

目標信頼性に対応したポートフォリオ地震リスクの推定法

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
荷重係数 信頼性 一次信頼性解析

1. はじめに

筆者らは、ポートフォリオ地震リスクが各拠点の損失の確率変数の線形和で表されることに着目し、構造信頼性理論の応用により、ポートフォリオリスクを各拠点に分解する手法を示した¹⁾。本研究では、各拠点の分離係数と損失の平均値から、一定の信頼性を満たすポートフォリオ地震リスクを算出する手法を提案する。

2. ポートフォリオ地震リスクの性能関数表示

地震 PML の定義を「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」(図 1)とすれば、単一拠点でもポートフォリオであっても同じ表現が可能となるが、ポートフォリオ地震 PML の場合には、合積等の計算処理により、ポートフォリオ全体の損失分布の確率特性値として表現され、個別拠点のリスク情報との関係は明示的に表現されないことになる。

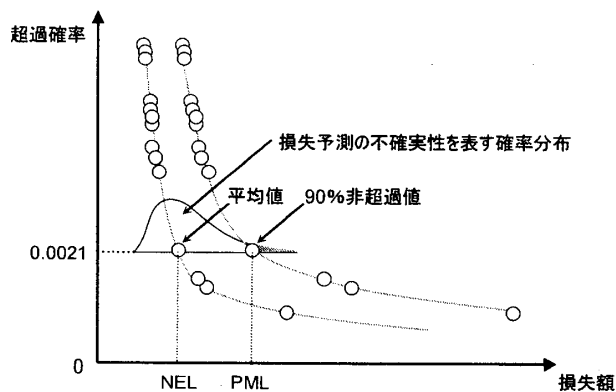


図 1 地震イベントカーブと地震 PML

一方、ポートフォリオ地震リスクは、物的損害のみを対象とする場合には、各拠点の地震による物的損害の総和で表されるため、ポートフォリオ地震リスクの閾値を L_p 、各拠点の損失を L_i 、その平均値を \bar{L}_i とすれば、ポートフォリオ地震リスクに関する性能関数 G を次式で表現できる。

$$G = L_p - \sum L_i = L_p - \sum \gamma_i \cdot \bar{L}_i \quad (1)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{\sqrt{1 + V_{L_i}^2}} \exp(\alpha_{L_i} \beta \xi_{L_i}) \quad (2)$$

(L_i が対数正規分布である場合²⁾)

ここで、 α_{L_i} は分離係数、 β は信頼性指標、 ξ_{L_i} 、 V_{L_i} はそれぞれ、確率変数 L_i の対数標準偏差、変動係数である。また、 γ_i を、各拠点の損失平均値に乗じる拠点係数(限界状態設計法における荷重係数)と定義する。

次節以降では、複数の地震イベントに対して各拠点の分離係数を一次信頼性解析³⁾(FORM)により算出し、その結果に基づく拠点係数を用いて、ある信頼性水準に対応するポートフォリオ損失の推定を試みる。

3. 条件設定

試算対象のポートフォリオと震源域⁴⁾を図 1 に示す。それぞれの建物の再調達価格を 1,000 とし、 fragility 特性値等は、既報告¹⁾と同様に表 1 のように定めた。

各建物位置の地震動強度は距離減衰式⁴⁾により評価(地盤増幅の影響も考慮)し、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。

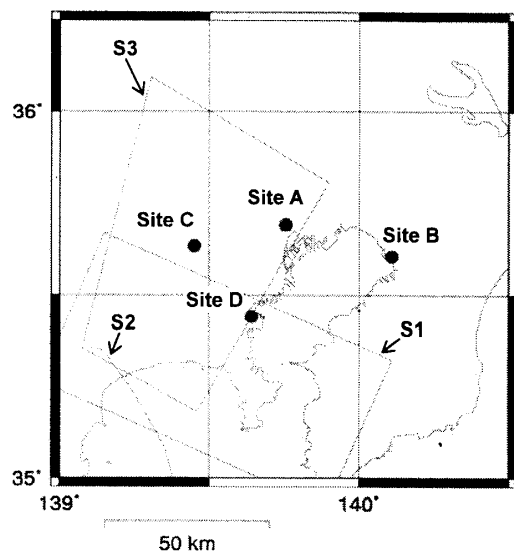


図 2 ポートフォリオ配置と震源位置

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

既報告¹⁾のとおり、最終的な損失曲線は、損失平均、損失対数標準偏差それぞれについて、地震動（距離減衰式）と損失予測の不確実性（既報告¹⁾と同様に対数標準偏差0.3とする）を複合的に考慮した形で表現される。

4. 分離係数の算出と拠点係数の設定

図3に、震源域S1で発生する地震イベントに対して求めた分離係数と信頼性指標を示す。なお、既往の文献^{5),6)}に基づき、各拠点同士の離間距離が20km以上あることから、各拠点の損失の確率変数を完全非相関とした。

当該地震イベントによるポートフォリオ損失の平均は、約400であり、ポートフォリオの平均値から乖離するに従い各拠点で最も平均値の高いSiteDの分離係数の絶対値が大きくなるのが分かる。

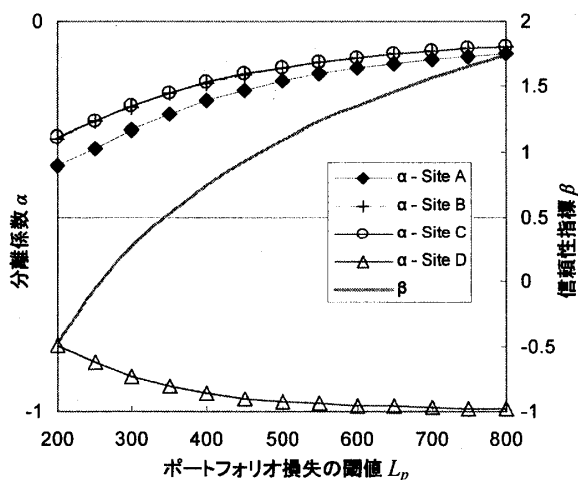


図3 分離係数と信頼性指標(震源域S1のイベント)

その他の震源域に対応する地震イベントについても同様に分離係数と信頼性指標の関係性を求めたところ、損失の平均値が大きい拠点の分離係数の絶対値が大きく(2)式による拠点係数も大きい値になることが分かった。

5. ポートフォリオ損失閾値の推定

前節の結果に基づき、特定の地震イベントによる超過確率10% ($\beta=1.28$) に相当するポートフォリオ損失閾値を下式で推定することを試みる

$$L_{p, \beta=1.28} = 2.0 \cdot \bar{L}_j + 0.7 \cdot \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \bar{L}_i \quad (3)$$

ここで添え字jに対応する拠点は、損失の平均値が最も大きい拠点である。本検討においては、Site Dが対応する。検討に用いた地震イベントの諸元を表2に、(3)式に基づき算定した損失閾値を(1)式に代入してFORMにより信頼性指標を計算した結果を表3に示す。損失の平均値に各拠点の差がそれほど大きくないS3の場合でも(3)式に

より算定した損失閾値の信頼性指標は目標値にほぼ近い値となっており、(3)式が十分な精度を持っていることが確認できた。

なお、別途実施したポートフォリオ地震リスク解析によれば、本検討で用いた地震S1, S2, S3はそれぞれ再現期間約500, 100, 190年に相当する90%非超過損失を与えるが、それらは、実際の地震リスクマネジメントにおいても通常参照される範囲にあり、地震イベントの選定も妥当といえる。

表2 各地震イベントによる各拠点の確率変数諸元

震源名	M	深さ	PGA	平均値	変動係数	
S1	8	13.31	Site A	364	74	1.11
			Site B	301	58	1.23
			Site C	300	58	1.23
			Site D	658	206	1.16
S2	8	7.5	Site A	183	25	2.43
			Site B	146	10	2.59
			Site C	174	20	2.46
			Site D	312	61	1.20
S3	7	33	Site A	294	56	1.26
			Site B	186	27	2.42
			Site C	204	40	2.28
			Site D	302	59	1.22

表3 推定損失閾値に対応した信頼性レベルの検証結果

震源域名	$L_{p, \beta=1.28}$	β	超過確率
S1	504	1.23	0.11
S2	160	1.33	0.091
S3	204	1.27	0.10

6. まとめ

限界状態設計法における荷重係数に相当する拠点係数の概念をポートフォリオ地震リスクに適用し、各拠点の平均値と拠点係数から、目標信頼性に応じたポートフォリオ地震リスクを推定する手法を提案した。本手法により、ある信頼性水準に対応したポートフォリオ損失と各拠点の平均値の関係が明示的になり、地震保険の支払限度額の設定根拠などの説明性向上に資すると期待される。今後は、より多様なポートフォリオに対して同手法の適用を試みる予定である。

参考文献

- 佐藤一郎, 高田毅士: 地震リスクの再分解 (Deaggregation) に関する基礎的考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2008年
- 日本建築学会: 建築物の限界状態設計指針, 2002年
- Hohenbichler, M. and Rackwitz, R.: Non-Normal Dependent Vector in Structural Safety, J. of EM, ASCE, Vol. 107, No.6, pp.1227-1249, 1981
- 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
- Min Wang and T. Takada: Macrospatial correlation model of seismic ground motions, Earthquake Spectra, Vol.21, No.4, pp.1137-1156, 2005
- 中村孝明: 相関を考慮した建物群の地震損失確率関数の評価, 日本建築学会構造系論文集, No.623, pp.49-56, 2008

*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