

I-18 送電用鉄塔の荷重係数設計に関する研究

香川大学工学部 正会員 ○井面仁志 香川大学工学部 正会員 白木 渡
香川大学工学部 今井慈郎 香川大学工学部 正会員 石川 浩

1. はじめに 1991年9月台風19号により中国、四国、九州の各地で鉄塔本体の倒壊を含む被害が見られた。このことは、現行の設計基準¹⁾で規定されている設計風速をかなり上まわる強風が吹いたことが原因であると考えられた²⁾。設計風速は、過去の統計データに基づき大まかにわけられた地域ごとに設定されているが、設計風速のような強風は、その大きさ、発生頻度といったものは確定できない統計量である。したがって、現行の許容応力度設計法で設計された鉄塔は、地域ごとにその信頼性は異なることになる²⁾。本研究では、鉄塔の信頼性が地域ごとに異なることなくほぼ一様にするために、信頼性理論に基づき送電用鉄塔の信頼性解析結果をもとに風荷重に関する荷重係数を信頼性指標 $\beta=3.0$ 、 2.5 、 2.0 を確保するように決定し、その荷重係数を用いて、鉄塔の信頼性設計を実施する。そして、それが目標として定めた β を確保しているかどうかを確認し、安全性のばらつきの少ない鉄塔を建設するための風荷重係数の提案を行う。

2. 風荷重の確率モデルの作成³⁾ 本研究では、鉄塔に作用する外力荷重として、最も影響を及ぼす風荷重のみを確率変数として考え、鉄塔の信頼性評価を行う。送電鉄塔の耐用年数を50年とし50年最大瞬間風速を図1に示すように2B3A型標準鉄塔の各節点に作用させ、鉄塔の支柱材、斜材および補助材に発生する軸応力度が各部材の降伏点応力度（引張り作用時）または座屈応力度（圧縮力作用時）に達したときに破壊が生じるとして、式(1)に示す限界状態関数 $g(V_{50})$ により各部材の破壊確率を算定する。本研究では、本章の破壊確率の算定において、各部材の降伏点応力度および座屈応力度は確定量としている。また、解析にあたって単位基準速度圧から各部材の応力が容易に評価できる係数 σ_{W0} を求めた。

$$g(V_{50}) = |\sigma_{cr} - \left| \sigma_{W0} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{50}^2 + \sigma_D + \sigma_T \right| | \quad (1)$$

ここに、 σ_{cr} ：各部材の降伏点応力度（引張り作用時）、または座屈応力度（圧縮力作用時）、 σ_{W0} ：単位基準速度圧（ $q_0 = (1/2) \cdot \rho \cdot V_{50}^2 = 1$ ）を鉄塔本体、架渉線および架空地線に作用させることにより求めた応力度に変換する係数、 ρ ：空気密度（ $0.12 [\text{kgf} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4]$ ）、 V_{50} ：50年最大瞬間風速（m/s）、 σ_D ：死荷重により各部材に発生する応力度、 σ_T ：不平均張力荷重により各部材に発生する応力度である。また、50年最大瞬間風速 V_{50} の確率分布を式(2)に示す。

$$F_{50}(V_{50}) = \exp(-\exp(-a(V_{50} - u))) \quad (2)$$

3. 荷重係数、強度係数の算定法 本研究では、荷重係数および強度係数の算定において式(3)に示す設計照査式を設け、これらを求めた。

$$\phi R_n \geq \gamma_w \cdot W + D + T \quad (3)$$

ここに、 R_n ：現行設計基準で示されている公称強度、 W ：設計風荷重から求まる荷重作用、 D ：死荷重による荷重作用、 T ：不平均張力荷重による荷重作用、 ϕ ：強度係数、 γ_w ：荷重係数である。

なお、風荷重を算定するにあたり、現行設計での基準速度圧 q_0 は、 $q_0 = 125 [\text{kgf}/\text{m}^2]$ と仮定した。また、荷重係数および強度係数を評価する際は、強度の変動も考慮し、許容応力に対して超過限界を5%として、変動係数が15%であると仮定した。風荷重の算定に関しては、中国地方各地の50年最大瞬間風速を用いた。死荷重、不平均張力荷重は供用期間中に大きく変動しないとし、確定量とした。以下に荷重係数および強度係数の算定手順を示す。

1) 目標信頼性指標 β_T を設定する。2) 設計照査式において用いられる

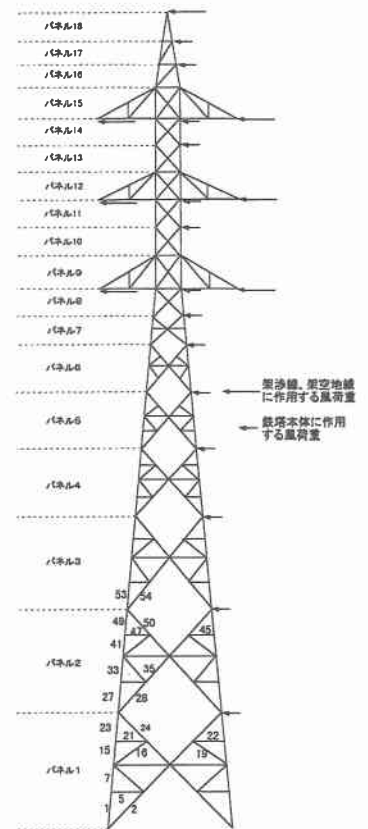


図1 2B3A型鉄塔

荷重係数および強度係数を適当に仮定する。3)仮定された荷重係数および強度係数を用いて設計照査式を満たすように各部材*i*を設計する。4)決定された部材*i*に実動荷重が作用した場合の信頼性指標 β_i を算定する。5)目標信頼性指標 β_T と部材*i*とで定義される式(3)で示す目的関数 Ω を算定する。

$$\Omega = \sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_T)^2 \quad (3)$$

目的関数 Ω が最小となる最適な荷重係数および強度係数の組合せが見つかるまでこれらを仮定し直して3)から5)を繰り返す。

4.荷重係数および強度係数の算定結果 本研究では、図1に示す2B3A型鉄塔の下部支柱材 Nos.1,7,15,23,27,33,41,49,53 の9部材について、地域ならびに部材間で同じ信頼度が得られるように荷重係数および強度係数を算定した。

表1に目標信頼性指標 $\beta_T=3.0$ を満たすように荷重係数および強度係数を求めた結果を示す。設計前では、各部材の β にばらつきがあったが、部材の断面設計後は目標信頼性指標 $\beta_T=3.0$ 付近となった。この際、 $\beta=3.0$ を確保するのに必要な部材の断面積は、設計前のNo.1部材の断面積が29.21cm²に対し、2倍近い断面積が必要であることがわかる。

さらに、目標信頼性指標 β_T を3.0,2.0,2.5と設定した場合の荷重係数および強度係数を算定した結果を表2に示す。この結果より、荷重係数は β_T を3.0とした場合の方が大きくなるが、これは信頼性を上げるために風荷重を大きく見積もり断面を大きく設計した結果であるといえる。また、目的関数 Ω より β_T を小さく設定した方が精度よく最適化が行われていることがわかる。これは、最適な荷重係数および強度係数を算定する際に断面を増やし β を引き上げていく段階で徐々に部材間の β に差がでてくることによるものと思われる。しかし、 $\beta_T=3.0$ に対する目的関数 Ω の値でも、十分精度のよい最適化が行われたのではないと思われる。

鉄塔における各部材の信頼性が目標とする値 $\beta_T=3.0$ を確保するためには表1で示したような部材の断面積が必要であるが、送電鉄塔は、規格材で構成されており、各部材について違う断面で設計するのは経済的でない。そこで、送電鉄塔に使用される等辺山形鋼の性能表から設計した断面積に近い断面積の部材を選び、その部材を用いて設計した場合の β を求めた結果を表3に示す。各部材の β はほとんどが3.0を超える値となった。規格材を当てはめると部材ごとの β を3.0でそろえるという目的とずれてしまうが、設計を行う前ほどのばらつきはなくなったように思われる。

5.おわりに 本研究では、鉄塔の部材による安全性のバラツキを少なくするために、2B3A型鉄塔を対象とした荷重強度係数設計式を提案した。その式を用いて再設計を行った結果、現行設計法で設計された部材より安全性のばらつきの少ない設計が可能となった。しかし、風速データが実際の山岳地帯のデータでないため、山岳地等の気象データの推定などの解決すべき問題点も多くある。さらに、2B3A型とは違う構造形式の鉄塔も含め、今後は構造形式の違いによる安全性のばらつきを考慮に入れた設計を行う必要があろう。

参考文献 1)電気学会：電気規格調査会標準規格「送電用指示物設計標準」(JEC-127)、1991。2)白木他：極値解析による送電鉄塔の設計風荷重の検討、第47回土木学会中国四国支部研究発表会発表概要集、1995。3)ASCE: Guideline for Electrical Transmission Line Structural Loading、1991。4)J.W.Muzewski: Safety Differentiation Depending on Service Time, Size and Danger, Bulletin of the Polish Academy of Science, Vol.32, No.3-4, pp.187-192,1984。

表1 荷重係数および強度係数の算定結果

部材No.	設計前の β	設計後の β	断面積(cm ²)	板厚(cm)
1	0.81	2.91	57.725	2.067
7	1.18	3.04	52.503	1.866
15	1.29	2.98	50.806	1.794
23	1.31	3.01	50.554	1.792
27	0.33	3.02	51.821	2.175
33	0.42	3.01	50.484	2.113
41	0.58	3.03	48.697	2.032
49	0.67	3.02	47.415	1.973
53	0.79	2.99	45.781	1.900

表2 β_T の違いによる各係数

β_T	強度係数 ϕ	荷重係数 γ_w	目的関数 Ω
3.0	0.98	5.48	1.1860E-02
2.5	0.90	3.53	3.3110E-03
2.0	0.94	2.87	2.0538E-03

表3 設計後断面に対する規格部材の当てはめ

部材No.	設計前の部材寸法(mm)	設計後の部材寸法(mm)	断面積(cm ²)	β
1	150×150×10	200×200×15	57.75	3.23
7	150×150×10	200×200×15	57.75	3.45
15	150×150×10	200×200×15	57.75	3.43
23	150×150×10	200×200×15	57.75	3.46
27	130×130×9	175×175×15	50.21	3.20
33	130×130×9	175×175×15	50.21	3.22
41	130×130×9	175×175×15	50.21	3.26
49	130×130×9	175×175×15	50.21	3.29
53	130×130×9	175×175×15	50.21	3.35