

I-B 369

確率論的アプローチによる地震リスクマネジメント（SRM）手法の提案

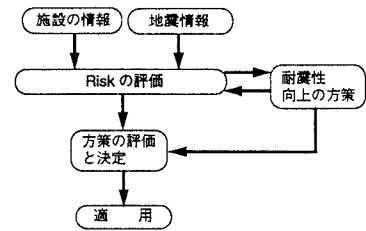
篠塚研究所 正会員 水谷 守 篠塚研究所 正会員 中村 孝明
大成建設 正会員 下野 正人 大成建設 正会員 亀村 勝美

1. はじめに

地震は様々な形で施設に被害を与える自然の脅威であり、地震による被害を低減するには、構造物の耐震補強などの対策が必要である。しかし、希にしか発生しない大地震に対して、どこまで対策を施すべきかの確に判断することは難しい問題である。不確実性の大きい地震時の被害に対して定量的な情報を得ることは有効な耐震対策を行うために大いに役立つものである。本研究では、施設の地震による被害を確率論的手法¹⁾に基づいて定量化し評価する地震リスクマネジメント（Seismic Risk Management ; SRM）手法を提案する。

2. 地震リスクマネジメントの特徴

図一1にSRMのフローを示す。SRMは構造信頼性解析に基づくものであり、先ず、対象施設固有の強度及び価値また設置地点の地震危険度を総合し、地震による施設の被害の大きさを損失期待値（リスク）として定量的に評価する。評価結果の考察により地震被害の様相を明らかにし、有効と考えられる耐震性向上策を設定する。各対策代替案についてリスクを再評価して最適な方法を選定するのである。

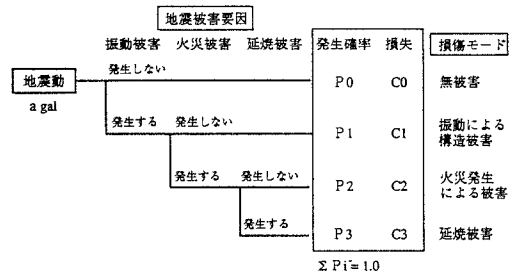


図一1 SRMのフロー

3. 手法の概要

(1) 地震被害のモデル化

地震被害の検討においては対象施設に関する地震被害の形態（損傷モード）を分類網羅して明確にモデル化することが重要である。SRMではこのためにET（Event Tree）解析²⁾を利用する。ETは、図一2に示したように地震被害に繋がる各種要因の発生の組み合わせとして損傷モードを定義するものであり、これを用いることにより地震に際して発生する結果を背反で網羅的な損傷モードの集合として分割できる。



図一2 地震被害のモデル化例（ET）

(2) 地震被害の定量化

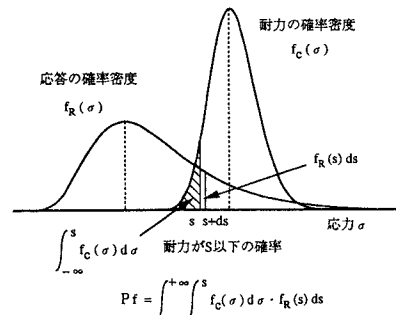
施設の地震被害を定量化するために、SRMでは期待値の概念を導入したリスク（損失期待値）を考える。リスクは次式に示すように、各損傷モードの発生確率とそれに対応した損失の積の総和式より算定する。

$$\text{期待損失}(R) = \sum (\text{損傷モードの発生確率}(P_i) \times \text{損失の大きさ}(C_i)) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、各地震被害要因の発生確率が評価されれば、図一2に示すETより各損傷モードの発生確率（ P_i ）が算定される。また、各損傷モードに対応した損失（ C_i ）は施設構造物の修理費用、機能停止による営業損失等を考慮し設定される。

(3) 被害要因の発生確率の算定

地震被害要因の発生確率は、統計的データ・経験的判断・解析の方法等に基づき評価する。例えば、振動被害の発生確率は、信頼性工学に基づいた解析的手法により算定する。図一3に示すように応答や耐力の推定における誤差やばらつきを考慮して、応答や耐力の分布を、ある確率密度関数で近似する。振動によ



図一3 損傷確率の算定

る構造物の損傷確率 P_f は、特定の入力加速度に対する構造物の応答が、損傷の定義に従って設定された耐力を上回る確率として算定される。

（４）地震ロス関数の算定

図一４に示すように様々な地震動に対する各損傷モードの発生確率を求めてそれを結ぶことにより、地震動と損傷確率の関係（地震損傷度曲線）が得られる。また、同図は、各損傷モードが背反ですべてを網羅することから、特定地震動に対する各損傷モードの発生可能性分布を表現したものである。さらに(1)式を用いて、各地震動レベルのリスクを算定することにより、図一５に示す地震ロス関数を得られる。この曲線は、地震動の大きさに依存したリスクの変化を示したものである。

（５）年間期待地震リスクの算定

対象施設の地震被害の大きさを示す指標として、対象地点の地震環境を含めて算定される年間期待地震リスクがある。これは対象地点における地震危険度を示す地震ハザード曲線（図一６）と上述のロス関数を次式に示すように合積して得られる。

$$\int_0^{\infty} -\frac{dH}{da} L(a) da \quad \dots\dots\dots (2)$$

年間期待地震リスクは、対象施設の地震リスクを端的に示したものであるが、(2)式の被積分関数は地震リスク密度（図一七）を示し、対象施設の地震被害の特性を示すものとして有用な情報である。

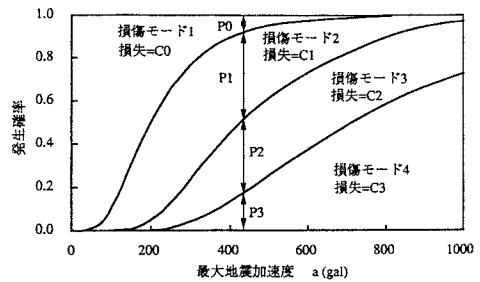
4. 耐震性向上のための方策選定

ETによる地震被害のモデル化、地震ロス関数および年間地震リスク等のリスク評価により、支配的な損傷モード、また、影響が大きい被害要因を分析し、対象施設の地震による被害損失特性を考察する。これらの情報に基づき耐震性向上のための方策として、損失低減の方策や損傷モードの発生確率低減の現実的な方策が設定される。さらに、耐震性向上のための代替案についても、その効果を定量化することにより、効果的な代替案を選択することが可能となる。

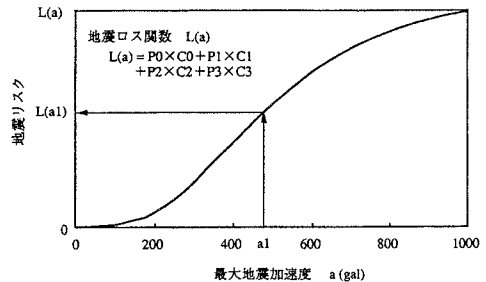
5. まとめ

本研究で提案するSRM手法では、施設の地震被害をリスクという指標を用いて定量化した。また、地震被害の定量化の結果、被害の様相が明らかとなる。従って、本手法は耐震性向上対策の低減効果の比較が可能とし、効率的な耐震対策の策定に有効な情報を示すことができると考える。

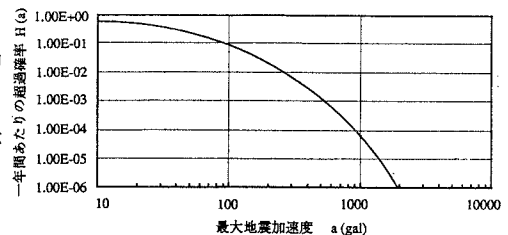
参考文献 1) 水谷 守：確率論的耐震安全性評価の方法と問題点、第43回応用力学連合講演会概要集
2) 中村孝明・水谷 守：地震リスクマネジメントにおけるイベントツリー解析、JCROSSAR'95論文集



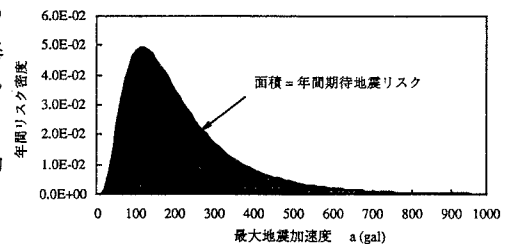
図一４ 各損傷モードの地震損傷度曲線



図一５ 地震ロス関数



図一６ 地震ハザード曲線



図一七 地震リスク密度