

厚肉鋼管部材の軸圧縮・曲げ座屈に関する解析的検討

広島大学大学院 学 ○藤井 真人
 広島大学大学院 フェロー 中村 秀治

広島大学 学 三浦真知子
 広島大学大学院 正 藤井 堅
 福山大学 正 上野谷 実

1. はじめに

鉄塔で使用する鋼管の材質は、STK400、STK540、STKT590などで、通常、径厚比 (D/t) が20～50、細長比 (λ) は概ね $\lambda=20\sim120$ にあるが、支柱材に着目した場合の範囲は概ね $\lambda=20\sim80$ の領域にあり、座屈評価の視点で見ると厚肉円筒に属する(図1～図3)。この断面形状では軸圧縮力や曲げモーメント、せん断力に対して塑性座屈あるいは圧壊が生じるため、座屈現象自体が材料特性に大きく依存する。本研究では、構造強度の観点から、実材料による鋼管部材の静的耐荷力特性を再検討し、現行の設計評価式の見直しを図ることを目的とする。

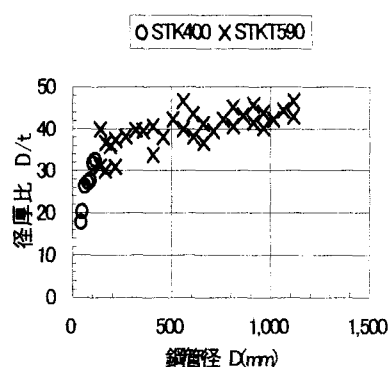
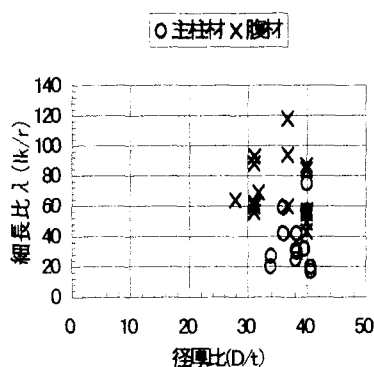
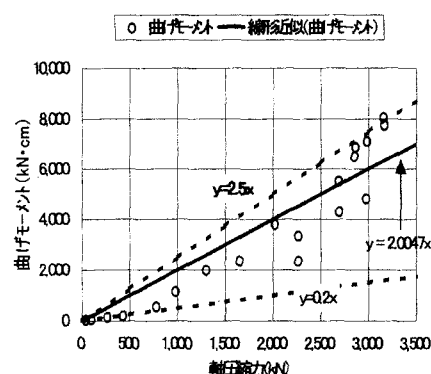
図1 径厚比 (D/t) の分布図2 細長比 (λ) の分布

図3 軸圧縮力と曲げモーメントの関係

2. 現行の鋼管の座屈耐力評価式

現在の鉄塔用鋼管の座屈耐力評価式は電気設備技術基準(電技)で表1に示すように定められており、有効細長比の関数となっていることから、座屈モードがオイラー座屈となることを前提としているのに加えて、偏心が極めて少ない場合に対して適応できるとされている。

表2 形状パラメータ

表1 現行の鋼管の許容座屈応力度評価式

材質	λ_k	許容座屈応力度 $\sigma_{ks} = (N/mm^2)$
STK400	$0 < \lambda_k < 100$	$\sigma_{ks} = 156 - 63 \left(\frac{\lambda_k}{100} \right)^2$
	$\lambda_k \geq 100$	$\sigma_{ks} = 93 / (\lambda_k / 100)^2$
STK540	$0 < \lambda_k < 75$	$\sigma_{ks} = 260 - 168 \left(\frac{\lambda_k}{100} \right)^2$
	$\lambda_k \geq 75$	$\sigma_{ks} = 93 / (\lambda_k / 100)^2$
STKT590	$0 < \lambda_k < 70$	$\sigma_{ks} = 293 - 211 \left(\frac{\lambda_k}{100} \right)^2$
	$\lambda_k \geq 70$	$\sigma_{ks} = 93 / (\lambda_k / 100)^2$

形状パラメータ	0.5	1	2	3	4	5	10
143	$D/t=200, \lambda=2.82$	$D/t=100, \lambda=2.82$	$D/t=50, \lambda=2.82$	$D/t=33.3, \lambda=2.82$	$D/t=25, \lambda=2.82$	$D/t=20, \lambda=2.82$	$D/t=10, \lambda=2.81$
429	$D/t=200, \lambda=8.49$	$D/t=100, \lambda=8.48$	$D/t=50, \lambda=8.48$	$D/t=33.3, \lambda=8.48$	$D/t=25, \lambda=8.48$	$D/t=20, \lambda=8.47$	$D/t=10, \lambda=8.44$
714	$D/t=200, \lambda=14.14$	$D/t=100, \lambda=14.14$	$D/t=50, \lambda=14.13$	$D/t=33.3, \lambda=14.13$	$D/t=25, \lambda=14.13$	$D/t=20, \lambda=14.12$	$D/t=10, \lambda=14.07$
1000	$D/t=200, \lambda=19.79$	$D/t=100, \lambda=19.79$	$D/t=50, \lambda=19.79$	$D/t=33.3, \lambda=19.79$	$D/t=25, \lambda=19.78$	$D/t=20, \lambda=19.77$	$D/t=10, \lambda=19.7$
1429	$D/t=200, \lambda=28.28$	$D/t=100, \lambda=28.28$	$D/t=50, \lambda=28.27$	$D/t=33.3, \lambda=28.27$	$D/t=25, \lambda=28.26$	$D/t=20, \lambda=28.24$	$D/t=10, \lambda=28.14$
2143	$D/t=200, \lambda=42.42$	$D/t=100, \lambda=42.42$	$D/t=50, \lambda=42.41$	$D/t=33.3, \lambda=42.4$	$D/t=25, \lambda=42.39$	$D/t=20, \lambda=42.37$	$D/t=10, \lambda=42.21$
2857	$D/t=200, \lambda=56.56$	$D/t=100, \lambda=56.56$	$D/t=50, \lambda=56.55$	$D/t=33.3, \lambda=56.54$	$D/t=25, \lambda=56.53$	$D/t=20, \lambda=56.49$	$D/t=10, \lambda=56.28$
4000	$D/t=200, \lambda=79.19$	$D/t=100, \lambda=79.19$	$D/t=50, \lambda=79.18$	$D/t=33.3, \lambda=79.16$	$D/t=25, \lambda=79.13$	$D/t=20, \lambda=79.08$	$D/t=10, \lambda=78.8$
5000	$D/t=200, \lambda=98.99$	$D/t=100, \lambda=98.99$	$D/t=50, \lambda=98.97$	$D/t=33.3, \lambda=98.95$	$D/t=25, \lambda=98.91$	$D/t=20, \lambda=98.87$	$D/t=10, \lambda=98.5$

3. 解析による検討

鋼管の形状(径厚比, 細長比)の違いによる座屈耐荷力と座屈後の耐力低下特性および座屈モードの違いを把握することを目的として、パラメータ解析を実施した。形状パラメータは径 $D=100\text{mm}$ に統一して、実鉄塔のパラメータ範囲である径厚比 $D/t=20\sim50$ 、細長比 $\lambda=20\sim80$ の範囲を含める形で表2のように決定した。ここで、色付きの領域が実鉄塔範囲である。

4. 偏心を考慮した座屈評価式

本パラメータ解析で得られた偏心無し、偏心量 $\delta=20\text{mm}$ ($\delta/R=0.4$) の座屈応力度を横軸を有効細長比と

してプロットした場合を図 4, 図 5 に, 長さ L , 半径 R , 板厚 t の関数である無次元量 $L/\sqrt{Rt}$ としてプロットした場合を図 6, 図 7 にそれぞれ示す. グラフ中の曲線はプロット値の下限式である. この耐力曲線を基に表 3 に示す偏心を考慮した座屈耐力評価式を導いた.

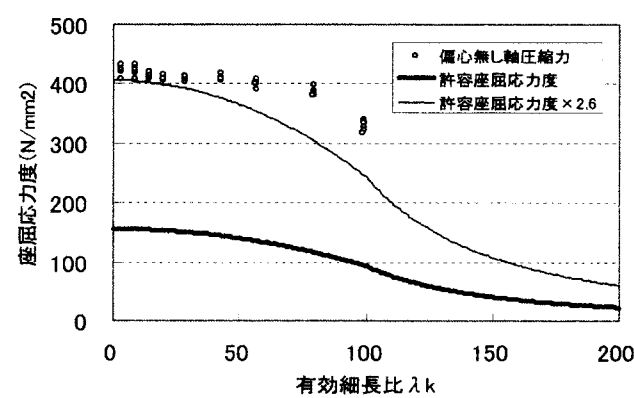


図 4 座屈応力度 (偏心無し)

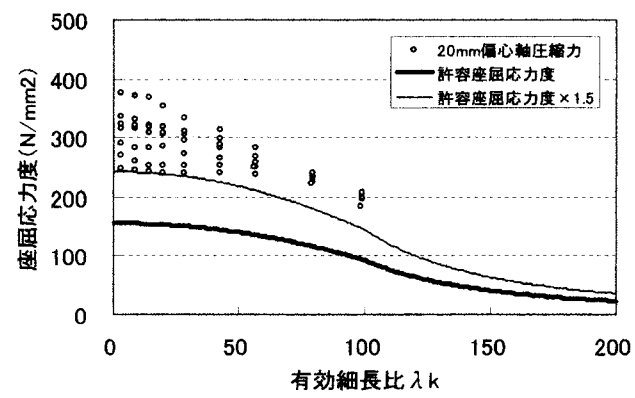


図 5 座屈応力度 (偏心量 20mm)

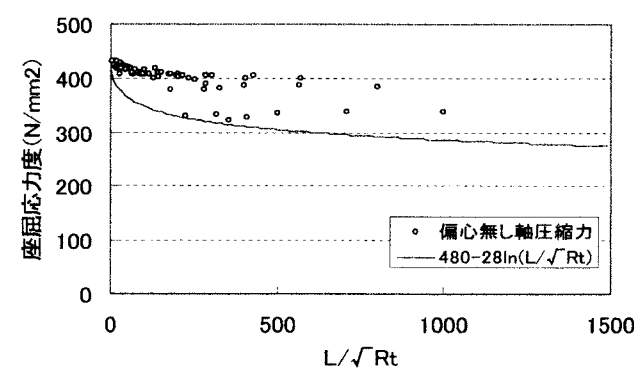


図 6 座屈応力度 (偏心無し)

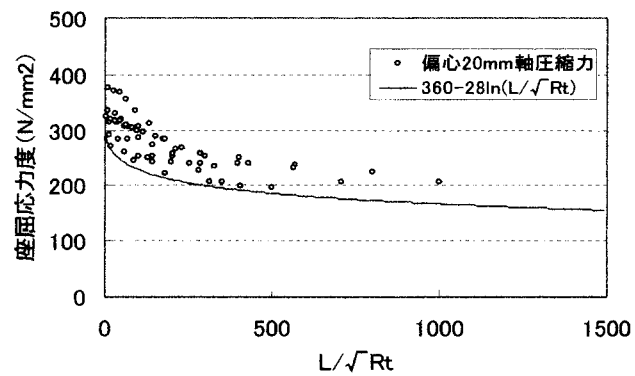


図 7 座屈応力度 (偏心量 20mm)

表 3 座屈耐力評価式

	座 屈 耐 力 評 価 式
細長比 λ_k の関数で表わした場合	$\sigma_{ka} = \alpha \cdot \left(156 - 63 \left(\frac{\lambda_k}{100} \right)^2 \right) : 0 < \lambda_k < 100 \qquad \sigma_{ka} = \alpha \cdot \frac{93}{(\lambda_k/100)^2} : \lambda_k \geq 100$ ここで, $\alpha = 1 - 1.14 \left(\frac{\delta}{R} \right) + 1.54 \left(\frac{\delta}{R} \right)^2$, λ_k: 有効細長比, δ: 偏心量 (mm), R: 断面半径 (mm)
$L/\sqrt{Rt}$ の関数で表わした場合	$\sigma_{ka} = 480\alpha - 28 \cdot \ln \left(\frac{L}{\sqrt{Rt}} \right)$ ここで, $\alpha = 1 - 0.92 \left(\frac{\delta}{R} \right) + 0.67 \left(\frac{\delta}{R} \right)^2$, L: 部材長 (mm), R: 断面半径 (mm), t: 板厚 (mm), δ: 偏心量 (mm)

5. 結 び

鋼管の形状の違いをパラメータとして静的座屈解析を行った結果, 設定したパラメータ範囲内での座屈耐力と座屈後の耐力低下特性および座屈変形性状の全容が明らかとなった. また, 座屈応力度算定式の検討を行った. しかし, 本検討においては, 初期不整, 残留応力, 溶融垂鉛めっきの影響等は考慮していない. 今後, これらの影響を考慮した検討を行う予定である.

参考文献 1) (社)日本鉄塔協会: 中空鋼管許容応力表, 1997, 2) 資源エネルギー庁公益事業部: 電気設備の技術基準の解釈及び解説, 3) 土木学会: 座屈設計ガイドライン, 技報堂