

I-A1 弾塑性有限変位理論に基づく鋼製ラーメン橋脚の耐震信頼性評価

関西大学大学院 学生員 山本優也\* 関西大学工学部 正会員 堂垣正博\*  
香川大学工学部 正会員 白木 渡\*\* 富士車輛(株) 正会員 松本 聡\*\*\*

1. はじめに

わが国では、都市高速道路の高架橋に鋼製ラーメン橋脚を採用する機会が多い。その幾何形状は、立地上の制約もあって、多様である。阪神大震災以降、橋脚の耐震設計に地震時保有水平耐力照査が義務づけられるようになった。従来から構造物の許容応力度設計法に対する批判は少なくなかったが、橋脚は依然として許容応力度設計法に基づいて設計される。

このような現状を踏まえ、ここでは許容応力度設計法と荷重係数設計法で断面設計した鋼製ラーメン橋脚を対象に、それらの弾塑性有限変位解析と信頼性解析を行い、構造系全体の耐震安全性を検討する。

2. 解析手法

**2.1 解析対象** 図-1に示すような鋼製の一層門形ラーメン橋脚を解析対象とし、鉛直荷重  $P$  と水平力  $H$  が作用するもとの崩壊メカニズムと耐震信頼性を明らかにする。対象とする骨組の柱とはりは無補剛の溶接集成箱形断面からなるものとする。また、その隅角部は十分に補強され、柱とはりの部分よりも先に崩壊することはないものとする。なお、使用鋼材は SM490Y で、降伏点応力は  $\sigma_y=353\text{MPa}$ 、縦弾性係数は  $E=206\text{GPa}$ 、単位体積重量は  $\rho=77\text{KN/m}^3$  である。図中、○印と数値は塑性ヒンジの発生する場所を示す。

**2.2 部材断面の決定** 本研究では、許容応力度設計法(A)と荷重係数設計法(B)で設計された2種類のラーメン橋脚を解析対象とする。また、死荷重、活荷重、温度荷重、地震荷重からなる荷重の組合せを設計荷重とする。設計法(A)では、平成8年改訂の道路橋示方書・共通編に規定された組合せ応力の照査式

$$\sigma_d + \sigma_L \leq 1.0\sigma_a, \quad \sigma_d + \sigma_L + \sigma_T \leq 1.15\sigma_a, \quad \sigma_d + \sigma_E \leq 1.5\sigma_a \quad (1)$$

に従って、設計法(B)では

$$1.05\sigma_d + 0.25\sigma_L + 0.27\sigma_T + 2.56\sigma_E \leq \sigma_y \quad (2)$$

に従って断面設計する。ここに  $\sigma_d, \sigma_L, \sigma_T, \sigma_E$  は個々の設計荷重を作用させた場合に生じる応力、 $\sigma_a$  は許容応力度である。得られた板厚と解析対象の寸法諸元を表-1に示す。

**2.3 耐震信頼性の評価法** 死荷重を確定量とし、確率量の活荷重と地震荷重を B-C 荷重モデルで理想化した。Turkstra の荷重組合せ規則を適用した際の構造物の信頼性を Hasofer-Lind 型の信頼性指標

$$\beta = \left( P_a - \sum_{i=1}^n A_{X_i} \mu'_{X_i} \right) / \sqrt{\sum_{i=1}^n A_{X_i}^2 \sigma_{X_i}^2} \alpha_i \quad (3)$$

で評価する。ここに、

$$\alpha_i = A_{X_i} \sigma'_{X_i} / k \quad (4)$$

$$k = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_{X_i}^2 \sigma_{X_i}^2} \quad (5)$$

であり、 $X_i$  は作用荷重の確率変数、 $\mu'_{X_i}, \sigma'_{X_i}$  はそれぞれ  $X_i$  の平均値と標準偏差、 $A_{X_i}$  は  $X_i$  の変換係数である。また、 $P_a$  は地震時保有水平耐力である。

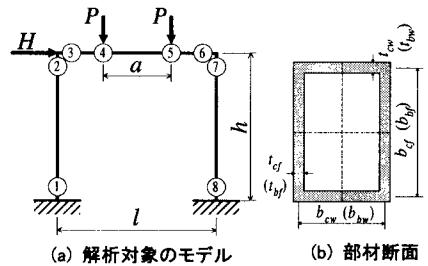


図-1 解析対象の構造物

表-1 解析対象モデルの寸法諸元 (mm)

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

キーワード：鋼製ラーメン橋脚、耐震信頼性、崩壊メカニズム、地震時保有水平耐力、有限要素法

\* 〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35 TEL 06-6368-0882 FAX 06-6368-0882

\*\* 〒760-8526 高松市幸町 1-1 TEL 087-832-1055 FAX 087-832-1055

\*\*\* 〒524-0034 守山市千代町 1 番地 TEL 077-577-8705

### 3. 数値解析結果とその考察

**3.1 鋼製橋脚の履歴挙動と崩壊メカニズム** 設計法(A)と設計法(B)で断面設計された橋脚の弾塑性有限変位解析を行い、形状の違いが履歴強度と崩壊メカニズムに及ぼす影響を明らかにする。ここでは、支承間の距離を  $a=10.8(m)$  とし、鉛直荷重と漸増水平荷重の2種類の荷重下で有限要素解析する。

鋼製ラーメン橋脚の柱頂部における水平力-水平変位の関係を求めれば、図-2を得る。図中、縦軸と横軸はラーメン橋脚の水平耐力  $H(MN)$  と柱頂部の水平変位  $\delta(m)$  を、○印は塑性ヒンジが形成された時点を示し、○印は塑性ヒンジの形成点(図-1参照)を表す。

図から明らかのように、門形ラーメンの幾何形状の違いによって、構造系全体の保有水平耐力と崩壊メカニズムが異なる。また、曲げ剛比  $K=(I_b/I_c)/(l_c/h)$  の減少とともに、橋脚の地震時保有水平耐力は増大する。

さらに、図-2(a)と(b)の比較から、橋脚を荷重係数設計すれば、橋脚の形状が異なってもその安全度をほぼ同程度に保つことができる。

**3.2 耐震信頼性** 地震時における鋼製ラーメン橋脚の耐震安全性をHasofer-Lindの信頼性指標  $\beta$  で評価する。ここでは、2.3の理論に従い、3.1で考察したラーメン橋脚と同じモデルに対して信頼性評価を行う。数値解析に用いた活荷重および地震荷重の確率モデルは、

① 活荷重 (単位: MN) :  $F_L(x)=1-\exp[-(x/56.49)^{2.432}]$  (6)

② 地震荷重 (単位: gal) :  $F_E(x)=1-\exp[-\{(x-41.28)/34.24\}^{0.913}]$  ( $T < 0.5$  sec) (7)

である。式(6)と(7)は阪神高速道路公団設計荷重委員会による実態調査に基づいて作成されたものである。数値解析結果を表-2に示す。鋼製ラーメン橋脚を荷重係数設計すれば、 $\beta$ に多少のばらつきがあるものの、その耐震信頼性のばらつきを少なくすることができる。したがって、幾何形状の異なる鋼製ラーメン橋脚の設計に部材ごとの安全性照査に基づく許容応力度設計法でなく、構造系全体の安全性照査を主体とする荷重係数設計法を採用すれば、いずれのラーメンでも同程度の安全性を確保することができる。

### 4. おわりに

幾何形状の異なる鋼製ラーメン橋脚が一定の鉛直荷重と漸増の水平荷重を受ける場合の崩壊メカニズムと保有水平耐力を明らかにした。また、同寸法の鋼製ラーメン橋脚に対する信頼性解析を行い、鋼製橋脚の耐震安全性を検討した。その結果、鋼製ラーメン橋脚の保有水平耐力、崩壊メカニズム、および耐震信頼性はその幾何形状および柱とはりの曲げ剛比に大いに影響されることがわかった。以上の結果より、荷重係数設計法は、許容応力度設計法に比べて、耐震設計上、より優れた設計法であることがわかった。

**参考文献** 1)日本道路協会編:道路橋示方書・同解説, 丸善, 1996-12. 2)中井・河井・吉川・北田・酒造:鋼製ラーメン橋脚の実績調査(上), 橋梁と基礎, Vol.82, No.6, pp.35-40, 1982-6. 3)日本道路協会編:道路橋の耐震設計に関する資料, 丸善, 1997-3.

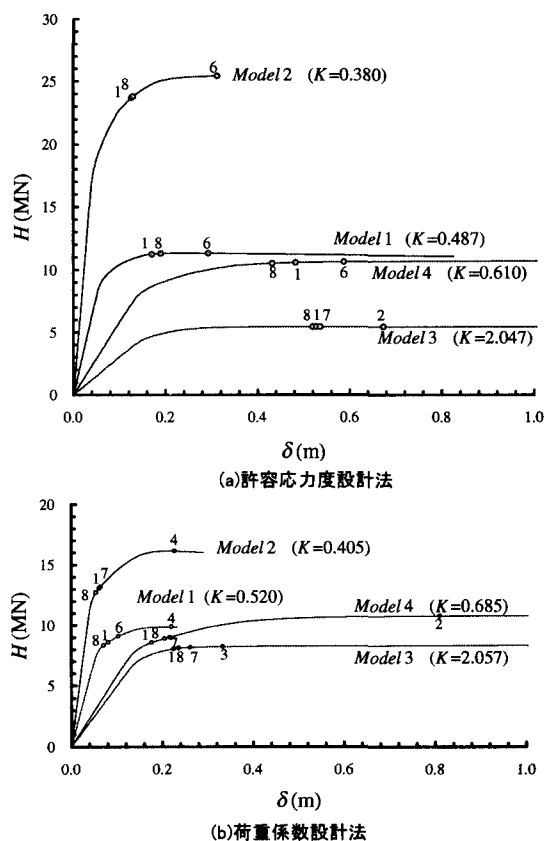


図-2 鋼製ラーメン橋脚の水平耐力と水平変位の関係

表-2 橋脚の耐震信頼性指標  $\beta$

Model	1	2	3	4
$\beta$ (A)	5.15	8.87	3.38	4.87
$\beta$ (B)	4.53	6.47	4.64	4.90