

## 意思決定理論を用いた設計地震荷重の評価の試み

岐阜大学 工学部 学生会員 相内美紀  
 正 会 員 本城勇介  
 正 会 員 能島暢呂

### 1. はじめに

我が国における地震荷重の決定の歴史を見ると、既往最大値という考え方がその中心を占めてきたと思われる。近年、地震学の研究の進歩もあり、当該地点での地震動予測の信頼性は高められてきてはいるが、このときもその大きさや、頻度の予測に大きな不確実性があることに変わりはない。このため、発生頻度を無視した、ときには過大と思われる地震荷重の設定が行われる場合もある。加えて、時代の流れとともに、説明責任(Accountability)や公的な意思決定の透明性を求める社会的風潮が高まっている。一方で、絶対の安全といったものは存在せず、我々はどうのような問題にも、あるリスクを許容しなければならないことを見逃すことはできない。

本研究は上述のような状況をふまえ、設計地震荷重の決定を統計的な意思決定理論の枠組でとらえ、地震荷重に関連した種々の不確実性を考慮しつつ、明確な決定ルール下における意思決定の結果を複数個提示することで、合理的な設計地震荷重の決定方法について考察するものである。

### 2. 研究の概要

本研究では、地震荷重を統計的決定理論の枠組みで捉える。すなわち、意思決定理論の一つであるゲームの理論により、この地震荷重の問題を定式化する。このときの Payoff matrix の構成要素を表-1 に、その概要を表-2 に示す。さらに、これを基に min-max、min-min の規準、および期待費用最小化原理に基づき解を求める。この解が代替案、すなわち設計震度(地震荷重)となる。

表-1 Payoff matrix の要素

要素	説明
代替案	設計抵抗力 ( $I_s$ 値)
自然状態	地震の大きさ(震度, $PGV$ )
利 得	被害損失費

表-2 Payoff matrix の概要

	$I_1$	$I_2$	...	$I_n$
	$p_1$	$p_2$	...	$p_n$
$a_1$	$C_{C1} + C_{R11}$	$C_{C1} + C_{R12}$	...	$C_{C1} + C_{R1n}$
$a_2$	$C_{C2} + C_{R21}$	$C_{C2} + C_{R22}$	...	$C_{C2} + C_{R2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$a_m$	$C_{Cm} + C_{Rm1}$	$C_{Cm} + C_{Rm2}$	...	$C_{Cm} + C_{Rmn}$

$I_i$ : 震度,  $p_i$ : 確率密度,  $a_i$ : 代替案,  $C_{C_i}$ : 初期建設費,  $C_{R_{ij}}$ : 修復費

### 3. Payoff matrix

#### (1) Payoff matrixの作成手順

Payoff matrixを作成するため、フローを 図-1 に示す。また、使用する実データは、現行の地震防災対策強化地域に指定されている岐阜県南東部のある地点とした。

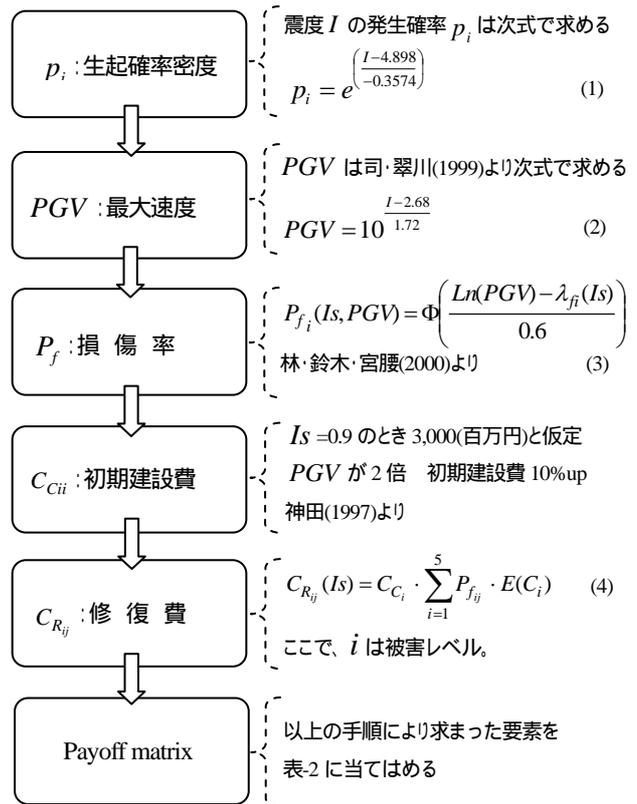


図-1 Payoff matrix 作成のフロー

#### (2) Payoff matrixの計算結果

表-3 被害費用比  $E_{C_i}$  の仮定

	軽微	小破	中破	大破	倒壊
0.05	0.1	0.2	0.3	1.0	1.0
0.05	0.1	0.2	0.6	2.0	2.0
0.05	0.1	0.2	1.0	10.0	10.0
0.05	0.1	0.2	5.0	5.0	5.0
0.05	0.1	0.2	5.0	10.0	10.0
0.05	0.1	0.2	5.0	5.0	20.0

(備考) 1) ケース 林・鈴木・宮腰(2000)による  
 2) 損失被害費用は、初期建設費用と修復費用を加算したものである。  
 3) 修復費用は初期建設費用より正規化したものである。

作成フローに基づき、表-3 に示すような期待被害費用比の仮定により、6つのケースについて、Payoff matrix を求めた。特に、ケース と の2つの結果を表-4(a), (b)に示す。期待被害費用比とは、修復費を初期建設費用で無次元化した修復費用比の期待値である

ここで、モデルとした構造物は以下のとおりである。

- 1) RC 造構造物、延べ床面積 10,000 m<sup>2</sup>
- 2) Is 値=0.9 を基準値とし、初期建設費用単価 30 万円 / m<sup>2</sup>

表-4(a) Payoff matrix: ケース

$a_i \backslash p$	$I$	7.0	6.5	6.0	5.5	期待費用
	$p$	1/250	1/60	1/15	1/3	
A(Is=0.6)		3,727	3,008	2,853	2,835	2,840
B(Is=0.9)		3,390	3,049	3,002	3,000	3,001
C(Is=1.2)		3,300	3,300	3,119	3,118	3,118
D(Is=1.5)		3,299	3,217	3,209	3,209	3,209

単位: 百万円

表-4(b) Payoff matrix: ケース

$a_i \backslash p$	$I$	7.0	6.5	6.0	5.5	期待費用
	$p$	1/250	1/60	1/15	1/3	
A(Is=0.6)		19,886	5,708	3,025	2,835	2,884
B(Is=0.9)		9,985	3,653	3,005	3,000	3,011
C(Is=1.2)		6,085	6,085	3,119	3,118	3,120
D(Is=1.5)		4,524	3,282	3,209	3,209	3,210

単位: 百万円

ここで、代替案は Is 値(構造耐震指数)の大きさにより示した。この Is 値とは、5~6 階建以下の鉄筋コンクリート造建物の耐震性を表す指標であり、大きいほど耐震性が高い。林・他によれば、昭和 57 年以降の Is 値は、おおよそ 0.9 が標準である。

また、50 年間の生起確率密度  $p_i$  は、理解が容易になるように、分数で表現した。

次に、6ケースの Is 値による修復費の推移を図-2 に示す。

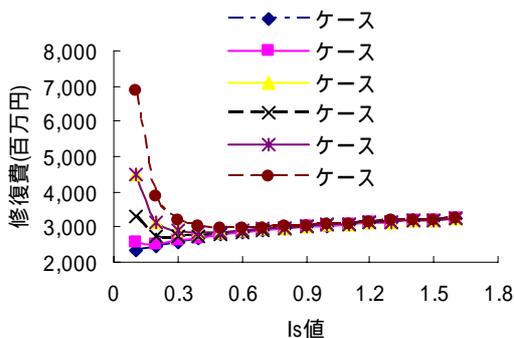


図-2 期待被害費用比の変化による修復費の推移

#### 4. 意思決定

Payoff matrix から、意思決定理論を用いて代替案を選定した。その結果を表-5 に示す。

ここで、本研究で採用する意思決定理論とは

- ・ min-max 原理・・・最大被害を最小損失費にする
  - ・ min-min 原理・・・最小被害を最小損失費にする
  - ・ 期待費用最小化原理・・・期待値を最小にする
- の3つの理論を指す。

表-5 意思決定理論による代替案の決定

意思決定理論	代替案	対応加速度
min-max	D(Is=1.5)	400 ガル程度
min-min	A(Is=0.6)	250 ガル以下
期待費用最小化	A(Is=0.6)	250 ガル以下

(備考) 対応加速度は、震度階に対応した加速度を参考

#### 5. 考察

本研究で求められたように、意思決定理論を用いることで、明確な決定ルール化を図ることができる。また、結果から次のようなことが考察される。

期待費用最小化と min-max 原理による解は非常に異なった。

期待費用最小化による解は、Is 値の変化がある程度の値を超えると、鈍感である。

期待費用最小化による解は、損傷率や費用の計算における割引率の問題があり、10%程度の期待費用の変化にどの程度の意味があるかは不明である。

min-max 解は、大破および倒壊時の被害費用を大きく見積もると(ケース や )、最適代替案の他の代替案に対する有用性が顕著となる。しかし、min-max 解は、震度の上限値をどのように決定するか、明確に説明する必要がある。

#### 6. 結び

統計的決定理論により、設計地震荷重を求める方法について考察した。現行の既往最大という考えは min-max 解に近いと考えられる。期待費用最小化解は、ある荷重を超えると感度が鈍く、明確な解を与えるとは言えない。一方、min-max 解では最大震度の説明が重要な課題であると考ええる。

#### 参考文献

- 1) 司宏俊・翠川三郎(1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文報告集、第 523 号, pp. 63-70.
- 2) 林康裕、鈴木祥之、宮腰淳一、渡辺基史(2000): 耐震診断結果を利用した既存 RC 造建物の地震リスク表示、地域安全学会論文集 No.2
- 3) 神田順(1997): 「耐震建築の考え方」岩波書店
- 4) 日本建築学会(1993): 建築物荷重指針・同解説