

# (I-11) RC 構造物の最適降伏震度設定に関する一考察

東京電機大学 大学院○学生員 梅原健生  
 東電設計(株) 耐震技術部 正員 松島 学  
 東京電機大学 理工学部 正員 松井邦人

## 1. はじめに

本研究では、RC 構造物が強震時受ける損傷の指標として塑性率を用い、対象構造物が1質点で表されるものとし、その塑性率の推定に影響を与える各因子(減衰定数、固有周期等)のばらつきを考慮し塑性率の確率密度分布を求めている。そして、任意の降伏震度 $\alpha$ における、初期建設費用と期待損失費用を求め、期待総費用最小の手法を用いて得られる、最適降伏震度について検討するものである。

## 2. 塑性率に影響を及ぼす因子

推定塑性率の変動に及ぼす因子として、表1に示す①エネルギー一定則の推定精度 $\phi$ 、②最大応答加速度倍率の推定精度、③構造物の減衰定数 $h$ の推定精

度、④構造物の剛性低下による固有周期の推定精度、及び⑤降伏耐力の推定精度の以上5種類の変動因子を確率変数として、エネルギー一定則により塑性率の確率密度分布を求めると式(1)に表される。

$$\mu^* = (1.12 + \varepsilon_1^*) \frac{\phi}{2} \left\{ 1.0 + \left( \frac{k_0 \cdot \varepsilon_2^* \cdot \beta \cdot (h^*, T_V^*)}{(1.0 + \nu^*) \alpha} \right)^2 \right\} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $k_0$ は地動震度である。ただし、\*は確率変数を意味する。計算手法はRosenblueth法を用いて、各分布の3次モーメントまで考慮して求めた。また、得られた塑性率の分布は対数正規分布を取るものとして取り扱った。

表1 各変動因子とその特性値および諸元

| 項目   | 分布型    | 係数  | 根拠   | 適応範囲   |
|--|--------|---|--|--|
| a. エネルギー一定則の修正係数<br>$\phi^* = (1.12 + \varepsilon_1^*) \cdot \phi$ | 正規分布   | $\varepsilon_1 = 0.0$<br>$\sigma = 0.297$<br>$\theta = 0.0$   | 応答解析(Degraded-Tri-linearモデル)にエネルギー一定則を用いると、塑性率の推定値の方が応答値より大きな値を取る傾向がある。そこで、応答値と推定値との間に最小2乗法を用いて求めた修正係数 $\phi$ を用いて、推定塑性率の値の修正を行うため。  | $\alpha = 0.2 \sim 0.5$<br>$T = 0.2 \sim 0.7$<br>$h = 0.0 \sim 0.4$      |
| b. 最大加速度応答スペクトル倍率<br>$\beta^* = \varepsilon_2^* \cdot \beta$       | 対数正規分布 | $\varepsilon_2 = 1.0$<br>$\sigma = 0.4$<br>$\theta = 1.24$    | 加速度応答倍率の平均値 $\beta$ として『道路橋示方書・耐震設計編』の最大加速度応答倍率のスペクトルの値を採用した。また、既往のデータがないため大きめの変動係数0.4を設定した。   | $T_V = 0.1 \sim 1.0$<br>$h = 0.0 \sim 0.4$                               |
| c. 構造物の減衰定数<br>$h^* = \varepsilon_3^* \cdot h$                     | 対数正規分布 | $\varepsilon_3 = 0.94$<br>$\sigma = 0.346$<br>$\theta = 1.15$ | 既往の橋梁の振動減衰に関する実測結果の観測記録より構造物の固有周期 $T$ と減衰定数 $h$ の関係を求めた結果から $h = 0.02/T$ の関係が与えられており、そのばらつきを整理した結果。  | $T < 1.0$  |
| d. 構造物の剛性低下による固有周期<br>$T_V^* = \beta_5^* \cdot T$                  | 正規分布   | $\beta_5 = 1.414$<br>$\sigma = 0.141$<br>$\theta = 0.0$       | 『鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説』の同書より剛性低下率 $\gamma$ は次式で表される。<br>$\gamma = (0.043 + 1.64 \cdot n \cdot P_t + 0.043 \cdot a/D + 0.33 \cdot \eta_a)$<br>$\eta_a = N / (b \cdot D \cdot F_c)$ 、 $n$ : ヤング係数比、 $P_t$ : 引張鉄筋比、 $b$ : 柱の幅<br>$a$ : 鉄筋断面積、 $D$ : 曲げ材の全せい、 $N$ : 柱の許容軸応力<br>$F_c$ : コンクリートの設計基準強度<br>この剛性低下率の実験結果を、部材の剛性と固有周期との関係を用いて、そのばらつきを整理した結果。 | $P_t = 0.4 \sim 2.8\%$<br>$a/D = 2.0 \sim 5.0$<br>$\eta_a = 0 \sim 0.55$ |
| e. 鉄筋の降伏耐力<br>$\alpha_{r,v}^* = (1.0 + \nu^*) \cdot \alpha_r$      | 正規分布   | $\nu = 0.265$<br>$\sigma = 0.072$<br>$\theta = 0.0$           | 既往の実験においてSD30の引張降伏強度の平均値、標準偏差の値は、3794.1、216.8(kgf/cm <sup>2</sup> )であり、公称値は平均値の1.265倍とた。従って、公称値から実際のばらつきを評価するため平均値をシフトして表した。   | SD30を対象  |

注)  $\sigma$ : 標準偏差、 $\theta$ : ひずみ度

### 3 最適降伏震度の設定

本研究では構造物の耐用期間中に、設定された地震動が必ず生じることを前提としているため、期待総費用 $C_T$ は式(2)で表される。

$$C_T = C_r + C_c \quad (2)$$

ここで、 $C_r$ は構造物が損傷を受けたときの費用、 $C_c$ は初期建設費用である。損失費用は、塑性率の期待費用として求まるものとし式(3)のようモデルを定義する。

$$C_r = \kappa \cdot C_c \int_0^{\infty} f_{\mu}(\mu) \cdot L(\mu) d\mu \quad (3)$$

ここで、 $\kappa$ は重要度係数である。『コンクリート標準示方書』では、塑性率が4.0となると著しい損傷があるものとし、早期に補修が必要であるとされている。本研究では、塑性率が4.0を越えた場合、一時的には利用できても、長期的には、構造物を立て替えるものと考えて初期建設費用の2倍の費用が必要であるととした。よって、損失関数 $L(\mu)$ は、 $\mu > 4.0$ の範囲で $L(\mu) = 2.0$ 、 $\mu < 4.0$ の範囲で $L(\mu) = 0.02 \mu^{3.32}$ と指数関数で近似した。初期建設費用 $C_c$ は、構造物の降伏震度 $\alpha_v$ が増大するに連れて増大することが明らかである。初期建設費用のモデルとして、式(4)のよう固定費用 $C_0$ と降伏震度 $\alpha_v$ が大きくなるにしたがって

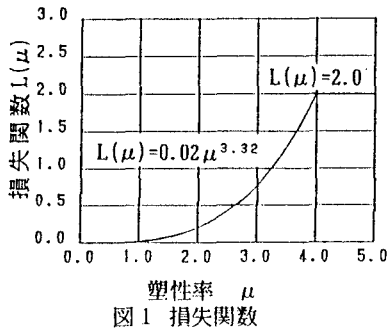


図1 損失関数

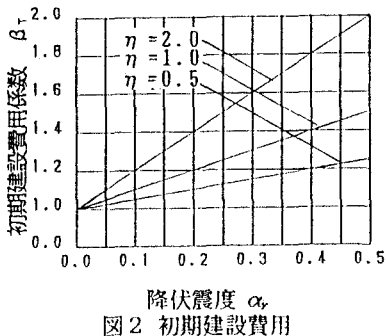


図2 初期建設費用

増大する費用 $\alpha_v \cdot \eta \cdot C_0$ との和として表されるものとした。

$$C_c = (1.0 + \alpha_v \cdot \eta) \cdot C_0 \quad (4)$$

ここで、 $\eta$ の値は初期建設費用増加率であり、既往の研究より $\eta = 0.5 \sim 2.0$ であるとされている。よって、式(3)、(4)より、式(5)のよう無次元量 $\beta_T$ として表すことができる。

$$\beta_T = (1.0 + \alpha_v \cdot \eta) \cdot (1.0 + \int_0^{\infty} f_{\mu}(\mu) \cdot L(\mu) d\mu) \quad (5)$$

従って、最適降伏震度 $\alpha_{v,opt}$ は $\beta_T$ が最小となるときの降伏震度 $\alpha_v$ を選択すればよい。

### 4 計算例

本研究では、固有周期が $T = 0.2 \sim 0.7 \text{sec}$ .の範囲に入る構造物を対象としている。この構造物に期待総費用最小の手法を用いた最適降伏震度 $\alpha_{v,opt}$ の計算例を図1に示す。この計算例において、重要度係数 $\kappa = 1.0$ 、初期建設費用増加率 $\eta = 1.0$ 、地動震度 $k_G = 0.3$ としたときの、各地盤種毎の最適降伏震度 $\alpha_{v,opt}$ を示している。1, 2, 3種地盤はほぼ同じような傾向を示しているのに対し、4種地盤のみ異なった傾向を示している。このことは採用した『道路橋示方書』の最大加速度応答スペクトルの値が、4種地盤のみ異なった傾向を示すためであると思われる。また、図中には『コンクリート標準示方書』による設計水平震度も示してある。最適降伏震度の値は、短周期側で設計水平震度より大きな値を取り、長周期側に移るに従い、設計水平震度より小さな値を取る傾向がある。

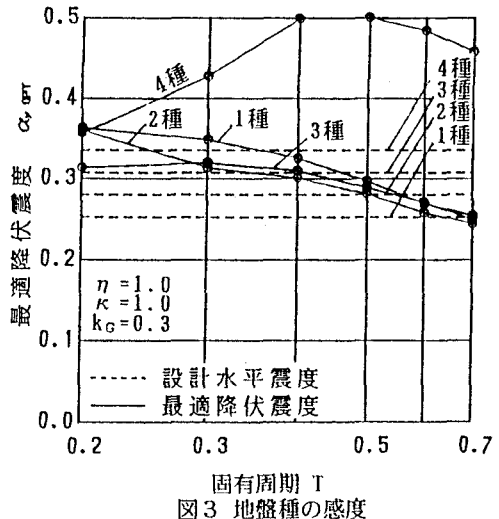


図3 地盤種の感度