

H 形断面鋼部材の終局ひずみ算定式の提案

名城大学 フェロー ○宇佐美 勉, 名古屋大学 馬 翔, ヤマト設計(株) 正会員 野中 哲也

1. はじめに

鋼構造物の耐震性能照査方法は、変位で照査する方法とひずみで照査する方法が提案されている。いずれの照査法でも、部材セグメントの変形能喪失の条件を表す終局ひずみの算定式が必要となる。箱形断面、パイプ断面などの閉断面部材に対して終局ひずみの算定式が提案されているが、鋼橋の上部構造に使用される H 形断面に関してはほとんど研究されてこなかった。本論文は、H 形断面部材の耐震性能照査に使用出来る終局ひずみの経験式を求めることを目標としている。

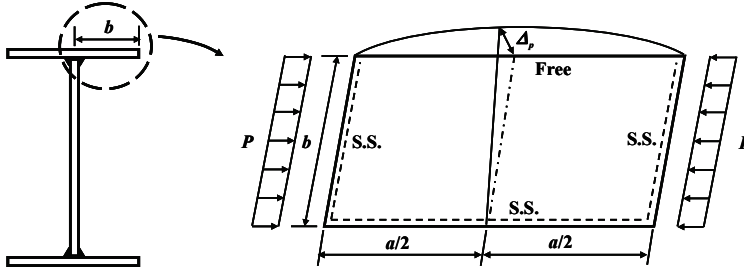


図-1 片持板の解析モデル

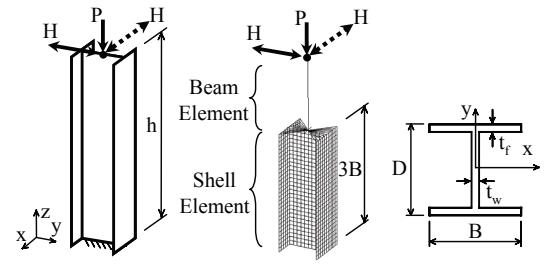


図-2 片持柱の解析モデル

2. H 形断面フランジの終局ひずみ算定式

日沖¹⁾ は、H形断面部材の片フランジを、純圧縮を受ける三辺単純支持、一辺自由の片持板にモデル化し(図-1)、板断面の平均軸圧縮応力が最大値の 95%まで低下したときの平均軸ひずみを終局ひずみ ε_u とした。解析モデルは強度がほぼ最低となるアスペクト比 $a/b=2.0$ の片持板を用いたため、H形部材の照査に利用するときの有効破壊長 L_e も $2b$ となる。解析により提案された ε_u の算定式は式(1)で表される。ここで、 R_f : フランジの幅厚比パラメータ $=b/t_f \sqrt{12(1-\nu^2)\sigma_y/(Ek\pi^2)}$, σ_y : 降伏応力, b : 片フランジ幅 $=B/2$, t_f : フランジの板厚, E : ヤング係数, ν : ポアソン比, k : 座屈係数 $=0.425$ 。式(1)の妥当性を検討するために、シェル要素により算定された片持柱の終局変位をベンチマークとし、はり要素によるPushover解析結果に式(1)を用いて算定した終局変位を比較する。

3. シェル要素解析の結果

両端単純支持部材の半分を表す片持柱を解析に用いる。荷重は図-2 に示すように、自由端に一定鉛直荷重 P を加えながら強軸または弱軸方向に繰返し水平荷重を与える。

解析は汎用ソフトABAQUS 6.5で行い、4 節点の低減積分シェル要素 (S4R) とはり要素 (B31) でモデル化を行う。鋼材はSS400を用いて、硬化則は修正 2 曲面モデルを利用する。弱軸まわりにsine波形で最大値 $h/1000$ の全体初期たわみを与える。解析ケースは、弱軸まわり細長比パラメータ $\bar{\lambda}_w$ (0.3, 0.7, 1.0, 1.4), フランジ幅厚比パラメータ R_f (0.40, 0.53, 0.69) と軸力比 P/P_y (0.20, 0.35, 0.50) の組み合わせによって定める。ここで $\bar{\lambda}_w = \beta h / r \pi \sqrt{\sigma_y / E}$, β : 有効座屈長係数 ($=2.0$), r : 弱軸まわりの断面二次半径である。

解析からH形部材の挙動を分析し、破壊モードは、弱軸荷重の場合局部座屈、強軸荷重の場合横ねじれ座屈、或いは局部と横ねじれの連成座屈があるとわかった。挙動の詳細については文献 2)を参照されたい。また、水平荷重 H と水平変位 δ との関係を表す H - δ 繰返し曲線から包絡線を求め、 H が最大値の 95%まで低減したときの終局変位 $\delta_{u,shell}$ をまとめた。

4. はり要素解析による終局ひずみ算定式の検証

はり要素解析は、柱全体をはり要素 (B31) でモデル化し、自由端の水平変位を単調に増大させてPushover解析を行う。圧縮側フランジ端部(図-5)の軸ひずみ ε_f の、有効破壊長領域での平均値 ε_{fa} を算出し、 ε_{fa} が終局ひずみ

キーワード H 形断面, 終局ひずみ, 座屈, 耐震照査

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1 丁目 501 番地, 名城大学理工学部

ε_u に達したときの変位を、はり要素解析の終局変位予測値 $\delta_{u,beam}$ とする。すべてのケースにおいて $\delta_{u,shell}$ を横軸に、 $\delta_{u,beam}$ を縦軸にした比較を図-3に示す。式(1)の適用性が非常に限られていることが図-3からわかる。

5. 新たな終局ひずみ算定式の提案

前節の比較に基づいて終局ひずみの影響因子を調べた結果、軸力比 P/P_y 、また、強軸方向載荷のとき、横ねじれ座屈に関連する $\bar{\lambda}_w$ と断面のねじり特性を表すパラメータ $D_T=J/(AD^2)$ (J : 断面ねじり係数)を式に用いることにする。したがって、算定式は強軸方向と弱軸方向載荷に対し、それぞれ式(2)と式(3)のように修正する。強軸方向載荷の修正式に関しては、文献3)にも作者らの記述があったが、当時の検討に不十分なところがあったため、本論文で提案する式(2)はその後の検討を踏まえたものである。式(2)と(3)による解析結果の比較は図-4に示しており、よい対応が取れていることがわかる。また、強軸と弱軸2方向の水平荷重成分が同時にあるとき、フランジ先端および中央の軸ひずみ（それぞれ、 ε_m と ε_f 、図-5）の有効破壊長領域における平均値の比 $\varepsilon_{ma}/\varepsilon_{fa}$ を用いて、以下のように判定する。

- 1) $\varepsilon_{ma}/\varepsilon_{fa} > 0.4$: 強軸方向荷重卓越、式(2)を使用。
- 2) $\varepsilon_{ma}/\varepsilon_{fa} \leq 0.4$: 弱軸方向荷重卓越、式(3)を使用。

この手法を検証するため、2方向載荷の解析を追加し、その結果を図-6に示す。概ね良好な対応関係になっていることが分かる。

6. まとめ

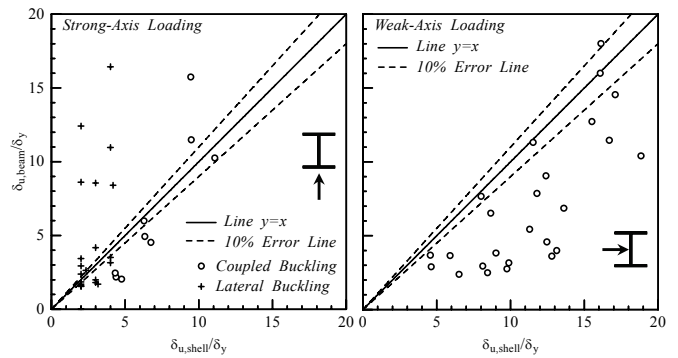
本研究の結果をまとめると次のようになる。

1. H形断面フランジの終局ひずみ算定式(1)の妥当性を解析より検討した。
2. その結果、弱軸方向載荷の場合式(1)は非常に保守的であり、強軸方向載荷の横ねじれ座屈の場合危険側の推定を与えるとわかったので、新たな終局ひずみ算定式(2)と(3)を提案した。
3. 2方向に水平荷重を受ける部材に関して、圧縮フランジのひずみ勾配 $\varepsilon_{ma}/\varepsilon_{fa}$ より荷重作用が卓越する方向を決めた上、照査を行う方法を提案した。

本照査法を用いた、アーチ橋のH形断面アーチリブへの適用例は、文献3)に記述しているが、当日詳しく述べる。

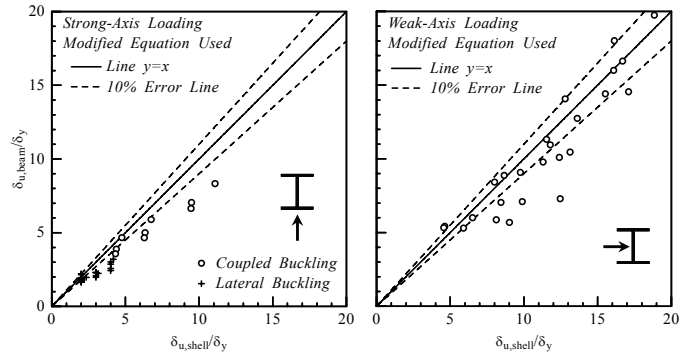
参考文献

- 1) 日沖堅治：制震ブレースを用いた鋼アーチ橋の大地震時弾塑性挙動に関する研究，名古屋大学修士論文，2003。
- 2) Ma, X., Usami, T., and Ge, H.B.: The inelastic behavior of H-section beam-columns under cyclic lateral loading, *Proc. 8th Symposium on Ductility Design Method for Bridges*, JSCE, 2006。
- 3) 宇佐美勉，馬翔，野中哲也：H形断面部材よりなる鋼構造物の耐震性能照査，第9回保耐法シンポジウム論文集，2006。



(a) 強軸方向載荷時 (b) 弱軸方向載荷時

図-3 終局ひずみ算定式の検証



(a) 強軸方向載荷時 (b) 弱軸方向載荷時

図-4 修正終局ひずみ算定式の検証

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{5.5(1 - P/P_y)^{1.6} (1000D_T)^{0.57}}{(\bar{\lambda}_{weak} - 0.2)^{0.53}} + \frac{0.65}{(R_f - 0.08/\bar{\lambda}_{weak})^{0.82}} \leq 20.0 \quad (2)$$

($0.3 \leq \bar{\lambda}_{weak} \leq 1.4, 0.0 \leq P/P_y \leq 0.5, 0.4 \leq R_f \leq 0.7$)

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{1.26(1 - P/P_y)^{0.145}}{(R_f - 0.5)^{0.540}} + 17.5(1 - P/P_y)^{3.35} \leq 20.0 & 0.5 < R_f \leq 0.7 \\ 20.0 & R_f \leq 0.5 \end{cases} \quad (3)$$

($0.0 \leq P/P_y \leq 0.7$)

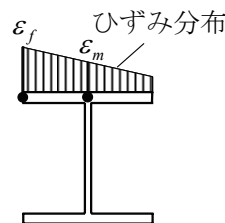


図-5 フランジのひずみ照査箇所

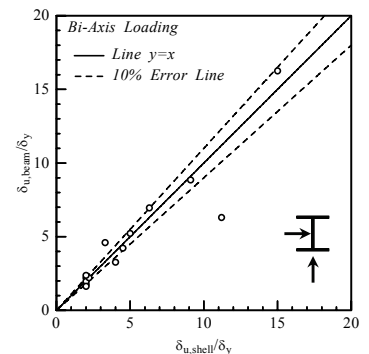


図-6 2方向載荷時の終局ひずみ算定式の検証