

I - B 498

社会基盤施設の耐震性水準の合理的な設定法に関する基礎的研究

建設省土木研究所 正会員 野崎 智文
建設省土木研究所 正会員 杉田 秀樹

1. はじめに

市場の規制緩和、国際的な市場の開放、コスト縮減などの流れの中で、構造物の耐震設計の性能規定化が進められつつある。1995年、合衆国カリフォルニア構造学会(SEAOC)によって発表された VISION 2000 レポートでは、建築物に作用する複数規模の地震動とそれに対して発現する性能をマトリックスとして表現し、その中に建築物の重要度別に要求する水準を描いたパフォーマンスマトリックスが示されている。本研究は、この考えを拡張し、複数構造物の耐震性水準（あるいはそれを規定する投資コスト）の整合性を保ちながら、国、地域において適切な意思決定を行うための手法について検討を行うものである。

2. パフォーマンスマトリックスの拡張

SEAOC によるパフォーマンスマトリックスは、個々の建築物を設計する際に、あらかじめ重要度が与えられており、そのとき想定される地震動に対して一般的に要求する性能を示したものであるため、実際の設計段階で選択されるレベルには任意性がある。建築物の様に一つの構造物について限られた意志決定者が判断を行うには問題はないが、公共土木施設のように多数の人々が関わり、また施設の社会的影響が大きい場合には、従来のパフォーマンスマトリックスでは十分とは言えない。

そこで筆者らは、与えられた設計条件に対して様々な水準の設計を行い、それに対して地震動が作用した場合に発現する性能をプロットした「等設計線」によってパフォーマンスマトリックスを表示することを考案した（図2）。

3. IOC カーブ

拡張されたパフォーマンスマトリックス中の各等設計線上では設計内容が同一であり、対応する構築コストが計算できる。筆者らは、パフォーマンスマトリックスに当該設計内容による構築コスト（あるいは耐

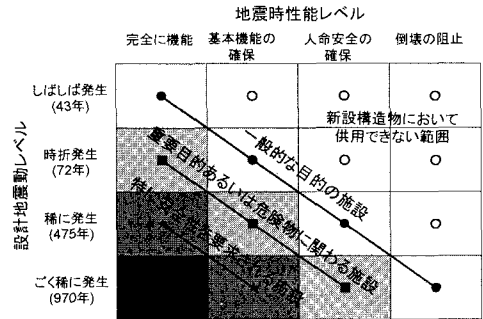


図1 VISION 2000 のパフォーマンスマトリックス

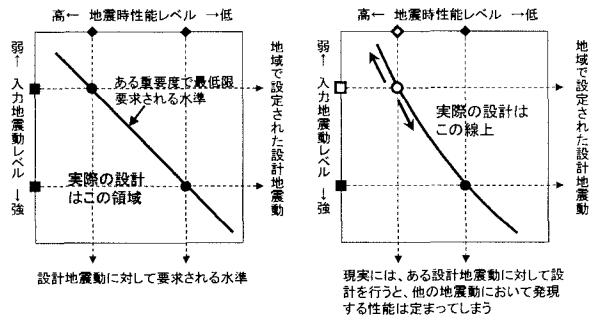


図2 パフォーマンスマトリックスの拡張

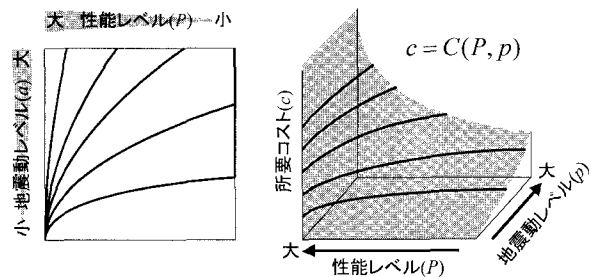


図3 IOC カーブの概念

キーワード：地震、防災、性能、投資配分、耐震性水準

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 (TEL)0298-64-2211 (FAX)0298-64-0598

震対策コスト)を加え、三次元的に表現したものを「IOC カーブ(Input-output-cost curve)」と定義した(図3)。

$$c = C(P, p) \quad (1)$$

ここで、 c :施設の構築コスト(あるいは耐震対策コスト)、 p :施設に作用する地震動(ここでは発生確率で表示)、 P :施設の性能レベルである。地震動レベルは設計に用いられる地震動の強度あるいはそれに対応する発生確率で表示する。また性能レベル P は独立変数として扱われており、式(1)は「レベル p の地震動に対して性能レベル P が発現するような構造物の構築コストは c 」であることを意味している。このような表現により意思決定者は想定地震動に対して発現する性能と、その水準を実現するためのコストを比較しながら、当該構造物の耐震性水準を選択することが可能となる。

4. 耐震対策投資配分の最適化

通常、地域においては複数の(場合によっては異なる種類の)施設の耐震対策を考慮しなければならず、その際の投資配分を検討しなければならない。そこで筆者らは、提案した IOC カーブを用いて複数構造物間の投資配分を最適化する手法について検討した。いま、地域において二つのレベルの地震動 $e = 1, 2$ が想定されており、この地域で二つの施設 $s = 1, 2$ が計画されているとして以下の様に問題を設定する。

$$\begin{aligned} \max_{P_{11}, P_{21}, P_{12}, P_{22}} \quad & EU - p_0 U(P_{10}, P_{20}) = p_1 U(P_{11}, P_{21}) + p_2 U(P_{12}, P_{22}) \\ \text{s.t.} \quad & C_1(P_{11}, p_1) = C_1(P_{12}, p_2), \quad C_2(P_{21}, p_1) = C_2(P_{22}, p_2), \quad C_1(P_{11}, p_1) + C_2(P_{21}, p_1) = c^* \end{aligned} \quad (2.a, b, c, d)$$

ここで、 $p_0 = 1 - p_1 - p_2$ 、 P_{se} :地震動レベル e に対して発現する施設 s の性能レベル(実数)、 $U(P_{1e}, P_{2e})$:施設 1, 2 の性能レベルに応じた地域の効用関数、 p_e :レベル e の地震動の発生確率、 $C_s(P_{se}, p_e)$:施設 s の IOC 関数、 c^* :総耐震対策コストである。式(2.a)は地域の期待効用を最大化するような性能レベル P_{se} を求めることが目標であることを示し、制約条件式(2.b, c)は、性能レベル P_{se} と地震動レベル p_e が等設計線上にあることを保証している。式(2.d)は、施設の耐震コストの費用制約条件である。効用関数、IOC 関数の関数形を $U(P_{1e}, P_{2e}) = P_{1e}^{\alpha_1} P_{2e}^{\alpha_2}$ 、 $C_s(P_{se}, p_e) = P_{se}^{\eta_s} p_e^{\xi_s}$ ($s, e = 1, 2$)と特定し、式(2)を解くと、性能レベルの解として次式を得る。

$$P_{se} = \left(\frac{\alpha_s / \eta_s}{\sum_s \alpha_s / \eta_s} p_e^{-\xi_s} c^* \right)^{\frac{1}{\eta_s}} \quad (s, e = 1, 2) \quad (3)$$

この解より、たとえば施設 s の α_s / η_s が大きいほど、すなわち性能レベルに対する効用増加の感度(α_s)が費用増加の感度(η_s)に対して大きいほど、その施設で実現される性能レベルが高くなることなどがわかる。地震動の発生確率と性能レベルから耐震対策コストすなわち耐震性水準が導かれる。

5. おわりに

本研究は、公共構造物の耐震性水準を合理的な手順で設定する方法論を確立することを目的とし、1998 年度から開始した研究プロジェクトである。これまでに、構造物の耐震性水準の適切な表示法としての IOC カーブを提案するとともに、それを用いた投資配分の最適化法を検討した。今後は、様々な施設の性能の表示方法、IOC カーブの導出手順、最適化問題の目的関数に用いる便益や効用関数の計測法を検討してゆく。

参考文献

- 1) Ronald O. Hamburger, "The Development of Performance-based Buildings Structural Design in the United States of America", International Workshop on Harmonization of Performance-based Building Structural Design in Countries Supporting the Pacific Ocean, December 1-4, 1997
- 2) VISION 2000 - Performance Based Seismic Engineering of Buildings, Structural Engineers Association of California Vision 2000 Committee, April 1995
- 3) 上田孝行, 「防災投資の便益評価—不確実性と不均衡の概念を念頭に置いて—」, 土木計画学研究・講演集 No.19(2), pp17, 1996 年 11