

鉄塔構造部材の構造システムとしての耐荷力特性に関する検討

広島大学大学院 学生会員 ○佐竹 亮一
 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. はじめに

多くの設計基準では、鋼骨組構造物を構成する圧縮部材の許容座屈応力度を両端単純支持、一様断面、一様軸圧縮の単一圧縮部材の弾塑性座屈強度に基づいた方法により決定している。多くの部材で構成された構造物における圧縮部材の場合は、有効座屈長を用いて評価しており、構造システムとしての耐荷力特性を把握するためには有効座屈長を正確に求めることが重要になる。本研究で対象とする送電用鉄塔においても「電気設備の技術基準の解釈及び解説」³⁾において上記のような方法が示されており、有効座屈長の算出について支柱材にあっては部材の支持点間距離の0.9倍とされている。しかし部材の有効座屈長は拘束状態、荷重さらに剛性分布によって決まり、これを一意的に決定するのは合理的ではない。

そこで本研究では送電用鉄塔における部材の有効座屈長を求める方法として有効接線弾性係数法(以後 E_f 法と呼ぶ)を用い、構造系としての耐荷力特性を明らかにする。また現行の評価式と比較検討し、構造システムとしての評価方法の必要性を明らかにする。

2. 耐荷力の算出

E_f 法は構造全体系の弾塑性分岐座屈強度を有効接線弾性係数を用いて近似的に求める方法である。 E_f 法による解析方法は構造全体系を線形弾性体として、次式による固有値解析から最小固有値 κ を求め、各断面の座屈荷重 N_{cri} を求める。

$$|K_E(E) + \kappa K_G(N_i)| = 0, N_{cri} = \kappa N_i \quad (1)$$

ここに、 K_E は微小変位理論における全体剛性行列、 K_G は全体幾何剛性行列、 N_i は部材 i の軸圧縮力を意味する。断面の曲げ剛性 EI_i および座屈荷重 N_{cri} から、有効座屈長 l_{ei} 、換算細長比 λ_i を次式により算出する。

$$l_{ei} = \pi \sqrt{\frac{EI_i}{N_{cri}}} \quad (2)$$

$$\lambda_i = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{l_{ei}}{r_i} \quad (3)$$

次に式(1)、式(2)の E を座屈応力 σ_{ei} と換算細長比 λ_i に対応する柱の基準耐荷力 σ_{cri} を用いて、次式

$$E_{fi} = \frac{\sigma_{cri}}{\sigma_{ei}} E \quad (4)$$

で修正した有効接線弾性係数 E_{fi} に置き換え、 σ_{ei} と σ_{cri} が一致するまで繰り返し計算を行い、有効座屈長を算出する方法である。ここで支柱材以外の斜材と水平材の弾性係数は修正しないものとする。

解析モデルは図1に示すような高さ59mの鋼管部材からなる超高压送電鉄塔とした。支柱材はSTK400材、外径216.3mm、厚さ4.5mm、降伏応力は $\sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2$ である。荷重条件は風荷重を想定し、図1に示すように各部材の支持点に作用するものとした。

計算結果を表1に示す。表1は部材①の結果である。部材①は作用荷重に対する微小変位理論による線形解析によって軸圧縮応力が最大となる部材である。解析した結果、6回の収束計算により E_f 値は大きく低下しており、終局強度は $\sigma_e \square \sigma_{cr} = 216 \text{ N/mm}^2$ となる。解析結果より支柱材の主な部分の有効座屈長は2359mmから4678mm程度であった。

3. 評価法との比較検討

有効座屈長は部材長さ l と有効座屈長さ係数 β を用いて次式

$$l_e = \beta l \quad (5)$$

で求められる。現行の評価法では一意的に $\beta = 0.9$ と

表 1 解析結果

収束回数	κ	$\kappa N(\text{kN})$	$l_e(\text{m})$	λ	$\sigma_{cr}(\text{N/mm}^2)$	$\sigma_e(\text{N/mm}^2)$	E_f/E
1	59.96	4096	2802	0.414	207.5	1368.1	0.152
2	12.32	819	2445	0.361	214.4	273.6	0.119
3	10.10	668	2393	0.354	215.3	223.0	0.115
4	9.94	657	2371	0.351	215.7	219.3	0.113
5	9.92	655	2354	0.348	216.0	218.9	0.111
6	9.92	655	2340	0.346	216.3	218.7	0.110
10	9.91	653	2303	0.341	217.0	218.1	0.107

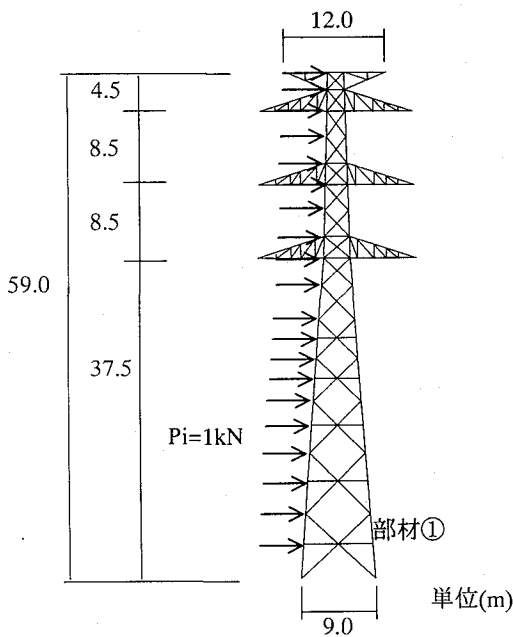


図 1 鉄塔モデル

している。部材①について E_f 法によって求めた有効座屈長さと部材長さから有効座屈長さ係数を算出すると $\beta_{Ef}=0.67$ となる。その他の主な部材の有効座屈長さ係数は $\beta=0.59$ から $\beta=2.01$ である。有効座屈長さ係数が $\beta=0.9$ 以上になる部材は有効座屈長さが現行の評価法より長くなり設計上不利になるといえる。 E_f 法では作用軸圧縮力が小さな部材において、有効座屈長が極端に長くなる場合がある。この場合には有効座屈長さ係数 $\beta=0.9$ を上限値として設定すればよいと考えられる。

現行の座屈評価式を表 2 に示す。現行の評価法と E_f 法を用いた場合の部材①の許容座屈応力度を表 3 に示す。 E_f 法を用いた場合の許容座屈応力度は現行の評価法に比較して有利な値を示している。

表 2 現行の許容座屈応力度評価式

材質	有効細長比 λ_k	許容座屈応力度 $\sigma_k(\text{N/mm}^2)$
STK400	$0 < \lambda_k < 100$	$\sigma_k = 156 - 63(\lambda_k/100)^2$
	$100 \leq \lambda_k$	$\sigma_k = 93/(\lambda_k/100)^2$

$$\text{有効細長比 } \lambda_k = \frac{l_e}{r}, r = \sqrt{I/A}$$

表 3 許容座屈応力度

	β	λ_k	$\sigma_k(\text{N/mm}^2)$
現行評価法	0.9	42.1	144.8
E_f 法	0.728	31.2	149.9

4. まとめ

本研究では構造システムとしての評価方法として部材の有効座屈長さに着目し、有効座屈長さを求める方法として E_f 法を用い、鉄塔基部の最も座屈が生じやすい部分において現行の評価法より設計上有利な有効座屈長さを求めた。また E_f 法を用いることは現行の評価法では考慮されていない曲げモーメントの影響も含めて考慮することになる。以上のような構造システムとしての評価方法を用いることで、より合理的な設計が可能になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 野上邦栄他：構造全体系の固有値解析による骨組部材の合理的な有効座屈長の評価，土木学会論文集 No.489/I-27, pp.157-166, 1994
- 2) 土木学会：座屈設計ガイドライン，2005
- 3) 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，pp.315-316, 1997