

京都大学工学部 正員 古田 均

京都大学工学部 正員 白石成人

日本電信電話公社 正員 垂水国博

1. まえがき-----破壊確率を安全性の指標とすることにより、異なった形状、形態、種類の構造物の安全性が比較でき、バランスのとれた設計が可能となるといわれている。しかし、不静定構造物は多くの破壊モードを持ち、その信頼性評価にまだ多くの問題が存在する。本研究では、前回提案した破壊モード間の相関を考慮した破壊確率推定の近似式を用い、極限設計の考え方に基き剛節骨組の最適設計を行ない、その有用性を確かめ、確定論による設計との比較を行ない考察を加える。

2. 不静定構造物の信頼性推定のための近似式-----一般に n コの破壊モードをもつ構造物全体の破壊確率 P_f は
$$P_f = P_f(z_1 < 0 \cup z_2 < 0 \cup \dots \cup z_n < 0) \quad (1)$$
 で表わされる。

ここで z_i は余裕強度を示し、極限設計の考え方をを用いると次式のように表わされる。

$$Z_k = \sum_{i=1}^m a_{ki} M_i - \sum_{j=1}^n b_{kj} S_j \quad (2) \quad \text{ここで } M_i: \text{部材} i \text{ の抵抗 } S_j: \text{外力}$$

n : 部材数 m : 荷重数 a_{ki} : k 番目の破壊モード、部材 i に関する係数 b_{kj} : k 番目の破壊モード荷重 j に関する係数

(1) 式にド・モルガンの定理を用い展開することにより、 P_f が安全側より求められる近似式が導ける。

$$P_f \leq P_f(z_1 < 0) + P_f(z_2 < 0) + \dots + P_f(z_n < 0) - P_f(z_1, z_2) - \max\{P_f(z_1, z_3), P_f(z_2, z_3)\} - \dots - \max\{P_f(z_1, z_n), \dots, P_f(z_{n-1}, z_n)\} \quad (3)$$

3. 剛節骨組の最適設計----- 構造物全体の破壊確率 P_f を制約条件として、J. Stevenson²⁾ の用いた仮定を参考にして、最適設計を行なう。この時、設計変数は部材断面積 A_i で部材抵抗 M_i と部材強度 C_y の関数で表わされると考える。設計手順は以下になる。

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & H = g(A_i, l_i) \\ \text{Subject to} \quad & P_f \leq P_{fa} \end{aligned} \quad (4) \quad \begin{aligned} H: & \text{費用} \quad l_i: i \text{ 部材の長さ} \\ P_{fa}: & \text{許容破壊確率} \end{aligned}$$

また最適化手法としては制約条件に積分計算を含むことにより SUMT を用いる

4. 数値計算結果-----モデルとしては簡単な門型ラーメンを用い各モードを完全独立と仮定した場合との比較を行ない、本方法の精度の検討を行なった。荷重条件、変動係数を変化させているが、いずれの場合も本方法により構造物のコストの軽減が図られている。各モードにおいてそれ自身の平均値は同程度であっても、独立変数の数により分散が異なることになり、確定論で支配的と思われるモードが確率論では必ずしも支配的になり得ないことが考察された。また、J. Stevenson の結果が危険側に出ている場合があり、彼の用いた隣接する部材において塑性ヒンジは必ず細い部材において発生するという仮定が成立しない場合が存在することがわかる。また当然のことながら荷重の変動係数が大きくなると、本方法による解は完全独立の仮定によるものより良い結果を示している。(図1 参照) 図2 に変動係数が一定の場合の設計空間を示す。詳細は当日発表する。

5. 結論およびあとがき----- 確率論に基づく設計を行なうことにより、制約条件に関する数値計画法の問題は破壊確率の推定という問題に移ることになる。また、目的関数の取り

方により、無制約の最適化問題とすることも可能である。不静定構造物においては各破壊モード間の相関を考慮することは非常に重要で、合理的な設計が得られる。特に本方法は安全側より解が推定され有用であると思われる。今後破壊モードの取りあつかい及びその相関の導入の仕方について研究を続ける予定である。 参考文献 1) 白石, 古田, 垂水: 不静定構造物の信頼性推定に関する基礎的研究, 昭51 関西支部講演 2) F. Hoes & J. Stevenson, "Reliability Based Structural Design", Proc. ASCE, STP, '60

