

軸力変動の生じる矩形断面鋼部材の耐震性能照査法に関する研究

大阪大学大学院工学研究科
東京工業大学大学院理工学研究科
国土交通省中国地方整備局
株式会社 IHI
大阪大学名誉教授
大阪大学大学院工学研究科

学生員 ○徳永 宗正
正会員 小野 潔
正会員 橋本 亮
正会員 岡田 誠司
フェロー 西村 宣男
正会員 奈良 敬

1. 目的

既往の研究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^{1),2)}が提案されているが、これらの照査法は軸力一定の条件下での実験結果を基に提案されている。一般にラーメン柱やアーチリブ等は、地震時の軸力が一定とならず、軸力変動が生じる部材として知られている。部材に軸力変動が生じる場合、その影響により部材の耐震性能が変化する可能性があるため、既往の照査法の軸力変動が生じる部材に対する適用性を検証する必要がある。そこで本稿では、大阪大学で行われた軸力変動が生じる矩形断面鋼部材の正負交番載荷実験の結果、シェル要素を用いた有限要素解析の結果を用い、ファイバーモデルを用いた解析結果との比較により、軸力変動が生じる部材に対する既往のひずみ照査法²⁾の妥当性の検証を行った。

2. 軸力変動部材の実験結果とシェル要素を用いた有限要素解析結果

大阪大学で行われた単柱式鋼製橋脚の正負交番載荷実験、及び実験結果を基に妥当性が確認されているシェル要素を用いた弾塑性有限要素解析の構造諸元を表-1に示す。³⁾

実験については、初期軸力比 N_0/N_y が 15%、35%、50%の軸力一定供試体 (S-21-15, S-21-35, S-21-50) と、初期軸力比 N_0/N_y が 25%で図-1 の関係を満たしながら、水平力の変化と共に軸力比 N/N_y が約 7% ~ 52%と変化する軸力変動供試体 (S-21-軸変) が用いられた。供試体の実験模式図を図-2 に、および実験結果から得られる荷重-変位関係の圧縮側の包絡線を図-3に示す。図から、S-21-軸変は S-21-50 よりも変形性能が向上していることがわかる。

解析については、初期軸力比 N_0/N_y が 15%の軸力一定モデル (S1, S2, ...) と、初期軸力比 N_0/N_y が 15%で軸力比 N/N_y が-5% ~ 35%と変化する軸力変動モデル (S1-N15-35, S1-N15-35, ...)、初期軸力比 N_0/N_y が 15%で軸力比 N/N_y が-20% ~ 50%と変化する軸力変動モデル (S1-N15-50, S1-N15-50, ...) が用いられた。

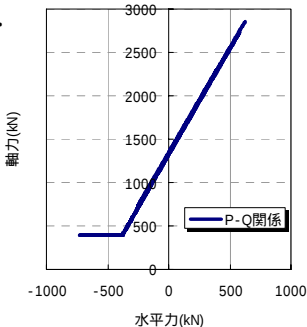


図-1 水平力 P と軸力 N の関係

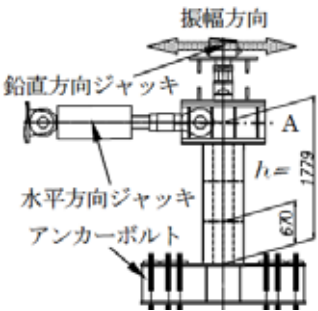


図-2 実験模式図

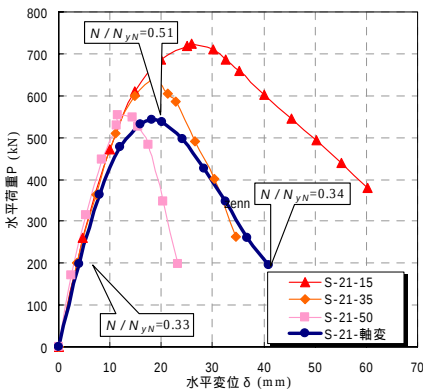


図-3 実験の荷重-変位包絡線

表-1 実験供試体、解析モデルの構造諸元

実験供試体 解析モデル名	実験	解析									
	S-21-15	S1	S3	S6	S7	S9	S12	S13	S15	S18	
	S-21-35	S1-N15-35	S3-N15-35	S6-N15-35	S7-N15-35	S9-N15-35	S12-N15-35	S13-N15-35	S15-N15-35	S18-N15-35	
	S-21-50	S1-N15-50	S3-N15-50	S6-N15-50	S7-N15-50	S9-N15-50	S12-N15-50	S13-N15-50	S15-N15-50	S18-N15-50	
	S-21-軸変										
フランジ幅(mm)	536	2745	2745	2745	2745	2745	2745	2745	2745	2745	
フランジ厚 (mm)	6	24	24	40	24	24	40	24	24	40	
ウェブ幅 (mm)	536	2745	2745	2745	2745	2745	2745	2745	2745	2745	
ウェブ厚 (mm)	6	24	24	40	24	24	40	24	24	40	
リブ幅 (mm)	60	226	309	338	226	309	338	226	309	338	
t_f (mm)	6	25	35	38	25	35	38	25	35	38	
フランジリブ本数	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
ウェブリブ本数	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
I (mm ⁴)	1779	20560	20030	20190	14395	14025	14137	8226	8015	8078	
λ	0.21	0.50	0.50	0.50	0.35	0.35	0.35	0.20	0.20	0.20	
R_R	0.45	0.50	0.50	0.30	0.50	0.50	0.30	0.50	0.50	0.30	
R_F	0.42	0.50	0.30	0.30	0.50	0.30	0.30	0.50	0.30	0.30	

キーワード 軸力変動 矩形断面鋼部材 耐震性能照査法 ひずみ照査法 ファイバーモデル 実験
連絡先: 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻係 TEL06-6879-7599

3. ファイバーモデル解析

前項で示した実験供試体、解析モデルを対象にファイバーモデルを用いた解析を行い、許容ひずみ算定式(1)²⁾により許容水平変位 δ_a 、許容水平荷重 P_a (最大荷重時に対応)、を算出した。解析条件としては、図-4 に示す解析モデルを用い、材料非線形は降伏後の勾配が $E/100$ のとなるバイリニア型で考慮し、荷重制御でプッシュオーバー解析を行った。また、解析プログラムとしては汎用プログラム EERC⁴⁾を使用した。ひずみ評価領域 $L = (B_F + B_W)/2$

$$\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_y} = \frac{1.6}{0.04 + 2(N/N_y)^3 + (N/N_y)^{2/\lambda}} \exp \left[-\frac{\alpha^{-0.2} (\gamma_l/\gamma_l^*)^{0.25} R_F}{0.2 + 2(N/N_y)^3} \right] \quad (1)$$

N/N_y : 軸力比, α : アスペクト比, γ_l/γ_l^* : リブ剛比,

R_F : 幅厚比パラメータ, λ : 細長比パラメータ

図-5 に、実験供試体に対して、実験結果から得られる最大荷重時変位 δ_m と式(1)により算定された許容水平変位 δ_a を比較した図を示す。図から軸力一定供試体 (S-21-15, S-21-35, S-21-50) に対しては、式(1)はよい精度 ($\pm 10\%$ の誤差) で算定できていると言えるが、軸力変動供試体 (S-21-軸変) に対しては算定値 δ_a が実験値 δ_m の約-35% となり、式(1)は安全側の評価をしていると言える。

図-6 に、軸力一定解析モデルに対して、解析結果から得られる最大荷重時変位 δ_m と式(1)により算定された許容水平変位 δ_a を比較した図を示す。図-7 に、軸力変動解析モデルに対して、解析結果から得られる最大荷重時変位 δ_m と式(1)により算定された許容水平変位 δ_a を比較した図を示す。図から、解析モデルに対しても実験供試体と同様に、軸力変動モデルの場合は算定値 δ_a が実験値 δ_m を大きく下回り、その差は軸力変動の幅が大きくなるほど顕著となることが分かる。

実験、解析値 δ_m に対して算定値 δ_a が小さくなる原因としては、式(1)の評価手法では許容値を算出する際、算定値 δ_a が限界状態における軸力の大きさを基に算出されるため、軸力変動履歴を式の中で考慮できていないことが挙げられる。つまり部材に軸力変動が生じる場合、算定値は限界状態での軸力が常に作用する場合と同じ算定値となるため、式(1)は安全側の評価をすると言える。

4. まとめ

本稿では正負交番載荷実験、シェル要素解析の結果を基に、軸力変動が生じる部材に対する既往のひずみ照査法の妥当性の検証を行った。以下に結論の概要を示す。

- ・ 軸力変動が生じる部材は、限界状態での軸力が常時作用する部材よりも変形性能が上昇する。
- ・ 本稿で対象としたひずみ照査法を軸力変動部材に適用すると安全側の評価をする。
- ・ 軸力変動が生じる部材の耐震性能を適切に照査するためには、軸力変動の影響をなんらかの方法で考慮する必要がある。

【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，社会法人日本鋼構造協会，技報堂出版，2006. 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」への討議に対する回答，橋梁と基礎，2008.3. 3) 岡田誠司：高軸力が作用する矩形断面鋼部材の耐震性能および評価手法に関する研究，大阪大学学位論文，2005.1. 4) 株式会社地震工学研究開発センター：EERC/Fiber User's Manual，2007.

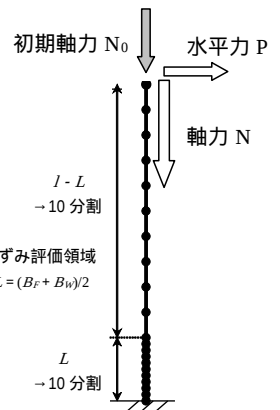


図-4 解析モデル概要

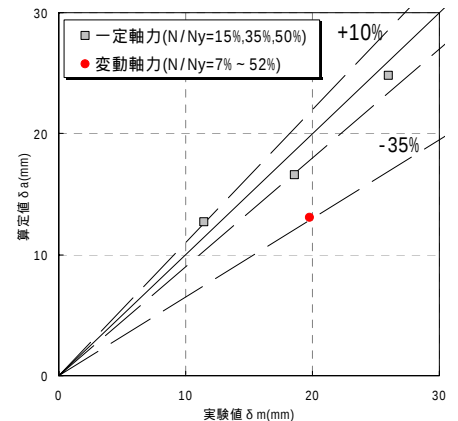


図-5 算定値と実験値の比較

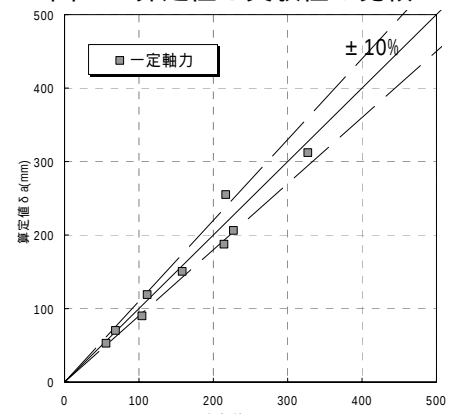


図-6 算定値と解析値の比較

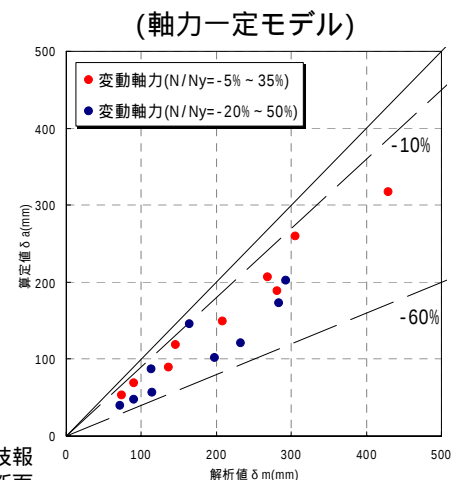


図-7 算定値と解析値の比較

(軸力変動モデル)