

鉄塔設計における架渉線風荷重の組み合わせに関する検討

(財)電力中央研究所 正会員 ○石川 智巳
 広島大学 フェロー会員 中村 秀治
 神奈川大学 大熊 武司

1. 目的

送電用鉄塔の設計にあたっては、台風等の風荷重で設計荷重が決められることが多いため、より合理的に設計するためには、動的影響を考慮した等価静的風荷重評価法の確立が重要な課題となっている。

送電鉄塔の風荷重は、主として鉄塔風圧荷重、架渉線風圧荷重、架渉線張力荷重に分類される[1]。特に架渉線荷重（架渉線風圧荷重と張力荷重、以下同様）は、鉄塔規模が大きくなるほど支配的となるため、精度良く評価できる必要がある。等価静的風荷重評価法[1]では、架渉線荷重について支持点変位をゼロとして個別に標準偏差と最大値を計算し、それらの非同時性の効果を低減係数で考慮している。しかしながらその低減係数については十分に検討されているとは言い難い。

本報告では、架渉線荷重の非同時性効果に関し、風圧荷重および張力荷重の相関係数について理論解を示すとともに、数値解析結果との比較によりその妥当性を確認した。

2. 架渉線風圧荷重 (r_1, r_2) の相関係数

図1, 2に示す架渉線のつり合い状態を考える。この時、設計上配慮すべき強風時には、空力減衰の効果が大きく共振成分を無視できるものとすれば、架渉線風圧荷重の若番側と老番側の和の標準偏差は次式で求めることができる。

$$\sigma_{r_1+r_2}^2 = \left(\frac{\rho C_D d n_c U_R}{\cos \varphi} \right)^2 \int_0^l \int_0^l u_R(x_1) u_R(x_2) i_r(x_1) i_r(x_2) dx_1 dx_2 \quad (1)$$

ここに、 ρ ：空気密度、 C_D ：風力係数、 d ：断面径、 n_c ：応力分担率、 U_R ：設計風速、 $u_R(x_1)u_R(x_2)$ ：変動風速の空間相関関数である。また $i_r(x)$ は線路直交方向反力の影響線関数であり、次式で与えられる。

$$0 \leq x \leq l_1 \text{ の時 } i_r(x) = x/l_1$$

$$l_1 \leq x \leq l \text{ の時 } i_r(x) = (l-x)/l_2$$

上式より、架渉線風圧荷重の相関係数は次式の通りである。

$$\rho_{r_1-r_2} = \frac{B_{r_1-r_2}}{\sqrt{B_{r_1-r_1} B_{r_2-r_2}}} \quad (2)$$

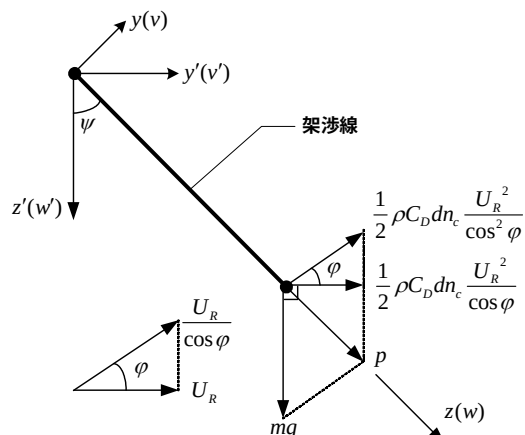


図1 平均風速作用時の荷重状態

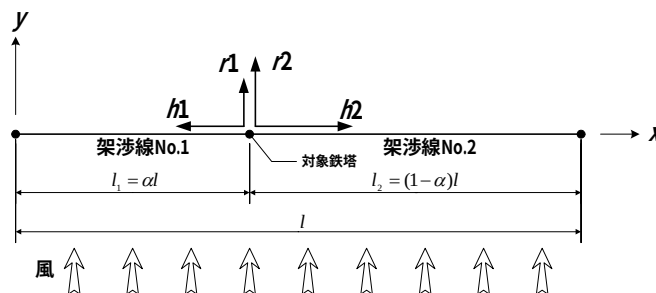


図2 2径間架渉線の概要

ここに、 $B_{r_1-r_1}$, $B_{r_2-r_2}$ は若老各々の架渉線風圧荷重の非共振係数を表し、 $B_{r_1-r_2}$ は次式で求めることができる。

$$B_{r_1-r_2} = \frac{\int_0^1 \int_0^1 \rho_{ur}(y_1, y_2) y_1 y_2 dy_1 dy_2}{\int_0^1 \int_0^1 y_1 y_2 dy_1 dy_2} \quad (3)$$

ここに、 $\rho_{ur}(y_1, y_2)$ は、変動風速の空間相関係数である。

以上より、変動風速の空間相関係数の算定において指数型のココヒーレンスを仮定すれば、架渉線風圧荷重の相関係数は $k_x(l_1 + l_2)/L_{ur}$ (k_x ：変動風速の水平横方向のディレイファクタ、 L_{ur} ：乱れのスケール[m])と α のみの関数で表される。

3. 架渉線張力荷重 (h_1, h_2) の相関係数

架渉線水平張力の相関係数についても、架渉線風圧荷重時と同様の考え方で求めることができる。まず水平張力の和の分散値は次式で与えることができる。

$$\sigma_{h_1+h_2}^2 = \left(\rho C_D d n_c U_R \frac{\sin(\psi - \varphi)}{\cos^2 \varphi} \right)^2 \int_0^l \int_0^l u_R(x_1) u_R(x_2) i_h(x_1) i_h(x_2) dx_1 dx_2 \quad (4)$$

キーワード 送電鉄塔、耐風設計、風荷重、荷重組み合わせ、数値計算

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 TEL04-7182-1181

ここで、 $i_h(x)$ は線路方向反力の影響線関数を表し、次式で与えられる[2].

$0 \leq x \leq l_1$ の時

$$i_h(x) = -\frac{1}{1+\lambda_1^2/12} \frac{EA}{L_{e1}} \frac{pl_1^2}{2(H_1+\bar{h}_1)^2} \frac{x}{l_1} \left(1 - \frac{x}{l_1}\right) \quad (5)$$

$l_1 \leq x \leq l_1+l_2$ の時

$$i_h(x) = \frac{1}{1+\lambda_2^2/12} \frac{EA}{L_{e2}} \frac{pl_2^2}{2(H_2+\bar{h}_2)^2} \frac{x-l_1}{l_2} \left(1 - \frac{x-l_1}{l_2}\right) \quad (6)$$

ここに

$$\lambda_1^2 = \{pl_1/(H_1+\bar{h}_1)\}^2 EA/(H_1+\bar{h}_1)(l_1/L_{e1})$$

$$\lambda_2^2 = \{pl_2/(H_2+\bar{h}_2)\}^2 EA/(H_2+\bar{h}_2)(l_2/L_{e2})$$

$$L_{e1} = l_1[1 + pl_1/\{8(H_1+\bar{h}_1)\}], L_{e2} = l_2[1 + pl_2/\{8(H_2+\bar{h}_2)\}]$$

H_1 : 架渉線 No.1 の無風時水平張力, H_2 : 架渉線 No.2 の無風時水平張力, $\bar{h}_1$: 架渉線 No.1 の平均風速による水平張力, $\bar{h}_2$: 架渉線 No.2 の平均風速による水平張力, EA : 軸剛性である. 式(4), (5), (6)より相関係数は,

$$\rho_{h1-h2} = \frac{B_{h1-h2}}{\sqrt{B_{h1-h1}B_{h2-h2}}} \quad (7)$$

で求めることができる. ここに、 B_{h1-h1} , B_{h2-h2} は若老各々の架渉線張力荷重の非共振係数, B_{h1-h2} は次式の通りである.

$$B_{h1-h2} = \frac{\int_0^1 \int_0^1 \rho_{ur}(y_1, y_2) y_1(1-y_1) y_2(1-y_2) dy_1 dy_2}{\int_0^1 \int_0^1 y_1(1-y_1) y_2(1-y_2) dy_1 dy_2}$$

$$y_1 = x_1/l_1, \quad y_2 = (x_2-l_1)/l_2 \quad (8)$$

この時、風圧荷重同様に指数型のココヒーレンスを仮定すれば、架渉線張力荷重の相関係数は $k_x(l_1+l_2)/L_{ur}$ と α のみの関数で表される.

4. 数値解析結果との比較

2 径間の架渉線モデル (ACSR410, 4 導体, 初期張力 2000kgf/導体, 荷重径間 400m) を対象に、周波数応答解析により x , y 方向各々の支持点反力とそれらの共分散を求め、それらから各荷重の相関係数を算出した. パラメータは、図3に示すように水平角 (0 度, 15 度, 30 度) と径間比 (1:1, 2:1) とし、入力条件は平均風速 40m/s, 乱れの強さ 0.15 で径間内一定とした. なお、乱れのスケール、ディケイファクタで $k_x(l_1+l_2)/L_{ur}$ を変化させた. 図4に架渉線風圧荷重の相関係数を、図5に架渉線張力荷重の相関係数を示す. 同図には式(2), (7)で与えた理論解 ($\alpha=0.5$) も併記した. これらの図より、理論解は共振成分を無視したため若干大きめの評価を与えているが、大型の送電鉄塔が $k_x(l_1+l_2)/L_{ur}=30 \sim 100$ であることを考慮すれば、設計式として概ね妥当と考えられる. また理論解は水平角 0 度として誘導し

たため、架渉線風圧荷重については、張力荷重の影響で架渉線張力荷重の相関係数に近づく傾向にある. 一方、架渉線張力荷重についてはその差異は小さい. また径間比 1:1 と 2:1 のケースで両者に差異はほとんど認められず、径間比の影響を受けないことがわかる.

以上より、本相関係数は径間比や張力状態に依存しないため、理論解を $k_x(l_1+l_2)/L_{ur}$ の関数として近似すれば、設計式として簡易に用いることができる.

5. まとめ

本報告では、架渉線荷重の非同時性の影響を相関係数の形で理論的に示した. ただし、高さ方向および線路方向と線路直交方向の非同時性の効果についても考慮できる必要がある.

今後は、これらの影響について評価し、風荷重評価法として体系化する予定である.

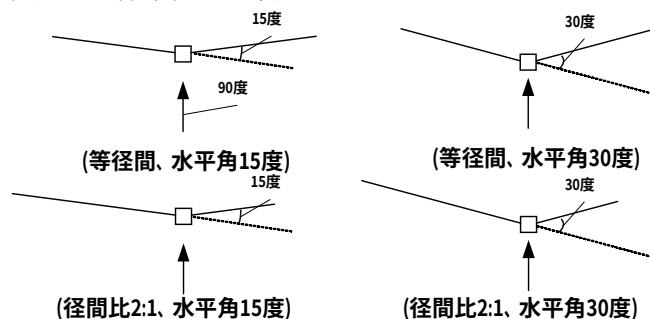


図3 数値解析ケース

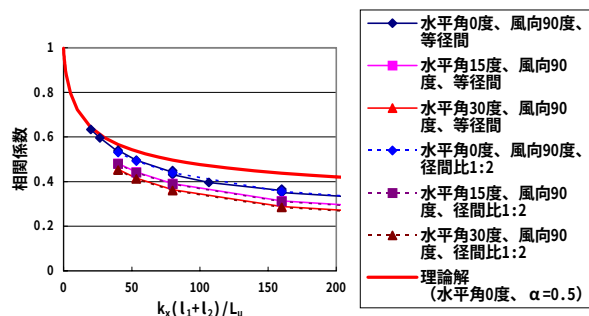


図4 架渉線風圧荷重の相関係数

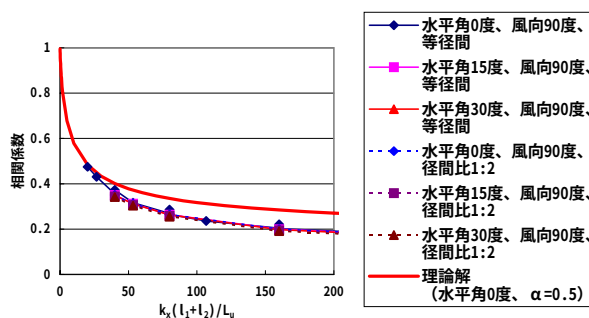


図5 架渉線張力荷重の相関係数

参考文献

- [1] 漆原他：特殊地形における送電用鉄塔・架渉線連成系の耐風設計に関する研究（その4），日本風工学会誌，第83号，2002年4月
- [2] H.M.Irvine: Cable Structure, MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1981.