

# 多地点物件を対象とした 地震リスクマネジメントについての一考察

福島誠一郎<sup>1</sup>・矢代晴実<sup>2</sup>

<sup>1</sup>工修 東電設計株式会社 地震技術部 (〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京海上火災保険株式会社 リスクマネジメント業務部 (〒261-8550 千葉県美浜区中瀬1-4)

リスクマネジメントは、一般にリスクの確認、リスクの測定、リスクの処理、処理後のリスクの再評価、の手順により実行される。この内、リスクの処理では、定量化されたリスクに関して、複数のリスクコントロール手法とリスクファイナンス手法を組み合わせる実施するのが現実的である。特に、リスクコントロールについては、従来の耐震補強といった構造的な対応だけでなく、建物の配置のような計画的な観点による対応も必要である。

本研究は、多地点に配置された物件を対象に、地震ポートフォリオ解析を実施し、計画的な視点から最適なリスクの処理について検討する。

**Key Words** : risk management, portfolio, seismic hazard, risk curve, probabilistic maximum loss

## 1. まえがき

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、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、リスクの低減を図る必要が生じてきている。

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(建物オーナー、企業の経営層等)にとっては重要な研究項目である。

本研究では、多地点にあり、耐震性能や価値の異なる建物群を対象に、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、大規模な損害を生じる可能性のあるリスクが対象となる。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。

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-1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、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。また、リスクカーブ、X 軸、Y 軸の3者で囲まれる面積は、損失の年間期待値に相当する。

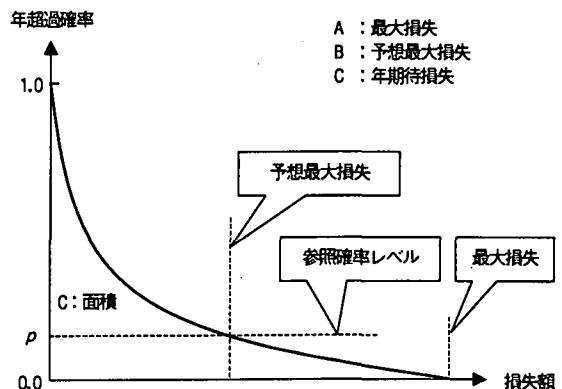


図-1 リスクカーブと損失額

以上のように、損失の定義は様々であり、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を抱える場合、大数の法則により損失としては年期待損失を考えればよい。評価主体が個人である場合には、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り合理的ではない。

従って、リスクの処理においては、①リスク回避の観点から期待値以上の損失を考えること、②現実的な損失であること、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

#### (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-2である。図-1と図-2では、軸の方向が異なっていることに注意が必要である。

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。また、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、ロス関数は、地震動強さと損傷確率との関係を表す脆弱性カーブと、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。

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いために過ぎない。

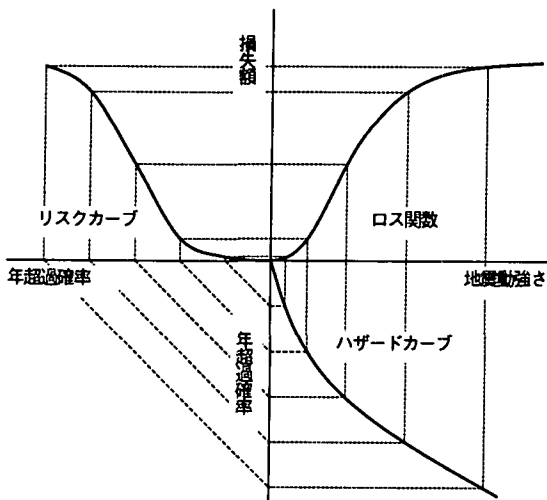


図-2 個別建物のリスクカーブの評価

#### (2) 建物群のリスクカーブ

多地点に配置された建物群（以下ポートフォリオ）の場合、地震ハザードカーブが1つに定まらないために、図-2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。従って、地震ハザードカーブを用いない評価手法が必要となる。

ポートフォリオ解析手法については、複数の手法が存在するが、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<sup>1)~5)</sup>。

最も単純なものは、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るものである。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く、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が存在する。

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、現状では各地震活動域についてマグニチュードと破壊面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（サイトとの距離に関連する）の分布を考慮に入れて、ハザードカーブを求めるからである。

そこで本研究では、図-2に示す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だけで、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-3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り、地震ハザード解析で用いられるものと同じものである。

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。

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たならば、これを全ての建物について足し合わせることで、ポートフォリオの条件付き損失を求めることができる。

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。さらに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。

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

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

ここに、 $A$ は最大加速度、 $\Delta$ 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。

## (2) 対象建物

採用したフラジリティカーブの特性値（中央値、対数標準偏差）及び被害関数を表-1に示す。本研究の目的は、ポートフォリオ解析を行うことにより、最適ナ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。

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

## (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。

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のものである。

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。

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

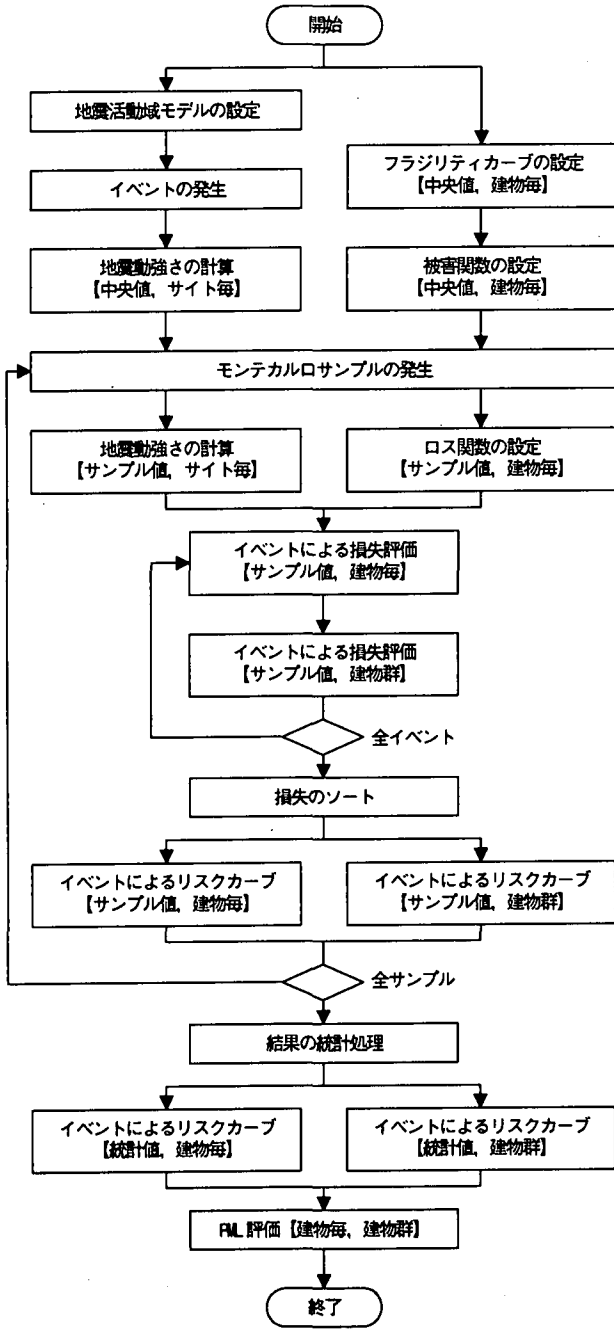


図-3 ポートフォリオ解析手法の手順

## 4. 手法の適用

### (1) 地震環境

地震環境については Annaka & Yashiro<sup>6)</sup>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。

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。

### (4) 解析結果

ケース1のリスクカーブを図-4に示す。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の平均に対し、ポートフォリオのリスクカーブはこれを下回っており、リスク分散効果が現れることを示している。

ケース 2-1 のリスクカーブを図-5 示す。各地点でのリスクカーブの大小関係は、地震環境に依存している。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くなっている。

また、図-6 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東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 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。

企業のオーナーにとって、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。ポートフォリオリスクの観点からは、高々数地点でも、リスク低減の効果は大きいことが予想される。

## 5. まとめ

従来の地震ハザード解析手法に整合するポートフォリオ解析手法を構築し、モデル建物へ適用した。検討結果より以下の所見を得た。

- ・ 損害が独立であることから、ポートフォリオリスクは、個々の物件のロスの総和よりも小さくなる。これは、個別物件の損失評価からポートフォリオの損失が導けないことを示すものである。
- ・ 建設地点を複数選択することは、リスク低減の施策として有効である。また、地点数が 2 程度でも、その効果が現れることを確認した。

## 参考文献

- 1) 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集, 第 11 号, pp.275-278, 2000 年 12 月
- 2) 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, JCOSSAR2000 論文集, pp.205-208, 2000 年
- 3) 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
- 4) 諏訪仁, 野畑有秀, 関松太郎: 兵庫県南部地震の被災データベ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
- 5) 兼森孝: 定量的リスク分析法—リスクカーブ法—, 土と基礎, 第 47 巻第 1 号, pp.27-30, 1999 年 1 月
- 6) 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

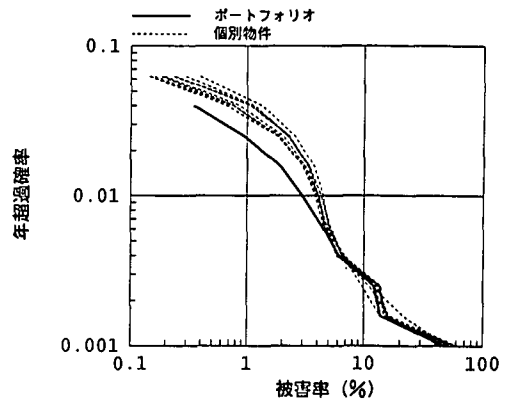


図-4 東京地点でのリスクカーブ

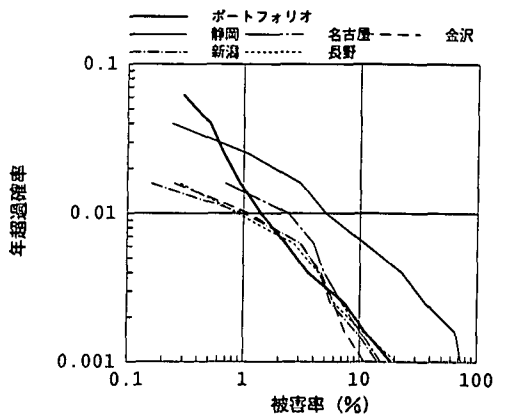
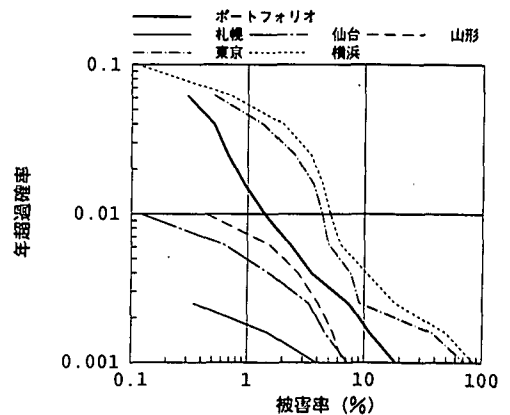


図-5 国内 10 地点でのリスクカーブ

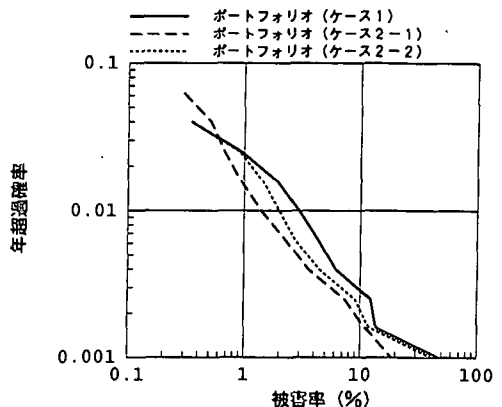


図-6 ポートフォリオのリスクカーブの比較