

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡
鳥取大学工学部 正会員 松保 重之
水資源開発公団 正会員 中島 宏幸

1. まえがき 現在我が国において、電気エネルギーは必要不可欠なものとなっており、近年では産業、情報の発展に伴って、消費電力の大幅な増加が見込まれている。そのため電力の供給システムも、従来より大規模な送電設備が必要となることが予想される。また一昨年9月に、西日本を中心に襲った台風19号による強風によって、送電線を支える鉄塔は、大きな被害を受け、各地で停電を引き起こした。このような状況を踏まえ、本研究では、現在建設が推進されている、UHV(超超高压)送電用鉄塔の耐風安全性について、信頼性手法に基づく安全性の評価を行う。

2. 信頼性手法によるUHV送電線鉄塔の安全性評価 本研究では、送電線に最も支配的な外荷重である風荷重を、確率変数としてモデル化し、その作用を受ける送電用支持物(図1)の引揚げ力、および基礎体の変位量に対する安全性の評価を行うこととする。

(1) 鉄塔上部構に作用する風荷重モデル: 文献1)によれば、鉄塔に作用する風荷重は式(1)で与えられる。式(1)において q は式(2)に示される q_0 に上空逡増係数、構造規模による低減係数、構造物の種類による係数、及びしゃへい係数をかけて求められる。いま、図1に示される大型送電線鉄塔が、鳥取地方に建設されると想定して、風荷重の確率モデルを作成する。この風荷重モデルは、鳥取地方気象台で観測された風速データから、50年最大の瞬間最大風速 $V_{0.10}$ を、極値I型の確率分布に従うとして式(3)のようモデル化する。

(2) 深礎基礎の極限引揚げ支持力の算定: 送電用鉄塔基礎で最も特徴的であるのは、一般の構造物に比べ、大きな引揚げ力と水平力が作用することである。そこで本研究では、基礎体モデルを図2に示すような深礎基礎モデルとし、せん断法による、基礎の極限引き揚げ支持力の算定を行った。文献2)によれば、せん断法による基礎の極限引き揚げ支持力は、鉄塔建設地点における傾斜地盤および、荷重比(P_h/P_v)による低減率 CC を考慮して、式(4)のよう示され、せん断抵抗 T は式(5)のよう示される。また地盤は、強度係数など深さ、水平方向によって、かなりの不確実性を有しているため、解析においては、式(5)における粘着力 C 、内部摩擦角 ϕ を、正規分布するパラツキを持った変数として、基礎の支持力の評価を行った。

(3) 荷重～変位関係式による基礎体の変位量の推定: ここでは、風荷重によって引き起こされる、鉄塔上部からの引揚げ力による基礎の変位量の推定法について説明を行う。文献2)によれば、大型現場実験、小型模型実験より、鉄塔上部構からの引揚げ力 $P_{h,v}$ と、鉄塔基礎の極限引揚げ支持力 $R_{h,v}$ 、基礎の根入れ深さ D 、およびその時の基礎の変位量 $\delta_{h,v}$ の関係は式(6)のよう示される。ここに、 B_h は図3に示す剛体～水平バネモデルにおける係数であり、式(7)として表される。また B_v は、図4に示す剛体～鉛直バネモデルにおける係数で、式(8)として表される。従って、式(6)において(1)、(2)で得られた鉄塔上部からの引揚げ荷重 P と、基礎の引揚げ支持力 R から、基礎体の変位量 δ を推定する。

3. 数値計算例および考察 本研究では鉄塔の安全性の評価を、破壊確率によって評価し、破壊の定義を基礎が抜け上がってしまうような破壊確率 P_f と、鉄塔の上部から要請される、許容変位量を越える確率(P_{Dh}, P_{Dv})の両者について安全性の評価を行った。なお変位量については、鉄塔基

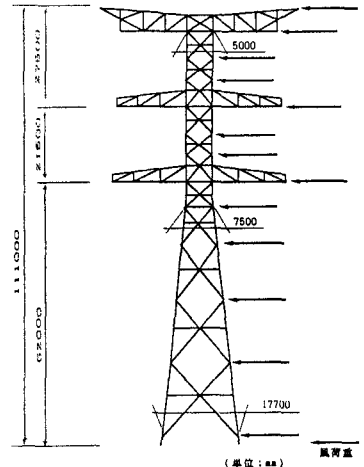


図1 大型送電線鉄塔の上部構造

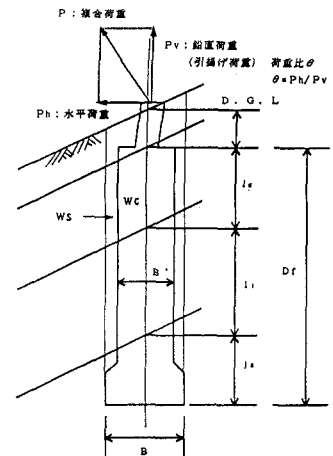


図2 深礎基礎のせん断法モデル

礎の変位が、上部構造に損傷を与える確率を P_D と定義して、式(9)に示す損傷確率として評価を行った。また解析にあたっては、地盤モデルを図5に示すモデルとして、鉄塔に危険な状態を考慮して風が傾斜地盤の山側から谷側に向かって、電線路に対して風向角 60° で作用する状態を考えた。また、鉄塔上部からの引揚げ荷重は、対数正規分布に従うとして評価し、基礎体1脚あたりに作用する鉛直荷重 P_v 、水平荷重 P_h の値はそれぞれ、平均値 $\bar{P}_v = 399.2(\text{tf})$ 、標準偏差 $\sigma_{P_v} = 104.5(\text{tf})$ 、平均値 $\bar{P}_h = 47.4(\text{tf})$ 、標準偏差 $\sigma_{P_h} = 12.4(\text{tf})$ となった。図6に、基礎の根入れ深さを $8.0(\text{m}) \sim 12.0(\text{m})$ まで変化した時の、基礎体の水平、鉛直変位量について、根入れ深さとの関係を示した結果を示す。これより、基礎の引揚げ荷重に対する変位量は、根入れ深さの増加とともに減少し、また鉛直変位量 δ_v は、水平変位量 δ_h に比べ、大きく減少するという結果となった。これは、基礎の深さ方向に伴うせん断抵抗力の増加が、水平方向せん断抵抗力の増加より大きいためであると考えられる。次に、鉄塔上部からの引揚げ荷重に対する、基礎の根入れ深さに伴う破壊確率 P_D と、損傷確率 P_D の結果を図7に示す。これより基礎の根入れ深さが増加するとともに、破壊確率、および損傷確率は、その値が減少を示す結果となった。しかし P_D は、基礎の根入れ深さの増加に伴って、 P_F に比べて大きな傾きで減少し、これは P_D を評価する水平、鉛直変位量が、基礎の根入れ深さ D_i に大きく依存しているためであると考えられる。

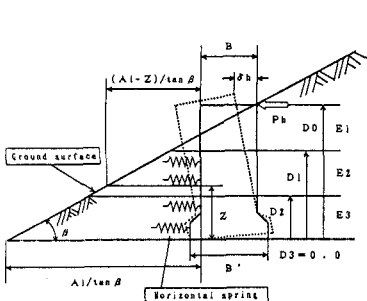


図3 斜面を考慮した剛体～水平バネモデル

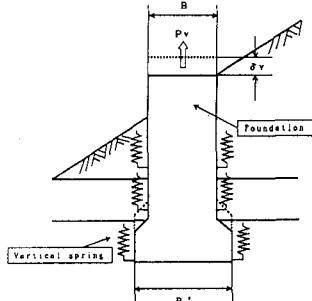
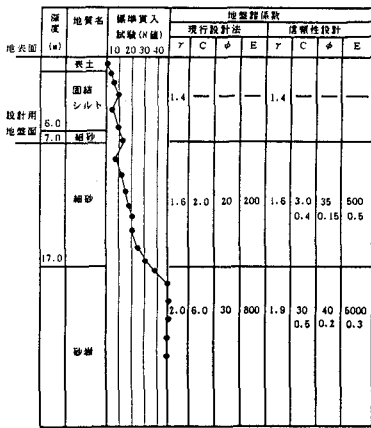


図4 傾斜地盤を考慮した剛体～鉛直バネモデル



地盤条件 傾斜角 25度

図5 地盤解析モデル

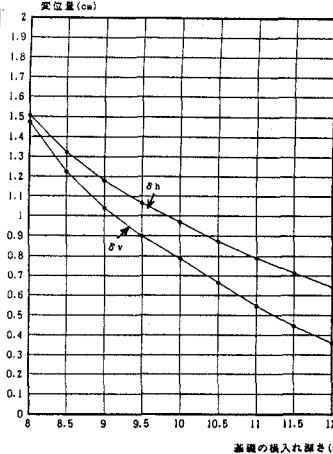


図6 地盤解析モデルにおける根入れ深さと変位量の関係

$$P = C \cdot A \cdot q \quad (1)$$

ここに、 P : 風圧力(kgf)
 C : 風力係数
 q : 設計速度圧(kgf/m²)

$$q_0 = \rho \cdot V_{010}^2 / 2 \quad (2)$$

ここに、 q_0 : 基準速度圧(kgf/m²)
 ρ : 空気密度(kg/m³)
 V_{010} : 地上高10mにおける最大瞬間風速

$$P_{50}(V_{010}) = \exp[-\exp\{-0.299(V_{010}-41.59)\}] \quad (3)$$

平均風速: 41.87(m/s) 標準偏差: 4.29(m/s)

$$R_v = CC(\bar{W}_c + W_s + T) \quad (4)$$

ここに、 CC : 低減率
 $\bar{W}_c$: 基礎体の重量(tf)
 W_s : せん断面と基礎体で囲まれるすべり土塊の重量(tf)
 T : せん断抵抗力(tf)

$$T = \sum_{i=1}^n l_i \pi B' (C_i + K_{0i} \sigma_{ci} \tan \phi_i) \quad (5)$$

ここに、 K_0 : 静止土圧係数
 C_i : i 層の粘着力(tf/m²)
 σ_{ci} : i 層の中央での土被り圧(tf/m²)
 ϕ_i : i 層の内部摩擦角(度)
 l_i : i 層の層厚(m), n : 層数

$$Y = 1.0 - \exp(-B_n \cdot v \cdot X) \quad (6)$$

ここに、 Y : 荷重比($P_h/v/R_{h0}$)
 X : 変位と根入れ深さの比($\delta_h/v/D_i$)
 B_n : 水平、鉛直変位における係数

$$B_n = \frac{P_h/R_h}{\delta_h/D_h} = \frac{\lambda_n B}{R_{h0} D_h} \sum_{i=1}^n \int_{D_i}^{D_{i+1}} K_{hs} Z \bar{Z} dz \quad (7)$$

ここに、 λ_n : 換算係数
 B : 基礎体の幅(m)
 K_{hs} : 傾斜地盤を考慮したバネ定数(kgf/cm²)
 D_i : 基礎体の根入れ深さ(m)
 n : 層数

$$B_v = \frac{P_v/R_v}{\delta_v/D_v} = \frac{\pi \lambda_v B D_v}{2 R_{v0}} \sum_{i=1}^n \int_{D_i}^{D_{i+1}} (K_{hs} + K_h) dz \quad (8)$$

ここに、 λ_v : 換算係数
 B : 基礎体の幅(m)
 K_h : 水平地盤におけるバネ定数(kgf/cm²)
 D_i : 基礎体の根入れ深さ(m)
 n : 層数

$$P_D = P_{Dh} + P_{Dv} = P_{Dh} \cdot P_{Dv} \quad (9)$$

ここに、 P_D : 損傷確率
 P_{Dh} : 許容水平変位を越える確率
 P_{Dv} : 許容鉛直変位を越える確率

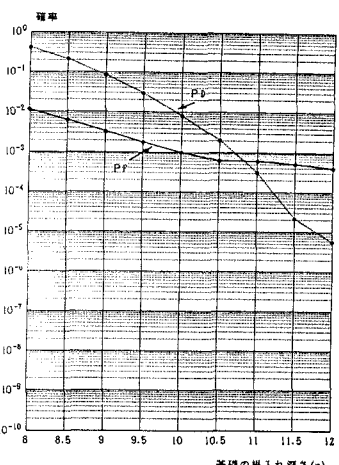


図7 基礎の根入れ深さと破壊確率、損傷確率の関係

参考文献 1) 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, 1979.

2) 東京電力: 送電用鉄塔基礎の信頼性設計に関する研究, 送電用鉄塔基礎の信頼性設計研究委員会, 1984.