

内部にコンクリートを充填した角形鋼管の局部座屈強度に関する研究

大成建設(株) 正 員 森島伸吾 熊本大学 正 員 渡辺 浩
 熊本大学大学院 学生員 持田拓児 熊本大学 正 員 崎元達郎
 熊本大学 正 員 山尾敏孝

1. まえがき: コンクリート充填鋼管等の合成柱は、耐荷力や剛性に富み、また耐震上も優れた構造物であると考えられる。この種の構造物の解析と設計のためには、内部コンクリートの強度と構成則以外に鋼管の局部座屈強度を明らかにする必要がある。ここでは、内部にコンクリートを充填した角形鋼管の局部座屈について実験的にかつ理論的に研究を進めた。従来までの若干の実験的研究によると内部への変位が拘束される鋼板の局部座屈強度は、周辺固定支持板と周辺単純支持板の強度の中間になるという報告^{1) 2)}がある。しかしながら、実験された供試体も少なく、より多くのデータが必要とされること及び鋼板の局部座屈強度の解析を行う際、境界条件をどのように設定すればよいかなど未だ説明すべき点も多い。そこで、ここでは上記のような主旨で実施した実験的研究の結果と、外側鋼板の鋼管内部への変位を拘束する手法を板の有限変位弾塑性解析法に導入して解析を行った結果について報告する。

2. 実験概要: 構成板の幅厚比パラメータを変えた7体のコンクリートを充填した溶接正方形箱形断面の鋼製供試体を製作し短柱実験を実施した。供試体の諸元を表-1に、断面図および側面図を図-1に示す。

鋼材は、SM400相当材で降伏点応力度は $\sigma_y = 3290 \text{ kgf/cm}^2$ であり、内部コンクリートの圧縮強度は 408 kgf/cm^2 であった。供試体には、端部の座屈を防止し、中央の正方形パネル部分に局部座屈を生じさせるために図-1のようにスティフナー(補剛材)を溶接した。なお、供試体の製作後、 600°C で焼鈍を行っている。これは溶接残留応力の局部座屈強度に及ぼす影響を除去し、境界条件のみの影響を取り出すためである。内部コンクリートの打設は外側鋼板の頂部から1cm打ち下げ、鋼板のみが圧縮を受けもつようにした。

初期たわみの測定は、すべての供試体の正方形パネル部分(4面)に格子上の線を引き各格子点について1/100mm精度の変位計にて測定した。その結果、最大でも初期たわみは $b/3000$ 程度であった。

残留応力試験は $b/t=65$ の焼鈍した供試体の板1枚を使用し、幅方向に15等分に切断し解放ひずみを測定した。その結果、顕著な残留応力度が存在しないことを確認した。

圧縮実験の際には、供試体のサイズと予想強度により300t圧縮試験機と100t圧縮試験機のどちらかを使用した。載荷方法としては、最初に荷重が偏心してかからないように、供試体4面の中央ゲージと4面に配置した変位計で読みをチェックした後荷重を漸増した。実験装置の概略を図-2に示す。

表-1 供試体の諸元

供試体名	t(mm)	b(mm)	b/t	R	本数
S25-1	4.5	112.5	25	0.313	1
S45-1, S45-2	4.5	202.5	45	0.563	2
S65-1, S65-2	4.5	292.5	65	0.814	2
S85-1, S85-2	4.5	382.5	85	1.064	2

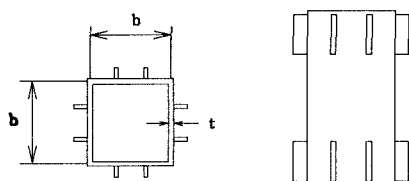


図-1 供試体の断面図および側面図

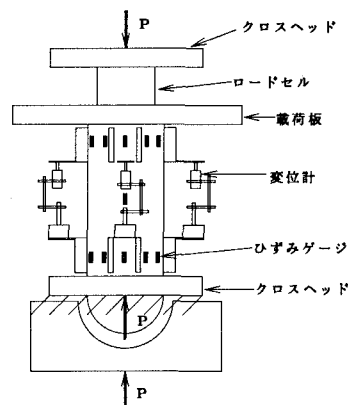


図-2 実験装置概略図

3. 解析手法

(1)概説：内部にコンクリートを充填した鋼管柱は、通常の中空箱形断面柱と異なった座屈波形が現れる。すなわち、コンクリートを充填していない鋼管の鋼板要素は周辺単純支持の圧縮板に近い挙動を示し、かつ隅角部で直角を保持するため、隣接する鋼板は断面の内側と外側に座屈する。ところが、コンクリートを充填している鋼管の鋼板要素は周辺でたわみ角も拘束され、しかも隅角部で直角を保持しようとしながら、すべての側面の板が外側へ座屈する。そこで、文献3)では周辺固定支持板でモデル化しているが、文献1)の研究によるとコンクリートを充填している鋼管の鋼板要素は、図-3に示すように周辺でのたわみ角 θ が、充填してあるコンクリートによって完全に拘束されるのではなく、弾性的に拘束されるとしている。よって、周辺固定支持の境界条件でモデル化すると危険側となる可能性がある。そこで、本研究においては、このような観点から通常の板要素の有限変位弾塑性解析法に内部変位拘束の手法を導入して弾性的拘束の境界条件を忠実に実現させて解析を行った。

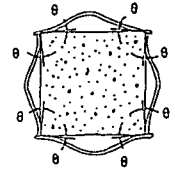


図-3 座屈モード¹⁾

(2)内部変位拘束の手法：コンクリート充填鋼管の外側鋼板は鋼管内部への変位を拘束されているが、外部への変位に対しては自由である。この影響を板要素の有限変位弾塑性解析法に反映させるために、変位してほしくない方向（鋼管内部）へ仮想の堅いバネを各節点に設けることで対処する（図-4）。つまり、従来の解析法の剛性マトリックスに、各節点が鋼管内部へ変位するか外部へ変位するかの判断を下しながら、前者の場合は図-4におけるバネ剛性($k=\infty$)をy軸方向変位が支配的となる要素に加え、後者の場合はバネ剛性を加えないで計算を進めている。図-4においては5節点4部材の棒要素で示しているが、これは簡単のためであり、解析では板要素にこの考え方を拡張して用いている。

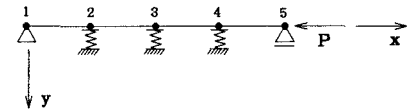


図-4 内部変位拘束の手法

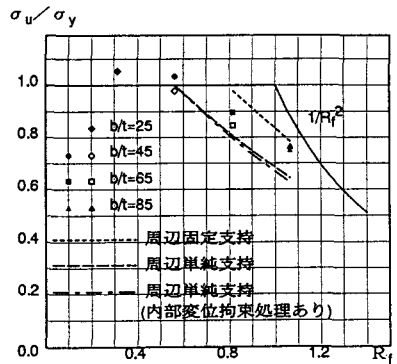


図-5 実験値と解析値（板モデル）の比較

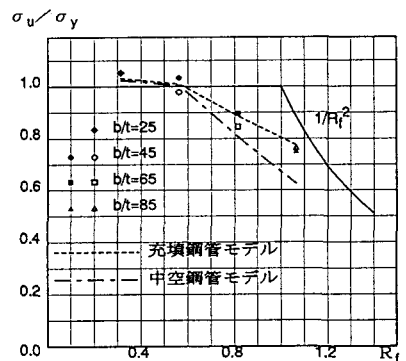


図-6 実験値と解析値（箱モデル）の比較

4. 結果と考察：図-5、図-6は実験値と解析値の最大強度(σ_u/σ_y)を比較したものである。横軸の R_f は座屈係数を $k=10.67$ とした周辺固定板としての幅厚比パラメータである。解析では、残留応力は0として初期たわみは $b/3000$ の正弦波を仮定している。図-5は解析モデルとして、コンクリート充填鋼管構造の外側の構成板一枚につきモデル化した板モデルを対象としているが、内部への変位が拘束される鋼板の局部座屈強度は、周辺単純支持板と周辺固定支持板の強度の間となっていることが確認できる。また、内部変位拘束の手法を導入した解析結果は、周辺単純支持板の解析結果とほぼ一致している。図-6は解析モデルとして、外側鋼管全体をモデル化した箱形断面モデルを対象としているが、実験結果は内部変位拘束の手法を導入した解析結果と良く一致していることがわかる。

参考文献：1) Kitada, T. and Nakai, H.: Experimental Study on ..., Proc. of 3rd Int. Conf. on Steel-Concrete Composite Structures, Fukuoka pp. 137-142, 1991. 9.

2) Nakai, H., et. al: An Experimental Study ..., 土木学会論文誌, No. 374/1-6, pp. 67-77, 1986. 10.

3) Nakai, H., et. al: A Design Method of ..., 土木学会論文誌, No. 356/1-3, pp. 405-413, 1985. 4.