

送電鉄塔の耐風設計における荷重係数に関する研究

香川大学工学部 正会員 白木 渡  
日本電炉（株） 正会員 辻 英朗  
鳥取大学大学院 学生員 ○梅村 亮

**1. まえがき** 1991年9月の台風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みられた。これまでの研究<sup>1)</sup>では、設計風速をかなり上まわる強風が吹いたことが原因と考えられた。現在、送電鉄塔は許容応力度設計法で設計されており、過去の統計データに基づき設計風速は大まかにわけられた地域<sup>2)</sup>ごとに設定されている。しかし、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。本研究では、中国地方の各地域を対象として地域によって鉄塔に作用する風荷重の統計特性が異なることを考慮して、荷重強度係数設計法における風に関する荷重係数、及び部材の強度係数を決定する。そして、その結果をもとに中国地方各地域において、安全性のばらつきが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. 風荷重の確率分布モデルの作成**<sup>3)</sup> 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、鉄塔の安全性の評価を行う。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、破壊は鉄塔の支柱材、斜材、及び補助材に発生する軸応力がその部材の限界応力に達したときに起こるとして、安全性指標の算定を行った。ここで、破壊基準関数は次式で示される。

$$g(V_{50}) = \left| \sigma_{cr} - \left[ \sigma_{w0} \cdot \frac{\rho \cdot V_{50}^2}{2} + \sigma_D + \sigma_T \right] \right| \quad (1)$$

ここに、 $g(V_{50})$ :破壊基準関数、 $V_{50}$ :50年最大瞬間風速、 $\sigma_{cr}$ :各支柱材の降伏点応力度（引張力作用時）または座屈応力度（圧縮力作用時）（ $\text{kgf/cm}^2$ ）、 $\rho$ :空気密度（ $0.12 \text{ (kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$ ）、 $\sigma_{w0}$ :基準速度圧（ $q_0=1 \text{ [kgf/m}^2]$ ）が鉄塔本体、架渉線、及び架空地線に作用することにより各支柱材、斜材及び、補助材に発生する応力度、 $\sigma_D$ :鉄塔、架渉線及び架空地線の死荷重により各支柱材、斜材及び補助材に発生する応力度、 $\sigma_T$ :架渉線及び架空地線の水平張力荷重により各支柱材、斜材及び補助材に発生する応力度である。また、50年最大瞬間風速 $V_{50}$ の確率分布は、 $F_{50}(V_{50}) = \exp(-\exp(-a(V_{50}-u)))$ であり中国地方各地の $a$ 、 $u$ は表1に示す。

**3. 荷重係数、強度係数の算定法及び結果** 本研究では、望ましい水準の安全性を確保するため信頼性に基づいて荷重係数と強度係数の算定を行う。設計基準式としては、次式を用いる。

$$\phi \cdot R_n \geq D + \gamma \cdot W + T \quad (2)$$

$R_n$ :設計示方書に示されている公称強度、 $D$ :死荷重、 $W$ :設計風荷重、 $T$ :架渉線及び架空地線の水平張力荷重、 $\phi$ :強度係数、 $\gamma$ :荷重係数。

次に、本研究の荷重係数と強度係数の算定法を述べる。送電鉄塔の代表的な部材の安全性指標を算出し、目標安全性指標 $\beta_T$ を定める方法がよく用いられるが、本研究では、送電鉄塔の支柱材の安全性指標 $\beta$ の値は3.0程度であれば安全<sup>4)</sup>とされているので、目標安全性指標 $\beta_T$ を3.0と定める。次に、式(2)の設計基準式に荷重係数 $\gamma$ 、強度係数 $\phi$ を適当に与え、設計基準式を満たすように部材断面を設計し、その鉄塔モデルに実荷重が作用した場合の安全性指標 $\beta_i$ を算定する。目標安全性指標 $\beta_T$ と各部

表1 各地の風速データ

|    | 平均値  | 標準偏差 | a     | u     |
|----|------|------|-------|-------|
| 鳥取 | 27.6 | 6.56 | 0.170 | 47.46 |
| 松江 | 29.3 | 6.29 | 0.177 | 48.37 |
| 山口 | 26.3 | 8.45 | 0.132 | 51.87 |
| 岡山 | 21.4 | 5.89 | 0.189 | 39.26 |
| 広島 | 28.0 | 8.67 | 0.128 | 54.37 |
| 西郷 | 28.9 | 7.09 | 0.157 | 50.40 |
| 境  | 22.7 | 5.24 | 0.212 | 38.62 |
| 米子 | 24.0 | 5.32 | 0.209 | 40.15 |
| 萩  | 29.7 | 5.17 | 0.215 | 45.40 |
| 浜田 | 33.0 | 4.42 | 0.252 | 46.40 |
| 津山 | 23.9 | 5.99 | 0.186 | 42.05 |
| 下関 | 32.2 | 6.58 | 0.169 | 52.18 |
| 呉  | 24.5 | 5.65 | 0.197 | 41.64 |
| 福山 | 18.4 | 4.60 | 0.237 | 32.67 |

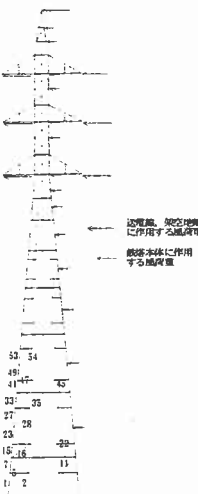


図1 2B3A型鉄塔

材の安全性指標  $\beta_i$  より目的関数  $\Omega = \sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_T)^2$  を計算し、目的関数が最小となる荷重係数  $\gamma$ 、強度係数  $\phi$  を決定する。

以上の方法を用いて、はじめに各地域ごとに鉄塔の各部材の安全性指標  $\beta$  が目標安全性指標  $\beta_T = 3.0$  となるように荷重係数と強度係数を算定した。本研究では強度の超過限界は 5% に固定し、強度の変動係数 15% とした。また、現行設計法では広島、山口、下関は強風が発生する可能性が高いため他の地域より設計風速が大きく設定されているが、本研究では各地域の荷重係数、強度係数を比較するため全ての地域で設計風速を同じとした。その算定結果のうち鳥取、広島、山口についての結果を表 2 に示す。設計前の  $\beta$  は 50 年最大風荷重が作用したときの 2B3A 型鉄塔の安全性指標  $\beta$  であり、設計後の  $\beta$  は算定した荷重係数と強度係数を用いて設計し直した鉄塔の安全性指標  $\beta$  である。各地域の設計前の  $\beta$  を見ると部材間でばらついているが、設計後の  $\beta$  を見ると安全性にバランスが取れていることがわかる。算定したそれぞれの荷重係数と強度係数を見ると風荷重が大きく、変動係数が大きいほど荷重係数を大きくする必要があることがわかる。

表 2 荷重係数および強度係数の算定結果

| 部材 No. | 設計前の $\beta$ | 設計後の $\beta$ | 設計前の $\beta$ | 設計後の $\beta$ | 設計前の $\beta$ | 設計後の $\beta$ |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1      | 1.84         | 2.95         | 0.60         | 2.92         | 0.81         | 2.91         |
| 7      | 2.17         | 3.01         | 0.99         | 3.03         | 1.18         | 3.04         |
| 15     | 2.25         | 2.99         | 1.10         | 2.98         | 1.29         | 2.98         |
| 23     | 2.27         | 3.01         | 1.12         | 3.01         | 1.31         | 3.01         |
| 27     | 1.43         | 3.02         | 0.11         | 3.03         | 0.33         | 3.02         |
| 33     | 1.50         | 3.00         | 0.21         | 3.01         | 0.42         | 3.01         |
| 41     | 1.64         | 3.02         | 0.37         | 3.03         | 0.58         | 3.03         |
| 49     | 1.71         | 3.01         | 0.46         | 3.02         | 0.67         | 3.02         |
| 53     | 1.79         | 2.99         | 0.59         | 2.99         | 0.79         | 2.99         |
| 荷重係数   | 3.87         |              | 5.52         |              | 5.48         |              |
| 強度係数   | 0.95         |              | 0.92         |              | 0.98         |              |

表 3 第 1 グループの算定結果

| 地域   | 設計前の $\beta$ | 設計後の $\beta$ |
|------|--------------|--------------|
| 山口   | 0.81         | 3.08         |
| 広島   | 0.60         | 2.93         |
| 荷重係数 | 5.62         |              |
| 強度係数 | 0.94         |              |

表 4 第 2 グループの算定結果

| 地域   | 設計前の $\beta$ | 設計後の $\beta$ |
|------|--------------|--------------|
| 鳥取   | 1.84         | 3.12         |
| 松江   | 1.82         | 3.15         |
| 西郷   | 1.55         | 2.85         |
| 下関   | 0.94         | 2.88         |
| 荷重係数 | 4.37         |              |
| 強度係数 | 0.98         |              |

表 5 第 3 グループの算定結果

| 地域   | 設計前の $\beta$ | 設計後の $\beta$ |
|------|--------------|--------------|
| 岡山   | 2.52         | 2.94         |
| 境    | 2.73         | 3.16         |
| 米子   | 2.60         | 3.04         |
| 萩    | 2.26         | 2.75         |
| 浜田   | 2.35         | 2.88         |
| 津山   | 2.32         | 2.75         |
| 呉    | 2.42         | 2.86         |
| 福山   | 3.28         | 3.70         |
| 荷重係数 | 2.64         |              |
| 強度係数 | 0.90         |              |

次に、中国地方の各地域を風荷重の大きさに応じてグループに分け、それぞれのグループの内では安全性のばらつきが少なくなるように荷重係数と強度係数の算定を行った。部材 No. 1 が最も風荷重の影響を受ける部材であり、安全性も低くなっているため、この部材が安全性を確保できていれば他の部材についても安全であると思われる。そこで、部材 No. 1 に注目してそれが安全性指標  $\beta = 3.0$  を確保できるように荷重係数と強度係数の算定を行った。その結果、表 3～5 のように第 1～3 グループに分けることができた。現行設計法によると、設計荷重はだまかに分けられた地域ごとに決定されていて、本研究で対象とした中国地方の 14 地域では広島、山口、下関の設計風速が同じで、その他の地域より大きく設定されている。しかし、結果を見てみると、鳥取、松江、西郷は第 2 グループに属しており、下関と同じような荷重係数が必要であることがわかる。また広島、山口は第 1 グループに属し、それよりさらに大きい荷重係数が必要であることがわかる。

**4. あとがき** 風速の大きさに応じて地域区分し各地域区分ごとの荷重係数を定めるには、本研究で対象とした地域数がまだ少なく、しかも風速の

観測期間が短い。また本研究で用いた風速データは実際に鉄塔が数多く建設されていると思われる山岳地等の気象データではなく各地域の気象台のある都市部のデータであるため、今後は山岳地等の気象データの推定が重要であると考えられる。このように解決すべき問題点が多くあるが、これらができれば、日本全国の地域をいくつかのグループにわけ、グループ内で共通の荷重係数を与えることが可能になり、その荷重係数を用いて設計を行えば日本全国における鉄塔の安全性レベルが統一できる。

**参考文献** 1) 白木渡ほか: 極値解析による送電鉄塔の設計風荷重の検討, 第 47 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, 1995.

2) 電気学会: 電気規格調査会標準規格「送電用支持物設計標準」(JEC-127), 1979.

3) ASCE: Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading, 1991.

4) J. W. Murzeuski: Safety Differentiation Depending on Service Time, Size and Danger, Bulletin of The Polish Academy of Sciences, Vol. 32, No. 3-4, pp. 187-192, 1984.