

1. はじめに: 従来、送電用鉄塔に対しては平均風速に基づいて風圧力を算定し、さらに設計上の裕度を持たせて確定論的に設計が行われてきた。しかし、鉄塔の安定上問題なのは平均風速より瞬間風速の大ききであり、これに加えて、瞬間風速および地盤の土質係数の推定に伴う不確実性である。本報告では、風と地盤の不確実な性質を設計に導入し、経済的評価基準を用いた送電用鉄塔の最適設計について述べる。なお、強風による鉄塔の破壊は上部構造に限られる場合と、基礎の破壊を伴う場合があるが、風圧による破壊の大部分は基礎の引揚抵抗力の不足に起因している<sup>1)</sup>ので、ここでは上部構造の設計と切離して基礎の最適設計を考察することにし、上部構造の形状は一定とする。

2. 瞬間風速の分布: 鉄塔の設計では、これまで10分間平均風速 $V_0$ が採用されてきたが、実際には安定上重要な瞬間風速 $V$ の分布が問題となる。ところが、過去の観測データは $V_0$ に関するものが多いため、各地の気象管署で記録された $V_0$ と $V$ の関係から、 $V$ の確率分布を推定しなければならない。そこで、過去の $V_0$ と $V$ の観測例(図1)より、 $V_0$ が与えられたときの $V$ の確率分布を次のように推定する。図1より $V_0$ と $V$ の間には正の相関があり、 $V_0$ の増加につれて $V$ のばらつきも増大していることがわかる。 $V$ の平均値 $\bar{V}$ が $V_0$ と直線関係を有し、 $\bar{V}$ のまわりの $V$ の標準偏差を $S(V)$ としたとき $S(V)/V_0$ が一定であると仮定すると、 $\bar{V}$ 、 $S(V)$ は次式で表わされる。

$$\bar{V} = 2.68 + 1.319 V_0 \quad (1)$$

$$S(V) = 0.2486 V_0 \quad (2)$$

次に、変数 $Z = (V - \bar{V}) / S(V)$ のばらつきを調べたところ、図2のように正規分布に従うことが判明した。そこで、 $V$ はある $V_0$ の値に対し、式(1)、(2)から算定される平均値と標準偏差の正規分布として与えることにする。なお、設計風速 $V_d$ は $V$ に対し上空風速の増大を行なった値とする<sup>1)</sup>。

3. 鉄塔基礎の引揚力および引揚抵抗力: 送電用鉄塔上部構造の正面図および側面図が図3に示される。2で求められた設計風速 $V_d$ の分布より基礎に作用する引揚力を計算するために、まず鉄塔の各節点に作用する風圧力 $P_i$ を次式によって算定する<sup>1)</sup>。

$$P_i = \rho \cdot V_d^2 \cdot C \cdot A_i / 2 \quad (3)$$

ここに、 $\rho$ : 空気密度、 $C$ : 抵抗係数、 $A_i$ : 節点間の受風面積であり、上部構造の形状より $C = 2.6$ とする。 $\rho$ は $0.115$  ( $\text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^3$ ) とする。引揚力 $P_i$ は、図3の各節点に作用する風圧力 $P_i$ による $b$ 点まわりのモーメントのつり合いから求めるが、 $V_d$

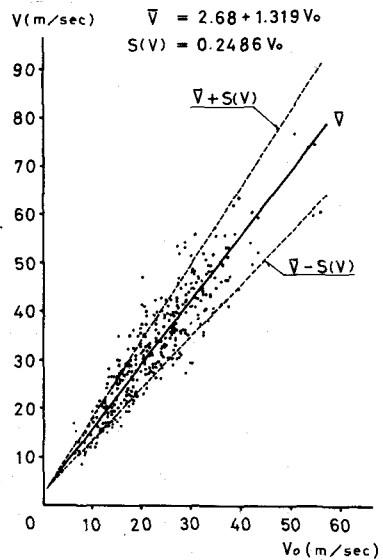


図1 平均風速と瞬間風速の相関(参考文献)

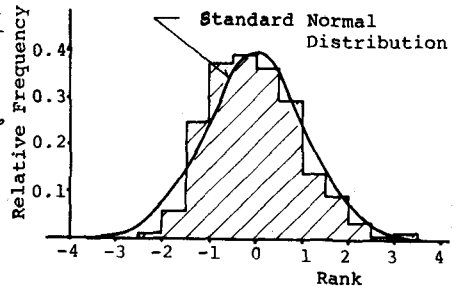


図2 変数Zのばらつき

が確率変数で与えられているので、 $P_u$ も確率変数となる。

基礎の引揚抵抗力 $R$ は、図4のような基礎形状に対し、次式で計算される。すなわち、 $R$ は地盤の粘着力 $c$ (t/m<sup>2</sup>)、内摩擦角 $\phi$ (°)、単位体積重量 $\gamma$ (t/m<sup>3</sup>)より、

$$R = G - \gamma V_{cl} + \gamma K_1 + c K_2 \quad (4)$$

と表わされる。ここに、 $G$ : 基礎体の重量、 $V_{cl}$ : 床板縁端上面より上部にある基礎本土中体積、 $K_1, K_2$ :  $\phi$ および基礎幅 $B$ 、埋設深 $D_f$ から決定される係数である。地盤の土質諸係数 $c, \phi, \gamma$ は正規分布に従うものとしてよいから、ここでは各分布をそれぞれ $N(2, 0.0^2), N(30, 6^2), N(1.6, 0.08^2)$ なる正規分布と仮定した。 $c, \phi, \gamma$ が確率変数であるから $R$ も確率変数として与えられ、引揚力 $P_u$

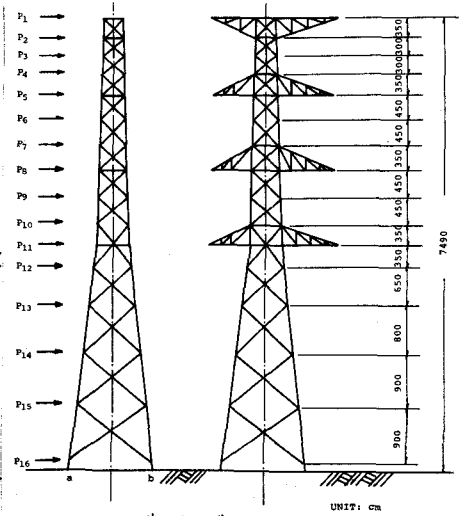


図3. 鉄塔上部構造の概要

と抵抗力 $R$ の分布より鉄塔の破壊確率が求められる。 $P_u$ は $P_u$ が $R$ を上回ることによる確率として定義されるが、実際の計算ではシミュレーションで求めた。

**4. 基礎の最適設計:** 設計の内容を $\alpha$ (アクション)で表わすと、 $\alpha$ は基礎幅 $B$ と埋設深 $D_f$ (図4)の様々に組合わせによって定まる。信頼性設計に用いる経済的評価基準は、トータルコスト $C_T(\alpha)$ 、初期建設費 $C_c(\alpha)$ 、破壊損失費 $C_f$ 、および $P_R(\alpha)$ より次式で表わされる。

$$C_T(\alpha) = C_c(\alpha) + P_R(\alpha) \cdot C_f \quad (5)$$

最適設計は式(5)の $C_T$ に最小にするものである。 $C_c(\alpha)$ は上部構造および基礎の施工費と土地買収費より成り、 $C_f$ は鉄塔の倒壊に伴う損失、すなわち停電による損失と復旧費から成っている。 $C_f$ は $11.6 \times 10^8$ 円と見積られた。また、過去の観測記録より設計の基準となる平均風速 $V_0$ を $40$ (m/s)と仮定し、その値から推定された設計風速 $V$ の分布および基礎形状から、 $P_R$ を算定している。

以上のようにして計算された鉄塔の $C_T$ と $B, D_f$ の関係が図5に示されている。この図より、 $C_T$ が最小となるのは $B = 4.5$ m、 $D_f = 5.9$ mの場合であることが判明しており、このときの破壊確率 $(P_R)_{opt}$ の値は $0.005$ であることがわかった。これらの値は今後の送電用鉄塔の最適設計の上で注目すべきものである。また、 $(P_R)_{opt}$ の値は取地盤上の盛土の設計に比べ1オーダー低い値が、これは構造物の重要度と性格の差によるものと考えられる。

**参考文献:** 1) 電気学会: 送電用鉄塔設計標準 (JEC-120) 1965, 2) 松尾, 上野: 斜面前震防止のための信頼性設計に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 276, 1978.

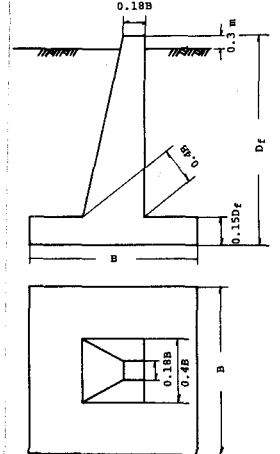


図4. 基礎の形状

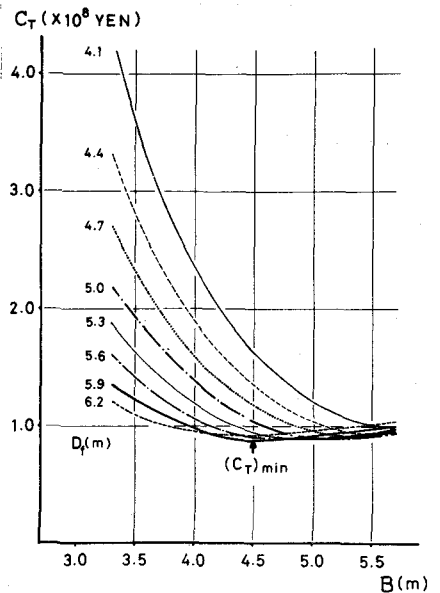


図5. トータルコストと基礎形状の関係。