

I-16

鋼管部材の座屈強度に対する径厚比の影響

大阪大学大学院 学生員 讃井一将 大阪大学工学部 正員 西村宣男
大阪大学大学院 学生員 村上茂之 酒井鉄工所 正員 竹内修治

1. はじめに 鋼管は圧縮材として用いられた場合、効率的な断面形状であることから鉄塔構造物の部材など広く用いられている。本研究で対象とする製作鋼管は製作工程として鋼板を塑性曲げ加工し、溶接することによって成形されるが、その座屈強度を検討する際には製作工程で発生する残留応力や加工硬化による降伏応力度の上昇が問題となる。本研究では、鋼管の径厚比によって変化する残留応力、板厚方向に変化する降伏応力を考慮した鋼管部材の座屈解析を行い、これらの材料学的初期不整が座屈強度に及ぼす影響を検討する。解析にはアイソパラメトリック要素を用いたシェル構造の弾塑性有限変位解析プログラム(NASHEL)を用いる。

2. 解析モデル 塑性曲げ加工による残留応力および降伏応力度の上昇は、径厚比による残留応力の変化および板厚方向の塑性履歴の程度を考慮した文献1)の提案式に従う。

縦継手溶接による残留応力については軸方向の溶接線からの距離の関数で与えられるChen-Ross²⁾の提案式を用いる。また、今回の解析では周継手溶接は考慮しない。

管軸方向の初期たわみとして最大値が部材長の1/1000で与えられるCOSINE半波を考慮する。解析モデルの径厚比パラメータ³⁾の値は0.02~0.085の範囲である。円周方向の初期たわみは考慮しない。

鋼種は一般構造材として広く用いられているSS400とする。加工以前の鋼材の降伏応力には公称値2400.0(kgf/cm²)を用いる。鋼管の寸法(R, t)はJIS規格⁴⁾にある一般構造用炭素鋼管の寸法から抜粋したものである。表-1に解析モデルの構造諸元を示す。モデルには加工硬化を受けるような径厚比の小さな鋼管から、加工硬化を受けない径厚比の大きな鋼管も対象としている。

3. 解析結果 2で示した鋼管部材モデルについてNASHELを用いて座屈解析を行い、検討を行った。図-1.A~Dに荷重-ひずみ関係を示す。それぞれ全強、降伏ひずみを用いて無次元化した。座屈荷重は径厚比が大きくなるに従って低下する傾向にある。TYPE AとTYPE Bの座屈荷重の差に比べて、TYPE CとTYPE Dの間には顕著な差は見られない。これは後述のようにTYPE Cが加工硬化をほとんど受けておらず降伏点の上昇が小さいためと考えられる。図-2は径厚比と降伏応力度の上昇率との関係を文献1)の推定式から算出したものである。横軸には無次元化径厚比⁵⁾を用いている。これによると、径厚比が小さくなるに従い降伏応力度上昇率は

表-1 構造諸元

解析モデル	径厚比	無次元化径厚比	細長比 λパラメータ	加工硬化の有無
TYPE A	10.160	.02322	約0.7	有
TYPE B	14.856	.03396		有
TYPE C	29.167	.06667	~1.6	有
TYPE D	45.156	.10321		無

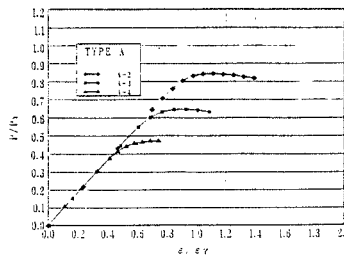


図-1.A 荷重-ひずみ関係(TYPE A)

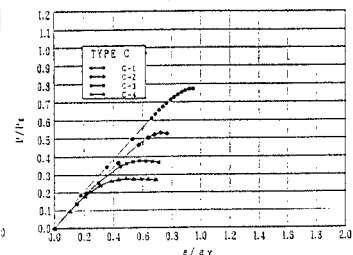


図-1.C 荷重-ひずみ関係(TYPE C)

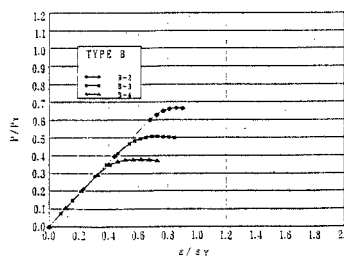


図-1.B 荷重-ひずみ関係(TYPE B)

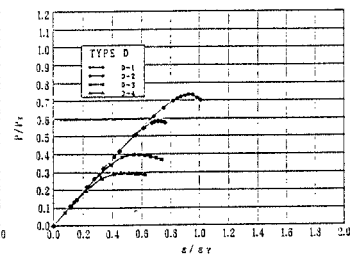


図-1.D 荷重-ひずみ関係(TYPE D)

大きくなること分かる。このため比較的径厚比の小さな鋼管についてはその強度に関して、径厚比は重要なパラメータとなる。また、 $1/\alpha = 0.07$ 以上では降伏応力度の上昇は全くなることが分かる。これはほぼ $R/t = 30$ に相当し、この値からTYPE Cでは、加工硬化はほとんど受けておらず、降伏応力度の上昇はほとん

ど無いことがいえる。つまり、加工硬化による降伏応力度の上昇が座屈強度に大きな影響を及ぼしていると考えられる。図-3は今回の解析結果を基準柱強度曲線⁶⁾と比較したものである。細長比が小さくなるにつれ、強度は上昇しているが、TYPE C, TYPE DではTYPE Aの特性とは異なり、基準強度曲線に沿うように変化していることが分かる。また同程度の細長比パラメータであっても径厚比が小さくなれば強度は上がっており、加工硬化の影響が確認される。ここで鋼管の断面の応力状態を調べる。図-4. A~Dは断面の相当応力分布を示している。横軸は溶接線から円周方向にとった距離で右端は溶接線の反対側となる。縦軸は応力を公称の降伏応力で除したパラメータである。各線は載荷荷重を増加させていく各段階での応力分布を示している。溶接線から少し離れた位置(円周の約1/16)での応力が大きくなっているが、これは溶接による圧縮残留応力が影響しているためである。加工硬化を受けていない板厚中心では公称の降伏応力で降伏開始している。TYPE AおよびTYPE Bの鋼管外縁、内縁では、加工硬化により降伏点があがっているため公称の降伏応力度以上まで応力は上昇する。TYPE Cでは鋼管外縁に、TYPE Dでは鋼管外縁と内縁の両方で降伏が確認される。

4. まとめ 以上より、鋼管の座屈強度に影響を与える最大の要素は、塑性曲げ加工時の加工硬化による降伏応力度の上昇であるといえる。この加工硬化の度合いを決定するパラメータは鋼管の径厚比である。

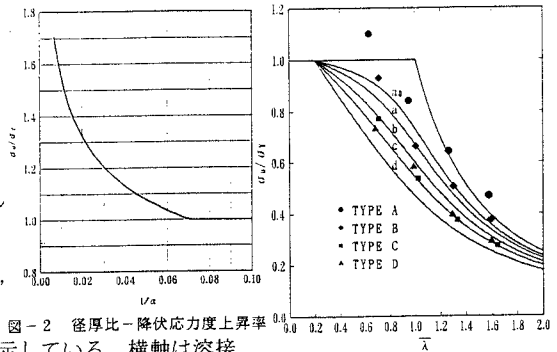


図-2 径厚比-降伏応力度上昇率

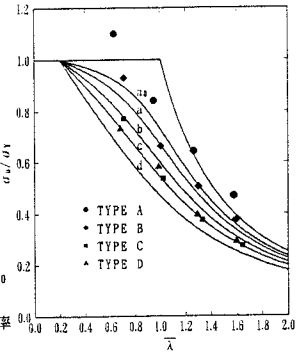


図-3 基準耐力曲線との比較

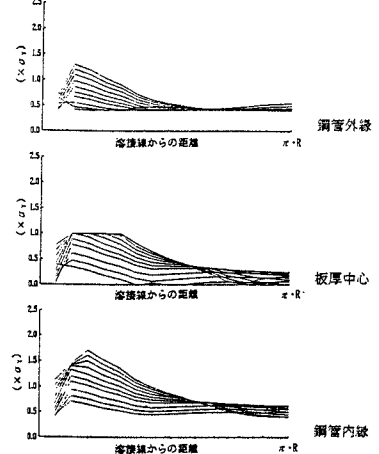


図-4.A 断面の相当応力分布(TYPE A)

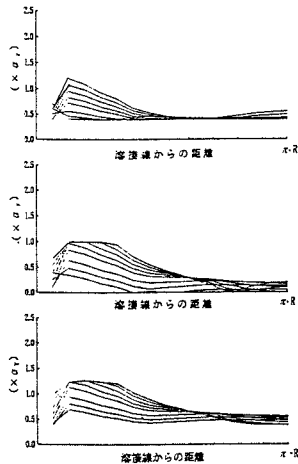


図-4.B 断面の相当応力分布(TYPE B)

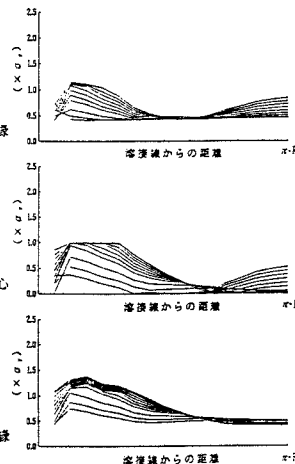


図-4.C 断面の相当応力分布(TYPE C)

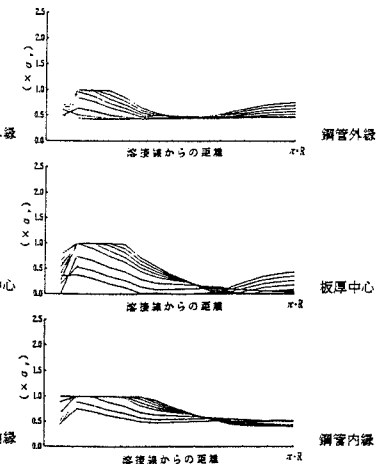


図-4.D 断面の相当応力分布(TYPE D)

【参考文献】

- 1) 西村宣男, 村上茂之, 竹内修治, 讃井一将: 製作鋼管の曲げ加工による残留応力と降伏応力の推定法, 土木学会関西支部年次学術講演会, 1995
- 2) W.F.Chen, D.A.Ross: TESTS of Fabricated Tubular Columns, Journal of the Structural Division, Proc. of the ASCE, pp.619-634, March, 1977
- 3) 宇佐美勉, 青木徹彦, 加藤正宏, 和田匡央: 鋼管短柱の圧縮および曲げ耐力実験, 土木学会論文集 第416号, 1990.4
- 4) 日本工業規格 G 3 4 4 4
- 5) B.KATO: Cold-Formed Welded Steel Tubular Members, AXIALLY COMPRESSED STRUCTURES, Stability and Strength, Applied Science Publishers, 1982
- 6) ECCS-Technical Committee 8: European Recommendations for Steel Construction: Buckling of Shells, 1983