# 建物の PML 値の評価手法および試算例

# 坂本 成弘・木村 雄一\*1・中村 敏治\*2

Keywords: seismic risk, probable maximum loss, design index 地震リスク,地震予想最大損失,設計指標

# 1. はじめに

近年,建物の証券化や売買あるいは地震保険料率の交 渉材料として PML (Probable Maximum Loss,地震予想 最大損失)値の評価需要が高まってきている.PML 値 は,50 年間の超過確率 10% (再現期間 475 年)の地震 により生じるであろう被害額の 90%非超過値をその建 物の再調達価格に対する比で表した値で,建物の耐震性 能を示す指標として用いられている.

現在までに篠塚研究所他において多くの建物の評価が 行なわれてきたが、その対象の殆どは既存建物であった. これに対して、建築前の建物についても、建築後の証券 化や売買を視野に入れて PML 値をある程度の値に抑え ておきたいという要望や、既存建物に耐震補強を施した 場合の値を抑えたいという要望が出てきている.このよ うな場合、PML 値を評価しながら建物の設計を行なう ことになるが、このためには精度が高く、かつ、設計に 取り込めるような簡便な評価手段が必要である.当社に おいても今までに簡便に地震損失を評価するプログラム を作成してきており使用しているが<sup>1),2)</sup>、実際の設計に 使用できるような精度はなく、また、詳細に評価する場 合にも設計に取り込めるほどの簡便な手段はなかった.

ここで, PML 値を算出するための地震リスク評価の 基本部分となる確率論的地震危険度解析手法,建物損傷 評価手法を整備,検証するとともに, PML 値を指標と した設計を行なうためのシステムを構築した.本報では, 評価手法とシステムの概要および試算結果を示す.

- 2. 評価手法の概要
- 2.1 概要

## PML 値で対象とするのは再現期間 475 年の地震であ

- \*1 設計本部 構造グループ(技術)
- \*2 篠塚研究所

り,再現期間を決めることにより地震動の大きさを特定 している.しかしながら,地震動の大きさを特定した場 合にも地震動特性や建物耐力等の不確定性により予想損 失はばらつきをもったものとなる.予想損失の例を図-1 に実曲線で示す.横軸の損失は損失額の建物の再調達価 格に対する比で,無被害の場合には0,全損の場合に1 となる値である.この損失の曲線が囲む面積に対して小



さい方から 90%となる損失値が 90%非超過値であり, PML 値となる.図に示す損失の曲線が再現期間 475 年 の地震によるものとすると PML 値は 60%となる.

また,損失の確率密度を評価するために図-2 に示す ような損傷度曲線を設定する.図は,建物の被害形態を 軽微,中破,大破,倒壊に分けてそれぞれの損傷度曲線 を示したもので,横軸が地動の最大加速度,縦軸が各被 害形態以上で被災する確率である.図に示す例では,対 象とする地震動の大きさを3 m/s<sup>2</sup>とすると各被害形態の 確率は無被害 0.05,軽微 0.05,中破 0.60,大破 0.25,倒 壊 0.05 となる.ここで,各被害形態による損失が軽微 0.1,中破 0.3,大破 0.5,倒壊 1.0 とすると損失の確率密 度は図-1 に示すような離散値となる.実際には設備機 器の損失も含まれるため損失の場合分けは多くなるが, このような離散値から損失曲線を評価して PML 値を算 出する.

以上のように PML 評価において建物と設備機器の損 傷度曲線を用いるが,この損傷度曲線を設定するために 建物位置における複数の模擬地震動を作成し,建物モデ ルの動的解析を行なって建物の耐力や設備機器への入力 (=建物の応答)を評価する.今回構築したシステムで はこのような模擬地震動作成から PML 値の評価までの



図-3 システム概要 Evaluation Flow of the System

一連の作業を簡便に行なえるものとなっている.本シス テムの評価の流れを図-3 に示す.ユーザが設定する(a) 与条件から最下段の(e4)PML 値を算出するシステムであ る.図に示すように,サイト情報により(b)地震危険度 解析を行なって(c2)地表面(建物基礎底面)における複 数の模擬地震波を作成する.これらの模擬地震波を用い て(d)建物モデルの応答解析を行ない,各地震波ごとに 各層の(d1)最大層間変形角および(d2)最大加速度を算出 する.次に,(d1)最大層間変形角と(a4)クライテリアを 参照して建物の(e1)耐力中央値を算出し,これと (a5)耐 力ばらつきを用いて(e2)建物の損傷度曲線を決定すると ともに,各層の(d2)最大加速度および(a6)設備機器情報 から各層に設置している(e3)設備機器の損傷度曲線を決 定する.以下,図-3 に示す各項目のうちなじみの薄い と考えられる(b)地震危険度解析と(e)損失評価について 示す.

2.2 地震危険度解析および模擬波の作成

図-2 に示す損傷度曲線を決めるために,工学的基盤 における最大加速度が 0~16 m/s<sup>2</sup> にわたる複数の模擬波 を作成して建物の応答解析を行ない,応答値を算出する. 地震危険度解析では再現期間 475 年に相当する地震動の 大きさおよび模擬波作成のターゲットとするハザード適 合マグニチュードと等確率スペクトルを算出する.

2.2.1 再現期間 475 年の地震動

確率論的地震危険度解析により建物位置におけるハザ ードを評価する.震源として,陸域の活断層による地震 と東海地震,東南海地震等のプレート境界地震,並びに これらに含まれないランダム地震(活動域)を考慮する. 活断層地震とプレート境界地震について,固有の規模 (マグニチュード)と平均活動間隔を設定し,地震発生 過程に最新活動時期からの経過時間を考慮するモデルま たは定常ポアソン過程を適用する.また,ランダム地震 については,活動域を設定し,地震規模に Gutenberg-Richter の式, 地震発生過程に定常ポアソン過程を適用 する.以上の各震源のマグニチュードと深さおよび建物 位置までの距離を用いて距離減衰式により建物位置にお ける地震動の大きさを評価する.この値にそれぞれの発 生頻度を乗じて加え合わせたものがハザード曲線である. 本システムでは,距離減衰式にばらつき(対数標準偏 差)を 0.5 とした安中式 <sup>3</sup>を用いており, 地震の大きさ の指標を工学的基盤における最大加速度としている.ハ ザード曲線の例を図-4(1)に示す.図は工学的基盤におけ る最大加速度の年超過確率を示しており,再現期間 475 年,即ち年超過確率 1/475 にあたる最大加速度が評価対 象となる地震動の大きさである.

2.2.2 ハザード適合マグニチュード

模擬地震波の継続時間を決めるためのマグニチュード には亀田ら<sup>4)</sup>によるハザード適合マグニチュードを用い る.即ち,建物位置における各最大加速度値について各 値を超える地震のマグニチュードの平均値とする.例え ば,図-4(1)において 1/475 の最大加速度は約3 m/s<sup>2</sup>,八 ザード適合マグニチュードは 6.6 である.これは,建物 位置において最大加速度3 m/s<sup>2</sup>を超える地震のマグニチ ュードの平均値が 6.6 であることを示している.

2.2.3 等確率スペクトル

等確率スペクトルは,応答スペクトル値の距離減衰式 を用いて各周期について図-4(1)と同様のハザード曲線 (応答スペクトル値の超過確率)を計算し,各周期にお いて超過確率の等しい応答値を結んだものである.等確 率スペクトルの例を図-4(3)に示す.

2.2.4 模擬地震波の作成

年超過確率 1x10<sup>-1</sup> から 1x10<sup>-6</sup> 程度までの間の 20 値に ついて等確率スペクトルを計算し,各スペクトルに適合 する模擬波をそれぞれ 10 波ずつ作成する.従って模擬 地震波は計 200 波である.作成にあたって,一様乱数位 相による正弦波重ね合わせ法を用い,各超過確率に対応 するハザード適合マグニチュードを参照して Jennings 型 の関数を包絡関数として用いる.



2.3 損失計算

建物の応答解析によって得られる各層の最大層間変形 角と最大応答加速度により建物および設備機器の損傷度 曲線を評価し,これらを用いて PML 値を算出する.

## 2.3.1 建物の損傷度曲線

軽微,中破,大破,倒壊の各被害形態ごとに損傷度曲 線を設定する.これらの損傷度曲線は,工学的基盤の最 大加速度を指標としたときに対数正規分布になるものと し、この分布形状を決めるための中央値と対数標準偏差 を模擬波による応答解析結果を用いて評価する.まず, 被災するか否かの判定クライテイリアを各層について決 め,次に,応答解析を行なったケース(模擬波)ごとに 模擬波の最大加速度に対して応答値がクライテリアを超 える層がある場合には"被災する",ない場合には"被 災しない",とする二値データを作成する.ここでクラ イテリアは免震層の場合には最大層間変位,通常層の場 合には最大層間変形角である. 軽微, 大破についてそれ ぞれのクライテイリアを 1/125, 1/42 とした例を図-5 に 示す.例えば,軽微の線(1/125)を超えるケースでは 軽微以上の被害を受けるものとして"被災する"とし, 超えないケースについては"被災しない"とする.そし



Loss Function

て,この二値データを用いて最尤法によって損傷度曲線 の中央値と対数標準偏差を評価する.最尤法において用 いる尤度関数 *L* は中央値λ,対数標準偏差ζの関数とし て下式のように表される.

$$L(\lambda,\zeta) = \prod_{i=1}^{N} \left\{ \Phi(X_{i}^{*}) \right\}^{q_{i}} \left\{ 1 - \Phi(X_{i}^{*}) \right\}^{1-q_{i}}$$
(1)

$$X_{i}^{*} = \frac{-\ln \lambda + \ln X_{i}}{\zeta}$$
(2)

ここに, N はケース数 ( 模擬波数 ),  $X_i$  は模擬波 i の最 大加速度,  $q_i$  は模擬波 i によって被災する場合は 1, 被 災しない場合は 0 となる二値データ,  $\Phi$ は標準正規分布 の累積分布関数である.この尤度関数 L が最大になる ように $\lambda$ および $\zeta$ を決めればよい.図-5 の評価例では, 中央値が軽微では 3.4 m/s<sup>2</sup>, 大破では 11.2 m/s<sup>2</sup> となる.

ここで,等確率スペクトルを用いて模擬波を作成して いるために地震動のばらつきが充分には考慮されていな いこと,建物モデルに部材耐力等のばらつきが考慮され ていないことなどから応答解析結果のみから得られるば らつき (は実際の値よりは小さい値になる.このため, については応答結果による値ではなく過去の被害統計値 等の別途設定した値を用いることが多い.本システムで はユーザが設定する値としている. 2.3.2 設備機器の損傷度曲線

設備機器の被害形態は"被害なし","被害あり"の2 形態のみとし,"被害なし"の場合は損失0,"被害あ り"の場合は全損とする.損傷度曲線には建物の場合と 同様に入力の最大加速度を指標とした対数正規分布を仮 定し,入力には機器を設置している層の最大応答加速度 を用いる.

2.3.3 PML 値

建物の各被害形態と各設備機器の損傷度曲線から,そ れぞれの再現期間475年の地震動(最大加速度)による の被災確率を求め(図-2),建物被害と各設備機器被害 の組み合わせ全てについての発生確率と損失率から損失 の確率分布を算出する.損失の確率分布の例を図-6 に 実線で示す.図-1 の確率密度を累積分布にしたものに 相当する図である.この損失の分布は離散値であり図に 示すように階段状となるため,PML 値の定義である 90%非超過値を評価するには不都合である.本システ ムでは,この損失分布を平均値と分散値が等しい $\beta$ 分布 に置き換えてから90%非超過値を算出している.図-6 の実線の分布を置き換えた $\beta$ 分布を破線で示す.図に示 すようにこの例では90%非超過値(PML 値)は26%と なる.

表-1 建物一覧

Building List for Benchmark

	~ 프 미네	1#1/#	1.1. 1	<b></b>	設		a	ä	~	建物	建物基	上字的	地盤	地	地盤
No.	種別	桶這	地上	用逐	計	建梁场所	$Cb_{125}$	$Cb_{50}$	$Cb_{30}$	周期	縦ト囲	基盤	周期	盛	非
			階数		牛					(s)	(m)	(m)	(S)	梩	線形
1		RC	4	事務所	2000	東京都 中野区	0.31	0.37	0.43	0.34	-3.4	-30.5	0.35	2	告
2	免震	RC	10	事務所	2000	埼玉県 さいたま市	0.27	0.60	0.98	1.30	-3.6	-35.5	0.61	2	告
3	免震	RC	18	事務所	1997	宮城県 仙台市	0.14	0.22	0.31	1.91	-11.5	-11.5	-	1	-
4	免震	RC	41	共同住宅	2000	神奈川県 川崎市	0.11	0.11	0.11	2.98	-8.2	-33.6	0.66	2	現
5	制振	S	16	ホテル	1997	北海道 苫小牧市	0.20	0.30	0.42	1.93	-8.7	-68.6	0.89	3	告
6	評価	RC	12	共同住宅	1999	東京都 武蔵野市	0.32	0.32	0.33	0.67	-2.6	-9.3	0.22	2	告
7	評定	RC	24	共同住宅	1999	神奈川県 川崎市	0.19	0.24	0.28	1.57	-8.4	-38.1	0.69	2	告
8	評定	RC	30	共同住宅	1996	東京都 町田市	0.20	0.21	0.23	1.72	-12.0	-28.4	0.27	2	告
9	評定	RC	31	共同住宅	2000	東京都 江東区	0.18	0.18	0.18	2.09	-9.3	-38.7	0.82	3	告
10	評定	RC	39	共同住宅	1992	東京都 江東区	0.13	0.13	0.13	2.59	-11.2	-48.0	0.98	3	告
11	評定	RC	41	共同住宅	2000	神奈川県 川崎市	0.11	0.11	0.11	2.98	-8.2	-33.6	0.66	2	現
12	評定	RC	43	共同住宅	1996	東京都 中央区	0.22	0.38	0.56	3.09	-15.6	-35.7	0.53	2	現
13	評価	S (CFT)	11	事務所	1994	東京都 墨田区	0.28	0.31	0.31	1.44	-8.0	-36.6	0.84	3	告
14	評価	S	12	事務所	1997	東京都 千代田区	0.39	0.59	0.80	1.53	-13.1	-39.7	0.76	3	告
15	評価	S	12	ホテル	1992	山梨県 東山梨郡	0.35	0.35	0.35	1.45	-3.5	-3.5	-	1	告
16	評価	S	13	事務所·共同住宅	1993	東京都 港区	0.36	0.36	0.36	1.34	-12.2	-19.5	-	2	-
17	評定	S	22	事務所	1995	東京都 渋谷区	0.18	0.18	0.18	3.02	-12.1	-24.3	0.38	2	告
18	評定	S (CFT)	25	ホテル・事務所	1997	東京都 墨田区	0.22	0.38	0.56	3.03	-7.7	-44.4	0.71	2	告
19	評定	S	25	事務所	1989	千葉県 千葉市	0.21	0.39	0.58	3.38	-9.0	-63.5	0.71	2	告
20	評定	S	36	ホテル	1983	東京都 港区	0.18	0.30	0.43	4.08	-20.0	-23.3	-	2	-
21	一般	RC	5	共同住宅	2000	神奈川県 川崎市	0.40	0.40	0.41	0.40	-7.8	-42.7	0.65	2	告
22	一般	RC	7	共同住宅	2001	東京都 世田谷区	0.35	0.36	0.36	0.48	-10.9	-14.5	-	2	告
23	一般	RC	13	事務所	2001	埼玉県 川口市	0.31	0.31	0.32	0.91	-3.5	-44.1	0.90	3	現
24	一般	RC	15	共同住宅	2001	千葉県 千葉市	0.27	0.35	0.43	1.02	-4.6	-40.8	0.60	2	告
25	一般	RC	15	共同住宅	2000	神奈川県 川崎市	0.26	0.28	0.31	0.91	-3.2	-42.7	0.65	2	告
26	一般	RC	15	共同住宅	2001	兵庫県 神戸市	0.21	0.22	0.22	0.93	-2.9	-33.8	0.51	2	告
27	一般	S	8	店舖付事務所	2001	東京都 渋谷区	0.20	0.27	0.28	1.73	-3.5	-14.5	0.39	2	現
28	一般	S	9	事務所	2001	東京都 中央区	0.24	0.27	0.28	1.58	-2.0	-33.5	0.47	2	告

# 3. 試算例

#### 3.1 対象建物

実際に設計を行なった 28 物件について本システムを 用いて PML 値を試算した.対象建物の一覧を表-1 に示 す.対象とした建物は,宮城県(仙台市),北海道(苫 小牧市),山梨県(東山梨郡),兵庫県(神戸市)にそれ ぞれ1件ずつで,他の 24 件は関東である.免震建物が No.1~No.4 の4件,制振建物が No.5 の1件,一般の耐 震建物が No.21~No.28 の8件であり,構造種別では免制 振建物を除いて RC 造が13件,S 造が10件である.ま た,No.11は,No.4 と同じ建物で免震層を除いたもので ある.

### 3.2 計算条件

図-3 において(a)与条件とした項目について示す. (a1) 建物位置 建物位置の緯度経度を与える.

(a2) 地盤条件 現地調査による N 値等から決める.Vs 値が 400 m/s 程度の地盤を工学的基盤とし,非線形特性 には現地調査結果がある場合にはその結果を,ない場合 には告示 1457 号の特性を用いる.表-1 に建物基礎下面 の深さ(m),工学的基盤上面の深さ(m)および地盤周期と 種別,非線形性モデル("告"は告示値,"現"は現地調 査結果を使用)を示す.

(<u>a3</u>) 建物モデル 1層1 質点のせん断系モデルとする. 各層ばねの履歴特性には,フレームモデルでの漸増載荷 解析の結果を参照して決めた折れ点によるトリリニアモ デルを用いる.表-1 に層間変形角 1/125,1/50,1/30 に おける1階のシア係数 Cb<sub>125</sub>, Cb<sub>50</sub>, Cb<sub>30</sub> および初期剛性 時の建物周期を示す.また,動的解析における減衰は全 建物について初期剛性比例型の3%とする.

(<u>a4, a5) クライテリア,耐力ばらつき等</u>表-2 に示す. クライテリアは免震層では層間変位(m),通常層では層 間変形角で示しており,全層一律としている.クライテ リア,損失,耐力ばらつきはいずれも被害形態分けを過 去の被害調査と同等のものとして各値を設定しているが, 特に損失については過去の調査においてばらつきが大き く<sup>5%</sup>,設定し難い値であり,今後再検討すべきである. (<u>a6)設備機器の設定</u>表-3 に示す.価格比は設備機器

表-2 建物被害による損失の計算条件

Conditions for Structural Loss Evaluation													
構造	/	フライ	テリフ	7		損	失		耐力ばらつき				
					(損约	+額 /	建物值	断格)	(対数標準偏差)				
	軽微 中破 大破 倒壊 軽微 中破 大破 倒壊 軽微 中破 大										大破	倒壊	
RC	1/125	1/50	1/42	1/30	0.10	0.30	0.50	1.00	0.5	0.5	0.4	0.4	
S	1/100	1/50	1/42	1/30	0.05	0.20	0.50	1.00	0.5	0.5	0.4	0.4	
免震層	0.5	0.7	0.9	1.3	0.05	0.25	0.50	1.00	0.4	0.4	0.3	0.3	
クライテリアは,免震層では層間変位(m),通常層では層間変形角,													

価格の建物再調達価格に対する比であり,被災時の損失 額(比)として評価する値である.この設定はオフィス ビルを想定したもので,照明設備など全層に振り分ける べき機器もあるが,計算の簡易化のために最上階にまと めた設定としている.今回の試計算では全ケースについ てこの設定を用いた.

#### 3.3 計算結果

計算結果を表-4 に示す.耐力中央値は損傷度曲線の 中央値である.また,A<sub>475</sub> は危険度解析により得られる 再現期間 475 年の地震動の最大加速度(工学的基盤)で あり,PML,AVR はそれぞれ再現期間 475 年の地震に よる損失の 90 %非超過値と平均値である.なお,AVR への各被害形態の寄与率をAVR内訳として示している. 例えば,No.5 建物では,再現期間 475 年の地震による 損失平均値 AVR(1.0 %)の中で設備被害によるものは 0.5 %なので,設備機器を補強したとしても損失を低減 できない.一方,No.16 建物では AVR への設備機器被 害の寄与は 30 %近いので設備機器の補強による損失低 減効果が期待できることが分かる.

また,表中に 50 年間での地震による予想被害額の建 物再調達価格に対する比 R<sub>50</sub>を示している.PML 値は再 現期間 475 年という特定の大きさの地震による損失であ るのに対して,R<sub>50</sub> はあらゆる大きさの地震により生じ うる損失の平均値を表しているいわゆる地震リスクであ る.全般に PML 値は R<sub>50</sub> とほぼ比例関係にあることが 確認できる.

(1) 免震建物 No.1 ~ No.4 の 4 物件が免震建物で, PML 値は 2.5%以下に収まっている.但し,これは免震層の 被災クライテリアを表-2 のように設定した場合である. 通常の免震層ではクリアランスを 0.5 m 程度としており, 地震時応答が瞬間的にこの値に達したとしても大きな被 害を受けるとは考えられない.このため 0.5 m を軽微の クライテリアとしているが,これを超えるクライテリア は再検討すべきである.

(2) 制震建物 No.5 の1件であり,関東圏の物件ではないため比較し難いが, No.21 以降の耐震設計の物件と比べると明らかな差があり, PML 値も 2.5 %と低い値とな

表-3 設備機器の設定

Conditions for Equipment Loss Evaluation

価格比	設置階	耐力					
(損失)		中央値 (m/s <sup>2</sup> )	対数 標準偏差				
0.031	最上階	20.0	0.65				
0.042	1 階	14.0	0.65				
0.019	屋上階	20.0	0.65				
0.019	最上階	20.0	0.65				
0.112	最上階	20.0	0.65				
0.008	最上階	20.0	0.65				

っている.

(3) 評定・評価建物 No.6~No.20の15件で建築センタ ーの評定を通した物件である.RC造では15%以下,関 東圏の物件ではないNo.15を除くとS造では10%以下 に収まっている.但し,A<sub>475</sub>が3.07 m/s<sup>2</sup>であり地震危険 度の高いNo.15ではPML値が26.2%という高い値を示 しており,立地条件によっては注意が必要である.また, No.10とNo.12を比較すると中破以上の被害形態の中央 値はNo.10の方が高いのにも関わらずPML値はNo.10 が8.7%,No.12が3.9%となっており逆転している.こ れはNo.12の方が軽微耐力が高いためであり,PML値 を低く抑えるためには大破,倒壊等の大きな被害だけで なく軽微被害も抑える必要があることが分かる.

(4) 一般の耐震建物 No.21 から No.28 の 8 件で, 限界 耐力設計によるものである. No.21 と No.22 では 6 %程 度に留まっているものの他の物件は 20 %近くあるいは これ以上の値を示している. 限界耐力法で変形を許容し た設計を行っている場合には PML 値が大きめの値とな る.また, RC 造と S 造には大きな違いは見られない.

# 4. まとめ

免制振建物では PML 値を小さく抑えられること,特

に免震建物では数%以下に抑えられることが確認できた. また, RC 造と S 造の違いは小さい.一般の耐震建物で は PML 値が 20 %を超えてしまう可能性がある.

但し,今回の試算は,関東圏の比較的大きな規模の建物について全建物のクライテリアを一律として行なった. クライテリアは本来は個別に設定すべきものであり,今後検討が必要である.また,他地域や規模の小さい建物のデータ蓄積が必要である.

#### 参考文献

- 1) 飯塚 他:パソコンによるオフィスビルの地震リスク評価 システム,大成建設技術研究所報, Vol.32, pp.113-116, 1999.
- 2) 坂本 他:地震リスク評価プログラム,大成建設技術研究 所報, Vol.33, pp.119-120, 2000.
- 3) 安中他:気象庁87型強震記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案,第24回地震工学研究発表会講演論文集,pp.161-164,1997.
- 4) 亀田他:ハザード適合マグニチュード・震央距離による 地震危険度解析の拡張,土木学会論文集,Vol.392/I-9, pp.395-402,1988.
- 5) 中村:建物被害と復旧費用の関係およびこれらが地震リ スクに与える影響に関する考察,第一回日本地震工学研 究発表・討論会梗概集, p.167, 2001.

		Evaluation Results												
	耐力	中央	値	$(m/s^2)$	R <sub>50</sub>	A475	PML	AVR		AVR	内訳	(%)		
No.	軽微	中破	大破	倒壊	(%)	$(m/s^2)$	(%)	(%)	軽微	中破	大破	倒壊	設備	
1	5.76	7.21	8.22	10.70	0.38	2.79	0.9	0.4	33.2	55.0	2.0	0.1	9.8	
2	6.04	7.67	9.35	12.63	0.39	2.89	0.7	0.3	39.1	56.7	0.7	0.0	3.5	
3	4.35	5.70	6.41	9.16	0.84	2.62	2.5	1.1	35.2	56.7	6.5	0.1	1.4	
4	5.95	7.16	8.52	8.97	0.40	2.81	0.8	0.4	29.0	67.0	0.7	1.5	1.8	
5	2.88	7.46	8.57	13.77	0.44	1.86	2.3	1.0	92.6	6.5	0.3	0.0	0.5	
6	3.45	7.14	7.60	9.51	1.77	2.80	10.3	4.4	69.4	16.5	5.8	2.5	6.1	耐力
7	2.86	6.47	7.06	8.74	2.51	2.82	14.6	6.2	70.8	18.0	6.8	3.7	0.6	の分
8	4.32	8.16	9.46	13.71	0.99	2.87	5.8	2.5	75.5	20.3	2.8	0.2	1.2	丁学
9	3.28	7.64	8.01	12.35	1.61	2.80	10.1	4.3	81.8	12.5	4.8	0.2	0.6	<del>_</del>
10	3.40	9.04	11.20	14.93	1.32	2.81	8.7	3.7	91.8	7.6	0.3	0.0	0.2	(m/s-
11	3.96	8.18	8.87	10.07	1.17	2.81	6.7	2.9	80.2	14.9	2.3	2.4	0.2	
12	4.78	8.93	8.92	10.29	0.79	2.79	3.9	1.7	76.8	14.4	3.8	3.2	1.9	R <sub>50</sub> :
13	2.75	6.25	7.23	8.54	1.77	2.80	9.3	4.0	57.6	22.7	7.7	6.6	5.6	る損
14	2.44	8.47	10.08	19.60	1.47	2.79	9.0	3.8	76.9	6.5	0.9	0.0	16.3	
15	2.21	4.66	5.54	6.88	4.32	3.07	26.2	10.9	24.9	24.1	22.1	19.8	10.1	Α
16	4.80	8.56	8.57	12.31	0.61	2.78	3.1	1.3	47.0	14.7	8.8	0.7	29.0	2 1475 雪雪 舌h
17	4.42	8.02	8.70	11.62	0.61	2.78	2.8	1.2	64.7	24.0	8.0	1.4	2.0	辰勤
18	3.05	6.71	7.66	9.62	1.35	2.80	7.3	3.1	62.7	21.9	7.8	3.2	4.5	的母
19	5.48	9.77	10.81	16.41	0.39	2.90	1.5	0.7	72.2	21.7	3.8	0.1	2.2	
20	4.59	9.35	9.86	11.90	0.48	2.78	2.2	1.0	78.1	14.3	3.3	1.4	2.8	PML
21	3.40	8.17	8.44	10.06	1.21	2.80	6.8	2.9	76.1	13.6	3.8	2.4	4.2	現期
22	4.47	7.11	7.14	8.72	1.26	2.78	6.3	2.7	52.1	23.3	13.0	7.9	3.9	る損
23	2.19	5.92	6.58	8.67	3.73	2.82	21.4	9.0	69.8	17.3	8.2	2.8	2.2	亚均
24	2.54	6.46	7.41	8.63	3.04	2.87	17.6	7.4	73.1	17.4	3.9	3.9	1.7	7-1-5
25	2.18	6.04	6.24	7.47	3.98	2.80	21.7	9.1	69.2	13.1	8.5	7.8	1.7	
26	1.86	4.30	4.61	5.75	4.02	2.29	24.2	10.1	55.2	18.9	14.4	10.5	1.1	AVR
27	1.79	4.29	5.41	6.89	3.95	2.76	21.5	9.0	34.3	31.6	19.4	12.2	2.8	害形
28	2.12	4.78	5.35	7.19	3.31	2.79	18.5	7.8	36.4	22.8	27.2	11.5	2.3	100 %

表-4 結果一覧

耐力中央値:損傷度曲線 の分布の中央値.指標は 工学的基盤の最大加速度 (m/s<sup>2</sup>).

R<sub>50</sub>:50 年間での地震によ る損失の平均値.

A<sub>475</sub>: 再現期間 475 年の地 震動の最大加速度(工学 的基盤).

PML, AVR:それぞれ再 現期間 475 年の地震によ る損失の 90 %非超過値と 平均値.

AVR 内訳: AVR への各被 害形態の寄与率(和が 100%となる).