

I - 15

孔あき円形鋼管部材の座屈強度

大阪大学大学院 学生員 村上茂之 大阪大学工学部 正 員 西村宣男
(株)酒井鉄工所 正 員 竹内修治

1. はじめに

送電鉄塔等の構造物の柱部材として円形鋼管が広く用いられている。円形鋼管は軸圧縮荷重に対して効率的な形状を有し、また製造時の塑性加工によって降伏点が上昇するため、他の断面に比べて高い座屈強度が得られることが以前の研究から明らかとなっている¹⁾。しかし、腐食等により損傷を受けた円形鋼管部材の座屈強度に関する研究は少なく、円形鋼管部材の補修基準の策定の基礎資料として、損傷を受けた円形鋼管の座屈強度特性について明らかにすることが必要である。本研究では、腐食による開孔を想定した孔あき円形鋼管部材の座屈強度を、アイソパラメトリック要素を用いた弾塑性有限変位解析プログラムを用いて解析し、座屈強度の低下に及ぼす孔の影響について基礎的な検討を行った。

2. 解析モデル

孔あき鋼管部材の座屈耐力に対しては、孔周辺の応力集中と断面の変形が影響すると予想される。今回の解析では、これらの影響を考慮するために8節点のアイソパラメトリックシェル要素を用いた弾塑性有限変位解析プログラムを用いた。また、Up-dated Lagrangian法に基づいて定式化を行うことにより有限変位を考慮した。解析の対象とした鋼管は、外径8.91cm、肉厚0.32cmの一般構造用電縫管であり、鋼種はSTK400、降伏応力は実測値より4235(kgf/cm²)とした。弾性係数は 2.1×10^6 (kgf/cm²)鋼管長は150cm、310cmの2種とし、鋼管の中央に径が2.0cmと4.0cmの2種類の孔を考慮したモデルと孔の無い健全材モデルを作成した。表

表-1 構造諸元

	σ_y	D	t	L	孔径	λ
	kgf/cm ²	cm	cm	cm	cm	
NS-A	4235.0	8.91	0.32	150.0	4.0	0.706
NS-B	4235.0	8.91	0.32	150.0	2.0	0.706
NS-C	4235.0	8.91	0.32	150.0	0.0	0.706
NL-A	4235.0	8.91	0.32	310.0	4.0	1.458
NL-B	4235.0	8.91	0.32	310.0	2.0	1.458
NL-C	4235.0	8.91	0.32	310.0	0.0	1.458

1に鋼管部材の構造諸元を示す。NSシリーズの部材は、弾塑性座屈領域に属する鋼管であり、NLシリーズはEuler座屈領域に属する鋼管となっている。図-1に解析モデルを示す。鋼管端部における単純支持の条件を満足するために、図-1のような鋼管部材を解析モデルとした。解析モデルの両端は、対称条件から回転変位を拘束している。また、開孔部が座屈に対して最も不利となるように、開孔部が圧縮側となるような初期たわみを与えた。初期たわみの最大値は部材長の1/1000とした。また、塑性加工に伴う降伏点の上昇を考慮し、溶接および塑性加工に伴う残留応力は考慮しなかった。

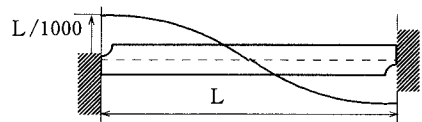


図-1 解析モデル

3. 解析結果

表-2および図-2に解析結果を示す。図中の実線はECCSの α 曲線であり、○印は解析モデルと同じ構造諸元を有する供試体の実験結果²⁾である。表中の α はECCS曲線に対する座屈強度の比、 β は孔の無い健全材モデルに対する座屈強度の比である。細長比パラメータが小さいNSシリーズにおいて開孔による座屈強度の低下が大きいといった傾向は、解析・実験の双方で認められる。また孔径が4.0cmの場合、NSシリーズとNLシリーズとではほぼ同程度の荷重で極限強度に達するといった結果も得られた。NLシリー

表-2 座屈強度低下量

	N/N_y	α %	β %
NS-A	0.4474	52.64	49.28
NS-B	0.6148	72.33	67.71
NS-C	0.9079	106.81	100.0
NL-A	0.3658	93.55	79.18
NL-B	0.4295	109.92	92.80
NL-C	0.4619	118.13	100.0

ズでは開孔による座屈強度の低下は約7%，21%であったが，NSシリーズでは約12%，41%となっている。このことから，開孔による座屈強度の低下は細長比パラメータが小さいほど顕著に現れることが予想される。図-3は孔を有するモデルの開孔断面の変形形状である。点線が初期状態，実線が極限強度時のものである。どのモデルも，断面の扁平化を伴って極限強度に至っていることがわかる。しかし，開孔部の大きさに着目すると，孔径が2.0cmのモデルでは開孔部の径に大きな変化が見られないが，孔径が4.0cmのモデルでは，開孔部が大きく外側に膨らんでいることがわかる。また，NSシリーズではNLシリーズに比べて，部材たわみに対する開孔部の断面変形の割合が大きく，座屈強度の低下に対する断面変形の影響が大きいことがわかる。また，孔径によってもこの割合が変化していることがわかる。このことから，孔径によって断面欠損と変形形状が変化し座屈強度の低下に大きく影響することがわかる。図-4は，径が2.0cm～8.0cmの孔を考慮した場合の，孔周辺部での円周方向の応力分布である。この図より孔径が大きくなるほど応力集中係数が大きくなることがわかる。また，孔径が大きくなるほど鋼管内外縁の応力差が大きくなっていることから，断面変形量が大きくなっていることがわかる。表-2において，孔径が2.0cmの場合の β と比べて孔径が4.0cmの場合の β が大きいのは，この孔径による応力集中係数の変化が影響していると考えられる。

4. まとめ

腐食による開孔を想定した孔あき円形鋼管部材の座屈強度解析を弾塑性有限変位解析プログラムを用いて解析した。この結果，孔あき鋼管の座屈強度の低下には細長比パラメータの他に孔径が大きく影響することが明らかとなった。また開孔による断面欠損と孔周辺の応力集中の相互効果によって，座屈強度が大きく低下し，断面の変形形状も変化することが明らかとなった。

【参考文献】

- 1)例えば，青木徹彦，福本湧士：小口径電縫鋼管柱の中心軸圧縮強度分布，土木学会論文報告集，No. 337，pp. 17～pp. 26，1983，9.
- 2)西村宣男，村上茂之，竹内修治：圧縮を受ける孔あき鋼管部材の座屈強度，第44回応用力学連合講演会講演予稿集，316，pp. 183～pp. 184，1994，12.

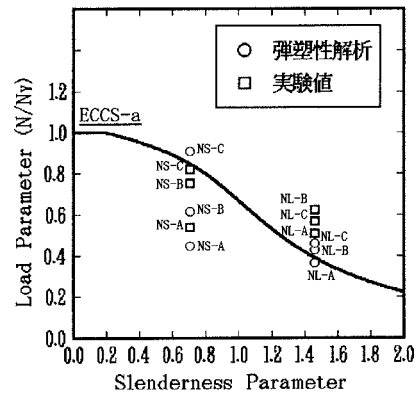


図-2 解析結果

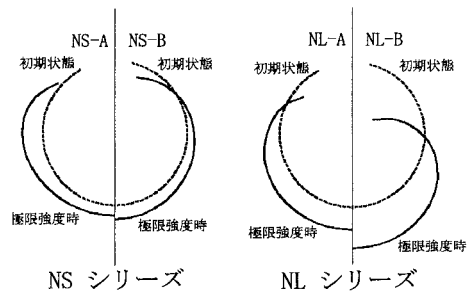


図-3 変形形状

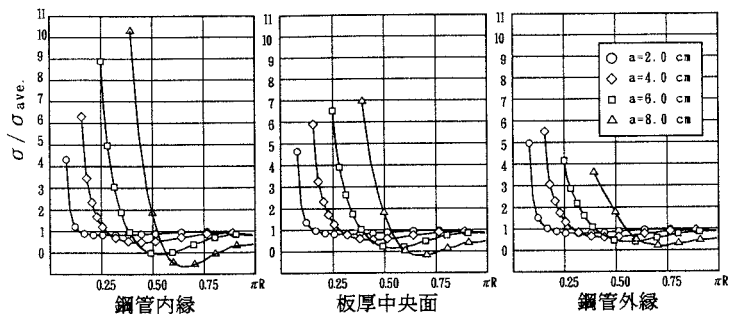


図-4 円周方向の応力分布