

腐食した薄肉円筒殻の曲げ耐荷力評価

株式会社 長大 正会員 ○近藤恒樹
 広島大学大学院 フェロー会員 中村秀治
 広島大学大学院 正会員 藤井 堅

1. 背景と目的

経年鋼構造物の維持管理においては、腐食が主問題である。特に腐食した鋼製配電柱の残存強度の評価は、実務においては技術者の主観に依存しており、実験的、解析的根拠に基づいた判断がなされていないのが現状である。本研究では、20～30年間供用された鋼製配電柱より採取した腐食円筒殻（直径 270～390mm、板厚約 2mm、半径対板厚比 $R/t=80\sim98$ ）から供試体を作製し、材料特性と腐食状態を調べた後に、曲げ座屈実験を行い残存耐力と終局挙動を調べた。あわせて弾塑性有限変位解析を行った、最後に、既存の曲げ座屈強度評価式を用いた腐食鋼管の残存曲げ耐力の簡易保有強度評価法を提案する。

2. 供試体の概要と腐食表面形状計測

実験供試体に用いた薄肉円筒殻は、長期間にわたり使用され、腐食が理由で撤去されたものである。腐食は、地中や地際付近で著しく、供試体の多くはこの部分から採取した。供試体の全高は 1,398mm であり、下部フランジより 300mm の位置までコンクリートを打設した。1 箇所に約 20mm のシーム（写真-1）を持つ。供試体を写真-2 に示す。本研究では、腐食のない未使用の配電柱から基本実験用として 4 体、長期間使用され腐食の発生している配電柱から腐食供試体実験用として 21 体作製し実験に用いた。なお、実験時に座屈発生が予想される位置を「西」と定義する。

次に、腐食形態の把握のため 3 次元座標計測装置を用いた。本装置により任意に設定した 3 次元座標系に基づいて広範囲の腐食表面の座標値を直接計測できる。これにより腐食形状および残存板厚などを調べた。図-1 に板厚等高線の一例を示す。板厚等高線は円筒殻の座屈部（半円）を平面に展開した形で示している。図より孔食や局所的な減肉は無く、ほぼ一様に腐食している形態であることがわかる。なお、腐食供試体は、目視及び別途行った超音波探傷検査により腐食損傷度を判断し、A、B、C の 3 段階の腐食状態に区分した。

キーワード 円筒殻、腐食、有限要素解析、曲げ耐荷力、曲げ耐荷力評価

連絡先 〒673-0435 兵庫県三木市別所町高木 227 Tel 080-3030-8882



写真-1 供試体シーム



写真-2 コンクリート
打設後の供試体

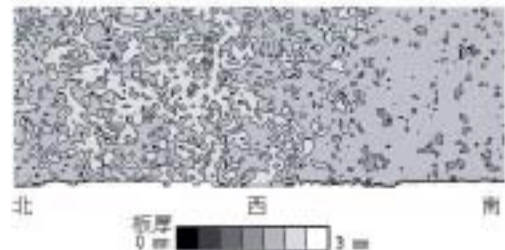


図-1 地際部の板厚分布



写真-3 載荷状況

3. 曲げ座屈実験

腐食円筒殻の曲げ座屈耐荷力を調べるため、実験を行った。写真-3 に載荷状況を示す。図-2 に腐食供試体実験で得た荷重-変位関係を降伏モーメント M_y および降伏変位 δ_y で無次元化して示す。腐食の軽微な供試体（主として A ランク）の荷重-変位曲線は、最高荷重時で尖った明確なピークが現れている。これに対し、腐食が顕著な供試体（主として B、C ランク）では、最高荷重付近で曲線がなだらかで、最高荷重もほかに比べて低く、また、最高荷重後の耐力低下も緩やかである。

4. 腐食円筒殻の曲げ座屈解析

腐食表面形状計測結果, 及び材料試験結果を反映させた腐食鋼管モデルを作成し, 弾塑性有限変位解析を行った. 図-3 に実験での最大荷重($\text{kN} \cdot \text{m}$)と, 解析での耐荷力($\text{kN} \cdot \text{m}$)を比較して示す. 実験値と解析値の相関係数は 0.85 と非常に良い相関が得られた. つまり腐食表面計測結果を反映させ有限要素解析を行えば, 曲げ耐荷力を実態に即して推定できることがわかった.

5. 曲げ座屈耐荷力評価

ここでは, 既存の腐食のない円筒殻の曲げ座屈評価式を用いて, 腐食円筒殻の残存曲げ耐荷力の簡易評価法を提案する. 円筒殻の曲げ座屈評価式として, 以下の NASA の弾性曲げ座屈評価式を用いることにする¹⁾.

$$\sigma_{b,cr}^e = 0.6 \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{1}{16} \sqrt{\frac{R}{t}} \right) \right\} \right] \frac{Et}{R} \quad (1)$$

ここに, $\sigma_{b,cr}^e$: 弾性曲げ座屈応力, R : 半径, t : 板厚
弾塑性域における曲げ座屈応力 $\sigma_{b,cr}^p$ については, 次式によって求める.

$$\frac{\sigma_{b,cr}^p}{\sigma_{b,cr}^e} + \left(\frac{\sigma_{b,cr}^p}{1.27\sigma_y} \right)^2 = 1 \quad (2)$$

ここに, σ_y : 降伏応力, 1.27 は円筒の形状係数である.

設計時の弾塑性座屈時の部材力は弾性ばりの応力状態を仮定して,

$$M_{cr} = \sigma_{b,cr}^p \cdot \pi R^2 t \quad (3)$$

を用いることによって求まる.

曲げ座屈評価式(1)では, 板厚 t は一つの値, 即ち, 一様板厚を前提にしたものである. ここでは軸方向に $2\sqrt{Rt}$, 周方向には $\pi/2[\text{rad}]$ の領域を基本として, 平均板厚を求めた. これを代表板厚 t として式(1)~(3)へ代入して残存曲げ強度を求め, 実験結果と比較して図-4 を得た.

$2\sqrt{Rt} \times \pi/2$ の腐食領域における平均板厚を用いて腐食円筒殻の曲げ座屈耐力を算定した結果, 式(1)~(3)を用いた評価値は, 概ね実験値を安全側に評価していることがわかる.

5. 結論

以上, 腐食した円筒殻の曲げ耐荷力について実験的, 解析的に検討し, 得られた結果を用いて, 簡易残存耐力評価法を提案してその適用性について考察した. 本論文で得られた知見を要約すると次のようになる.

(1) 腐食が軽微な供試体では最高荷重が高く, 最高荷

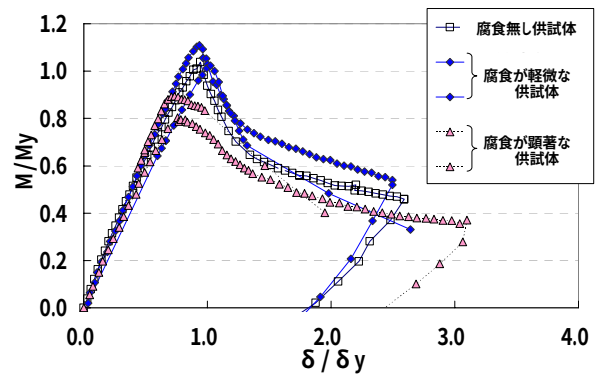


図-2 荷重-変位曲線(無次元化)

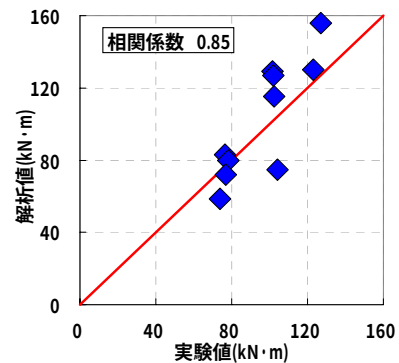


図-3 解析結果

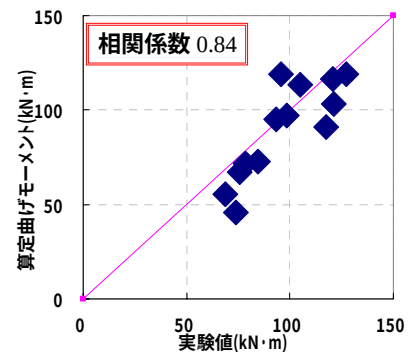


図-4 実験値-算定値相関 ($2\sqrt{Rt} \times \pi/2$ の領域)

重後の荷重低下が急である. 一方, 腐食が顕著な供試体では, 腐食が軽微なものに比べて最高荷重は相対的に低く, 最高荷重後の荷重低下は緩やかであった.

(2) 腐食表面形状計測で得られた表面形状データを反映させ FEM 解析を行えば, 曲げ耐荷力を実態に即して評価できる.

(3) 腐食のない円筒殻の曲げ座屈評価式(1)~(3)に, $2\sqrt{Rt} \times \pi/2(1/4 \text{ 円})$ の腐食領域における平均板厚を代入し, 腐食円筒殻の曲げ座屈耐力を算定した結果, 評価式は, 概ね実験結果を安全側に評価できることが確認された.

参考文献

- 1) 土木学会: 座屈設計ガイドライン改訂第2版[2005年度版], 鋼構造シリーズ 12, pp. 221-251, 2005.