

鉄塔用鋼管部材の偏心を考慮した軸圧縮座屈耐力に関する解析的検討

広島大学大学院 学生会員 ○藤井 真人

広島大学

三浦真知子

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

東京電力株式会社

正会員 三上 康朗

1. はじめに

鉄塔で使用する鋼管の材質は、STK400、STK540、STK590などで、通常、径厚比 (D/t) が20~50、細長比 (λ) が概ね $\lambda=20\sim120$ にある。また、支柱材に着目した場合の λ の範囲は概ね $\lambda=20\sim80$ の領域にあり、座屈評価の視点でみると厚肉円筒に属する。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が生じて破壊に至るため、鉄塔の静的座屈耐力は材料特性に大きく依存する。一方、鉄塔は軸圧縮力が支配的なトラス構造としているが、構造上避けられない偏心や曲げモーメントが生じる。そこで、本研究では、鉄塔骨組としての構造耐力の観点から、鋼管部材の偏心を考慮した静的座屈耐力特性について解析的に検討を行った内容について報告する。

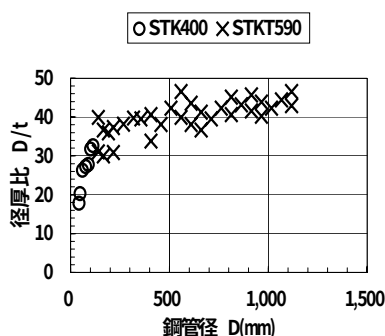
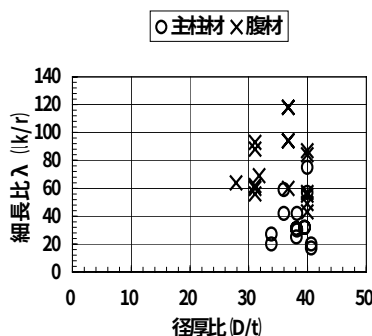
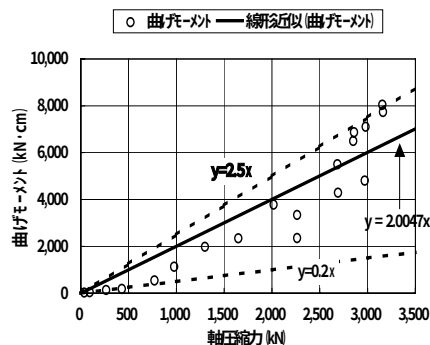
図1 径厚比 (D/t) の分布図2 細長比 (λ) の分布

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

現行の鉄塔用部材の座屈耐力評価式は「電気設備に関する技術基準を定める省令」に定められており、有効細長比 (λ_k) の関数となっている。このなかで、鋼管部材は偏心が極めて少ない場合に該当し、表1に示すように座屈耐力評価式が与えられている。

表2 形状パラメータ

表1 現行の鋼管の許容座屈耐力評価式

材質	λ_k	許容座屈応力度 $\sigma_{sk} = (N/mm^2)$
STK400	$0 < \lambda_k < 100$	$\sigma_{sk} = 156 - 63 \left(\frac{\lambda_k}{100} \right)^2$
	$\lambda_k \geq 100$	$\sigma_{sk} = 93 / (\lambda_k / 100)^2$
STK540	$0 < \lambda_k < 75$	$\sigma_{sk} = 260 - 168 \left(\frac{\lambda_k}{100} \right)^2$
	$\lambda_k \geq 75$	$\sigma_{sk} = 93 / (\lambda_k / 100)^2$
STK590	$0 < \lambda_k < 70$	$\sigma_{sk} = 293 - 211 \left(\frac{\lambda_k}{100} \right)^2$
	$\lambda_k \geq 70$	$\sigma_{sk} = 93 / (\lambda_k / 100)^2$

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	$D/t=200, \lambda=8.48$	$D/t=100, \lambda=8.48$	$D/t=50, \lambda=8.48$	$D/t=33.3, \lambda=8.48$	$D/t=25, \lambda=8.48$	$D/t=20, \lambda=8.47$	$D/t=10, \lambda=8.44$
714	$D/t=200, \lambda=14.14$	$D/t=100, \lambda=14.14$	$D/t=50, \lambda=14.13$	$D/t=33.3, \lambda=14.13$	$D/t=25, \lambda=14.13$	$D/t=20, \lambda=14.12$	$D/t=10, \lambda=14.07$
1090	$D/t=200, \lambda=19.79$	$D/t=100, \lambda=19.79$	$D/t=50, \lambda=19.79$	$D/t=33.3, \lambda=19.79$	$D/t=25, \lambda=19.78$	$D/t=20, \lambda=19.77$	$D/t=10, \lambda=19.7$
1429	$D/t=200, \lambda=28.28$	$D/t=100, \lambda=28.28$	$D/t=50, \lambda=28.27$	$D/t=33.3, \lambda=28.27$	$D/t=25, \lambda=28.26$	$D/t=20, \lambda=28.24$	$D/t=10, \lambda=28.16$
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	$D/t=200, \lambda=56.56$	$D/t=100, \lambda=56.56$	$D/t=50, \lambda=56.55$	$D/t=33.3, \lambda=56.54$	$D/t=25, \lambda=56.52$	$D/t=20, \lambda=56.49$	$D/t=10, \lambda=56.28$
4090	$D/t=200, \lambda=79.19$	$D/t=100, \lambda=79.19$	$D/t=50, \lambda=79.18$	$D/t=33.3, \lambda=79.18$	$D/t=25, \lambda=79.17$	$D/t=20, \lambda=79.09$	$D/t=10, \lambda=78.8$
5090	$D/t=200, \lambda=98.99$	$D/t=100, \lambda=98.99$	$D/t=50, \lambda=98.97$	$D/t=33.3, \lambda=98.95$	$D/t=25, \lambda=98.91$	$D/t=20, \lambda=98.87$	$D/t=10, \lambda=98.5$

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力の違いを把握することを目的として、解析プログラムにABAQUSを用いた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のように設定した。

キーワード：鋼管構造、座屈、耐荷力

連絡先：〒739-0025 広島県東広島市鏡山 1-4-1 TEL 0824-24-7531 FAX 0824-24-7531

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 $\delta=20\text{mm}$ ($\delta/R=0.4$) の座屈応力度を縦軸にとり，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試案として示した．

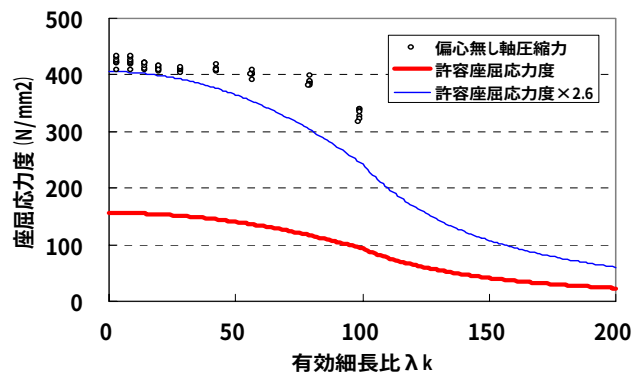


図4 座屈応力度（偏心無し）

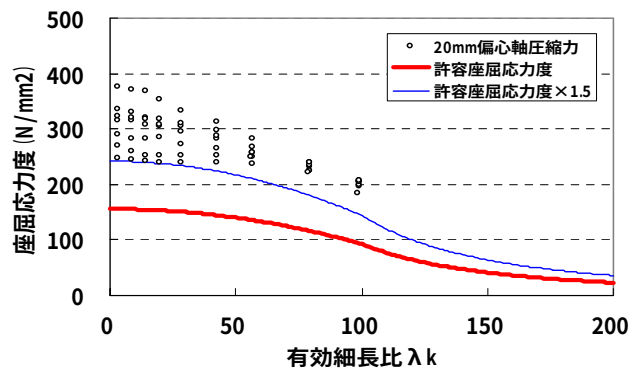


図5 座屈応力度（偏心量 20mm）

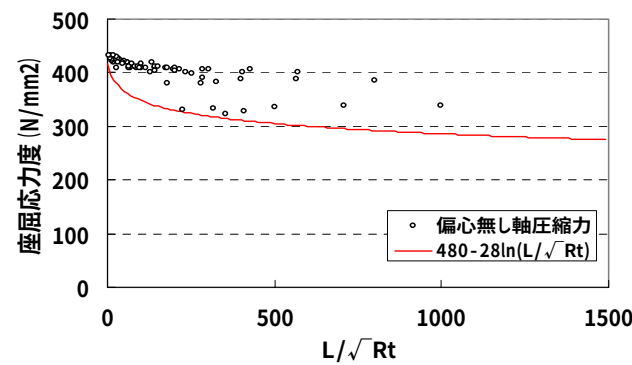


図6 座屈応力度（偏心無し）

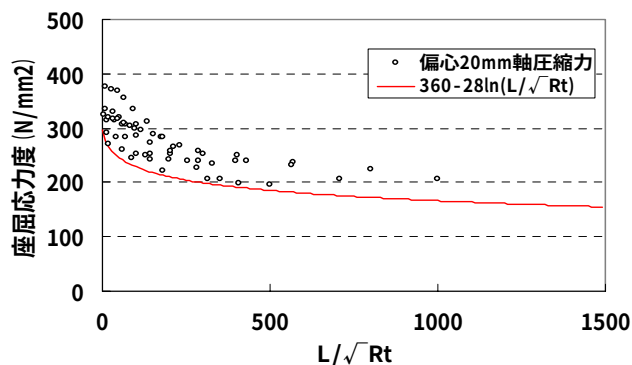


図7 座屈応力度（偏心量 20mm）

表3 偏心を考慮した座屈評価式の試案

	座 屈 評 価 式（試案）
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，$\alpha = 1 - 1.14 \left(\frac{\delta}{R} \right) + 1.54 \left(\frac{\delta}{R} \right)^2$，$\lambda_k$：有効細長比，$\delta$：偏心量（mm），$R$：断面半径（mm）
$L/\sqrt{Rt}$ の関数で表わした場合	$\sigma = 480\alpha - 28 \cdot \ln \left(\frac{L}{\sqrt{Rt}} \right)$ 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座屈解析を行った結果から，座屈耐力評価式の試案を作成できた．しかし，本解析においては，初期不整，残留応力，溶融亜鉛めっきの影響等は考慮していないため，実部材の材料試験および座屈試験等を実施して解析と比較検討し，解析法に対する検証を行う予定である．

参考文献 1)経済産業省原子力安全・保安院 編：電気設備の技術基準 第11版,文一総合出版 2) 土木学会：座屈設計ガイドライン，技報堂