)、モルタル土壁(ラス、金網下地を含む)を想定している。下地の弱い壁は、建物の変形が古い状況でも、セツル等が割断し、落下する。
- (注 3) 木造建物の被害は、地震の際の地震動の周長や継続時間によって異なる。平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震のように、震度に比べ建物被害が少ない事例もある。

● 鉄筋コンクリート造建物の状況

震度階級	鉄筋コンクリート造建物	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5強	—	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。
6弱	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。
6強	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、斜めや X 状のひび割れ・亀裂がみられることがある。 1層あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものがある。
7	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂がさらに多くなる。 1層あるいは中間階が変形し、まれに傾くものがある。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、斜めや X 状のひび割れ・亀裂が多くなる。 1層あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものが多くなる。

- (注 1) 鉄筋コンクリート造建物では、建築年代の新しいものほど耐震性が高い傾向があり、概ね昭和 56 年(1981 年)以前は耐震性が低く、昭和 57 年(1982 年)以降は耐震性が高い傾向がある。しかし、構造形式や平面的、立体的な耐震性の配置により耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。
- (注 2) 鉄筋コンクリート造建物は、建物の主体構造に影響を受けていない場合でも、軽微なひび割れがみられることがある。

●人の体感・行動、屋内の状況、屋外の状況

震度階級	人の体感・行動	屋内の状況	屋外の状況
0	人は揺れを感じないが、地震計には記録される。	—	—
1	屋内で静かにしている人の中には、揺れをわずかに感じる人がある。	—	—
2	屋内で静かにしている人の大半が、揺れを感じる。眠っている人の中には、目を覚ます人もいる。	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。歩いている人の中には、揺れを感じる人もいる。眠っている人の大半が、目を覚ます。	棚にある食器類や書を立てることがある。	電線が少し揺れる。
4	ほとんどの人が驚く。歩いている人のほとんどが、揺れを感じる。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物が大きく揺れ、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。自動車を運転していて、揺れに気付く人がいる。
5弱	大半の人が、恐怖を覚え、物につかまりたいと感じる。	電灯などの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。座りの悪い置物の大半が倒れる。固定していない家具が倒れることがあり、不安定なものも倒れることがある。	まれに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。道路に被害が生じることがある。
5強	大半の人が、物につかまらないうれと歩こうとする。行動に支障を感じる。	棚にある食器類や書棚の本で、落ちるものが多い。テレビが台から落ちることがある。固定していない家具が倒れることがある。	窓ガラスが割れて落ちることがある。傾倒されていないブロック壁が倒れることがある。取付けが不十分な自動販売機が倒れることがある。自動車の運転が困難となり、停止する車もある。
6弱	立っていることが困難になる。	固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが開かなくなることがある。	壁のタイルや窓ガラスが破壊、落下することがある。
6強	立っていることができず、はわなと動くことができない。 揺れにほんううれ、動くこともできず、飛ばされることもある。	固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多い。	壁のタイルや窓ガラスが破壊、落下する建物が多い。傾倒されていないブロック壁のほとんどが倒れる。
7	—	固定していない家具のほとんどが移動し、倒れたり、飛ぶこともある。	壁のタイルや窓ガラスが破壊、落下する建物がさらに多くなる。傾倒されているブロック壁も破壊するものがある。

● 地盤・斜面等の状況

震度階級	地盤の状況	斜面等の状況
5弱	亀裂 ^{※1} や液状化 ^{※2} が生じることがある。	落石やがけ崩れが発生することがある。
5強	—	—
6弱	地割れが生じることがある。	がけ崩れや土すべりが発生することがある。
6強	大きな地割れが生じることがある。	がけ崩れが多発し、大規模な土すべりや山体の崩壊が発生することがある ^{※3} 。

- ※1 亀裂は、地割れと同じ現象であるが、ここでは狭域の小さな地割れを亀裂として表記している。
- ※2 地下水位が高い、ゆるい砂地盤では、液状化が発生することがある。液状化が進行すると、地面からの泥水の噴出や地盤沈下が起こり、堤防や岸壁が崩れる。下水管やマンホールが浮き上がり、建物の土台が傾いたり壊れたりするなどの被害が発生することがある。
- ※3 大規模な土すべりや山体の崩壊等が発生した場合、地勢等によっては天然ダムが形成されることがある。また、大量の崩壊土砂が土流化することもある。

● ライフライン・インフラ等への影響

ガス供給の停止	安全装置のあるガスメーター（マイコンメーター）では震度 5 弱程度以上の揺れで遮断装置が作動し、ガスの供給を停止する。 さらに揺れが強い場合には、安全のため地域ブロック単位でガス供給が止まることもある [※] 。
断水、停電の発生	震度 5 弱程度以上の揺れがあった地域では、断水、停電が発生することがある [※] 。
鉄道の停止、高速道路の規制等	震度 4 程度以上の揺れがあった場合には、鉄道、高速道路などで、安全確認のため、運転見合わせ、速度規制、通行規制が、各事業者の判断によって行われる。（安全確認のための基準は、事業者や地域によって異なる。）
電話等通信の障害	地震災害の発生時、揺れの強い地域やその周辺の地域において、電話・インターネット等による安否確認、見舞い、問合せが増加し、電話等がつかりにくく状況(はくそう)が陥ることがある。 そのための対策として、震度 6 弱程度以上の揺れがあった地震などの災害の発生時に、通信事業者により災害用伝言ダイヤルや災害用伝言板などの提供が行われる。
エレベーターの停止	地震警報装置付きのエレベーターは、震度 5 弱程度以上の揺れがあった場合、安全のため自動停止する。運転再開には、安全確認などのため、時間がかかることがある。

※ 震度 6 強程度以上の揺れとなる地震があった場合には、広い地域で、ガス、水道、電気の供給が停止することがある。

● 大規模構造物への影響

長周期地震動 [※] による超高層ビルの揺れ	超高層ビルは固有周期が長いため、固有周期が短い一般の鉄筋コンクリート造建物に比べて地震時に作用する力が相対的に小さくなる性質を持っている。しかし、長周期地震動に対しては、ゆっくりとした揺れが長く続き、揺れが大きい場合には、固定の弱い OA 機器などが大きく移動し、人も固定しているものにつかまらないうれ、同じ場所にいない状況となる可能性がある。
石油タンクのスロッシング	長周期地震動により石油タンクのスロッシング（タンク内液面の液面が大きく揺れる現象）が発生し、石油がタンクから溢れ出たり、火災などが発生したりすることがある。
大規模空間を有する施設天井等の破損、脱落	体育館、屋内プールなど大規模空間を有する施設では、建物の柱、壁など構造自体に大きな被害を生じない程度の地震動でも、天井等が大きく揺れたりして、破損、脱落することがある。

※ 規模の大きな地震が発生した場合、長周期の地震波が発生し、震源から離れた遠方まで到達して、平野部では地震の固有周期に比べて長周期の地震波が増幅され、継続時間も長くなることがある。

付録 4 震度計設置環境基準

平成 21 年 5 月 13 日
平成 21 年 10 月 26 日 (改定)

震度計設置環境基準

震度計の設置状況について、具体的な設置場所や設置方法として満たすべき条件を以下に示す。

(1) 設置場所について

① 崖等の段差付近に関する条件

平坦ではない地形で崖等の段差となっている場所においては、高さによらず、強震時に崩壊の危険が推測される場所、段差端の近傍などで脆弱な土留め部分避ける必要がある。また、大きな揺れで崩壊の危険が推測されるなど不安定な設置場所なども回避しなければならない。以下の点に留意して設置場所の選定を行う。

- 崖等の段差の上部では、斜面の端部の効果により揺れが大きくなったり、地盤が緩んで大きな揺れになったりする場合があること、斜面の崩落のおそれがあることから、段差の上端から高さと同程度以上離れた場所、及び下端付近から高さの3倍程度以上離れた場所とするのが望ましい。
- 崖等の段差の直下では、揺れが小さくなるなど周辺と異なった揺れとなったり、斜面の崩落の恐れがあることから、段差の下端付近で高さ程度以上離れていることが望ましい。

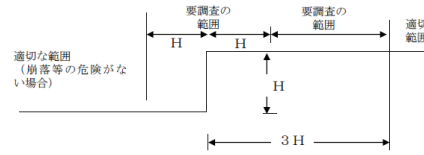
崖等の段差の上部において、上記の条件を満たさない場所であっても、常時微動測定や地盤調査等によって、地盤の緩みや崩壊の危険性がないことを確認するとともに、周辺の適切な地盤における揺れと同等である場合には、設置場所としても良いこととする。そのうえで、崖等の崩壊を防ぐために斜面およびその周辺地盤の対策がなされている場合には、崖等の段差の上部、下部における崩落危険条件対象から外しても良いこととする。

崖等の斜面が1つではなく、いくつかの段になっている場合には、段がその上部の斜面の高さの3倍の広さを持っている場合には別の斜面として取り扱うが、それよりも狭い場合には一体とした斜面として取り扱うこととする。

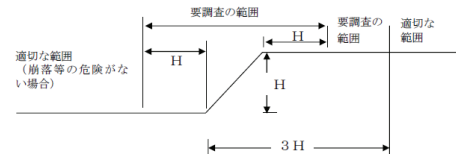
斜面の途中に震度計を設置すると、特殊な揺れになること、また斜面がすべり破壊を起こして観測ができなくなることが考えられ、このような場所に震度計を設置しないことが望ましい。

なお、免震構造物の近傍の地表の地盤に設置する場合には、免震ピットを崖等の段差として判断して、設置する地点を検討する。

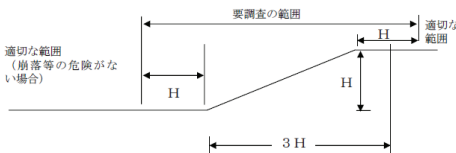
<段差が垂直の場合>



<段差の角度が急な場合>

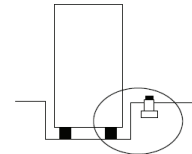


<段差の角度が緩い場合>



【免震建築物の免震ピット等に設置する場合】

崖等の段差付近の設置と同様に扱う。

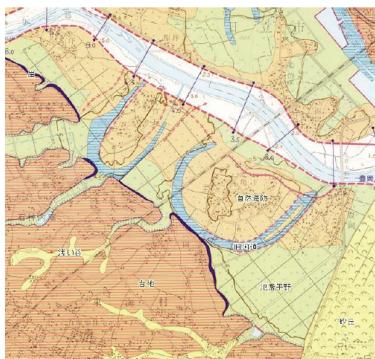


② 地盤に関する条件

旧河道や池・沼などを埋め立てた跡、台地や山地等の谷など、その場所のみに見られる特殊な地盤への設置は、局所的な揺れとなるため避ける。

このような特殊な地盤は、新旧の地形図や航空写真、治水地形分類図等の地形図により確認することができる。下図に、治水地形分類図の例を示す。

また、盛土などにおいて地盤の軟らかさが不明の場合は、スウェーデン式サウンディング等の簡易的調査やボーリング調査、または表面波探査、常時微動測定等の物理探査手法を用いるなどして、地盤の強度を判定する。



治水地形分類図の例 (茨城県北部を流れる久慈川の下流部)
国土地理院 (<http://www1.gsi.go.jp/geowww/lcmfc/lcmfc.html#f3>)

③ 建物周辺に関する条件

建物周辺は、建物の建設に伴い埋め戻した地盤であったり、地下埋設管等が埋設されている場合があり、注意を要する。埋め戻した地盤に震度計を設置する場合には、地盤を充分転圧して硬くしたところに、震度計の設置方法に従って設置することが必要である。また、地下埋設管等の有無についても、下記の④に従って確認する。震度観測に影響のある地下埋設管が存在することが分かった場合には、震度計の設置を避ける。

建物の大走到に設置する場合には、大走りのコンクリートに鉄筋が入っており、ひび割れがない強固な場所に設置するのが望ましい。

コンクリートに鉄筋が入っておらず、ひび割れが生じている場合には、補強工事を行うか、設置を避ける。

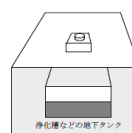
④ 空洞や地下タンク、地下埋設管等に関する条件

震度計の直下付近に空洞や地下タンク、地下埋設管等がある場合、これらの局所的な影響を受ける恐れがあるため、そのような場所は避ける必要がある。地下タンク等の構造物からは最低限、奥行き 1/10 以上かつ 1 m 以上は離すことが望ましい。

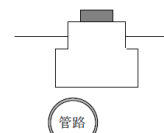
また、震度計の直下に地下埋設管がある場合、埋設管周辺の地盤が緩んでいることがあるので、直上付近は避ける必要がある。

建物の近傍は地下埋設管が多いことから、それらの有無について、設計図面や目視等により確認するか、レーダー探査等の物理探査、または手堀による調査を行って確認する。なお、径が数 cm 程度の地下埋設管であれば、震度観測には影響がないと考えられるので、震度計設置を検討してもよい。以上の調査によって地下埋設管が確認できない場合には、常時微動測定等を行い、震度観測に影響がないことを確かめる。

【直下に地下タンク等がある】



【震度計直下に埋設管がある】



⑤ 柱状構造物等に関する条件

震度計の近傍に柱状構造物（鉄塔やポール、樹木など）がある場合には、これらの揺れが震度観測に影響を及ぼす恐れがあるため、できるだけ距離をとっておく方がよい。

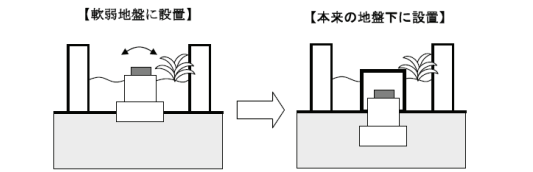
柱状構造物の高さに相当する距離を離しておくことが理想であるが、最低限、高さの 1/10 以上かつ 1 m 以上離すこととする。

なお、樹木については、当初設置したときに小さな木であっても、後年大きくなり影響を与えることがないように十分距離をとっておく必要がある。

⑥ 花壇等に関する条件

花壇等への設置については、局所的に特殊な揺れとなる可能性があるため避けた方が望ましい。

やむを得ず設置する場合、花壇等の盛土の下の本来の地盤下に震度計台を埋設したり、パイルを打って本来の地盤との結合を強固にするなどの工夫が必要である。



⑦ 駐車場内に関する条件

駐車場内に設置する場合は、車の衝突などの恐れがあることから、保護柵を設置するなどの対策を講じる。

⑧ 建物内設置に関する条件

建物内に震度計を設置する場合には、強い揺れになった場合でも倒壊しない堅牢な建物を選ぶ。

なお、免震構造や制震構造など人工的に震動を制御する機構を持った建物は、強震時に建物が大きく揺れるのを回避することを目的としており、明らかに地震動と異なる揺れが想定されるので、避ける。ただし、地盤側の基礎に震度計が設置しており、建物周辺の適切な場所と観測結果が同等であれば、観測しても良い。

また、建物固有の揺れによる影響を避けるため、3 ～ 4 階建てまでの建物を基本とする。

設置する階数は、建物の上層階ほど揺れが大きくなることから、1 階とし^(※)、下に床下や中空階などの空間がなく、梁や基礎等がある強固な場所に設置することを推奨する。地下では、深くなるほど揺れが小さくなる傾向があることから、震度計の設置を避けるべきであるが、理想的な地盤との記録に差がないことを確認できる場合には設置しても良いこととする。

(※ 傾斜地に建てられた建物では、1 階が地階または 2 階に相当する等の場合があるが、このようなケースでは、人の多い、通常 1 階として用いている階に設置することを基本とする。)

震度計を設置する床面は、強震時に破壊されないよう、強固なコンクリート床面などを選ぶ。強度に影響がありそうな、ひび割れ等の損傷が見られる床面は避ける。

(2) 震度計台の設置について

① 震度計台の材質および形状に関する条件

震度計台は強震時でも壊れないような材質（コンクリート等）、構造（空洞がない）でなければならない。

また、震度計台上面のコンクリートが滑らかでない（段差 1mm 程度以上）やひび (0.2mm 程度以上) が多く入っている場合には、補修を行うかまたは取り替えを検討する。

気象庁の震度計台（凸型、上段：一辺 50cm 高さ 50cm、下段：一辺 1m 高さ 60cm）と同様の形状で、重量は震度計の 100 ～ 1000 倍程度であることが望まれる。やむなく、縦長（高さが底辺の 1 倍程度以上）や、下面が上面よりも広くないなど不安定な形状のものを

を用いる場合は、埋設を下記のとおり確実に行い、ぐらつかないようにしておくことが必要である。

② 震度計台の埋設に関する条件

震度計台は周囲の地盤と一体となって振動するように、本来の地盤下に、しっかりと埋設する必要がある。震度計台の埋設は高さの 2／3 程度以上とすることを推奨する。強い揺れにより震度計台ががたついたり、傾いたりしないようにするためには、地盤下に最低でも震度計台の高さの 1／2 以上を埋設する必要がある。

設置された震度計台が不安定でないかについては、震度計台を揺するなどして安定性を確認する。手や足で押せる場合は、押してみても、人力で容易に動かないことを確認する。

人力で容易に動く場合には、震度計台周辺の地盤を十分に固める、震度計台を屋内に移設する、等の措置を行う。

(※ 震度計台の周辺にアスファルトやコンクリートなどが打たれている場合には、強震時に震

度計がアスファルト等からの揺れの影響を受けやすいことから、震度計台がこれらから切り離されている方がよい。切り離されていない場合には、震度観測記録から影響がないのかを検討し、影響がある場合には、切り離す必要がある。)

震度計設置環境基準 一覧表

③ 震度計の固定に関する条件

強震時に震度計が震度計台または建物床面等と一体となって振動するよう、震度計は基礎台や建物床面とアンカーボルトにより、強固に結合されなければならない。

④ 落下物への対策

震度計を建物内に設置する場合には、落下物のおそれがある場所等は避けるべきである。やむを得ず落下物の可能性がある場所に設置する場合は、震度計にカバーを設置するか、落下等により衝突する可能性のあるものをあらかじめ取り除いておく必要がある。また、不用意に触れられたりすることのないような対策を講じておく。

(3) 設置に関するその他の留意点

震度計の近傍に、道路（特に、大きな道路や高架橋）や鉄道、車両通行部分の段差、または空調機や他の観測機器等があって、ノイズによる誤った震度を観測する恐れがある場合は、設置を避ける。

(4) 設置環境の定期的な点検

震度計を設置し、観測を開始した後は、以上の項目を満たしているかどうか、定期的に点検を実施することとする。

(表1)		(要調査※3)		
項目		適切な設置環境にある 震度観測点の条件※1	不適切な設置環境にある 震度観測点の条件※2	
段等の段差（斜面途中の設置は「要調査」）	上部	・ 段差の上部では下端から高さの3倍以上離れている ・ 段差の上端から高さ以上離れている	・ 大きな揺れで崩落の危険が推測される不安定な場所	・ 段差の上部では上端から高さ以上離れていないか、下端から高さの3倍以上離れていないか ・ 免震構造物の免震ピットの近傍に設置する場合には段差として判断して調査
	下部	・ 段差の高さ以上離れており、崩落等の影響のおそれがない（崩落防止の措置がなされているものを含む）	・ 崩落等の影響のおそれがある	・ 段差の高さ以上離れていない
地盤の状態		・ 改変のない自然地形もしくは切土	・ 盛土の場合、十分な転圧が行われておらず地盤が軟らかい ・ 田圃道や池・沼などを埋め立てた場所、または台地や山地の谷などで、周囲と揺れが異なる地盤	・ 盛土などにおいて、地盤の軟らかさが不明 ・ 田圃道や池・沼などを埋め立てた場所で、周囲と異なる地盤かどうか不明
建物周辺への設置		・ 建物周辺の地盤は硬く、設計図や目視等で地下埋設管等が存在しないことが確認できる	・ 建物周辺の地盤が軟らかく、地震時に震度計台が傾くなど影響が出そうな場所。また、地下埋設管が存在することが設計図や目視等で確認できる	・ 建物周辺の地盤の状態が不明な場所、または地下埋設管が存在するのかが確認できない
建物の大走り に設置		・ コンクリートに鉄筋が入っており、ひび割れ等の損傷のない強固な大走り	・ コンクリートに鉄筋が入っており、強度に影響はないと思われるが、若干ひび割れ等の損傷が見られる大走り	・ コンクリートに鉄筋が入っていない、または入っているか不明
空洞や地下タンク等 地下埋設物の有無		・ 直下または近傍に空洞や、地下タンク、地下埋設管などがない	・ 直下または近傍に空洞や地下タンク、地下埋設管などがある	・ 空洞や地下タンク、地下埋設管などの有無が不明
柱状構造物の有無		・ 柱状構造物が近傍にない ・ 柱状構造物が近傍にあっても影響がない	・ 高い柱状構造物や大きい木が近傍にある（高さの1/10以上、かつ1m以上離れていない） ・ 低い柱状構造物が震度計台の基礎部とつながっている	・ 柱状構造物が近傍にあるが揺れに影響を及ぼす程度が不明
花壇等への設置		・ 花壇等の盛土の下にある本来の硬い地盤まで掘り下げて震度計台を設置している	・ 花壇等の軟らかい盛土の下にある本来の硬い地盤まで掘り下げて震度計台を設置していない	—
駐車場内の設置		・ 駐車場には設置されていない ・ 車の衝突を防ぐ保護柵が設置されている	・ 車の衝突などの恐れがあるため、対策がなされていない	—
建物内に設置 （建物の構造、設備、設置床面の状況等）		・ 建物の耐震性が高く大きな地震でも倒壊のおそれがない ・ 低層の建物の1階に設置 ・ 設置床面はひび割れもなく強固である	・ 免震構造や制震構造である（基礎に設置してある場合には要調査） ・ 建物の耐震性が低く大きな地震時に倒壊するおそれがある ・ 2階以上、地階（注1） ・ 設置床面が強固でない	・ 低層の建物の1階だが、下に床下や中空階などの空間がある ・ 設置床面が強固であるが若干ひび割れ等の損傷が見られる

(注 1) 地階の場合、1 階や地上と揺れが同程度かどうか確認。

震度に関する検討について

(表 2)

項目		適切な設置環境にある 震度観測点の条件 ^{※1}	不適切な設置環境にある 震度観測点の条件 ^{※2}	(要調査 ^{※3})
震 度 計 台	震度計台の材質	・ 強い地震でも壊れない 強固な材質（コンクリート等）	・ 震度計台内に空洞があったり、コンクリート等ではない材料でできている ・ 多数のひびが見られる	・ コンクリートにややひびが入っている
	形状	・ 気象庁の震度計台と同様の形状（凸型、上段：一辺 50cm 高さ 50cm、下段：一辺 1m 高さ 60cm） ・ 上記以外の場合、縦長でなく（高さが底辺の1倍程度未満）重量が震度計の100倍以上（注2）	・ 縦長であつたり下面が上面よりも広い形状でないなど不安定な形状であり、埋設したものを手や足で押すなどして揺れるもの	・ 地盤下に 1/2～2/3 程度埋設されている ・ 1/2 以上埋設されていないが、手や足で押しても動かない
	設置・埋設	・ 地盤下に 2/3 以上埋設しており、栗石、捨てコン、填圧等が十分なされている ・ 地盤下に埋設されているのは 2/3 未満だが、パイルを打つなど工夫してある	・ 地盤下に 1/2 以上埋設されておらず、震度計と地盤の一体性が確保されていない ・ 埋設したものを手や足で押すなどして揺れる	
	周囲との切り離し	・ 周辺のアスファルトまたはコンクリートと切り離されている	—	—
	震度計の固定状況	・ 震度計台または強固な床面にアンカーボルト等でしっかりと固定されている ・ 震度計が水平に設置されている	・ 床面に設置する場合、床面が強固でない。 ・ アンカーボルト等で固定されていない ・ 震度計が許容範囲を超えて傾いている	・ 震度計がやや傾いている ・ 床に置いた台の上に震度計が設置してある
	落下物の対策	・ 影響がありそうな落下物はない	・ 落下物の衝突の可能性があるが対策がなされていない	・ 落下物の衝突の可能性がある（落下物対策について確認）
自動車や鉄道の影響		・ 道路や鉄道が近傍にはない（注2）	—	—
空調機等の影響		・ 近傍に車両通行部分の段差、空調機や観測機器等はない（注2）	—	—
震度観測の点検		・ 観測記録による点検を行う ・ アンケート震度による点検を行う		

※1：これらの項目をすべて満たした場合、設置環境は適切とする。
※2：これらの項目の一つでも当てはまる場合、設置環境は不適切とする。
※3：これらの項目に当てはまる場合、震度計を設置すべき場所と震度を比較するなどの調査を行うことが望まれる（計測震度で±0.2～0.3 程度以下の違いであれば、設置環境は適切であるとする）。

(注2) 理想的な設置条件として記述。

○上記項目につき、定期的に点検を行う。

上記の設置環境基準に加え、震度観測データや住民の体感震度等も参考にして、気象庁の発表対象とするかどうかを最終判断する。