

コンクリート充填二重鋼管柱の強度と変形性能について

八千代エンジニアリング(株) 正会員 亀田信康 関西大学大学院 学生員 吉田和世
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき コンクリートが橋脚基部に充填された鋼柱は耐震性能に優れていることから、都市部の高架橋などでしばしば使用されている。しかしながら、そのような形式の柱は、コンクリートを充填した分だけ重量が増大する。それは、軟弱地盤からなるわが国の都市沿岸域においては不利に働く。このような課題を回避する方法として、断面全体に充填されたコンクリートの一部を中空¹⁾にする方法が考えられる。

そこで、外側鋼管の内部にさらに内側鋼管を設け、その間にコンクリートを充填した二重鋼管柱の強度と変形性能を有限要素法で解析的に明らかにし、コンクリートが断面全体に中実された場合との比較から二重鋼管構造の有効性を検討する。

2. 解析モデルと数値計算法 解析対象のコンクリート充填鋼柱は、図-1(a), (b)に示すような柱高さ h の片持ち柱で、単一鋼管柱の充填コンクリート高さを h_c 、二重鋼管柱の内側鋼管と充填コンクリート高さを h_i とする。ただし、二重鋼管柱における充填コンクリート高さは、内側鋼管の高さと等しくした。一重および二重鋼管の断面形状は図-2 のとおりである。また、柱に生じる不可避的な初期不整として Chen-Ross²⁾の実測値に基づく残留応力と、柱頂部で $v_{0,max} = h / 500$ の座屈モードに類似した初期たわみを仮定する。

外側鋼管と内側鋼管を構成する鋼材の応力 - ひずみ関係には、西村ら³⁾による単調載荷曲線を利用した構成式を使用した。また、充填コンクリートの応力 - ひずみ関係には、tri-linear な構成式を仮定する。

弾塑性有限変位場に基づいて誘導された剛性方程式を増分法と Newton-Raphson 法を併用した混合法で解き、柱の弾塑性履歴挙動を明らかにする。

3. 柱の諸元 形状の異なった断面柱の耐震性能を評価する場合、基準となる鋼柱が必要である。ここでは柱の重量を基準とし、二重鋼管構造の有効性を検討する。

解析対象のコンクリート充填単一鋼管柱は、現行道路橋示方書で局部座屈が生じないとされる限界の径厚比 $r/t = 40$ の柱で、充填率を 10%とした。その使用材料を用いて製作したコンクリート充填二重鋼管柱を解析し、強度と変形性能を比べることとした。すなわち、

$$V_s = V_{s,o} + V_{s,i} \quad (1)$$

$$V_c = V_{c,i} \quad (2)$$

という制約条件を設け、鋼柱の経済性および重量を同一にした。ここに、 V は材料の体積を、下添字 s, c はそれぞれ鋼とコンクリートを表す。

つぎに、コンクリート充填二重鋼管柱を構成する外側鋼管の径厚比を単一鋼管柱のそれよりも薄

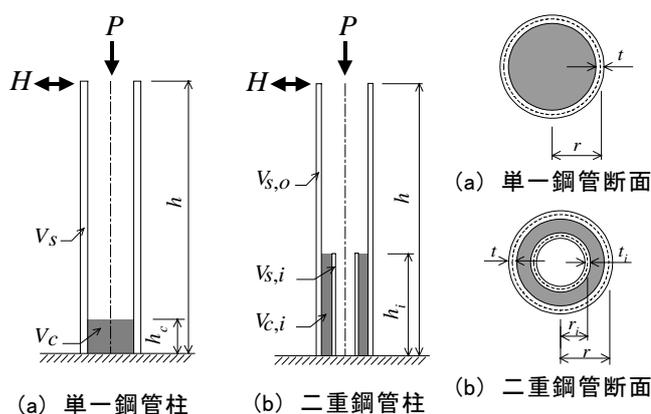


図-1 解析モデルとなる柱

図-2 断面形状

表-1 比較する柱の諸元

解析モデル	単一鋼柱	Model-1	Model-2	Model-3
r (cm)	100.7	100.7	100.7	100.7
t (cm)	2.52	2.01	2.01	2.01
r_i (cm)	—	68.5	80.4	85.5
t_i (cm)	—	3.70	2.12	1.48
h (cm)	1432.76	1432.72	1432.72	1432.72
h_c, h_i (cm)	143.28	286.55	429.83	573.10
r/t	40	50	50	50
r_i/t_i	—	18.5	38.0	57.6
$\bar{\lambda}$	0.7	0.7	0.7	0.7
$h_c/h, h_i/h$	0.1	0.2	0.3	0.4
P/P_y	0.2	0.25	0.25	0.25

Keywords : コンクリート充填鋼管柱, 二重鋼管構造, 耐荷力, 変形性能

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

肉な $r/t = 50$ とし、式(1)と(2)の条件を満たすように二重鋼管柱の断面諸量を決定した。柱の諸量を表-1 に示す。表中、Model 1, Model 2, Model 3 はそれぞれ充填コンクリートと内側鋼管の高さが柱高さの 0.2, 0.3, 0.4 倍の場合である。

4. 数値解析結果 上述のコンクリート充填単一鋼管柱と二重鋼管柱に圧縮力と漸増の水平荷重が同時に作用する場合を解析したところ、図-3 の水平荷重-水平変位曲線を得た。ただし、鋼柱に作用する圧縮力は、いずれの鋼柱でも単一鋼管の全強の 0.2 倍とした。ちなみに、二重鋼管柱では外側鋼管の全強の 0.25 倍となる。

図から明らかなように、いずれの断面においても Model 1 から 3 の順に終局強度と変形能が増加する。また、Model 2 の柱の場合、コンクリートが柱基部から 10%まで充填された単一鋼管柱の場合と同様の曲線を描いている。

5. 耐震性能の評価 上述の解析結果を参照し、最大水平荷重と塑性率を用いて、柱の耐震性能を検討する。ここに、塑性率は最大水平荷重の 95%の荷重に対応する変位を降伏変位で無次元化した値 μ_{95} とした。各 Model に対する最大水平荷重と塑性率を図示すれば、図-4 と図-5 を得る。

図-4 から明らかなように、Model 1, Model 2, Model 3 の順に最大水平荷重は増加する。また、Model 2 ($h_i/h=0.3$) の最大水平荷重は、柱基部から 10%までコンクリートが充填された単一鋼管柱のそれとほぼ同程度である。さらに、内側鋼管の高さ(充填コンクリート高さ)が $h_i/h=0.4$ になれば、最大水平荷重は柱基部から 10%までコンクリートが充填された単一鋼管柱の約 1.5~1.6 倍になる。

図-5 に示す塑性率によれば、最大水平荷重と同様、Model 1, Model 2, Model 3 の順に塑性率が増加する。また、Model 2 ($h_i/h=0.3$) の塑性率は、コンクリートが柱基部から 10%まで充填された単一鋼管柱のそれとほぼ同程度であった。なお、Model 3 ($h_i/h=0.4$) の塑性率は、単一鋼管柱の 1.4 倍となった。

つぎに、コンクリートが柱高さの 10%まで充填された単一鋼管柱と Model 3 の二重鋼管柱を対象に、圧縮力と繰り返しの水平荷重が作用する場合を解析すれば、図-6 の累積吸収エネルギー曲線が得られる。ただし、強制変位は $\delta/\delta_y=0, 0.5...5.0$ である。ここに、荷重-変位の履歴曲線で囲まれる面積を累積吸収エネルギー量とした。図から明らかなように、コンクリートが柱の基部から 10%まで充填された単一鋼管柱を内側鋼管の高さ(充填コンクリート高さ)が $h_i/h=0.4$ の二重鋼管構造にすれば、繰り返し荷重下でもエネルギー吸収能に優れた構造になることがわかる。

6. あとがき コンクリートが柱の基部から 10%まで充填された単一鋼管柱と同量のコンクリートを用いたコンクリート充填二重鋼管柱の場合、内側鋼管の高さ(充填コンクリート高さ)が $h_i/h=0.3$ 倍以上になれば、コンクリートが断面に中実された単一鋼管柱よりも強度と変形能に優れた構造になることがわかった。

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)Chen W. F. and Ross D. A.：Proc. of ASCE, No.ST3, pp.619-634, 1977-3．3)西村・小野・池内：土木学会論文集，No.513/I-31，pp.27-38，1995-4．

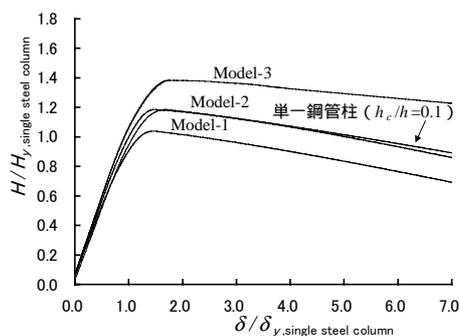


図-3 水平荷重-水平変位曲線

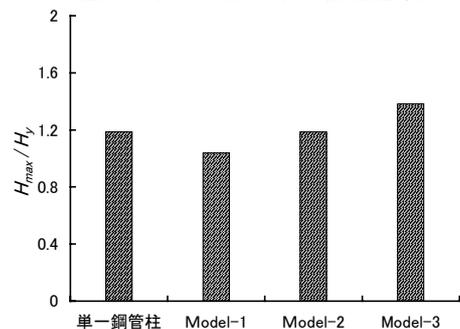


図-4 最大水平荷重による比較

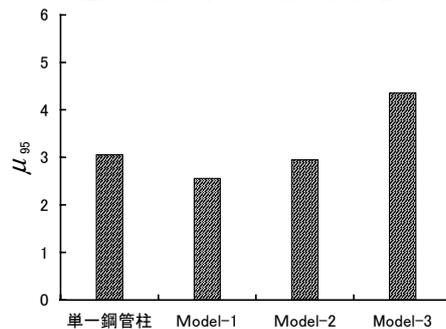


図-5 塑性率による比較

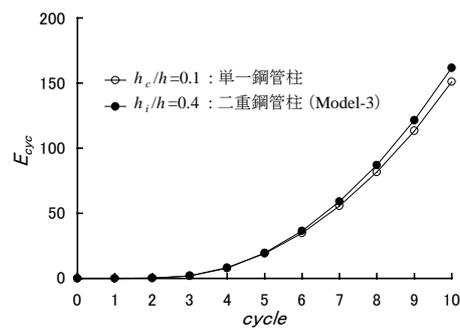


図-6 エネルギー吸収量による比較