

関西大学工学部 学生員 ○大平匡範 関西大学大学院 学生員 後藤秀典
香川大学工学部 正会員 白木 渡 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

兵庫県南部地震以降、単柱形式の橋脚の代わりにリダンダンシーに優れたラーメン形式の橋脚が推奨されている。しかし、鋼製ラーメン橋脚は地震時挙動が未解明なため、現行道路橋示方書¹⁾でも地震時保有水平耐力の照査が見送られている。

これらの点を踏まえ、本研究では、許容応力度設計法と荷重係数設計法で設計された鋼製ラーメン橋脚を対象に、その弾塑性時刻歴応答解析を行い、設計法と構造形式の違いによる地震時の挙動を明らかにする。

2. 対象とする構造物

2.1 対象構造物の解析モデル

図-1(a)に示すように、上部構造の死荷重と活荷重に相当する鉛直荷重 P が作用する鋼製一層門形ラーメン橋脚を解析する。その幾何形状は、高さ h が 10m と 20m、幅 l が 20m と 30m の組合せからなる。断面形状は図-1(b)のような箱形断面とし、柱（はり）部材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。部材は鋼種 SM490Y の鋼材で製作され、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。

2.2 橋脚の断面設計

許容応力度設計法と荷重係数設計法に基づいてラーメン橋脚の断面を設計する。ここでは、死荷重、活荷重、温度荷重、地震荷重を設計荷重とする。許容応力度設計法(A)では道路橋示方書¹⁾を参考に、

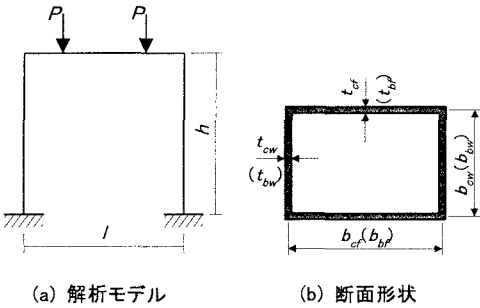


図-1 解析対象の構造物

$$\begin{aligned}\sigma_D + \sigma_L &\leq 1.0\sigma_a, \\ \sigma_D + \sigma_L + \sigma_T &\leq 1.15\sigma_a, \\ \sigma_D + \sigma_E &\leq 1.5\sigma_a.\end{aligned}\tag{1}$$

によって、荷重係数設計法(B)では文献 2) を参考に、

$$1.05\sigma_D + 0.25\sigma_L + 0.27\sigma_T + 2.56\sigma_E \leq \sigma_a,\tag{2}$$

によって、断面がそれぞれ設計される。ここに、 σ_D 、 σ_L 、 σ_T 、 σ_E はそれぞれ死荷重、活荷重、温度荷重、地震荷重を作用させた場合の照査断面に生じる応力度、 σ_a は許容応力度である。解析対象の寸法諸元、および、柱とはりの剛度を表-1 に示す。

表-1 解析対象の寸法諸元 (mm)

モデル 設計法	1		2		3		4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
h	10,000		10,000		20,000		20,000	
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	
b_{bw}	1,670		2,500		1,670		2,500	
$t_{cf}=t_{cw}$	31.6	27.4	43.3	27.9	20.3	33.1	29.3	28.2
$t_{bf}=t_{bw}$	24.5	22.7	31.7	21.8	20.2	33.1	26.2	26.4
$K_c(\times 10^{-3}\text{m}^3)$	8.9	7.8	23.1	14.9	5.4	8.8	13.0	12.5
$K_b(\times 10^{-3}\text{m}^3)$	4.4	4.1	9.4	6.4	3.6	5.9	7.7	7.8

2.3 入力地震波

兵庫県南部地震の際に JR 西日本鷹取駅構内地盤上で観測された地震動の NS 成分を入力地震波とした。

3. 解析手法

鋼製一層門形ラーメン橋脚を弾塑性有限変位理論に基づいた有限要素法によって時刻歴応答解析し、その地震時挙動を明らかにする。解析するにあたり、以下の仮定を設けた。①地震動は橋脚の構面内にのみ作用する。②橋脚の両基部で地震波の位相差はない。③橋脚の減衰には Rayleigh 減衰を用い、減衰定数は $\zeta=0.02$ とする。④Bernoulli-Euler の平面保持の仮定が成り立つ。⑤部材に局部座屈は生じない。⑥鋼材はひずみ硬化型の Bi-linear な関係にある。

4. 数値解析結果とその考察

4.1 柱頂部における水平変位の応答

図-2 に降伏水平変位で無次元化した柱頂部での水平変位 δ/δ_y の応答を示す。図中の T_0 は構造物の固有

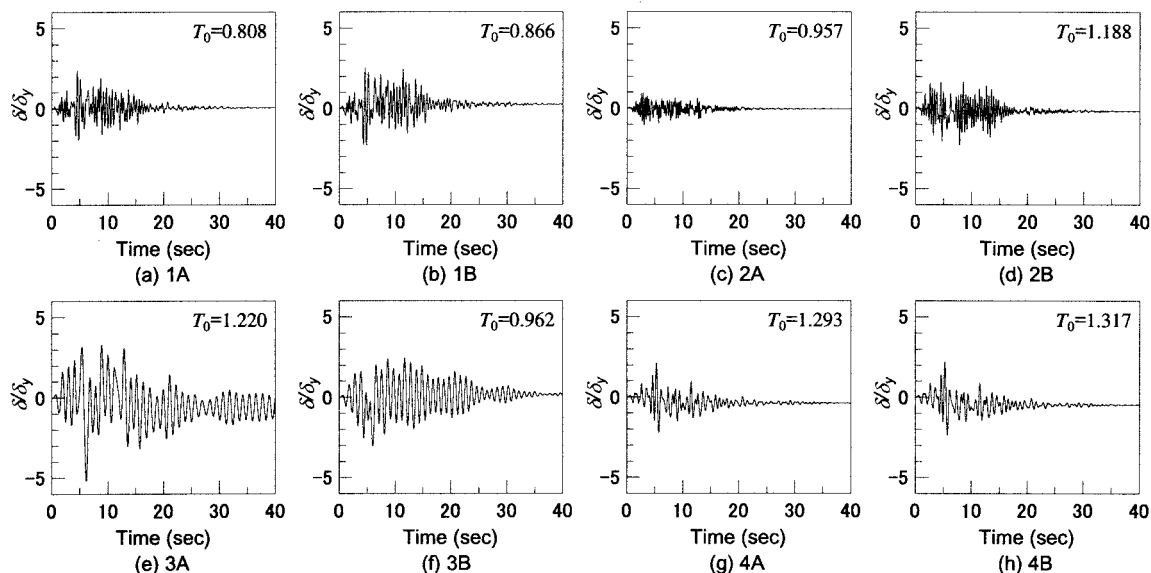


図-2 柱頂部での水平変位の応答

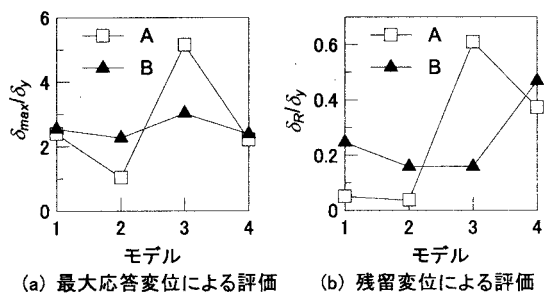


図-3 幾何形状と設計法の相違による耐震性評価

周期(sec)である。

図から明らかなように、モデル3は、他に比べて振幅が大きく、減衰に要する時間が長い。一般的に、幾何形状がスレンダーになるほど、地震動に対する応答は大きくなる。しかし、モデル4($h/l=0.67$)は、モデル1($h/l=0.50$)に比べてスレンダーであるにもかかわらず、応答変位は小さい。表-1 からわかるように、モデル4は、モデル1よりも柱の剛性が高い。そのため、剛性による減衰の影響を強く受けたものと思われる。

4.2 鋼製ラーメン橋脚の耐震性評価

図-3 にモデル1～4 に対する最大応答変位と残留変位を示す。

図から明らかなように、モデル1, 2, 4 では、許容応力度設計されたラーメン橋脚の方が高い耐震性を示している。特に、モデル2は、1,000年オーダーの地震動が作用したにもかかわらず、弾性域内の応答を示

している。モデル3は、他の形状に比べて、最大応答変位、残留変位とも大きな値を示している。このように、部材を許容応力度設計法に基づいて設計すれば、幾何形状によって耐震安全性がばらつく。

一方、荷重係数設計されたラーメン橋脚は、許容応力度設計よりも幾何形状による応答のばらつきが少ない。荷重係数設計法では、式(2)による断面設計の際に保証した耐震性能を、幾何形状によらず一定のレベルで満足している。

5. あとがき

許容応力度設計法と荷重係数設計法で設計された4種類の幾何形状からなる鋼製ラーメン橋脚を対象に、弾塑性時刻歴応答解析を行った。得られた結果を要約すれば、以下のようである。

- 1) 幾何形状がスレンダーなラーメン橋脚ほど地震時の挙動は顕著となる。また、柱の剛性が高いほど減衰の影響を強く受ける。
- 2) 許容応力度設計よりも荷重係数設計されたラーメン橋脚の方が耐震安全性のばらつきが少ないため、幾何形状によらず、目標とする耐震性能が確保できる。

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) 北沢ら：鋼製橋脚における荷重組合せの解析と荷重係数の試算，構造工学論文集，Vol.33A，pp.761-773，1987-3。