

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  
酒井鉄工所 正 員      竹内修治

1. はじめに    鉄塔構造物等で用いられる鋼管部材は、細長比パラメータが比較的大きく、部材座屈を呈する柱部材となる。鋼管柱の極限強度特性に関しては、これまでに数多くの実験・研究がなされており膨大なデータが蓄積されている<sup>1)</sup>。しかし、予測しない事故や腐食といった損傷により断面に変化が生じた鋼管部材の座屈強度に関する研究は少なく、損傷を受けた鋼管部材の残存強度特性は明らかにはなっていない。適正な補修基準を策定し効果的な維持管理を行うためには、このような損傷を受けた構造部材の残存耐荷力特性を明らかにする必要がある。本研究では、断面の欠損を伴う損傷として腐食による開孔を想定し、中央に孔を有する鋼管部材の座屈実験および座屈解析を行い、孔あき鋼管部材の耐荷力特性に関して基礎的な検討を行った。

2. 孔あき鋼管の座屈実験    座屈実験を行った鋼管の $\phi \times t = 8.91\text{cm} \times 0.32\text{cm}$ の電縫鋼管であり、部材長は弾性座屈領域に属するNLシリーズが310cm、弾塑性座屈領域に属するNSシリーズが150cmである。鋼種はSTK400であり、

降伏応力の実測値は415.1MPaであった。実測の降伏応力を用いた場合、各シリーズの細長比パラメータは1.458、0.706となる。各シリーズに対し、直径4.0cmと2.0cmの孔を部材中央にあけたモデル(A、B)と孔をあけないモデル(C)を製作し載荷を行った。表-1に供試体の構造諸元を示す。また、荷重をロードセルで、試験体の軸方向変位を試験体外側に設置した変位計で測定した。

表-1 構造諸元

| モデル名 | $\phi \times t$ | 部材長    | $\lambda$ | 孔径     |
|------|-----------------|--------|-----------|--------|
| NS-A | 8.91×<br>0.32   | 150 cm | 1.458     | 4.0 cm |
| NS-B |                 |        |           | 2.0 cm |
| NS-C |                 |        |           | 0.0 cm |
| NL-A | 0.32            | 310 cm | 0.706     | 4.0 cm |
| NL-B |                 |        |           | 2.0 cm |
| NL-C |                 |        |           | 0.0 cm |

図-1、-2に各シリーズの荷重－軸方向変位関係を示す。鋼管部材に孔が存在する場合、開孔による断面欠損と孔周辺の応力集中により、健全材に比べ早期に降伏が開始し、座屈耐荷力が低下する。実験においても同様の影響が認められ、孔径の大きなモデル(NL-A、NS-A)ではそれぞれ健全材(NL-C、NS-C)に対し89%、66%の座屈耐荷力が得られた。表-2に鋼管の座屈形状を示す。健全材モデルおよびNL-Bモデルは全体座屈により極限状態に達しているが、NL-A、NS-A、NS-Bの各モデルは孔の側部が膨らみ出し、局部座屈により極限に至っている。これは開孔による応力集中の影響で孔周辺部で降伏が進展したためと考えられる。このことから、孔あき鋼管部材の座屈耐荷力特性を検討する場合には、部材座屈と応力集中に起因する局部座屈の連成の評価が重要となる。

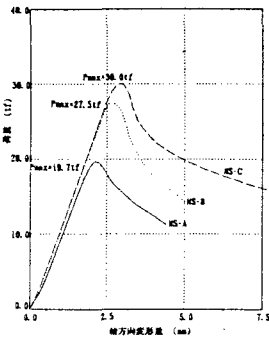


図-1 実験結果 (NSモデル)

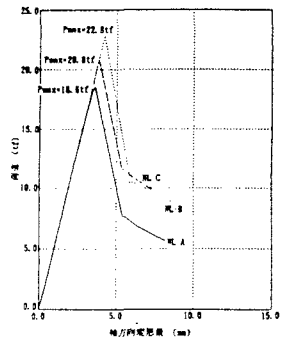


図-2 実験結果 (NLモデル)

表-2 座屈強度比(対健全材)と座屈形状

|      | 座屈強度比  | 座屈形状 | 断面欠損率 |
|------|--------|------|-------|
| NS-A | 0.6567 | 局部座屈 | 15.7% |
| NS-B | 0.9167 | 局部座屈 | 6.0%  |
| NS-C | 1.0000 | 部材座屈 | 0.0%  |
| NL-A | 0.8942 | 局部座屈 | 15.7% |
| NL-B | 1.0962 | 部材座屈 | 6.0%  |
| NL-C | 1.0000 | 部材座屈 | 0.0%  |

3. 孔あき鋼管の座屈解析    座屈実験を行った鋼管部材の座屈耐荷力を、著者が開発した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(NASHEL)を用いて解析し、荷重－たわみ関係および断面変

形について検討を行った。座屈解析に先立ち、本プログラムを用いて軸圧縮力を受ける孔あき鋼管の応力集中を解析した<sup>2)</sup>。この結果、孔あき板よりも大きな応力集中係数が得られ、またその大きさも孔径によって変化することが明かとなった。部材座屈解析モデルの要素分割においては、孔周辺の応力集中を適正に評価できることに留意した。

鋼管の初期不整量として、初期たわみ、初期面外変形といった幾何学的初期不整と残留応力、加工硬化による降伏点の上昇といった材料学的初期不整が考えられる。今回の解析では、幾何学的初期不整として、最大値が部材長の1/1000で与えられる軸方向初期たわみを考慮した。また、短柱圧縮試験から得られる見かけ上の応力-ひずみ関係を統計的に処理することによって得られた応力-ひずみ関係<sup>3)</sup>を鋼材の機械的性質として用いることによって、塑性加工による残留応力および加工硬化による降伏点の上昇の影響を考慮している<sup>4)</sup>。

図-3、-4はNLシリーズの解析結果である。NL-Bモデルでは極限強度付近まで健全材とほぼ一致した荷重-軸ひずみ関係および荷重-たわみ関係であるのに対し、NL-Aモデルでは、NL-Bモデルに比べて早期に孔周辺で降伏が開始していることがこの図より確認できる。図-5はNL-A、NL-Bの開孔部の変形形状である。孔径の小さなNL-Bモデルでは開孔部の径に大きな変化は生じず、断面全体が偏平化するような傾向が見られるが、孔径の大きなNL-Aでは、断面の偏平化に伴い開孔部が外側に膨らむといった変形が認められた。NL-AとNL-Bの開孔部における断面欠損率が15.7%、8.0%であるのに対し、座屈耐力の低下の割合は20.0%、6.0%であった。NL-Aモデルにおいて耐力の低下の割合が断面欠損率を上回っているのは、この断面変形が原因として考えられる。

4. まとめ 人工的に孔をあけた鋼管部材の座屈耐力実験を行い、開孔により座屈形状が変化し同時に座屈耐力が低下することを明らかにした。また孔周辺の応力集中を考慮した弾塑性有限変位解析により、同様の傾向が得られることを確認した。

#### 【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，第191号，pp.31-pp.44，1971年，7月
- 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行集，316，pp.183-pp.184，平成7年1月
- 3) 越智健之，黒羽啓明：曲げと圧縮を受ける冷間成形円形鋼管部材の終局耐力の統計的評価，日本建築学会構造系論文報告集，第408号，pp.55-65，1990年，2月
- 4) 加藤勉，青木博文：電気抵抗溶接鋼管のひずみ履歴と残留応力-短柱圧縮試験における見かけ上の応力-ひずみ関係への影響について-，日本建築学会論文報告集，第230号，pp.43-pp.51，1975年，4月

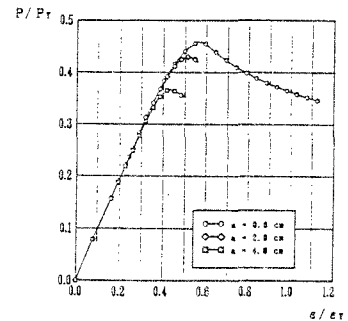


図-3 荷重-軸ひずみ関係

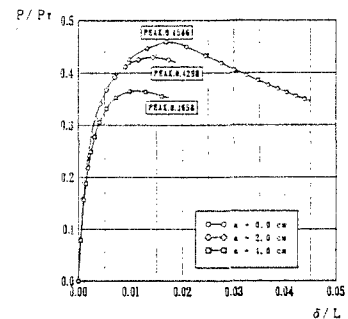


図-4 荷重-たわみ関係

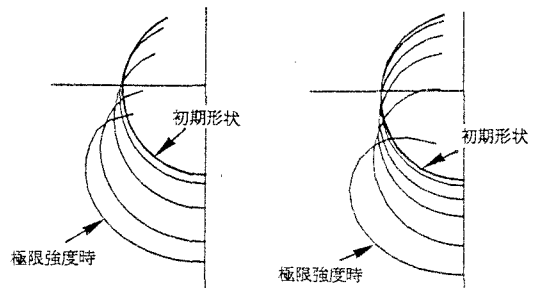


図-4 変形形状 (NL-A) 図-5 変形形状 (NL-B)