

関西大学大学院 学生員 ○亀田信康 日立造船㈱ 正会員 安田和宏
 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 コンクリートが充填された鋼管構造は、強度だけでなく優れた変形性能を有していることから、高架橋などの橋脚にしばしば用いられる。ただし、橋脚基礎への負担を軽減するため、充填コンクリートが橋脚基部のみに充填されている場合が多い。この種の構造の耐荷性状と変形性能を明らかにするため、多くの研究¹⁾²⁾が精力的に行われている。しかし、それらには実験的な研究が多く、解析的なものは比較的少ないようである。本研究では、地震時におけるコンクリート充填鋼製橋脚の耐震性能を明らかにするため、柱の弾塑性履歴挙動を有限要素法で解析的に検討する。

2. 解析モデル 解析対象のコンクリート充填鋼製橋脚は図-1(a)に示す高さ h 、コンクリート充填高さ h_c の片持ち柱である。ただし、柱の頂部に圧縮力 P と漸増あるいは繰り返しの水平荷重 H が同時に作用するものとした。また、断面形状は、図-1(b)に示すように、フランジと腹板に n_f 、 n_w 本の縦補剛材を取り付けた補剛

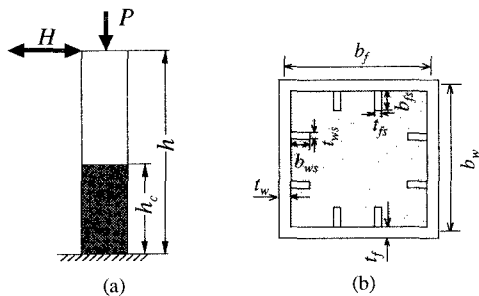


図-1 解析モデルと断面形状

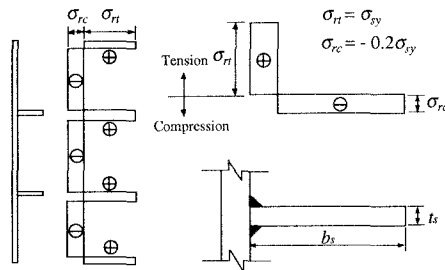
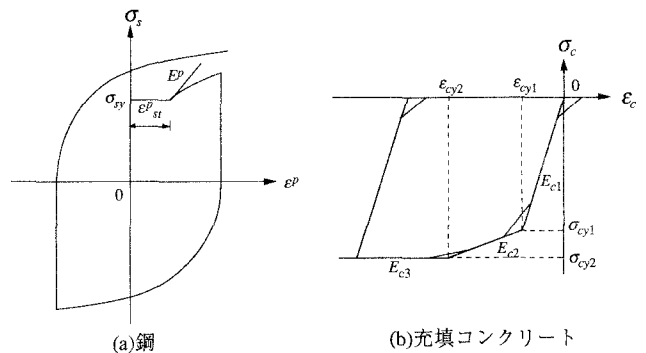


図-2 残留応力分布

箱形断面とする。ここに、フランジの幅と厚さはそれぞれ b_f 、 t_f 、フランジの縦補剛材の自由突出幅と板厚がそれぞれ b_{fs} 、 t_{fs} 、腹板の幅と厚さはそれぞれ b_w 、 t_w 、腹板の縦補剛材の自由突出幅と板厚がそれぞれ b_{ws} 、 t_{ws} である。柱の初期不整として、図-2に示すような残留応力と、柱頂部で $v_{0,max}=h/500$ の座屈モードの初期たわみを仮定する。

鋼材の応力-ひずみ関係には、図-3(a)に示すバウシinger効果を考慮した応力-ひずみ曲線³⁾を用いる。降伏点応力を $\sigma_y=235\text{MPa}$ 、接線弾性係数を $E_s=206\text{GPa}$ 、ひずみ硬化勾配を $E^p=5.19\text{GPa}$ 、降伏棚の長さを $\epsilon^p=1.25 \times 10^2$ とした。また、充填コンクリートの応力-ひずみ関係には、図-3(b)に示すtri-linear型の応力-ひずみ曲線を用いる。接線係数をそれぞれ $E_{c1}=14.7\text{GPa}$ 、 $E_{c2}=4.9\text{GPa}$ 、 $E_{c3}=0$ とした。それに対応するコンクリートの圧縮強度をそれぞれ $\sigma_{cy1}=14.7\text{MPa}$ 、 $\sigma_{cy2}=19.6\text{MPa}$ とする。ただし、コンクリートは軸圧縮力を負担せず、曲げ変形のみを考慮する。

3. 解析手法 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手法を適用してポテンシャルエネルギー停留の原理から誘導した。それを構造系全体で合成し、系全体の剛性方程式を導いた。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、柱の弾塑性履歴挙動を明らかにする。



(a)鋼

(b)充填コンクリート

図-3 応力-ひずみ曲線

4. 数値解析結果とその考察 コンクリート充填率が
コンクリート充填鋼製橋脚の強度と変形性能に及ぼす
影響を考察するため、コンクリート充填鋼製橋脚に圧
縮力と漸増あるいは繰り返しの水平荷重が同時に作用
する場合の水平荷重—水平変位曲線を求めた。ただ
し、表-1に示すパラメータに対して解析した。ここ
に、 γ_t 、 $\gamma_{t,req}$ はそれぞれ57.8、27.5である。また、圧縮
力 P は、鋼断面の全強 P_y の0.2倍とした。

(1)漸増の水平荷重を受ける場合 コンクリート充填
率が $h_c/h=0, 0.2, 0.4, 0.6$ に対する柱の水平荷重—水平変
位の関係を図-4に示す。同図から明らかなように、コ
ンクリートの充填率が $h_c/h=0\sim0.4$ の間では、強度は充
填率とともに増加する。一方、 $h_c/h=0.4$ を超えると、
その強度上昇は充填率に比例しないことがわかる。

(2)塑性率による変形性能の評価 コンクリート充填
率の相違が変形性能に及ぼす影響を評価する。ここ
では、変形性能を評価する指標に塑性率を選び、

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

によって評価する。ここに、 δ_y は降伏水平荷重 H_y に達
したときの水平変位、 δ_{95} は最高荷重後にその強度の95

%まで低下した荷重に対応する変位である。図-4の解
析結果と式(1)から図-5を得る。同図から明らかなよう
に、コンクリート充填率が $h_c/h=0.2\sim0.3$ の間で塑性率
が著しく変化し、変形性能が改善される。また、充填
率が $h_c/h=0.3$ の場合、それ以上充填されたものと比較
して、塑性率がほぼ同等であることがわかる。

(3)繰り返しの水平荷重を受ける場合 載荷方法は変
動振幅型の繰り返し荷重とし、その振幅を $\delta/\delta_y=1$ 、
1.5、 $\dots$ 5、各振幅でのサイクル数を1回とする。解析
の結果を図-6に示す。同図から明らかなように、コ
ンクリート充填率が $h_c/h=0, 0.2, 0.4$ と増加するにつ
れて、履歴曲線が急勾配になり、強度が上昇する。

5. まとめ コンクリート充填率が柱の強度と変形性
能に及ぼす影響を解析した結果、最適な充填率は、
 $h_c/h=0.3\sim0.4$ 程度であることがわかった。

参考文献 1)中井・北田・中西・渡邊：構造工学論文
集，土木学会，Vol.43A，pp.1355-1366，1997-3. 2)天
野・葛西・宇佐美・葛・岡本・前野：構造工学論文
集，土木学会，Vol.44A，pp.179-188，1998-3. 3)西村
・小野・池内：土木学会論文集，No.513/I-31，pp.27-
38，1995-4.

表-1 柱を構成する
パラメータ

$b_f=b_w$	1.0
$R_f=R_w$	0.5
$R_{fs}=R_{ws}$	0.6
$\bar{\lambda}$	0.7
$n_f=n_w$	2
$\gamma_t/\gamma_{t,req}$	2.7
h_c/h	0~0.6

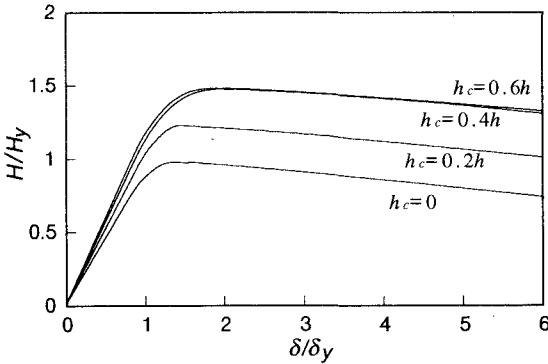


図-4 柱頂部での水平荷重—水平変位曲線

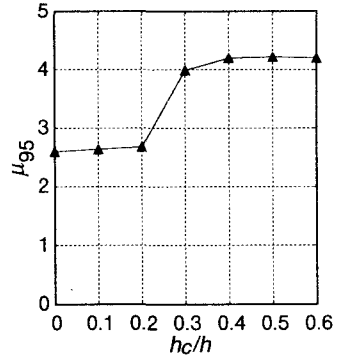
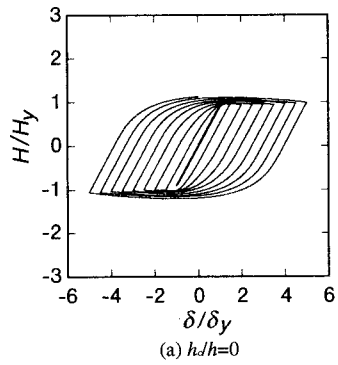
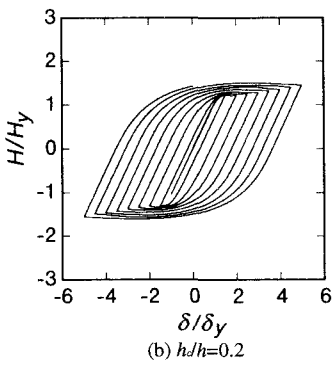


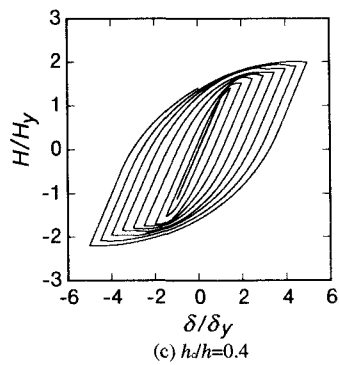
図-5 塑性率による
変形性能の評価



(a) $h_c/h=0$



(b) $h_c/h=0.2$



(c) $h_c/h=0.4$

図-6 柱頂部での水平荷重—水平変位の履歴曲線