

大阪大学工学部 正員 西村宣男 大阪大学大学院 学生員○宇井 崇
 仁荷大学校工学部 正員 黄 元燮

1. はじめに 変形性能を考慮した鋼製橋脚の終局耐震設計法を確立するためには、構成パネルの局部座屈に対する安定性を別途に検討しながら、正確な応力-ひずみ関係を導入した数値解析法により、その弾塑性地震応答特性を検討しておくことが非常に重要であると考えられる。そこで、本研究では繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式を導入した弾塑性動的応答解析法を開発し、それを用いて鋼製橋脚の地震応答特性について種々検討する。

2. 解析手法 本研究においては、Updated Lagrangian手法に基づいて誘導された平面骨組構造物の弾塑性有限変位解析法に、動的解析手法としてNewmarkのβ法を適用した弾塑性動的解析手法を開発した。ただし、鋼材の応力-ひずみ関係としては、パウシンガー効果を考慮できるように、著者らの開発した単調載荷曲線に基づく繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式¹⁾を用いた。

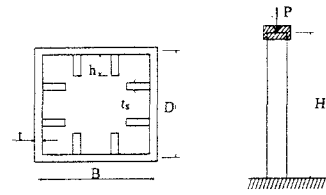


図-1 解析モデル

3. 解析モデル 解析モデルとしては上部構造として3径間連続橋を想定し、その質量を頂点に有する片持柱を考えた(図-1)。その設計にあたっては、実績調査²⁾を参考にしながら実際の諸元を有する補剛断面柱として設計した。試算設計にあたっては以下のような仮定を設けた。①局部座屈を生じない程度の幅厚比の板要素により構成される断面とする。具体的には、フランジおよび補剛材の板パネルの幅厚比パラメータをそれぞれ、0.5、0.6以下とする。②補剛材剛比を必要剛比の3倍以上とする³⁾。これらの条件以外は道路橋示方書に準拠して設計を行うものとする。試算設計されたモデルの諸元を表-1に示す。

表-1 解析モデルの諸元

model	H	B	D	t	N _c	N _w	h	t _s	R _r	R _w	λ	γ _c /γ _w	P/P _c	T
	(m)	(cm)	(cm)	(cm)			(cm)	(cm)						(sec)
T1	15	240	240	2.2	3	3	22	2.2	0.485	0.546	0.340	3.844	0.132	0.879
T2	20	280	280	2.5	3	3	23	2.5	0.498	0.502	0.389	3.176	0.102	1.024
T3	18	270	270	2.5	3	3	24	2.5	0.480	0.523	0.364	3.392	0.104	0.916

N_c, N_w: 補剛材本数 (フランジ, ウェブ), h, R_r, R_w: 幅厚比パラメータ, λ: 細長比パラメータ, γ_c: 補剛材剛比, γ_w: 補剛材の必要剛比, P: 作用軸力, P_c: 降伏軸力, T: 固有周期

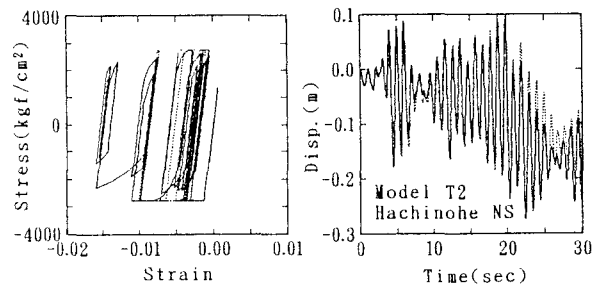


図-2 構成式の違いによる応答解析結果の相違

4. 入力地震動 地震応答解析においては、入力地震動として過去に記録された強震波形を用いるのが一般的である。本研究においても、代表的な強震記録波形 (El Centro, Taft, Hachinohe, Tohoku) を用いた解析を行った。ただし、最大加速度が400galになるように比例的に振幅を調整した。また、鉄筋コンクリート地震時保有水平耐力照査用の加速度応答スペクトルに適合する模擬地震波を30波作成して、それらに対する応答特性を調べた。模擬地震動の作成には、文献⁴⁾の方法を用いた。

5. 解析結果 (1) 構成式の違いによる応答解析結果の相違 図-2に完全弾塑性型の構成式を用いた場合と、繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式を用いた場合との応答解析結果の比較を示す。これより、変位応答には大きな差はみられないものの、応力-ひずみ履歴には顕著な相違が認められる。

(2) 強震記録波形に対する応答解析結果 解析モデルT1~T3の各記録強震波形に対する応答計算結果より、一般的な弾塑性応答のパターンが以下のように分類された。①応力-ひずみ履歴が、比較的小さなひずみ振

幅で安定的な閉じたループを描くような応答のパターン。この場合には残留変位は小さい。(パターンI) ②大きな塑性変形を生じた後に、応力-ひずみ履歴が小規模あるいは中規模の閉じたループを描くパターンであり、全体としては応力-ひずみのループは開いている。この場合には最初の大きな塑性変形によって、大きな残留変形を生じる。

(パターンII) ③塑性変形を生じた後に、小規模あるいは中規模の履歴ループを描きながら、最初に塑性変形した側に漸増的にひずみが進行していくパターン。この場合には、時間が経つとともに片側へ大きな変位が生じていく。(パターンIII) ④非常に大きな塑性変形が生じ、大きな履歴ループを描きながら片側に塑性ひずみが進行していくパターン。この場合には、残留変形は非常に大きく、著しい塑性変形が生じるため断面の剛性低下が著しく非常にシビアな状態となる。(パターンIV)

(3) 模擬地震動に関する応答解析結果 解析モデルT3に対して、模擬地震波30波を入力して解析を行った。模擬地震波に対する応答のヒストグラムを図-5に示す。これより最大曲げモーメントと降伏モーメント(軸力を考慮)の比は1.25付近に集中しているのが分かるが、塑性モーメントと降伏モーメントの比が1.27程度であることを考えると、基部断面の塑性化が中立軸の付近を残してかなり進行しているものと考えられる。最大応答変位についてみると平均で降伏水平変位の1.5倍程度であり、それほど大きな応答を示してはいない。次に、最大ひずみ、最大ひずみ振幅の両者を見比べてみると、分布形状は類似しており、最大ひずみ振幅は最大ひずみの最大ひずみの1.6倍程度のところに分布しているのが分かる。つまり、応答変位が小さく塑性化のレベルが低いので、応力-ひずみの履歴がかなり両振り状態に近いものと考えられる。なお、残留変位についてみると、おおむね柱高さの1/1000以下となっている。設計において考慮する初期たわみが、柱高さの1/1000であることを考えると、残留変形は大きいとはいえない。

6. あとがき 今後は、本研究により得られたひずみ履歴を入力データとする、鋼板の繰り返し挙動に関する解析等を行い、板パネルの局部座屈特性との関係について明らかにする必要がある。

参考文献 1) 西村宣男他: 単調荷重曲線に基づく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, 1995年4月 2) 中井 博他: 鋼製ラーメン橋脚の実績調査(上)(下), 橋梁と基礎, Vol.16, 1982年6, 7月

3) 宇佐美勉他: 繰り返し荷重を受ける鋼圧縮部材の強度と変形能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.93~106, 1991年3月 4) Housner, G. W. and Jennings, P. C.: Generation of Artificial Earthquake, Proc. of ASCE, Vol. 90, No. EM1, pp.113~150, 1964.

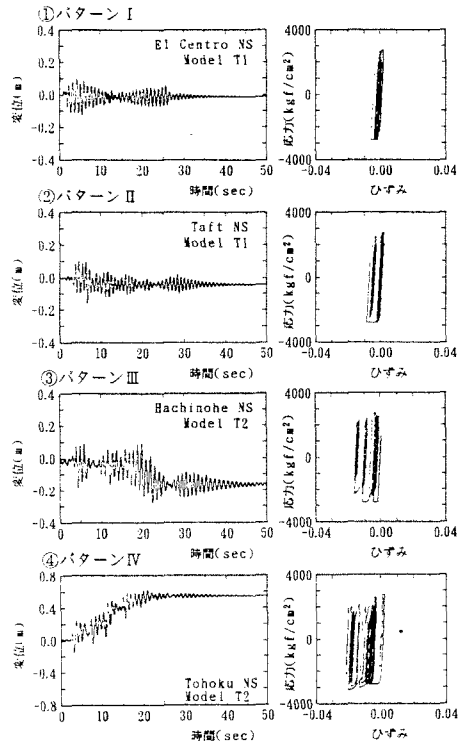


図-3 応力-ひずみ履歴の典型的な例

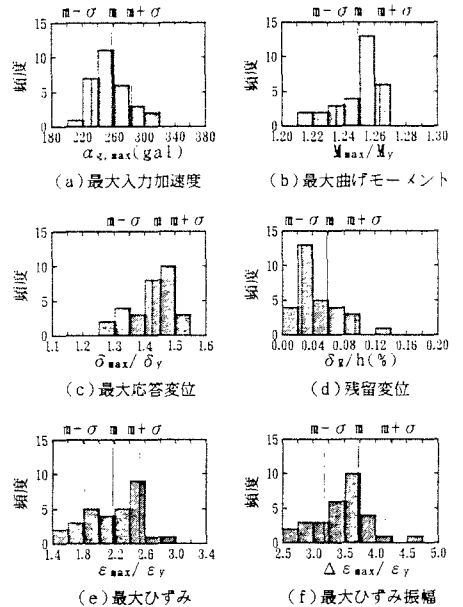


図-4 模擬地震波を用いた解析の結果