

防衛大学校土木工学教室 学生員 〇田中孝昌

正 員 三原徹治

"

学生員 飯塚 稔

正 員 石川信隆

1. 緒言 本研究は、最適化手法を用いて軸力の影響を考慮したラーメンの信頼性解析を提示するものである。従来、ラーメン構造物の信頼性解析に関する研究は数多く行なわれてきたが¹⁾、その多くは曲げ作用のみを考慮したもので、軸力の影響を考慮した信頼性解析は、曲げと軸力の非線形な降伏条件のため、ほとんどなされていないのが現状である。ただ断面レベルにおいて、曲げと軸力の降伏曲線が流動的な不規則関数になることを示した例²⁾があるにすぎない。よって、本研究では曲げと軸力の降伏曲線を線形化モデルに仮定することにより、従来のPENT法³⁾による曲げ構造物の信頼性解析を、非線形計画問題(NLP)を利用して曲げと軸力を同時に考慮した骨組構造物の信頼性解析法に応用拡張したものである。なお、本研究では外力及び部材強度は正規分布に従う確率量とした。

2. 基本式 (1) 降伏条件: 図-1(a) に示すような、理想H形断面に対する曲げと軸力を考慮した相関降伏条件は、図-1(b) のようになり⁴⁾、式(1) のように表わすことができる。ただし、 $c = M_p / N_p = Z / A$ 、 Z は塑性弾面係数、 A は断面積、 M_p は全塑性モーメント、 N_p は降伏軸力。(2) 曲げと軸力を考慮したPENT法による信頼性解析法: PENT法による信頼性解析の手順は以下ようになる。①全崩壊モードのうち、崩壊確率が最大であるモードを見出し、第1代表モードとする。すなわち全崩壊モードのうちの最小の安全性指標をもつモードであるので、式(2) に示すような非線形計画問題として定式化される。ここに、式(2a)はある組合せモードにおける安全性指標が最小になることを、式(2b)はある組合せモードの $M+N$ の崩壊メカニズム条件を、また式(2c)は外力仕事为正になることを示している。ここで、 $\beta^{(i)}$ は第1代表モードの安全性指標、 $\bar{R}$ は塑性容量ベクトル、 $\lambda^{(i)}$ は第1代表モードの塑性乗数ベクトル、 F は外力ベクトル、 N は図-1(b)の単位法線マトリックス、 C は基本モードによる適合マトリックス、 $u^{(i)}$ は第1代表モードの節点速度ベクトルである。

また、 $\bar{x}$ 、 $\bar{\sigma}_x$ は、それぞれある組合せモードにおける仮想仕事 x の平均値と標準偏差を示す。よって、安全性指標 $\beta^{(i)}$ に対する崩壊確率は、 $P_f^{(i)} = \Phi(-\beta^{(i)})$ で与えられる。ただし、 Φ は標準正規分布関数を示す。

②第1代表モードと他のモードの相関関係がある臨界相関係数 ρ 。よりも小さいモードのうち、最大の崩壊確率を持つモードを見出し、第2代表モードとする。よって、第1代表モード($\lambda^{(1)}$ 、 $u^{(1)}$)とそれ以外の崩壊モード(λ 、 u)との相関係数 ρ_{ij} がある臨界相関係数 ρ 。よりも小さくなる条件は式(3) のように表わせる。よって、

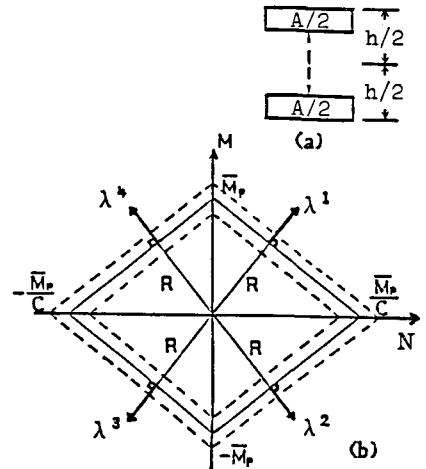


図-1: 曲げモーメントと軸力の相関降伏条件

$$\pm M \pm cN \leq M_p \quad (1)$$

未知数: $\lambda^{(i)}$, $u^{(i)}$

$$\text{目的関数: } \beta^{(1)} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \rightarrow \min \quad (2a)$$

$$\text{制約条件: } N\lambda^{(1)} - Cu^{(1)} = 0 \quad (2b)$$

$$F^T u^{(1)} > 0 \quad (2c)$$

ただし、 $\bar{R} = \bar{R}^T \lambda^{(1)} = \sum_{j=1}^J \frac{M_p j}{\sqrt{1+c^2}} \sum_{k=1}^4 \lambda_k^j$

$$\bar{S} = F^T u^{(1)} = \sum_{m=1}^M (F_m^T \lambda_m) u_m$$

$$\sigma_R^2 = \sum_{j=1}^J \frac{\sigma_{M_p j}^2}{1+c^2} \left(\sum_{k=1}^4 \lambda_k^j \right)^2$$

$$\sigma_S^2 = \sum_{m=1}^M (\sigma_{F_m}^2 \lambda_m^2) u_m^2$$

第2代表モードは式(2)に式(3)を付加して解くことによって得られる。◎第N代表モードの算定: 第N-1代表モードまでが算定されたとき、第N代表モードは、式(2)に式(4)を付加することにより得られる。第N代表モードの崩壊確率 $P_f^{(N)}$ が第1代表モードの値 $P_f^{(1)}$ に比較して、十分小さくなった(約0.1%以下)ときをもって解析を終了する。よって、構造物の崩壊確率は最終的に式(5)で算定される。

3. 計算例 図-2に示す1層1スパンラーメンについて軸力を考慮した信頼性解析を行う。まず基本モードは図-3のようになり、これらをインプット(Cマトリックス)として $\rho_0 = 0.9$ を用いて解析すれば代表モードが次々と図-4の $n=1, 2, 3, 4$ のように求められる。崩壊確率 $P_f = \sum_{n=1}^4 P_f^{(n)} = 0.105$ となり、相関による影響 $(P_f - P_f^{(1)})/P_f$ は約56%となる。また曲げのみの場合($P_f = 0.061$)と比べて本法は約72%増加し、安全側の評価となっている。

4. 結語 軸力を考慮した場合は、無視した場合に比し安全側の評価となることが確認された。また本研究は、曲げとねじりを同時に考慮した構造物の信頼性解析へも応用可能と思われる。なお、本研究は、魚舩浩靖氏の御援助を受けたことを付記し、謝意を表する。

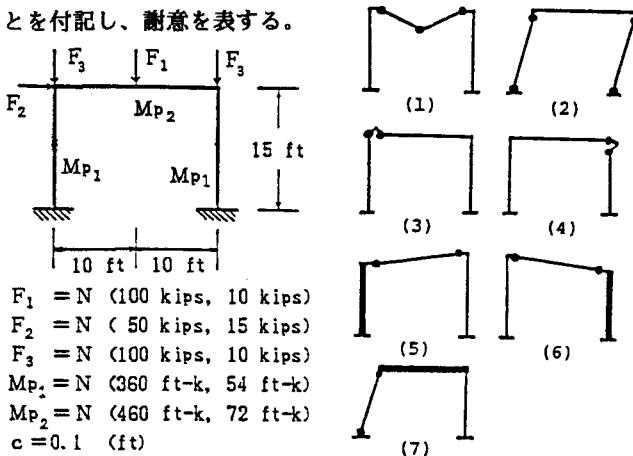


図-2: 1層1スパンラーメン

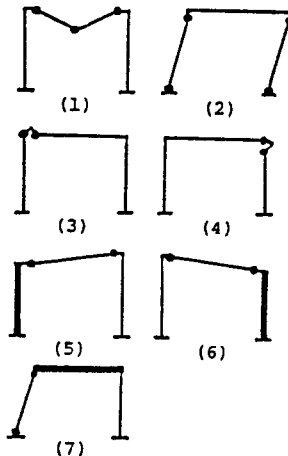


図-3: 基本モード

n	Representative Mode	$P_f^{(n)}$
1		0.0465
2		0.0336
3		0.0238
4		0.00073

図-4: 代表モードと崩壊確率

参考文献 1) たとえば Ditlevsen, O. et al.: Reliability of Highly Redundant Plastic Structures, ASCE, EM, Vol. 110, No. 5, pp. 671-693, 1984. 5 2) Ryzhansky, A. R., 高岡宜善訳: 構造物の信頼性解析法, 丸善, pp. 194-198, 1980. 12. 3) Ang, H-S et al.: On the Reliability of Framed Structures, Proc. of the Speciality Conference of Reliability, ASCE, Tuscon Arizona, pp. 106-111, 1979. 1. 4) Cohn, M. Z. et al.: Collapse Load Analysis of Frames Considering Axial Forces, ASCE, EM, Vol. 100, No. 4, pp. 773-798, 1974. 8.