

変断面 I 型部材の信頼性解析

関西大学工学部 正会員 米澤 博
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博
 パシフィックコンサルタンツ (株) 正会員 〇新田 勲

1. まえがき 鋼構造物を構成する柱、はり、はり一柱の極限強度に関する研究は古くから行われ、詳細な検討がなされてきた。一般にこれらの部材には製作時に不可避免的初期不整が生じるが、その大きさは部材の断面形状や製作工程の違いによってかなり異なり、かつばらつきがある。初期不整のばらつきを考慮した等断面の柱やはりの終局強度を統計学的に評価した研究はなされているが^{1), 2)}、変断面部材を対象とした

この種の研究は見当たらない。したがって、初期不整のばらつきを考慮した圧縮力と両端で大きさの異なる曲げモーメントを受ける 2 軸対称の変断面 I 型はり一柱の横ねじれ座屈強度を統一的に評価するため、ここではその基本となる圧縮力のみを受ける場合と、曲げのみを受ける場合の変断面 I 型部材の終局強度を統計学的に評価する。

2. 解析モデル 図-1に示すような長さ ℓ 、フランジ厚 t_f 、腹板厚 t_w で、腹板高が左端から右端へ b_{w0} から b_{w1} 、フランジ幅が b_{f0} から b_{f1} へと直線的に変化するテーパつき I 型部材 (以後、 $\alpha_w = b_{w1}/b_{w0}$ 、 $\alpha_f = b_{f1}/b_{f0}$ をテーパ比と呼ぶ) に圧縮力 N のみが作用する場合と、両端で大きさの異なる強軸まわりの曲げモーメント M_{x0} と βM_{x0} が作用する場合の終局強度を明らかにする。ただし、初期不整として、半波の正弦波の水平方向初期たわみと、図-2

のようなフランジの端部が機械切断された場合の残留応力を仮定する。

3. 解析法とその手順 柱やはりの終局強度を統計学的に評価する場合、多数の組合せの初期不整に対してその都度、幾何学的・材料的非線形性を考慮した変断面部材の基礎式を用いて複合非線形解析し、部材の終局強度を定めてもよいが、莫大な演算時間を要する。ここでは限られた初期たわみと残留応力の組合せに対して予め差分法で部材を弾塑性有限変位解析³⁾、その強度を求めておく。次に、実測データをもとに作成された初期たわみ (図-3) と残留応力 (図-4) の分布モデル⁴⁾ を利用し、モンテカルロ法で多数の初期たわみと残留応力の組合せを発生させる。これらの初期たわみと残留応力の任意の組合せに対する終局強度を限られた初期不整に対して先に求められた終局強度を用いてラグランジェの補間法で推定する。以上の計算手順を図-5に示す。

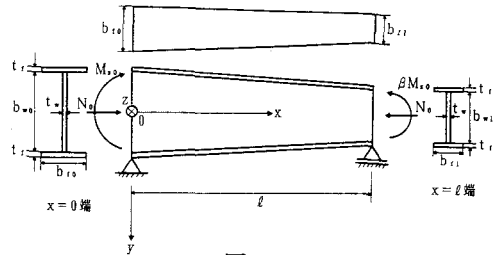


図-1

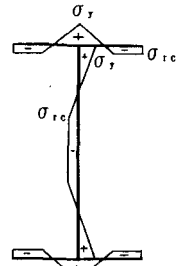


図-2

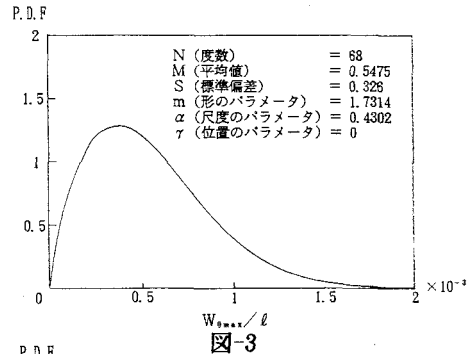


図-3

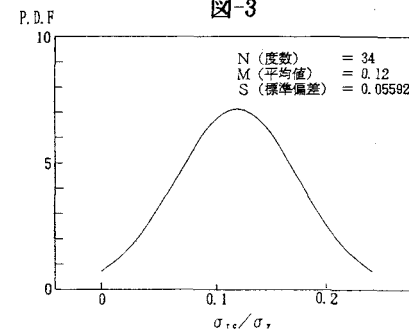


図-4

4. 数値解析結果 ラグランジェの補間法で推定される変断面 I 型部材の強度の精度を検討した結果、補間法によって求められた強度は弾塑性有限変位解析によって得られる終局強度と極めてよく一致し、解法の妥当性を検証することができた。

本解析結果の妥当性を検討するため、本数値解を西村ら^{1), 2)}によって求められた圧縮力を受ける等断面柱と等曲げを受ける等断面はりの解析結果と比較する。

圧縮力を受ける等断面柱の終局強度曲線を図示すれば図-6 となる。ここに、縦軸は終局圧縮強度の無次元量を、横軸は柱の修正細長比 λ , ($= \ell / \pi \times \sqrt{\sigma_y / A_0 / EI_{y0}}$, A_0 は断面積, I_{y0} は断面 2 次モーメント, σ_y は降伏点応力, E はヤング率) を示す。図中、実線は西村らの結果、●と○は本解析結果、一点鎖線は ECCS c 曲線を示す。図から明らかなように、本解析における終局強度の平均値(M, ●)と下限値(M-2S, ○)は、実線で示された西村らの終局強度の平均値と下限値曲線より低めの値を示している。

つぎに、等曲げを受ける等断面はりの終局強度曲線を示すと図-7 となる。ここに、縦軸は終局曲げモーメントの無次元量を、横軸ははりの横ねじれの座屈パラメータ $\lambda_b = \sqrt{M_{p, z0} / M_{cr}}$ を示す。ただし、 M_{cr} は弾性座屈モーメント [$= (\pi / \ell) \sqrt{EI_{y0} (GJ_0 + \pi^2 EI_{w0} / \ell^2)}$, GJ_0 はねじり剛度, EI_{w0} はそりねじり定数], $M_{p, z0}$ は左端での z 軸まわりの全塑性モーメントである。図から明らかなように、本解析における終局強度の平均値と下限値は、西村らの終局強度の平均値と下限値曲線より高めの値を示している。

腹板とフランジのテーパ比がともに $\alpha_w = \alpha_f = 0.75$ の変断面柱に圧縮力が作用する場合の終局強度曲線は図-8 のようになる。ただし、上下 2 本の曲線はそれぞれ平均値(M) および下限値(M-2S)の曲線を示す。図中、任意の λ の値に対して求められた終局強度の頻度分布と、その変動係数 ω も示した。 λ が 0.8 ~ 1.2 の範囲で、初期不整のばらつきによる終局強度のばらつきが大きく、初期不整の影響を強く受けることが分かる。

なお、他の計算結果は講演会当日述べる。

参考文献 1) 西村ら：土木学会論文集, No. 410, pp. 325-333, 1989-10. 2) 西村ら：土木学会論文集, No. 416, pp. 303-312, 1990-4. 3) 泉谷・米澤・堂垣：組合せ荷重を受ける変断面 I 型部材の弾塑性有限変位解析, 土木学会第 46 回年次学術講演会講演概要集, I-91, 1991-9. 4) 福本啓士編：座屈設計ガイドライン, 土木学会, 1987-10.

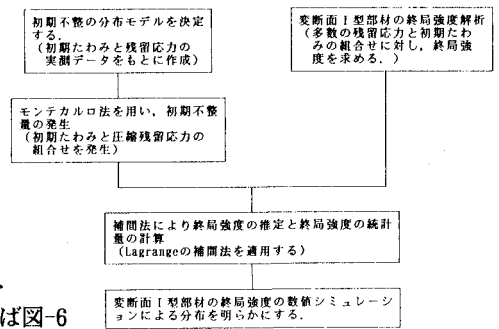


図-5

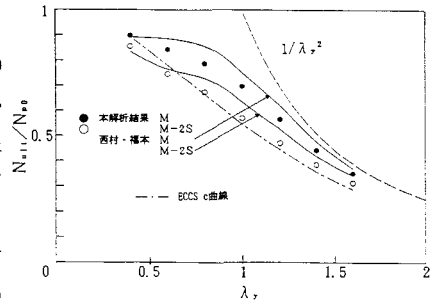


図-6

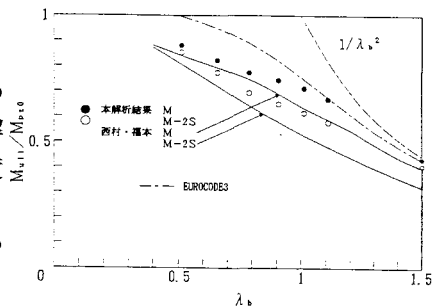


図-7

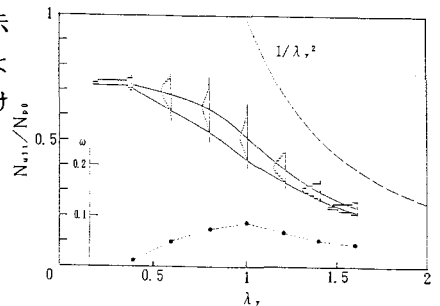


図-8