

関西大学大学院 学生員○越田容充 関西大学工学部 林 和正
香川大学工学部 正会員 白木 渡 ㈱ニュージェック 正会員 保田敬一
関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

兵庫県南部地震では、社会基盤施設が極めて甚大な損傷を受けた。その結果、社会基盤施設が地震に遭遇した場合、どの程度の損傷を被るかを予め把握し、十分な対策を講じておく必要性が痛感された。ところで、白木ら¹⁾は、鋼製ラーメン橋脚の保有水平耐力に着目し、その耐震信頼性を評価した。構造物の耐震性はその剛性と変形性能の両面から評価されるべきであろう。ここでは、構造物の変形性能に着目し、鋼製門形ラーメン橋脚の信頼性理論に基づいた耐震信頼性評価を試みる。

2. 解析対象構造物

上部構造の死荷重と活荷重に相当する横荷重 P と地震荷重に相当する水平力 H が作用する鋼製門形ラーメン橋脚を解析対象とする。解析モデルを図-1 に、その寸法諸元を表-1 に示す。ここに、各モデルは許容応力度設計法 (A) と荷重係数設計法 (B) に基づいてそれぞれ断面設計した。ラーメン橋脚の断面形状は、図-2 に示す無補剛箱形断面である。柱 (はり) のフランジの幅と厚さはそれぞれ $b_{cf}(b_{bf})$, $t_{cf}(t_{bf})$ 、腹板の幅と厚さはそれぞれ $b_{cw}(b_{bw})$, $t_{cw}(t_{bw})$ である。使用鋼材は SM490Y で、降伏点応力は $\sigma_y=355\text{MPa}$ 、縦弾性係数は $E=206\text{GPa}$ 、単位体積重量 $\rho=77\text{kN/m}^3$ である。

3. 鋼製門形ラーメン橋脚の構造解析手法

鋼製門形ラーメン橋脚の応答変位を求めるため、その弾塑性有限変位挙動を有限要素法で明らかにする。解析に必要な諸式を誘導するにあたり、つぎの仮定を設けた。すなわち、①Bernoulli-Euler の平面保持の仮定が満足される。②鋼材は、ひずみ硬化を考慮した bi-linear な応力-ひずみ関係にある。③柱とはりは、その塑性崩壊まで局部座屈しない。

4. 最大変位の確率モデル

構造物の固有周期を $T=0.1\sim5.0\text{sec}$ 、目標塑性率を $\mu_T=2.0, 3.0, 4.0, 5.0$ 、地動最大加速度を $A_{max}=600\sim1,000\text{gal}$ 、地盤種別をⅠ種地盤、Ⅱ種地盤、Ⅲ種地盤にそれぞれ設定し、最大変位応答スペクトルを算出した。ただし、減衰定数は $h=0.05$ 、復元力特性の2次剛性比はゼロとし、入力地震動には道路橋示方書²⁾の標準入力波を用いた。さらに、回帰分析によって最大変位の標準値を得た。構造物を設計する際、地盤種別、地動最大加速度、および目標塑性率は初期パラメータとして与えられる。構造物の固有周期は、寸法諸元によって変化する。それゆえここでは、最大変位の確率モデルを地盤種別、地動最大加速度、目標塑性率ごとに作成し、構造物の固有周期に関わらず同一に仮定した。なお、最大変位の確率モデルに対数正規分布を仮

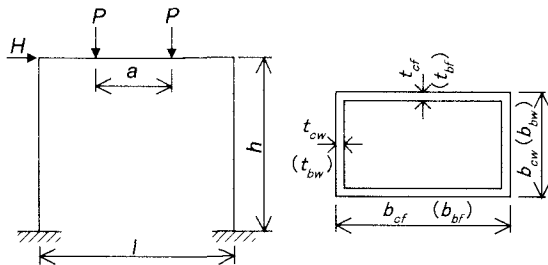


図-1 解析モデル

図-2 断面形状

表-1 寸法諸元

Model 設計法	1		2		3		4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
$\bar{h}$	10,000		10,000		20,000		20,000	
$\bar{l}$	20,000		30,000		20,000		30,000	
$b_{bf}=b_{cf}$	2,000		2,000		2,000		2,000	
b_{cw}	1,500		2,000		2,000		2,500	
$t_{cf}=t_{cw}$	31.6	27.4	43.3	27.9	20.3	33.1	29.3	28.2
b_{bw}	1,670		2,500		1,670		2,500	
$t_{bf}=t_{bw}$	24.5	22.7	31.7	21.8	20.2	33.1	26.2	26.4

A:許容応力度設計法 B:荷重係数設計法 単位:mm

定した。

5. 状態関数の設定

塑性ヒンジがラーメン橋脚に3個生じた時点を終局限界状態とする。それゆえ、鋼製門形ラーメン橋脚の信頼性解析につぎの限界状態関数を適用する。すなわち、

$$Z = \delta_u - \delta_d \quad (1)$$

ここに、 δ_u は弾塑性有限変位解析から算出される、構造物の限界状態時の変位である。 δ_d は、前述した回帰分析から算出される最大応答変位で確率量である。

6. 数値解析結果とその考察

(1) 鋼製ラーメン橋脚の終局変位

設計法 (A) と (B) で断面設計されたラーメン橋脚の終局変位を弾塑性有限変位解析によって算出した。図-3(A), (B)に橋脚の柱頭における水平力-水平変位の関係を示す。図中、縦軸と横軸はそれぞれラーメン橋脚の左側の柱頭における水平力 $H(\text{MN})$ と水平変位 $\delta(\text{mm})$ で、○印は塑性ヒンジが形成された時点を示す。

(2) 鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性評価

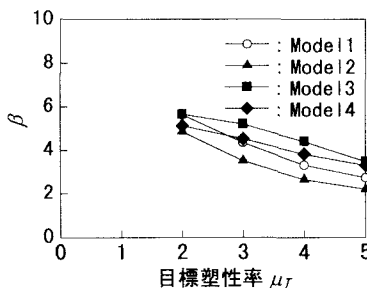
地震時における鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性を Cornell の信頼性指標 β によって評価する。信頼性解析の結果を図-4 と図-5 に示す。図-4 から明らかなように、目標塑性率の増大とともに β は低下する傾向にある。文献 1) では、耐力によって耐震信頼性を評価している。それによれば、塑性率の増加とともに β も増加する傾向にある。このことから、設計時に塑性率の判別が重要で、変形性能に注目すると、その判定が容易になる。図-5 から明らかなように、 $\bar{i}/\bar{h}$ の値が大きいほど β は低い。これは、図-3 からわかるように、Model 2 は他と比較して耐力が高くなっている。そのため変形性能に注目しても構造物の変位、耐力の両面から安全性照査が可能であるといえる。アメリカの設計規準 AASHTO では、目標信頼性指標を $\beta_T=3.5$ に規定している。図-5 と比較すると、Model 2 以外は $\beta=3.5$ 以上の値を得ている。その結果、変形性能の点から妥当な信頼性指標が得られる。

7. あとがき

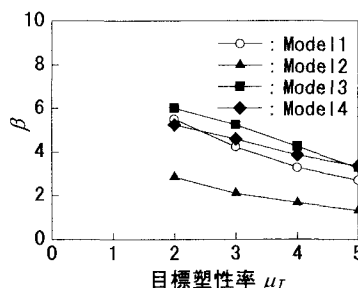
変形性能に着目した耐震信頼性評価を行った。信頼性解析より得られた結果は、AASHTO で規定されている信頼性指標と比較して妥当な結果となった。そのため、地震時の損傷程度を明確に把握可能で、構造物に対する要求性能の記述が容易な変形性能に注目した耐震信頼性評価の有効である。

参考文献

- 1) 白木ら：道路橋の耐震信頼性評価に用いる部分安全係数の解析法に関する研究(統計的手法に基づく方法), 2002-2.
- 2) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 丸善, 2002-3.

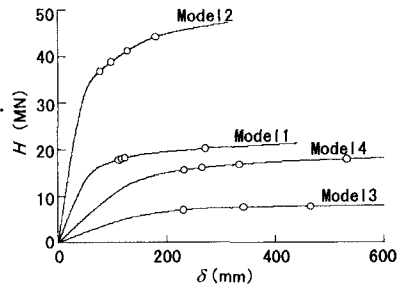


(A) 許容応力度設計法

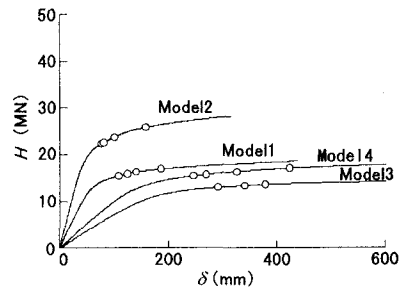


(B) 荷重係数設計法

図-4 目標塑性率による信頼性指標



(A) 許容応力度設計法



(B) 荷重係数設計法

図-3 水平力-水平変位の関係

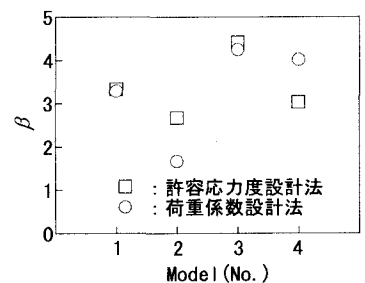


図-5 幾何形状による β