

固有周期の自乗和を最小にする送電鉄塔の最適構造設計に関する研究

○ 岐阜大学 博士課程学生員 朱 火 江

岐阜大学 工学部 正会員 中川 建治

1. まえがき

送電用鉄塔のような塔状構造物は、本来たわみやすい構造物であって風荷重あるいは地震動によって振動を起し易い。最近の基幹送電用鉄塔の傾向は大サイズ化が進んでいて、20m/sec 程度の風による振動応答は、ほぼ定常正弦波応答をなす場合と不規則な応答をなす場合が観測されているが、多くの場合は基本振動にほぼ一致する振動をしている。この様な状況より判断すると、鉄塔の基本周期を小さくすれば風に対する応答が小さくなり、より安全な鉄塔を設計することになると期待されよう。

構造物の基本振動周期を最小化することを目的とする部材断面の最適設計の研究に付いては既にいくつかの成果が報告されているが、いずれも固有値解析を繰り返しつつ基本周期のみを最小化することを目的として逐次部材断面を変更して最適断面へ収束させる方法である。

著者等は最適設計の1つの方法として『構造物の主構の総重量を一定に保持しつつ固有周期の逆数和を最小にする部材断面設計法』を研究して報告している¹⁾。この特徴は基本周期のみでなく全ての固有周期を対象にしていることと、固有値計算を伴わないことである。著者等は主として平面構造物としての橋梁を対象にした計算例を示したが、2次元構造あるいは3次元構造物とみなした鉄塔に適用して興味ある結果を得たのでここに報告する。最近の大型鉄塔は鋼管柱で構成されていることを勘案して、本研究では柱材と柱材あるいは腹材との結合を剛結合とピン結合とする結合状態で解析して比較検討した。

2. 解析理論

平面構造物の場合の理論は著者等によってすでに報告されている¹⁾ので詳細なことはこれらの文献を参照されたい。これを3次元の場合へ拡張したものである。変位法の剛性行列をS、格点の慣性質量を対角元とする行列をMとすると、Sは格点と部材の幾何学的な連結状態を表す行列Cと部材の剛性を表す対角行列Dとの積で表される。さらにこの構造物の固有値の逆数和ΓはSの逆行列とMの積のトレースによって次のように導かれる。

$$S = C^T D C \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \Gamma &= \sum (1/\lambda) = \sum T^2 / 4\pi^2 \\ &= \text{Trace}(S^{-1}M) = \text{Trace}(C^{-1}D^{-1}C^T M) = \sum M_k F_{kk} \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

構造物が静定構造物の場合は行列Cは正方行列であるから逆行列を計算し得るが、不静定構造物(r次不静定)の場合は列数がr少ない矩形行列となって逆行列の演算は不能になる。しかしこの場合はr列要素分の dummy element を設定して正方行列化(拡張されたC_e)を定義して、逆行列の演算を可能にして最適化の収束計算を円滑になし得る(本文ではいずれの場合もCと表現する)。

(1) 制約条件: 主構の総体積が一定、即ち

$$\sum A_i L_i = V \text{ (常数)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

とする。部材の細長比の制限による設計変数の上・下限に対する制約を設けて

主柱材、腕金主材では $L/r \leq 200$ 、主材以外の圧縮材では $L/r \leq 220$ とする。

(2) 最適化: パラメータをεとするLagrange 未定係数法によって次のようにして解く。

$$J = \Gamma + \varepsilon (\sum V_i L_i - V) \quad \partial J / \partial A_i = 0 \quad \partial J / \partial \varepsilon = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

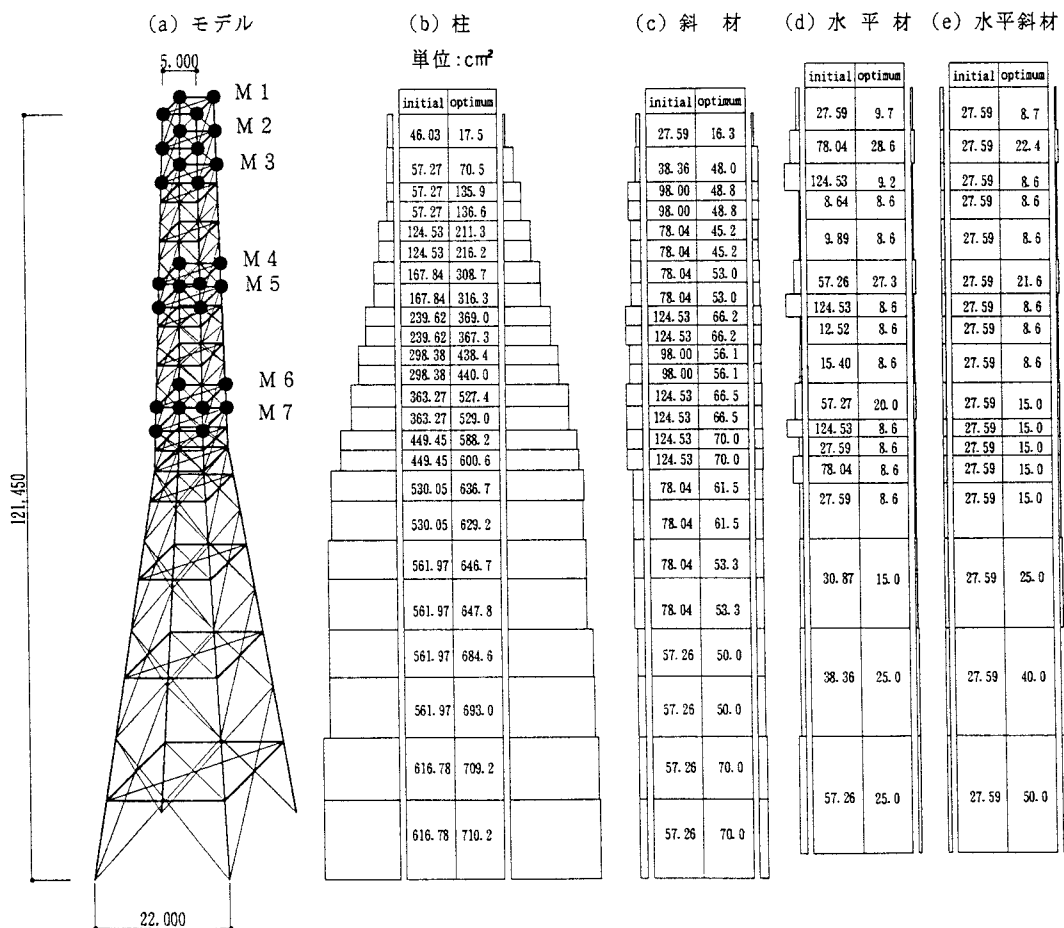
3. 送電鉄塔の最適設計例

既設の送電鉄塔の部材断面配置を初期値として、その構造の部材重量を変更せずに固有周期を近似的

に最小化するとどのような断面配置となるかという方式で計算例をまとめている。実際のモデルは株式会社サクラダの設計による 1000 KV の北栃木幹線（東京電力株式会社）の鉄塔である。

主な検討事項は ① 原設計断面と Γ 最小設計とによる周期自乗和と部材断面の変化、② 2 次元と 3 次元解析による相違、③ 主柱や腹材の結合状態（剛結合とピン結合の相違）の影響、④ 支点の回転拘束がねじり振動に及ぼす影響、とする。固有周期自乗和を小さくすることは近似的に 1 次周期を最小にすることになる。2 次元扱いではねじり振動考慮されないが、3 次元として解析する利点は低次のねじり振動の周期を極小化することになって、風による振動のねじりフラッタ現象を避ける対策に極めて有効である。最適化断面では支柱のみならず鉛直面内の斜材も水平斜材も大きくなることがこの事実を説明するものであろう。モデルでは水平斜材を設定しているが、原設計では中央部に昇降用の空間を設けるために、ラチスの水平ラーメン型構造になっているのでさらに補強することが望ましいものとなる。

参考文献 1) K. Nakagawa, K. Andoh and S. Duan: A Design method of Structures to Minimize the Square Sum of Natural Periods of Vibration, Computers and Structures, Vol. 45, No. 3, 1992., pp. 587-591



架渉線重量(t): $M_1=1.99$, $M_2=19.22$, $M_3=M_5=M_7=1.00$, $M_4=M_6=18.22$ 、主構総体積: $V=34.015 \text{ m}^3$
 周期自乗和(sec²): 初期値 $\Gamma_0=5.551$, 最小値 $\Gamma_{min}=4.634$, $\Gamma_{min}/\Gamma_0=0.834$