

地震リスク評価における地震イベントカーブと地震リスクカーブ

東京都市大学 正会員○吉川 弘道
 篠塚研究所 正会員 中村 孝明

1. 地震リスクマネジメント

地震リスクマネジメントの策定/遂行には、保有リスクの客観的数量的なリスク分析と評価が必要となる。地震リスクカーブと地震イベントカーブは、建設地点の地震ハザード情報と構造物の脆弱性との両者を反映した最も重要なリスク情報であり、信頼性理論を援用して定式化されている。これらの研究は既にリスクビジネスにて多用され、本文は既往文献の研究成果を要約して報告するものである。

2. 地震リスク曲線：基本式の定式化

まずは、建設地点の地震ハザード曲線 $P_A(\alpha)$ と地震ロス関数が与えられたときの、地震損失(損失額・損失率)の超過確率を表す地震リスク曲線の基本定式化を提示したい。ここでは、文献 1),2)の記述に基き、単年度あたりの地震リスク曲線 $G_C(c)$ として示すものである。

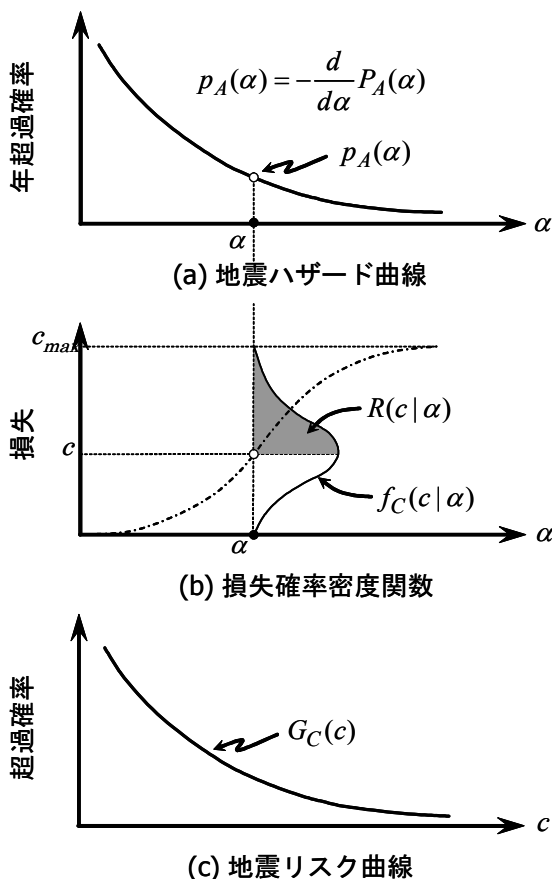


図1 地震リスク曲線 $G_C(c)$ の算出

・地震損失関数:

地震発生に伴う損失額 c は多くのパラツキを有し、これを最大加速度 α の条件付確率として、次式のような β 分布による確率密度関数を定義する(図 1(b)).

$$f_C(c|\alpha) = \frac{1}{\beta(q,r)} \cdot \frac{(c-a)^{q-1}(b-c)^{r-1}}{(b-a)^{q+r-1}} \quad (1)$$

ここで、 $\beta(q,r)$ は形状パラメータ q, r より定義される β 関数であり、2 係数 q, r は平均値 c_m と分散 σ_c^2 から算出される。さらに、下限値 $a=0$ 、上限値 $b=c_{max}$ のように設定し、地震損失 c の上限/下限を規定する。このような地震損失の確率密度関数(標準 β 分布)から、その超過確率 $R(c|\alpha)$ を求めることができる。

$$R(c|\alpha) = \int_c^{c_{max}} f_C(\zeta|\alpha) d\zeta \quad (2)$$

これは、最大加速度 α を条件とする、任意の地震損失 c から最大損失額 c_{max} までの積分値となる(図 1(b)).

・地震リスク曲線の算出:

この地震損失の超過確率 $R(c|\alpha)$ に、地震ハザード曲線の確率密度関数 $p_A(\alpha)$ (図 1(a)) を用いて、地震リスク曲線 $G_C(c)$ (図 1(c)) を求解することができる。

$$G_C(c) = \int_0^{\infty} p_A(\alpha) \cdot R(c|\alpha) d\alpha \quad (3)$$

ここでは、地震規模を表す(基盤/地表)最大加速度 α が消去されており、地震損失 c の超過確率 (= 1 - 確率分布関数) となっていることが特徴である。

3. 地震イベントカーブ：マルチイベントモデルによる定式化

次に、シナリオ地震をベースとしたマルチイベントモデル/Multi-Event Model に基づく定式化を示す(文献 3)。対象施設に被害を与えるであろうシナリオ地震を、損害の大きい順番に m 個を抽出し、地震リスクを算定する。表1は大阪に位置する施設(SRC 造7階、1990 年竣工のビル)のマルチイベントモデルによる地震リスクの評価例を示している。表中緯度経度で示した震源名は背景地震(バックグラウンド)

Key words: 地震リスク, NEL・PML, 地震リスクカーブ, 地震イベントカーブ

連絡先: 東京都市大学(旧武蔵工業大学) 総合研究所 吉川弘道 hyoshika@tcu.ac.jp

表 1 マルチイベントモデルによる地震動と地震リスク

No.	震源名	マグニ チュード	年間 発生確率	累積確率	PBA	NEL	PML
1	上町断層帯	M7.5	0.00098	0.00098	489	0.147	0.508
2	(135.50, 34.70)	M6.5	0.00008	0.00106	344	0.064	0.199
3	中央構造線(金剛)	M8.0	0.00008	0.00114	342	0.063	0.196
4	六甲・淡路断層帯	M7.9	0.00004	0.00117	340	0.062	0.193
5	生駒断層帯	M7.5	0.00000	0.00117	327	0.056	0.174
6	(135.70, 34.70)	M6.5	0.00008	0.00126	313	0.051	0.154
7	(135.50, 34.50)	M6.5	0.00008	0.00134	301	0.046	0.139
8	(135.50, 34.70)	M6.0	0.00032	0.00165	285	0.040	0.121
9	(135.70, 34.50)	M6.5	0.00008	0.00173	280	0.038	0.115
10	有馬・高槻断層帯	M7.5	0.00000	0.00174	271	0.035	0.105
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

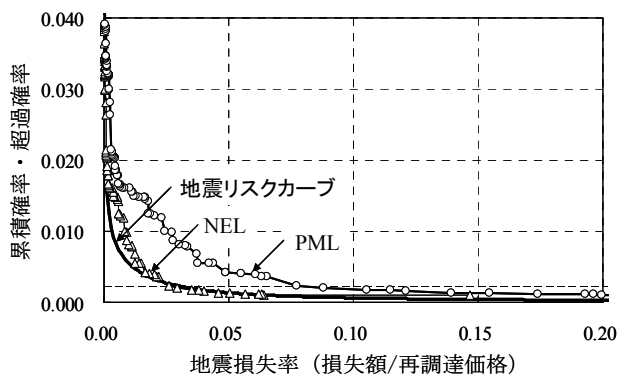


図 2 地震イベントカーブと地震リスクカーブ(地点:大阪)

地震)を具体的な地震に置き換えたものであり, PBA は基盤最大加速度/Peak Bedrock Acceleration を示す。

ここで, シナリオ地震 i の発生を条件とした損失密度関数 $f_C(c|i)$ を再定義すると, 2 つの重要な地震リスク指標(損失の期待値 NEL, 予想最大損失 PML)を以下のように定義することができる。

$$NEL_i = \int_0^{c_{\max}} c \cdot f_C(c|i) dc \quad (4)$$

$$0.9 = \int_0^{PML_i} f_C(c|i) dc \quad (5)$$

前出の $f_C(c|\alpha)$ は, 地震動 α の条件付損失密度関数であるのに対し, $f_C(c|i)$ はシナリオ地震 i に対する条件付損失密度関数となっている(いずれも β 分布を採用している)。図 2 は横軸に地震損失率 c , 縦軸に年発生確率の累積を, NEL と PML に対してプロットしたものであり, これを地震イベントカーブと呼ぶ。一方, 地震損失を最大値である再調達価格 $c_{\max}$ にて正規化した損失率で示す場合が多く, 表 1, 図 2 とともに損失率で示している。

4. 地震リスクカーブ: 地震イベントカーブからの変換

地震イベントカーブから, さらに地震リスクカーブに変換することを示したい。想起した m 個のシナリオ地震の単年度発生確率を P_i ; $i = 1 \sim m$ とし, シナリオ地震 i による損失密度関数を $f_{Ci}(c_i) = P_i \cdot f_C(c|i)$ と記述する。

一方, m 個のシナリオ地震を独立と仮定し, 地震損失 C が生じる非超過関数 $F_C(c)$ を次式にて表す。

$$F_C(c) = \int_0^c \int_0^c f_{C1}(c_1) f_{C2}(c_2) \cdots f_{Cm}(c_m) dc_1 dc_2 \cdots dc_m \quad (6)$$

上式の非超過確率関数を $G_C(c) = 1 - F_C(c)$ のように超過確率関数に置き換えると, 最終的に次式に至る。

$$G_C(c) = 1 - \prod_{i=1}^m \left\{ 1 - P_i \int_c^{c_{\max}} f_C(\zeta|i) d\zeta \right\} \quad (7)$$

上式がシナリオ地震による地震リスクカーブであり, 図 2 のように式(7)による演算によって, 平滑化された曲線に変換される。図 2 には, 2 つの地震イベントカーブと比較し, 図中の点線(超過確率 1/475 を示す)とも併せて確認されたい。

5. まとめ

- ・地震リスク解析手法として, 前半にて提示した関数 $G_C(c)$ は一般式であり, 現在ではシナリオ地震に基づく地震イベントカーブと地震リスクカーブが主流となっている。
- ・NEL と PML は主要なリスク指標であり, 特に PML は, 不動産評価などに不可欠なエンジニアリング指標である。
- ・地震イベントカーブは具体的な地震を想定し, 地震の発生確率と損害が分離しているので分かり易く効果的である。一方, 地震リスクカーブは, 損失とその可能性のみに着目する場合は有効である。
- ・地震イベントカーブと地震リスクカーブは有用な定量的リスク情報として定着しており, リスクマネジメントにてさらなる展開が期待できる。

謝辞: 本研究は, 平成 20/22 度科学研究補助金「鉄道施設の地震リスク解析とリスク転嫁策の研究」にて実施したものである。

参考文献:

- 1) 中村孝明: 確率論的資産マネジメント-民間資本から社会資本へ-, 最新建設技術シリーズ第 2 巻, 山海堂, 2005.3,
- 2) 吉川弘道: 鉄筋コンクリートの耐震設計と地震リスク解析, 丸善, 2008.2
- 3) 中村孝明, 宇賀田健: 地震リスクマネジメント, 技報堂出版, 2009.1