

第 部門 初期不整感度特性に基づく圧縮板の終局強度評価法に関する基礎的研究

大阪市立大学 工学部 学生員 ○岡本 暁 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 補剛板構造は、軽量で力学的に合理的な構造であることから、橋梁構造物においては、鋼製橋脚、主塔などの柱部材、箱桁の圧縮フランジなどに幅広く用いられる。これらの構造部材を設計する際には設計値どおりの寸法や形状を用いて終局強度の評価が行われるが、実構造物の終局強度は初期不整により変動を受ける。本研究では、補剛板構造の構成要素である周辺単純支持板、および自由突出板に一樣な圧縮応力を導入し、幅厚比パラメータ、および導入する初期たわみの最大値が終局強度に及ぼす影響、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。次に、終局強度と導入した初期たわみの最大値とを用いて、終局強度が初期不整のべき乗に比例するという初期不整感度則の適用性について検討し、終局強度の簡易評価方法を提案する。さらに、初期たわみの絶対最大値の実測値に関する確率密度分布と初期不整感度則の適用結果とを用いて、終局強度の確率密度関数を算出する。なお、紙面の都合上、自由突出板については結果のみを掲載している。

2. 初期不整感度則 様々な部材や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、弾性内では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)で表す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、弾塑性挙動を示す部材への適用拡大を試みる。

$$\eta = \sigma_0 - \sigma_U \cong \alpha \varepsilon^p \cdots (1) \quad , \quad \eta = \sigma_a - \sigma_U = a \varepsilon^2 - b \varepsilon^4 \cdots (2)$$

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, p, a, b ：係数

3. 解析モデル 本研究では、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、一樣圧縮変位を作用させる弾塑性有限変位解析を行った。解析モデルの寸法はそれぞれ 400×400(mm)、および 200×400(mm)とし、また、鋼材の機械的性質、および初期たわみ ε （ $=w_0/t$ 、 w_0 ：初期たわみの最大値、 t ：板厚）は表-1、2 に示すとおりである。パラメトリック解析においては、幅厚比パラメータ R_R （式(3)）および R_S （式(4)）を、板厚を変化させることによって 0.2～1.4 の範囲で 0.2 刻みに設定した。

表-1 解析モデルの機械的性質

鋼種	降伏点 σ_Y (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	引張強度 σ_U (N/mm ²)	降伏ひずみ ε_Y	ひずみ硬化 開始ひずみ ε_{st}	ひずみ硬化率 E_{st} (N/mm ²)	ポアソン比 μ
SS400	235	2.0×10^5	400	0.001175	$0.01175(10\varepsilon_Y)$	2,486	0.3

表-2 導入した初期たわみ ε

0.001	0.002	0.005	0.01	0.02	0.04	0.07	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
-------	-------	-------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

$$\text{周辺単純支持板: } R_R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_R}} \cdots (3) \quad \text{自由突出板: } R_S = \frac{h_S}{t_S} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_S}} \cdots (4)$$

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、 σ_Y ：降伏点、 E ：ヤング係数、 μ ：ポアソン比、 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（ $=0.425$ ）

4. 解析結果および初期不整感度則の適用性 図-3 には解析結果より得られた主な幅厚比パラメータごと

の $\sigma_U - \varepsilon$ 関係を式(2)の適用結果とともに示す．同図に示すとおり， $R_R < 0.6$ のときには解析結果と式(2)の適用結果とはほぼ一致し，式(2)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-4 には，式(2)中の係数 a および b と幅厚比パラメータ R_R および R_S との関係を示す．なお，式(2)の適用範囲は， R_R あるいは R_S の範囲が変化しても終局強度の低下が認められない $0.2 < R_R < 0.6$ あるいは $0.2 < R_S < 1.4$ とした．このように，係数 a ， b は R_R および R_S の関数として記述できることから，式(2)により終局強度の簡易評価が可能である．

表-4 初期不整感度則の適用範囲および係数と幅厚比パラメータとの関係

適用範囲	式(2)の係数	a	b
周辺単純支持板 ($0 < R_R < 0.6$)		$122.3R_R^2 + 51.87R_R + 74.40$	$101.9R_R^2 + 3.772R_R + 29.71$
自由突出板 ($0 < R_S < 1.4$)		$11.36R_S^2 + 34.12R_S + 104.9$	$15.06R_S^2 + 5.581R_S + 49.59$

5. 終局強度の確率密度関数の算出

文献 2)によれば，実測された初期たわみの最大値の確率密度分布は式(5)で表すワイブル分布により近似される．また，図-4 に実測データとワイブル分布とを比較して示す．同図の縦軸は頻度%，横軸は初期たわみ w_0 を部材幅 b で除し，150 を乗じた値を示す．

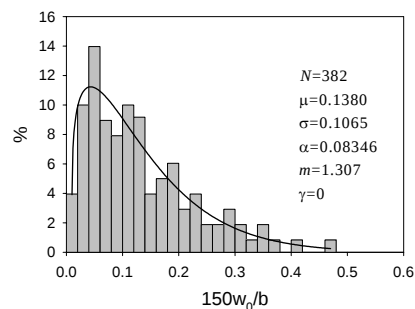


図-4 実測データの頻度分布とワイブル分布との比較

$$\phi_\varepsilon(\varepsilon) = \frac{m}{\alpha^m} \cdot \varepsilon^{m-1} \cdot \exp\left(-\left(\varepsilon/\alpha\right)^m\right) \cdots (5) \quad (\text{周辺単純支持板})$$

ここに， m は形状母数， α は尺度母数である．式(5)を，終局強度の確率密度関数に変換し，同式に m ， α ，式(2)を代入すると，図-5 に示す初期たわみの実測値に基づく終局強度の確率密度関数が得られる．同図の x 軸は終局強度 σ_U を降伏応力 σ_Y で除した無次元化量， y 軸は幅厚比パラメータ， z 軸は確率密度を示す．ただし， $R_R = 0.8$ において， $\varepsilon = 0.001$ のとき $\sigma_U/\sigma_Y = 1.00$ ， $\varepsilon = 0.04$ のとき $\sigma_U/\sigma_Y = 0.99$ であるため，図-5 に示すとおり， $\sigma_U/\sigma_Y = 1.00$ 付近に確率密度が集中する．

6. まとめ 1) 一様な圧縮変位を受け，初期たわみを有する周辺単純支持板，および自由突出板に対して，式(2)で定義した初期不整感度則を適用することができる．(ただし，適用範囲は $0 < R_R < 0.6$ ， $0 < R_S < 1.4$) 2) 式(2)の係数 a ， b は，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) 以上より，終局強度の簡易評価が可能である． 4) 終局強度の簡易評価結果と初期たわみの実測結果とから，終局強度の確率密度関数を導くことができる．

参考文献 1) Koiter, W.T. : On the Stability of Elastic Equilibrium, Delft, Holland, 1945.

2) 小松定夫，北田俊行：鋼橋部材の形状初期不整耐荷力の統計学的研究，JSSC，Vol.16，No.170，pp.10-43，1980．

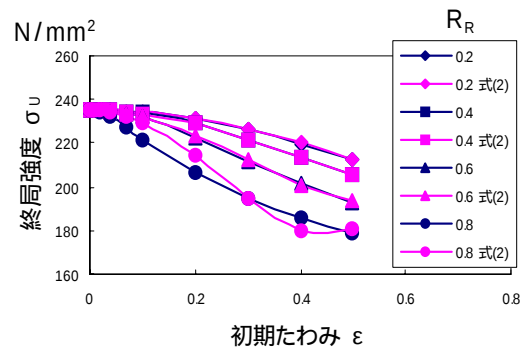
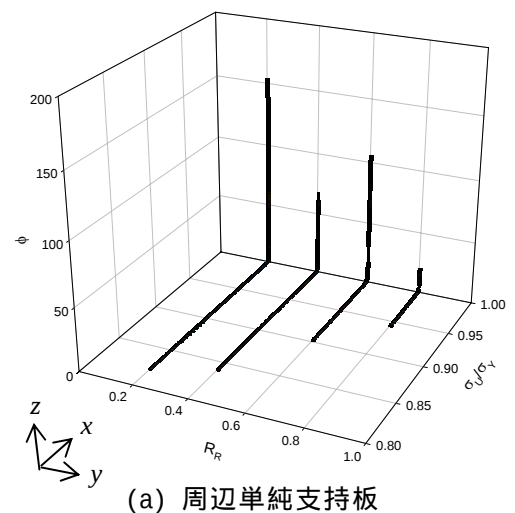
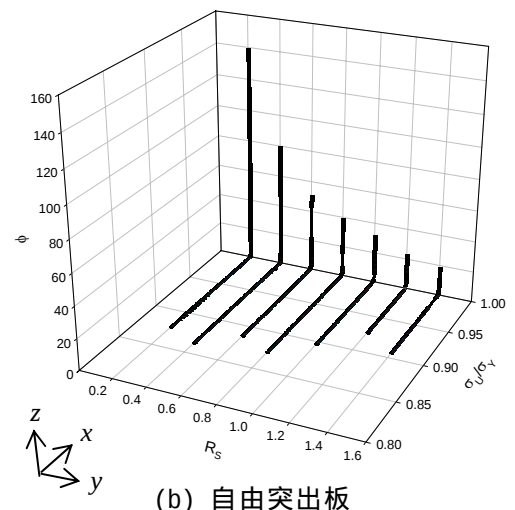


図-3 解析結果と適用結果との比較
(周辺単純支持板)



(a) 周辺単純支持板



(b) 自由突出板

図-5 終局強度の確率密度関数