

信頼性理論に基づく送電線鉄塔の安全性評価

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡 鳥取大学大学院 学生会員○中島 宏幸
鳥取大学工学部 正会員 松保 重之 (株) 住友建設 迫田 克之

1. まえがき 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。現在の社会においては、電気エネルギーは必要不可欠なものとなっており、電力の安定供給のためには鉄塔の安全性について再検討することが急務である。そこで本研究では、昭和44年に制定された3M型と呼ばれる標準鉄塔をモデル(図-1)にとり、その鉄塔がどのくらいの安全性を有しているか信頼性理論に基づき評価・検討を行った。

2. 信頼性理論に基づく送電線鉄塔の安全性評価 本研究では、送電線鉄塔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線構造物の鉄塔上部と、基礎部のそれぞれについて、安全性の評価を行うことにする。

(1) 鉄塔上部の安全性の評価: 送電用支持物設計標準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 に上空でい増係数、構造規模による低減係数、構造物の種類による係数および、遮蔽係数をかけ合わせて求められる。いま、図-1に示す標準鉄塔が鳥取地方に建設されているものとして、風荷重の確率モデルを作成する。

① 風荷重モデル: 鳥取地方気象台で観測された昭和26年～平成2年の風速データから、50年最大の10分間平均風速 V_{10} を極値Ⅰ型の確率分布に従うものとして、式(3)のようにモデル化する。同様に、昭和55年～平成2年までのデータから、50年最大の瞬間最大風速 V_{G10} の確率分布を式(4)のようにモデル化する。

② 鉄塔上部主柱材の破壊確率の評価: まず、風圧により上部構造の主柱材が引張りまたは圧縮を受けて破断、屈曲するような破壊を考えて、鉄塔上部の破壊確率の評価を行う。このために、図-1に示すような節点に荷重が作用するものとして、基準速度圧 q_0 から各主柱材の応力が容易に評価できる係数を求めた。これは、ある1節点に単位荷重が作用した時の各部材における応力の比率を表わしたものである。これにより、各主柱材の軸力が降伏点応力度に達した時に破壊するとすると、破壊基準関数は式(5)のように表わされる。式(5)において、 t_1, t_2, t_4 はそれぞれ鉄塔、送電線、架空地線に風が作用した時の各主柱材の応力を表わす係数で、 t_3, t_5 はそれぞれ送電線、架空地線の死荷重による各主柱材の応力を表わす係数である。この式(5)で示される $q_1(V_{G10})$ が負の値をとる確率を求めれば、鉄塔上部の主柱材の破壊確率を求めることができる。

(2) 鉄塔基礎の安全性の評価: 基礎の安全性を評価する際には、建設地点の状態や、地形等が支配的となるが、本研究では文献¹⁾で示される基準式を基に、図-2で示される標準的な乙基礎のモデルによって評価を行った。圧縮を受ける基礎については、上部構造から基礎に伝わる圧縮力が基礎自重、基礎直上部の土の重量の合計から求められる地盤の圧縮耐力度を超えた時に破壊するものとして破壊基準式は式(6)のようになる。さらに、圧縮力 C を風速を変数とした式で表わすと式(7)のようになる。ここに、 $A_L, C, A_K, \alpha_K, \beta, K_1, K_2, q_0, W_K, W_L$ は式(5)のものと同じである。また、 t_{c1}, t_{c2} ,

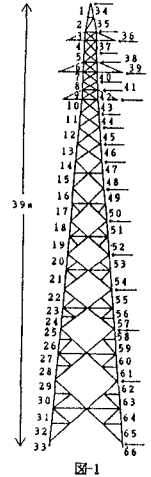


図-1

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

ここに、 P : 風圧力(kgf)
 C : 風力係数
 A : 受風面積(m^2)
 q : 設計速度圧(kgf/m^2)

$$q_0 = \rho \cdot V_{10}^2 / 2 \quad (2)$$

ここに、 q_0 : 基準速度圧(kgf/m^2)
 ρ : 空気密度($kgf \cdot s^2/m^4$)
 V_{10} : 地上高10mにおける最大瞬間風速(m/s)

$$F_{50}(V_{10}) = \exp\{-\exp[-0.485(V_{10} - 23.90)]\} \quad (3)$$

平均風速24.19(m/s) 標準偏差2.64

$$F_{50}(V_{G10}) = \exp\{-\exp[-0.299(V_{G10} - 41.59)]\} \quad (4)$$

平均風速41.87(m/s) 標準偏差4.29

$$g_1(V_{G10}) = \sigma_y(t_1 q_0 + t_2 A_L q_0 + t_3 W_L + t_4 C + t_5 W_K) \quad (5)$$

ここに、 σ_y : 降伏点応力度(kgf/cm^2)
 A_L : 送電線の受風面積(m^2)
 W_L : 送電線の死荷重(kgf)
 A_K : 架空地線の受風面積(m^2)
 W_K : 架空地線の死荷重(kgf)
 C : 風力係数
 α_K : 架空地線の上空増増係数
 β : 構造規模による低減係数
 K_1 : 構造物の種類による係数(1.0)
 K_2 : 遮蔽係数

$$g_2(V_{G10}) = q' - \frac{C + W_0 + W_1}{A} \mu \quad (6)$$

ここに、 q' : 地盤の圧縮耐力度(tf/m^2)
 C : 想定荷重より計算される上部構造からの圧縮力(tf)
 W_0 : 基礎体の重量(tf)
 W_1 : 基礎直上の重量(tf)
 A : 基礎底面積(m^2)
 μ : 基礎に働く床版接地圧の倍率(1.0)

$$C(V_{G10}) = t_{c1} q_0 + t_{c2} A_L q_0 + t_{c3} C + t_{c4} \alpha_K \beta K_1 K_2 q_0 + W_K / 2 + W_L / 2 + W_G / 2 \quad (7)$$

ここに、 W_L : 鉄塔上部構造の死荷重(tf)

$t_{0.4}$ は式(5)における $t_1 \sim t_4$ の係数に対応する。

次に、引揚をうける基礎については、上部構造から伝わる引揚力が引揚抵抗力を超えた時に破壊するものとする。破壊基準関数式は式(8)のようになる。さらに、引揚力 T を風速を変数とした式で表わすと式(9)のようになる。ここに、文字変数は全て式(7)に対応し、 t_{T1} 、 t_{T2} 、 t_{T4} は式(5)における $t_1 \sim t_4$ の係数に対応する。また、圧縮力、引揚力をうける基礎体についても、鉄塔上部の場合と同様に、破壊基準関数が負の値をとる時の、破壊確率により評価を行った。

3. 数値計算結果および考察 上の2.の(1)、(2)で示した破壊確率の評価を行うにあたっては、①の風速の確率分布を基に、次の2つのケースについて検討を行った。

Case A: 鉄塔本体と架渉線に風圧力(50年最大10分間風速)が作用する場合

Case B: 鉄塔本体と架渉線に風圧力(50年最大瞬間風速)が作用する場合

鉄塔上部の破壊確率に関しては、式(5)に示した破壊基準関数式より数値計算を行ない図3、4に示す結果を得た。これらの図からわかるように、最も破壊確率の高い部材はNo. 25～No. 28, No. 58～No. 61となっている。その破壊確率は $10^{-4} \sim 10^{-2}$ のレベルであり、降伏点強度に対する安全性としては十分とは言えない。さらに、今回用いた風速データは市街地で観測された値であり、実際に鉄塔が建設される山岳部での風速はさらに大きくなると推定され、それに伴い、ここで示した破壊確率よりもさらに大きな破壊の危険を有していると考えられる。また、一般に下方ほど大きな部材力が作用するために、それだけ破壊確率も下方の方が大きくなると思われる。しかし、図3、4を見ると最も破壊確率は

$$g_s(V_{0.10}) = W_0 + \gamma' (V_0 - V_0') \eta - T \quad (8)$$

ここに、 T : 想定荷重より計算される上部構造からの引揚力(tf)
 γ' : 土の単位重量(tf/m³)
 V_0 : 土の有効角度で算定される基礎底面上のさいり角錐体の体積(m³)
 V_0' : 地表面下の基礎体の体積(m³)
 W_0 : 基礎体の重量(tf)
 η : 引揚耐力係数(0.9)

$$T(V_{0.10}) = t_{T1} q_0 + t_{T2} A_L q_0 + t_{T4} C A_L \alpha \beta K_1 \quad (9)$$

ここに、 W : 鉄塔上部構造の死荷重(tf)

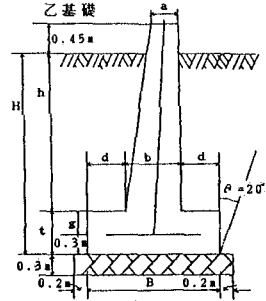


図-2

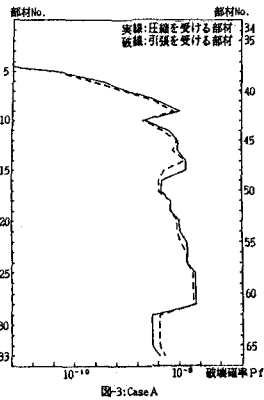


図-3: Case A

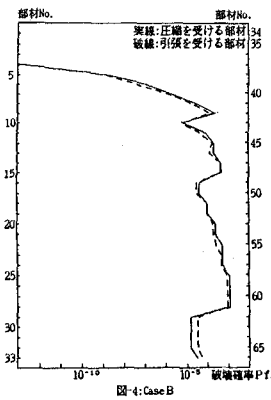


図-4: Case B

大きい部材No. 11～15、No. 44～48の腕金のついている下の辺りの部材である。これは、架渉線に作用する荷重による影響が大きいためと考えられる。また、基礎についても同様の計算

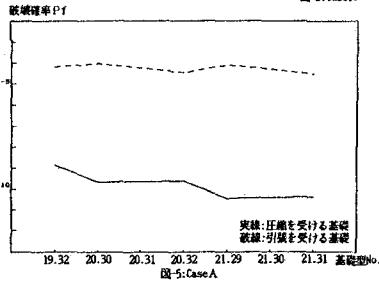


図-5: Case A

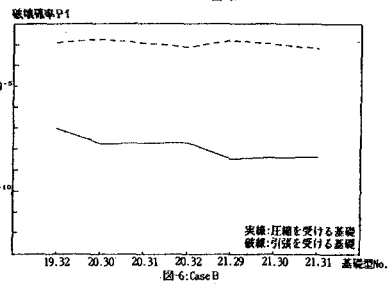


図-6: Case B

を行ない、結果を図5、6に示すように引揚力を受ける基礎の破壊確率が圧倒的に大きくこれは、上部構造から伝わる引揚力が支配的となっていることによる。以上の結果から鉄塔部については、破壊確率から判断する限り、風に対する安全性は決して高いとは言えず、腕金部下あたりで、局部的に破壊すると考えられる。基礎については、引揚力による破壊が大きいため、基礎のかかと部、あるいは根入れ深さ等を大きくとる必要があると考えられる。