

細長比パラメータの大きい鋼部材に対するひずみ照査法の適用性

早稲田大学大学院 創造理工学研究科
早稲田大学 創造理工学部
(株)IHI インフラシステム
(株)耐震解析研究所

学生員 ○竹沢 洋輝
正会員 小野 潔
正会員 岡田 誠司
正会員 馬越 一也

1. はじめに

既往の文献 1)により矩形断面鋼部材の耐震性能照査法としてひずみ照査法が提案されている。この文献 1)で提案されたひずみ照査法では、部材健全度 2(軽微な損傷)の地震後の使用性に対する照査の際にはひずみの制限値を $2\epsilon_y$ としている。また文献 1)では、鋼部材の水平荷重－水平変位関係において、部材の応答ひずみが $2\epsilon_y$ に達する点(以下「 $2\epsilon_y$ 点」とする)が、最大荷重点に対して変形能を十分残している(十分離れている)図が示されている。このひずみ制限値 $2\epsilon_y$ は鋼アーチ橋のアーチリブなどの動的解析や補強工法の検討などに適用されている例が報告されているが、一般的にアーチリブなどの部材は細長比パラメータが大きく変形能が期待できない可能性がある。また、変形能が望めない部材においては、部材の最大荷重点に対して $2\epsilon_y$ 点が近くなる可能性が指摘されている 2)。そこで本稿では、弾塑性有限変位解析を用いて細長比パラメータが大きい矩形断面鋼部材の耐震性能を把握し、さらにファイバーモデルを用いた解析結果と比較することでひずみ照査法の適用性を検証した。

2. 解析手法の妥当性の確認

2.1. 解析モデル

鋼部材の耐震性能の把握に先立ち、既往の正負交番荷重実験 3)で得られた実験結果と弾塑性有限変位解析結果とを比較することにより解析手法の妥当性を確認した。細長比パラメータが大きい供試体(S-44-15: $\bar{\lambda}=0.44$, $R_R=0.45$, $R_F=0.42$, $N/N_y=0.15$, 補剛材の剛比 $\gamma/\gamma^*=1.19$)を対象とした。供試体の構造諸元を表-1に、寸法図を図-1に示す。解析モデルは図-2に示す通り適切な分割数を設定し、解析プログラムは大阪大学で開発された CYNAS⁴⁾を用いた。また、解析モデルには残留応力および初期たわみを導入し、実験条件と同様に一定軸力下における降伏水平変位 δ_y の整数倍を片振幅とした漸増繰り返し繰り返し載荷解析(各 δ_y における繰り返し載荷回数は1回)を行った。

2.2. 実験結果と解析結果の比較

実験結果と解析結果の比較にあたり、軸力を考慮した降伏水平荷重 P_y をそれぞれの履歴曲線から得られる初期勾配で除した値である δ_y を算出し、無次元化した指標を用いた荷重－変位関係を用いた。実験結果と解析結果の比較を図-3に示す。図から最大荷重に至るまでの履歴はほぼ一致していることがわかる。したがって、弾塑性有限変位解析による解析手法の妥当性が確認できた。

表-1 供試体諸元

供試体	S-44-15
鋼材	SM490
外形寸法 (mm)	542×542
フランジ厚 (mm)	6
ウェブ厚 (mm)	6
縦リブ寸法 (mm)	60×6
高さ (mm)	3729
リブ枚数	3

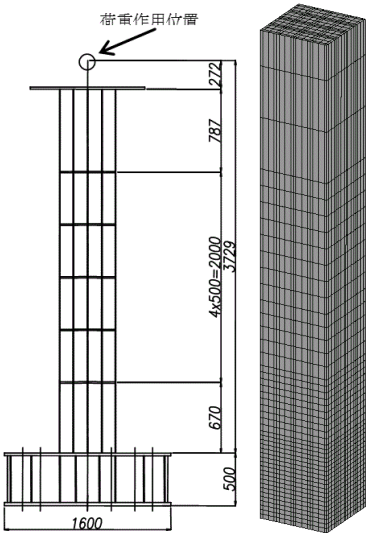


図-1

図-2

供試体寸法 3) 解析モデル図

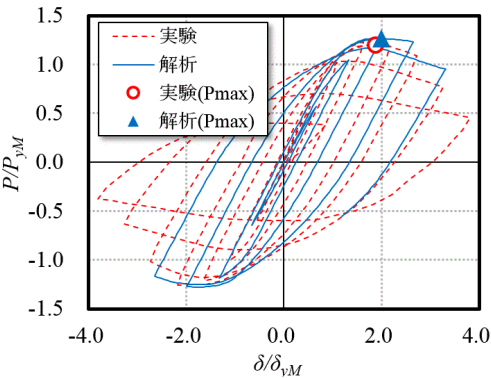


図-3 実験と解析の比較

キーワード ひずみ照査法, $2\epsilon_y$, 細長比パラメータ, 弾塑性有限変位解析, ファイバーモデル

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学大学院創造理工学研究科 TEL 03-5286-3387

表-2 解析モデルの諸元

	P-33-10	P-53-10	P-55-10
鋼種	SM490Y		
外形寸法 (mm)	921×921		
フランジ厚 (mm)	21		
ウェブ厚 (mm)	21		
縦リブ幅 (mm)	150	140	103
縦リブ厚 (mm)	20	18	13
高さ (mm)	6,600	6,500	6,700
リブ枚数	2	2	2
補剛材の剛比 γ/γ^*	1.01	2.79	1.00
軸力比 N/N_y	0.10	0.10	0.10
細長比パラメータ $\bar{\lambda}$	0.50		
幅厚比パラメータ R_R	0.30	0.50	0.50
幅厚比パラメータ R_F	0.30	0.30	0.50

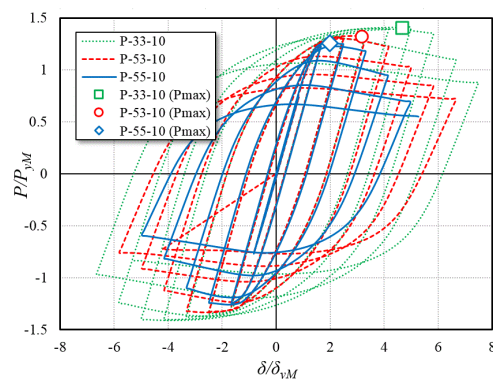


図-4 幅厚比パラメータの影響

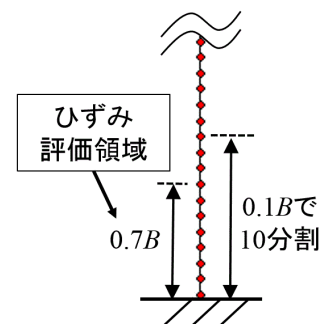


図-5 ひずみ評価領域の分割数

3. 弾塑性有限変位解析による鋼部材の耐震性能の把握

妥当性を確認した解析手法および解析条件を用いて、細長比パラメータの大きい鋼部材($\bar{\lambda}=0.50$)の耐震性能を調査した。その際、変形能に関わる諸要因の一つである補剛板の幅厚比パラメータが異なるモデルを対象とした。解析モデルの構造諸元を表-2に示す。また、無次元化した指標を用いた荷重-変位関係と最大荷重点を図-4に示す。この図から、幅厚比パラメータが増加するほど耐力および変形能が低下していることがわかる。

4. ファイバーモデル解析によるひずみ照査法の適用性の検証

ファイバーモデル解析により $2\epsilon_y$ 点を算出し、弾塑性有限変位解析で得られた結果と比較することでひずみ照査法の適用性を確認した。解析プログラムはSeanFEM⁵⁾を用い、材料を降伏後勾配が $E/100$ のとなるバイリニア型の移動硬化則として、漸増繰り返し载荷を行った。適切な分割数⁶⁾を設定し、図-5に示したフランジ幅分の高さの0.7倍の領域においての平均応答圧縮ひずみを解析することで $2\epsilon_y$ 点を算出した。図-6~8に弾塑性有限変位解析結果と算出された $2\epsilon_y$ 点を比較した図を示す。 R_R , $R_F=0.30$ の場合(図-6)は文献1)に示された通り $2\epsilon_y$ 点と最大荷重点は離れていることが確認できるが、 R_R , $R_F=0.50$ の場合(図-8)においては $2\epsilon_y$ 点が最大荷重点に近づいており、変形能に余裕はみられない。図から、幅厚比パラメータが増加するにつれて $2\epsilon_y$ 点は最大荷重点に近づいていく傾向が確認できる。

5. まとめ

本稿では細長比パラメータの大きい鋼部材を対象に弾塑性有限変位解析を用いて耐震性能を把握し、ファイバーモデル解析結果と比較することでひずみ照査法のひずみ制限値 $2\epsilon_y$ の適用性を検証した。その結果、細長比パラメータおよび幅厚比パラメータが大きい鋼部材の場合、 $2\epsilon_y$ 点が最大荷重点に近づく傾向が確認された。ただし、本稿は特定の条件下の部材のみ対象としたものであるため、具体的なひずみ照査法の適用範囲の検討に関しては今後の課題となる。

【参考文献】1)宇佐美勉編著：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，(社)日本鋼構造協会，2006年9月。2)小野潔，橋本亮，西村宣男，山口栄輝：ファイバーモデルを用いた補剛矩形断面鋼部材の耐震性能照査法に関する一提案，橋梁と基礎，2007年6月。3)岡田誠司，小野潔，谷上裕明，徳永宗正，西村宣男：高圧縮軸力が作用する矩形断面鋼部材の耐震性能評価に関する研究，土木学会論文集A，Vol.66(3)，pp.576-595，2010年9月。4)西村宣夫，小野潔，池内智行：単調載荷曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式，土木学会論文集，No.513/I-31，pp.27-38，1995年4月。5) (株)耐震解析研究所：SeanFEM (ver.1.2.3)，2006年。6) (社)日本鋼構造協会：ファイバーモデルを用いた鋼橋の動的耐震解析の現状と信頼性向上，鋼橋の合理化構造・設計法研究委員会，2011年2月。

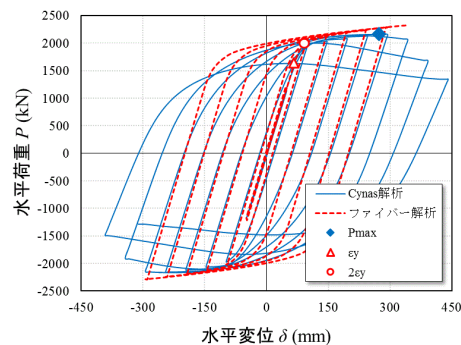


図-6 P-33-10における比較

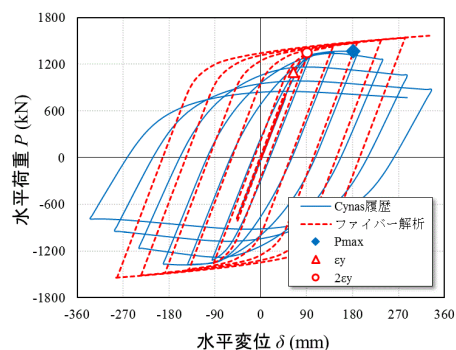


図-7 P-53-10における比較

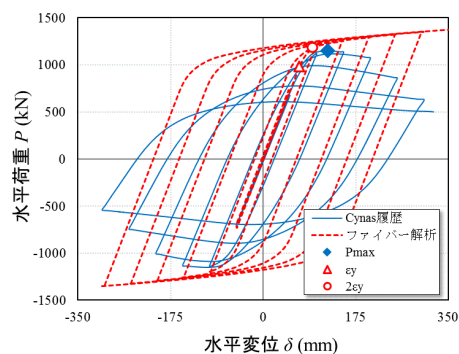


図-8 P-55-10における比較