

防衛大学校 土木工学教室 正員 ○ 森 雅美
 防衛大学校 土木工学教室 正員 石川 信隆
 東京大学 工学部 正員 西野 文雄

1. 緒言 著者らは鋼管橋脚を対象として耐震性と経済性を同時に考慮した最適耐震設計に関する研究を行なってきたが、その際、設計基準となる変位じん性率を鋼管の径厚比 D/t (D = 外径, t = 肉厚) が大きい薄肉構造ほど線形的に小さくなるものと仮定して計算を行なってきた。

本研究は、この変位じん性率に関する仮定の妥当性を検討すること、耐震設計への具体的提案を準備することの2点に重点をおき、ある局部産屈データに基づいた汎用的な鋼管橋脚の最適耐震設計法の開発を試みた。すなわち、まず鋼管の局部産屈実験データを用いて鋼管柱の変位じん性率を静的弾塑性解析より求め、次に、鋼管の断面積および鋼種に無関係となるような無次元パラメータによる設計基本式を導き、さらに実在橋脚に対する数値的検討を行なった。なお、本研究では次の仮定を用いる。(1) 橋脚自身の自重は上部構造の自重 W に比し無視できるものとする。(2) 上部構造の自重を考慮した鋼管橋脚を図-1 のような1質点系モデルに置換できるものとする。(3) 橋脚の復元力特性は図-2 のような劣化型を用いる。

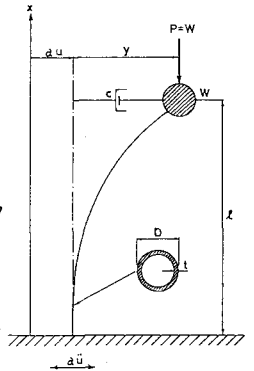


図-1 1質点系モデル

2. 変位じん性率の算定 鋼管橋脚の変位じん性率 μ_y とは、初期降伏変位 y_0 に対する局部産屈による最大ひずみ y_p に対応する破壊変位 y_b の比 ($\mu_y = y_p/y_0$) を示す。これは、軸圧縮力を受ける鋼管の局部産屈実験の結果から、図-3 に示すような静的弾塑性解析の計算手順を経て図-4 のような変位じん性率 $\mu_y (=y_p/y_0) \sim$ 無次元径厚比 $\bar{r} (= \bar{e}_y D/t)$ 関係を得る。ただし、図-3, 4 中の記号は次のとおりである。 $\mu_y = y_p/y_0$; $\bar{r}_p = y_p/\bar{e}_y/\bar{r}$; $\bar{r}_b = y_b/\bar{e}_y/\bar{r}$; $\bar{r} = l/\bar{e}_y/\bar{r}$; $\bar{P} = P/A\sigma_y$; σ_y = 降伏応力;

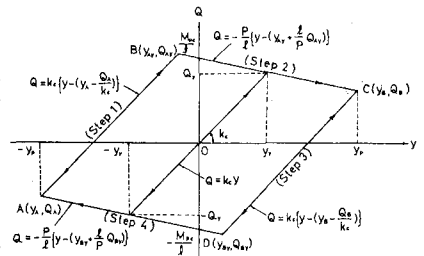


図-2 復元力特性

$\bar{Q} = Q/A\sigma_y/\bar{e}_y$; l = 橋脚長; $\bar{e}_y$ = 降伏ひずみ; Q = 水平力; P = 軸力。

3. 変位じん性率を基準とする最適耐震設計 ここでは、最大荷重設計の観点から設計基本式を導く。すなわち、鋼重を一定 (等断面橋脚とし、橋脚長 l を一定とすれば断面積 A を一定) としたうえで、最大心音変位 y_{max} が局部産屈による破壊変位 $y_p (= \mu_y y_0)$ を越えない範囲内で、最大荷重 (最大地震加速度係数 α_{max}) を得るような最適径厚比 $(D/t)_{opt}$ を決定する設計法で、表-1 の式 (1) の有次元の形から式 (2) のような汎用的な無次元の設計基本式が導かれる。

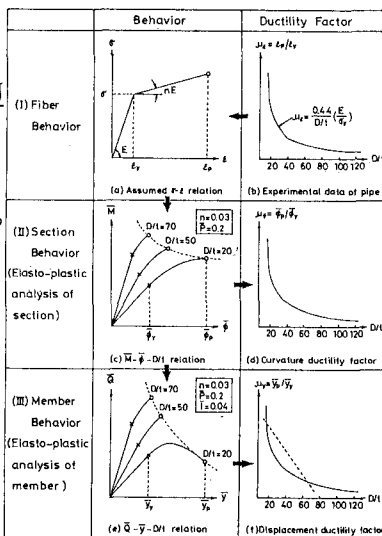


図-3 静的弾塑性解析の計算手順

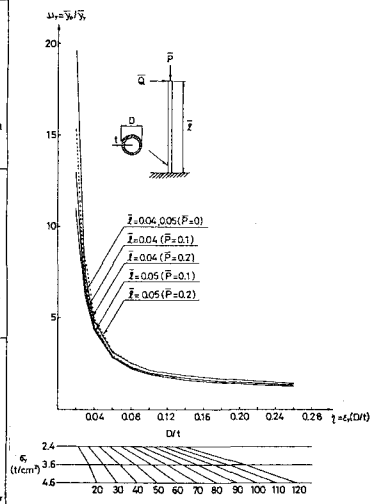


図-4 $\mu_y \sim \bar{r}$ 関係

ここに、式(1a)はある一定の径厚比 D/t に対して最大地震加速

表-1 設計基本式

	Dimensionalized form	Nondimensionalized form
Given	$A, l, P, \sigma_y, E, \mu_y, h, \bar{u}, g$	$\bar{l} (=l\sigma_y/A), \bar{P} (=P/A\sigma_y), h, \bar{u} (=u/g), g^* (=g/g/A)$
Find	$\{D/t\}_{opt}$	$\{\bar{l}\}_{opt}$
Such that	$\bar{u}_{max}(D/t) \rightarrow \max. \dots (1a)$	$\bar{u}_{max}(\bar{l}) \rightarrow \max. \dots (2a)$
Subject to	$\bar{y} + 2h\bar{u}_y \bar{y} \cdot Q/m = -\bar{a}\bar{u} \dots (1b)$	$\bar{y} + 2h\bar{y} \cdot \bar{Q}^* = -\bar{a}\bar{u}/\bar{l} \dots (2b)$
	$ \bar{y}_{max} \leq \bar{y}_p (=1/\mu_y) \dots (1c)$	$ \bar{y}_{max} \leq \bar{y}_p (=1/\mu_y) \dots (2c)$
	$Q = k^*(y - y^*) \dots (1d)$	$\bar{Q}^* = k^*(\bar{y} - \bar{y}^*) \dots (2d)$

度係数 α_{max} を得たので、 $\alpha_{max} \sim D/t$ 関係から最大の α_{max} を求めることを意味し、式(1b)は図-1の1質点系の水平方向の動的つり合い式を、式(1c)は最大応変値 y_{max} が局部座屈による破壊変位 y_p を越えないという設計基準を表わす。また式(1d)は図-2の復元力特性を一般表示したものである。よって、式(1)を無次元化すれば式(2)が得られる。ただし、 k = 減衰定数 $= c/2m$ 、 m = 上部構造の自重による質量 $= W/g$ ； c = 粘性減衰係数； ω_c = 軸力 P を考慮した固有円振動数 $= \sqrt{k_c/m} = \sqrt{\gamma_A g^*/\bar{l}}$ ； $g^* = g/\bar{l}$ ； $\gamma_A = g l / (b \sin l - l \cos l)$ ； $\bar{l} = \sqrt{EI/l}$ ； EI = 曲げ剛性； $(l)_{opt} = (g D/t)_{opt}$ ； $\bar{Q}^* = Q / (\bar{k}_c A \sigma_y \bar{y})$ ； $\bar{k}_c = k_c / \sqrt{A} \sigma_y = \gamma_A \bar{P} / \bar{l}$ ； k_c = 軸力を考慮した橋脚のはね定数 $= \gamma_A P / l$ ； $\bar{a} = \bar{u} / g$ ； $\bar{u}$ = 地震加速度； g = 重力加速度； $\bar{y} = y \sigma_y / A E$ ； $\bar{t} = \omega_c t$ ； t = 時間； $\bar{y} = y \sigma_y / A$ 。すなわち、地震加速度係数 α_{max} および $\bar{\alpha}_{max} (= \alpha_{max} / \sqrt{\sigma_y})$ はそれぞれ次のような関数として表わされている。

$$\bar{\alpha}_{max} = f(A, l, P, \sigma_y, E, \mu_y, k, \bar{u}, g, D/t) \dots (3)$$

$$\bar{\alpha}_{max} = f(\bar{l}, \bar{P}, \mu_y, k, \bar{u}, g^*, l) \dots (4)$$

4. 計算例および考察 図-6(a)に示す首都高速道路のある実在橋脚は図に示す設計条件のもとで断面積 $A = 5420 \text{ cm}^2$ 、 $D/t = 70$ が算定されている。本法では、

まず 図-4よりCase Iの変位じん性率を図-5のように求めた。次いで $A = 5420 \text{ cm}^2$ のもとで α_{max} を得るような最適径厚比 $(D/t)_{opt}$ を図-6(b)のように求めた。これより(1)変位じん性率を図-5の点線のように線形的に仮定すると最適径厚比は $(D/t)_{opt} = 40$ となり、計算した変位じん性率に基づく $(D/t)_{opt} = 40$ と全く一致することが認められた。(ii)本法によれば現場の設計による $D/t = 70$ よりもかなり厚肉の $D/t = 40$ が耐震性能もよく経済的であることが示された。また図-7のような実在橋脚 Case IIに対しても検討したが、Case Iとほぼ同様の結果を得た。

5. 結言 本研究は、鋼管の局部座屈実験データに基づいた変位じん性率を算定したうえで、実在橋脚を対象とした最適径厚比の検討を行なったもので、本計算例の範囲内では、次の結論を得た。(i) Case I, IIの両橋脚ともかなり厚肉の $D/t = 40$ が耐震性能もよく経済的である。(ii)変位じん性率を線形的に仮定しても最適径厚比の算定には影響がない。

参考文献 1) 森・石川・西野；鋼管橋脚の最適耐震性能におよぼす軸力の2次的影響について、才34回土木学会年講、I-200、1979.10. 2) 森・石川・西野；鋼管高橋脚の最適耐震設計に関する一考察、才35回土木学会年講、I-351、1980.9. 3) 日本建築学会；鋼構造設計指針、P.79、昭和50年11月。

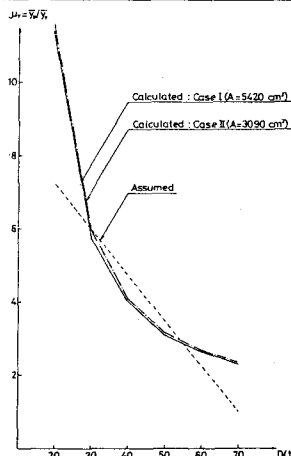
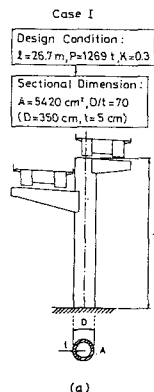
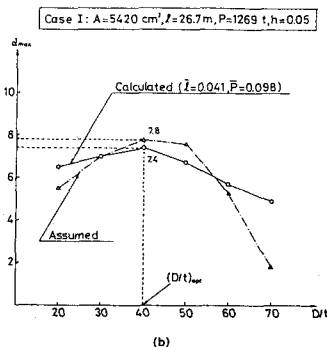


図-5 実橋脚の $\mu_y \sim D/t$ 関係

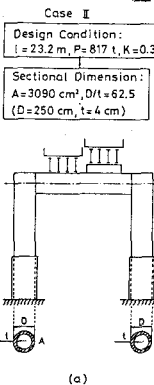


(a)

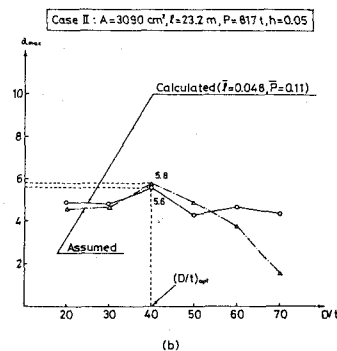


(b)

図-6 $\alpha_{max} \sim D/t$ 関係 (Case I)



(a)



(b)

図-7 $\alpha_{max} \sim D/t$ 関係 (Case II)