

地震リスクの再分解 (Deaggregation) に関する基礎的考察

正会員 ○佐藤一郎*
正会員 高田毅士**地震リスク PML ポートフォリオ
再分解 信頼性 一次信頼性解析

1. はじめに

地震リスク定量評価技術は、設計の分野にとどまらず、地震保険・デリバティブなどの金融、不動産流動化市場における地震 PML、そして事業継続計画策定の前提となるリスク分析など、多岐にわたる分野で活用されており、その結果が企業などの事業体の意思決定に与える影響はますます大きくなっている。

このような状況下において、地震リスク定量化技術は、リスク低減施策の合理的な意思決定を左右する非常に重要な技術と位置づけられるが、具体的なシナリオを明示しない確率論に基づく地震リスクは、企業経営などの意思決定材料として不十分な場合がある。特に、マルチイベントモデルによるポートフォリオリスク定量化手法は、マルチサイトの地震保険設計やリスクモニタリングにおいて活用されているが、各拠点の地震リスクの寄与度については、各拠点の地震リスクの期待値を目安に判断されるものの、損失の不確実性まで考慮に入れて明示されることはない。リスクカーブへの拠点ごとの寄与度に着目した研究¹⁾もあるが、モンテカルロシミュレーションを前提としており、実際的なリスク定量評価への展開という観点では課題が残されている。

本研究では、以上のような状況に鑑み、確率論的な損失分布として求まるポートフォリオ損失を、信頼性理論に基づきポートフォリオ構成要素のリスクに再分解することを試みる。

2. 地震リスクの定義

地震リスク指標の代表である地震 PML の統一的な定義は無いが、「50 年 10% (再現期間 475 年) に相当する地震による損失の 90% 非超過値」が一般的に用いられることが多い。この定義によれば、マルチイベントモデルにおける個々の地震イベントの 90% 非超過損失を降順に累積した頻度が 1/475 に相当する損失が PML となるが、ポートフォリオの場合には、各地震イベントのポートフォリオ損失分布 (確率分布の特性値) のみに着目することが多く、個別拠点へのリスク再分解まで考慮に入れた分析は通常実施されない。本研究では、今後のマルチイベントモデルへの適用を視野にいれ、まず特定のシナリオ地震 (1 イベント) でのポートフォリオ地震リスクを再分解する手法の構築を試みる。

3. 条件設定

リスク評価の対象は、図 1 に示すような、関東に配置された 3 つの建物からなるポートフォリオとした。それぞれの建物の再調達価格を 1,000 とし、 fragility 特性値等は、既往の文献²⁾を参照して表 1 のように定めた。なお、図 1 には、想定する震源 (東京湾北部地震³⁾) の位置を併記している。

各建物位置の地震動強度は距離減衰式により評価する。採用した距離減衰式⁴⁾を以下に示す。

$$\log A = 0.61M + 0.00501h - 2.203 \log(d) + 1.377 \quad (1)$$

$$d = (\Delta^2 + 0.45h^2)^{0.5} + 0.22 \exp(0.699M) \quad (2)$$

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。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。

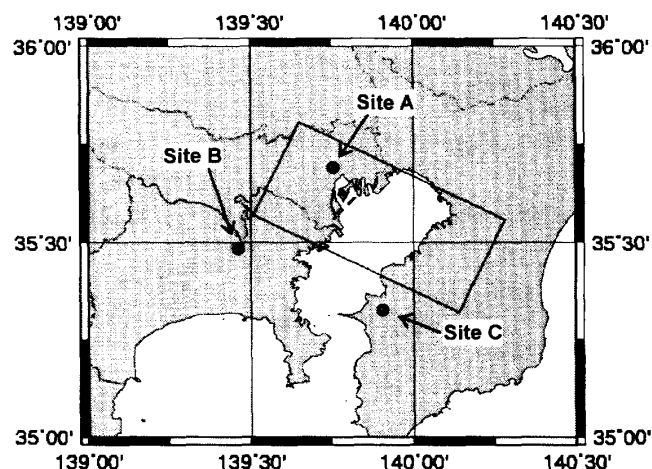


図 1 ポートフォリオ配置と震源位置

表 1 ポートフォリオを構成する建物の諸元

被害状態	小破	中破	大破	倒壊
耐力中央値(Gal)	200	600	1000	1400
耐力対数標準偏差	0.4	0.4	0.4	0.4
被害率 (%)	5	10	30	100

4. 損失関数の不確実性考慮

損失関数は、地震動入力に対する対象建物・施設の損失分布として定義されるが、確率論的な地震リスク定量化では、地震動および損失予測の不確実性をともに考慮す

必要がある。損失関数は、一般に非線形となるため、不確実性を考慮した損失分布について解析的な厳密解を求める事はできない。本研究では、地震動および損失予測の不確実性をそれぞれ対数正規分布で表現し、各地震動レベルでの損失のモンテカルロサンプルから推定した対数正規変数の特性値を求めることで、損失関数の不確実性を考慮した。なお、地震動入力の不確実性は距離減衰式のばらつきのみとし、損失関数の不確実性については対数標準偏差 0.3 の対数正規分布に従うとした。図 2 に損失関数を示す。

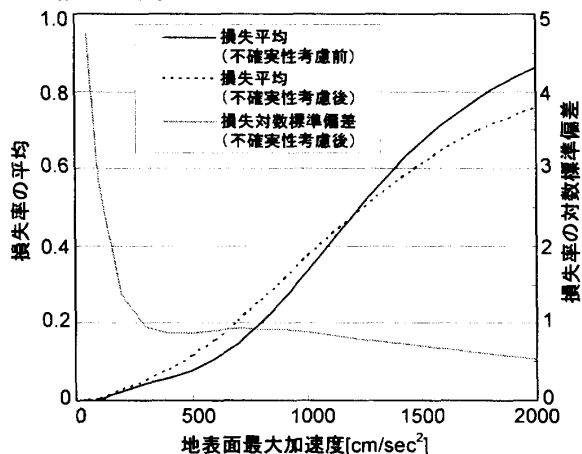


図 2 損失関数

5. ポートフォリオ損失の算出と地震リスクの再分解

不確実性を考慮した各拠点の損失関数と、対象震源により距離減衰式から算出される当該地点での地震動強さの中央値から、各拠点の損失の確率分布の特性値が求まる。特性値 (対数平均 λ_L , 対数標準偏差 ζ_L) を表 2 に示す。

表 2 各拠点の損失分布

拠点	λ_L	ζ_L	損失平均 *不確実性考慮後
Site A	3.91	0.897	66.7
Site B	4.16	0.870	84.8
Site C	4.20	0.871	88.1

一般には、この段階で各拠点の損失分布の確率特性値からポートフォリオ損失分布の確率特性値を近似的に推定することになるが、本研究では一次信頼性解析⁵⁾ (FORM) に基づき、ポートフォリオ損失と各拠点の損失の寄与度を考察する。

具体的には、ポートフォリオ損失を L_p , 各拠点の損失を L_A, L_B, L_C として、限界状態関数 $G = L_p - L_A - L_B - L_C$ を満たす感度係数 α , 破壊点 ($G=0$ を満たす損失の組合), 破壊確率を求めた。本研究では、各拠点の損失分布を独立とし、また限界状態関数が線形であるため、破壊点の算出は、3 つの非正規確率変数を等価正規変換した標準正規空間において原点と限界状態面との最短距離を求める問題に帰着する。破壊点および感度係数を図 3 に、信頼

性指標 β および破壊確率を図 4 に示す。ポートフォリオ損失の平均値 ($L_p=240$) 周辺と 90%非超過値 ($L_p=350$) 周辺での各拠点の寄与度 (感度係数の絶対値) が異なっている事がわかる。なお、90%非超過に対応する各拠点の損失は、 $L_A=77, L_B=127, L_C=146$ となる。

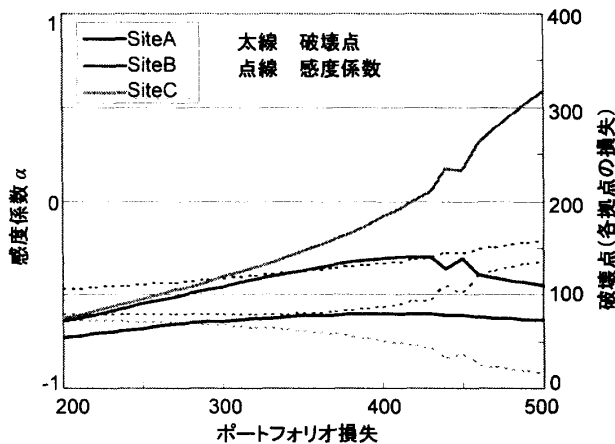


図 3 損失の感度係数と破壊点 (各拠点の損失)

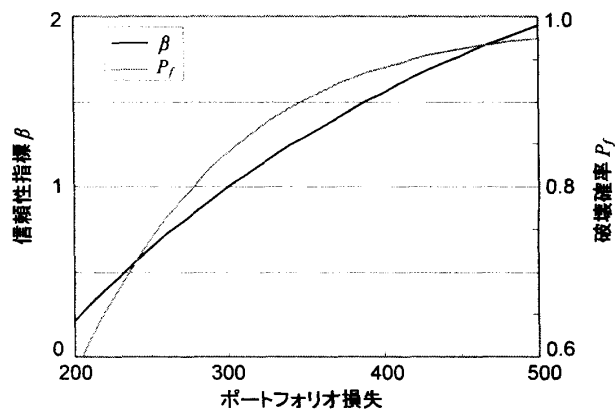


図 4 信頼性指標 β および破壊確率 P_f

6. まとめ

信頼性理論を用いて、ポートフォリオ地震リスクを再分解する手法を提案した。今後は、地震動強さの空間相関の反映、マルチイベント地震リスク解析への応用などを検討する予定である。

参考文献

1. 福島誠一郎, 矢代晴実: ポートフォリオの地震リスクに基づく建物の耐震性能の設定, 日本建築学会構造系論文集, No.593, pp.185-192, 2005.7
2. 佐藤一郎, 矢代晴実, 福島誠一郎: ベーシスリスクに着目した地震リスクデリバティブの設計手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.614, pp.261-268, 2007.4
3. 中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会ホームページ
4. T. Annaka and H. Yashiro: A seismic source model with temporal dependence of large earthquake occurrence for probabilistic seismic hazard analysis in Japan, Risk Analysis, WIT PRESS, pp.233-242, 1998
5. Hohenbichler, M. and Rackwitz, R.: Non-Normal Dependent Vector in Structural Safety, J. of EM, ASCE, Vol. 107, No.6, pp.1227-1249, 1981

*東京海上日動リスクコンサルティング

**東京大学大学院工学系研究科 教授

*Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd

**Prof., Graduate School of Eng., The University of Tokyo