

RC 橋脚を対象とした地震リスクカーブと地震時予想最大損失額の算定

武蔵工業大学大学院 学生会員 ○中公 雄介
武蔵工業大学大学院 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

地震リスクカーブと地震時予想最大損失額(PML; Probable Maximum Loss)は、米国で発祥した重要な保険情報である。特に、PML は不動産の証券化に伴う建物の耐震格付け指標として、一般化されている¹⁾。しかし、このような不動産価値を決定する保険情報とエンジニアが扱う構造物の耐震性能とが乖離していることは否めない。そこで本研究は、RC 模擬橋脚を設定して、地震リスクカーブを算定するとともに、PMLと耐震性能の1つである靱性率との関係を考察するものである。本研究における解析フローを図1に示す。サイトの危険度を評価する地震危険度解析、RC 橋脚の耐震性能評価を経て、地震リスクカーブを算定し、最終的にPMLを算出するものである。

2. 地震リスクカーブの算定

まず地震ハザード曲線より、基盤最大加速度 α_m が与えられた場合の損失額の超過確率 $\Omega(c|\alpha_m)$ を、式(1)により算出する。今回は、図2に示すように地震ハザードを2例用いている(Hazard.1:年超過確率0.2%において、およそ540Galの地震動。Hazard.2:年超過確率0.2%において、およそ300Galの地震動である。一般的に中規模(Hazard.1)と小規模地震動(Hazard.2)になる)。ここで $\Omega(c|\alpha_m)$ は、地震動の不確実性を考慮した損失額の超過確率である。すべての基盤最大加速度の発生を考慮するため、 $\Omega(c|\alpha_m)$ に α_m の発生確率 $p(\alpha_m)d\alpha_m$ を乗じて損失額 c の超過確率 $G(c)$ を式(2)により求める^{1), 2)}。ここで、 $h(\alpha; \lambda_\alpha, \zeta_\alpha)$ は地震強度の不確実性における確率密度関数、 $R(c|\alpha)$ は、損失額の超過確率である。

$$G(c) = \int_0^\infty p(\alpha_m) \cdot \Omega(c|\alpha_m) d\alpha_m \quad (1)$$

$$\Omega(c|\alpha_m) = \int_0^\infty h(\alpha; \lambda_\alpha, \zeta_\alpha) \cdot R(c|\alpha) d\alpha \quad (2)$$

図3に超過確率 $G(c)$ の算定過程を模式的に示した。これは、基盤最大加速度 α_m の発生確率に α_m を条件とした加速度 α の発生確率、さらに α 条件とした損失額の超過確率算定という重積計算を表わす。また、図4にHazard.1における地震リスクカーブを示す。これは損失額 c と年超過確率 $G(c)$ 関係を表わすことにより、地震による損失の危険度を定量的に評価することができる。

3. Probable Maximum Loss の算定

PML(Probable Maximum Loss)の定義は様々であるが、本研究では中村ら¹⁾が提案する定義である、「対象施設あるいは施設群に対し、最大の損失をもたらす再現期間

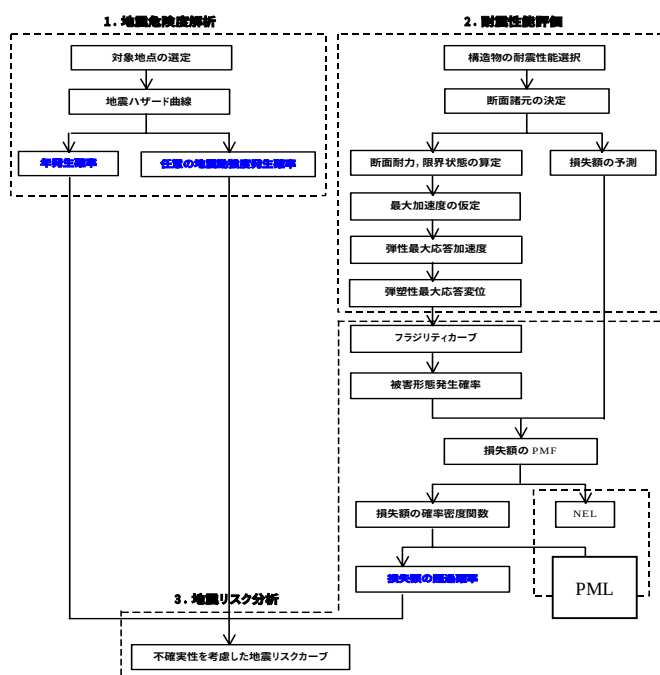
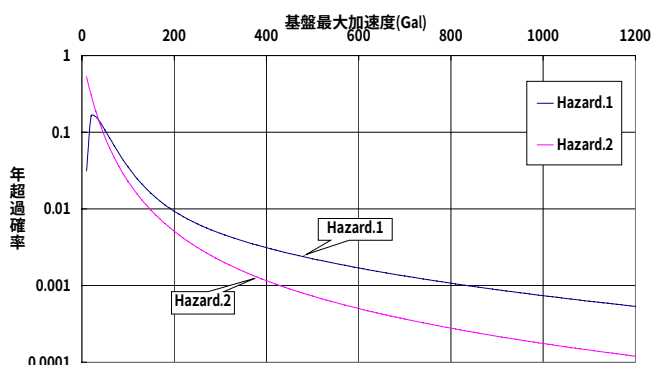
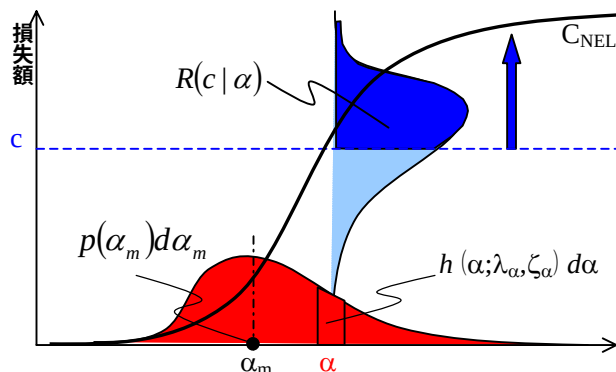


図1 本研究における解析フロー

図2 地震ハザード曲線(Hazard.1, Hazard.2)⁴⁾図3 地震動と損失額の不確実性²⁾

Key word: 地震リスクカーブ, PML, 保有靱性率

連絡先: 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 構造材料工学研究室 TEL: 03-3703-3111 内線(3243)

475 年相当の地震が発生し、その場合の 90%非超過確率に相当する物的損失率」を採用した. PML を C_{PML} と表記し、式(3),(4)より算出する.

$$C_{PML} = R^{-1}(0.1) \quad (3)$$

$$R(C_{PML}) = \int_{C_{PML}}^{C_{max}} f(x|\alpha) dx \quad (4)$$

90%の由来は、「建物の 10 棟中 1 棟は不適切な設計、施工の特異性、異常な地震動や応答、地盤被害などを原因とした例外的な損失を持ち、建物の一般的な階級とうまく適合しない」ことに起因している. すなわち不適切な設計や異常な地震動等が原因で、10%の確率で予想損失額を超える可能性があることを示唆している³⁾. 図5に損失額の PML と確率密度関数 $p.d.f.$ の概念図を示す.

4. 数値シミュレーション

RC 模擬橋脚 6 本(A~F)を対象に、図1に示す 2 例の地震ハザードにおいて、PML を算出した. ここで、RC 模擬橋脚の橋脚諸元を表1に示す. そして、PML と対象橋脚の保有靱性率(= 終局変位 / 降伏変位)との関係導いた.

地震リスクカーブより算出した PML を表2に示す. PML の算出は定義に従い、地震リスクカーブの縦軸の 1/475 に対する損失期待値を読み取っている. また、図6に PML と保有靱性率の関係を示す. 多少のばらつきはあるが、靱性率が大きくなると、PML も小さくなる傾向が見られた. すなわち、橋脚の保有靱性率が大きいほど、高地震地域であるほど、PML は小さくなっていくことがわかる.

5. まとめ

本研究の目的である、地震リスクカーブと地震時予想最大損失額(PML)を算定することができた. 地震リスクカーブは、地震規模(ここでは入力最大加速度)と損失額(再調達価格に対する比)との関係を明瞭に物語るものであるが、直接リスクマネジメントに反映させることは難しい. 一方 PML は、地震特性(地震ハザード曲線)と構造物の耐震性能(Fragility curve)を反映させた 1 個の数値であるため分かりやすく、損失期待値とともに多用されることが期待できる. ただし、地震ハザード曲線と靱性率によって、一義的に PML を算定することは考えられず、個々のケースごとに図1に従った算定手順が必要である.

【参考文献】

- 1) 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), pp69-76, 2000
- 2) 遠藤昭彦: 鉄筋コンクリート橋脚に対する地震リスク評価手法の適用, 土木学会構造工学論文集 Vol.49A, 2003
- 3) Steinbrugge, Karl V.: Earthquakes, Volcanoes, and Tsunamis, An Anatomy of Hazards, pp.201-216, 1982
- 4) D-SEIS 使用説明書(解析プログラムバージョン 2.1), 株式会社 CRC ソリューションズ, 2000

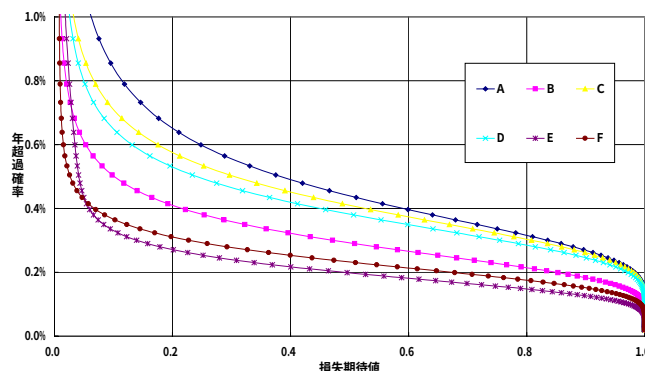


図4 地震リスクカーブ(橋脚 A~F)

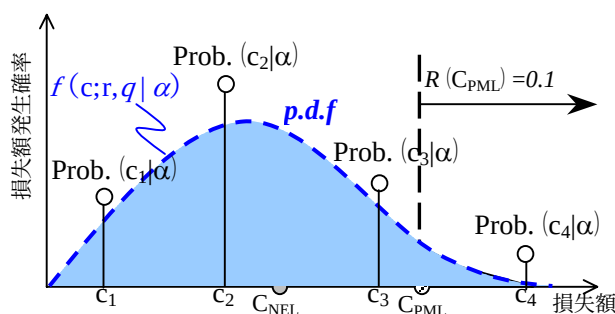


図5 損失額の PMF と p.d.f.²⁾

表1 橋脚諸元

			鉄筋コンクリート橋脚					
			A	B	C	D	E	F
隆起時	水平変位(mm)	δv	51	42	26	355	32	263
	変位(mm)	δv	37	25.9	31.6	21	51	331
終局時	曲げ変位(mm)	δu	51	42	26	355	32	263
	せん断変位(mm)	$\delta u = \delta v + \delta s$	57	59	45	43	45	343
等価重量(MN)			75.3	75.5	112	91.6	351	355.5
等価固有周期(sec)			11	8.6	7.5	11	8.2	9.5
保有靱性率			0.433	0.499	0.584	0.426	0.535	0.521
			2.0	2.9	3.5	4.4	6.9	10.7

表2 PML の算出結果(Hazard.1, Hazard.2)

	PML(Hazard.1)	PML(Hazard.2)
橋脚A	0.983	0.466
橋脚B	0.853	0.140
橋脚C	0.982	0.390
橋脚D	0.972	0.319
橋脚E	0.496	0.046
橋脚F	0.678	0.038

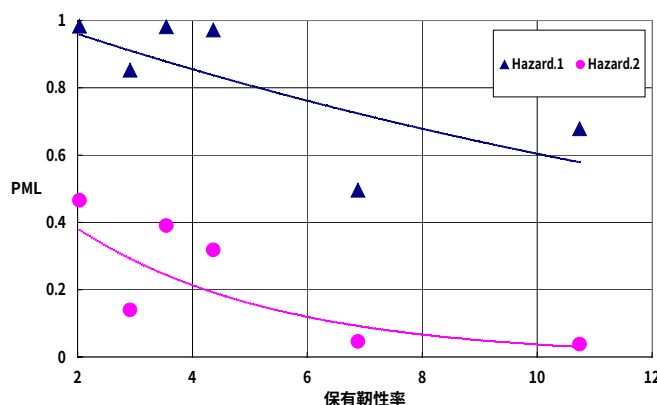


図6 PML と保有靱性率の関係