

第 部門 片面に縦補剛材を有する T 形断面柱の終局強度に対する初期たわみ感度則に関する解析的研究

大阪市立大学工学部 学生員 ○井口 貴 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
 東北大学大学院工学研究科 正会員 池田 清宏 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田 俊行

1. 研究背景および目的

実構造物の構造解析では、設計値どおりの部材の幾何形状や材料定数を考慮して終局強度が評価されている。しかし、実際には、材料の機械的性質のばらつき、および溶接に伴う残留応力や初期たわみなどの初期不整の介在により、終局強度は変動する。このような構造部材の終局強度評価法の1つとして、初期不整を有する部材の終局強度の低下量が、初期不整のべき乗で表現できるという初期不整感度則¹⁾が挙げられる。弾塑性挙動を示す構造部材への初期不整感度則の適用性が、池田ら²⁾によって試みられている。

本研究では、実構造物に使用されている非対象な座屈が生じるようなモデル、すなわち、片面に縦補剛材を有する T 形断面柱を対象として、軸方向圧縮変位を漸増させ、終局強度および終局強度に至るまでの弾塑性挙動を数値解析により検討する。このとき、自由突出板である縦補剛材の幅厚比パラメータ、T 形断面柱の柱としての細長比パラメータ、および初期たわみの最大値を変化させる。なお、本研究では板パネルは局部座屈してよいものとした。また、終局強度と初期たわみの最大値に着目し、軸方向圧縮力を受ける T 形断面柱に対する初期不整感度則の適用性を検討し、T 形断面柱の簡易な終局強度評価法を提案する。

2. 初期不整感度則

Koiterは、初期不整を有する部材の終局強度の初期不整依存性を明らかにし、円筒シェルに弾性座屈が生じる場合を対象として、以下の式(1)を提案し、初期不整感度則として定式化した¹⁾。一方、弾塑性挙動を示す構造部材への初期不整感度則の適用可能性が、池田らの研究によって見出されている²⁾。本研究では、初期不整感度則を式(2)のように定義し、弾塑性挙動を示すT字形断面柱への初期不整感度則の適用を試みる。

$$\sigma_U = \sigma_{U0} - A\varepsilon^{2/3} \text{----- (1)}$$

$$\sigma_U = \sigma_{U0} - A\varepsilon^\rho + \text{高次項} \text{----- (2)}$$

ここに今、 σ_{U0} ：初期不整のない部材の終局強度、 σ_U ：初期不整を有する部材の終局強度、 ε ：無次元化された初期不整、 ρ ：初期不整感度係数、 A ：対象構造部材によって異なる係数

3. 解析モデル

解析モデルは、鋼種が SS400 の完全弾塑性体とし、その終局強度は、EPASS/USSP を用いて、弾塑性有限変位解析により求めた。解析モデルは、両端がピン支持された T 形断面柱とし、その図心位置に軸方向圧縮力を作用させる。なお、T 形断面柱を対象にしたのは、座屈変形の方法によって初期たわみの感度が異なる非対象モデルについて検討するためである。断面寸法は図-1 に示すとおりであり、縦補剛材の幅厚比パラメータ R_S を 0.8、T 形断面柱の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を 0.1~1.4 の範囲で 10 種類、および、初期たわみの最大値 ε を -0.099~0.101 の 30 種類に変化させて、計 300 個の解析モデルを設定した。ここで、初期たわみ ε は w_o/b (w_o は初期たわみの最大値、 b は板パネル幅) で表す。なお、縦補剛材の幅厚比パラメータ R_S 、および細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は、それぞれ式(3)および(4)により算出する。

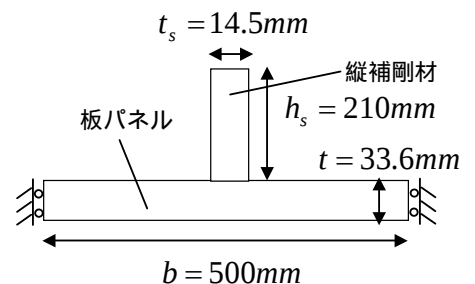


図-1 解析モデルの断面図

$$R_S = \frac{h_s}{t_s} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_S}} \text{----- (3)}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E\pi^2}} \text{----- (4)}$$

ここに、 h_s ：補剛材高さ、 t_s ：縦補剛材の板厚、 σ_Y ：降伏点、 E ：ヤング係数、 μ ：ポアソン比、 k_S ：座屈係数 (=0.425)、 l ：有効座屈長、 r ：断面 2 次半

Takashi IGUCHI, Masahide MATSUMURA, Toshiyuki KITADA and Kiyohiro IKEDA

初期たわみ波形は、図-2 に示すように、縦補剛材側に凹の場合 ($\varepsilon < 0$) と凸の場合 ($\varepsilon > 0$)、すなわち、軸方向圧縮力が作用すると、それぞれ、縦補剛材先端には圧縮力、あるいは引張力が作用する2種類を考える。

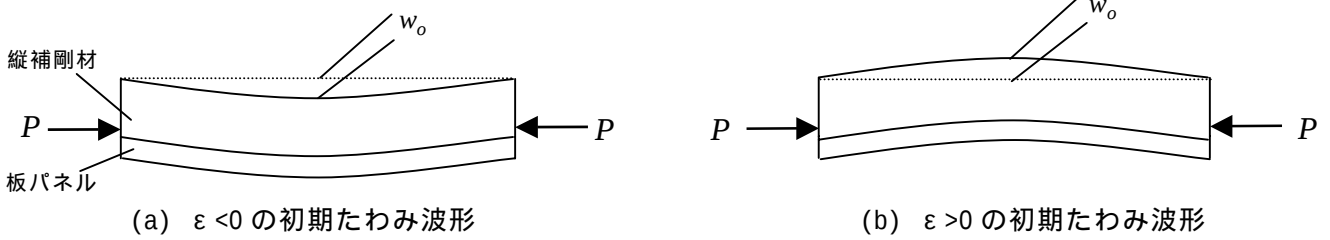


図-2 対象とした初期たわみパターン

4. 解析結果および初期不整感度則の適用性

細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ ごとの、終局強度 σ_U -初期たわみ ε 関係を図-3 に示す。図-3 の両軸の両対数グラフから、卓越する初期不整感度係数 ρ を推算する。その結果として、図-4 には、初期不整感度係数 ρ -細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ 関係を示す。図-4 より、 $0.8 < \bar{\lambda} < 1.2$ では $\rho = 2/3$ 、それ以外では $\rho = 1$ であることがわかる。また、初期たわみ $\varepsilon < 0$ の場合と $\varepsilon > 0$ の場合とでは、若干この傾向が異なることも確認できる。以上から、式(2)を式(5)のとおり再設定する。なお、 ρ の算出には、道路橋示方書³⁾の製作基準値 ($w_0 = L/1000$, L : 部材長) 以下の初期たわみ ε を設定した解析結果を用いている。

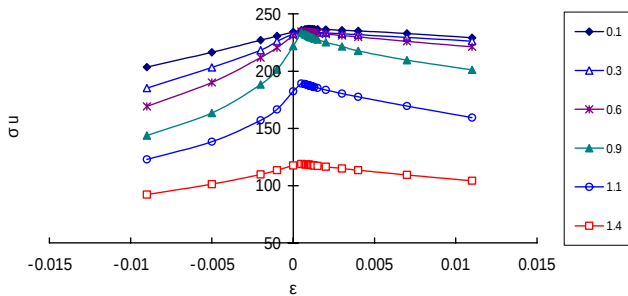


図-3 σ_U - ε 関係

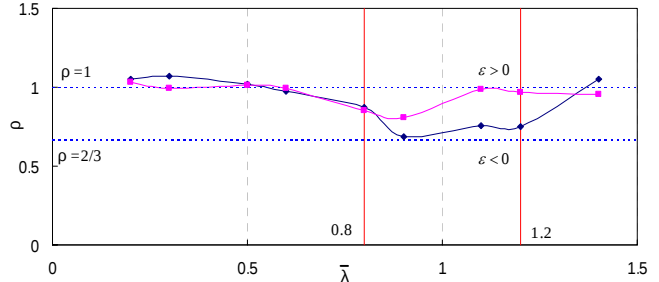


図-4 ρ - $\bar{\lambda}$ 関係

$$\sigma_U = \sigma_{U0} - a\varepsilon^{2/3} - b\varepsilon \quad (-0.009 < \varepsilon < 0.011) \quad (5)$$

図-5 には、解析結果と式(5)の比較を示す。図-5 より、両者は良好に一致しており、式(5)により定義される初期不整感度則を適用できることがわかる。表-1 には、 $\varepsilon < 0$ における、式(5)中の係数 a および b と細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ との関係を示す。同表より、係数 a および b は $\bar{\lambda}$ の関数として記述できる。また、 $\varepsilon > 0$ の場合も同じように記述できることがわかる。以上より、式(5)により終局強度の簡易評価が可能であることがわかる。

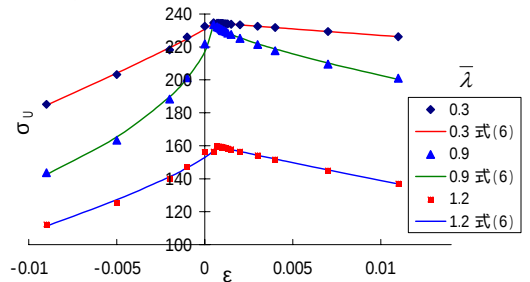


図-5 解析結果と適用結果との比較

表-1 初期不整感度則の適用結果 ($\varepsilon < 0$)

$\bar{\lambda}$	a	b
$0.2 < \bar{\lambda} < 0.8$	$5159\bar{\lambda}^2 - 2627.9\bar{\lambda} + 502.59$	$-20706\bar{\lambda}^2 + 16184\bar{\lambda} + 1220.6$
$0.8 < \bar{\lambda} < 1.2$	$-41222\bar{\lambda}^2 + 79500\bar{\lambda} - 35382$	$151126\bar{\lambda}^2 - 298773\bar{\lambda} + 142747$

5. まとめ 本研究では、T形断面柱を対象に、式(5)で定義した初期不整感度則の適用を行った。その結果、(1) この式は、 R_s を 0.8 および $0.2 < \bar{\lambda} < 1.2$ の場合、適用することができた。(2) さらに、適用した初期不整感度則の係数 a および b を細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ で表すことができた。(3) 以上から、初期不整を有する T 形断面柱の終局強度を初期不整 ε および細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ の関数として表すことができた。

参考文献 1) Koiter, W.T.: On the stability of elastic equilibrium, Delft, Holland, 1945. 2) 池田清宏, 室田一雄: 構造系の座屈と分岐, コロナ社, 2001. 3) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説, 鋼橋編, 2003.