

## コンクリート充填二重円筒鋼管の強度と変形性能

関西大学大学院 学生員 亀田信康 関西大学大学院 学生員 吉田和世  
日立造船(株) 正会員 安田和宏 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき コンクリートが基部に充填された鋼製橋脚が強度と変形性能に優れていることは、すでに既往の研究でも明らかにされている。研究の多くは、断面全体にコンクリートが充填された鋼柱を対象としている。ところで、鋼管の内部にさらに小径の鋼管を設け、その間にコンクリートを充填した二重鋼管<sup>1)</sup>は、その剛性を必要以上に増大することなく、鋼管の局部座屈を防止し、その変形性能を高めることができる。そこで、コンクリート充填二重円筒の鋼製橋脚に上部構造の死荷重に相当する圧縮力と水平方向の繰り返し荷重が作用する場合の弾塑性有限変位挙動を解析し、その耐荷力と変形性能を明らかにする。

2. 解析モデル 解析対象のコンクリート充填鋼柱は、図-1 に示す高さ  $h$ 、内側鋼管と充填コンクリートの高さがともに  $h_i$  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、鋼管の断面は、図-2(a)に示す二重円筒形状である。ここに、外側鋼管の半径と肉厚は  $r, t$ 、内側鋼管のそれらは  $r_i, t_i$  である。不可避免的な初期不整として、残留応力と頂部で  $v_{0,max}=h/500$  の座屈モード形の初期たわみを仮定する。

3. 鋼管と充填コンクリートの構成則 鋼管の応力 - ひずみ関係<sup>2)</sup>には、図-3(a)に示すパウシンガー効果が考慮された応力 - ひずみ曲線を用いる。その材料定数として、降伏点応力を  $\sigma_{sy}=235\text{MPa}$ 、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  $\epsilon_{st}^p=1.25 \times 10^{-2}$  とする。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。その接線係数を  $E_{c1}=14.7\text{GPa}$ 、 $E_{c2}=4.9\text{GPa}$ 、 $E_{c3}=0$  とし、対応するコンクリートの圧縮強度を  $\sigma_{cy1}=14.7\text{MPa}$ 、 $\sigma_{cy2}=19.6\text{MPa}$  とする。

なお、内側鋼管と充填コンクリートは曲げのみに抵抗するものとする。

4. 解析手法 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、要素の剛性方程式を Up-dated Lagrangian 手法に基づいて誘導した。それを構造全体に合成し、系全体の剛性方程式を導いた。得られた剛性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。

5. 数値解析結果とその考察 コンクリート充填二重円筒鋼管の弾塑性有限変位解析を行うにあたり、柱の修正細長比パラメータを  $\bar{\lambda}=0.7$ 、圧縮力を全強  $P_y$  の0.2倍とした。断面パラメータを表-1に示す。

(1) 充填コンクリートが断面に占める割合 コンクリートを断面全体に充填すれば、鋼管の局部座屈は防止できるが、その分、重量が増加する。柱の剛性の増大が

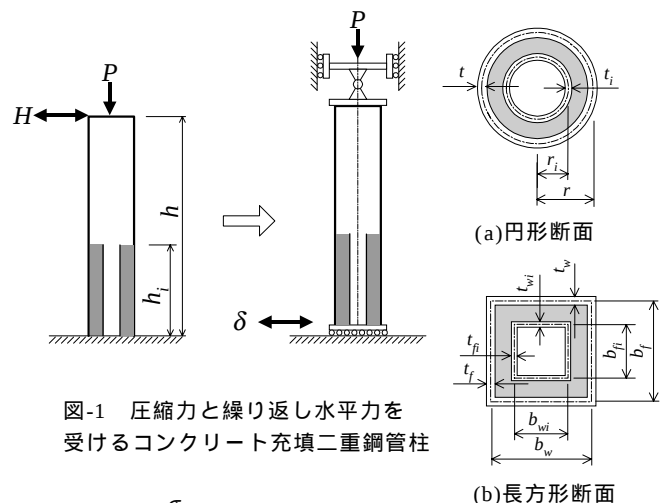
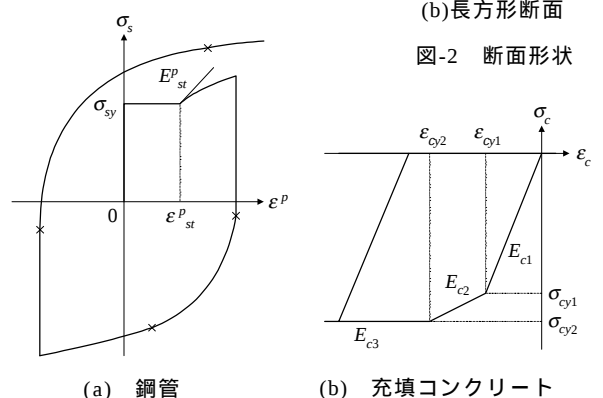


図-1 圧縮力と繰り返し水平力を受けるコンクリート充填二重鋼管柱



(a) 鋼管

(b) 充填コンクリート

図-3 鋼管と充填コンクリートの構成則

Keywords: コンクリート充填鋼管柱, 二重円筒鋼管, 耐荷力, 変形性能, 有限要素法

連絡先: 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL/ FAX: 06-6368-0882

基礎へ与える負担を考えれば，断面の中心部分のコンクリートを除去し，中空にするのがよい．そのためには鋼管の内側に型枠になりうる鋼管が設けられるが，コンクリートを除去した影響を検討しやすくするため，ここでは内側に鋼管を設けないまま中心部の充填コンクリートを 10%，20%，…，100%と除去した場合の耐荷力と変形性能の関係を明らかにした．その結果，図-4 に示す水平力 - 水平変位の関係を得た．ただし，充填コンクリートの高さは柱高の 0.3 倍である．ここに  $A_c$ ， $A_i$  はそれぞれ円筒と除去した充填コンクリートの断面積である．

柱の靱性を評価するにあたり，塑性率を

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

のように定義する．ここに， $\delta_{95}$  は，最高荷重後，強度がその 95%まで低下した時点の変位である．図-5 にコンクリートの除去率と塑性率との関係を示す．

両図から明らかなように，円筒鋼管の場合，強度と変形性能は充填コンクリートを 40%程度除去してもあまり低下しない．一方，正方形鋼管の場合，塑性率は除去するコンクリートの量とともに徐々に減少する．

(2)コンクリートの充填率 断面の中心を中空にするには，内側に型枠ともなりうる鋼管を配置する必要がある．そこで， $r_i/t_i=80$  の鋼管を内側に設けて充填コン

クリートを 40%除去した場合に対し，その高さを柱高の 0～60%に変化させた時の水平力 - 水平変位の関係を求めたところ，図-6 を得た．図から明らかなように，柱高の 40%以上にわたってコンクリートを充填しても，その強度と変形性能はほとんど変わらない．

(3)履歴挙動 前述の二重鋼管に圧縮力と繰り返し水平力を作用させ，その履歴挙動を検討した．ここに，内側鋼管と充填コンクリートの高さが柱高の 0%と 40%の場合である．ただし，繰り返し水平力の振幅を  $\delta/\delta_y=1, 1.5, \dots, 4$  のように変化させ，それぞれの反復荷重のサイクル数を 1 回とした．その結果，図-7 の履歴曲線を得る．図から明らかなように，内側鋼管と充填コンクリートが高くなると，強度と変形性能が大幅に改善される．

6．あとがき コンクリート充填鋼管の断面の中心部分を中空とし，その充填コンクリートを 40%程度まで除去しても，強度と変形性能は中実断面の場合とあまり変わらない．また，円筒鋼管の場合，正方形鋼管に比べて，コンクリートの量を多く除去できる．

参考文献 1)北田・中井・中西・竹野：構造工学論文集，Vol.43A，pp.225-236，1997-3．2)西村・小野・池内：土木学会論文集，No.513/I-31，pp.27-38，1995-4．

表-1 断面の形状パラメータ

| 円形断面        |     |
|-------------|-----|
| $r / t$     | 50  |
| $r_i / t_i$ | 80  |
| 長方形断面       |     |
| $b_f / b_w$ | 1   |
| $R_f = R_w$ | 0.7 |

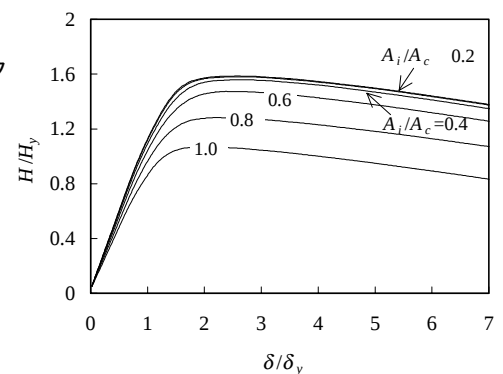


図-4 中空断面の部分が履歴挙動に及ぼす影響

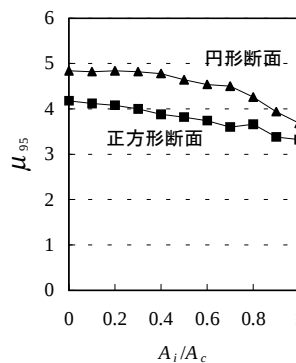


図-5 変形性能の評価

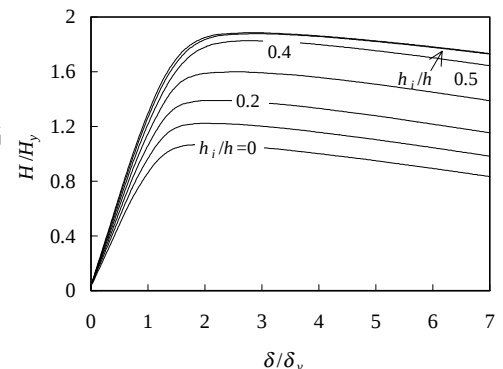


図-6 充填コンクリートの高さが履歴挙動に及ぼす影響

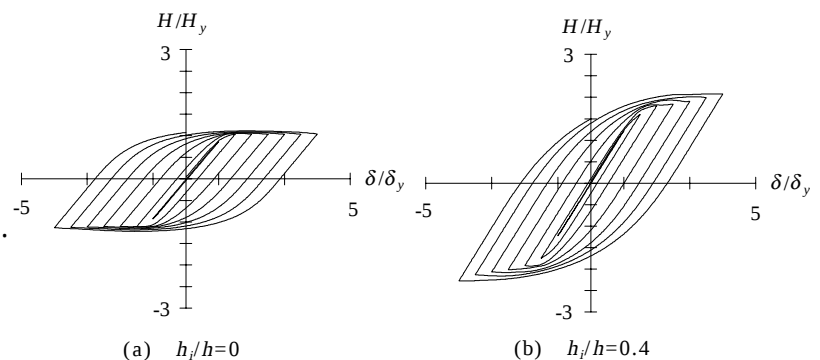


図-7 充填コンクリートの高さが履歴挙動に及ぼす影響