

鉄筋コンクリート橋脚に対する期待損失額の算定

—地震保険における保険料指標算定法の提案—

武蔵工業大学大学院 学生会員 大井幸太

武蔵工業大学工学部 正会員 吉川弘道

1. はじめに

現在，地震保険(earthquake insurance)は居住用建物や家財等を対象に提供されているが，現行の保険料(premium)にリスクの度合は十分に反映されていない．今後，地震活動の地域特性，建物の耐震性能，耐震性能を向上させる改築等防災努力の度合に応じた料金体系の早期構築が望まれる¹⁾．

本研究は保険料指標として期待損失額(expected amount of a loss)に着目し，地震活動の地域特性と建物の耐震性能を考慮した保険料指標算定法(Fig.1)の提案を行う．さらに，鉄筋コンクリート橋脚に対する期待損失額の算定例を示す．

2. 算定手法

phase では，地震危険度解析(seismic risk analysis)より地震波の不確定性を適切に勘案し，建設地点における地震活動の地域特性を定量評価する．本算定法では地震危険度解析結果を地表面最大加速度(Peak Ground Acceleration, 以下：P.G.A.) - 年超過確率 $P_1(\alpha)$ 関係を示す地震ハザード曲線(seismic hazard curve)より表す．さらに t 年間に P.G.A. α (Gal) を越える地震動が発生する確率 $P_t(\alpha)$ を $P_1(\alpha)$ より次式の供用期間超過確率算定式から推定する．

$$P_t(\alpha) = 1 - [1 - P_1(\alpha)]^t \quad (1)$$

phase では，対象橋脚の耐震性能を定量評価し(Fig.2)，損傷状態に応じた損失額を予測する．対象橋脚に基盤面最大加速度 α_0 (Gal) が作用した際の弾性応答加速度 α_c (Gal) を， α_c から求められる荷重低減係数 R_μ を用い，非弾性挙動時の最大応答塑性率 μ_{resp} を Eq.2²⁾, Eq.3³⁾ より推定する．

$$\alpha_c = 19.44 \alpha_0^{0.6523} \cdots \text{弾性応答評価式} \quad (2)$$

$$\mu_{resp} = \left(\frac{1}{R_\mu} \right)^{-\frac{1}{0.88}} \cdots \text{弾塑性応答評価式} \quad (3)$$

さらに，Park らが提案し，Kunnath らが修正した損傷度指標(Damage Index, 以下：DI)を用い，橋脚の耐震性能は Eq.4⁴⁾ より定量的かつ Table2 より定性的に評価できる．

Key Words：鉄筋コンクリート橋脚(RC 橋脚)，地震保険，期待損失額，地震ハザード曲線，損傷度指標

連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1 丁目 28 番地 1 号 TEL：03-3703-3111 内線(3241) FAX：03-5707-1165

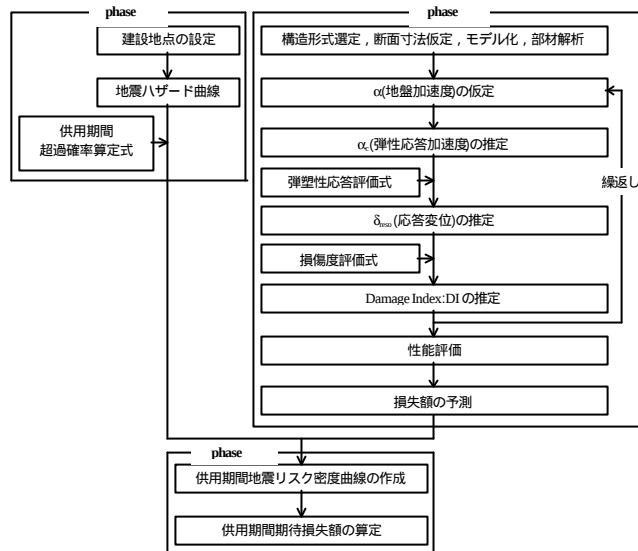


Fig.1 Method for computation of premium index on earthquake insurance

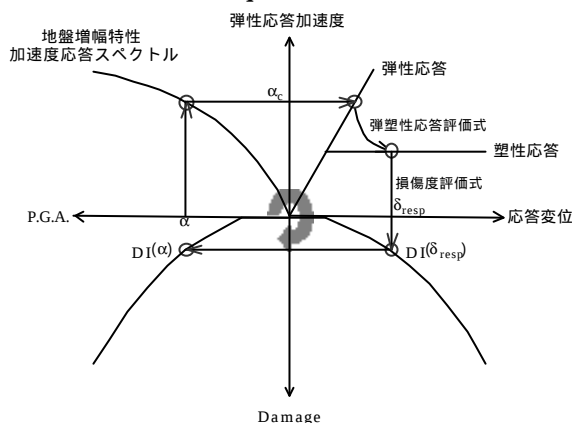


Fig.2 Method for computation on phase

Table1 Mechanical properties of target piers

	形式		既設RC橋脚 補強RC橋脚	
降伏時	水平耐力(MN)	P_y	1.88	2.96
	変位(mm)	δ_y	26.8	32.5
終局時	曲げ耐力(MN)	P_u	1.88	2.96
	せん断耐力(MN)	$V_y = V_c + V_s$	-	7.20
	変位(mm)	δ_u	67.0	96.9
	等価重量(MN)	W	3.92	3.92
	等価固有周期(sec)	T	0.56	0.52
	終局変位靱性率(-)	μ_u	2.50	2.98

Table2 Performance evaluation and Probable amount of a loss

損傷状態	損傷度指標DI	予想損失額 L (百万円)	
		既設RC橋脚	補強RC橋脚
無被害	0.00 DI 0.08	0	0
軽微な被害	0.08 < DI 0.18	1	4
中程度の被害	0.18 < DI 0.36	5	8
大被害	0.36 < DI 0.60	25	40
崩壊	0.60 < DI	50	80

$$DI = \frac{\mu_{\text{resp}} - 1}{\mu_u - 1} + \frac{\beta \cdot E_h}{P_y (\delta_u - \delta_y)} \cdots \text{損傷度評価式} \quad (4)$$

μ_u , E_h , δ_u , δ_y , β は終局変位靱性率, 履歴吸収エネルギー(MN・mm), 橋脚の終局変位(mm), 橋脚の降伏変位(mm), 部材の断面特性等に依存した正の係数(本研究では0.15とした)である。

予想損失額 L (probable amount of a loss)には復旧費用(補修費)のみならず, 商品の補償対象に応じて, 対象橋脚やライフラインの機能停止による経済損失, 心理的損害, 人命喪失等を貨幣単位で定量化し加算することが考えられる。

phase において, 供用期間当たりの平均損失額を意味する供用期間期待損失額 EL_t は地震活動の地域特性(発生確率密度 p_t)と橋脚の耐震性能(予想損失額 L)との積で表される地震リスク(供用期間期待損失額密度 el_t)を用い, 次式より推定される。

$$EL_t = \int_0^{+\infty} el_t(\alpha) d\alpha = \int_0^{+\infty} L(\alpha) \cdot p_t(\alpha) d\alpha \quad (5)$$

3. 期待損失額の算定例と考察

本算定例では既設 RC 橋脚と曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法による補強 RC 橋脚を対象橋脚⁵⁾とし, 供用期間は100年とした。対象橋脚の物性値を Table1 に, 予想損失額を Table2 に示す。

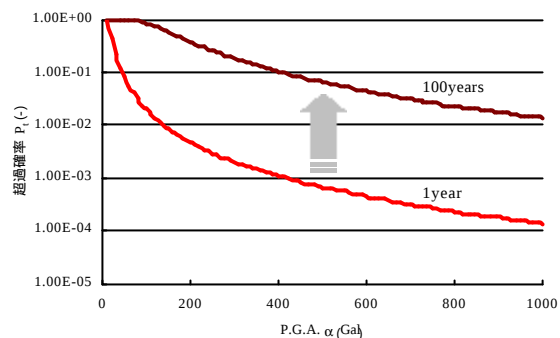
Fig.3 は建設地点に東京都を想定した算定例である。さらに, 建設地点として北海道, 東京都, 愛知県の3地点, 対象橋脚に前述の2橋脚を想定し, 期待損失額 EL_{100} の算定を行った(Fig.4)。

建設地点を東京都に想定すると, Fig.3(c)より P.G.A.260Gal の地震動で既設 RC 橋脚は崩壊($DI=0.60$)に至るが, 補強 RC 橋脚は無被害($DI=0.00$, 橋脚の弾性挙動を示す)となり, 橋脚の耐震性能向上が確認され(補強 RC 橋脚は 610Gal で崩壊), 期待損失額 EL_{100} は既設 RC 橋脚で 1590 万円, 補強 RC 橋脚で 530 万円となった(Fig.4)。さらに 建設地点が異なる既設 RC 橋脚の期待損失額 EL_{100} には大きな差異(愛知県で 2280 万円, 北海道で 120 万円)が見られた。ゆえに, 本算定法より得られた期待損失額 EL_t は地震活動の地域特性と橋脚の耐震性能を反映していると云え, 耐震補強工法の費用対効果を評価する指標としても有用性は高いと考える。

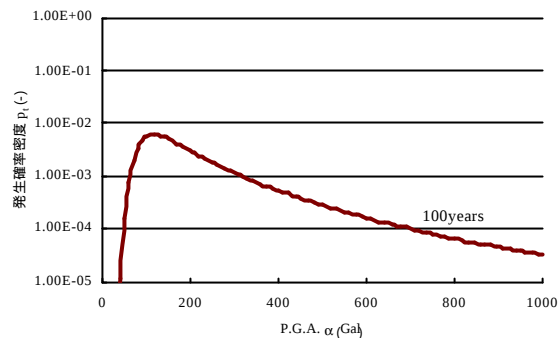
期待損失額 EL_t は橋脚に対する負の評価指標であるが, 市民のコンセンサスが得られる指標として確立し情報公開することで, 所有者の防災インセンティブを高める正の要因になると考える。

【参考文献】

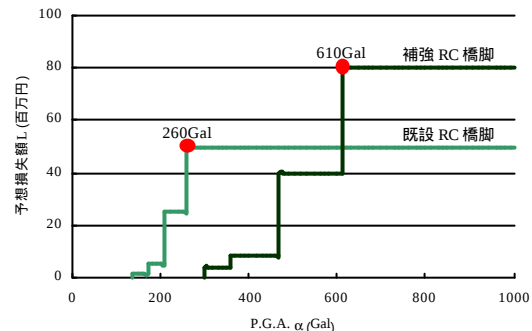
- 1) 齊藤誠: 経済教室 地震保険の制度改革急げ, 日本経済新聞社, pp31, 2000.11.10
- 2) 佐藤一郎, 平川倫生, 神田順: 活断層を考慮した地震危険度解析と最適信頼性への応用, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp145-150, 1998
- 3) 鈴木哲夫, 武田寿一: 建物の耐力と強震時の最大塑性変形量との関係, 第6回日本地震工学シンポジウム, pp1081-1087, 1982.12
- 4) 三上卓, 家村浩和: 性能照査型設計のための損傷度指標, 第4回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp17-24, 2000.12
- 5) 日本道路協会: 既設道路橋の耐震補強に関する参考資料, pp2-5-2-32, 1997.8



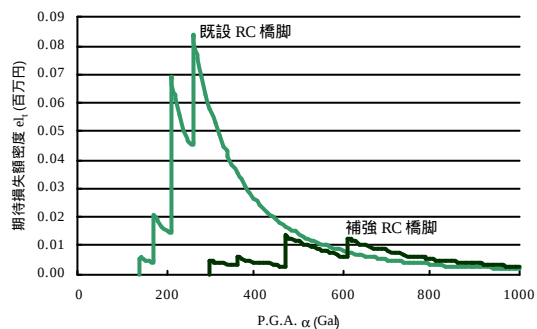
(a) Seismic hazard curve



(b) Probability density curve of earthquake



(c) Probable amount of a loss



(d) Seismic risk density curve in service period

Fig.3 Computation of expected amount of a loss in service period

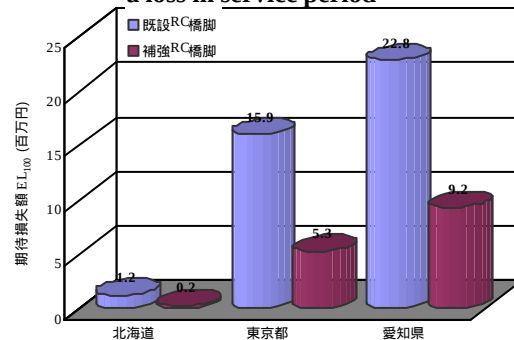


Fig.4 Parametric test