

軸力と 2 軸曲げの影響を考慮した H 型部材の終局ひずみ算定式について

熊本大学工学部 学生員 ○村田 昌敏 熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝
熊本大学大学院 学生員 工藤祐資 熊本大学大学院 ファイザル・チャンドラ

1. はじめに

アーチ系橋梁等の耐震性能照査方法の一つにひずみ照査法がある．この照査法では，部材セグメント変形能損失の条件から求まる終局ひずみが必要となる．既往の研究により，軸力と 1 軸曲げの影響を考慮した H 型断面部材（図 1）の終局ひずみの算定式は提案されている¹⁾が，2 軸曲げを同時に考慮した算定式はまだ提案されていない．一方，上路式鋼アーチ橋梁の地震時挙動を調べると H 型断面の横桁部材には軸力と 2 軸曲げのモーメントも受けていることが図 2 のように明らかになった．本研究は，H 型断面の短柱部材を対象に FEM 解析を行なって，部材の終局挙動を把握し，軸力と 2 軸曲げの影響を考慮した終局ひずみ算定式の提案を試みたものである．

2. 解析手法の概要

軸圧縮と曲げを受ける H 型断面短柱部材の変形能を支配する重要なパラメータとして幅厚比パラメータ R_f , R_w を断面寸法の決定に用いた．図 1 に示す H 型部材の R_f と R_w はフランジとウェブの幅厚比 b_f/t_f , h_w/t_w を鋼材の降伏応力を考慮して無次元化した下式(1)(2)より求めた¹⁾．

$$R_f = \frac{b_f}{t_f} \sqrt{\frac{\sigma_y 12(1-\nu^2)}{E \pi^2 k_f}} \quad (1), \quad R_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{\sigma_y 12(1-\nu^2)}{E \pi^2 k_w}} \quad (2)$$

ここに，
座屈係数
 $k_f = 0.425$
 $k_w = 4.0$

また，アーチ橋に使用される H 型断面データを参考に R_f 及び R_w を 0.6～1.0 の範囲で変化させた．鋼種は SS400 を想定し，ヤング率： $E=206\text{kN/mm}^2$ ，降伏応力 $\sigma_y = 235\text{N/mm}^2$ ，ポアソン比 $\nu = 0.3$ とした．既往の研究より，短柱モデルの高さ L は，高さウェブ幅の比 L/h_w が 0.8 の時に最大強度が最小になるので，この高さを用いた¹⁾．解析モデルは，軸各平面で対称的な挙動を示すと仮定し，部材の軸方向 $L/2$ 部分を解析対象とした．なおウェブ，フランジの板幅及び高さの分割数はそれぞれ 30，20，12 とした．初期不整は，初期たわみと圧延残留応力を考慮した．初期たわみは，図 3 に示すようにウェブの最大初期たわみを $h_w/150$ ，フランジの最大初期たわみを $b/200$ と考慮して与え，残留応力の分布は図 4 のように最大圧縮残留応力を $0.2\sigma_y$ として与えた．荷重は一定軸力 P と曲げモーメント M に対応する回転角 θ を変位制御により与えた．軸力の影響をみるため各モデルにおいて軸力比 P/P_y (P_y :降伏軸荷重) を 0.0～0.6 に変化させた．また，2 軸曲げモーメントの荷重は，弱軸回りの曲げモーメントを M/M_y が 0.2 から 0.6 の範囲で与え，その後強軸回りの曲げモーメントを漸増して与えた．解析には FEM 解析汎用プログラム MARC を使用した²⁾．

3. 解析結果と考察

図 5 は解析モデルに軸圧縮と 2 軸曲げを载荷した解析の一例である．(a) $R_f=R_w=0.6$ と (b) $R_f=R_w=0.8$ の短柱部材に弱軸回りの曲げモーメント $M_z/M_{zy}=0.2$ を载荷した後，強軸回りの曲げモーメントを漸増载荷した．解析より得られた曲げモーメント M_y を降伏曲げモーメント M_{yy} で無次元化した M_y/M_{yy} と対応する回転角

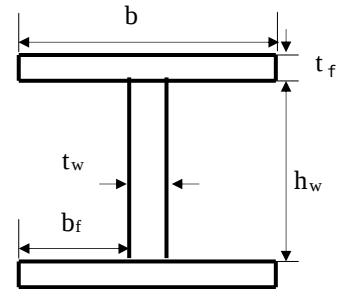


図 1 モデル断面図

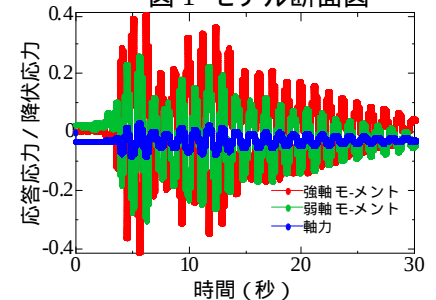


図 2 H 型断面の横桁の応答結果 時間

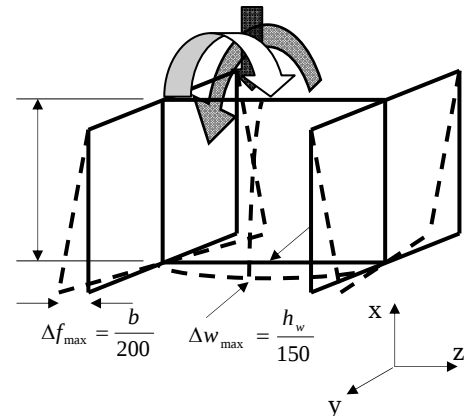


図 3 解析モデルと初期たわみ形

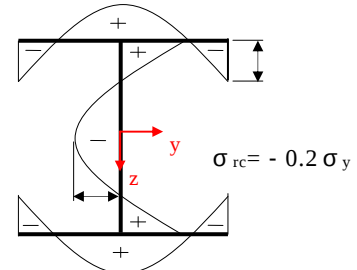


図 4 圧延残留応力分布

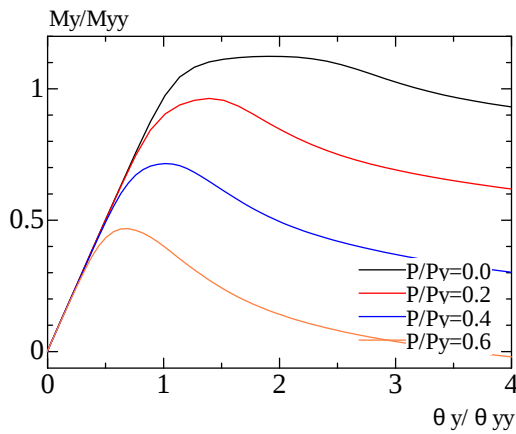
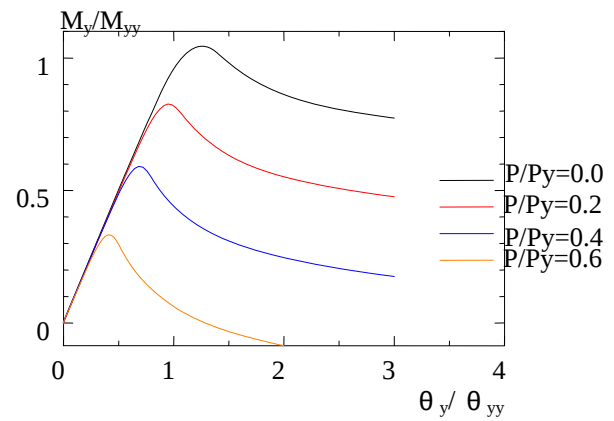
(a) $R_f=R_w=0.6$, $M_z/M_{zy}=0.2$ (b) $R_f=R_w=0.8$, $M_z/M_{zy}=0.2$

図5 強軸回りの曲げモーメントとたわみ角の関係

 $\varepsilon / \varepsilon_y$

θ_y とを降伏回転角 θ_{yy} で除した θ_y / θ_{yy} との関係を示した．図からわかるように，幅厚比が大きくなると最大強度に達したとの剛性低下が激しくなる．なお，2 軸曲げを載荷する場合，曲げモーメントの載荷順序が問題になるが，全部のパラメータではないが，載荷順序の影響は大きくなかった．今後，この点については検討する必要がある．以上の結果が得られたら，図を利用して終局ひずみを求めるが，既往の研究より最大強度点からの 95%強度へ低下した点に対応する平均曲率を求め，さらに軸圧縮力による軸ひずみと曲げモーメントによる中立軸の移動によって生じた軸ひずみを考慮して求めた圧縮側最外縁のひずみを終局ひずみとした¹⁾．

図6は得られた終局ひずみの結果を用いて，終局ひずみ算定式を検討した一例である．解析により得られたひずみ ε を終局ひずみ ε_y で無次元化した $\varepsilon / \varepsilon_y$ と，解析部材のウェブの幅厚比パラメータ R_w の関係を示した．なお，現在検討中のひずみ算定式は式(3)であるが，パラメータが多いため必ずしもうまく表現できていない．詳細については講演当日発表の予定である．

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} = \frac{0.5}{(x-0.4)^A} + \frac{M_z}{M_{zy}} - \frac{P}{P_y} \times 0.3 + 0.8 \quad \text{ここに, } A = R_f - \frac{P}{P_y} \times 0.6 - 0.1$$

$$(0.6 \leq R_f \leq 1.0, \quad 0.6 \leq R_w \leq 1.0 \quad 0.2 \leq \frac{M_z}{M_{zz}} \leq 0.6 \quad 0 \leq \frac{P}{P_y} \leq 0.6)$$

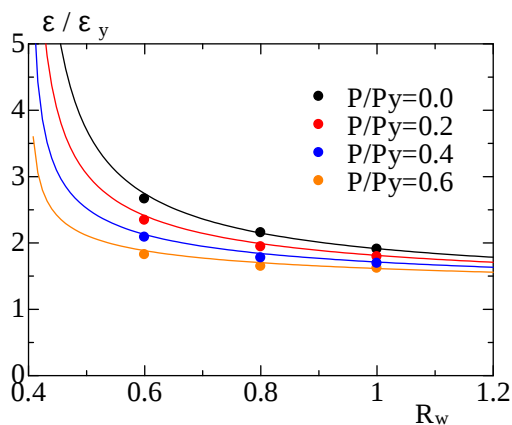
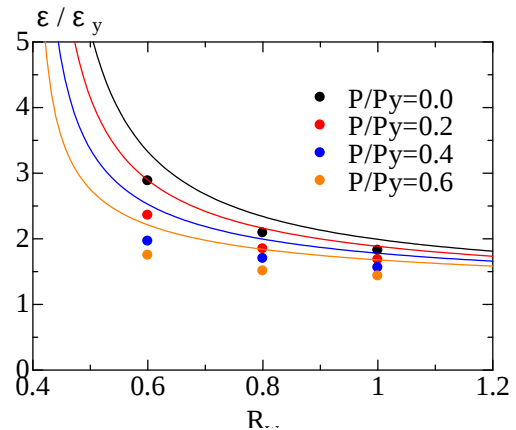
(a) $R_f=0.8$, $M_z/M_{zy}=0.4$ (b) $R_f=1.0$, $M_z/M_{zy}=0.4$

図6 終局ひずみと幅厚比の関係

参考文献

- 1) 山本誠：部材の終局ひずみによる上路式鋼アーチ橋の性能照査法，熊本大学提出平成16年度修士論文，2005
- 2) 日本 MARC(株)：MARC Manual Volume A-F & MSC Marc，2003
- 3) 崎元達郎，他：局部座屈を考慮した箱型断面鋼部材の・・・，土木学会論文集 No.647/I-51，pp.343-355，2000
- 4) 宇佐美勉，他：H型断面部材よりなる鋼橋の耐震性能照査法，構造工学論文集 vol.53A，pp. 371-379，2007