

都市防災から見た公共施設の最適耐震設計法に関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 山田 善一
 京都大学工学部 正員 家村 若和
 神戸市 正員 新家 晴義

1. まえがき

1978年6月に発生した宮城県沖地震は、都市の安全性に関して種々の問題を投げかけた。たとえば、都市生活者にとって、地震による構造物の破損・崩壊に基づく直接被害はもちろん、ライフライン系を含めた公共施設の機能障害による被害も日常生活に支障をきたす点で非常に甚大であり、生活の安全を大いに脅かすものであった。

本研究では、今までのほとんど議論されていなかった多様化した社会的被害と耐震設計との関連を追求し、もって公共施設の耐震設計への投資および地震動による直接的な物的被害さらには機能障害から波及する社会的損失との総和の期待値に着目した合理的な耐震設計法を検討した。

2. 総被害の評価関数の定式化

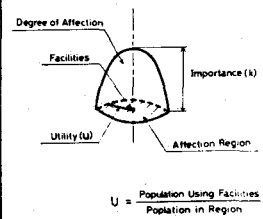
総被害の評価関数を以下のように定式化する。なお、総損失コスト C_f は、耐震を考慮しない初期建設コスト A_0 で正規化されている。

$$C_f/A_0 = L_p/A_0 + L_s/A_0 \quad (1)$$

$$L_p = \begin{cases} 0 & (a < a_{rd}) \\ C_0/2 & (a_{rd} \leq a \leq a_c) \\ C_0 & (a > a_c) \end{cases} \quad (2)$$

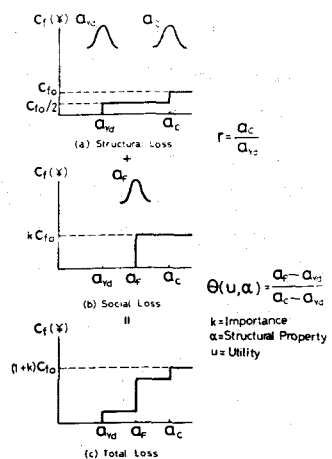
$$L_s = k \cdot C_0 \quad (3)$$

$$\theta(u, \alpha) = \frac{a_f - a_{rd}}{a_c - a_{rd}} \quad (0 \leq \theta \leq 1) \quad (4)$$



(図1)

ここに、 a_{rd} , a_f , a_c はそれぞれ構造物の弾性限界、機能障害発生、崩壊に対応する地点における地動加速度を表わす。また、 C_0 は構造物が崩壊した場合の物的被害コストである。さて、 u も公共施設の利用度、 k をその重要度とすると、社会的損失の影響範囲は地点を中心とする半径 u の円であり、損失コストは高さ k の立体の体積であるとして表現されよう。(図1) さらに、構造特性 α 、利用度 u の関数として施設の機能障害発生点を設定した。(4式) 結局、総損失コストは物的被害コスト(2式)と社会的損失コスト(3式)との和として(1式)で評価されることになる。この概念を図2に示す。



(図2)

3. 都市内公共施設の最適耐震設計基準

比較的簡単なモデルとして 200 km 四方の震源域内に都市域を考へ、公共施設の立地点として4点(Model 1) および6点

(Model 2)を配置した。(図3)より、震源は震源域に一様分布してゐるとし、マグニチュード m の分布関数として以下の式を用いる。¹⁾

$$F_M(m) = \frac{1 - e^{-\beta(m-M_0)}}{1 - e^{-\beta(M_1-M_0)}} \quad (M_0 \leq m \leq M_1) \quad (5)$$

上式中、 M_1 , M_0 はそれぞれ最大、最小マグニチュードを表わし、 $M_1=7.7$, $M_0=5.0$ のとき $\beta=20$ とした。次に、attenuation law として、マグニチュード m と震央距離 Δ に注目した式²⁾

$$Y = b_1 e^{b_2 m} \Delta^{-b_3} \quad (6)$$

を用いる。ここに、 Y は最大地動加速度であり、 b_1, b_2, b_3 の値は日本の平均地盤にあたる 18.4, 0.695, 0.8 とした。今、最適設計震度決定のための目的関数として、施設の耐用年間における被害コストの期待値と耐震を考慮した初期建設コストとの総和を A_0 で除したものを、すなわち、

$$C_t/A_0 = C_i/A_0 + E[C_t/A_0] \quad (7)$$

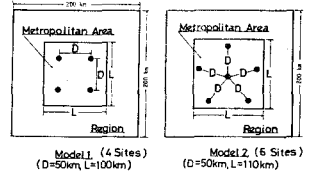
$$C_i = A_0 + A_1 Q^2 \quad (8)$$

を考える。ただし、初期建設コスト中、耐震設計に基づくコスト ($A_1 Q^2$) は必要部材断面積が地震外力に比例するものとして、設計震度の自乗に比例するとした。

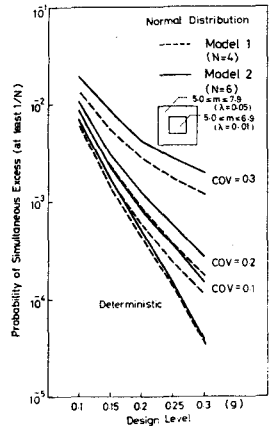
4. 計算結果および結論

都市域とその周辺震源域として、地震発生率およびマグニチュードの上下限が同一の場合と異なる場合について数値計算を行なった。以下にその結果を列举する。

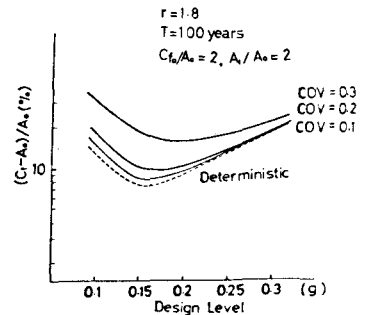
- (1) 地点強度のばらつきをパラメータとして、耐用年間に都市内の少なくとも一つ以上の地点で同時に設計震度も超過する確率を図4に示す。このより、強度のばらつきが大きくなると、設計震度を上げてても地点の信頼性の向上はあまり期待できないことがわかる。
- (2) 物的損失のみ考慮した最適震度(図5)に比べて、社会的損失をも考慮した最適震度(図6)は、地点強度が確定的な時には1.3倍程度大きく、強度のばらつきによる最適震度のばらつきも1.3倍ほど広がる。
- (3) (1), (2)に鑑み、公共施設の構造特性、利用度、重要度に応じた耐震設計が望まれる。その前提として、綿密な被害分析による的確な被害評価関数の設定が必要となる。



(図3)

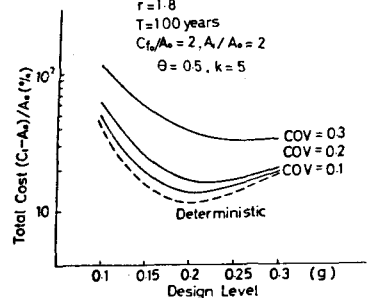


(図4)



C_t : Only Considering Structural Damage

(図5)



(図6)

References

- 1) C. Cornell & H. Merz; Seismic Risk Analysis of Boston, Journal of the Structural Division, Proc. ASCE 101 (ST10), Oct., 1975.
- 2) L. Esteva & E. Rosenblueth; Spectra of Earthquake of Moderate & Large Distances, Soc. Mex. de Ing., Seismica, Mexico.