

リスクコミュニケーションを考慮した性能設計の方法に関する研究

鳥取大学大学院 学生会員 ○伊藤有一
鳥取大学工学部 正会員 横松宗太
鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行

1. はじめに

建築物の耐震化規制に性能設計が導入されている。代表的な性能設計で利用されるパフォーマンスマトリックス(以下 PM: 表 1)は設計技術者などの専門家から建築物に居住する専門知識をもたない利用者に耐震性能の概容を簡潔に伝える役割を担っている。本研究は、耐震性能を PM の体裁で表現し、利用者に効果的に伝達する方法を提案する。

2. 本研究の基本的な考え方

図 1 の曲線は実際の地震動 θ と耐震性能 $z(\theta)$ の関係を示す。それに対して PM は、階段状の関数によって耐震性能 $\tilde{z}(\theta)$ を示している。本研究の焦点は、地震動をいくつかの区間に分割し、耐震性能の階段を何段にして利用者へ伝えることが最適であるのかを求めることである。また階段の段数である区間数は利用者へ伝える耐震性能の情報数を意味する。本研究は、地震被害が建築物の耐震性能と、防災訓練の実施や建築物の耐震補強といった防災行動との組み合わせによって減少する点に着目する。なお、利用者は専門家とのリスクコミュニケーションを通じて、その際にコミュニケーションツールとして利用される PM から建築物の耐震性を学習し、防災行動に着手するものとする。本研究は、利用者に適切な防災行動をおこさせ、地震リスクマネジメントの費用を最小にする効果的な耐震性能の表現方法について検討していく。

3. モデル

本研究では、建築物の耐震性能が先見的に与えられたものとし、それをいかに利用者へ伝えることが効率的であるか、という専門家から利用者への一方向のリスクコミュニケーション過程に関心を限定する。地震リスクマネジメントの費用を C とすると以下のように表される。

$$C = \int_0^1 L(z(\theta), \mathbf{a}(\boldsymbol{\delta}, \theta)) f(\theta) d\theta + H(\boldsymbol{\delta}) + K(n) \quad \text{但し, } \boldsymbol{\delta} = \{\delta_j \mid 0 \leq j \leq 1\}, \mathbf{a}(\boldsymbol{\delta}, \theta) = \{a_j(\boldsymbol{\delta}, \theta) \mid 0 \leq j \leq 1\}$$

地震動 θ は $0 \leq \theta \leq 1$ の確率変数である。また、利用者が選択する防災行動の種類 j も $0 \leq j \leq 1$ で定義され、地震動 θ と同じ次元で表現する。つまり防災行動 j は地震動 $\theta = j$ が発生した際に最も大きな減災効果を発揮する。そして防災行動 j の選択を δ_j と表す。 δ_j は離散選択であり、 $\delta_j = 1$ のとき防災行動 j を採用し、 $\delta_j = 0$ のとき防災行動 j を採用しないことを示す。また利用者が防災行動 j を選択する組み合わせをベクトル $\boldsymbol{\delta}$ により表す。防災行動の事後的効果を a_j とし、その組み合わせ効果を $\mathbf{a}(\boldsymbol{\delta}, \theta)$ とする。上式第 1 項は地震発生による期待損失であり、地震時の被害 $L(z(\theta), \mathbf{a}(\boldsymbol{\delta}, \theta))$ と確率密度関数 $f(\theta)$ を用いて表される。第 2 項は事前の防災行動に要する費用であり、選択 $\boldsymbol{\delta}$ に依存する。第 3 項は専門家から伝えられた耐震性能を学習する費用であり、情報数 n の増加関数となる。最適な伝達情報は後ろ向き帰納法で求められる。まず、利用者は伝達された耐震性能 $\tilde{z}(\theta_i)$ のみを把握している。 $\tilde{z}(\theta_i)$ は図 1 で階段の角である黒点を示している。すなわち、 $\tilde{z}(\theta)$ は n 区間により構成されるステップ・ファンクションであり、区間 i の右端が θ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) である。

表 1: パフォーマンスマトリックス

	耐震性能レベル			
	完全に機能	基本機能の確保	人命の確保	倒壊の阻止
しばしば発生 (43 年)				
時折発生 (72 年)				
稀に発生 (475 年)				
ごく稀に発生 (970 年)				

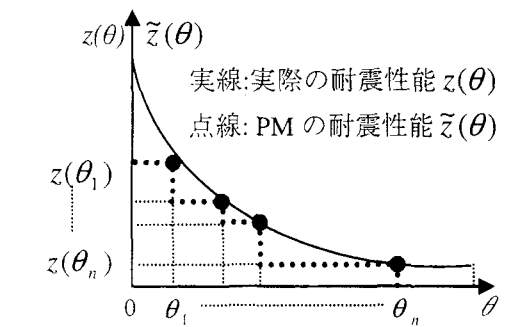


図 1: 地震動と耐震性能の関係

専門家は利用者に対して「地震動 θ_1 までは性能 $z(\theta_1)$ を保証する」「地震動 θ_2 までは性能 $z(\theta_2)$ を保証する」…という形態で耐震性能を伝えることになる。利用者は専門家から PM を用いて伝えられた耐震性能を学習し防災行動の選択を通して、利用者が認識する費用 $\tilde{c}$ を最小化する。従って、利用者の立場から見た費用 $\tilde{c}$ は以下ようになる。

$$\min_{\delta} \tilde{C} = \int_0^1 L(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i), \mathbf{a}(\delta, \theta)) f(\theta) d\theta + H(\delta) + K(n) \quad \text{但し} \quad \tilde{z}^{\circ}(\theta_i) = \{z(\theta_i) | i = 1, 2, \dots, n\}$$

この問題から利用者が決定する最適な防災行動の選択 $\delta^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i))$ を導出できる。この結果を踏まえて実際の耐震性能を理解している専門家は、利用者に伝達する情報の選択を通して実際の費用 C を最小化する。従って、専門家の立場から見た費用 C は以下ようになる。

$$\min_{\tilde{z}^{\circ}(\theta_i)} C = \int_0^1 L(z(\theta), \mathbf{a}^*(\delta^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i)), \theta)) f(\theta) d\theta + H(\delta^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i))) + K(n)$$

$$\text{但し, } \delta^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i)) = \{\delta_j^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i)) | 0 \leq j \leq 1\}, \mathbf{a}^*(\delta^*, \theta) = \{a_j^*(\delta^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i)), \theta) | 0 \leq j \leq 1\}$$

この問題から、本研究の求める最適な耐震性能の情報 $\tilde{z}^*(\theta_i^*)$ を導出できる。

4. 数値事例

関数とパラメータをある形に特定化し、数値計算を行った。ここでは利用者がとりえる防災行動の機会が最大 4 つ、専門家が送りえる情報数を最大 4 つとした。表 2 は利用者が $0 \leq j \leq 1$ の範囲で満遍なく 4 つの防災行動を知っており、専門家の最適な情報伝達により、利用者はその中の 3 つの防災行動を選択した結果を示している。また $0 \leq j \leq 0.5$ の範囲で防災行動を知っている利用者には、表 3 に示す耐震性能を伝達することが最適となった。このとき利用者は 4 つの防災行動を選択している。さらに、 $0.5 \leq j \leq 1$ の範囲で防災行動を知っている利用者には、表 4 に示す耐震性能を伝達することが最適となった。この際、利用者は 2 つの防災行動を選択している。このようにいくつかの方向にパラメータを変化させて最適解を導出した結果、利用者は価格が低い防災行動を優先的に選択する。よって、利用者が大きな費用を要する防災行動を選択しないことがわかっているようなとき、専門家は学習費用を節約するために少ない情報を伝達する傾向が得られた。そして、例として表 2 の結果から PM を設計すると表 5 のようになる。表 2 では最適な耐震性能の情報は二通り導かれている。

5. おわりに

本研究は、利用者と専門家の間で働くリスクコミュニケーションの効果を考慮したパフォーマンスマトリックスの設計方法を提案した。今後、性能の定量化や学習費用の計測の可能性について検討していく必要がある。

表 2: 数値事例 1

j	0, 0.33, 0.66, 1
n	2
$\tilde{z}^{\circ}(\theta_i^*)$	$0 \leq \theta \leq 0.25$ に対して $z(\theta_1^*) = 3.85$ $0.25 \leq \theta \leq 1$ に対して $z(\theta_2^*) = 0.99$ $0 \leq \theta \leq 0.5$ に対して $z(\theta_1^*) = 1.96$ $0.5 \leq \theta \leq 1$ に対して $z(\theta_2^*) = 0.99$
$\delta^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i^*))$	$\delta_0 = 1, \delta_{0.33} = 1, \delta_{0.66} = 1, \delta_1 = 0$

表 3: 数値事例 2

j	0, 0.17, 0.34, 0.5
n	2
$\tilde{z}^{\circ}(\theta_i^*)$	$0 \leq \theta \leq 0.25$ に対して $z(\theta_1^*) = 3.85$ $0.25 \leq \theta \leq 1$ に対して $z(\theta_2^*) = 0.99$ $0 \leq \theta \leq 0.5$ に対して $z(\theta_1^*) = 1.96$ $0.5 \leq \theta \leq 1$ に対して $z(\theta_2^*) = 0.99$ $0 \leq \theta \leq 0.75$ に対して $z(\theta_1^*) = 1.32$ $0.75 \leq \theta \leq 1$ に対して $z(\theta_2^*) = 0.99$
$\delta^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i^*))$	$\delta_0 = 1, \delta_{0.17} = 1, \delta_{0.34} = 1, \delta_{0.5} = 1$

表 4: 数値事例 3

j	0.5, 0.67, 0.84, 1
n	1
$\tilde{z}^{\circ}(\theta_i^*)$	$0 \leq \theta \leq 1$ に対して $z(\theta_1^*) = 0.99$
$\delta^*(\tilde{z}^{\circ}(\theta_i^*))$	$\delta_{0.5} = 1, \delta_{0.67} = 1, \delta_{0.84} = 0, \delta_1 = 0$

表 5: PM の設計

地震動 \ 耐震性能	$z(\theta) = 3.85$	$z(\theta) = 0.99$
$0 \leq \theta \leq 0.25$		
$0.25 \leq \theta \leq 1$		

地震動 \ 耐震性能	$z(\theta) = 1.96$	$z(\theta) = 0.99$
$0 \leq \theta \leq 0.5$		
$0.5 \leq \theta \leq 1$		