

既存 RC 造学校校舎の 耐震診断結果に基づいた地震リスク評価

根口 百世* 南 宏一**

Evaluation of Seismic Risk of Existing RC School Buildings Based on Seismic Performance Index

Momoyo NEGUCHI* and Koichi MINAMI**

ABSTRACT

In this study, a damage rate curve is build with quakeproof diagnosis results of existing RC school buildings of Kochi. Based on the damage rate, a repair cost when buildings received the earthquake damage is compared with a cost to be necessary for quakeproof reinforcement and examined. As a result, if an existing school building is reinforced and predicted whether it is the most appropriate in an anti-expense effect to do how much reinforcement.

キーワード：学校校舎，耐震診断，耐震性能，地震リスク評価，地震被害予測

Keywords: School Buildings, Seismic Evaluation, Seismic Performance, Evaluation of Seismic Risk, Prediction of Seismic Damage

1. はじめに

前報^[1]では，保有する構造耐震指標（以下， I_s 値という）が小さい建物ほど， I_s 値を大きくすることで被害率を低減する効果は高いということが報告し，また，補修コストを考慮した場合， I_s 値を単純に大きくすることが必ずしも良いとはいえず， I_s 値がどの程度の建物を耐震補強すれば対費用効果があるのかということについて，耐震補強コストと地震被害を受けた場合の補修コストの比較を行う必要があることも指摘した。

そこで，本研究では，四国耐震診断評定会に提出された，高知県の既存 RC 造学校校舎の耐震診断結果に基づいて被害率曲線を構築し，以下のことについて検討する。

(1) 耐震補強に必要なコストと，地震被害を受けた場

合に必要な補修コストとの比較を行う。

(2) 現在保有している I_s 値に対して，対費用効果において，より効果があるのは耐震補強と補修のどちらであるかを検討する。

2. 既往の研究

以下に，耐震補強コストおよび地震被害を受けた場合の補修コストについて検討した既往の研究概要を示す。

(1) 平川・神田の研究^{[2], [3]}

兵庫県南部地震で被災した建物の補修コストを調査し，建物の補修コストの平均値と変動値を表1のように求めた。また，被害程度と補修コストの関係を図1のように示し，被害が大きくなるにつれて補修コストの平均値が緩やかに大きくなる傾向があることを述べ

* 大学院博士課程地域空間工学専攻 ** 工学部建築学科

ている。また表1に示されるように、中破と大破の場合の補修コストにあまり差がないことの原因として、使用したデータが補修コストのデータであることを挙げた上で、現実には補修コストが大きくなると、補修せずに建て替えるケースがあるために、実際よりも小さな値である可能性があることを指摘している。以上の他に、文献[3]では、層間変形角を指標とした被害程度も求め、建物の初期建設コストを25 [万円/m²]とし、建物が倒壊した場合には、取り壊し費用として5 [万円/m²]を加算した30 [万円/m²]を用いているのが特徴である。

(2) 林の研究^{[4], [5]}

兵庫県南部地震の実被害データに基づいて、フラジリティ曲線および被害率曲線の構築を行っている。また、平川・神田の研究を基に、表2のように補修コストと被害レベルの関係について検討を行っている。フラジリティ曲線や、地震リスクの評価については、あくまでも平均的なものであり、ばらつきを考慮すると、平均値と大きく離れた値となり得ることに注意が必要であることを指摘している。また、実際の個別建物の地震リスクをより適切に評価・表示するためには、フラジリティ曲線を建物の特性（構造形式や階数など）、地盤条件、地震動特性などを適切に考慮して修正して用いる必要があると述べている。

表1 単位面積当たり補修コストの平均値
(単位：万円/m²)^[2]

		軽微・小破		中破		大破		データ数
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
建物用途	住宅	3.97	7.57	2.35	3.35	5.16	3.01	39
	事務所	3.26	3.86	5.67	6.43	6.39	4.86	84
	その他	2.37	3.39	4.60	6.52	5.06	8.65	87
構造種類	RC造, SRC造	2.90	4.49	4.27	5.32	4.57	3.86	162
	S造	3.69	4.58	7.52	10.31	7.63	10.01	41
	全体	3.01	4.48	4.55	6.01	5.46	6.46	210

表2 補修コストと被害レベル (単位：万円/m²)^[5]

		軽微・小破		中破		大破		データ数
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
建物用途	住宅	4.0	7.6	2.4	3.4	5.2	3.0	39
	事務所	3.3	3.9	5.7	6.4	6.4	4.9	84
	その他	2.4	3.4	4.6	6.5	5.1	8.7	87
構造種類	RC, SRC造	2.9	4.5	4.3	5.3	4.6	3.9	162
	S造	3.7	4.8	7.5	10.2	7.6	10.0	41
	RC(10000m ² 以下)	1.7	1.5	2.6	2.9	4.0	3.3	70
	SRC(10000m ² 以下)	3.3	3.3	6.2	7.2	6.8	6.0	42
全体	3.0	4.5	4.6	6.0	5.5	6.5	210	

(3) 井上の研究^[6]

既存建物の耐震補強によって、地震による期待損失額がどの程度変化するかについて、地震応答解析と地震被害統計による2種類の損傷度評価手法を用いて試算を行っている。地震被害統計による損傷度評価は、(1)および(2)に示した研究を基に行われ、再調達費用を25 [万円/m²]としたときの損失率(再調達費用に対する補修費用の割合)を求めている。地震応答解析と地震被害統計から求めた地震期待損失額には差があることが示されている。

(4) 耐震補強コストの研究^[7]

耐震補強に必要なコストは、文献[7]に示されている。文献[7]では、補強工事が行われた年度を昭和55~57年度、昭和58~60年度、昭和61~63年度の3期に分けて補強コストを集計している。Is値を1上昇させるのに必要な3期の単純な単位床面積当たり工事費の平均はそれぞれ、3.38万円、4.26万円、5.85万円となっている。

(5) 藤堂の研究^[9]

地震損傷度曲線(フラジリティカーブ)の評価とそれと補修コストを組み合わせた地震損失曲線(ロスカブ)の評価例を示している。この結果と地震動強さ

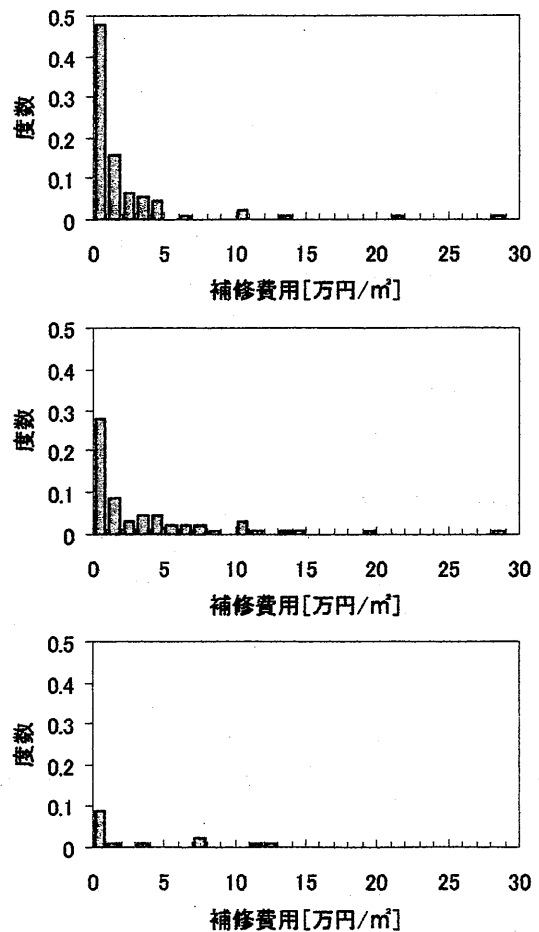


図1 被害程度と補修費用の関係^[3]

の年超過確率曲線（ハザードカーブ）を組み合わせれば地震リスク曲線を評価できることを示した。また，入力地震動強さと建物損傷確率の関係を表す損傷度曲線の評価は，兵庫県南部地震等による被害率と既存建物の耐震性能指標 I_s 値の統計資料に基づいて行い，この評価方法を用いて実被害率を推定できることを示した。損失曲線とリスク曲線の評価に用いる損傷モードに対する補修コストは，実被災建物の補修に要したコストを参考に，対象建物の構造躯体・仕上げ・設備等の耐震性と再調達価格に基づいて設定する必要がある。

(6) 高橋の研究^[10]

建物所有者を防災対策への投資に誘導することを目的として開発された地震リスクマネジメント手法を紹介している。地震リスクマネジメントとは，いくつかの設計案の中から意思決定者にとって最適な案を選ぶ意思決定問題であると定義している。

なお，本研究では地震動そのものについては議論しておらず，地動速度のみを与えられた場合の評価を行っている。

3. 被害率曲線の構築手法

被害率曲線を構築するためには，既知のものとして，建物耐震性能関数 (I_s 値の相対頻度分布) $P(I_s)$ と，被害率の関係を表す建物被害関数 (フラジリティ曲線) P_f が必要である。本報では，文献[4]に示される林の方法に従って被害率曲線を構築する。ここでは，その構築手法について述べる。

3.1 相対頻度分布

相対頻度分布 $P(I_s)$ の構築手法の手順を述べる。 I_s 値の相対頻度分布 $P(I_s)$ は，以下のように示される。

$$P(I_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta} \cdot \frac{1}{I_s} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2} \cdot \frac{(\ln I_s - \lambda)^2}{\zeta^2}\right\} \quad (1)$$

ここで，

$$\mu : I_s \text{ の算術平均, } \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{s_i}$$

$$\sigma : I_s \text{ の標準偏差, } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_{s_i} - \mu)^2}$$

$$\lambda : I_s \text{ の自然対数 } \ln(I_s) \text{ の平均, } \lambda = \ln(\mu) - \frac{1}{2}\zeta^2$$

$$\zeta : I_s \text{ の自然対数 } \ln(I_s) \text{ の標準偏差}$$

$$\zeta^2 = \ln\left[1 + \left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^2\right]$$

以上の方法により求めた相対頻度分布の一例として，

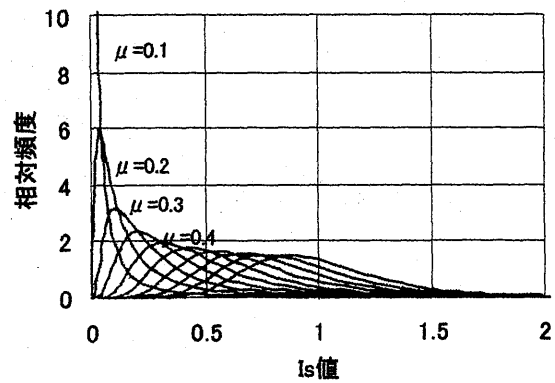


図2 I_s 値相対頻度分布 ($\sigma = 0.3$)

$\sigma = 0.3$ と仮定し， $\mu = 0.1 \sim 2.5$ の場合について描いたものを図2に示す。

3.2 フラジリティ曲線

被害率の関係を表す建物被害関数 (フラジリティ曲線) $P_f(V, I_s)$ は， $\zeta_f(I_s)$ は I_s 値によらず一定とし， P_f が50%となる最大地動速度は I_s 値に比例するものと仮定して以下のように表す。

$$P_f(V, I_s) = \Phi\left[\ln(V) - \frac{\lambda_f(I_s)}{\zeta_f(I_s)}\right] \quad (2)$$

ここで，

Φ : 対数正規分布

V : 最大地動速度

$\lambda_f(I_s)$: 最大地動速度の自然対数 $\ln(V)$ の平均値

$\zeta_f(I_s)$: 最大地動速度の自然対数 $\ln(V)$ の標準偏差

なお， $\lambda_f(I_s)$ および $\zeta_f(I_s)$ は，それぞれ(3)，(4)式で示され，林によって兵庫県南部地震における実際の被害率曲線に適合するように決定されたフラジリティ曲線のパラメータとして設定された値である。

$$\lambda_f(I_s) = \ln\left[V_0 \cdot \left(\frac{I_s}{I_{s0}}\right)\right] \quad (3)$$

$$\zeta_f(I_s) = \zeta_{f0} \quad (4)$$

ここで，兵庫県南部地震において，震度VII地域の I_s 値と被害率の関係から，平均的な最大地動速度値を仮に $V = 130$ [kine] と設定し， $I_{s0} = 0.4$ に対する V_0 および ζ_{f0} を以下のように設定する。

$$V_0 = 50 \text{ [kine]} \text{ (軽微)}$$

$$V_0 = 100 \text{ [kine]} \text{ (小破)}$$

$$V_0 = 150 \text{ [kine]} \text{ (中破)}$$

$$V_0 = 200 \text{ [kine]} \text{ (大破)}$$

$$V_0 = 250 \text{ [kine]} \text{ (倒壊)}$$

$$\zeta_{f0} = 0.6$$

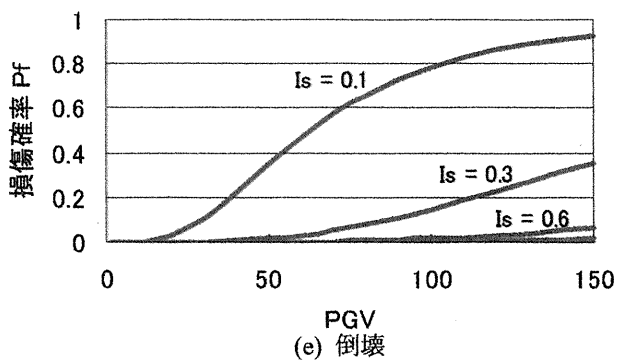
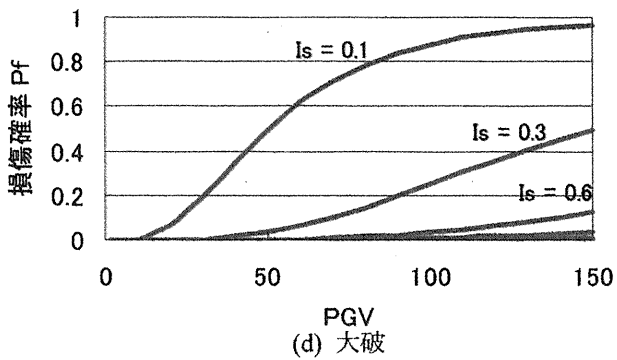
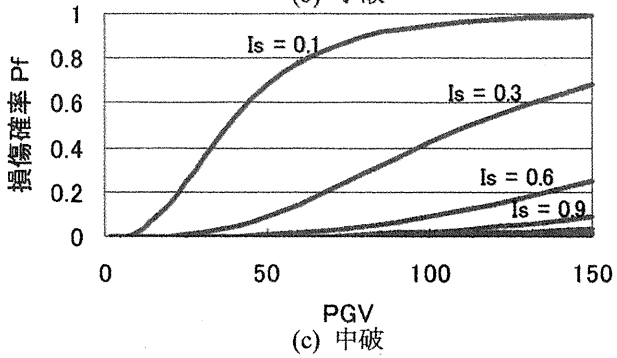
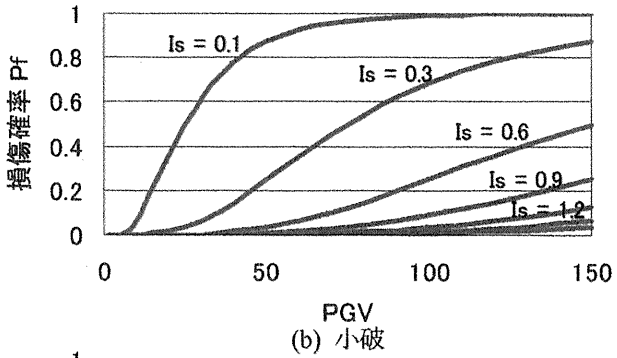
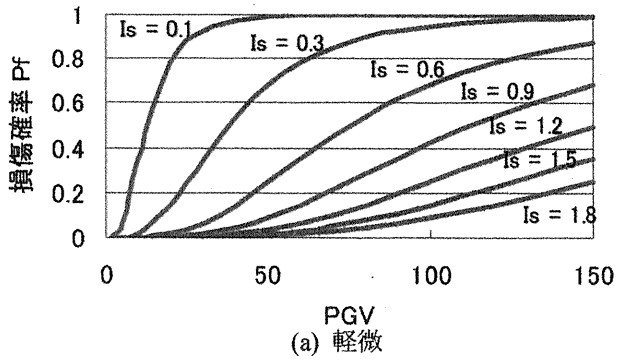


図3 フラジリティ曲線

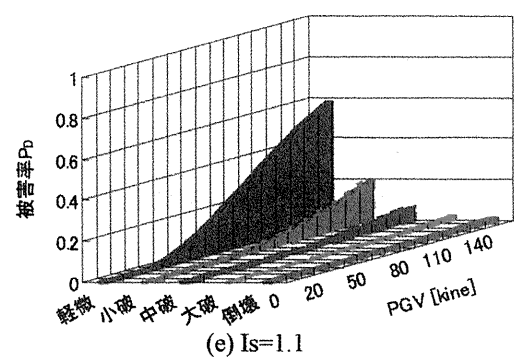
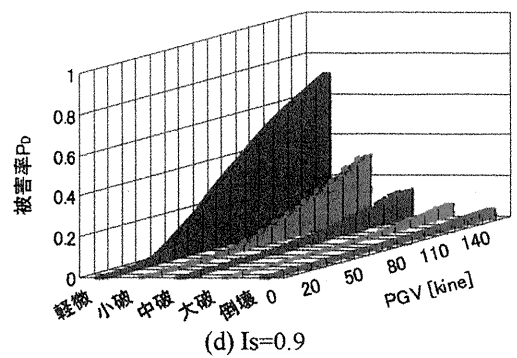
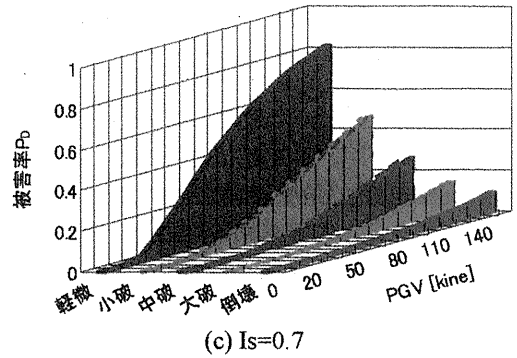
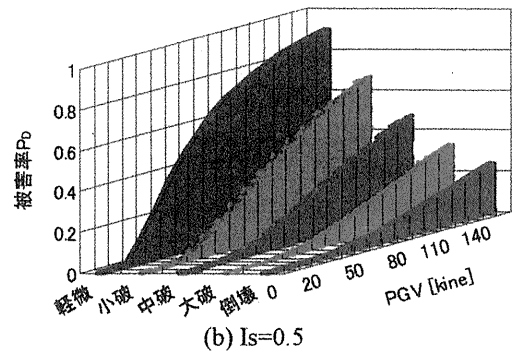
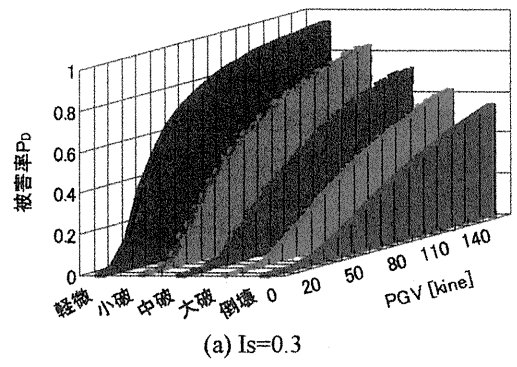


図4 被害率曲線

被害率の関係を表す建物被害関数(フラジリティ曲線) P_f は、被害程度(軽微, 小破, 中破, 大破, 倒壊)ごとに被害率曲線を算出し, そこから, I_s 値ごとの被害率の関係を表す建物被害関数(フラジリティ曲線) P_f を算出する. なお, RC 造建物の被害程度は, 付表 1 のように定義する.

以上の値から(2)式は,

$$P_f(V, I_s) = \Phi \left[\ln(V) - \frac{\ln \left(V_0 \cdot \frac{I_s}{0.4} \right)}{0.6} \right] \quad (5)$$

と表すことができる.

以上の方法により, 被害別に求めたフラジリティ曲線を図 3 に示す. 図 3 は, (a) 軽微から(e) 倒壊までを描いたものであるが, 例えば, ここでいう「軽微」とは, 「軽微以上の被害を受ける」という意味である.

3.3 被害率曲線

3.1 および 3.2 の方法で求めた値を用いて, 被害率曲線 P_D を構築する. 被害率曲線を求める概念図を付図 1 に示す.

被害率曲線 $P_D(V)$ は, (1)式の $P(I_s)$ と(2)式の $P_f(V, I_s)$ を用いて次の式で表される.

$$P_D(V) = \int P(I_s) \cdot P_f(V, I_s) dI_s \quad (6)$$

I_s 値を 0.1~2.5 までとし, その積分幅を 0.1 とすると図 4 のような被害率曲線が得られる. 図 4 の被害率曲線は, I_s が 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1 のときのものである. なお, 図 4 は, 被害率 P_D , 地動速度 PGV および被害ランクの関係を 3 次元空間で表現している. この被害率曲線における被害ランクの軽微, 小破, 中破, 大破は, それぞれそのランク以上の被害を受ける確率を示したものである. 例えば, 軽微な被害を受ける確率のみを知るためには, 図中の軽微の値から小破の値を引いたものとなる.

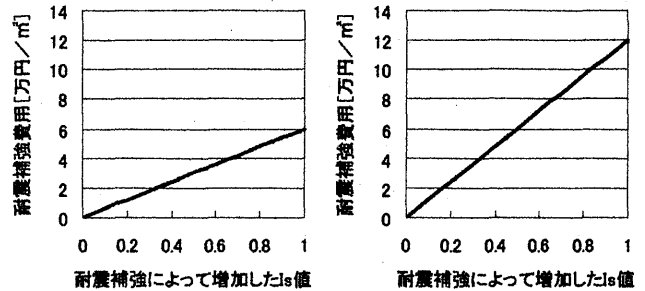
図 4 からは, I_s 値の値が大きいくほど被害率が小さくなっていることが分かる. このことから, 被害率を低減するには I_s 値を増加させることが有効であるといえる. なお, 被害率は個々の建物の被害のしやすさを表すものではないことに注意しなければならない.

4. 耐震補強に必要なコスト

耐震補強に必要なコストは, 文献[7]に示されている. 「2. 既往の研究」で述べたように, 文献[7]では, 補強工事が行われた年度を昭和 55~57 年度, 昭和 58~60 年度, 昭和 61~63 年度の 3 期に分けて補強コストを集計している. ここでは, 昭和 61~63 年度に補強された建物のコストの平均値である 5.85 [万円/($I_s \cdot m^2$)]

を, 簡単のため, 6 [万円/($I_s \cdot m^2$)] とした場合と 12 [万円/($I_s \cdot m^2$)] の場合について検討する. 図 5 は, 横軸に耐震補強によって増加した I_s 値を, 縦軸に耐震補強に必要なコストを示したものであるが, いずれにおいても, 耐震補強によって増加した I_s 値に対して, 必要とする耐震補強コストが比例関係にあると仮定していることに注目すべきである.

文献[7]に示されているのは, 静岡県の場合であるが, 各都道府県あるいは建物用途に応じたコストの検討も重要である.



(a) 6 [万円/($I_s \cdot m^2$)] (b) 12 [万円/($I_s \cdot m^2$)]

図 5 耐震補強に必要なコスト

5. 被災した場合に必要な補修コスト

地震によって被災した場合に必要な補修コストを(7)式を用いて求めた.

$$L(a) = \sum_{i=1}^4 (P_{r,i}(a) - P_{r,i+1}(a)) C_i + P_{r,5}(a) C_5 \quad (7)$$

ここで,

$P_{r,i}$: 被害率

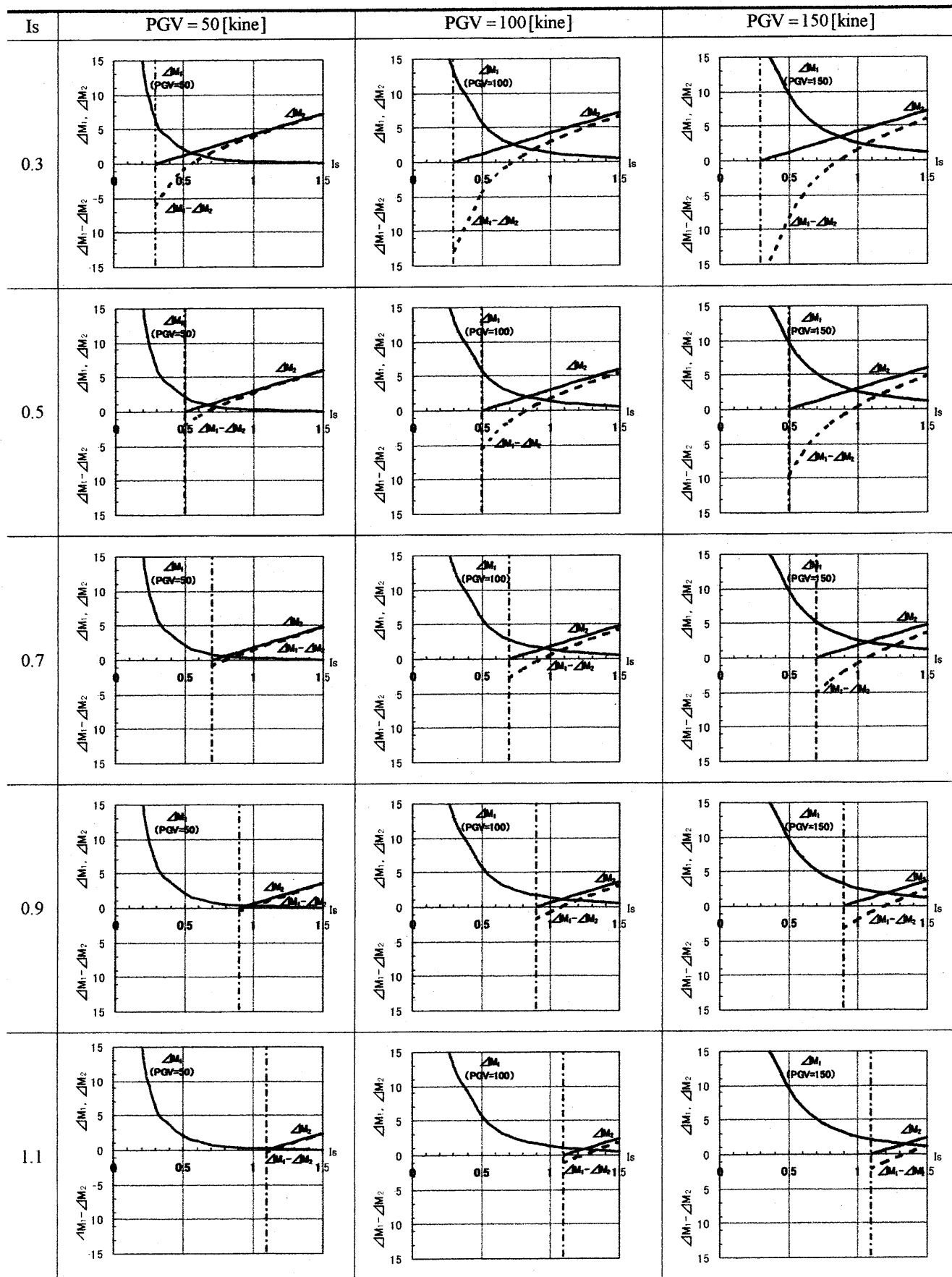
C_i : 表 4 に示される単位面積あたりの補修コストの平均値

i : 被害の程度を表す. $i=1$ のとき軽微, $i=2$ のとき小破, $i=3$ のとき中破, $i=4$ のとき大破, $i=5$ のとき倒壊

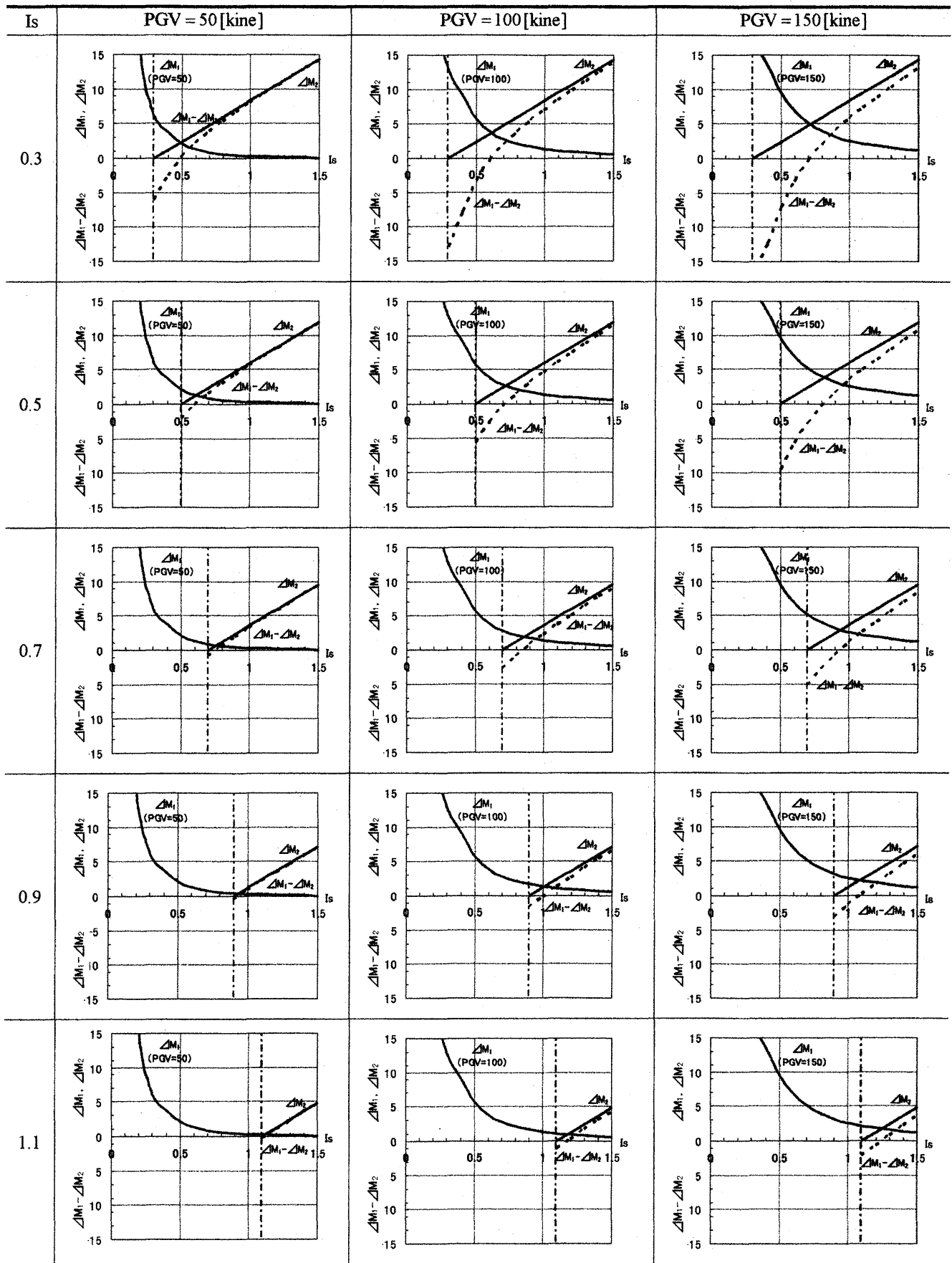
本研究で用いる補修コストは, 既往の研究を参考にし, 表 3 の値とする. 表中の大破と倒壊場合の補修コストが極端に違うことや, 中破と大破の場合の補修コストにあまり差がないことの原因として, 使用したデータが補修コストのデータであることが挙げられる. 被害ランクが大破の場合, 現実には補修コストが大きくなるために, 補修せずに建て替えるケースがあるので, 実際よりも小さな値である可能性があるが, これは今後の検討課題となろう.

表 3 単位面積あたりの補修コスト

被災度	軽微	小破	中破	大破	倒壊
平均値 C_i [万円/ m^2]	2.90	3.75	4.27	4.57	30



(a) $\Delta M_2 = 6$ [万円/(Is \cdot m²)] とした場合
 図6 耐震補強コストと補修コスト



(b) $\Delta M_2 = 12$ [万円/(Is·m²)] とした場合

図6 耐震補強コストと補修コスト

6. コストの比較

耐震補強に必要な補強コストと被災した場合に必要な補修コストの比較を行う。図6は、元のIs値がそれぞれ0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1の建物の耐震補強コストと補修コストを比較したもので、(a), (b)は、耐震補強コストを6 [万円/(Is・m²)] と12 [万円/(Is・m²)] とした場合をそれぞれ示している。ここでは、最大地動速度が50 [kine], 100 [kine], 150 [kine]の場合について検討した。同図の横軸は、Is値を表し、縦軸上側は、被災した場合の補修コストを(5)式によって求めたものを ΔM_1 、耐震補強に必要な補強コストを ΔM_2 として実線で表している。また、被災した場合の補修コストと耐震補強コストの差を $\Delta M_1 - \Delta M_2$ で表している。この破線で示される値が0となるとき、耐震補強コストと補修コストが同額になることを意味する。また、破線が横軸よりも下側にあるときには、耐震補強を行う方がコストを低く抑えられ、逆に横軸よりも上側にあるときには、耐震補強を行うよりも、地震によって被災した後に補修を行う方がコストを抑えられることを示している。

図6(a), (b)を比較した場合、 ΔM_2 が6 [万円/(Is・m²)] の場合よりも勾配が急になるため、 ΔM_1 との交点がIs値の小さいところになるのが特徴である。

図6(a), (b)のグラフより、 $\Delta M_1 - \Delta M_2$ が0となる点を求めると表4が得られる。これは、耐震補強コストと被災した場合の補修コストが等しくなるIs値であり、表中の値までは耐震補強をした方が経済的であるといえる。ほとんどの場合において、耐震補強を行うことが有効であるといえるが、表中に網掛けで示した部分は、Is(現状)と耐震補強コストと被災した場合の補修コストが等しくなるIs値が等しくなっている。この2つの場合においては、現状の建物を耐震補強するよりも、被災後に補修をする方がコストを低く抑えられるため、最初から耐震補強をしないことを選択する方が経済的であるといえる。しかしながら、これらは、保有するIs値が元々大きいため、耐震診断結果に基づいて耐震補強を選択する可能性があまりない建物であるといえる。

図7は、表4をグラフ化したものである。横軸は耐震補強や補修を行う前のIs値を、縦軸は耐震補強後のIs値を示し、補強コストが6 [万円/(Is・m²)] の場合と12 [万円/(Is・m²)] の場合についてグラフを描いたものである。

表4および図7より、保有するIs値が小さい建物ほど、耐震補強を行ってIs値を増加させることが有効であるといえる。また、耐震補強を選択するのか、それとも被災後に補修をするのかは、想定する地震動の大きさによって変わってくるといえる。

7. まとめ

本報では、建築物の被害率曲線を被害ランクごと、Is値ごとに構築し、地震に対するリスク評価を行った。求めた被害率を用いて、コストの比較を行うことで、以下のことが得られた。

表4 $\Delta M_1 - \Delta M_2 = 0$ となるIs値の境界

補強コスト [万円/m ²]	PGV [kine]	Is (現状)				
		0.3	0.5	0.7	0.9	1.1
6	50	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1
	100	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2
	150	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
12	50	0.5	0.6	0.8	0.9	1.2
	100	0.6	0.7	0.9	1.0	1.3
	150	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3

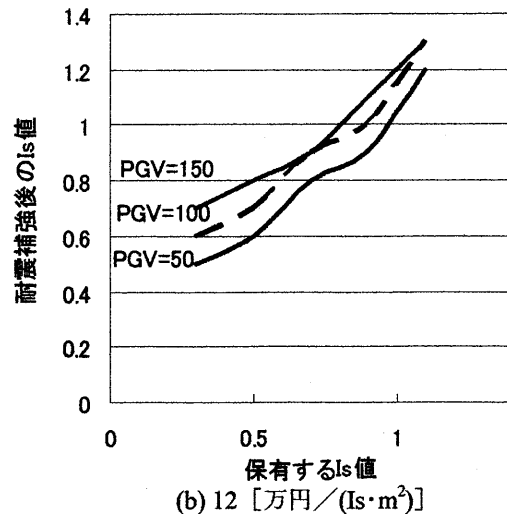
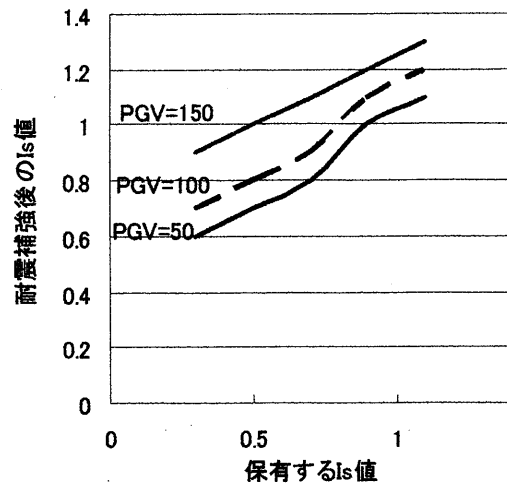


図7 $\Delta M_1 - \Delta M_2 = 0$ となるIs値

- (1) 大破と倒壊の場合の補修コストが極端に違うことや、中破と大破の場合の補修コストにあまり差がないことの原因として、使用したデータが補修コストのデータであることが挙げられる。被害ランクが大破の場合には、補修コストが大きくなることから、補修せずに建て替えるケースがあるが、そのようなデータが含まれていないために、実際よりも小さな値である可能性がある。今後さらなる検討が必要である。
- (2) Is値を1上げるのに必要な耐震補強コストが変動

することによって、耐震補強を行う方が経済的である点も変化する。このため、各都道府県あるいは建物用途に応じたコストの検討を行うことで、より精度の高いコストの比較ができる。

- (3) 耐震補強によってIs値を増加させるのに必要なコストと、被災した場合の補修コストの交点は、想定する地震動の大きさによって変化する。このため、想定する地震動の大きさによっては、退避用硬化の観点から耐震補強をしないという選択肢もあり得るが、保有するIs値が小さい場合には耐震補強を行う方が経済的であることが多い。

参考文献

[1] 根口百世, 南宏一: 耐震診断結果に基づく既存RC学校校舎の地震被害予測に関する検討, 福山大学紀要第28巻, pp.113-120, (2004.12).

[2] 平川倫生, 神田順: 終局限界状態以前に発生する破壊時の費用の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.69-70, (1997.9).

[3] 神田順: 損失費用モデルを用いた最適信頼性に基づく設計用地震荷重, pp.5-20, (1998.6).

[4] 林康裕, 鈴木祥之, 宮腰淳一, 渡辺基史: 耐震診断結果を利用した既存RC既存RC造建築物の地震リスク表示, 地域安全学会論文集 No.2, pp.1-8, (2000.11).

[5] 林康裕: 耐震診断結果を利用した地震リスク表示の試み, シンポジウム「耐震診断・耐震補強の現状と今後の課題」, 日本建築学会関東支部, pp.37-42, (2000.11).

[6] 井上超: 耐震補強による地震期待損失額の低減, ハザマ研究年報, pp.15-19, (2002.12).

[7] 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震補強事例集—静岡県内における耐震補強事例一, pp.16-25

[8] 日本建築学会: 1978年宮城県沖地震災害調査報告, (1980.2).

[9] 藤堂正喜, 千葉脩, 大井貴之: 地震被害調査資料に基づく地震リスク評価, 戸田建設技術報告 Vol.29, pp.1-8, (2003).

[10] Takahashi, Y., Der Kiureghian, A. and Ang, A.H-S.: Decision Methodology in Seismic Risk Management of a Single Building Based on Minimum Expected Life-Cycle Cost, UCB/SEMM Report-2002/02, Department of Civil & Environmental Engineering, University California Berkeley, CA, (2002).

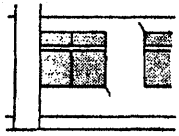
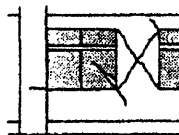
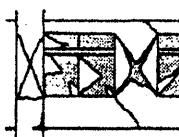


謝辞

本研究は日本建築学会四国支部の特別委員会、「四国地域の既存学校建築物の被害予測に関する基礎的研究」で行われた研究成果の一部をまとめたものである。また、既存建物のIs値相対頻度分布のための資料については、四国耐震診断評定会にご配慮をいただきました。ここに記して深甚より謝意を表します。

付録1 既存RC建物の被害ランク

宮城県沖地震における建物の地震被害の様相を表す代表的な区分の方法は、無被害または軽微な損傷、小破、中破、大破および全壊（または倒壊）の5区分とする表し方で、宮城県沖地震以後も被害ランクを表すのに用いられている。RC造建物の被害の特徴を付表1に示す。

付表1 被害ランク^[8]

	ランク	被害状況	スケッチ
被害軽微	I	柱・耐力壁・二次壁の損傷が、軽微かもしくは、ほとんど損傷がないもの。	
小破	II	柱・耐力壁の損傷は軽微であるが、RC二次壁・階段室のまわりに、せん断ひび割れが見られるもの。	
中破	III	柱に典型的なせん断ひび割れ・曲げひび割れ、耐力壁にせん断ひび割れが見られ、RC二次壁・非構造部材に大きな損傷が見られるもの。	
大破	IV	柱のせん断ひび割れ・曲げひび割れによって鉄筋が露出・座屈し、耐力壁に大きなせん断ひび割れが生じて耐力に著しい低下が認められるもの。	
倒壊	V	柱・耐力壁が大破壊し、建物全体または建物の一部が崩壊に至ったもの。	

付録2 被害率曲線の構築

被害率曲線は、相対頻度分布およびフラジリティ曲線と付図1のような対応関係にあり、(4)式を用いて求める。以下に、例として $V_0=50$ (軽微) のときの被害率の求め方を示す。

$V=10$ [kine] の $P_D(10)$

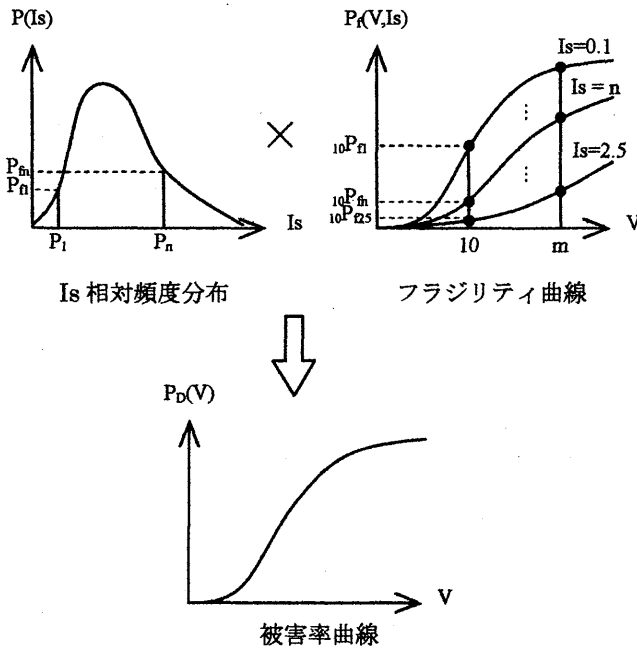
$$P_D(10) = (P_1 \cdot 10P_{f1} + \dots + P_n \cdot 10P_{fn} + \dots + P_{25} \cdot 10P_{f25})$$

$V=20$ [kine] の $P_D(20)$

$$P_D(20) = (P_1 \cdot 20P_{f1} + \dots + P_n \cdot 20P_{fn} + \dots + P_{25} \cdot 20P_{f25})$$

⋮

$V=150$ [kine] の $P_D(150)$ まで繰り返す。



付図1 被害率曲線構築のための概念図

付録3 補修コストの計算例

地震によって被災した場合に必要な補修コストは(7)式によって求める。ここでは、表3と I_s の平均値 μ が 0.3、標準偏差が 0.3 のときの被害率(付表2)を用いて、補修コストの計算例を示す。

(1) 最大地動速度 50 [kine] のとき

$$\begin{aligned} L(a) &= (0.713 - 0.458) \times 2.90 + (0.458 - 0.300) \times 3.75 \\ &\quad + (0.300 - 0.201) \times 4.27 + (0.201 - 0.136) \times 4.57 \\ &\quad + 0.136 \times 30 \\ &= 6.1 \text{ [万円/㎡]} \end{aligned}$$

(2) 最大地動速度 100 [kine] のとき

$$\begin{aligned} L(a) &= (0.883 - 0.713) \times 2.90 + (0.713 - 0.570) \times 3.75 \\ &\quad + (0.570 - 0.458) \times 4.27 + (0.458 - 0.370) \times 4.57 \\ &\quad + 0.370 \times 30 \\ &= 13.0 \text{ [万円/㎡]} \end{aligned}$$

(3) 最大地動速度 150 [kine] のとき

$$\begin{aligned} L(a) &= (0.936 - 0.826) \times 2.90 + (0.826 - 0.713) \times 3.75 \\ &\quad + (0.713 - 0.614) \times 4.27 + (0.614 - 0.529) \times 4.57 \\ &\quad + 0.529 \times 30 \\ &= 17.4 \text{ [万円/㎡]} \end{aligned}$$

付表2 $\mu=0.3, \sigma=0.3$ のときの被害率

PGV	軽微	小破	中破	大破	倒壊
50	0.713	0.458	0.300	0.201	0.136
100	0.883	0.713	0.570	0.458	0.370
150	0.936	0.826	0.713	0.614	0.529