

地震ポートフォリオ解析による多地点に配置された建物群のリスク評価

SEISMIC RISK ANALYSIS ON PORTFOLIO OF BUILDINGS

福島 誠一郎*, 矢代 晴実**

Sei'ichiro FUKUSHIMA and Harumi YASHIRO

In recent years, some risk analysis methods were proposed so that the quantitative evaluation of risk has been available. On the other hand, the treatment of the quantified risk has not been considered sufficiently, though it is important for carrying out the effective risk management. In this paper, seismic portfolio risk analysis method consistent with the existing seismic hazard analysis was proposed. Using this method, portfolio of 10 buildings was analyzed from the viewpoint of risk management, followed by the following findings. (1) Seismic risk can be reduced by diversifying assets. (2) In case of diversifying assets in multiple sites, the examination of seismic hazard in each site is necessary. (3) Effectiveness of strengthening work can be measured using risk curve. (4) Contribution of risk of each asset to the portfolio risk is identified so that the rational strengthening work can be done.

Keywords: Portfolio of buildings, Risk management, Seismic risk, Multiple sites, Seismic hazard
建物群, リスクマネジメント, 地震リスク, 多地点, 地震ハザード

1.はじめに

企業経営等に関して ISO や日本工業規格においてリスクマネジメントの規格制定が検討され、企業がリスクマネジメントに積極的に取り組むようになってきた。建物を所有する企業が経営上のリスクとして地震リスクを考えた場合、人命の確保を前提とした上で、建物の立地、耐震基準、建物補修、重要施設配置等について意思決定を行い、合理的なリスクマネジメントを実施する必要性が生じてきている。

また、近年は不動産の証券化^[1]や不動産投資信託^[2]の実施、あるいは ART^[3]といわれる自然災害リスクの証券化^[4]やデリバティブ化^[5]の動きの中で、地震リスクの評価に関して、その手法が検討されるようになってきた^{[1]~[3]}。

石川ら^{[4],[5]}は、地震ハザード評価、フラジリティ評価、ロス評価より損失と超過確率の関係であるリスクカーブを求め、建物の地震リスク評価の指標として考察を行った。複数の建物を対象として、地震動強さのばらつきに関しては完全相関を仮定し、損失のばらつきに関しては建物毎に相関係数を与えてリスクカーブを評価した。その結果、複数建物の地震リスクは再調達価格の大きい建物が全体のリスクに対して支配的になること、地域的に建物が離れていることによる低減効果の方が、近隣建物の諸特性の独立性に起因する効果より大きいことを明らかにした。

中村ら^[6]は、不動産の証券化に伴う建物の耐震格付け指標としての地震 PML の定義を提案し、地震リスクの不確実性の影響を確率・統計的な処理によって評価し地震 PML^[6]を示した。そして多地点の多物件を対象とした地震リスク評価(地震ポートフォリオリスク評価)手法を示し解析を行った。その結果、同一位置に多数の物件があるとした場合の被害率は、建物一棟を対象としたものと比較して、大数の法則の効果により著しく低減することを明らかにした。また、建物の分散配置を考慮することによる地震 PML の低減効果についても明らかにした。

諏訪ら^[7]は、兵庫県南部地震に対する建築物被災度データベースを用いた損傷度曲線の作成法を示し、補修費用と組み合わせて地震時ロス関数を作成した。また、地震時ロス関数を地震ハザードで重み付けした年間地震リスク密度を算出した。

兼森^[8]は、定量的リスク分析法としてリスクカーブの作成方法、リスクカーブによる地震リスクの分析を行った。各地(釧路市、東京都、名古屋市、大阪市、福岡市)に存在する建物について、個別建物のリスクカーブ及び全体のリスクカーブを算出し、それらと比較することにより予想最大損害額、年間期待損失を比較した。

宇賀田^[9]は、シナリオ地震となりうる震源データを整理し、シナリオ地震による地震危険度評価手法を提示した。そして、地震被害の

* 東電設計(株) 工修
** 東京海上火災保険(株) 工博

Tokyo Electric Power Services Co. Ltd., M. Eng.
The Tokyo Marine and Fire Insurance Co. Ltd., Dr. Eng.

大きさは最大地動加速度の大きさに比例すると仮定し、複数の建物に対する全体の地震被害について検討した。その結果、比較的近傍に点在する複数物件は、個々の地点では影響の大きい直下地震が、全体としては影響が小さくなることを示した。

ところで、地震リスクの評価はリスクマネジメントの重要な要素ではあるが、評価された結果をどのように利用するのかということも、リスクマネジメントを行う主体（建物所有者、企業の経営層等）にとっては重要な研究項目である。

筆者らは^{10), 11)}、計画的な視点で地震リスクの大きさの相互比較が可能で、具体的な対応策に結びつくようなリスクマネジメントが重要であると考えている。

本研究では、地震環境が異なるような多地点に配置された建物群を対象に、地震ポートフォリオ解析を実施し、建物の設置場所等の計画的視点で最適なリスクマネジメントに繋がるようなリスクの処理について検討する。

2. リスクマネジメント

2.1 リスクマネジメントの枠組み

図1にリスクマネジメントのプロセスを示す。リスクマネジメントは、リスクの発見、リスクの評価、リスクの処理、処理後のリスクの再評価、といった一連の手順で行われるのが一般的である。

リスクの発見は、建物に生じる全ての事故や災害を漏れなく探し出すことであり、リスクの評価は洗い出したリスクについて、損害の頻度・規模・影響の分析を行うことである。これは、過去の災害経験や理論的な推測によって行うことになる。

リスクの処理は、リスクコントロールとリスクファイナンスに大別される。リスクの処理の分類を図2に示す。

リスクコントロールは、例えば、耐震強度の向上、免震・制振の導

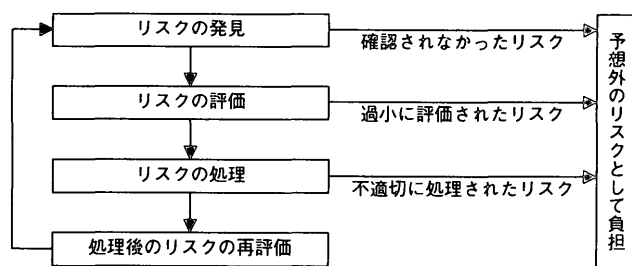


図1 リスクマネジメントのプロセス

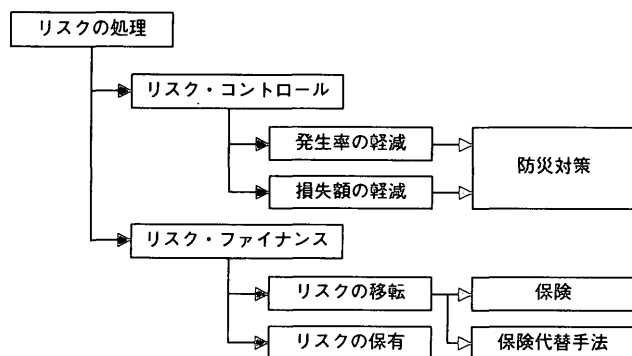


図2 リスク処理手段の分類

入により地震の発生によって生じる損害を最小に抑えるといった施策のことである。

一方、リスクファイナンスとは、損失が発生したときに、その損害を経済的に補填する手法をいう。このリスクファイナンスには、①自分で損失を負担するリスクの保有（保有株の売却、会社内預金の取り崩し等による補填、キャプティブ¹⁷⁾の設立による処理等）、②契約に基づく第三者による損失の負担（保険、共済等、リスクの証券化等）、といった方法がある。

地震を対象としたとき、被害の多様性とその損害の予想の難しさを考えると、リスクの処理としては、リスクコントロールとリスクファイナンスに関するいくつかの方法を組み合わせることで採用することが実務的である。

2.2 リスク処理の対象とする損失

企業を取り巻くリスクには様々なものがあるが、損害の規模で考えると、問題になるのは大規模な損害を生じる可能性のあるリスクである。一般に、大規模なリスクほど発生頻度は低く、その代表的なものが地震リスクである。発生頻度の小さいリスクは経験が少ないため、その損害程度を把握することが難しく予測が困難である。そのために予想を超えた損害の発生可能性がある。

地震による損失の大きさとその発生確率の関係は、例えば図3のように表される。同図はリスクカーブと呼ばれ、横軸は損失額を、縦軸は損失の年超過確率（当該損失額を超過する損失の1年あたりの発生確率）を表す。地震動の強さが大きいほど年超過確率が小さくなるのに対応して、損失が大きいくほどその年超過確率も小さくなる。

図中の損失額Aは最大損失と考えられるもので、理論的には、損失評価の対象とする建物全ての最大損失の和がこれに相当する。図中の損失額Bは、予想最大損失（PML：Probable Maximum Loss）と呼ばれるもので、所与の超過確率に対応する損失額である。参照する超過確率の与え方は様々であるが、供用年間のリスクの発生確率で表すことが多く、例えば、「50年間に10%」に対応する年超過確率は0.002105（再現期間475年）となる。

また、リスクカーブ、X軸、Y軸の3者で囲まれる面積は、損失の年間期待値（以下、年期待損失）に相当する。

以上のように、損失の指標は様々であり、評価主体によって取るべき値は異なる。例えば、損害保険会社のように評価主体が多数の物件

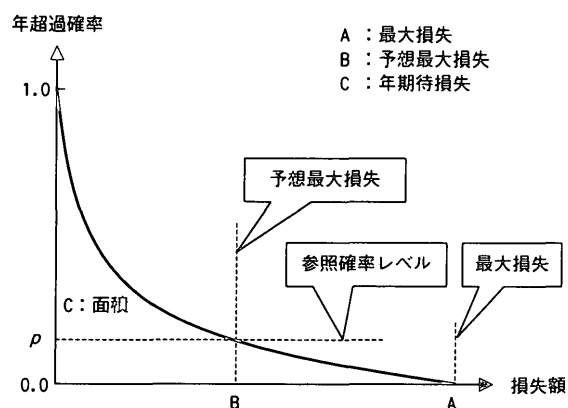


図3 リスクカーブと損失額

を抱える場合、大数の法則により実際の損失は期待値に近く、また変動も小さいことから、損失としては年期待損失を考えればよい。評価主体が建物のオーナーである場合には大数の法則が成立せず、リスク回避の観点から、期待値よりも大きな損失を考えざるを得ない。

一方、過度に高額な損失を考えることは、場合によっては非現実的に小さな発生確率のリスクを考えることに繋がるとともに、リスクの処理に要する費用も高額となり合理的ではない。

従って、リスクの処理においては、リスク回避の観点から期待値以上の損失を考えること、過度に大きな損失の評価は不合理であること、の2つを勘案して損失の大きさを評価する必要がある。本研究では、この条件に合致するものが前述の PML であり、リスクカーブの評価がリスクマネジメントの鍵であると考えている。

3. リスクカーブ評価手法

3.1 個別建物のリスクカーブ

個別建物のリスクカーブは、当該サイトにおける地震動強さの確率分布、所与の地震動強さに対する損失の大きさ、の2つから求めることができる。これを示すのが図4である。図3と図4では、軸の方向が異なっているが、損失額が大きいほど、その年超過確率が小さくなることがわかる。

当該サイトにおける地震動強さの確率特性は地震ハザードカーブで表される。地震ハザードカーブは地震動強さ a と当該強さを超過する地震動の年間発生確率 $H(a)$ との関係を示すもので、地震動強さ x の確率密度関数を $f_H(x)$ とした場合に次式で表される。

$$H(a) = \int_a^{\infty} f_H(x) dx \quad (1)$$

一方、所与の地震動強さに対する損失の大きさはロス関数で表される。ロス関数は、地震動強さと損傷確率との関係を表すフラジリティカーブと、被害モードと損失の関係を表す被害関数から求められる。

被害モード i に対する建物の加速度耐力の確率密度関数を $f_F(x, i)$ とすると、地震動強さ a に対する条件付き損傷確率 $F(a, i)$ は次式で表される。

$$F(a, i) = \int_0^a f_F(x, i) dx \quad (2)$$

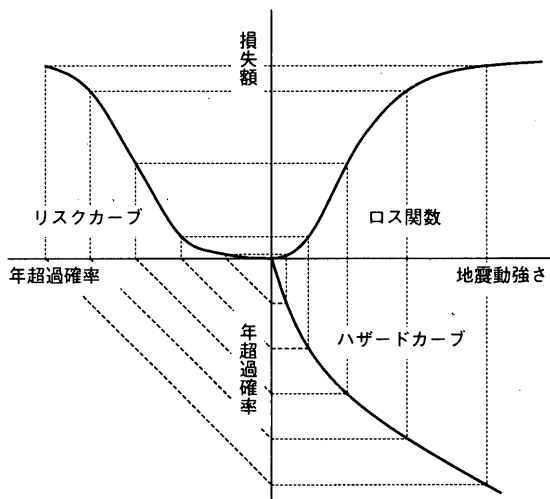


図4 個別建物のリスクカーブの評価

被害モード i とそれに対する損失額 $C(i)$ との関係を表したものが被害関数で、次式に従ってフラジリティカーブと組み合わせることによってロス関数 $L(a)$ が得られる。

$$L(a) = \sum_{i=1}^{n-1} C(i) \{F(a, i) - F(a, i+1)\} + C(n) F(a, n) \quad (3)$$

ここに、 n は被害モードの個数である。また、被害モードは i の数値が大きいくほど、被害が大きくなるとしている。

なお、リスクカーブ評価を地震ハザード評価とロス関数評価に分けたのは、これらが別個に評価されることが多く、便利だからである。図4に示されるように、地震動強さは媒介変数であり、リスクカーブには表れない。

3.2 建物群のリスクカーブ

(1) ポートフォリオ解析の必要性

前項では、個別建物のリスクカーブが、地震ハザード評価とロス関数評価の2つの評価から求められることを示した。ところで、建物群（以後、ポートフォリオ）のリスクを評価する場合、次のような理由により、個別建物の PML からポートフォリオの PML を評価することができない。

1つの理由は、個々の建物の損失は完全相関ではないことによる。議論を簡単にするため、建物を2棟とし、その損失の密度関数を正規分布とする。建物Aと建物Bの損失をそれぞれ L_A 、 L_B とし、その平均と標準偏差を μ_A 、 μ_B 及び σ_A 、 σ_B とする。また、ポートフォリオの損失を L_P 、その平均と標準偏差を μ_P 、 σ_P とする。

これらの変数は、以下のように関係付けられる。

$$\mu_P = \mu_A + \mu_B \quad (4)$$

$$\sigma_P^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + 2\rho\sigma_A\sigma_B \quad (5)$$

ここに、 ρ は L_A と L_B の相関係数である。 $\rho=1$ の場合、

$$\sigma_P^2 = (\sigma_A + \sigma_B)^2 \rightarrow \sigma_P = \sigma_A + \sigma_B \quad (6)$$

となる。これは個々のばらつきの単純和が全体のばらつきに等しく、リスク分散の効果が現れないことを示すものである。

個別建物の PML を足し合わせてポートフォリオの PML とすることは、最大損失の同時発生を考えることに等しく、(5) 式において $\rho=1$ とすることである。現実的には、建物間の損失は完全相関ではないことから、これは PML を過大評価することに繋がる。

もう1つの理由は、建物が多地点に存在するため、地震ハザードカーブが1つに定まらないことによる。仮に年超過確率が同一であっても、寄与する地震が異なるため、損失を足し合わせることに意味がなくなるからであり、これは、図4に示した方法では、ポートフォリオのリスク評価は行えないことを示唆している。

(2) ポートフォリオ解析手法

ポートフォリオ解析手法については、現在、複数の手法^{4)~8)}が存在するが、そのいずれもがシナリオ地震による損失評価を基本としている。

最も単純なものでは、複数のシナリオ地震を想定し、それらが発生したという前提で損失を求めている。この手法は確定論的なもので、地震発生確率という概念はない。従って、リスクカーブを求めることはできないが、反面、地震が確定しているために、詳細な検討が可能になるという利点も存在する。

一方、確率論的な方法としては、多数のシナリオ地震を想定し、損失と地震の発生確率からリスクカーブを求めることも行われている。ただし、各地震活動域についてマグニチュードと破壊面（サイトとの距離に関連する）を確定的に与えているため、従来の確率論的な地震ハザード解析とは整合してはいない。なぜなら、地震ハザード解析ではマグニチュードの分布や破壊面の分布を考慮に入れて、ハザードカーブを求めているからである。

そこで本研究では、図4に示した評価手法との連続性を考え、地震ハザード解析ベースの手法（以下、本手法）を提案する。

原則は上記の確率論的手法に、マグニチュードと破壊面の分布を取り込むものである。本手法は、従来の地震ハザード解析と整合性を取ることができるとともに、地震発生モデルを修正することで、上述の

2手法にも対応可能なものである。

本手法の手順を図5に示す。同図でイベントとあるのは、マグニチュードや破壊面の分布に対応した要素地震のことである。筆者らが採用している地震活動域モデル⁽¹²⁾は、2タイプの地震活動域を想定しており、イベントもタイプに応じて発生の方法を変えている。

1つは、地震活動域に対し破壊面が設定できるもので、マグニチュードに応じた発生頻度と破壊面が与えられるものである。これは、プレート境界地震や活断層地震に対応するものである。

このタイプの場合、まず破壊面の大きさを松田式を用いて想定し、それが地震活動域内で一様ランダムに発生すると仮定する。これを表したのが図6である。解析では、ある一定の幅で破壊面をずらしてサイトとの距離を計算するため、距離の分布とイベント数がマグニチュードの関数となる。

地震活動域 k の地震発生頻度を $\nu(k)$ とする。地震活動域 k で地震が発生したときのマグニチュードと頻度の関係は、例えば Gutenberg-Richter 式（以下、G-R 式）で与えられているとし、マグニチュード m_i の確率分布を $P_M(m_i | k)$ とする。マグニチュード m_i に対応する破壊面の個数を $n(m_i | k)$ とする。以上より、イベントの発生頻度 $\nu(m_i | k)$ は下式で与えられる。

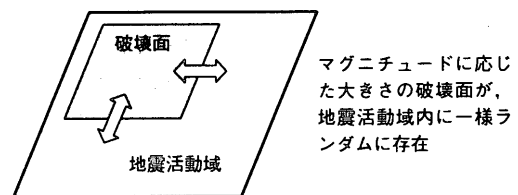
$$\nu(m_i | k) = \nu(k) P_M(m_i | k) / n(m_i | k) \quad (7)$$

また、破壊面の個数 $n(m_i | k)$ をマグニチュードについて足し合わせることで、地震活動域 k におけるイベントの総数が求められる。

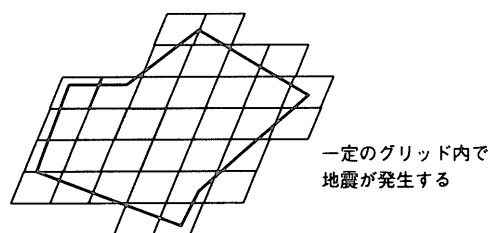
地震活動域のもう1つのタイプは、中規模の地核内地震に対応するもので、破壊面が設定できないものである。このタイプの場合には、地震活動域を所定の大きさのグリッドに分割し、それを破壊面する（図6）。

マグニチュードの分布に関しては、G-R 式に従う。イベントの発生頻度は次式で与えられる。

$$\nu(m_i | k) = \nu(k) P_M(m_i | k) / n(k) \quad (8)$$



破壊面が設定できるタイプ



破壊面が設定できないタイプ

図6 イベントの発生方法

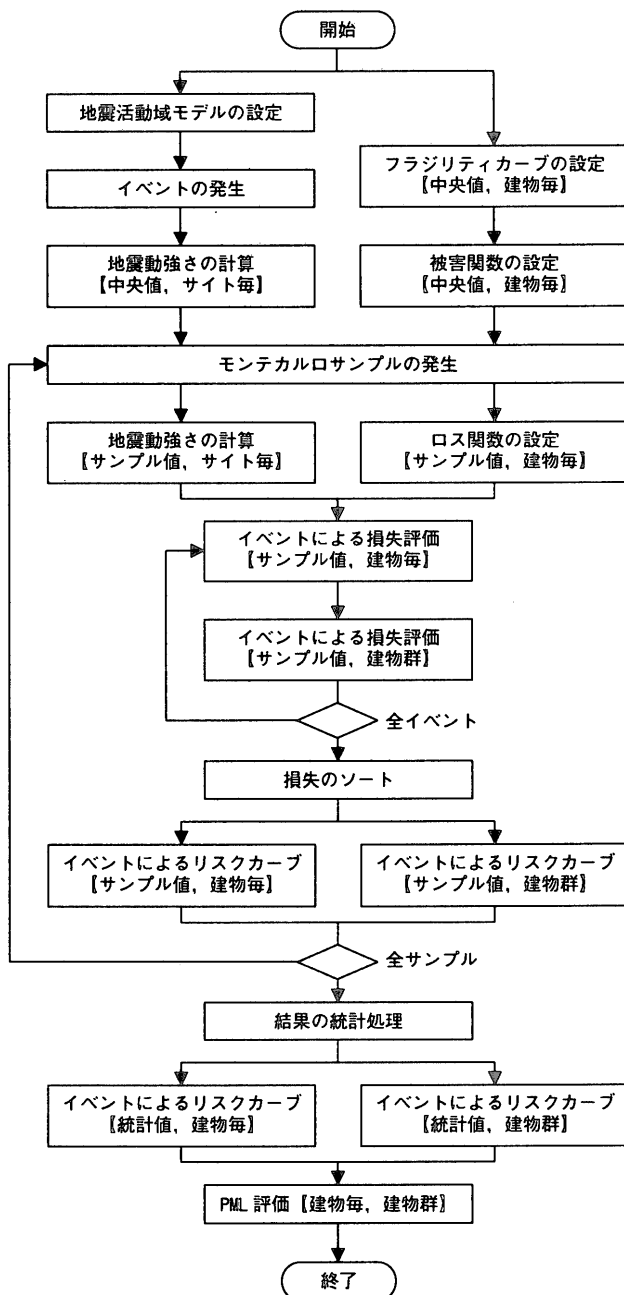


図5 ポートフォリオのリスク解析手法の手順

(7) 式と異なり、破壊面の個数がマグニチュードの関数にはなっていない。

イベントが確定されたならば、それによる当該サイトでの地震動評価を行いロス関数と組み合わせることで、イベントによる損失を求めることができる。イベントと当該サイトの地震動との関係は、経験式（距離減衰式）で与えられる。これを示すのが図7である。同図で示されるように、1つのイベントに対し、各建物の条件付き損失が求められる。これを全ての建物について足し合わせたものが、ポートフォリオの条件付き損失である。

所与の損失レベルを超過するような条件付き損失を与えるイベントの発生頻度の総和が、その損失レベルの年超過頻度となる。例えば地震発生をポアソン過程と仮定することで、年超過頻度から年超過確率への変換を行うことができる。

ところで、距離減衰式にはばらつきがあり、マグニチュードと距離が確定しても地震動の大きさは一意には定まらない。

地震ハザード解析では、距離減衰式のばらつきとして対数正規分布を仮定することが多く、イベントによる地震動の中央値と対数標準偏差から所与の地震動強さを超過する確率を求めることができる。

イベントによる地震動の大きさの確率分布が対数正規分布であるのに対し、リスクの確率分布はそうはならない。これは、地震動の大きさと損失の大きさが線形関係にないことによる。特に被害関数は関数形で与えられるとは限らないため、一般的には損失の確率分布は陽な形で求められないと考えられる。

そこで本手法では、数値解析（モンテカルロシミュレーション）により損失の確率分布を評価することとした。ポートフォリオ解析手法の手順（図5）に示したモンテカルロサンプルの発生はこのためである。なお、モンテカルロサンプルは、地震動の大きさだけではなく、 fragility 曲線の中央加速度耐力や被害関数に値についても発生させている。これらは各評価における不確実性を反映するためである。

モンテカルロシミュレーションは計算時間は要するものの、各要因のばらつきやそれらの相関の評価において、過度の単純化や不合理な

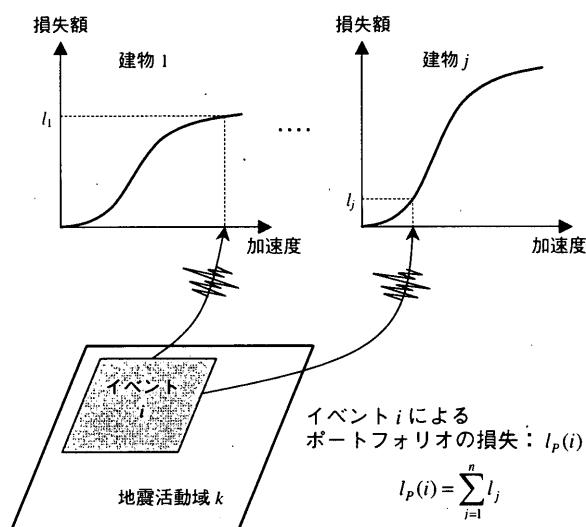


図7 ポートフォリオリスクの計算

仮定を導入する必要がないという利点がある。また、そのために結果に対する信頼感も高い。

(3)他手法との関係

本手法はリスク解析手法の1つであり、この他にもいくつかのリスク解析手法があることは前述した。PML の定義について明確なコンセンサスが得られていない現在、手法の優劣の議論に意味はなく、むしろ、相互比較等により、リスクマネジメントの主体者に有意義な情報を与えることが重要と筆者らは考えている。

例えば、地震活動域モデルについて発生マグニチュードを特定し、破壊面を地震活動域に等しく取ることにより、少なくとも地震動に関しては、従来の確率論的手法に整合した評価が可能となる。

また、地震活動域を1つに限定し、地震発生頻度を1とすることで、従来のシナリオ型被害想定が可能となる。

4.手法の適用

4.1 地震環境

地震環境については Yashiro&Annaka¹²⁾を用いた。同文献では、日本列島全体について地震活動域モデルを設定しており、大地震発生活動域と背景的地震発生活動域に2分している。活動域モデルの例を図8に示す。

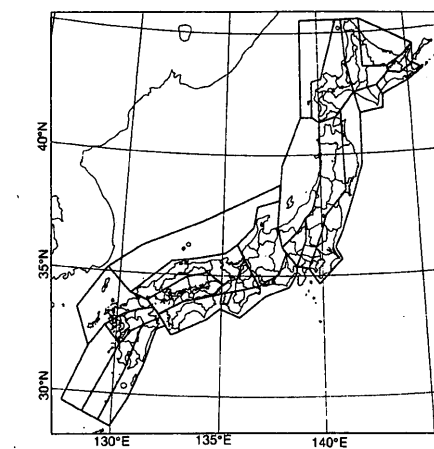
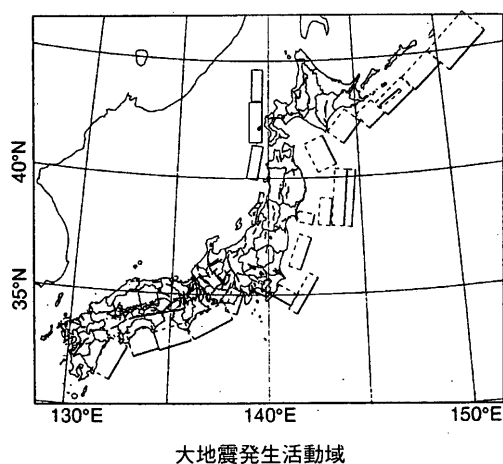


図8 活動域モデルの例

距離減衰式についても同文献に従い、安中式を採用した。採用した式を以下に示す。

$$\log A = 0.614M + 0.00501h - 2.023\log(d) + 1.377 \quad (9)$$

$$d = \sqrt{\Delta^2 + 0.45h^2} + 0.22\exp(0.699M)$$

ここに、 A は最大加速度、 Δ は震央距離、 h は震源深さ、 M はマグニチュードである。

また、距離減衰式のばらつきを表す対数標準偏差は、自然対数で0.5と設定した。

4.2 対象建物

フラジリティカーブについては、現行の1次設計と2次設計がそれぞれ小破、大破に相当すると仮定し、 $C_0=0.2$ 、 $C_0=1.0$ に対応する最大加速度値を80gal、400galとした。中破と倒壊に対応する加速度値については、被害モードに対応する最大加速度値が等間隔であると仮定し、各々240gal、560galとした。さらに、これらの値が、損傷確率1%に対応すると考え、フラジリティカーブの対数標準偏差から中央値を設定した。対数標準偏差の値については、中村ら⁶⁾のものを採用した。また、被害関数についても、同研究の値を採用した。

本研究の目的は、ポートフォリオ解析を行うことにより、最適なリスクマネジメントに繋がるようなリスクの処理について検討することであり、ロス関数そのものの評価法を検討することではない。従って、ロス関数評価における仮定によって、研究の本質が失われることはないと考えた。

表1に、各被害モードに対する、フラジリティカーブの特性値と、被害関数の値を示す。同表では、被害関数の値を建物の再調達価額に対する比（被害率）で示している。

なお、建物の価格は一定とした。

表1 被害モード別のフラジリティと被害関数

被害モード	フラジリティカーブの特性値		被害率 (%)
	中央値 (Gal)	対数標準偏差	
小破	200	0.4	5
中破	600	0.4	10
大破	1000	0.4	30
倒壊	1400	0.4	100

4.3 検討ケース

検討ケースを表2に示す。ケース1は、東京地点に10棟の建物を配置した場合のものである。ただし、同一地点であっても、発生する地震動強度のばらつきは互いに独立であると仮定した。この仮定は、後述するケース2-2でも同様である。

ケース2-1は、国内10地点（東京、札幌、仙台、山形、横浜、静岡、名古屋、金沢、新潟、長野）にそれぞれ1棟の建物を配置した場合である。ケース2-2は、国内2地点（東京、名古屋）にそれぞれ5棟の建物を配置したもので、ある程度現実的な施設配置と考えられるものである。

ケース3-1は、ケース2-1について全建物に耐震補強を施したものである。耐震補強の効果として、加速度耐力の中央値を一律に1.5倍した。ケース3-2は、ケース2-1について、リスクの大きなもの3棟について耐震補強を施したものである。

表2 検討ケース一覧

ケース	
1	1地点に10棟の建物を配置
2-1	10地点に10棟の建物を配置
2-2	2地点に10棟の建物を配置
3-1	全棟耐震補強（10地点に10棟の建物を配置）
3-2	3棟耐震補強（10地点に10棟の建物を配置）

4.4 解析結果

(1)各地点の地震ハザード

各地点の地震ハザードを図9に示す。東京・横浜と関東以北の地点では、 1×10^{-2} 付近のハザードに差が見られること、中部地域では、静岡・長野と他の地点でハザードに差が見られること、がわかる。

また、ケース2-2で検討される2地点（東京・名古屋）については、 1×10^{-1} 付近ではハザードに差が見られるものの、地震PMLに寄与するような年超過確率のレベルでは、ハザードに大きな差は見られない。

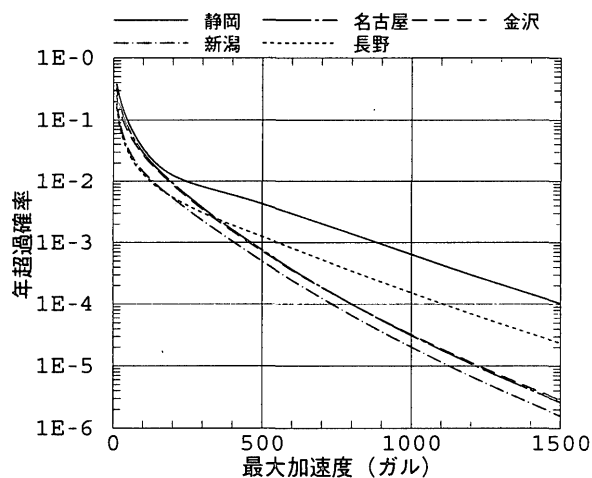
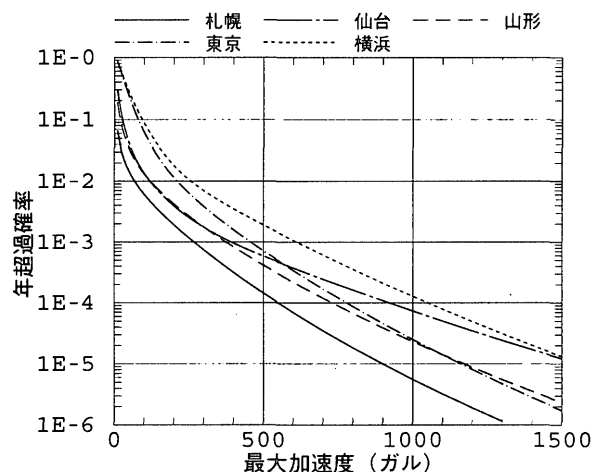


図9 国内10地点の地震ハザードカーブ

(2) 多数物件によるリスク低減

図 10 に、ケース 1 のリスクカーブを示す。同図中の破線は個別建物を、実線はポートフォリオを示している。なお、ここでは横軸を被害率で表している。

個別建物のリスクカーブに対し、ポートフォリオのリスクカーブはこれを下回っており、個別建物の PML の総和よりもポートフォリオの PML の方が小さいことを示している。これは、同一の地域であっても、応答や耐力のばらつきにより、リスク分散の効果があることを示している。

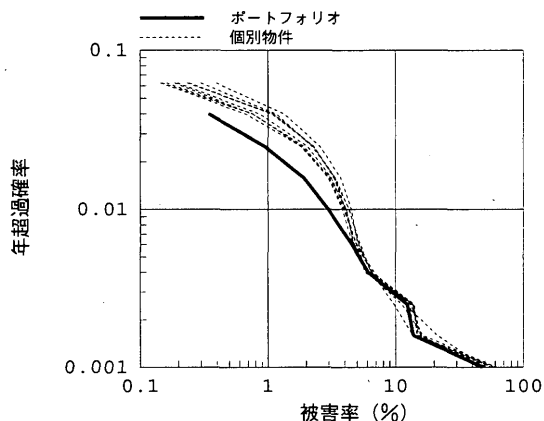


図 10 東京地点でのリスクカーブ

(3) 多地点配置によるリスク低減

図 11 に、ケース 2-1 のリスクカーブを示す。各地点でのリスクカーブの大小関係は、地震ハザードカーブの大小関係に一致していることがわかる。また、ポートフォリオのリスクカーブは、東京・横浜・静岡に比べると小さいものの、地震活動度の小さい札幌・仙台・山形よりは大きく、中部 4 県のリスクカーブとはほぼ等しい。

また、図 12 に、ケース 1、ケース 2-1、ケース 2-2 に対するポートフォリオのリスクカーブの比較を示す。地震活動度の小さな、関東以北の地域が含まれていないため、ケース 2-2 のリスクカーブはケース 2-1 のものよりも大きくはなっているが、ケース 1 に比べれば、十分小さなものとなっている。

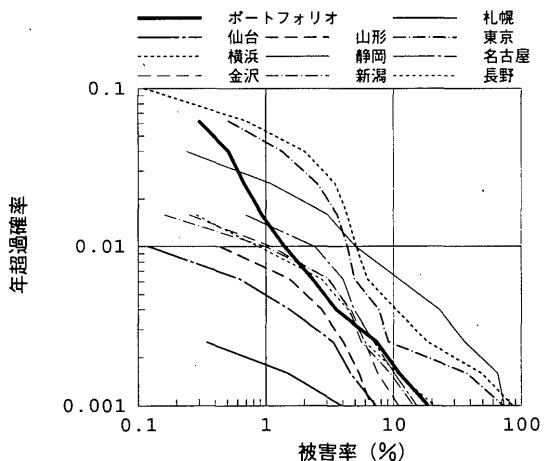


図 11 国内 10 地点でのリスクカーブ

建物の所有者にとって、所有する施設を全て異なった地点に配置することは困難な場合が多いと考えられる。ポートフォリオのリスクの観点からは、ただか数地点でも、リスク低減の効果は大きいことが示された。

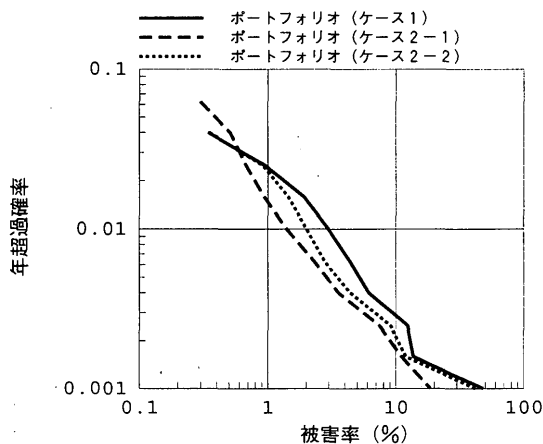


図 12 ポートフォリオのリスクカーブの比較

(4) 耐震補強によるリスク低減

図 13 に、ケース 2-1、ケース 3-1、ケース 3-2 に対するポートフォリオのリスクカーブの比較を示す。なお、ケース 3-2 では、ケース 2-1 の結果を反映し、東京・横浜・静岡に配置された建物のみ、耐震補強が施されるとした。

耐震補強を行うことにより、被害率が大幅に減少することがわかる。また、被害率が高い部分については、ケース 3-1 とケース 3-2 のリスクカーブに差がない。これは、この部分の被害率に対して、東京・横浜・静岡の 3 物件の被害率が支配的であったことを示すものであり、ポートフォリオの PML を低減するには、このような支配的な物件を抽出し、それに対して補強を施せばよいことがわかる。

ただし、損失が小さい領域では、各地点の損失の低減効果がリスクカーブに現れている。従って、PML として、どの年超過確率を設定するかで、補強の対象棟数も変わってくると考えられる。

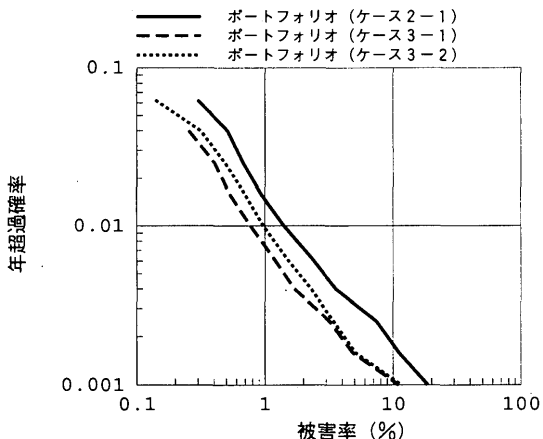


図 13 リスクカーブへの耐震補強の影響

5.まとめ

本研究では、多地点に存在する多物件を対象としたリスク評価手法（ポートフォリオ解析手法）を提案し、日本各地を対象にして10棟の建物からなるポートフォリオに適用した。その結果、地震リスクに関してリスクカーブ、PMLを用いて評価できることを示し、以下の結論を得た。

- 1) 同一地震環境でも、ばらつきの独立性により、物件の複数配置によるリスクの低減が可能である。
- 2) 多地点配置によるリスク低減は顕著であり、ただか数地点への配置でも、その効果は大きい。ただし、地震ハザードの絶対的な大きさもポートフォリオリスクに関係するため、地点の設定には配慮が必要である。
- 3) 耐震補強の効果は、リスクカーブで定量的に判断することが可能であり、費用対効果の把握が可能となる。
- 4) ポートフォリオリスクの観点からは、損失に支配的な物件についての耐震補強を施すことで十分なPMLの低減に繋げることが可能である。

前述したように、リスクカーブを評価することが、効果的なリスクマネジメントの鍵であり、最初のステップである。次のステップは、有効な「リスクの処理」の実施である。リスクの処理においては、得られたリスクカーブをどのように用いるのか、また、複数のリスク処理の方策をどのように組み合わせればよいのかという問題が今後の検討課題となる。

注記

[1]不動産の証券化

不動産から生み出されるキャッシュフローのみを裏づけとして有価証券を発行して資金調達を行う。投資家は、不動産を実際に利用するのではなく、証券化対象不動産から得られる収益に着目し、それを投資対象としてリターンが得られる証券を買うことになる。配当、利払い、償還の原資となるのは、証券化対象不動産からのキャッシュフローのみになる。

[2]不動産投資信託

投資家から集めた資金でビルや賃貸マンション等を購入して、賃貸料や売却益を配当として分配する金融商品。米国ではREIT(Real Estate Investment Trust)といわれ定着している。日本では2000年11月に改正投資信託法が施行されて不動産を投資対象とすることが可能になった。東京証券取引所が、2001年春に専門市場を開設した。

[3]ART

Alternative Risk Transferの略で、日本語では「代替的リスク移転」という。従来の保険(Risk Transfer)によるリスク移転以外の代替手段(Alternative)によるリスク移転方法を総称して、一般にARTと呼ばれている。ARTには大きく分けて、①保険会社に移転していたリスクを再移転させて客先自らがリスクを保有する場合(例：セルフインシュアランス、キャプティブ)と、②保険から金融・資本市場へとリスクを移転させる場合(例：証券化、保険デリバティブ)がある。一般にART手法は、従来の手法では引受が難しかったリスクに関す

る解決策を与え、またリスクのキャパシティを増強する目的で行われる。

[4]自然災害の証券化

債券(ボンド)の発行により保険金支払の原資を調達する方法の一種。証券化では一般に、地震のマグニチュードといった客観的指標を予め支払の指標(トリガー)とし、債券発行期間のトリガー事象の発生状況に応じ、金利または元本の一部または全部が投資家から没収され、保険金の支払に当てられる仕組みを取る。国内では1997年に南関東の地震リスクの証券化が行われた。

[5]自然災害デリバティブ

自然災害発生による企業の収益減少のリスクを回避し、収益の安定を図るために用いられるデリバティブ。地震のマグニチュードや台風の風速等を指数化し、実際に発生した地震のマグニチュードや台風の風速の指数との差異に応じて資金の受け渡しを行う形態が一般的。

[6]地震PML

不動産の証券化の建物状況調査における耐震調査で用いられる指標で、PML(Probable Maximum Loss)は、予想最大損失率をいう。この指標は、ある想定する規模の地震により建物が被害を受けた時、被災前の状態に復旧する補修工事費の、総建替工事費に対する割合で定義される。

[7]キャプティブ

企業が保有するリスクの転嫁の手段としてパニューダやケイマンなどのタックスヘブンの地域にリスク引受のための子会社を設立してリスクの対応資金を積み立てる。この子会社のことをキャプティブという。そしてこの子会社を通して海外の保険又は再保険を購入する。これにより、伝統的な保険市場で入手困難な担保危険や既存の保険市場で制限のあるリスクの担保条件を拡大することができる。

参考文献

- 1) Carolyn P.Helbling, Georg Fallegger: Rethinking Risk Financing, Swiss Re, 1996
- 2) Gail Belonsky: Insurance-Linked Securities, Swiss Re New Markets, 1999
- 3) 森本祐司: 金融と保険の融合について, 金融研究第19巻別冊第1号, 日本銀行金融研究所, 2000年4月
- 4) 石川裕, 武田正紀, 奥村俊彦, 林康裕, 掛川秀史: 建物の地震リスクの評価法, 日本建築学会技術論文報告集, 第11号, pp.275-278, 2000年12月
- 5) 石川裕, 奥村俊彦, 武田正紀: 複数建物の集積地震リスクの評価, JCROSSAR2000論文集, pp.205-208, 2000年
- 6) 中村孝明, 中村敏治: ポートフォリオ地震予想最大損失額(PML)評価, 日本リスク研究学会誌12(2), pp.69-76, 2000年
- 7) 諏訪仁, 野畑有秀, 関松太郎: 兵庫県南部地震の被災データデースを用いた既存建物の地震リスク評価に関する研究, 日本建築学会技術論文報告集, 第12号, pp.41-46, 2001年1月
- 8) 兼森孝: 定量的リスク分析法ーリスクカーブ法ー, 土と基礎, 第47巻第1号, pp.27-30, 1999年1月
- 9) 宇賀田健: シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価, 日本建築学会構造系論文集, 第541号, pp.95-105, 2001年3月
- 10) 勝倉裕, 矢代晴実: リスク管理における問題解決構造, 日本建築学会計画系論文集, 第528号, pp.277-283, 2000年2月
- 11) 勝倉裕, 福島誠一郎, 中井正一: 耐震リスク評価問題のオブジェクト指向分析, 日本建築学会構造系論文集, 第485号, pp.155-162, 1996年7月
- 12) T.Annaka and H.Yashiro: Uncertainties in a probabilistic model for seismic hazard analysis in Japan, Risk Analysis II, WIT PRESS, pp.369-378, 2000

(2001年6月8日原稿受理, 2001年9月18日採用決定)