

初期不整感度特性に基づく圧縮板の終局強度評価に関する一考察

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田俊行
 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 松村政秀

1. はじめに 初期たわみなどの初期不整の介在により終局強度が低下するような弾性座屈挙動を示す構造系の座屈荷重は, 初期不整感度則により定式化されている¹⁾. この初期不整感度則は, 初期不整と座屈荷重との関係を表現するのに簡便かつ有効な方法である. しかしながら, 弾性分岐理論に基づくこのような初期不整感度則の弾塑性座屈挙動を示す構造系への適用は, これまであまり検討されてこなかった.

本研究では, 一様な圧縮変位を受ける周辺単純支持板および自由突出板を対象とし, 幅厚比パラメータおよび導入する初期たわみの最大値とを変化させて, 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. 次に初期不整感度則の適用性を検討し, 終局強度の簡易評価方法について考察している.

2. 初期不整感度則 弾性座屈挙動を示す構造系の終局強度は, 荷重-変位曲線上の極大点に支配され, 初期不整を有する系の初期不整の無い完全系からの終局強度の低下量は, 式(1)で表わされる初期不整感度則に従うことが知られている¹⁾. 本研究では, 式(1)に高次項を取り入れた式(2)および式(3)を新たに定義する.

$$\eta = \sigma_0 - \sigma_U \cong \alpha \varepsilon^\rho \quad (1), \quad \eta = \sigma_a - \sigma_U = a\varepsilon + b\varepsilon^2 \quad (2), \quad \eta = \sigma_a - \sigma_U = a\varepsilon + b\varepsilon^2 + c\varepsilon^3 + d\varepsilon^4 \quad (3)$$

ここに, η : 終局強度の低下量, σ_0 : 初期不整の無い完全系の終局強度, σ_U : 初期不整を有する系の終局強度, ε : 無次元化された初期たわみ, σ_a : ε が極めて小さいときの終局強度, α, ρ, a, b : 係数

3. 解析モデル 補剛板構造を構成する最小板要素である板パネル(アスペクト比 1.0 の周辺単純支持板), および縦補剛材(アスペクト比 2.0 の自由突出板)を解析対象とし, 一様圧縮変位を漸増させた. 解析モデルの寸法は, それぞれ 400×400 mm および 200×400 mm とし, 辺の比が 1:1 で 1 辺 20 mm, 板厚方向を 10 層に分割した三角形有限要素によりモデル化した. 鋼材の機械的性質は図-1 に示すとおりである. 幅厚比パラメータ R_R (式(3)) および R_S (式(4)) は板厚の変化により 0.2~1.4 の範囲で 0.2 刻み計 7 パターン, 初期たわみ ε ($=w_0/t$, w_0 : 初期たわみの最大値, t : 板厚) は 0.001~2 の範囲で計 20 パターンを設定した.

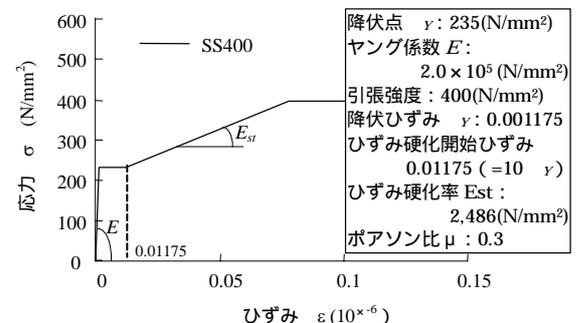


図-1 鋼材の応力-ひずみ関係

4. 解析結果 図-2 には各パターンにおける終局強度 σ_U と初

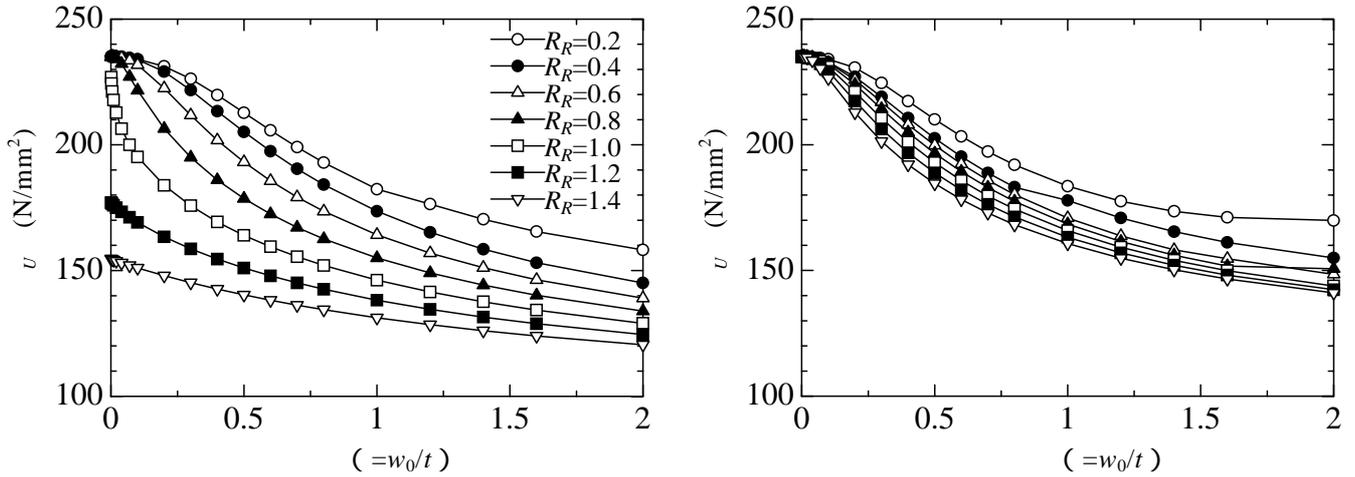
期たわみの最大値 ε との関係を示す. 図-3 には, 図-2 をもとにプロットした $\log(\sigma_U - \sigma_{0.001})$ と $\log(\varepsilon)$ との関係を示す. ここで, $\sigma_{0.001}$ は初期不整が極めて小さい場合 ($\varepsilon=0.001$) の終局強度であり, 図-3 の曲線の勾配は各初期たわみの値 ε に対応した ρ (式(1)) の値である. 図-3(b)の自由突出板に対しては $\rho \approx 2$ である. 図-3(a)の周辺単純支持板に対しては, $R_R < 1$ の場合には $\rho \approx 1$, $R_R > 1$ の場合には $\rho \approx 2$ であり, $R_R = 1$ ($\rho \approx 2/3$) 近辺で現象の遷移が確認できる. さらに, 図-4 には, 主な幅厚比パラメータに関して, 解析結果と式(2)あるいは式(3)の適用結果(適用範囲は $0 < \varepsilon < 0.5$) とをともにプロットした σ_U と ε との関係を示す. 図-4 に示すように, 周辺支持板に対して $R_R < 0.8$, $1.2 < R_R$, 自由突出板に対して $R_S < 1.0$ では, 高次項まで考慮した式(3)の方が誤差が小さいものの, 式(2)においても, 解析結果との差違は極めて小さい. すなわち, 高次項まで考慮した初期不整感度側の適用性が認められる. なお, 式中の係数 $a \sim d$ はそれぞれ幅

$$R_R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_R}} \quad (3) \quad R_S = \frac{h_S}{t_S} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_S}} \quad (4)$$

ここに, b : 板パネルの幅, t : 板パネルの板厚, h_S : 自由突出板の幅, t_S : 自由突出板の板厚, k_R : 板パネルの座屈係数($=4.0$), k_S : 自由突出板の座屈係数($=0.425$)

キーワード 終局強度評価, 板, 初期不整感度則, 座屈

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科 TEL06-6605-2735



(a)周辺単純支持板 (b)自由突出板
 図-2 終局強度 u と初期たわみの最大値 ε との関係

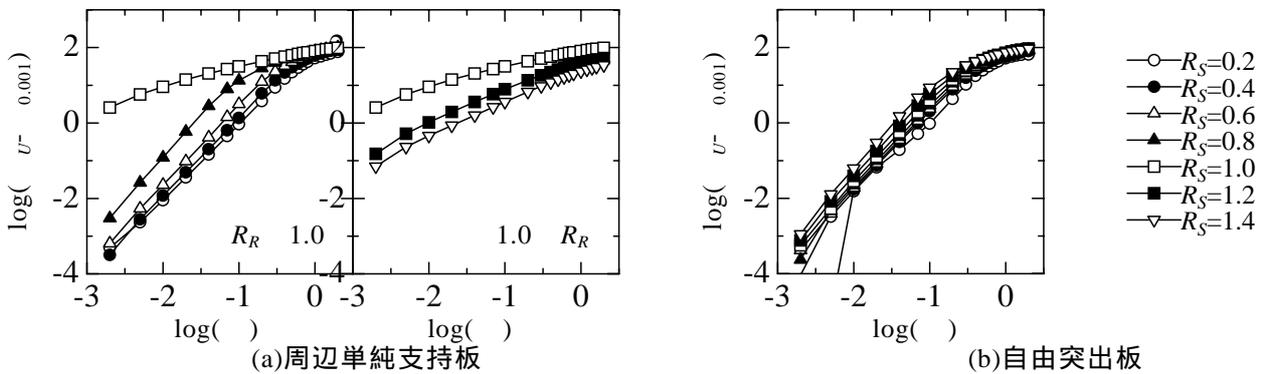


図-3 $\log(u - 0.001)$ と $\log(\varepsilon)$ との関係

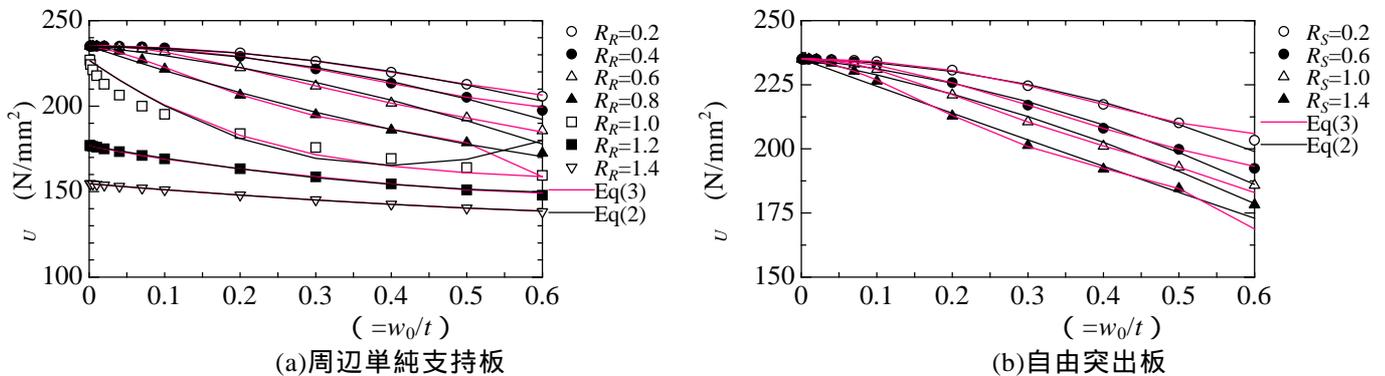


図-4 $u - \varepsilon$ 関係と初期不整感度則の適用結果

厚比パラメータ R_R あるいは R_S の関数として与えることができる。一方、周辺単純支持板では R_R が 1.0 付近、自由突出板では R_S が 1.0 よりも大きい場合、すなわち、弾塑性座屈挙動と弾性座屈挙動との中間の挙動を示す場合などでは、式(2)および式(3)のいずれを適用する場合においても、解析結果と適用結果との差違が認められる。式(2)および式(3)は線形則（1乗）とその高次項に着目した感度則であり、解析結果には単純対称分岐（2/3乗）などの影響も含んでいることが予想される。

6. まとめ 1)弾性座屈を生じる構造系で従来考慮されてきた式(1)に、さらに高次項を考慮した式(2)あるいは式(3)により、一様な圧縮変位を受け弾塑性挙動を呈する周辺単純支持板および自由突出板に対する初期不整感度則の適用性が認められた。2)式(2)および式(3)中の各係数は、個別に幅厚比パラメータ R_R あるいは R_S の関数として与えられる。3)幅厚比パラメータの値あるいは発生する座屈モードに応じて、初期不整感度則を区分的に適用することにより、より精度良く、弾塑性挙動を呈する部材の終局強度の評価が可能である。
 参考文献 1)Koiter, W.T.: On the Stability of Elastic Equilibrium, Delft, Holland, 1945. 2)生出佳, 池田清宏, 寺田賢二郎, 藤井堅, 岡澤重信: 構造部材強度の分岐理論に基づく確立評価法, 土木学会論文集, I-58, pp.85-98, 2002.