

関西大学工学部 学生員 ○吉田和世
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

1. まえがき

コンクリートが部分的に充填された鋼製橋脚の耐力と変形性能に関する研究は以前から行われている。その多くは長方形や円形断面の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、外側と内側に 2 重に鋼管を設け、その間にコンクリートを充填すれば、橋脚の剛性をそれほど高めず、鋼管の局部座屈を防止して、その変形性能を高めることができる。この種の研究¹⁾は前述の研究に比べて少ない。

そこで、2 重鋼管の間にコンクリートが充填された鋼製橋脚に、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的に検討し、その耐力と変形性能を明らかにする。

2. コンクリート充填柱のモデル化

解析対象のコンクリート充填 2 重鋼管は、図-1 に示すように、高さが h で、内側鋼管と充填コンクリートの高さがともに基部から h_i である。外側と内側の鋼管はともに正方形断面からなる。外側鋼管のフランジと腹板の幅は b_f , b_w , 板厚は t_f , t_w である。また、内側鋼管のそれらはそれぞれ b_{fi} , b_{wi} , t_{fi} , t_{wi} である。なお、鋼材は SM400 とする。

3. コンクリート充填柱の弾塑性有限変位解析

コンクリートが部分的に充填された鋼柱を有限個のはり一柱要素に離散化し、Up-dated Lagrangian 手法で定式化した有限要素法で弾塑性有限変位解析する。

(1) 解析上の仮定

コンクリート充填 2 重鋼管を解析するにあたり、つぎの仮定を設ける。

- Bernoulli-Euler の平面保持
- 鋼板は局部変形しない。
- 内側鋼管と充填コンクリートは曲げのみに抵抗する。

(2) 鋼とコンクリートの応力-ひずみ関係

鋼材の応力-ひずみ関係に図-2 のバウシinger 効果を考慮した応力-ひずみ曲線²⁾を仮定し、その降伏応力を

$\sigma_{sy}=235\text{MPa}$, 接線弾性係数を $E_s=206\text{GPa}$, ひずみ硬化勾配を $E_{st}^p=5.19\text{GPa}$, 降伏棚の長さを $\varepsilon_{st}^p=1.25\times 10^{-2}$ とする。コンクリートの応力-ひずみ関係には図-3 の tri-linear 型の応力-ひずみ曲線を仮定し、3 区間の接線係数を $E_{c1}=14.7\text{GPa}$, $E_{c2}=4.9\text{GPa}$, $E_{c3}=0$, それらに対応する圧縮強度を $\sigma_{cy1}=14.7\text{MPa}$, $\sigma_{cy2}=19.6\text{MPa}$ とする。

4. 数値解析結果とその考察

コンクリートを充填した 2 重鋼管を有限要素法で解析するが、外側鋼管からなる鋼柱の細長比パラメータが $\lambda=0.7$, 外側鋼管のフランジと腹板の幅厚比パラメータが $R_f=R_w=0.7$ の場合を対象とし、圧縮力を全強 P_y の 0.2 倍、有限要素数を 30, 断面分割数を 24 とした。また、初期不整として柱頂部で $V_{0,max}=h/500$ となる初期たわみと、自己平衡型の台形分布の残留応力を仮定する。その引張と圧縮の残留応力はそれぞれ $\sigma_r=\sigma_{sy}$, $\sigma_{rc}=-0.2\sigma_{sy}$ とした。

(1) 充填コンクリートの断面に占める割合

断面をコンクリートで中実すれば、鋼管の局部座屈が回避できるが、その分、重量は増加する。基礎への負担を考えれば、耐力や変形性能に影響しない程度に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。

外側鋼管のフランジと腹板の幅に対する中空部分の幅 b_{fi} , b_{wi} の比, すなわち, $b_{fi}/b_f=b_{wi}/b_w$ を種々変化させ、それらと耐力や変形性能との関係を明らかにした。

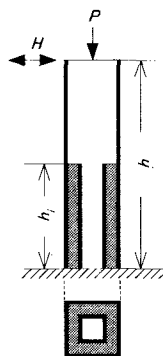


図-1 解析モデル

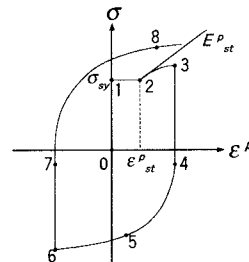


図-2 鋼材の応力-ひずみ曲線
(バウシinger 効果を考慮)

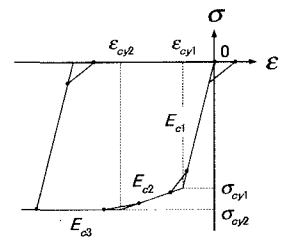


図-3 コンクリートの応力-ひずみ曲線

その結果、図-4 に示す水平力-水平変位の関係を得た。なお、断面の諸量は図中のとおりである。

図から明らかなように、中詰めコンクリートを $b_f/b_w=b_w/b_w=0.5$ になるまで除去しても、柱の耐力と変形性能は中実の柱とそれほど変わらない。

(2) 内側鋼管の断面寸法

断面の中心部分が中空状になるようにコンクリートを充填するには、鋼管の内部にも鋼管が必要である。ここでは、内側に外側と同じ材質の鋼板を用い、2重鋼管とした場合を考察する。この場合の水平力-水平変位の関係を求めれば、図-5 を得る。ただし、断面の諸量は図中のとおりである。

図から明らかなように、内側に鋼板を設けると、その耐力は内側に鋼板を設けずに中空断面とした場合より増大する。当然のことながら、内側鋼板の板厚が厚くなるに従って、強度は上昇する。しかし、最高荷重後の劣化特性に顕著な相異はない。なお、内側鋼板の幅厚比パラメータが $R_f=R_w=2.0$ の場合、コンクリートを全断面に充填した鋼柱の耐力と同程度であった。

(3) コンクリート充填2重鋼管のコンクリート充填率

コンクリート充填2重鋼管のコンクリート充填率が鋼柱の耐力と変形性能に及ぼす影響を明らかにする。コンクリートを柱高さの 0~50%に充填して解析したところ、図-6 の水平力-水平変位曲線を得た。ただし、内側鋼管の幅厚比パラメータは $R_f=R_w=2.0$ である。当然のことながら、コンクリート充填2重鋼管は、内側鋼管を設けず、コンクリートも充填しない外側鋼管のみの鋼柱に比べて、耐力と変形性能に優れる。なお、コンクリート充填2重鋼管の場合も、コンクリートが断面全体にわたって充填された鋼柱の場合と同様、コンクリートを柱高さの 30%以上にわたって充填しても耐力はほとんど変わらず、最高荷重以降の劣化特性に差異は認められない。したがって、2重鋼管の場合もコンクリートは柱高さの 30%程度でよいと思われる。

5. まとめ

充填柱を一部中空にする場合、除去するコンクリートが 1/4 程度以下であれば、中実のコンクリート充填鋼柱と同程度の耐力と変形性能が得られる。

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。

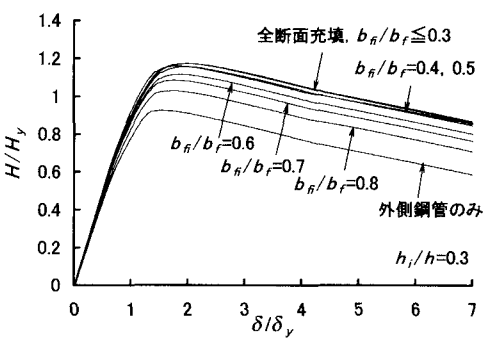


図-4 充填コンクリートの中空部分が履歴挙動に及ぼす影響

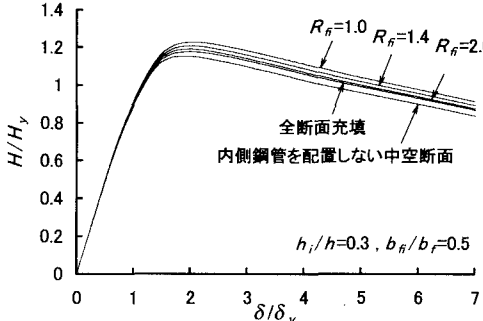


図-5 内側鋼管の板厚が履歴挙動に及ぼす影響

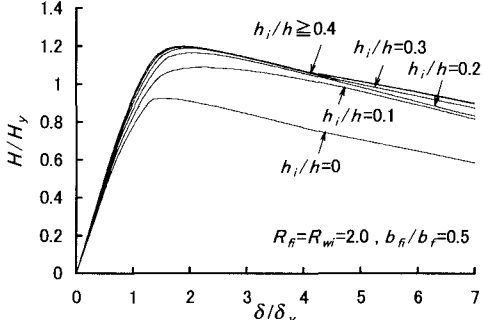


図-6 コンクリート充填2重鋼管のコンクリート充填率の相違による水平力-水平変位曲線

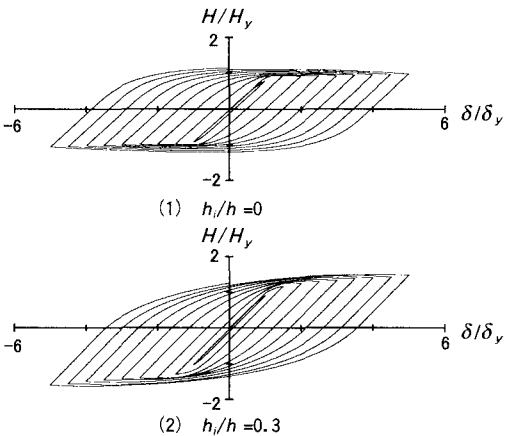


図-7 コンクリート充填2重鋼管のコンクリート充填率が繰り返し履歴挙動に及ぼす影響