

I-A258 コンクリート充填鋼製橋脚の弾塑性履歴挙動

日立造船(株) 正会員 安田和宏* 関西大学大学院 学生員 亀田信康**
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博** 関西大学工学部 フェロー 三上市藏***

1. まえがき 鋼製橋脚の耐震性能を向上させる方法の一つに、橋脚基部にコンクリートを充填する方法がある。ここでは、コンクリートが部分的に充填された鋼製橋脚に圧縮力と水平荷重が作用する場合の弾塑性履歴挙動を有限要素法で明らかにする。

2. 解析モデル 図-1(a)に示す高さ h 、コンクリート充填高さ h_c の片持ち柱に圧縮力 P と漸増あるいは繰り返しの水平荷重 H が同時に作用する場合の弾塑性挙動を明らかにする。ここでは水平荷重と等価な水平変位を与え、変位制御で解析するため、図-1(a)の载荷状態を図-1(b)のように考える。すなわち、圧縮力 P を頂部に、漸増あるいは繰り返しの水平変位 δ を基部に与える。鋼柱は長方形あるいは円形の無補剛断面からなる。柱には製作時の不可避的な水平たわみと残留応力が生じているものとする。

鋼材の応力-ひずみ関係には、図-2(a)に示すバウシinger効果を考慮した関係を適用し、弾性域での接線弾性係数を $E_s=207\text{GPa}$ 、降伏点応力を $\sigma_{sy}=270\text{MPa}$ 、降伏棚の長さを $\epsilon_{si}^p=1.25 \times 10^{-2}$ 、ひずみ硬化係数を $E_{si}^p=5.19\text{GPa}$ とした。曲線部分を表す数式およびその諸定数は文献 1) によった。また、コンクリート材料には図-2(b)に示す Tri-linear な関係を仮定し、接線係数を $E_{c1}=14.7\text{GPa}$ 、 $E_{c2}=4.9\text{GPa}$ 、 $E_{c3}=0$ とする。圧縮強度は $\sigma_{cy1}=14.7\text{MPa}$ 、 $\sigma_{cy2}=-19.6\text{MPa}$ である。ただし、コンクリートは圧縮力を負担せず、曲げ変形のみを考慮する。

3. 解析法 解析対象のコンクリート充填鋼製橋脚を2節点6自由度のはり-柱要素に離散化し、要素での剛性方程式を Up-dated Lagrangian 手法によりポテンシャルエネルギー最小の原理から誘導した。それを構造系全体に合成し、系全体の剛性方程式を求めた。得られた方程式は多元連立の非線形代数方程式で、荷重増分ごとに Newton-Raphson 法で解き、繰返し荷重下での柱の弾塑性挙動を明らかにする。

4. 数値解析結果とその考察 コンクリートの充填高さや柱の断面形状が鋼柱の弾塑性履歴挙動に及ぼす影響を明らかにする。ただし、修正細長比は $\bar{\lambda}=0.7$ 、圧縮力 P は鋼断面の全強 P_y の 0.2 倍とした。また、断面形状の違いが柱の履歴挙動に及ぼす影響を検討するため、表-1 のようなパラメータを用いた。すなわち、道路橋示方書²⁾が $\sigma_{cr}/\sigma_{sy}=1$ を保証する限界の幅厚比パラメータあるいは径厚比とした。

(1) 変形性能 コンクリート充填率と断面形状に着目し、橋脚の耐震性能を変形性能の観点から評価する。正方形断面からなる柱に圧縮力と漸増の水平荷重が作用した場合、その柱頂部での水平荷重-水平変位の関係

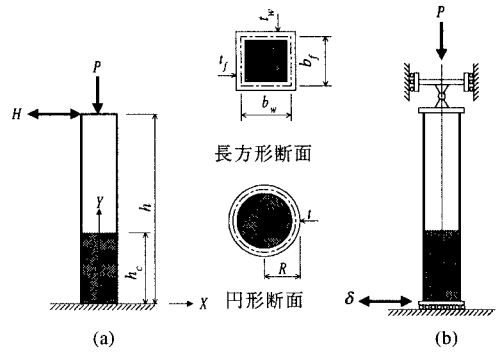


図-1 解析モデル

表-1 断面形状のパラメータ

長方形	b_f/b_w	1
	R_f/R_w	0.7
円形	R/t	50

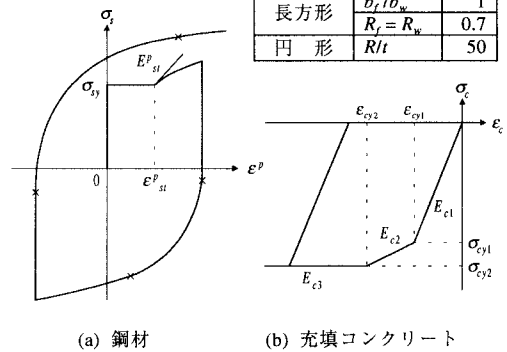


図-2 応力-ひずみ関係

キーワード コンクリート充填鋼製橋脚、繰返し履歴挙動、変形性能、断面形状、有限要素法

* 〒559-0034 大阪市住之江区南港北 1-7-89 TEL 06-6569-0001 FAX 06-6569-0002

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

*** 〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35 TEL 06-6368-0940 FAX 06-6368-0940

は図-3 のように求められる．ここに H_y は降伏水平荷重， δ_y は降伏水平変位である．図から分かるように，水平荷重はコンクリートの充填で増大するが，充填高さすなわち充填率が $h_c/h=0.3$ 以上になるとそれらの履歴曲線はほぼ同じになる．

柱の靱性を評価するため，塑性率を

$$\mu_{95} = \frac{\delta_{95}}{\delta_y} \quad (1)$$

のように定義し，これを変形性能の一指標とする．ここに， δ_{95} は最高荷重を経た後，その 95% 強度に達したときの変位である．図-4 にコンクリート充填率と塑性率との関係を示す．図から明らかなように，正方形と円形のいずれの断面も，コンクリートを充填することで変形性能に優れた構造にすることができる．正方形断面の場合，充填率が $h_c/h=0.3$ 以上になると，変形性能に違いがなくなる．それに対し，円形断面の場合，充填率が $h_c/h=0.5$ になっても変形性能は改善される．

(2) 履歴挙動 断面の形状やコンクリート充填の有無が繰り返し履歴挙動に及ぼす影響を調べるため，圧縮力と繰り返しの水平荷重が作用する柱を解析した．ただし，反復曲げの振幅を $\delta/\delta_y=1, 1.5, \dots, 8$ のように変動させ，各振幅段階でのサイクル数を 1 回とした．また，コンクリート充填率は $h_c/h=0, 0.3$ である．正方形断面の解析結果を図-5

5(b)は無充填の図-5(a)と比較して，繰り返し回数の増大とともに強度が上昇する．

履歴曲線で囲まれた面積，すなわちエネルギー吸収量で柱の耐震性能を評価する．図-6 にサイクル数とエネルギー吸収量の関係を示す．図から明らかなように，正方形および円形のいずれの場合もコンクリートの充填でエネルギー吸収量の増大が期待できる．また，その効果は円形断面の方が著しい．

5. まとめ 正方形または円形断面からなるコンクリート充填鋼製橋脚の弾塑性履歴挙動を解析的に検討した．その結果，変形性能が最大に改善されるコンクリート充填率が断面の形状で異なることを示した．また，繰り返し水平荷重を受ける場合，コンクリートの充填による効果は円形断面の方が著しい．

参考文献 1)西村・小野・池内：土木学会論文集，No.519/I-31，pp.27-38，1995-4． 2)日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 I 共通編，II 鋼橋編，丸善，1996-12．

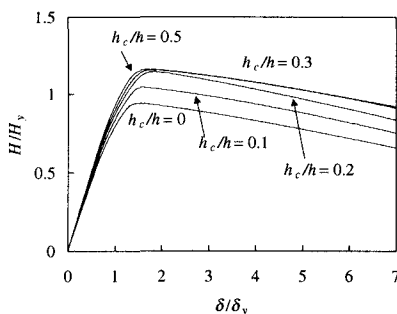


図-3 柱頂部での水平荷重－水平変位関係

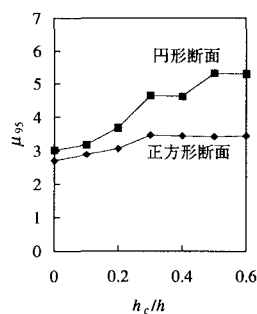
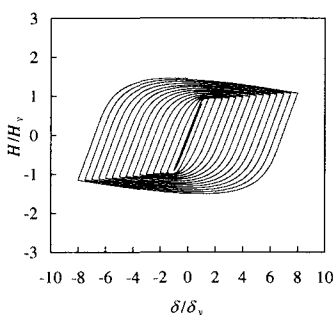
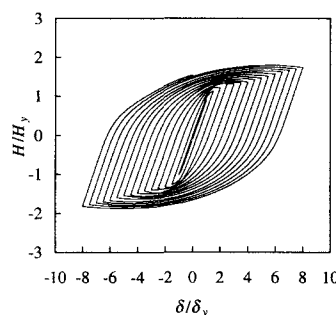


図-4 変形性能の評価

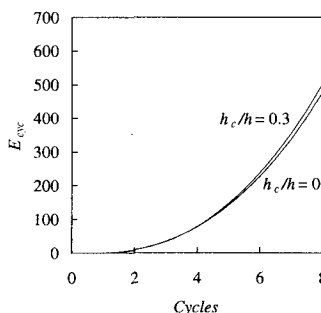


(a) $h_c/h=0$

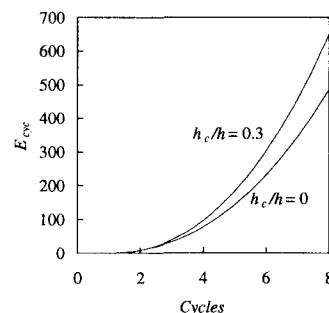


(b) $h_c/h=0.3$

図-5 柱頂部での水平荷重－水平変位の履歴曲線



(a) 正方形断面



(b) 円形断面

図-6 エネルギー吸収量による耐震性能の評価