

繰返し荷重による履歴の影響を考慮した薄肉断面鋼構造物の限界ひずみの評価法

○岐阜高専 正会員 奥村徹，名古屋工業大学 正会員 後藤芳顕

1. はじめに

薄肉断面を有する鋼構造物の耐震解析を行う場合，はり理論に基づく解析手法では局部座屈を考慮できないという問題がある．そこで，はり要素を用いた解析において局部座屈が発生する恐れのある照査領域の平均ひずみをモニタし，このひずみが限界値として設定されるシェル要素を用いた複合非線形解析によって別途求めた破壊ひずみの値を上まわらないかチェックすることで構造物の限界点を予測する手法が提案されている¹⁾．この手法はPushover解析のみならず，動的解析への適用性も検討されている²⁾．しかしながら，繰返し荷重を受ける場合には，限界値に対応する平均ひずみの値がその履歴により変化するため，単調荷重によって求めた破壊ひずみをそのまま繰返し荷重の場合に限界値として適用することはできない場合があると考えられる．本研究では，鋼製橋脚を例に繰返し荷重による履歴の影響を考慮し，限界点を精度良く評価する簡単な方法を提案し，その適用性について検討する．

2. 鋼製橋脚のシェル要素を用いた繰返し荷重解析

2.1 解析モデル

ここでは履歴の影響が生じやすいと考えられる比較的大きな鋼製橋脚モデル($R_t=0.4$ ， $\gamma/\gamma^*=2.0$ ， $h_t/t_f=9.0$ ， $n=3$ ， $B/D=1.0$ ， $\lambda=0.4$ ， $P/Py=0.1$ ，鋼種：SM490)を設定する．また，シェル要素を用いた解析では，初期たわみ，残留応力を考慮する．材料構成則には鋼材の繰返し塑性性を精度良く表現できる三曲面モデル³⁾を使用する．

2.2 繰返し荷重を与えた場合の限界点と圧縮側フランジの平均ひずみの関係

繰返し荷重を与えた場合の代表的な例として，橋脚頂部の水平荷重と基部圧縮フランジにおける平均ひずみの関係を図-1に示す．ここではひずみの圧縮側を正と定義する．荷重パターンAおよびC（図-1 a），c）では単調荷重における値（ $\bar{\varepsilon}_{m,mon}/\varepsilon_y=9.14$ ， $\bar{\varepsilon}_{95,mon}/\varepsilon_y=22.57$ ）と較べてピーク点，95%低下点の平均ひずみはともに引張側に移動しており，単調荷重によって求めた破壊ひずみを繰返し荷重を受ける場合の限界値としてそのまま用いることができない場合があることがわかる．b) 荷重パターンBではピーク点（第1ピーク点）を越えた後に除荷し，再負荷により終局に至っている．この場合，終局に至るループのピーク点は第1ピーク点の後に除荷した点の近傍となっている．レベル2地震動を想定した範囲内で様々な履歴を与え，限界点のひずみの算定方法を検討した結果，基本的には単調荷重におけるピーク点および95%低下点の平均ひずみを過去に経験した平均最大引張りひずみの量だけ引張側に平行移動することで履歴の影響を受ける場合のピーク点および95%低下点の平均ひずみ $\bar{\varepsilon}_m$ ， $\bar{\varepsilon}_{95}$ を精度良く評価できることがわかった．履歴の影響を考慮した $\bar{\varepsilon}_m$ ， $\bar{\varepsilon}_{95}$ の算定式として次式を提案する．

$$\begin{aligned}\bar{\varepsilon}_m/\varepsilon_y &= (\bar{\varepsilon}_{m,mon} - |\bar{\varepsilon}_{t,max}| + \varepsilon_y + \Delta\bar{\varepsilon}_m)/\varepsilon_y \\ \bar{\varepsilon}_{95}/\varepsilon_y &= (\bar{\varepsilon}_{95,mon} - |\bar{\varepsilon}_{t,max}| + \varepsilon_y + \Delta\bar{\varepsilon}_m)/\varepsilon_y\end{aligned}\quad (1.a,b)$$

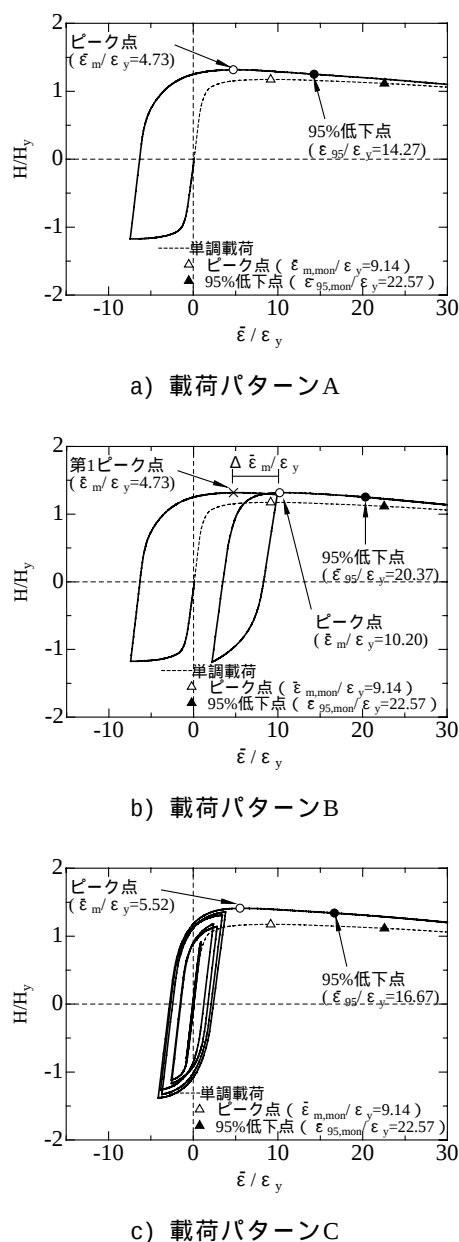


図-1 橋脚頂部の水平荷重と基部フランジの平均ひずみ関係

キーワード：限界ひずみ，繰返し荷重，耐震解析

連絡先：〒501-0495 岐阜県本巣市 岐阜工業高等専門学校 Tel 058-320-1402

ここに、 $\bar{\varepsilon}_{m,mon}$ 、 $\bar{\varepsilon}_{95,mon}$ は単調荷重におけるピーク点および95%低下点の平均ひずみの値、 $\bar{\varepsilon}_{t,max}$ は終局点に到達するサイクルまでに経験した平均ひずみの引張側の最大値、 ε_y は降伏ひずみである。 $\Delta\bar{\varepsilon}_m$ については、図-1 b) に示す荷重パターンBのように、最初に生じたピーク点（第1ピーク点）を越えた後、95%低下点に到達する前に除荷した場合に考慮する。この場合、再負荷した時の $\bar{\varepsilon}_m$ の予測値は第1ピーク点から95%低下点の間に除荷した点のひずみとする。従って、これを式で表わすと、はじめに予測した第1ピーク点からの $\bar{\varepsilon}_m$ の移動量を $\Delta\bar{\varepsilon}_m$ として式(1.a,b)のようになる。以上の方法によって求めた限界値の精度を図-2に示す。これより、式(1.a,b)を用いて単調荷重における限界ひずみを補正すれば、履歴の影響を受けた場合の限界ひずみを精度よく評価できることがわかる。

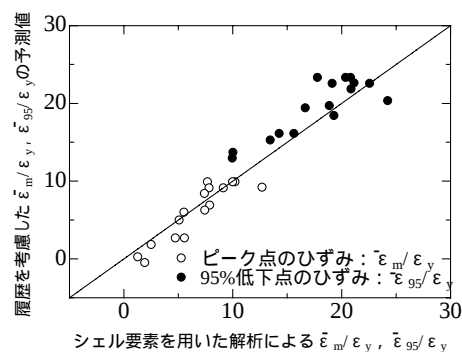


図-2 履歴の影響を考慮したピーク点と95%低下点の予測式の精度

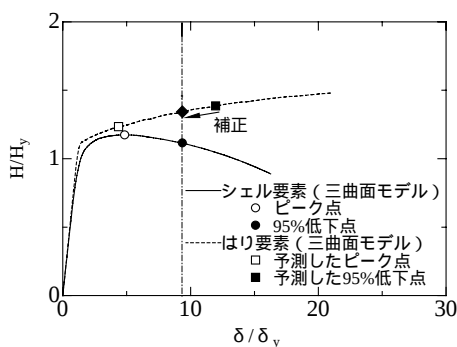
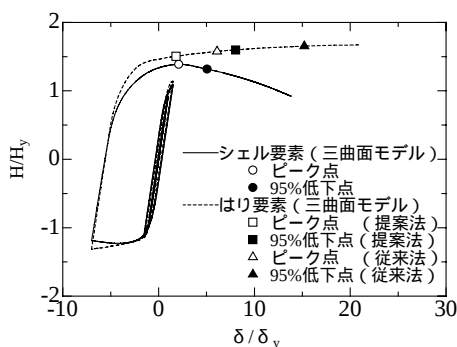
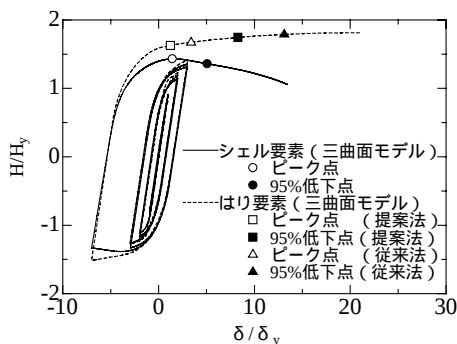


図-3 単調荷重におけるはり要素の精度



a) 荷重パターン1



b) 荷重パターン2

図-4 はり要素を用いた解析における本手法の精度

3. はり要素を用いた耐震解析における適用性

はり要素を用いた解析の精度検討として、単調荷重における水平荷重-水平変位関係をシェル要素を用いた解析と比較したものを図-3に示す。はり要素を用いた場合、ピーク点の変位は精度良く予測できるが、局部座屈発生後の95%低下点の変位の予測精度は悪化し、危険側の値となる。そこで、シェル要素を用いた解析による95%低下点の変位に対応する点におけるはり要素の照査領域の平均ひずみを $\bar{\varepsilon}_{95,mon}$ として、式(1.b)に用いることとする。

本手法をはり要素を用いた解析に適用した例として水平荷重-水平変位曲線におけるピーク点と95%低下点をシェル要素を用いた解析と比較した結果を図-4に示す。参考のため、図中には単調荷重によって求めた破壊ひずみをそのまま用いて限界点を評価した点も示している。これらの図より、単調荷重の破壊ひずみをそのまま用いた場合（○，▲）よりも、本手法によってピーク点および95%低下点を評価した方（□，■）が精度が良いことがわかる。

4. まとめ

はり要素を用いた耐震解析において、履歴の影響を精度良く考慮し得る限界点の予測法を提案した。本手法によれば、単調荷重により求めた限界ひずみを過去に経験した平均最大引張ひずみ等を用いた簡単な式で補正することで履歴の影響を考慮することが可能となる。さらに、単調荷重におけるシェル要素を用いた解析とはり要素を用いた解析結果から、シェル要素を用いた場合の95%低下点の変位に対応するはり要素の平均ひずみを限界ひずみとして用いることで、はり要素を用いた耐震解析における95%低下点の予測精度の向上を図ることができる。

【参考文献】

- 1) 鄭沂, 葛漢彬, 宇佐美勉: 鋼構造物の強度と変形能の統一的評価法, 第3回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, 土木学会鋼構造委員会, pp.25-32, 2000.
- 2) 宇佐美勉, 森下邦宏, 阪野崇人: 鋼構造物の動的耐震照査法に関する検討, 第4回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, 土木学会鋼構造委員会, pp.75-82, 2000.
- 3) 後藤芳顯, 王雲慶, 高橋宣男, 小畑誠: 繰り返し荷重下の鋼製橋脚の有限要素法による解析と材料構成則, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.189-206, 1998.