

地震時応答による鋼製門形ラーメン橋脚の耐震性能について

大阪市立大学大学院 学生員 北村匡範\* 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

現行道路橋示方書<sup>1)</sup>では、鋼製ラーメン橋脚の地震時応答が未解明なため、その地震時保有水平耐力照査が見送られている。また、構造設計では、許容応力度設計から限界状態設計への移行が唱えられて久しい。本研究では、これらの点を念頭に、許容応力度設計法と荷重係数設計法で設計した鋼製ラーメン橋脚の弾塑性時刻歴応答解析を行い、構造設計法と構造形式の違いによる地震時応答の相違を明らかにする。

2. 対象とする構造物と入力地震波

2.1 解析モデル 鋼製一層門形ラーメン橋脚には、図-1(a)に示すような上部構造の死荷重と活荷重に相当する鉛直荷重  $P$  と地震動が作用するものとする。門形ラーメンの断面形状は図-1(b)に示す箱形断面からなり、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。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 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。断面の設計は、許容応力度設計法(A)では、道路橋示方書<sup>1)</sup>を参考に、

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

によって、荷重係数設計法(B)では、文献 2)を参考に、

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

によって行った。ここに  $\sigma_D, \sigma_L, \sigma_T, \sigma_E$  はそれぞれ死荷重、活荷重、温度荷重、地震荷重による照査断面での応力度、 $\sigma_a$  は許容応力度である。解析対象の寸法諸元ならびに柱とはりの剛度  $K_c, K_b$  を表-1 に示す。

2.3 入力地震波 入力地震波には、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 成分を採用した。

3. 解析手法

弾塑性有限変位理論を基礎に誘導した有限要素法で鋼製門形ラーメン橋脚の時刻歴応答を解析し、その地震時応答を明らかにする。解析にあたり、以下の仮定を設ける。地震動は橋脚の構面内にもみ作用する。

橋脚の両基部で地震動の位相差はない。橋脚の減衰に Rayleigh 減衰を仮定し、減衰定数を  $\zeta = 0.02$  とする。Bernoulli-Euler の平面保持の仮定が成り立つ。部材に局部座屈は生じない。鋼材はひずみ硬化型の Bi-linear な関係にある。

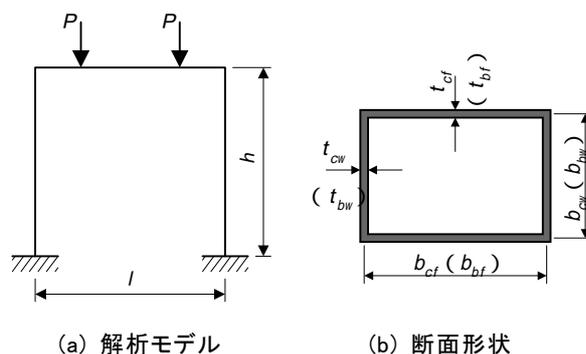


図-1 解析対象の構造物

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

A: 許容応力度設計法 B: 荷重係数設計法

部材に局部座屈は生じない。鋼材はひずみ硬化型

キーワード: 鋼製ラーメン橋脚, 弾塑性時刻歴応答解析, 許容応力度設計法, 荷重係数設計法

\* 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 TEL:06-6605-2735 FAX:06-6605-2765

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

\*\*\* 〒761-0396 高松市林町 2217-20 TEL/FAX:087-864-2243

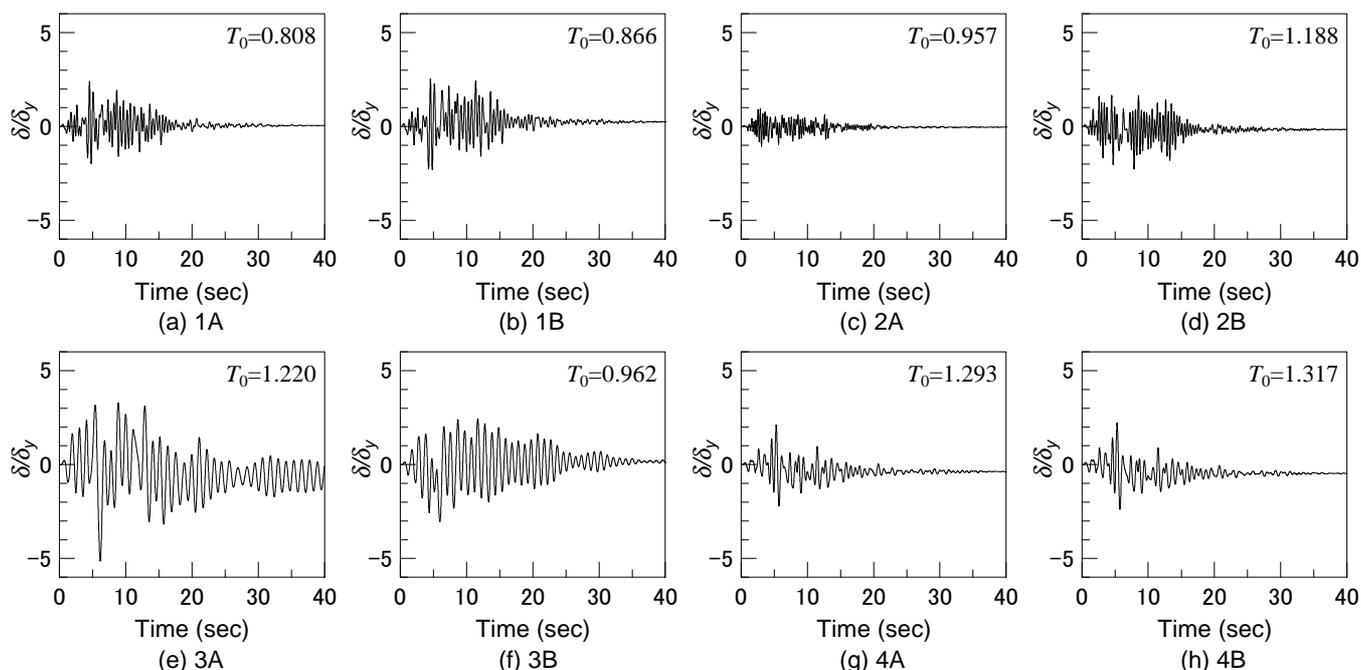


図-2 柱頂部での水平変位の応答

#### 4. 数値解析結果とその考察

4.1 柱頭における水平変位の応答 柱頭での降伏水平変位で無次元化した水平変位  $\delta/\delta_y$  の時刻歴応答を図-2に示す．図中， $T_0$ は構造物の固有周期(sec)である．

図から明らかなように，モデル3はその他のモデルに比べて振幅が大きく，減衰に要する時間が長い．地震時応答は，幾何形状がスレンダーなほど一般に応答変位は大きい．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にもかかわらず，その応答変位は小さい．表-1からわかるように，モデル4

の柱の剛性はモデル1よりも高い．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能 モデル1~4に対する最大応答変位と残留変位を図-3に示す．図から明らかなように，モデル1, 2, 4では，許容応力度設計したラーメン橋脚の方が耐震性に優れている．特に，モデル2は，1,000年周期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では，その他の形状のラーメンに比べて，最大応答変位と残留変位のいずれも大きな値を呈している．このように，部材を許容応力度設計法によって設計した場合，幾何形状による耐震安全性の変動が大きい．

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

4種類の幾何形状からなる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った．その結果，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著しく，柱の剛性が高いほど減衰の影響を強く受けることがわかった．許容応力度設計よりも荷重係数設計したラーメン橋脚の方が耐震安全性のばらつきが少ないことがわかった．この場合，幾何形状によらず，目標とする耐震性能を確保することができる．

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，土木学会，Vol.33A，pp.761-773，1987-3．

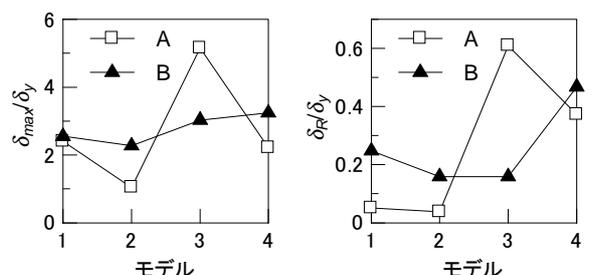


図-3 幾何形状と設計法の相違による耐震性評価