

大阪大学工学部 正 員 西村宣男 大阪大学大学院 学生員○池内智行
大阪大学工学部 学生員 谷口直子

1. はじめに 土木鋼構造物の設計に対して、許容応力度設計法から限界状態設計法の移行が検討されている。鋼構造物に対して限界状態設計法を導入するにあたり、塑性設計が可能な厚肉断面部材から部材強度が局部座屈強度によって決定されるような薄肉断面部材までを含んだ、包括的な部材強度評価法の確立が必要である。部材の断面に対する強度評価（断面区分）は3つの限界値を設け、座屈強度断面、降伏強度断面、塑性強度断面および塑性設計強度断面に区分するのが一般的であり、それぞれの断面区分の限界を降伏強度限界、塑性強度限界、塑性設計強度限界と称している。土木鋼構造物として利用される部材断面の種類としてはおもに、I型、箱型などの鋼板で構成される組立断面と、円形中空断面が挙げられる。これまで、数値解析により軸圧縮力と曲げを受ける鋼板の限界幅厚比の提案¹⁾は行われてきているものの、円形中空断面に対する限界径厚比の提案はまだ行われていないのが現状である。そこで本研究では、軸圧縮力と曲げを受ける円形鋼管の耐荷力について数値解析を行い限界径厚比の提案を行った。

2. 解析モデル 曲面を表現するため要素には8節点アイソパラメトリックシェル要素を用い、弾塑性有限変位解析を行った。解析モデルは、図-1に示すようなアスペクト比が1.0の中空円形短柱とし、構造の対称性より1/4モデルとした。解析に使用した鋼材の応力-ひずみ関係はSS400材の実験データに基づいたもの²⁾とし、初期たわみおよび残留応力は考慮していない。また、要素分割については図-1に示すように局部座屈による変形が発生する部分を細かくとり円周方向に8、軸方向に7分割とした。境界条件としては円形鋼管端部で面外の変位を拘束し、対称となる面に対称条件を用いた。さらに、解析モデルの径厚比は20, 30, 40, 50, 60, 70の6種類を考えた。

3. 解析結果および考察 中空円形断面の限界径厚比として以下のような限界状態を考える。

①降伏強度限界径厚比:断面強度が降伏強度まで保証される径厚比

②塑性強度限界径厚比:断面強度が塑性強度まで保証される径厚比

③塑性設計限界径厚比:塑性設計が適用できる径厚比

解析結果より限界径厚比を決定するにあたり、軸力と曲げを受ける円形鋼管の強度を作用軸力 N と作用曲げモーメント M を用いて以下の強度パラメータ K で無次元表示することとした。

$$K = \frac{N}{N_y} + \frac{M}{M_y}, \text{ ここで } N_y: \text{降伏軸力}, M_y: \text{降伏モーメント}$$

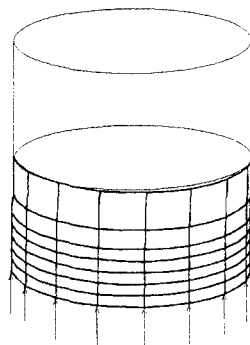


図-1 解析モデル

ここで強度パラメータ K の最大値を極限強度 K_u とし、この極限強度 K_u と降伏強度および塑性強度を比較することにより①、②の限界径厚比を求めることとした。さらに③の基準である塑性設計の適用可能な断面は、塑性強度を確保するとともに十分な変形能も確保していなければならない。そこで、変形能の評価を任意の軸力と曲げの組み合わせ状態についても一貫性を保つため、圧縮縁のひずみに着目して、極限強度時における圧縮縁ひずみ ε_1 と降伏ひずみ ε_y の比で定義される塑性率 $\varepsilon_1/\varepsilon_y=3$ 以下となる場合を塑性設計限界とした。

解析結果より得られた、純圧縮の場合の強度パラメータと圧縮縁ひずみの関係を図-2に示す。径厚比20では極限強度 K_u に達したあともほとんど強度低下がみられないが、径厚比が30より大きくなるにしたがい極限強度 K_u に達してからの強度低下が大きくなっている。径厚比20および70の場合の極限強度時付近での変形状を図-3(a), (b)に示す。図-3(a), (b)において、変形を見やすくするため変位は30倍に拡大している。

Nobuo NISHIMURA, Tomoyuki IKEUCHI, Naoko TANIGUCHI

どちらの変形状も初期不整を与えていないにも関わらず、円形鋼管の外側にはらみ出すような形状となっている。これは、圧縮によって発生するフープテンションにより円形鋼管の外側へ膨らもうとする変形が、境界条件により端部で拘束されるためと思われる。径厚比70の場合、端部付近の狭い範囲に変形が集中しているのに対し、径厚比20の場合は、円形鋼管のほぼ全体で変形を受けている。このように径厚比20の場合では円形鋼管全体で外力に抵抗するため、極限強度以降も強度低下がほとんどみられず変形能に優れているといえる。純曲げの場合の強度パラメータ K と圧縮縁ひずみの関係を図-4に示す。純圧縮の時と同様、径厚比が大きくなるにしたがい極限強度 K_u が低下し、かつ塑性率も低下する傾向がみられる。径厚比20および70の場合の極限強度付近での変形状を、変位を30倍に拡大して図-5(a), (b)に示す。変形は圧縮側で、外側へはらみ出すような形状となっている。また、径厚比による違いでは、純圧縮の時と同様に径厚比70では変形が端部付近に集中しているのに対し、径厚比20の場合には円形鋼管全体での変形となっている。

表-1に解析結果より求めた極限強度 K と塑性率 $\varepsilon_1/\varepsilon_y$ を示す。純圧縮の時の極限強度 K_u は、径厚比が大きくなるにつれ低下しているが、低下の割合が非常に小さく降伏強度限界に見分けがつきにくい。これは、解析モデルに初期たわみおよび残留応力などの初期不整を考慮しなかったためと考えられる。次に、純曲げの時の極限強度 K_u より塑性強度限界と塑性設計限界について考察する。塑性強度とは極限の値であって径厚比を小さくしていった時に収束していく値である。そのため径厚比の変化に対して強度の変化が鈍感になる傾向がある。そこで、塑性強度の5%程度を許容範囲と考えると表-1より塑性強度限界径厚比は30～40の間となる。また、塑性設計限界径厚比は20～30の間である。

4. 結論 1) 円形鋼管の弾塑性有限変位解析により限界径厚比を定めることを試みた。2) 解析モデルに初期たわみを導入しなくても端部の拘束効果により外側にはらみ出すような変形が生じる。3) 径厚比が小さくなると変形が短柱全体で起きるようになり優れた変形能を示す。

<参考文献>

- 1) 西村宣男, 間瀬利明, 大吞智正: 軸力と曲げを受ける鋼部材の断面区分, 鋼構造論文集, 1995
- 2) 西村宣男, 小野澤, 池内智行: 単調載荷曲線を基にした繰返し塑性履歴を受ける鋼材の構形式, 土木学会論文集, 1994

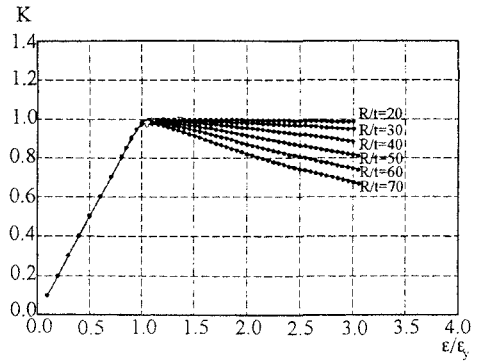
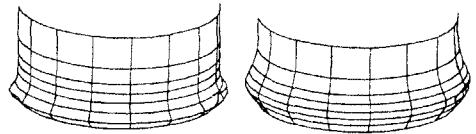


図-2 解析結果(純圧縮)



(a) R/t=70 (b) R/t=20

図-3 変形状(純圧縮)

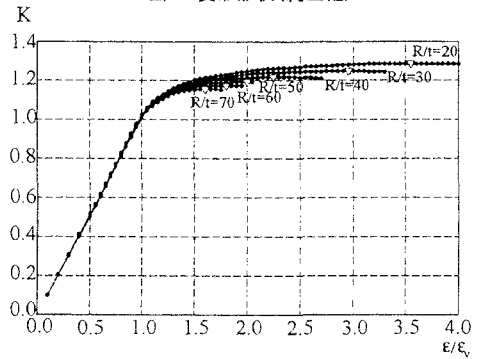
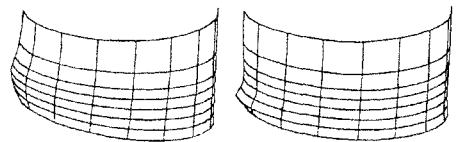


図-4 解析結果(純曲げ)



(a) R/t=70 (b) R/t=20

図-5 変形状(純曲げ)

表-1 極限強度 K_u と塑性率 $\varepsilon_1/\varepsilon_y$

		R/t=20	R/t=30	R/t=40	R/t=50	R/t=60	R/t=70
純圧縮	K_u	0.997	0.995	0.992	0.988	0.985	0.980
	$\varepsilon_1/\varepsilon_y$	1.35	1.20	1.10	1.10	1.05	1.05
純曲げ	K_u	1.285	1.246	1.217	1.192	1.172	1.156
	$\varepsilon_1/\varepsilon_y$	3.55	2.95	2.25	2.00	1.79	1.60