

愛媛県

正会員 〇玉置裕規

徳島大学工業短期大学部

正会員 平尾 潔

徳島大学工学部

正会員 児嶋弘行

徳島大学工学部

正会員 成行義文

1. まえがき

文献1)において、著者は主として単柱形式および門型ラーメン形式の鋼構造橋脚を対象として、P-Δ効果を含んだ機構崩壊に対する破壊基準関数を作成し、外力として、各種等価線形化法を用いて低減した地震荷重を作用させた場合の、種々の安全性指標βを求め比較検討した。その結果、βが実用的な値(2~3程度)まで改善されることが明らかとなったが、確率変数としては部材の保有する塑性モーメントと地震荷重(設計水平震度)の2変数を考えていた。本研究ではこれを、上部工重量自身も確率変数とした3変数の場合に拡張し、若干の比較を行なった。この場合、破壊基準関数は各確率変数について非線形関数となるが、上部工重量に関する項についてのみ、1次近似を用いることにより、取り扱いを簡単にした。また、門型ラーメン形式に対しては、2次弾塑性解析を行ないBilinear型復元力特性を決定し、得られた塑性率μあるいは履歴エネルギーの最大値等を用いて、種々の等価線形化法によるβを求め、その実用性を検討した。

2. P-Δ効果を含む破壊基準関数

本研究においては、単柱、門型ラーメンの各形式に対して、P-Δ効果を含む破壊基準関数を作成し検討してみたが、ここでは紙面の都合上、図1に示す門型ラーメン形式に対する、2変数および3変数の場合の破壊基準関数を示しておく。

2変数の場合の、破壊基準関数 $Z = R - S$ 、 $Z = \ln R - \ln S$ 等の、耐荷力 R および荷重効果 S としては次式を用いた。^{1), 2)} $R = 4M_p$ --- (1)

$$S = 2\alpha Ph + 2P\Delta = \left\{ 1 + \frac{\kappa_1 Ph}{\kappa_2 - \kappa_1 Ph} \right\} \cdot 2\alpha Ph \text{ --- (2)}$$

ここに、 M_p は軸力による低減を考慮した柱の塑性モーメント、 $\kappa_1 = 6k_2 + k_1 G_1$ 、 $\kappa_2 = (G_1 + S_1)(12k_1 k_2 + k_1^2 G_1 - k_2^2 S_1)$ であり、 G_1 、 S_1 は柱の安定関数、 $k_1 = EI_1/h$ 、 $k_2 = EI_2/l$ である。2変数の場合は、 M_p と α のみ確率変数として取り扱った。

3変数の場合には、破壊基準関数として、式(3)および(4)を考え、式(1)、(2)を式(5)のように書き直して適用した。

$$Z = X_1 - X_2 X_3 \text{ --- (3)} \quad Z = \ln X_1 - \ln X_2 - \ln X_3 \text{ --- (4)}$$

$$X_1 = 4M_p, X_2 = \alpha, X_3 = 2\kappa_2 / (\kappa_2 / Ph - \kappa_1) \text{ --- (5)}$$

ここで、本研究では、 X_3 の平均値 $E(X_3)$ 、分散 $\text{Var}(X_3)$ の決定にのみ1次近似を用いた。 $X = Ph$ 、 $g(X) = 2\kappa_2 / (\kappa_2 / X - \kappa_1)$ とすれば、 $E(X_3)$ 、 $\text{Var}(X_3)$ は次式のようなものである。

$$E(X_3) \approx g(\mu_X), \quad \text{Var}(X_3) \approx \text{Var}(X) \cdot \left(\frac{dg}{dX} \right)^2, \quad \mu_X: X \text{の平均値}, \quad \text{Var}(X): X \text{の分散} \text{ --- (6)}$$

3. 安全性指標βの算出式

式(2)、(3)の破壊基準関数を用いて、本研究では次の $\beta_1 \sim \beta_3$ の安全性指標を求めた。

$$\beta_1 = \frac{\mu_{X_1} - \mu_{X_2} \mu_{X_3}}{\sqrt{\sigma_{X_1}^2 + \mu_{X_2}^2 \sigma_{X_3}^2 + \mu_{X_3}^2 \sigma_{X_2}^2}} \text{ --- (7)} \quad \beta_2 = \frac{\ln \mu_{X_1} - \ln \mu_{X_2} - \ln \mu_{X_3}}{\sqrt{\delta_{X_1}^2 + \delta_{X_2}^2 + \delta_{X_3}^2}} \text{ --- (8)} \quad \beta_3 = \frac{\lambda_{X_1} - \lambda_{X_2} - \lambda_{X_3}}{\sqrt{S_{X_1}^2 + S_{X_2}^2 + S_{X_3}^2}} \text{ --- (9)}$$

ここに、 μ_{X_i} 、 σ_{X_i} 、 δ_{X_i} はそれぞれ X_i の平均値、標準偏差、変動係数であり、 λ_{X_i} 、 S_{X_i} はそれぞれ $\ln X_i$ の平均値、

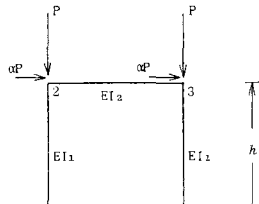


図1

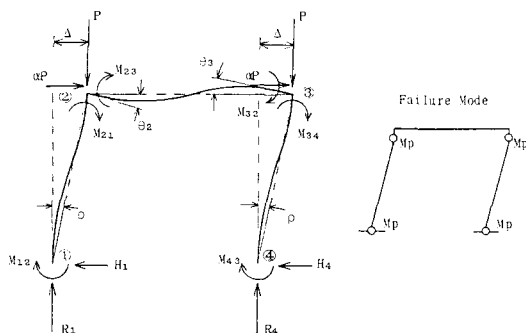


図2

標準偏差である。

4. Bilinear型復元力特性による地震荷重の低減

1.でも述べたように、本研究では、Bilinear型復元力特性を用いた地震荷重の低減方法として、以下のようなcase S1, S2, S3, Ea, Ed, PE, PDの方法を用いている。case S1: 塑性率 μ により、道示耐震設計編の式(10)を用いて等価減衰定数 h_e を定め、建設省、新耐震設計法による図3により低減係数 ϕ_u を決定する方法。 $h_e = 0.02 + 0.2(1 - 1/\mu)$ --- (10)

case S2: 文献3)の式(11)により h_e を定め、case S1と同様、図3を用いて ϕ_u を決定する方法。 $h_e = \frac{0.02}{3\mu}(1 + 2\mu^{3/2}) + \frac{2(\mu - 1 - \ln \mu)}{\pi\mu}$ --- (11)

case S3: $\phi_u = 1/\sqrt{2\mu - 1}$ --- (12)

case Ea: エネルギー応答により、最大ひずみエネルギーに
もとづく最大加速度を用いて照査する方法。

case Ed: エネルギー応答により、変位で照査する方法。

case PE: エネルギー一定則による方法。

case PD: 変位一定則による方法。なお、case Bは地震荷重の低減を考慮しない場合である。

5. 計算例

計算例の詳細は講演会当日紹介することとし、ここでは、門型ラーメン形式の β_1 (case Bについては β_3 を含む)の結果のみを図4、図5に示しておく。図4は2変数の場合であり、図5はcase S2のみの3変数の場合を示している。また弾塑性解析を行ない、破壊確率の数値積分により算出した安全性指標を、正規分布を仮定した場合については(N)、対数正規分布を仮定した場合については(LN)として示した。図4、5とも、塑性モーメントの変動係数は0.1であり、横軸は地震荷重の変動係数、COV of Pは上部工重量Pの変動係数である。

6. 結論

1) 門型ラーメン形式において、2次弾塑性解析にそとづき地震荷重を低減した場合、case Eaを除き低減方法の相違が安全性指標 β に与える影響は比較的小さい。2) 本研究で用いた破壊基準関数による β は、弾塑性解析を行ない数値積分によって求めた β と比較的よく一致する。3) 上部工重量の変動係数が0.2程度であれば、確定量として取り扱って十分である。

参考文献

- 1) 玉置他: 鋼橋脚の安全性評価に関する2, 3の考察, 土木学会中四支部第35回年次学術講演概要, 1983年
- 2) T.V. Galambos 著, 福本・西野訳: 鋼橋造材と骨組, 丸善, 1970年
- 3) Newmark, N.M. and E. Rosenblueth: Fundamentals of Earthquake Engineering, Prentice Hall

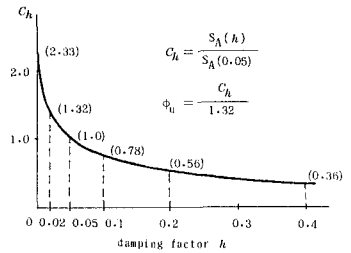


図3

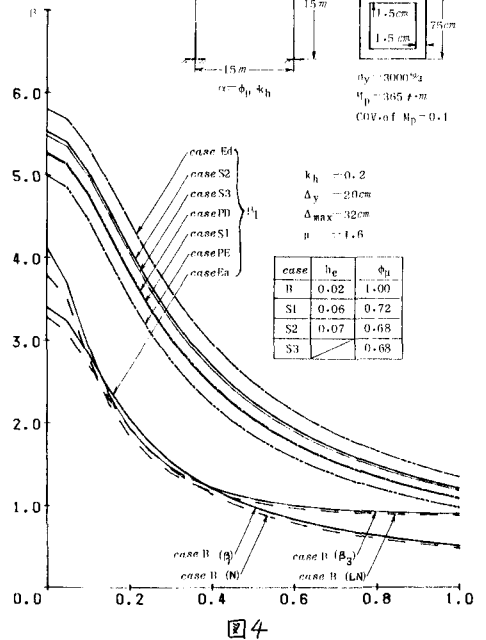
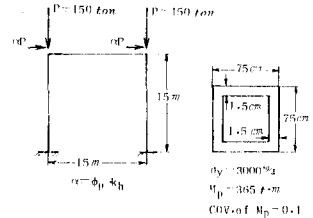


図4

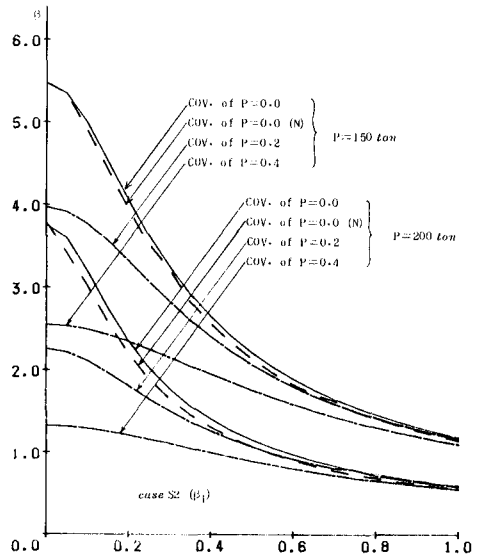


図5