

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-27481

(P2011-27481A)

(43) 公開日 平成23年2月10日(2011.2.10)

(51) Int.Cl.

G01M 99/00 (2011.01)
G06Q 50/00 (2006.01)

F 1

G01M 19/00
G06F 17/60

テーマコード(参考)

2 G024
1 O 4

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号
(22) 出願日特願2009-171587 (P2009-171587)
平成21年7月22日 (2009.7.22)(71) 出願人 000000549
株式会社大林組
東京都港区港南二丁目15番2号
(74) 代理人 110000176
一色国際特許業務法人
(72) 発明者 謙訪 仁
東京都清瀬市下清戸4丁目640番地 株式会社大林組技術研究所内
F ターム(参考) 2G024 AD17 BA13 BA15 BA17 CA13
DA11 FA06

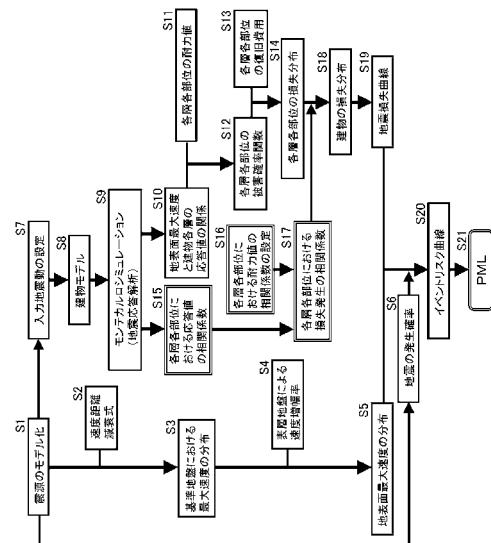
(54) 【発明の名称】地震リスク評価方法

(57) 【要約】

【課題】より適切な地震リスク評価方法を提供し、対象建物に適合した PML を評価することにある。

【解決手段】評価対象となる複数の層を有する建物の地震リスクを PML にて評価する地震リスク評価方法であって、前記 PML の基となる、地震動の大きさに対する前記建物の損失分布を、前記地震動の大きさと前記建物の各層各部位間ごとの応答値との相関係数、及び、前記建物の各層各部位間ごとの耐力値の相関係数、に基づく前記建物の各層各部位における損失発生の相関係数と、前記建物の各層各部位における損失分布と、に基づいて算出する。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

評価対象となる複数の層を有する建物の地震リスクを P M L にて評価する地震リスク評価方法であって、

前記 P M L の基となる、地震動の大きさに対する前記建物の損失分布を、

前記建物の各層各部位間ごとの応答値との相関係数、及び、前記建物の各層各部位間ごとの耐力値の相関係数、に基づく前記建物の各層各部位間における損失発生の相関係数と、

前記建物の各層各部位における損失分布と、に基づいて算出することを特徴とする地震リスク評価方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の地震リスク評価方法であって、

前記建物の各層各部位における損失分布は、前記各層各部位における損失分布の平均値、及び、各層各部位における損失分布の標準偏差であることを特徴とする地震リスク評価方法。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の地震リスク評価方法であって、

前記応答値は、複数の地震動に対する当該応答値の中央値、及び、前記複数の地震動に対する当該応答値の対数標準偏差であり、

前記耐力値は、当該耐力値の中央値、及び、当該耐力値の対数標準偏差であることを特徴する地震リスク評価方法。

20

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、地震により建物の損失を評価する地震リスク評価方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

建物の地震リスクの指標として、P M L (地震予想最大損失率) を用いることが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。従来から、P M L を求める場合には、建物の各層に存在する各部位（躯体、仕上げ、建築設備など）の損失分布が用いられており、建物の各層に存在する各部位の損失分布は、各層各部位における損失発生の相関を独立あるいは完全相関のいずれかに仮定してシミュレーションされている。

30

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】****【特許文献 1】特開 2004 - 150920 号公報****【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

しかしながら、上述したように、建物の各層に存在する各部位の損失分布をシミュレーションする際に、各層各部位における損失発生の相関を独立と仮定した場合には、建物全体の損失分布のバラツキが小さくなり P M L が過少評価され、完全相関と仮定した場合には、建物全体の損失分布のバラツキが大きくなり P M L が過大評価される傾向があるという課題があった。

40

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、より適切な地震リスク評価方法を提供し、対象建物に適合した P M L を評価することにある。

【課題を解決するための手段】**【0006】**

かかる目的を達成するために本発明の地震リスク評価方法は、評価対象となる複数の層

50

を有する建物の地震リスクを P M L にて評価する地震リスク評価方法であって、前記 P M L の基となる、地震動の大きさに対する前記建物の損失分布を、前記地震動の大きさと前記建物の各層各部位間ごとの応答値との相関係数、及び、前記建物の各層各部位間ごとの耐力値の相関係数、に基づく前記建物の各層各部位間ににおける損失発生の相関係数と、前記建物の各層各部位における損失分布と、に基づいて算出することを特徴とする地震リスク評価方法である。

このような地震リスク評価方法によれば、P M L の基となる地震動の大きさに対する建物の損失分布は、建物の各層各部位間ににおける損失発生の相関係数と、建物の各層各部位における損失分布とにに基づいて算出されるので、建物の各層各部位において、地震動の大きさごとの発生する損失とその発生確率に基づいて地震リスクを評価することが可能である。このとき、各層各部位間ににおける損失発生の相関係数は、地震動の大きさと建物の各層各部位間ごとの応答値との相関係数、及び、建物の各層各部位間ごとの耐力値の相関係数、とにに基づいて算出されているので、建物の各層に存在する各部位間の相関を任意に設定することが可能である。このため、建物の各層に存在する各部位間の相関を独立あるいは完全相関と仮定して P M L を算出した場合より正確な P M L を得ることが可能であり、評価対象となる建物に適合した P M L に基づいて、より適切な評価をすることが可能である。

【 0 0 0 7 】

かかる地震リスク評価方法であって、前記建物の各層各部位における損失分布は、前記各層各部位における損失分布の平均値、及び、各層各部位における損失分布の標準偏差であることが望ましい。

このような地震リスク評価方法によれば、各層各部位における損失分布が、各層各部位における損失分布の平均値、及び、各層各部位における損失分布の標準偏差なので、各層各部位における損失分布の信頼性が高い。このため、より信頼性の高い評価結果を得ることが可能である。

【 0 0 0 8 】

かかる地震リスク評価方法であって、前記応答値は、複数の地震動に対する当該応答値の中央値、及び、前記複数の地震動に対する当該応答値の対数標準偏差であり、前記耐力値は、当該耐力値の中央値、及び、当該耐力値の対数標準偏差であることが望ましい。

このような地震リスク評価方法によれば、応答値は、複数の地震動に対する応答値の中央値、及び、複数の地震動に対する応答値の対数標準偏差であり、耐力値は、耐力値の中央値、及び、耐力値の対数標準偏差なので、さらに信頼性の高い評価結果を得ることが可能である。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、より適切な地震リスク評価方法を提供し、対象建物に適合した P M L を評価することにある。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 0 】

【図 1】本発明に係る地震リスク評価方法の評価フローを示す図である。

【図 2】応答値と耐力値の分布を示す図である。

【図 3】各層各部位の被害確率関数を示す図である。

【図 4】損失発生の相関係数の概念を説明するための図である。

【図 5】イベントリスク曲線の作成方法を示す図である。

【図 6】イベント曲線に基づく P M L の評価方法を説明するための図である。

【図 7】降伏耐力の分布を示す図である。

【図 8】降伏耐力の相関図の一例を示す図である。

【図 9】模擬地震動の加速度応答スペクトルと目標スペクトルとの比較を示す図である。

【図 10】作成された模擬地震動の一例を示す図である。

【図 11】地震動の地表面最大速度が 5 0 c m / s のとき、応答層間変形角の相関図の一

10

20

30

40

50

例を示す図である。

【図12】1層，2層，5層，10層における地表面最大速度と応答値の関係の一例を示す図である。

【図13】発明評価方法と従来評価方法とて求められた地震損失曲線を示したグラフである。

【図14】発明評価方法と従来評価方法とて求められたイベントリスク曲線を示したグラフである。

【図15】発明評価方法と、従来評価方法1と、従来評価方法2とのPMLの比較を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本実施形態の地震リスク評価方法の一例について図を用いて詳細に説明する。

【0012】

図1は、本発明に係る地震リスク評価方法の評価フローを示す図である。

【0013】

<<発明の概要>>

本実施形態の地震リスク評価方法は、地表面最大速度にて示される種々の大きさの地震の発生確率と地震の大きさに対する建物の損失率との相関を示すイベントリスク曲線に示されるPMLにより評価する。このイベントリスク曲線の基となる地表面最大速度に対する建物の損失分布は、建物の応答値と耐力値とを用いて算出されるが、応答値と耐力値は、建物全体において一様ではなく、建物の各層各部位においてばらつきが生じている。このため本発明の地震リスク評価方法では、まず、建物を基礎固定の多質点等価せん断型にモデル化して、建物の各層各部位間の応答値及び耐力値の相関係数を求める。次に求められた各層各部位間の応答値及び耐力値の相関係数に基づいて各層各部位間における損失発生の相関係数を求める。そして、求められた各層各部位間における損失発生の相関係数と、建物の各層各部位における損失分布に基づいて、地震動の大きさに対する建物の損失分布を求めてイベントリスク曲線を作成する。作成されたイベントリスク曲線から求められるPMLにより地震リスクを評価する。

【0014】

すなわち本発明の地震リスク評価方法は、各層及び各部位間ごとに生じる応答値、及び、破壊しない限度を示す耐力値の相関係数とばらつきを用いて各層及び各部位ごとの損失発生の相関係数を算出し、各層及び各部位ごとの損失発生の相関係数に基づいて算出した建物全体の損失分布に基づいて地震リスクを評価する。

以下に、本実施形態の地震リスク評価方法において指標となるPMLの求め方を図1に基づいて説明する。

【0015】

<<本発明に係るPMLの求め方>>

<震源のモデル化>

・震源モデル及び地震発生確率の設定

地震リスクの評価にあたり、まず、建設地の地震危険度を評価する際の震源モデル及び地震発生確率を設定する。

本実施形態では、震源モデルとして地震調査研究推進本部・地震調査委員会が作成した震源モデルを採用し(図1におけるS1)、地震発生確率は、地震調査研究推進本部・地震調査委員会にて提案されているものを採用している(図1におけるS6)。

【0016】

・地表面の最大速度Vの算出

地震が発生した際の建設地の地震の大きさを示す「地表面最大速度」を算出する。

地表面の最大速度についても、地震調査研究推進本部・地震調査委員会にて作成された手法に基づいて算出する。

上記手法によれば、地表面の最大速度Vは、基準地盤における最大速度V₀に、表層地

10

20

30

40

50

盤による速度増幅率 a_{mp} を乗じることで求められる。

$$V = amp \times V_0 \quad (2.1)$$

V_0 : 基準地盤における最大速度

a_{mp} : 表層地盤による速度増幅率

【0017】

地表面最大速度 V の算出にあたり、まず、地震に対する基準地盤（S波速度 600 m / s 相当）における最大速度 V_0 を、速度距離減衰式、(2.2) 式を用いて計算する（図 1 における S2, S3）。

10

$$\log_{10} V_0 = 0.58M_w + 0.0038D + d - 1.29 - \log_{10}(X + 0.0028 \times 10^{0.50Mw}) - 0.002X \quad (2.2)$$

X : 断層最短距離 (km)

M_w : モーメントマグニチュード

d : 地震のタイプ別係数

(地殻内地震 : $d = 0$, プレート間地震 : $d = -0.02$,
プレート内地震 : $d = 0.12$)

D : 震源深さ (km)

【0018】

20

次に、表層地盤による速度増幅率 a_{mp} は、微地形分類に基づいた手法により (2.3) 式を用いて計算する（図 1 における S4）。

$$\log_{10} amp = 1.83 - 0.66 \log_{10} AVS \pm 0.16 \quad (2.3)$$

a_{mp} : 基準地盤に対する速度増幅率

AVS : 地表から地下 30 mまでの平均 S 波速度

(2.3) 式において、地表から地下 30 mまでの平均 S 波速度 AVS は (2.4) 式より求める。

$$\log_{10} AVS = a + b \log_{10} H + c \log_{10} D \pm \sigma \quad (2.4)$$

30

a , b , c , σ : 微地形区分ごとの係数

H : 標高 (m)

D : 主要河川からの距離 (km)

【0019】

40

ところで、地表面最大速度 V を計算する際の不確定要因としては、震源特性、伝播特性、地盤特性が存在する。このため、これらの不確定要因によるバラツキを対数正規分布でモデル化し、地表面最大速度の対数標準偏差 σ_V を、「全国を対象とした確率論的地震動予測地図作成手法の検討」（防災科学技術研究所、2005）に基づいて 0.46 に設定する。また、バラツキの速度振幅依存性として、基準地盤における最大速度 V_0 が 25 cm / s 以上の領域は、最大速度の値に応じて表 1 を設定する（図 1 における S5）。

【0020】

表 1 速度振幅による対数標準偏差の設定

基準地盤における最大速度 V_0	対数標準偏差
$V_0 < 25$	0.46
$25 < V_0 < 50$	$-0.0046 \times V_0 + 0.575$
$50 < V_0$	0.345

【0021】

つぎに、震源特性、伝播特性、地盤特性のバラツキを考慮したとき、地震Eの条件付き地表面最大速度の確率密度関数 $f(v|E)$ を、対数正規分布を用いてモデル化する。10

$$f(v|E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times \zeta_v \times v} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln v - \lambda_v}{\zeta_v} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

λ_v : 地表面最大速度の対数平均値

ζ_v : 地表面最大速度の対数標準偏差

ここで、地表面最大速度の対数平均値 λ_v は、(2.6) 式から求める。20

$$\lambda_v = \ln(\text{amp}) + \ln(\bar{V}_0) \quad (2.6)$$

\bar{V}_0 : 基準地盤における最大速度の中央値

【0022】

<< 入力地震動の設定 >>

本実施形態においては、入力地震動として、目標スペクトルを設定し、設定した目標スペクトルに適合するように地震動を作成する手法を採用する（図1におけるS7）。目標スペクトルとしては、震源特性、伝播特性、地盤特性の影響を簡易的に考慮するため、建築物荷重指針（1993年版）の加速度応答スペクトルを採用した。30

【0023】

<目標スペクトルの設定>

建築物荷重指針（1993年版）では、地表面の加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ を(2.7)～(2.9)式で設定する。

$$S_A(T, h) = \left(1 + \frac{f_A - 1}{d} \times \frac{T}{T_C}\right) \times F_h \times (G_A \times R_A \times A_0) \quad (0 \leq T \leq d \times T_C) \quad (2.7)$$

$$S_A(T, h) = F_h \times f_A \times (G_A \times R_A \times A_0) \quad (d \times T_C \leq T \leq T_C) \quad (2.8)$$

$$S_A(T, h) = \frac{2\pi \times F_h \times f_V \times (G_V \times R_V \times V_0)}{T} \quad (T_C \leq T) \quad (2.9)$$

f_A : $d \times T_C \leq T \leq T_C$ における加速度応答倍率で、 $f_A = 2.5$

10

f_V : $T_C \leq T$ における速度応答倍率で、 $f_V = 2.0$

d : $S_A(T, h)$ が一定値をとる区間の上限周期に対する下限周期の比で $d = 0.5$

T_c : $S_A(T, h)$ が一定値をとる区間の上限周期

F_h : 減衰補正係数 ($h = 5\%$ で、 $F_h = 1$)

A_0 : 標準地盤の地震動の最大加速度

V_0 : 標準地盤の地震動の最大速度

G_A : 地震動の最大加速度の地盤種別補正係数

G_V : 地震動の最大速度の地盤種別補正係数

R_A : 地震動の最大加速度の再現期間換算係数

R_V : 地震動の最大速度の再現期間換算係数

20

【0024】

ここで、再現期間換算係数 R_A と R_V は、100年再現期待値に対する r 年再現期待値の補正係数なので、その値を 1 に設定する。また、 $S_A(T, h)$ が一定値をとる区間の上限周期 T_c は、(2.10) 式で与えられる。

$$T_c = \frac{2\pi \times F_h \times f_V \times (G_V \times V_0)}{f_A \times (G_A \times A_0)} \quad (2.10)$$

【0025】

ここで、標準地盤において、最大速度に対する最大加速度の比は、 $A_0 / V_0 = 1.5$ (sec^{-1}) で与えられている。また、最大加速度の地盤種別補正係数 G_A は第 2 種地盤および第 3 種地盤に対して 1.2 で与えられ、最大速度の地盤種別補正係数 G_V は、(2.3) 式の表層地盤による速度增幅率 amp に設定する。以上の条件により、標準地盤の最大速度 V_0 が計算されると、目標スペクトルとしての地表面の加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ が設定される。

30

【0026】

< 地震動の包絡関数の設定 >

設定された目標となる加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ に適合する地震動を作成する。地震動の作成は、まず、フーリエ位相スペクトルを、一様乱数で与える。そして、設定されたフーリエ振幅とフーリエ位相を用いて、フーリエ逆変換により時刻歴波形を作成する。つぎに、地震のマグニチュードを与えて、地震動の包絡関数 $E(t)$ を「新・地震動のスペクトル解析入門」(鹿島出版会, 2002) の手法により (2.11) ~ (2.17) 式で設定する。

40

$$E(t) = \left(\frac{t}{T_a} \right)^2 \quad (0 \leq t \leq T_a) \quad (2.11)$$

$$E(t) = 1 \quad (T_a \leq t \leq T_b) \quad (2.12)$$

$$E(t) = \exp[-a \times (t - T_b)] \quad (T_b \leq t \leq T_d) \quad (2.13)$$

$$\text{ここに、 } a = \frac{-\ln(0.1)}{T_d - T_b} \quad (2.14)$$

【0027】

一方、地震動の継続時間 T_d を、次式で与える。

$$T_d = 10^{(0.31M - 0.774)} \quad (2.15)$$

M : 地震のマグニチュード

また、 T_a と T_b は、地震動の継続時間 T_d を用いて (2.16) 式と (2.17) 式で与える。

$$T_a = [0.12 - 0.04(M - 7)] \times T_d \quad (2.16)$$

$$T_b = [0.50 - 0.04(M - 7)] \times T_d \quad (2.17)$$

そして、時刻歴波形に $E(t)$ を乗じて、第1次の地震動を作成する。このようにして得られた第1次の地震動に対して加速度応答スペクトルを計算し、目標応答スペクトルへ適合するようにフーリエ振幅を補正する。この操作を繰り返して、目標の加速度応答スペクトルに適合する地震動を作成する。

【0028】

<最大速度と平均マグニチュードとの関係>

建設地の地震ハザードは、地表面最大速度を指標として評価し、また地震動の包絡形状は地震のマグニチュードの関数として与えているため、地表面最大速度と地震のマグニチュードの関係が必要になる。このため、地表面最大速度を V_i ($i = 1 \sim k$) に離散化し、地表面最大速度の中央値 \bar{V} が $V_{i-1} \leq \bar{V} \leq V_i$ ($i = 1 \sim k$) に該当するとき、地震の平均マグニチュード \bar{M}_i ($i = 1 \sim k$) を地震の年平均発生率 ν で重み付け平均して評価する。

$$\bar{M}_i = \frac{\sum_j (v_{ji} \times M_{ji})}{\sum_j v_{ji}} \quad (2.18)$$

ここで、 M_{ji} と v_{ji} は、地表面最大速度の中央値 \bar{V} が $V_{i-1} \leq \bar{V} \leq V_i$ ($i = 1 \sim k$) に該当するときの地震 j のマグニチュードと年平均発生率である。

【0029】

<各層各部位の被害確率関数>

次に、建物を、基礎固定の多質点等価せん断型にモデル化し（図1におけるS8）、設定した地震動を用いて地震応答解析を行い、建物各層の応答値を計算する。このとき、建物の降伏耐力と地震動特性のバラツキを反映して応答値の分布を評価するため、建物の降伏耐力と地震動のサンプル値を抽出してモンテカルロシミュレーションを行う（図1におけるS9）。

ここで、降伏耐力のサンプル値の総数を n_y 、地震動のサンプル値の総数を n_g とし、地震動 g （地表面最大速度を V_g とする）に対する応答値の中央値 $M_s(V_g)$ と応答値の対数標準偏差 (V_g) を計算する（図 1 における S 1 0）。

【0030】

次に、地表面最大速度 $V_g(g=1 \sim n_g)$ と応答値の中央値 $M_s(V_g)$ の関係、及び、地表面最大速度 $V_g(g=1 \sim n_g)$ と応答値の対数標準偏差 (V_g) の関係を求め、地表面最大速度 V と応答値の中央値 M_s の関係ならびに地表面最大速度 V と応答値の対数標準偏差 s を、次式を用いて回帰する。

$$M_s = d_1 \times V^{d_2} \quad (2.19) \quad 10$$

$$\zeta_s = c \quad (2.20)$$

V ：地震動の最大速度

d_1, d_2 ：中央値の回帰係数

c ：対数標準偏差の回帰係数

このとき、各層各部位ごとに耐力値の分布を設定して、地表面最大速度 V に対する各層各部位の損傷確率 P を評価する。

【0031】

図 2 は、応答値と耐力値の分布を示す図であり、図 3 は、各層各部位の被害確率関数を示す図である。図 2 において、耐力値は地震動の大きさに関係なく建物側によって決まっているため、一定であるが、応答値が大きくなると耐力値の分布と応答値の分布とに交わりが生じる。この交わりが壊れる確率を示しており地表面最大速度（地震）が大きくなれば壊れる確率が大きくなることが示されている。これを模式的に表したもののが図 3 である。

20

【0032】

応答値 S が耐力値 R を超過すると被害が発生するため、限界状態関数 Z は、耐力値 R から応答値 S を減じることで求められる。なお、 $Z > 0$ であれば被害無し、 $Z < 0$ であれば被害有りとなる。

$$Z = R - S \quad (2.21) \quad 30$$

【0033】

ここで、応答値 S と耐力値 R の分布をともに対数正規分布でモデル化すると、(2.21) 式の限界状態関数に対する信頼性指標 β は (2.22) 式より評価される（図 1 における S 1 1）。

$$\beta = \frac{\lambda_R - \lambda_S}{\sqrt{\zeta_R^2 + \zeta_S^2}} \quad (2.22) \quad 40$$

λ_S ：応答値の対数平均値

ζ_S ：応答値の対数標準偏差

λ_R ：耐力値の対数平均値

ζ_R ：耐力値の対数標準偏差

応答値の対数平均値 s は、(2.19) 式の応答値の中央値 M_s の自然対数をとることで求められる。

$$\lambda_S = \ln d_1 + d_2 \times \ln V \quad (2.23)$$

(2.23) 式の応答値の対数平均値 s と、(2.20) 式の応答値の対数標準偏差 s を (2.22) 式に代入すると、信頼性指標 β は (2.24) 式より計算できる。

$$\beta = \frac{\lambda_R - (\ln d_1 + d_2 \times \ln V)}{\sqrt{\zeta_R^2 + c^2}} \quad (2.24)$$

【0034】

従って、被災度（例えば、小破、中破など）に対応した耐力値の対数平均値 λ_R と対数標準偏差 ζ_R を設定すると、被害確率関数 $P(V)$ は次式より評価できる（図1におけるS12）。

【0035】

$$P(V) = \Phi(-\beta) \\ = \Phi\left[-\frac{\lambda_R - (\ln d_1 + d_2 \times \ln V)}{\sqrt{\zeta_R^2 + c^2}}\right] \quad (2.25)$$

V ：地震動の地表面最大速度

$\Phi(\cdot)$ ：平均0、標準偏差1の標準正規分布関数

10

【0036】

<各層各部位の損失分布>

本実施形態の地震リスク評価方法では、建物全体の損失分布を各層及び各部位ごとの損失発生の相関係数に基づき地震リスクを評価する。ここでは、評価対象となる建物の層数を i にて部位数を k として、 i 層の建物が有する k 部位について各層及び各部位ごとの損失発生の相関係数に基づき地震リスクを評価する。

20

【0037】

i 層 k 部位において、被災度 L ($L = 1 \sim n_{ik}$) に対する損傷確率を $P_{L,ik}(V)$ 、復旧費用を $C_{L,ik}$ とすると、 i 層 k 部位における損失分布の平均値 $\mu_{ik}(V)$ と標準偏差 $\sigma_{ik}(V)$ は、(2.25)式の被害確率関数 $P(V)$ を用いて求められる（図1におけるS13、S14）。

$$\mu_{ik}(V) = \sum_{L=1}^{n_{ik}} \{ \Delta P_{L,ik}(V) \times C_{L,ik} \} \quad (2.26)$$

$$\sigma_{ik}(V) = \sqrt{\sum_{L=1}^{n_{ik}} \{ \Delta P_{L,ik}(V) \times (C_{L,ik} - \mu_{ik}(V))^2 \}} \quad (2.27)$$

$C_{L,ik}$ ： i 層 k 部位において被災度 L に対する復旧費用

30

ここで、 $P_{L,ik}$ は、被災度 L に応じて次式より求める。

【0038】

$$\Delta P_{L,ik}(V) = P_{L,ik}(V) - P_{L+1,ik}(V) \quad (1 \leq L \leq n_{ik}-1) \quad (2.28)$$

40

$$\Delta P_{L,ik}(V) = P_{L,ik}(V) \quad (L = n_{ik}) \quad (2.29)$$

【0039】

<建物の損失分布>

建物の損失は、各層各部位の損失の和となるので、地表面最大速度 V に対する建物の損失分布の平均値 $\mu_c(V)$ と標準偏差 $c(V)$ は、次式より求められる。図4は、損失発生の相関係数の概念を説明するための図である。

$$\mu_C(V) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m(i)} \mu_{ik}(V) \quad (2.30)$$

$$\sigma_C(V) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m(j)} \sum_{k=1}^{m(i)} \sum_{l=1}^{m(j)} \rho_{ik,jl} \times \sigma_{ik}(V) \times \sigma_{jl}(V)} \quad (2.31)$$

N : 建物の階数

m (i) : i 層における部位数の合計値

【0040】

(2.31) 式において、 $\rho_{ik,jl}$ は i 層 k 部位と j 層 l 部位の損失発生の相関係数であり、図 4 に示すように、耐力値の相関係数 ρ_{R_{ik},j_1} と応答値の相関係数 ρ_{S_{ik},j_1} を用いて評価できる（図 1 における S15、S16）。

このとき、応答値と耐力値の分布がともに対数正規分布でモデル化されているので、損失発生の相関係数 $\rho_{ik,jl}$ は次式から計算できる。

$$\rho_{ik,jl} = \frac{\ln(1 + \rho_{R_{ik},jl} \times V_{R,ik} \times V_{R,jl}) + \ln(1 + \rho_{S_{ik},jl} \times V_{S,ik} \times V_{S,jl})}{\sqrt{\zeta_{R,ik}^2 + \zeta_{S,ik}^2} \times \sqrt{\zeta_{R,jl}^2 + \zeta_{S,jl}^2}} \quad (2.32)$$

ρ_{R_{ik},j_1} : i 層 k 部位と j 層 l 部位における耐力値の相関係数

$V_{R,ik}$: i 層 k 部位の耐力値の変動係数

$V_{R,jl}$: j 層 l 部位の耐力値の変動係数

ρ_{S_{ik},j_1} : i 層 k 部位と j 層 l 部位における応答値の相関係数

$V_{S,ik}$: i 層 k 部位の応答値の変動係数

$V_{S,jl}$: j 層 l 部位の応答値の変動係数

【0041】

(2.32) 式において、耐力値の相関係数 ρ_{R_{ik},j_1} は、次式より計算される。

$$\rho_{R_{ik},jl} = \frac{E[(R_{ik} - \mu_{R,ik})(R_{jl} - \mu_{R,jl})]}{\sigma_{R,ik} \times \sigma_{R,jl}} \quad (2.33)$$

$\mu_{R,ik}$: i 層 k 部位の耐力値の平均値

$\mu_{R,jl}$: j 層 l 部位の耐力値の平均値

$\sigma_{R,ik}$: i 層 k 部位の耐力値の標準偏差

$\sigma_{R,jl}$: j 層 l 部位の耐力値の標準偏差

【0042】

また、(2.32) 式において、耐力値の変動係数 $V_{R,ik}$ と $V_{R,jl}$ は、次式により計算される。

$$V_{R,ik} = \sqrt{\exp(\zeta_{R,ik}^2) - 1} \quad (2.34)$$

$$V_{R,jl} = \sqrt{\exp(\zeta_{R,jl}^2) - 1} \quad (2.35)$$

一方、応答値の相関係数 ρ_{S_{ik},j_1} (V_g) は、地震動 g ($g = 1 \sim n_g$) の地表面最大速度 V_g ごとに次式により計算される（図 1 における S18）。

$$\rho_{S_{ik},jl}(V_g) = \frac{E[(S_{ik} - \mu_{S,ik}(V_g)) \times (S_{jl} - \mu_{S,jl}(V_g))]}{\sigma_{S,ik}(V_g) \times \sigma_{S,jl}(V_g)} \quad (2.36)$$

$\mu_{S,ik}(V_g)$: 地震動 g に対する i 層 k 部位の応答値の平均値

$\mu_{S,jl}(V_g)$: 地震動 g に対する j 層 l 部位の応答値の平均値

$\sigma_{S,ik}(V_g)$: 地震動 g に対する i 層 k 部位の応答値の標準偏差

$\sigma_{S,jl}(V_g)$: 地震動 g に対する j 層 l 部位の応答値の標準偏差

【0043】

また、(2.32)式において、応答値の変動係数 $V_{S,ik}(V_g)$ と $V_{S,jl}(V_g)$ は、次式より計算される。10

$$V_{S,ik}(V_g) = \sqrt{\exp(\rho_{S,ik}(V_g)^2) - 1} \quad (2.37)$$

$$V_{S,jl}(V_g) = \sqrt{\exp(\rho_{S,jl}(V_g)^2) - 1} \quad (2.38)$$

このとき、(2.32)式における応答値の相関係数 $\rho_{S,ik,jl}$ は、地震動 g ($g = 1 \sim n_g$) ごとに計算された応答値の相関係数 $\rho_{S,ik,jl}(V_g)$ の平均値を用いて評価する。

$$\rho_{S,ik,jl} = \frac{1}{n_g} \sum_{g=1}^{n_g} \rho_{S,ik,jl}(V_g) \quad (2.39) \quad 20$$

【0044】

つぎに、地表面最大速度 V の条件付き建物の損失分布の確率密度関数 $f(c|v)$ を、ベータ分布を用いてモデル化する。

$$f(c|v) = \frac{1}{B(q,r)} \times \frac{C^{q-1} \times (C_B - C)^{r-1}}{C_B^{q+r-1}} \quad (2.40)$$

C_B : 新築費用

$B(q, r)$: ベータ関数

上式において、パラメータ q と r は、建物の損失分布の平均値 $\mu_c(V)$ と標準偏差 $\sigma_c(V)$ を用いて求められる。30

$$q = \frac{(\mu_c(V) - C_B)}{C_B} \times \left\{ 1 + \frac{\mu_c(V) \times (\mu_c(V) - C_B)}{\sigma_c(V)^2} \right\} \quad (2.41)$$

$$r = -\frac{\mu_c(V)}{C_B} \times \left\{ 1 + \frac{\mu_c(V) \times (\mu_c(V) - C_B)}{\sigma_c(V)^2} \right\} \quad (2.42)$$

【0045】

地表面最大速度 V の条件付き損失分布の期待値 $E[C|v]$ は、地表面最大速度 V の条件付き損失分布の確率密度関数 $f(c|v)$ を用いて求められる。40

$$E[C|v] = \int_0^{C_B} c \times f(c|v) dc \quad (2.43)$$

一方、90%非超過確率に相当する損失 $C_M(V)$ は、次式を満足するように求められる。

$$\int_0^{C_M(v)} f(c|v) dc = 0.9 \quad (2.44)$$

このとき、期待値に相当する地震損失曲線 $S L_E(V)$ は、地表面最大速度を変化させて損失分布の期待値 $E[C|v]$ を連続的に計算することにより評価できる（図1における S 1 9）。

$$SL_E(V) = E[C|V] \quad (2.45)$$

同様に、90%非超過確率に相当する地震損失曲線 $S L_M(V)$ は、地表面最大速度を変化させて損失分布の90%非超過確率に相当する $C_M(v)$ を連続的に計算することにより評価できる。 10

【0046】

<イベントリスク曲線>

地震Eの条件付き損失分布の確率密度関数 $f(c|E)$ は、地震Eの条件付き地表面最大速度の確率密度関数 $f(v|E)$ で、地表面最大速度Vの条件付き損失分布の確率密度関数 $f(c|v)$ を重み付け積分することにより求められる。

$$f(c|E) = \int_0^{\infty} \{f(c|v) \times f(v|E)\} dv \quad (2.46)$$

地震 E_i に対して、90%非超過確率に相当する損失 $C_M(E_i)$ は、次式を満足するように求める。 20

$$\int_0^{C_M(E_i)} f(c|E_i) dc = 0.9 \quad (2.47)$$

【0047】

全ての地震 E_i ($i = 1 \sim M$) を対象に、90%非超過確率に相当する損失 $C_M(E_i)$ を計算し、 $C_M(E_i)$ を大きい順に並べ替える。

$$C_M(E_1) \geq C_M(E_2) \geq \dots \geq C_M(E_M) \quad 30$$

このとき、損失 $C_M(E_m)$ の年超過確率 P_m は、 $C_M(E_m)$ 以上の損失が生じる全ての地震 E_i ($i = 1 \sim m$) の和事象として評価される。

$$\begin{aligned} P_m &= P[(E_1) \cup (E_2) \cup \dots \cup (E_m)] \\ &= 1 - P[(\bar{E}_1) \cap (\bar{E}_2) \cap \dots \cap (\bar{E}_m)] \end{aligned} \quad (2.48)$$

【0048】

ここで、地震 E_i ($i = 1 \sim m$) の発生が互いに独立であると仮定すると、年超過確率 P_m は次式から求められる。

$$\begin{aligned} P_m &= 1 - \prod_{i=1}^m \{P[\bar{E}_i]\} \\ &= 1 - \prod_{i=1}^m \{1 - P[E_i]\} \end{aligned} \quad (2.49)$$

また、地震発生を定常ポアソン過程でモデル化すると、地震 E_i の年発生確率 $P[E_i]$ は次式から求められる。

10

$$P[E_i] = 1 - \exp(-\nu_i) \quad (2.50)$$

ν_i : 地震 E_i の年平均発生率

【0049】

以上により、損失 $C_M(E_m)$ の年超過確率 P_m は、次式から評価できる。

$$P_m = 1 - \prod_{i=1}^m \{\exp(\nu_i)\} \quad (2.51)$$

20

同様に、考慮する全ての地震 E_i ($i = 1 \sim M$) に対して、損失 $C_M(E_i)$ と年超過確率 P_i を計算する。図 5 は、イベントリスク曲線の作成方法を示す図である。図 5 に示すように、上記のようにして算出した結果に基づいてイベントリスク曲線を作成し評価する（図 1 における S 2 0）。

【0050】

< P M L >

図 6 は、イベント曲線に基づく PML の評価方法を説明するための図である。

30

PML は、図 6 のイベントリスク曲線において、年超過確率 P_K が $1/475$ となる地震 E_K に対する 90% 非超過確率の損失率 $C_M(E_K)$ で評価できる（図 1 における S 2 1）。

【0051】

<< 本発明に係る地震リスク評価方法と従来の地震リスク評価方法との比較 >>

< 比較のための条件 >

上述した発明に係る地震リスク評価方法（以下、発明評価方法という）の結果と従来の地震リスク評価方法（以下、従来評価方法という）との結果を比較するにあたり、地震リスク評価の条件を次のように設定する。発明評価方法では、各層各部位における損失発生の相関を任意に設定する。従来評価方法は、2つのケースについて解析する。具体的には、従来の地震リスク評価方法の一方（以下、従来評価方法 1 という）は、各層各部位における損失が独立して発生すると仮定し、他方（以下、従来評価方法 2 という）は各層各部位における損失が完全に相関して発生すると仮定して解析する。

40

そして、各層の降伏耐力の間に相関が生じたときの、発明評価方法と従来評価方法による地震リスク結果を比較する。

【0052】

< 建物モデルの設定 >

本地震リスク評価にて評価の対象となる建物モデルは、例えば R C 造 10 階とする（図 1 における S 8）。図 7 は、降伏耐力の分布を示す図である。

降伏ベースシアー係数は 0.3 とし、高さ方向の降伏せん断力係数は A-i 分布で与える。各層の復元力特性は、図 7 に示すように、ひび割れ耐力 Q_c を降伏耐力 Q_y の 1/3 に

50

、ひび割れ変形角を1/1500、降伏変形角を1/150に設定し、復元力特性はTakedaモデルで与える。建物の減衰は、1次の減衰定数が3%の剛性比例型で与え、地震応答解析を行う際は瞬間剛性比例型とした。

【0053】

また、降伏耐力の分布を対数正規分布でモデル化し、降伏耐力の変動係数を「建築物の限界状態設計指針」(日本建築学会、2002)を参考に0.15を設定する。また、各層の降伏耐力の相関係数 ρ_Q は、全ての層に対して0.8を設定する。

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho_Q & \cdots & \rho_Q \\ \rho_Q & 1 & \cdots & \rho_Q \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_Q & \rho_Q & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.8 & \cdots & 0.8 \\ 0.8 & 1 & \cdots & 0.8 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.8 & 0.8 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

10

このとき、降伏耐力のサンプル値の総数 n_y は、100ケースとする。図8は、降伏耐力の相関図の一例を示す図である。

【0054】

一方、耐力値として限界層間変形角を採用し、限界層間変形角の中央値と対数標準偏差を、以下で設定する(図1におけるS11)。

表2 限界層間変形角の中央値と対数標準偏差

	小破	中破	大破	倒壊
中央値	1/150	1/75	1/50	1/30
対数標準偏差	0.2	0.2	0.2	0.2

20

【0055】

また、被災度に応じた復旧費用は、以下で設定する(図1におけるS13)。

表3 新築費用に対する復旧費用の比率

小破	中破	大破	倒壊
0.1	0.2	0.5	1

30

【0056】

<入力地震動の設定>

建設地は、東京(緯度:35.678, 経度:139.770)に設定する。このとき、基準地盤に対する速度増幅率は2.273となるので、<目標スペクトルの設定>にて上述した手法に従い加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ を求める(図1におけるS7)。また、地表面最大速度の中央値と平均マグニチュードの関係を求めるとき、表4となる。

表 4 地表面最大速度の中央値と平均マグニチュードの関係

地表面最大速度の中央値 \bar{V} (cm/s)	平均マグニチュード \bar{M}
$0 \leq \bar{V} \leq 5$	4.70
$5 \leq \bar{V} \leq 10$	6.31
$10 \leq \bar{V} \leq 15$	6.61
$15 \leq \bar{V} \leq 20$	6.90
$20 \leq \bar{V} \leq 25$	7.00
$25 \leq \bar{V} \leq 30$	7.19
$30 \leq \bar{V} \leq 35$	7.35
$35 \leq \bar{V} \leq 40$	7.70
$40 \leq \bar{V} \leq 45$	7.69
$45 \leq \bar{V} \leq 50$	7.91
$50 \leq \bar{V} \leq 55$	7.89
$55 \leq \bar{V} \leq 60$	7.91
$60 \leq \bar{V} \leq 65$	7.99
$\bar{V} \geq 65$	7.99

【0057】

$S_A(T, h)$ を目標スペクトルに設定し、地表面最大速度の中央値と平均マグニチュードの関係を用いて、地表面最大速度に応じた模擬地震動を作成する。地表面最大速度は、5 ~ 100 cm/s の間で 5 cm/s 刻みで計 20 レベルを設定し、また模擬地震動を作成するときの位相は乱数で与え、乱数の初期値を変化させてそれぞれの地表面最大速度に対して 10 波の模擬地震動を作成する。従って、地震動のサンプル値の総数 n_g は、 $n_g = 20 \times 10 = 200$ ケースとなる。図 9 は、模擬地震動の加速度応答スペクトルと目標スペクトルとの比較を示す図であり、図 10 は、作成された模擬地震動の一例を示す図である。

【0058】

<モンテカルロシミュレーション>

降伏耐力と地震動のサンプル値の総数を以下で設定し、両者を組み合わせて計 $100 \times 200 = 20000$ ケースの地震応答解析を行い、建物各層の応答値の分布を計算する（図 1 における S9）。なお、応答値として、応答層間変形角を採用する。

- ・降伏耐力のサンプル総数 : $n_y = 100$ ケース
- ・地震動のサンプル総数 : $n_g = 200$ ケース

10

20

30

40

50

図11は、地震動の地表面最大速度が50cm/sのとき、応答層間変形角の相関図の一例を示す図である。

【0059】

<地表面最大速度と応答値の関係>

建物の各層ごとに、地表面最大速度と応答値の中央値の関係、ならびに地表面最大速度と応答値の対数標準偏差の関係を評価する(図1におけるS15)。

図12は、1層、2層、5層、10層における地表面最大速度と応答値の関係の一例を示す図である。

【0060】

<損失発生の相関係数>

発明評価方法における応答値の相関係数、耐力値の相関係数、ならびに両者の値を用いて計算された損失発生の相関係数は以下のとおりである(図1におけるS16, S17)。

。

【0061】

・応答値の相関係数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0000	0.2205	0.0753	0.1531	0.1080	0.0116	0.0790	0.0930	0.1078	0.0683
2	0.2205	1.0000	0.2236	0.0294	0.1734	0.0708	0.1520	0.1393	0.0960	0.1688
3	0.0753	0.2236	1.0000	0.1625	0.0347	-0.0106	0.0905	0.1230	0.0502	-0.0218
4	0.1531	0.0294	0.1625	1.0000	0.0903	0.0737	0.0561	0.0900	0.1339	0.2504
5	0.1080	0.1734	0.0347	0.0903	1.0000	0.2796	0.1937	0.1230	0.1379	0.2973
6	0.0116	0.0708	-0.0106	0.0737	0.2796	1.0000	0.3327	0.2073	0.1892	0.2639
7	0.0790	0.1520	0.0905	0.0561	0.1937	0.3327	1.0000	0.1844	0.2765	0.1926
8	0.0930	0.1393	0.1230	0.0900	0.1230	0.2073	0.1844	1.0000	0.3545	0.2386
9	0.1078	0.0960	0.0502	0.1339	0.1379	0.1892	0.2765	0.3545	1.0000	0.3625
10	0.0683	0.1688	-0.0218	0.2504	0.2973	0.2639	0.1926	0.2386	0.3625	1.0000

【0062】

・耐力値の相関係数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
2	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
3	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
4	0.8	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
5	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8
7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8
8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8
9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	0.8
10	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0

【0063】

10

20

30

40

・損失発生の相関係数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1.000	0.473	0.406	0.423	0.399	0.329	0.384	0.385	0.383	0.320	
2	0.473	1.000	0.480	0.339	0.430	0.357	0.420	0.406	0.368	0.381	
3	0.406	0.480	1.000	0.435	0.363	0.324	0.399	0.410	0.355	0.267	
4	0.423	0.339	0.435	1.000	0.369	0.348	0.350	0.365	0.382	0.431	
5	0.399	0.430	0.363	0.369	1.000	0.482	0.438	0.388	0.387	0.464	
6	0.329	0.357	0.324	0.348	0.482	1.000	0.517	0.433	0.412	0.436	
7	0.384	0.420	0.399	0.350	0.438	0.517	1.000	0.429	0.478	0.394	10
8	0.385	0.406	0.410	0.365	0.388	0.433	0.429	1.000	0.523	0.422	
9	0.383	0.368	0.355	0.382	0.387	0.412	0.478	0.523	1.000	0.503	
10	0.320	0.381	0.267	0.431	0.464	0.436	0.394	0.422	0.503	1.000	

【0064】

従来評価方法1における応答値の相関係数、耐力値の相関係数、ならびに両者の値を用いて計算された損失発生の相関係数は以下のとおりである。

応答値の相関係数 耐力値の相関係数 損失発生の相関係数

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

10

【0065】

従来評価方法2における応答値の相関係数、耐力値の相関係数、ならびに両者の値を用いて計算された損失発生の相関係数は以下のとおりである。

応答値の相関係数 耐力値の相関係数 損失発生の相関係数

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

20

30

【0066】

<地震損失曲線の比較>

損失発生の相関による地震損失曲線を、発明評価方法と従来評価方法とを比較する。図13は、発明評価方法と従来評価方法とにて求められた地震損失曲線を示したグラフである。図13に示すように、発明評価方法にて求められた損失率は、従来評価方法1(独立としたケース)の損失率と従来評価方法2(完全相関としたケース)の損失率との間の値を示している。すなわち、発明評価方法と比較して、従来評価方法1は損失率を過少に、逆に従来評価方法2は損失率を過大に評価している。

40

【0067】

<イベントリスク曲線の比較>

損失発生の相関によるイベントリスク曲線を、発明評価方法と従来評価方法とを比較する。図14は、発明評価方法と従来評価方法とにて求められたイベントリスク曲線を示したグラフである。図14に示すように、年超過確率が約 10^{-2} 以下の領域では、発明評価方法にて求められた損失率は、従来評価方法1(独立としたケース)の損失率と従来評価方法2(完全相関としたケース)の損失率との間の値を示している。すなわち、年超過確率が約 10^{-2} 以下の領域では、従来評価方法1は発明手法と比較して損失率を過少に、従

50

来評価方法2は損失率を過大に評価している。

【0068】

< PML の比較 >

PMLは、年超過確率 P_K が $1/475$ となる地震 E_K に対する損失 $C_M(E_K)$ で評価できる。

このため、図14のイベントリスク曲線よりPML値を求め、発明評価方法と従来評価方法とを比較する。発明評価方法と比較して、従来評価方法1(独立としたケース)はPMLを過少に、逆に従来評価方法2(完全相関としたケース)はPMLを過大に評価している。

図15は、発明評価方法と、従来評価方法1と、従来評価方法2とのPMLの比較を示す図である。

【0069】

以上の検討結果より、上記実施形態の地震リスク評価方法によれば、図15に示すように、従来評価方法1(独立としたケース)は発明評価方法と比較してPMLを過少に、従来評価方法2(完全相関としたケース)は発明評価方法と比較してPMLを過大に評価していることが示された。従って、損失発生の相関を反映した発明評価方法を用いて、建物の地震リスクをより正確に評価することが可能である。

【0070】

すなわち、上記実施形態の地震リスク評価方法によれば、PMLの基となる地震動の大きさに対する建物の損失分布 $\mu_c(V)$ 、 $c(V)$ は、建物の各層各部位間ににおける損失発生の相関係数 i_k, j_1 と、建物の各層各部位における損失分布 $\mu_{ik}(V)$ 、 $i_k(V)$ とに基づいて算出されるので、建物の各層各部位において、地震動の大きさごとの発生する損失とその発生確率に基づいて地震リスクを評価することが可能である。このとき、各層各部位間ににおける損失発生の相関係数 i_k, j_1 は、地震動の大きさと建物の各層各部位間ごとの応答値との相関係数 s_{ik}, j_1 及び、建物の各層各部位間ごとの耐力値の相関係数 R_{ik}, j_1 とに基づいて算出されているので、建物の各層に存在する各部位間の相関を任意に設定することが可能である。このため、建物の各層に存在する各部位間の相関を独立あるいは完全相関と仮定してPMLを算出した場合より正確なPMLを得ることが可能である。このため、評価対象となる建物に適合したPMLに基づいて、より適切な評価をすることが可能である。

【0071】

また、各層各部位における損失分布が、各層各部位における損失分布の平均値 $\mu_{ik}(V)$ 、及び、各層各部位における損失分布の標準偏差 $i_k(V)$ なので、各層各部位における損失分布の信頼性が高い。このため、より信頼性の高い評価結果を得ることが可能である。

【0072】

また、応答値 S は、複数の地震動に対する応答値の中央値 M_s 、及び、複数の地震動に対する応答値の対数標準偏差 s であり、耐力値 R は、耐力値の中央値、及び、耐力値の対数標準偏差なので、さらに信頼性の高い評価結果を得ることが可能である。

【0073】

また、上記実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得ると共に、本発明にはその等価物が含まれることはいうまでもない。

【符号の説明】

【0074】

V 地表面最大速度

S 応答値

R 耐力値

s 応答値の対数平均値

s 応答値の対数標準偏差

10

20

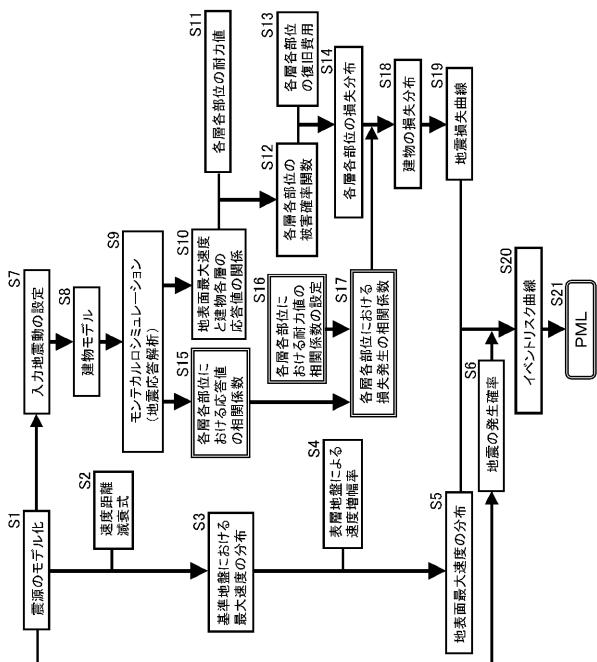
30

40

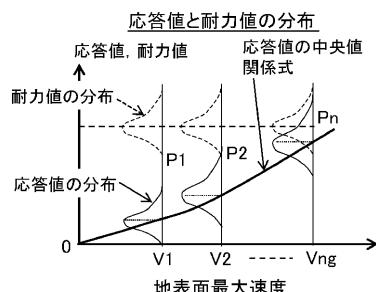
50

μ_R 耐力値の対数平均値
 σ_R 耐力値の対数標準偏差
 $\mu_c(V)$ 地震動の大きさに対する建物の損失分布の平均値
 $\sigma_c(V)$ 地震動の大きさに対する建物の損失分布の標準偏差
 $\mu_{ik}(V)$ 地震動の大きさに対する建物の各層各部位における損失分布の平均値
 $\sigma_{ik}(V)$ 地震動の大きさに対する建物の各層各部位における損失分布の標準偏差
 $r_{ik,jl}$ 建物の各層各部位間における損失発生の相関係数
 $s_{ik,jl}$ 地震動の大きさと建物の各層各部位間ごとの応答値との相関係数
 $r_{ik,jl}$ 建物の各層各部位間ごとの耐力値との相関係数

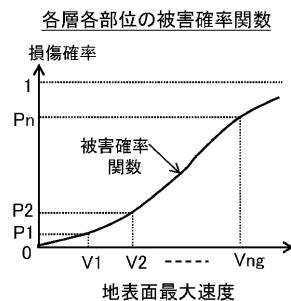
【図1】



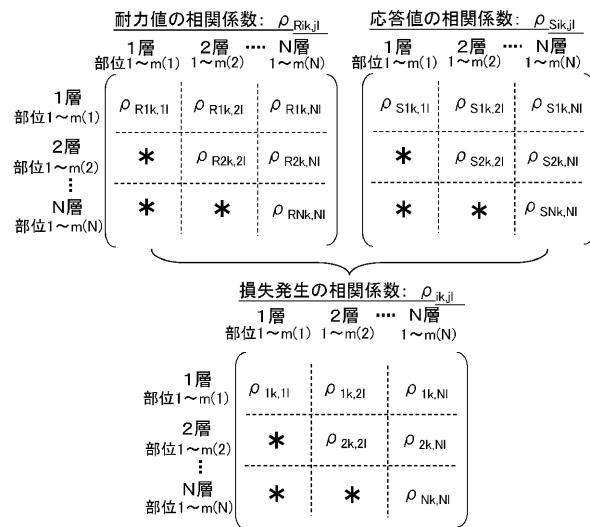
【図2】



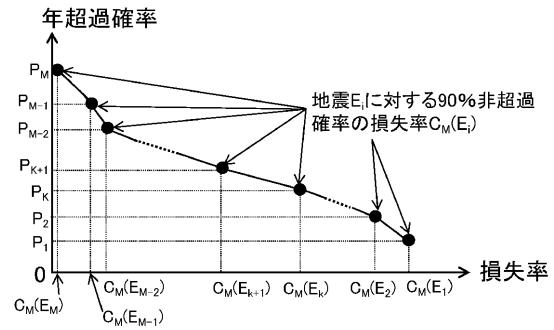
【図3】



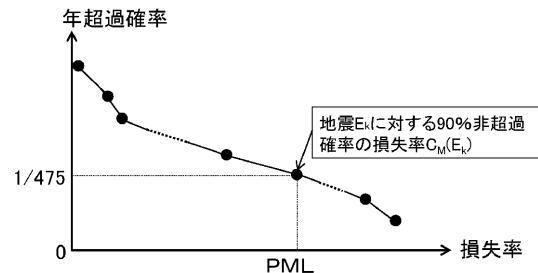
【図4】



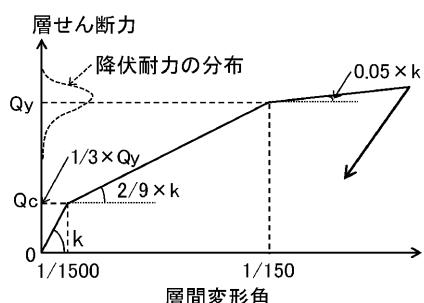
【図5】



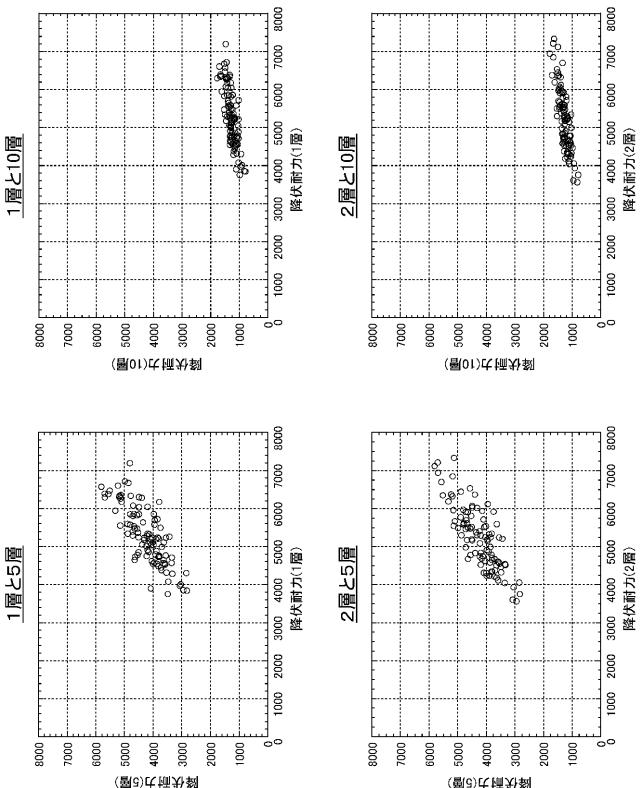
【図6】



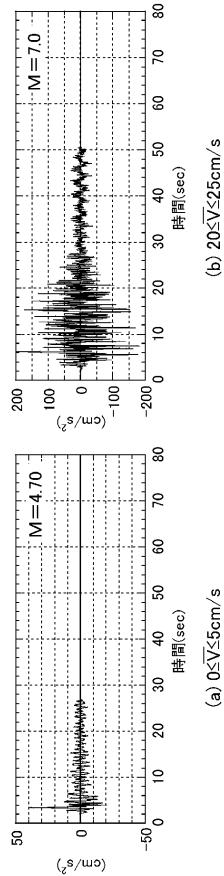
【図7】



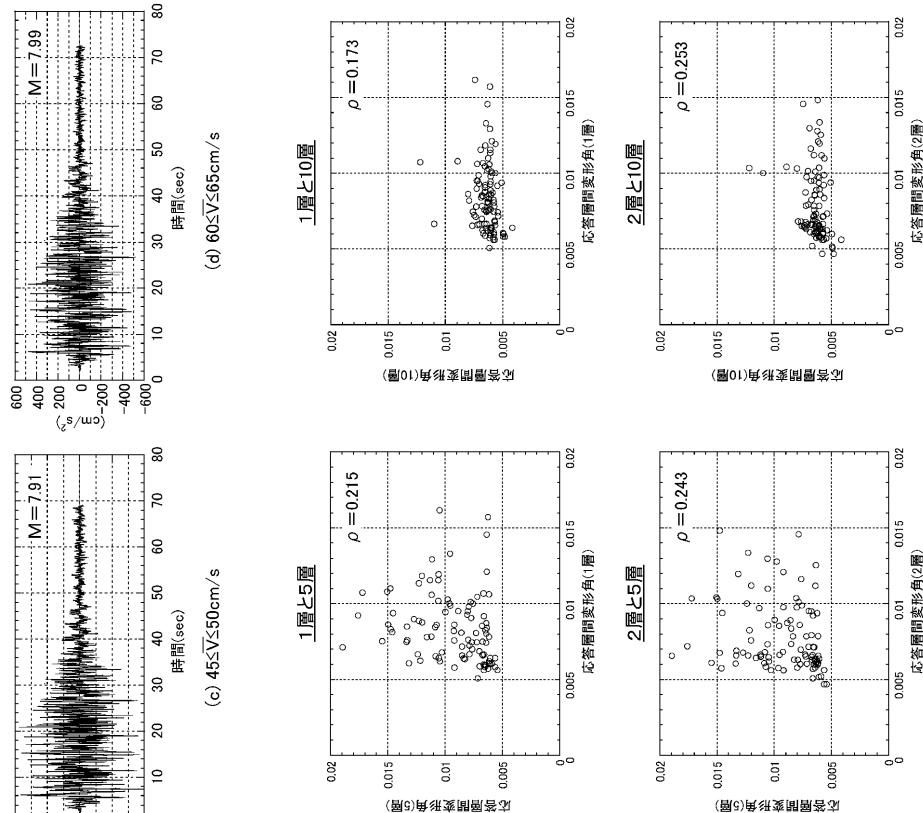
【図8】



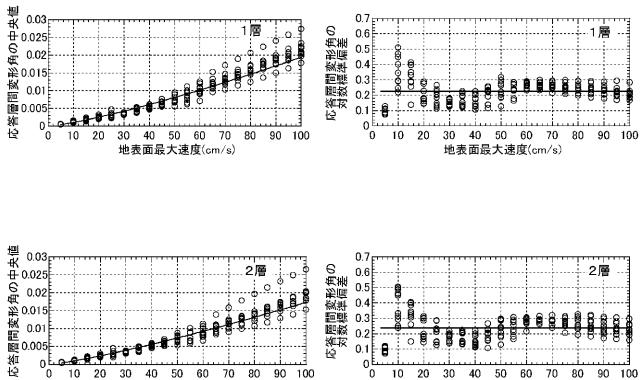
【図 10】



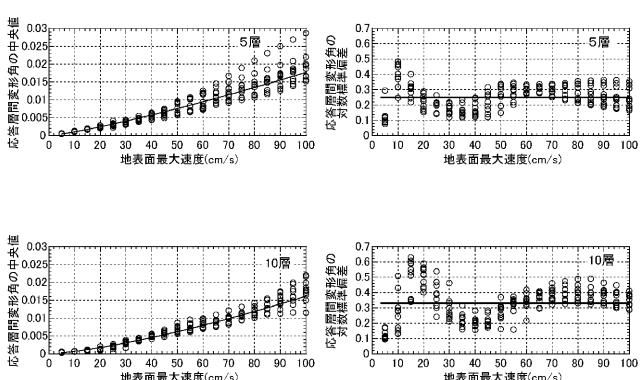
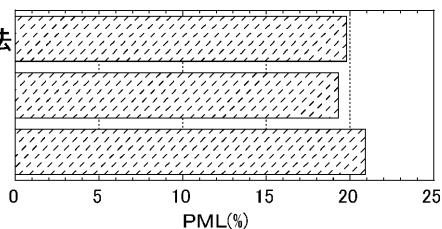
【図 11】



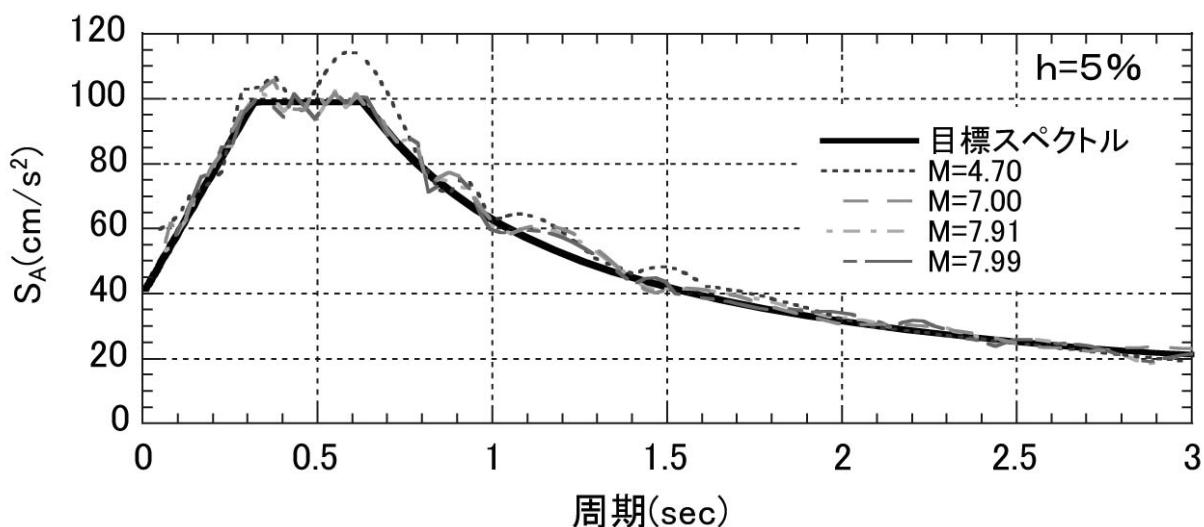
【図 12】



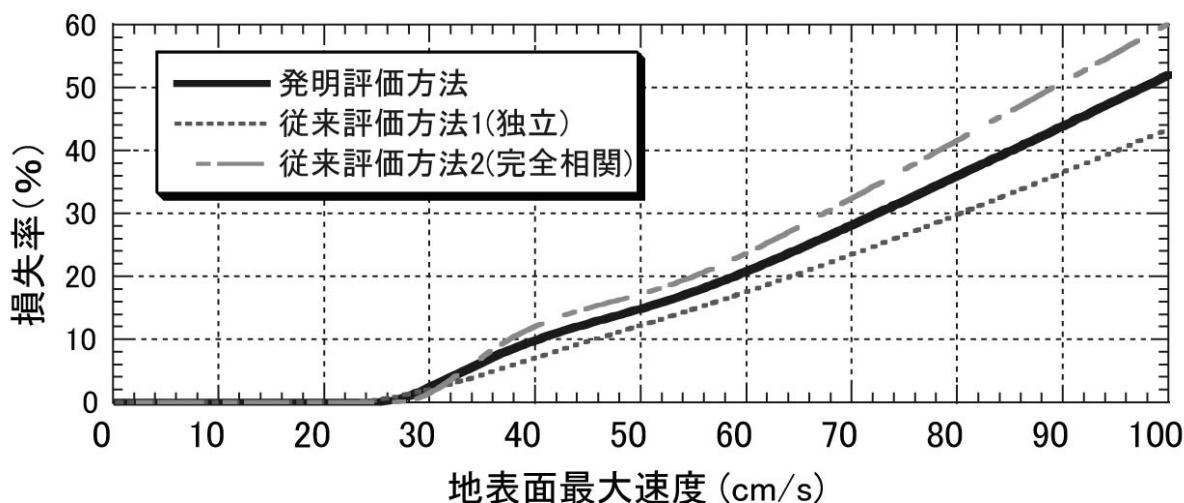
【図 15】

**発明評価方法**従来評価方法1
(独立)従来評価方法2
(完全相関)

【図 9】



【図 13】



【図 14】

