

計測震度と建物被害の対応性

境 有紀（筑波大機能工学系）

纈纈 一起（東大地震研）

神野 達夫（広島大工学部）

計測震度と建物被害の対応性

計測震度(1996年から使われている現在の震度):
震度6,7といった高震度で被害と対応しないという問題点を指摘

その原因(なぜ計測震度は被害と対応しないのか?)

問題点を修正した,震度算定法の提案

詳しくは

境有紀のホームページ

<http://www.kz.tsukuba.ac.jp/sakai/index.html>

境有紀のホームページによろこそ (2003.3.12更新What's new) .
とりあえず仮運用です(^; . 体裁はあくまでシンプルにし (あまりにシンプル
なので携帯でも見られます(^;) , 内容を徐々に充実?させて行きたいと思っ
ています .

氏 名 : 境有紀 (さかいゆうき / Yuki Sakai)
所 属 : 筑波大学機能工学系
住 所 : 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1
電 話 : 029-853-5056
E-mail : sakai@kz.tsukuba.ac.jp

現在の震度の問題点と代替案を提案しています

現在の震度は、震度6, 7という、大地震直後の対応にとって非常に重要な高震度において実際の被害と対応していません。震度が現在のものに修正された以降の1997年鹿児島県北西部地震, 2000年の新島・神津島近海で発生した地震, 2000年鳥取県西部地震, 2001年芸予地震では数多くの地点で震度6弱となったにもかかわらず、その地点周辺には大きな被害はありませんでした。ここでは、実際の被害と対応する震度の代替案を提案しています。

提案する震度算定法に関するQ&A

提案する震度算定法に関して様々な場所で、もうかなりの回数お話をさせていただきました。しかしまだまだ私の努力が足りず、同じような質問が繰り返されることに気がつきました。そこで、今までいただいた質問を大まかにまとめ、その回答という形でここに掲載させていただきました。

震度の重要性と計測震度の問題点

震度などのいわゆる地震動の強さ指標：
地震直後の対応，地震危険度予測地図の作成に用いられる
地震防災上非常に重要な役割を果たす

震度などの地震動の強さ指標は**実際の被害と対応する必要がある**

震度の重要性と計測震度の問題点

震度などのいわゆる地震動の強さ指標:

地震直後の対応, 地震危険度予測地図の作成に用いられる
地震防災上非常に重要な役割を果たす

震度などの地震動の強さ指標は**実際の被害と対応する必要がある**

しかし

家屋の倒壊率: 3 ~ 10%

2000年の新島・神津島近海を震源とする地震、鳥取県西部地震
2001年芸予地震: 震度6弱あるいは6強を記録したが
被害はさほどでもなかった

現行の計測震度は高震度において
実際の建物被害との対応性から再検討が必要

K-NET大野観測点（震度6弱を記録）と その周辺の様子（芸予地震）



震度の重要性と計測震度の問題点

震度などのいわゆる地震動の強さ指標：
地震直後の対応，地震危険度予測地図の作成に用いられる
地震防災上非常に重要な役割を果たす

震度などの地震動の強さ指標は**実際の被害と対応する必要がある**

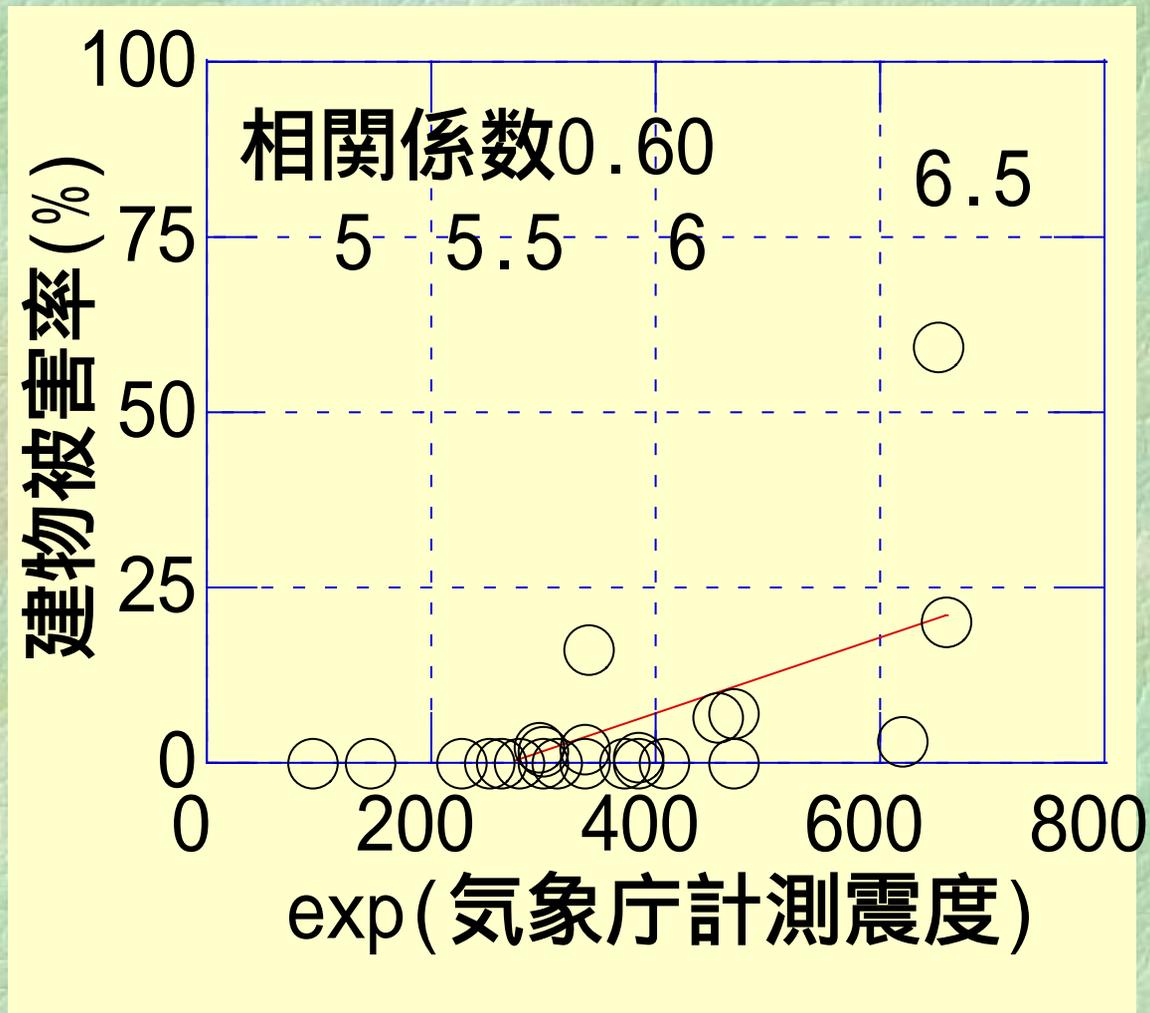
しかし

家屋の倒壊率：3～10%

2000年の新島・神津島近海を震源とする地震、鳥取県西部地震
2001年芸予地震：震度6弱あるいは6強を記録したが
被害はさほどでもなかった

現行の計測震度は高震度において
実際の建物被害との対応性から再検討が必要

計測震度と建物被害率の関係

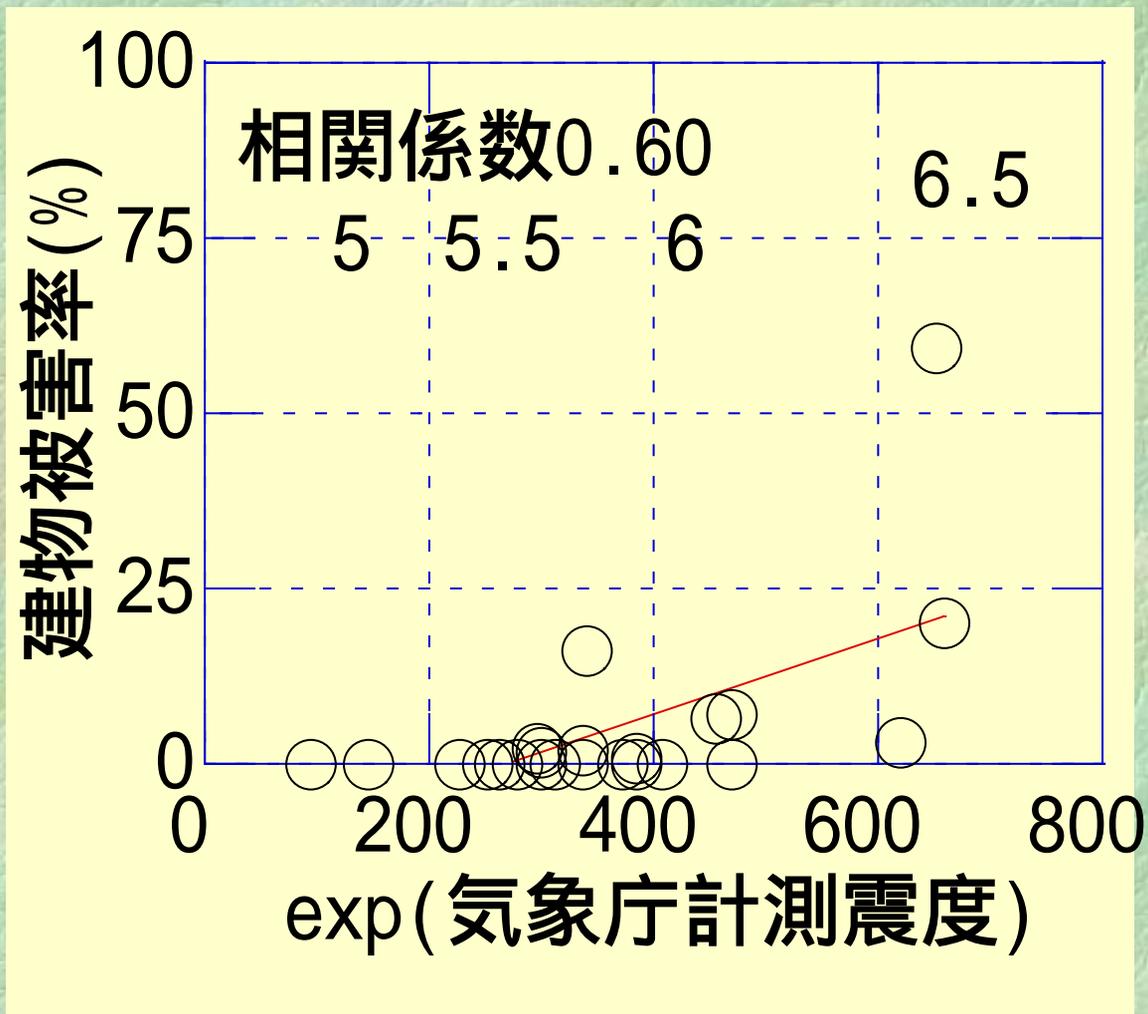


用いた強震記録と被害データ

ID	地震	地点	PGA	PGV	SI	JMA	d1	d2
TKT	1995年兵庫県南部	JR鷹取	742.7	161.9	412.0	6.48	59.4	34.9
FKI	1995年兵庫県南部	葦合	834.0	139.8	376.7	6.49	20.2	15.3
NTT	1995年兵庫県南部	NTT神戸	331.3	91.2	196.1	5.83	16.1	6.1
TKZ	1995年兵庫県南部	JR宝塚	690.4	91.7	234.7	6.15	7.2	6.2
MTY	1995年兵庫県南部	本山第一小	794.0	86.7	228.8	6.12	6.5	5.3
KMA	1995年兵庫県南部	神戸JMA	847.9	96.6	305.3	6.43	3.2	2.5
AMK	1995年兵庫県南部	尼崎高架橋	340.7	57.9	160.7	5.69	2.4	2.2
AMT	1995年兵庫県南部	尼崎竹谷小	551.0	60.2	142.2	5.70	1.7	1.2
SGK	1995年兵庫県南部	関電総合技研	473.2	64.8	160.1	5.74	0.0	0.0
AMH	1995年兵庫県南部	尼崎港	555.9	64.2	180.0	5.95	0.8	0.7
RKI	1995年兵庫県南部	六甲アイランド	368.0	79.8	164.5	5.70	0.0	0.0
SOS	1995年兵庫県南部	JR新大阪	253.0	41.5	105.4	5.42	0.0	0.0
OSK	1995年兵庫県南部	大阪JMA	83.1	19.5	43.4	4.54	0.0	0.0
HCH	1994年三陸はるか沖	八戸市庁舎	433.7	49.2	146.5	5.82	1.9	3.1
SKM	2000年鳥取県西部	境港測候所	762.6	88.3	211.8	6.01	1.1	1.1
YNG	2000年鳥取県西部	K-net米子	435.6	54.1	163.9	5.82	0.0	0.0
KSR	1993年釧路沖	釧路JMA	752.3	45.8	149.3	5.95	0.0	0.0
OTB	1993年北海道南西沖余震	乙部小	1615.6	58.3	159.7	6.15	0.0	0.0
ONO	2001年芸予	K-net大野	450.4	32.6	101.9	5.63	0.0	0.0
TYO	2001年芸予	K-net東予	509.3	33.4	102.9	5.57	0.0	0.0
MHR	2001年芸予	K-net三原	641.6	11.8	41.1	4.98	0.0	0.0
MJ1	1997年鹿児島県北西部3/26	宮之城	542.8	37.7	95.9	5.53	0.0	0.0
MJ2	1997年鹿児島県北西部5/13	宮之城	978.0	47.5	139.8	5.92	0.0	0.0

ここで、PGA: 地動最大加速度(cm/s^2), PGV: 地動最大速度(cm/s), SI: スペクトル強度(cm), JMA: 気象庁計測震度 (*がついたものは水平2成分による値), d1: 観測地点周辺における大破以上の低層住宅の割合(%), d2: 観測地点周辺における大破以上の建物の割合(%), MA: 気象台(Meteorological Agency)

計測震度と建物被害率の関係



なぜ計測震度は被害と対応しないのか？

地震動強さを1つの指標で表現するには
地震動のスペクトルを周期軸でどう重み付けするか

現行の計測震度が地震動のどの周期帯と相関が高いか
調べてみる

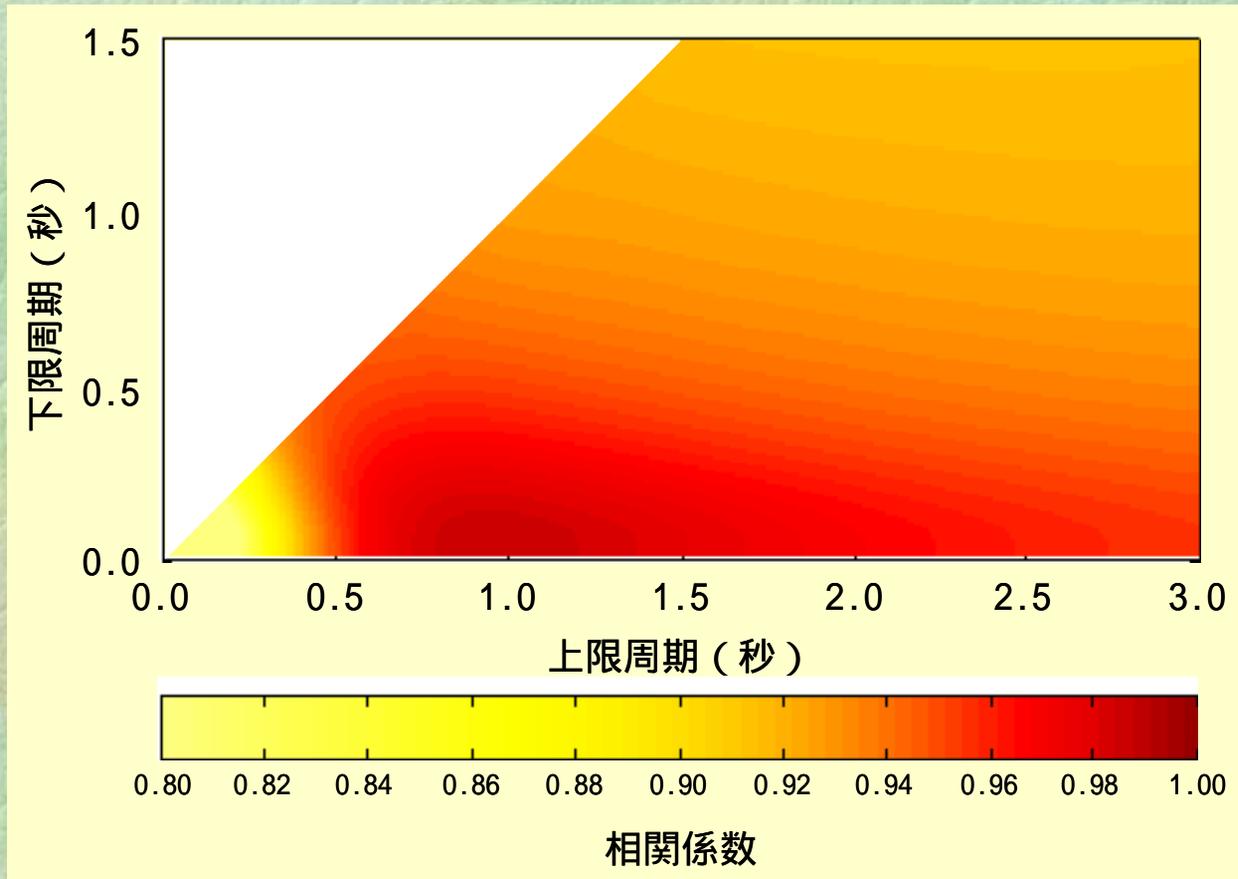
計測震度が相関をもつ応答スペクトルの周期帯

応答スペクトルの何秒(下限周期)から何秒(上限周期)までの平均値を用いれば現行の計測震度と最も対応するかについて検討

1996年5月11日から2001年12月2日までに**K-NET**において現行の計測震度の最大値が5弱以上を記録した地震の5481記録のうち、震度5.5未満の**5469記録**

震度の高低に対するデータ数のアンバランスを補正するために、各震度でデータ数の逆数で重み付けをして回帰分析

応答スペクトルと現行の計測震度の相関係数



0.1 ~ 1秒の平均速度応答が計測震度と最も相関が高い

0.1 ~ 1秒: 人体感覚と相関をもつ周期 (岡田, 2001)

人体感覚: 0.25秒, 室内物品: 0.5秒前後 (翠川・福岡, 1988)

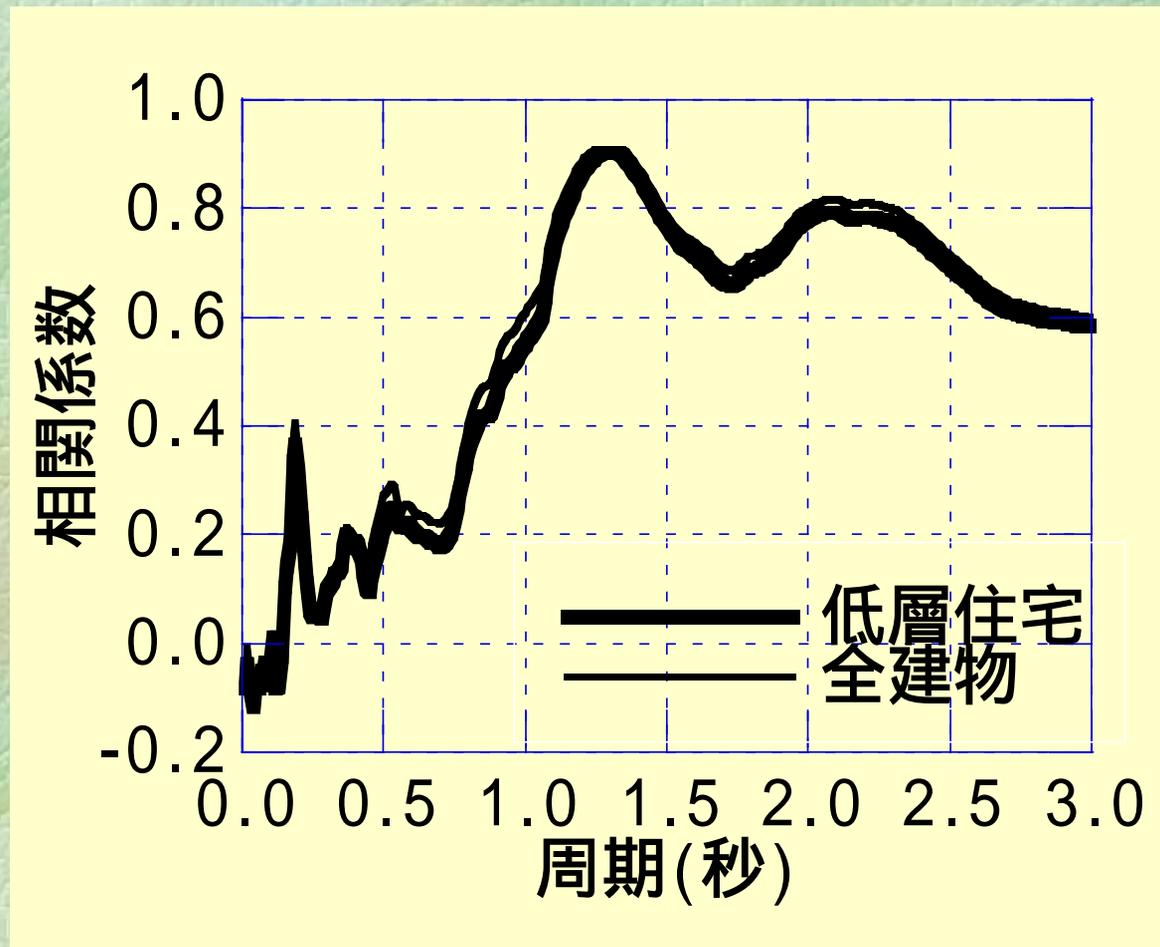
計測震度の問題点

人体感覚と相関をもつ周期帯をそのまま建物被害にも適用している

現行の計測震度が実際の建物被害と対応しないのは、
震度自体の問題ではなく、
現行の計測震度が本来の震度と対応していないため

では、建物被害と相関をもつ周期帯は？

建物被害は地震動のどの周期と相関をもつか



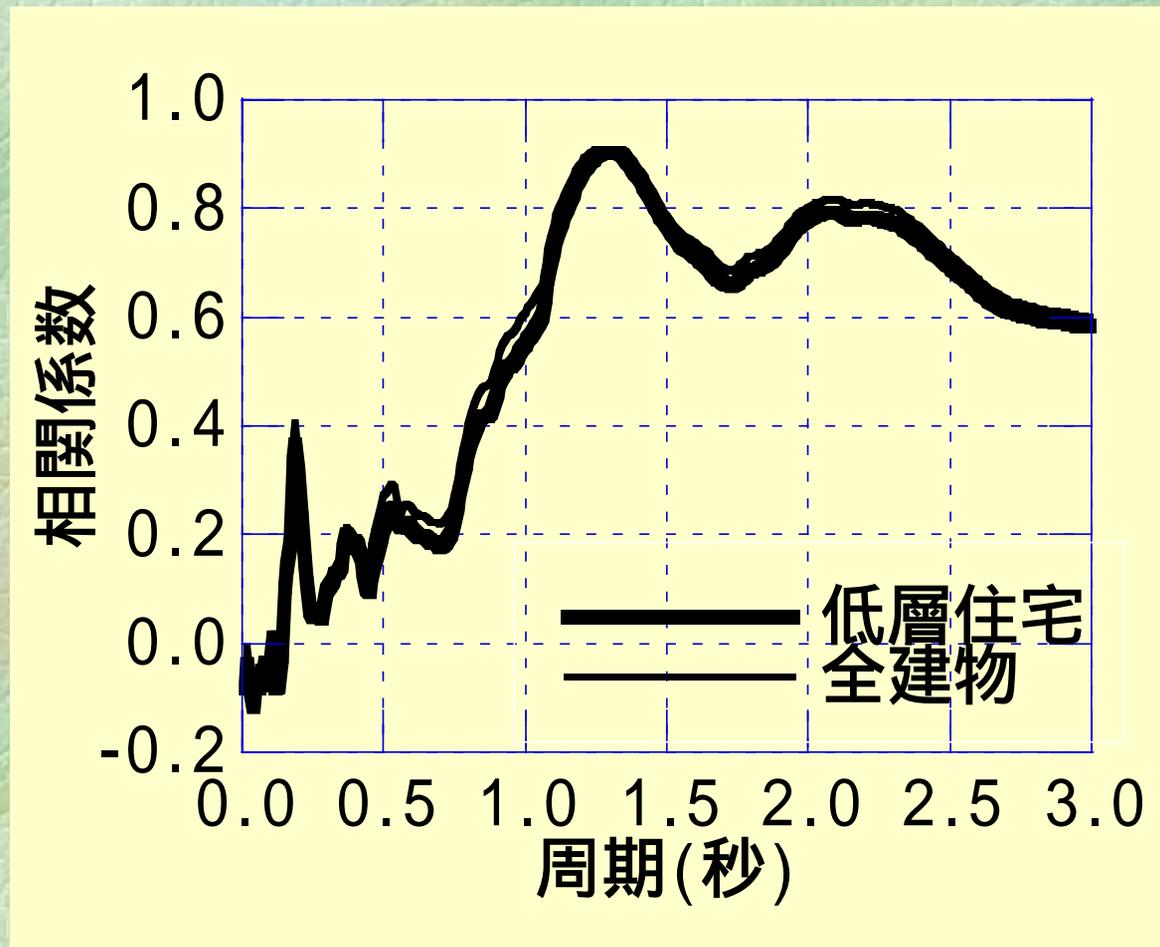
横軸に系の弾性周期、
縦軸に弾性加速度応答 (減衰定数5%) と建物被害率の相関係数

用いた強震記録と被害データ

ID	地震	地点	PGA	PGV	SI	JMA	d1	d2
TKT	1995年兵庫県南部	JR鷹取	742.7	161.9	412.0	6.48	59.4	34.9
FKI	1995年兵庫県南部	葺合	834.0	139.8	376.7	6.49	20.2	15.3
NTT	1995年兵庫県南部	NTT神戸	331.3	91.2	196.1	5.83	16.1	6.1
TKZ	1995年兵庫県南部	JR宝塚	690.4	91.7	234.7	6.15	7.2	6.2
MTY	1995年兵庫県南部	本山第一小	794.0	86.7	228.8	6.12	6.5	5.3
KMA	1995年兵庫県南部	神戸JMA	847.9	96.6	305.3	6.43	3.2	2.5
AMK	1995年兵庫県南部	尼崎高架橋	340.7	57.9	160.7	5.69	2.4	2.2
AMT	1995年兵庫県南部	尼崎竹谷小	551.0	60.2	142.2	5.70	1.7	1.2
SGK	1995年兵庫県南部	関電総合技研	473.2	64.8	160.1	5.74	0.0	0.0
AMH	1995年兵庫県南部	尼崎港	555.9	64.2	180.0	5.95	0.8	0.7
RKI	1995年兵庫県南部	六甲アイランド	368.0	79.8	164.5	5.70	0.0	0.0
SOS	1995年兵庫県南部	JR新大阪	253.0	41.5	105.4	5.42	0.0	0.0
OSK	1995年兵庫県南部	大阪JMA	83.1	19.5	43.4	4.54	0.0	0.0
HCH	1994年三陸はるか沖	八戸市庁舎	433.7	49.2	146.5	5.82	1.9	3.1
SKM	2000年鳥取県西部	境港測候所	762.6	88.3	211.8	6.01	1.1	1.1
YNG	2000年鳥取県西部	K-net米子	435.6	54.1	163.9	5.82	0.0	0.0
KSR	1993年釧路沖	釧路JMA	752.3	45.8	149.3	5.95	0.0	0.0
OTB	1993年北海道南西沖余震	乙部小	1615.6	58.3	159.7	6.15	0.0	0.0
ONO	2001年芸予	K-net大野	450.4	32.6	101.9	5.63	0.0	0.0
TYO	2001年芸予	K-net東予	509.3	33.4	102.9	5.57	0.0	0.0
MHR	2001年芸予	K-net三原	641.6	11.8	41.1	4.98	0.0	0.0
MJ1	1997年鹿児島県北西部3/26	宮之城	542.8	37.7	95.9	5.53	0.0	0.0
MJ2	1997年鹿児島県北西部5/13	宮之城	978.0	47.5	139.8	5.92	0.0	0.0

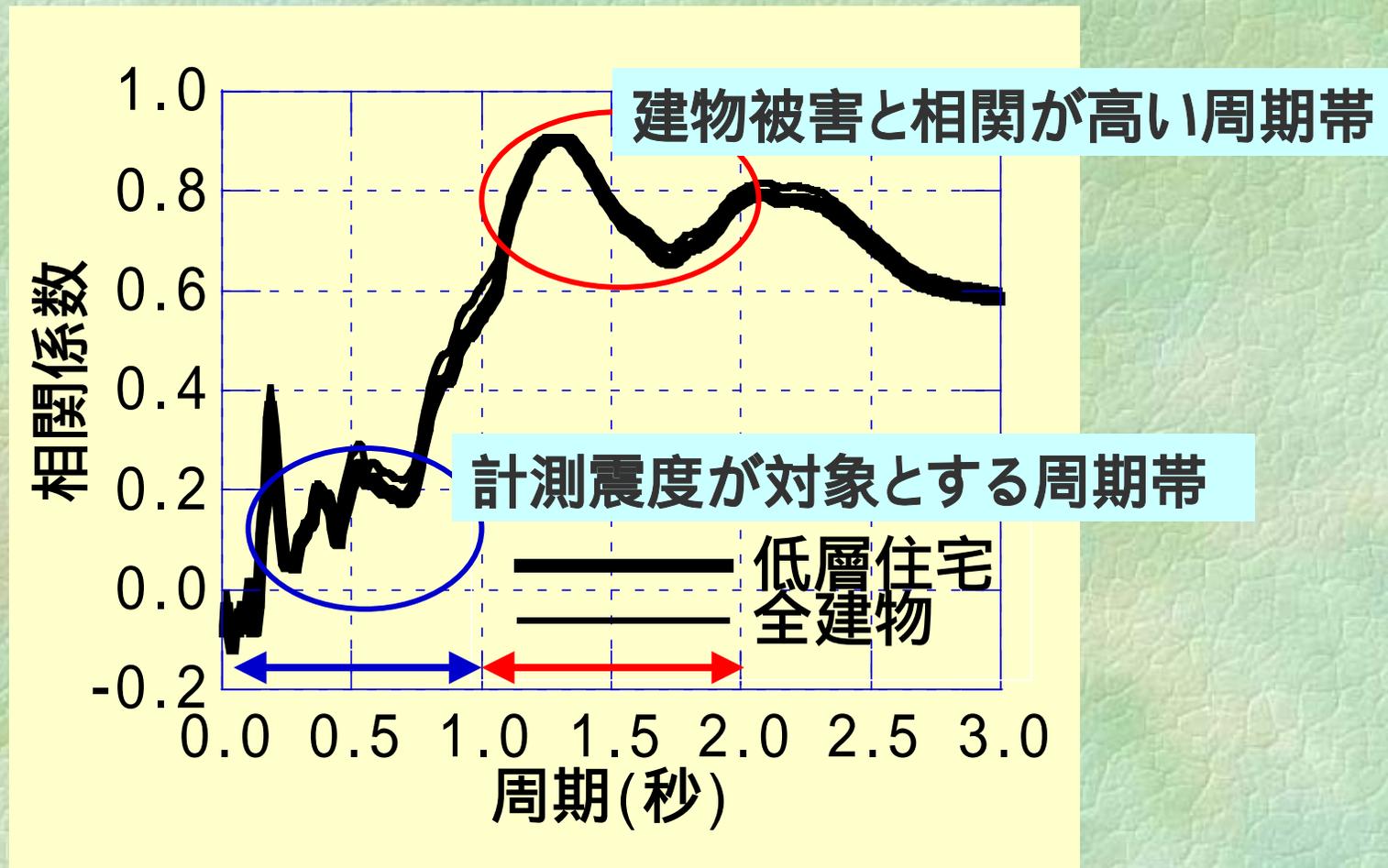
ここで、PGA: 地動最大加速度(cm/s^2), PGV: 地動最大速度(cm/s), SI: スペクトル強度(cm), JMA: 気象庁計測震度(*がついたものは水平2成分による値), d1: 観測地点周辺における大破以上の低層住宅の割合(%), d2: 観測地点周辺における大破以上の建物の割合(%), MA: 気象台(Meteorological Agency)

建物被害は地震動のどの周期と相関をもつか



横軸に系の弾性周期、
縦軸に弾性加速度応答 (減衰定数5%) と建物被害率の相関係数

建物被害は地震動のどの周期と相関をもつか



1.2 ~ 1.5秒あるいはやや範囲を広げて1 ~ 2秒

高震度: この周期帯の応答スペクトルを用いて定式化すべき

震度算定方法の提案

高震度 (5.5以上) :

建物被害と相関をもつ1～2秒の応答スペクトルを用いて定式化

低震度 (5.5未満) :

現行の計測震度と最も相関が高い

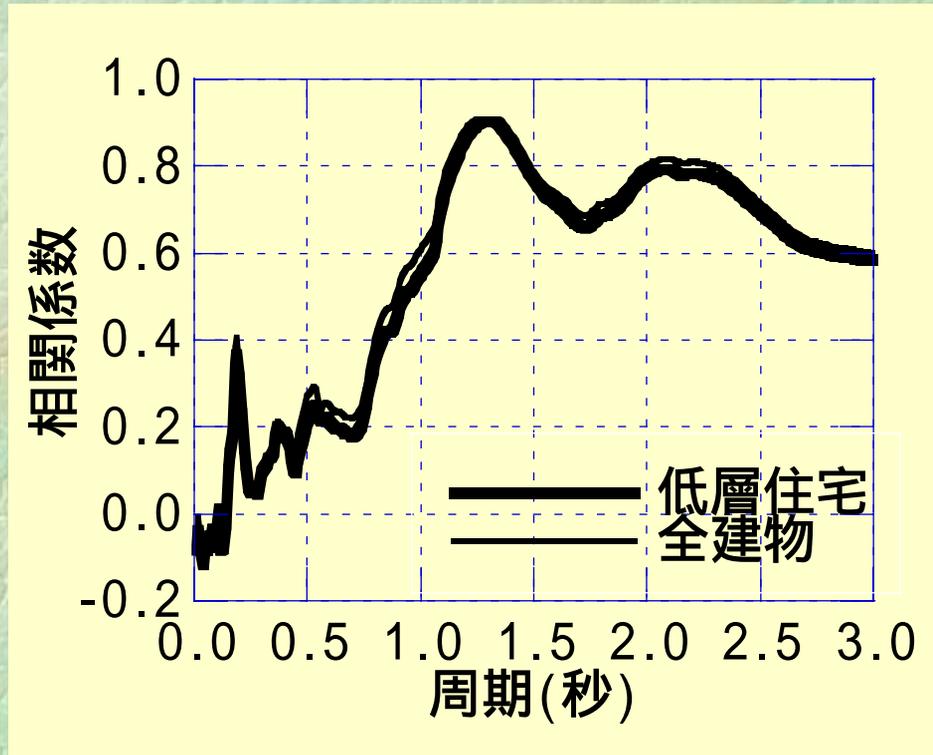
0.1～1秒の応答スペクトルを用いて定式化

(人体感覚や室内物品の動きと対応)

1996年の計測震度以前の震度に対応するもの、即ち、
本来の震度を正確に「計測」できるものを提案することを目的

高震度における定式化

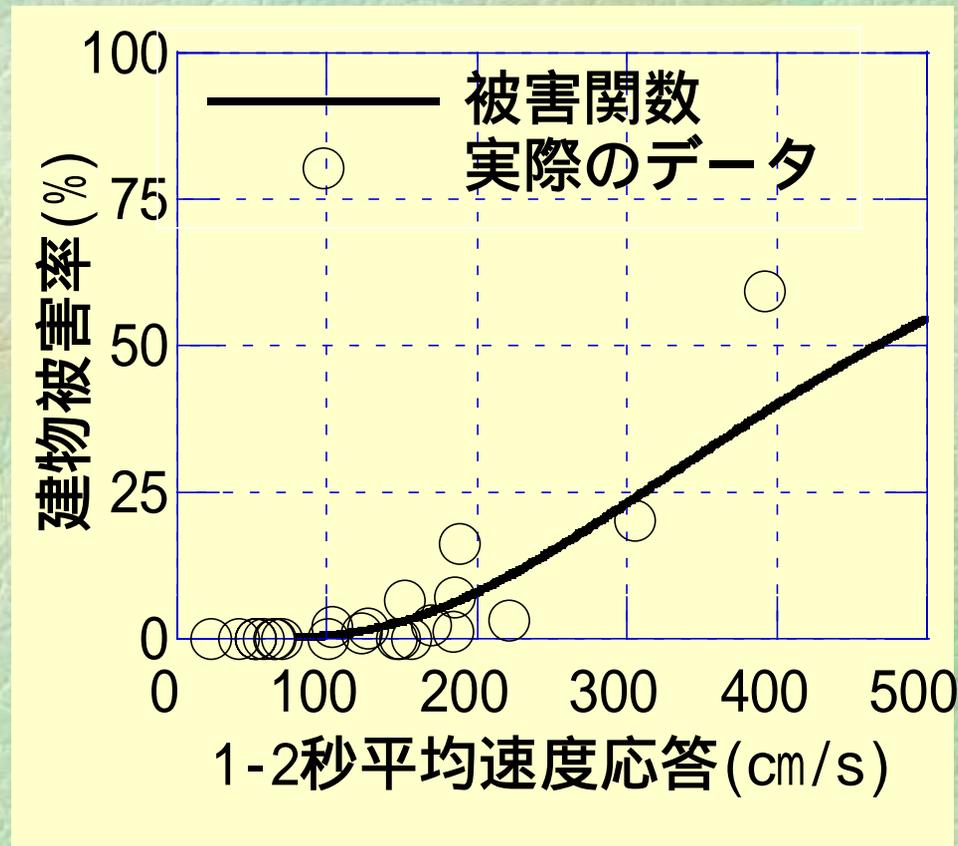
高震度 (5.5以上) を建物被害率と強い相関をもつ
1～2秒程度の弾性応答を用いて定式化



高震度における定式化

建物被害率を1～2秒平均速度応答 V_1 で表現（被害関数）

$$D = (-10.3 + 3.84 \cdot \log(V_1)), \quad (x): \text{標準正規分布の累積確率}$$



高震度における定式化

建物被害率D(%)を1～2秒平均速度応答 V_1 で表現(被害関数)

$$D = (-10.3 + 3.84 * \log(V_1))$$

(x): 標準正規分布の累積確率

震度の被害関数(岡田・高井, 1999を若干修正)

$$D = (-12.03 + 1.77 * J)$$

D: 建物被害率(%), J: 震度, (x): 標準正規分布の累積確率

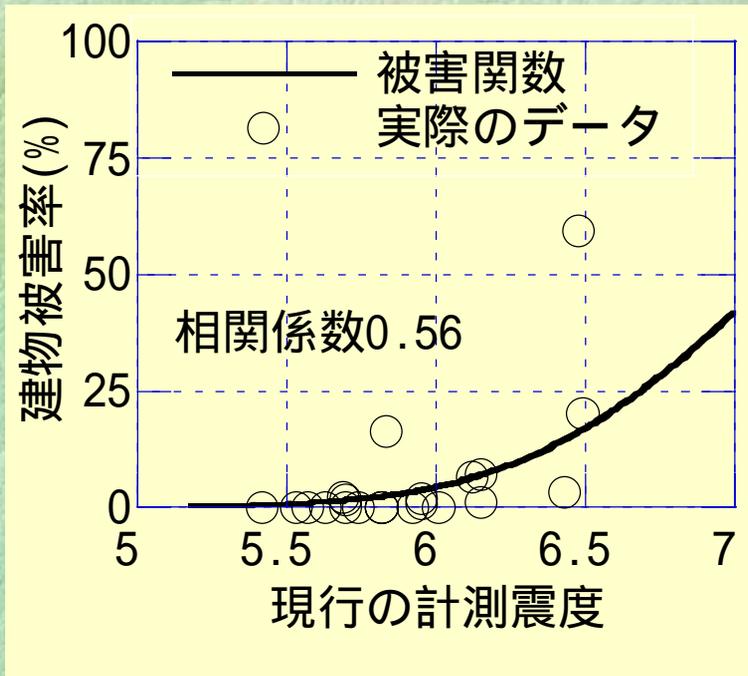


$$\begin{aligned} J &= (-1 * (-10.3 + 3.84 * \log(V_1)) + 12.03) / 1.77 \\ &= 1.00 + 2.17 * \log(V_1) \end{aligned}$$

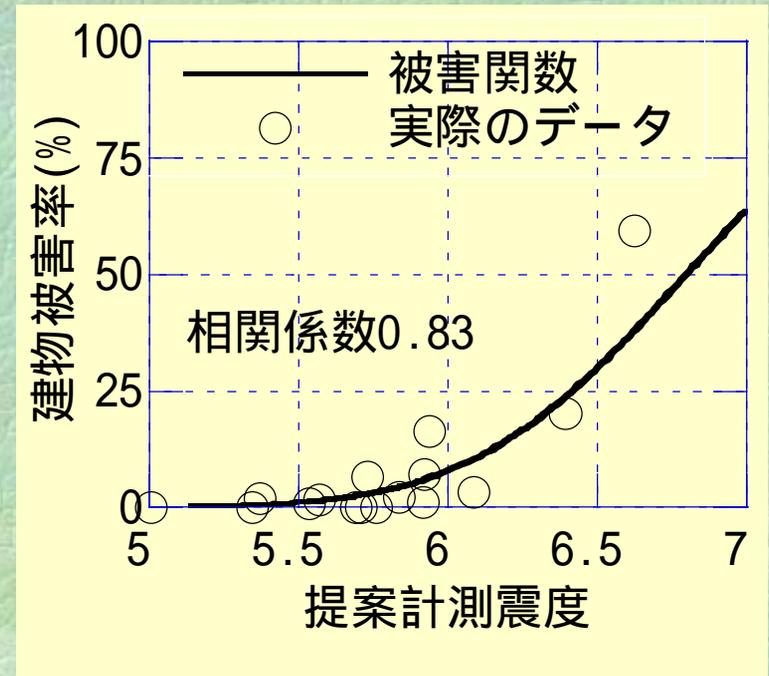
V_1 : 1～2秒平均速度応答(cm/s)

提案計測震度(高震度(5.5以上))

$$I_{V_1} = 2.17 * \log(V_1) + 1.00 \quad V_1: 1 \sim 2\text{秒平均速度応答 (cm/s)}$$



現行計測震度

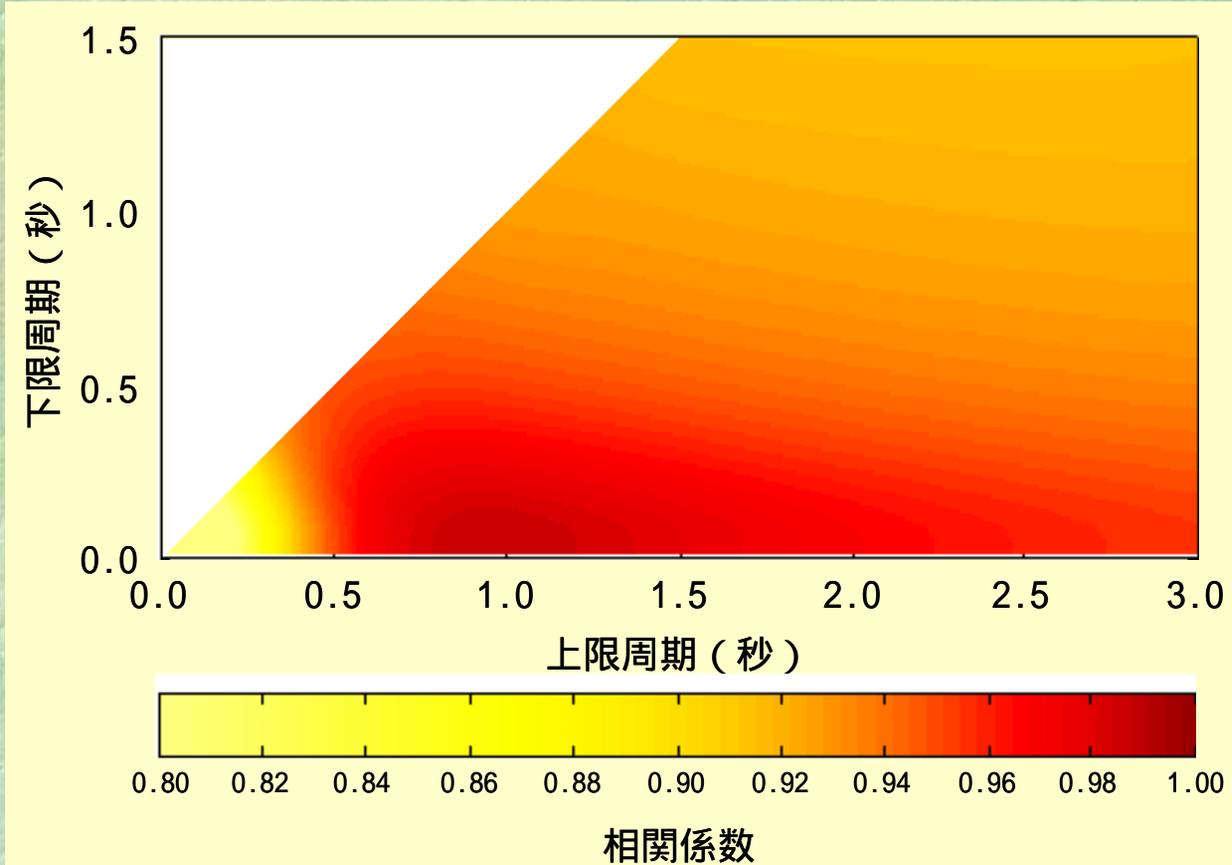


提案計測震度

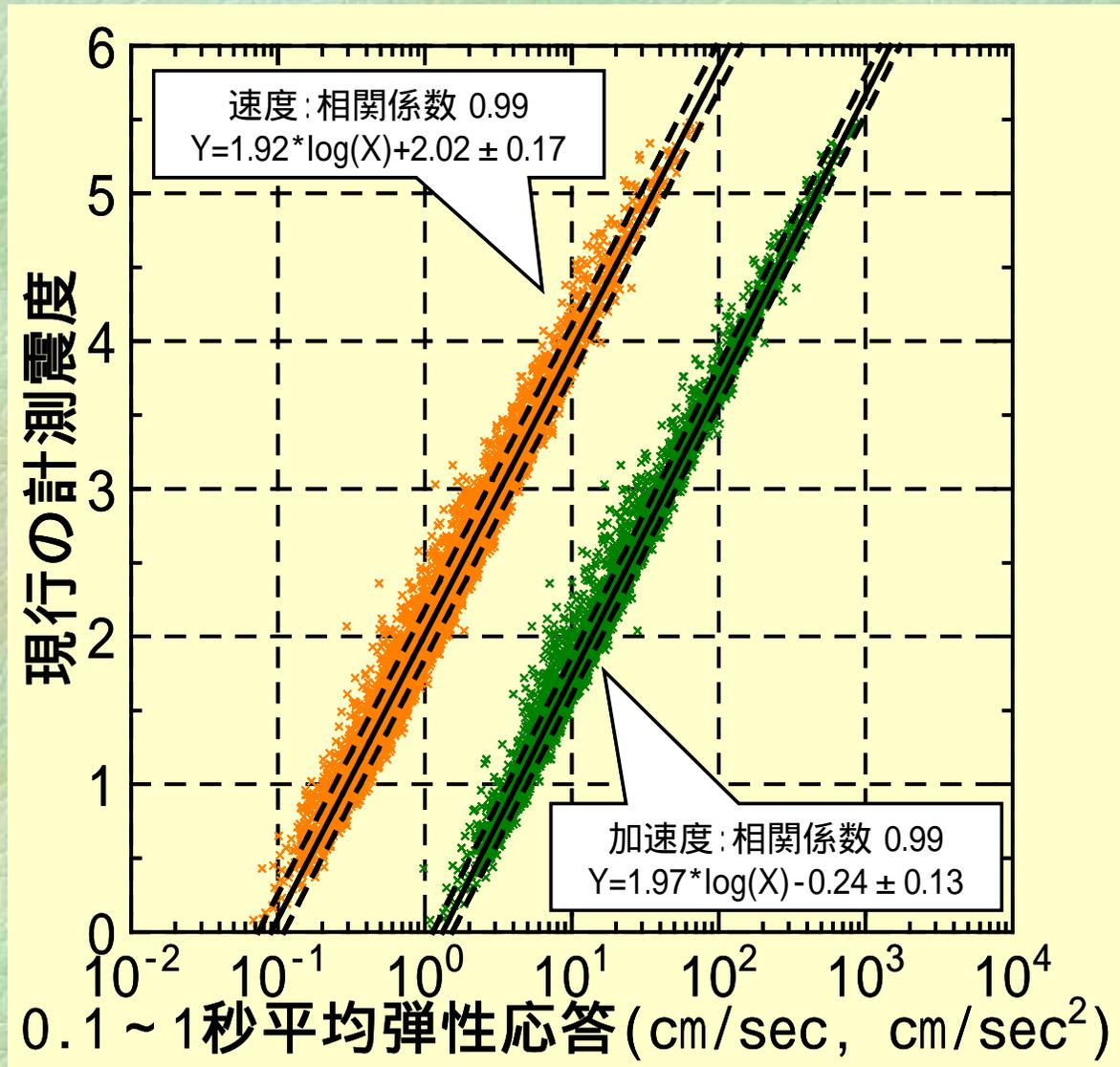
低震度における定式化

現行の計測震度と最も相関が高いもつ
0.1～1秒の弾性応答を用いて定式化

現行の計測震度を0.1～1秒の弾性応答で表現する

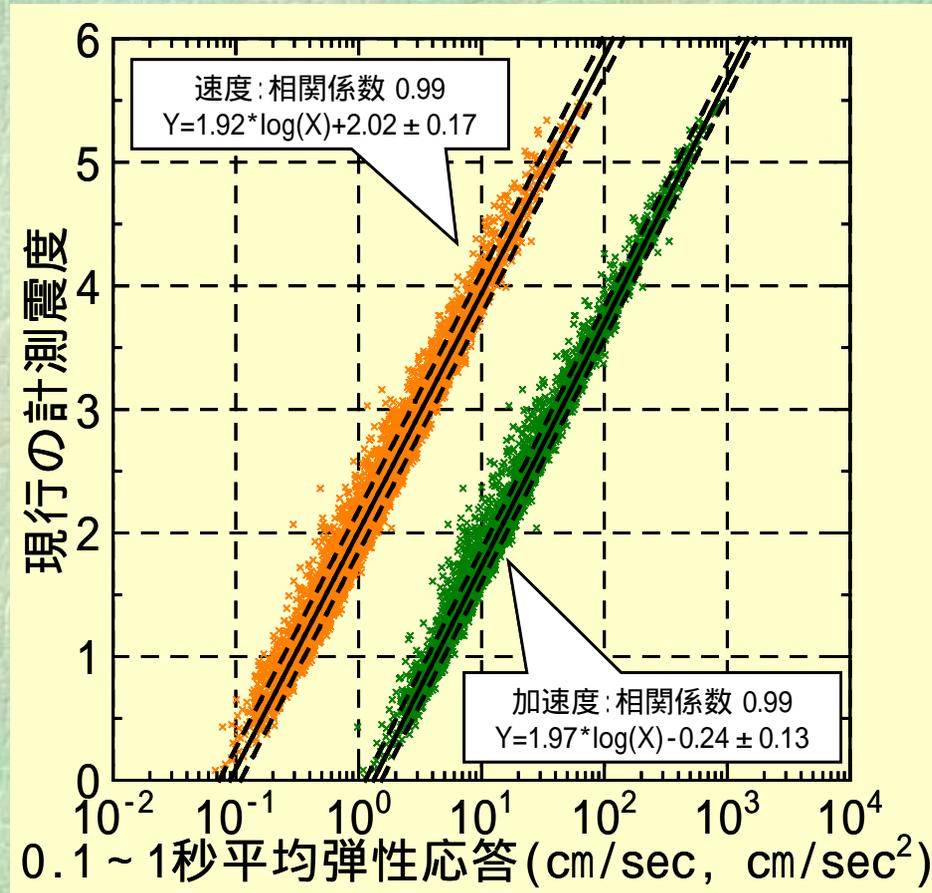


現行の計測震度と0.1～1秒平均弾性応答の関係



低震度(5.5未満)

$$I_{V_2} = 1.92 * \log(V_2) + 2.02 \quad V_2: 0.1 \sim 1 \text{秒平均速度応答 (cm/s)}$$



現行の計測震度と0.1 ~ 1秒平均弾性応答の関係

最終的な提案計測震度

高震度（震度5.5以上）

$$I_{V_1} = 2.17 * \log(V_1) + 1.00 \quad V_1: 1 \sim 2 \text{秒平均速度応答 (cm/s)}$$

低震度（震度5.5未満）

$$I_{V_2} = 1.92 * \log(V_2) + 2.02 \quad V_2: 0.1 \sim 1 \text{秒平均速度応答 (cm/s)}$$

これらを組み合わせて算定

しかしながら、

同じ記録を用いても高震度の式と低震度の式では異なる値が算出

算出された値が高震度の式で5.5以上、

低震度の式で5.5未満となるとは限らない

最終的な震度を求めるアルゴリズムは慎重に決定する必要

提案計測震度を求めるアルゴリズム

高震度（震度5.5以上）

$$I_{V_1} = 2.17 * \log(V_1) + 1.00 \quad V_1: 1 \sim 2 \text{秒平均速度応答 (cm/s)}$$

低震度（震度5.5未満）

$$I_{V_2} = 1.92 * \log(V_2) + 2.02 \quad V_2: 0.1 \sim 1 \text{秒平均速度応答 (cm/s)}$$

高震度の式の値が5.5以上となる(Case1)

大きな建物被害が出ている可能性が高いので
低震度の式の値にかかわらず、高震度の式の値をそのまま採用

高震度、低震度の式でいずれも5.5未満となる場合 (Case 2)

人体感覚を優先し、低震度の式の値を採用

問題となるのは、高震度の式で5.5未満となり、
低震度の式で5.5以上となる場合 (Case 3)

高震度の式で5.5未満となり、 低震度の式で5.5以上となる場合 (Case 3)

2000年の新島・神津島近海を震源とする地震、鳥取県西部地震、2001年芸予地震において震度6弱あるいは6強を記録したにもかかわらず、被害はさほどでもなかったものは、まさにこのケース

体感是非常に大きいが大きな建物被害はほとんど生じない、
というケースであり、判断が難しい

体感と被害の両方を考慮に入れるために、
 I_{V1} と I_{V2} がそれぞれ建物被害と人体感覚を、
震度という同じ尺度で評価しているものと考え、
 I_{V1} と I_{V2} の平均値とした

1996年以前の震度の定義

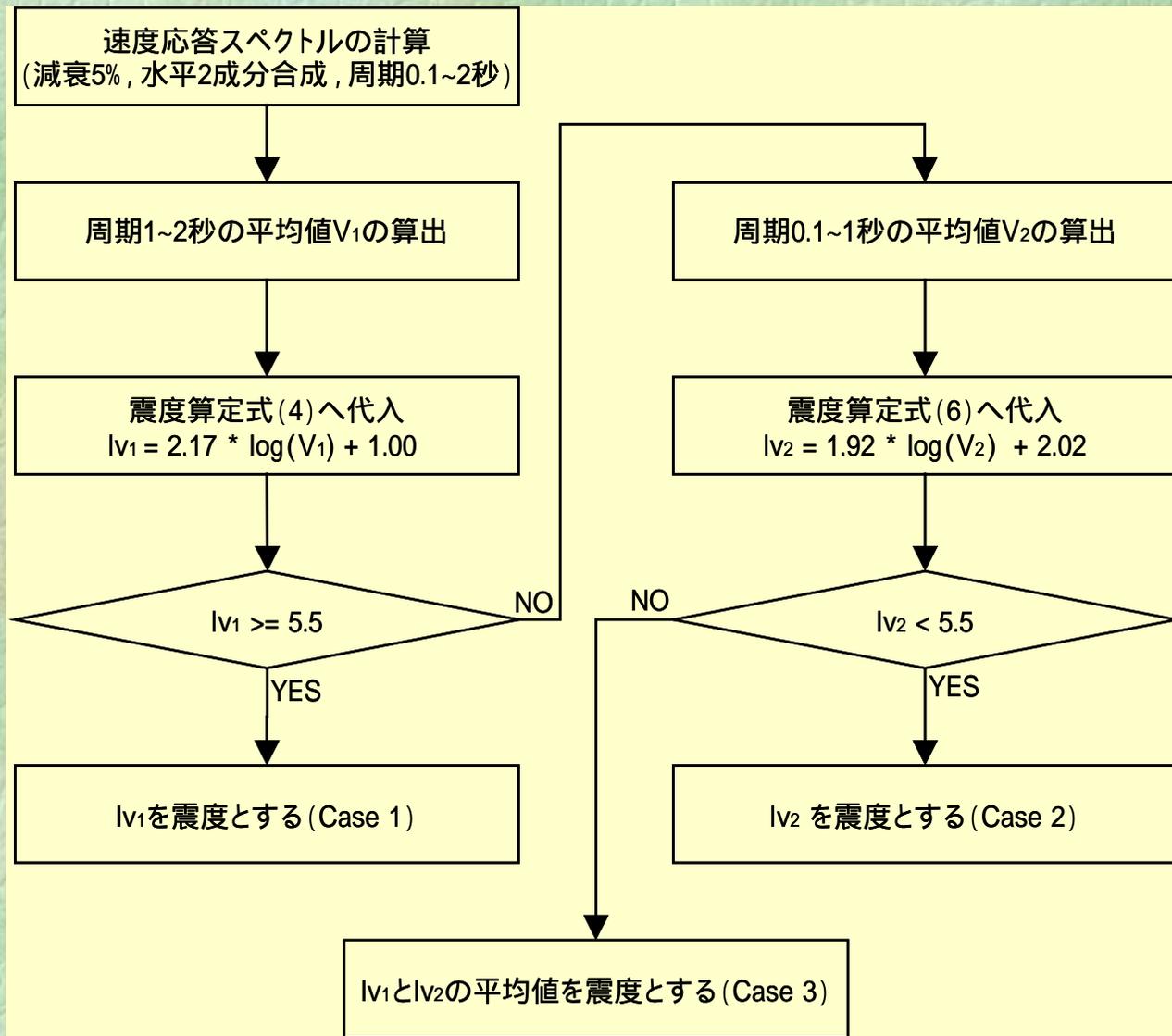
昭和24（1949）年～平成 8（1996）年		参考事項（昭和53年）
地震津波業務規則 別表第 4 付表による		地震観測指針（観測編）（1991年版）による
階級	説明	
0	無感。人体に感じないで地震計に記録される程度。	吊り下げ物がわずかにゆれるのが目視されたり、カタカタと音がきこえても、体にゆれを感じなければ無感である。
	微震。静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震。	静かにしている場合にゆれをわずかに感じ、その時間も長くない。立っている場合は感じない場合が多い。
	軽震。大勢の人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかるくらいの地震。	吊り下げ物が動くのがわかり、立っている場合に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。眠っていても目をさますことがある。
	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ゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。	ちょっと驚くほどに感じ、眠っている人も目をさますが、戸外に飛び出すまでないし、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。
	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、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震。	眠っている人は飛び起き、恐怖感を覚える。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っても、まだ被害らしいものではない。軽いめまいを覚える。
	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。	立っ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じめる。軟弱な地盤では割れたりくずれたりする。すわりに悪い家具は倒れる。
	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、多くの人々が立っていることができない程度の地震。	歩行はむずかしく、はわないと動けない。
	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。	

**震度Ⅳ以下の低震度は
人体感覚や室内物品の動き**

震度Ⅴでは中小被害も

**震度Ⅴ以上特にⅥ以上の
高震度は建物被害**

提案計測震度を求めるアルゴリズム



現行の計測震度と提案計測震度の比較

地震	地点	I_M	I_{V1}	I_{V2}	I_P	C	d
1995年兵庫県南部	JR鷹取	6.48*	6.63	6.07	6.63	1	59.4
1995年兵庫県南部	葦合	6.49*	6.39	6.13	6.39	1	20.2
1995年兵庫県南部	NTT神戸	5.83	5.94	5.53	5.94	1	16.1
1995年兵庫県南部	JR宝塚	6.15	5.92	6.03	5.92	1	7.2
1995年兵庫県南部	本山第一小	6.12	5.73	5.83	5.73	1	6.5
1995年兵庫県南部	神戸JMA	6.43	6.09	6.36	6.09	1	3.2
1995年兵庫県南部	尼崎高架橋	5.69	5.84	5.55	5.84	1	2.4
1995年兵庫県南部	尼崎竹谷小	5.70	5.57	5.66	5.57	1	1.7
1995年兵庫県南部	尼崎港	5.74	5.70	5.46	5.70	1	0.0
1995年兵庫県南部	関電総合技研	5.95	5.54	5.94	5.54	1	0.8
1995年兵庫県南部	六甲アイランド	5.70	5.71	5.38	5.71	1	0.0
1995年兵庫県南部	JR新大阪	5.42	5.01	5.33	5.33	2	0.0
1995年兵庫県南部	大阪JMA	4.54	4.49	4.40	4.40	2	0.0
1994年三陸はるか沖	八戸市庁舎	5.82	5.37	5.77	5.57	3	1.9
2000年鳥取県西部	境港測候所	6.01	5.92	5.84	5.92	1	1.1
2000年鳥取県西部	K-NET米子	5.82	5.76	5.54	5.76	1	0.0
1993年釧路沖	釧路JMA	5.95*	5.35	5.93	5.64	3	0.0
1993年北海道南西沖余震	乙部小	6.15	4.92	5.95	5.44	3	0.0
2001年芸予	K-NET大野	5.63	4.82	5.73	5.27	3	0.0
2001年芸予	K-NET東予	5.57	4.73	5.59	5.16	3	0.0
2001年芸予	K-NET三原	4.98	3.90	4.77	4.77	2	0.0
1997年鹿児島県北西部3/26	K-NET宮之城	5.53	4.72	5.49	5.49	2	0.0
1997年鹿児島県北西部5/13	K-NET宮之城	5.92	4.93	5.84	5.39	3	0.0

I_M : 現行の計測震度 (*がついたものは水平2成分による値), I_{V1} : 式(4)による I_{V1} , I_{V2} : 式(6)による I_{V2} , I_P : Fig. 5のアルゴリズムによって求めた提案計測震度, C: 本文中のCase ?の?, d: 観測地点周辺における大破・全壊以上の低層住宅の割合(%).

まとめ

計測震度の問題点: 人体感覚や室内物品の動きに相関のある周期帯(0.1~1秒)で建物被害も予測しようとしていること

応答スペクトルを用いて

本来の震度を正確に「計測」できる震度算定方法を提案

基本的には現行の計測震度をベースに問題のある高震度を修正

提案する震度算定方法:

- ・震度6以上の高震度:

建物被害率と強い相関をもつ1-2秒の平均弾性応答で

- ・震度5以下の低震度:

現行の計測震度と最も相関が高い0.1-1秒

(人体感覚や室内物品の動きに対応)の平均弾性応答で表現

震度6以上では建物被害率と強い相関をもち、

震度5以下では人体感覚や室内物品の動きに対応したもの

今後の検討

震度にこだわるのか？

基になる指標に何を使うか？

震度の高低による、周期帯の変化

これらをどう組み合わせるか？

震度の被害関数

歴史地震との連続性: 震度の被害関数とも関連

今後の建物の耐震性能の変化

建物の耐震性能の地方性

震度研究会

太田 裕(東濃地震科学研究所)
岡田成幸(北海道大学工学部)
神野達夫(広島大学工学部)
北川良和(慶應義塾大学理工学部)
清野純史(京都大学工学研究科)
工藤一嘉(東京大学地震研究所)
纈纈一起(東京大学地震研究所)
境 有紀(筑波大学機能工学系)
武村雅之(鹿島)
林 康裕(京都大学防災研究所)
翠川三郎(東京工業大学総合理工学研究科)
目黒公郎(東京大学生産技術研究所)

1996年以前の震度の定義

昭和24(1949)年～平成8(1996)年		参考事項(昭和53年)
地震津波業務規則 別表第4付表による		地震観測指針(観測編)(1991年版)による
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。	吊り下げ物がわずかにゆれるのが目視されたり、カタカタと音が聞こえても、体にゆれを感じなければ無感である。
	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。	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。立っでは感じない場合が多い。
	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くらいの地震。	吊り下げ物が動くのがわかり、立っで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。眠っでも目をさますことがある。
	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ゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。	ちょっと驚くほどに感じ、眠っている人も目をさますが、戸外に飛び出すまでないし、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。
	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、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震。	眠っている人は飛び起き、恐怖感を覚える。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っても、まだ被害らしいものではない。軽いめまいを覚える。
	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。	立っ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じめる。軟弱な地盤では割れたりくずれたりする。すわりに悪い家具は倒れる。
	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、多くの人々が立っていることができない程度の地震。	歩行はむずかしく、はわないと動けない。
	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。	

1996年以前の震度の定義

昭和24（1949）年～平成 8（1996）年		参考事項（昭和53年）
地震津波業務規則 別表第 4 付表による		地震観測指針（観測編）（1991年版）による
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。	吊り下げ物がわずかにゆれるのが目視されたり、カタカ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。
	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。	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。立っている場合は感じない場合が多い。
	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くらいの地震。	吊り下げ物が動くのがわかり、立っている場合に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。眠っていても目をさますことがある。
	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ゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。	ちょっと驚くほどに感じ、眠っている人も目をさますが、戸外に飛び出すまでないし、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。
	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、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震。	眠っている人は飛び起き、恐怖感を覚える。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っても、まだ被害らしいものではない。軽いめまいを覚える。
	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。	立っ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じめる。軟弱な地盤では割れたりくずれたりする。すわりに悪い家具は倒れる。
	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、多くの人々が立っていることができない程度の地震。	歩行はむずかしく、はわないと動けない。
	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。	

**震度Ⅳ以下の低震度は
人体感覚や室内物品の動き**

**震度Ⅴ以上特にⅥ以上の
高震度は建物被害**

震度に関する要検討事項

震度にこだわるのか？

基になる指標に何を使うか？

震度の高低による、周期帯の変化

これらをどう組み合わせるか？

震度の被害関数

歴史地震との連続性: 震度の被害関数とも関連

今後の建物の耐震性能の変化

建物の耐震性能の地方性

建物被害と相関をもつ地震動の破壊力指標

1999年台湾集集地震、あるいは
1995年兵庫県南部地震その他の日本で発生した地震の
強震記録とその周辺建物被害データを用いた解析

地動最大加速度、地動最大速度、スペクトル強度、計測震度などの
従来の地震動の破壊力指標では、
建物被害を的確に予測できないことを指摘

1.2～1.5秒、あるいはやや範囲を広げて1～2秒程度の弾性応答が
実際の建物被害と強い相関をもつことを示し、
これを地震動の破壊力指標として用いることを提案

震度5以上を対象として、
建物被害と相関をもつように本指標を用いた震度算定方法を提案

本研究の目的

震度5以下についても震度5以上と同様に
応答スペクトルから算定する方法について検討

低震度から高震度までの震度全体を
応答スペクトルから算定する方法を提案

震度に対する考え方

古くから存在し、地震直後の対応に用いられたり、過去の地震における被害レベルも震度で表現されるなど、広く浸透

現行の計測震度が実際の建物被害と対応しないのは、震度自体の問題ではなく、現行の計測震度が本来の震度と充分に対応していないため

1996年の計測震度以前の震度に対応するもの、即ち、本来の震度を正確に「計測」できるものを提案することを目的

本来の震度

高震度 (V以上) は建物被害による記述が含まれている
低震度 (V以下) では、主として人体感覚によって定義

高震度では建物被害と対応するように、
低震度では人体感覚と整合するように設定することが必要

震度算定方法の基本方針

高震度：建物被害率と強い相関をもつ
1～2秒の平均弾性応答を用いて定式化

低震度：現行計測震度のフィルター特性は人体感覚に対応
(岡田, 2001)

現行の計測震度をそのまま用いることも選択肢の1つ

現行の計測震度の算出方法は非常に複雑でわかりにくい
低震度も応答スペクトルで表現できれば、
全ての震度を応答スペクトルのみで算定できる

低震度を現行の計測震度と整合するように、
応答スペクトルから震度を算定する方法について検討

高震度と低震度の境界：家屋の倒壊という大きな被害に言及しているのはVI以上であることから、震度VIの下限である5.5