

懸垂型鉄塔における架渉線風荷重算定法に関する検討

（財）電力中央研究所 正会員 石川 智巳

1. はじめに

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。風荷重の場合、特に架渉線風荷重（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、これらを精度良く評価できる必要がある。著者らは、これまでに、「送電用鉄塔の風荷重指針（案）」[1]において、ガスト影響係数法による架渉線風荷重を示し、若老間の非同時性を考慮した非同時性低減係数により組み合わせ方法を提案している。ただし、懸垂型鉄塔に対しては、種々のパラメトリック解析に基づき、耐張型の非同時性低減係数に 0.2 を乗じて適用するものとしている[2]。この値は電圧階級、径間長、サグ比などによらず一定値としており、より合理化できる可能性がある。本報告では、懸垂型鉄塔に対する架渉線風荷重の算定方法を理論的に導き、数値解析との比較により、その妥当性を確認した。

2. 懸垂型架渉線張力荷重の簡易評価法の提案

図 1 に示した 2 径間懸垂型の架渉線状態（懸垂がいし部のみ移動可、径間長：若番側 l_1 、老番側 l_2 、これらの和を L ）を考える。径間内任意点 x にある瞬間の変動風力 $Fu_R(x)$ が作用したときの各径間の水平張力増分をそれぞれ $h'_1(x)$ 、 $h'_2(x)$ とすると、懸垂がいし支持点反力 $h'_1(x) + h'_2(x)$ は、次式で与えられる。

$$h'_1(x) + h'_2(x) = -\left(\frac{E_{e1}A}{L_{e1}} + \frac{E_{e2}A}{L_{e2}}\right)u(l_1) + Fu_R(x)i_{h1+h2}(x) \quad (1)$$

ここに、 $E_{e1} = E/(1 + \lambda_1^2/12)$ 、 $E_{e2} = E/(1 + \lambda_2^2/12)$ 、

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

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

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

$$F = \rho C_D dn_c U_R \frac{\sin(\psi - \varphi)}{\cos^2 \varphi}$$

$$p = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\rho C_D dn_c \frac{U_R^2}{\cos \varphi}\right)^2 + \left(w_c - \frac{1}{2}\rho C_D dn_c \frac{U_R^2}{\cos^2 \varphi} \sin \varphi\right)^2}$$

ただし、 ρ ：空気密度、 C_D ：風力係数、 d ：断面径、 A ：断面積、 E ：ヤング率、 w_c ：単位長重量、 n_c ：応力分担率、 U_R ：平均風速、変動風速： $u_r(x)$ 、 φ ：吹き上げ角、 ψ ：横触れ角、 H_1, H_2 ：無風時水平張力、 \bar{h}_1, \bar{h}_2 ：平均風速による水平張力を表す。なお下付数字は架渉線番号を表す。また、 $i_{h1+h2}(x)$ は支持点移動がない場合（耐張型）の若老間の和の影響線関数であり、次式で与えられる[2]。

$0 \leq x \leq l_1$ の時

$$i_{h1+h2}(x) = -\frac{E_{e1}A}{L_{e1}} \frac{pl_1^2}{2(H_1 + \bar{h}_1)^2} \frac{x}{l_1} \left(1 - \frac{x}{l_1}\right) \quad (2)$$

$l_1 \leq x \leq L$ の時

$$i_{h1+h2}(x) = \frac{E_{e2}A}{L_{e2}} \frac{pl_2^2}{2(H_2 + \bar{h}_2)^2} \frac{x - l_1}{l_2} \left(1 - \frac{x - l_1}{l_2}\right) \quad (3)$$

さらに、変位 $u(l_1)$ が微小と仮定できれば、力のつり合い条件より次式を満足する。

$$u(l_1) = l_g \frac{h'_1(x) + h'_2(x)}{R_v} \quad (4)$$

ここに、 l_g はがいし連長、 $R_v(x)$ は懸垂支持点の鉛直方

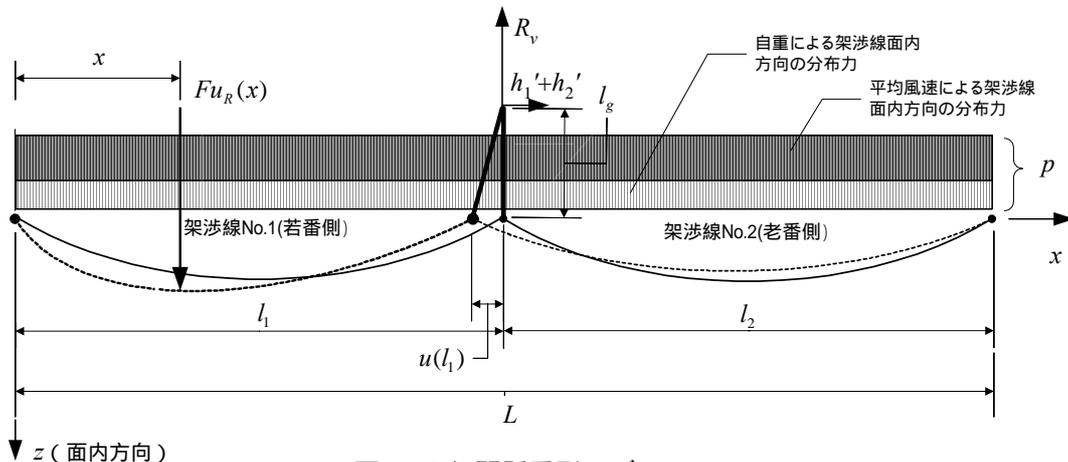


図 1 2 径間懸垂型モデル

キーワード 送電鉄塔，懸垂型，耐風設計，風荷重，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 TEL 04-7182-1181

向反力を表す。また、がいし連の重量を p_g とし、 $Fu_R(x)$ による鉛直方向力の寄与を無視すれば、 $R_V(x)$ は以下のように与えられる。

$$R_V(x) = \frac{pL}{2} + p_g \quad (5)$$

したがって、式(4)、式(5)より、式(1)は次のように表すことができる。

$$h_1'(x) + h_2'(x) = \eta_h Fu_R(x) i_{h_1+h_2}(x) \quad (6)$$

$$\eta_h = \frac{1}{1 + \left(\frac{E_{e1}A}{L_{e1}} + \frac{E_{e2}A}{L_{e2}} \right) \frac{l_g}{pL/2 + p_g}} \quad (7)$$

一方、耐張型と同様に空力減衰の寄与が大きいことから、共振成分を無視すれば[2]、架渉線水平張力荷重の和の標準偏差は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \sigma_{h_1+h_2}^2 &= \int_0^L \int_0^L \overline{\{h_1(x_1) + h_2(x_1)\} \{h_1(x_2) + h_2(x_2)\}} dx_1 dx_2 \\ &= \eta_h^2 F^2 \int_0^L \int_0^L \overline{u_R(x_1) u_R(x_2) i_{h_1+h_2}(x_1) i_{h_1+h_2}(x_2)} dx_1 dx_2 \quad (8) \end{aligned}$$

式(8)の F^2 以降は、耐張型時の若老間の和の標準偏差を表すことから[2]、耐張型の水平張力荷重の標準偏差に低減係数として η_h を乗じれば、懸垂型の水平張力荷重の標準偏差を求めることができる。

3. 数値解析結果との比較

上記で提案した低減係数 η_h の妥当性を検証するため、1 吊懸垂型 2 径間電線 (ACSR410, 4 導体) を対象に、周波数領域におけるガスト応答解析[2]を実施し、提案式による値と比較した。解析ケースは、平均風速、初期張力、径間比を変化させた表1に示す4ケースとし、がいし連長さをパラメータとした。また、がいし連については、単位長重量 1250.5 N/m、ヤング率 115.2kN/mm² とした。なお、その他の解析条件は以下の通りである。

解析時の乱れの強さ 0.15、乱れのスケール 100m、ディケイファクタ 10 とする。

架渉線のモデル化は、幾何学的非線形性の考慮できるトラス要素を用い、1 径間 40 分割、がいし連は、架渉線と同様のトラス要素で 1 要素とした。さらに、減衰定数は、0.2Hz で 0.4% の剛性比例型とした。

解析結果との比較図を図 2 に示す。本検討により、以下の点が明らかとなった。

種々の架線条件に対しても、本低減係数は動的応答解析結果とよく一致している。

がいし連長が長くなるほど η_h は小さくなる。

初期張力が小さくなるほど η_h は大きくなる。(ケース 1, 2 間の比較)

平均風速が大きくなるにしたがい、 η_h は若干大きくなる。(ケース 1, 3 間の比較)

表 1 検討ケース

ケース		No.1架渉線	No.2架渉線
ケース1	径間長(m)	400.0	400.0
	無風時張力(kN/導体)	29.4	29.4
	平均風速(m/s)	40.0	
ケース2	径間長(m)	400.0	400.0
	無風時張力(kN/導体)	19.6	19.6
	平均風速(m/s)	40.0	
ケース3	径間長(m)	400.0	400.0
	無風時張力(kN/導体)	29.4	29.4
	平均風速(m/s)	20.0	
ケース4*	径間長(m)	400.0	200.0
	無風時張力(kN/導体)	19.6	21.9
	平均風速(m/s)	40.0	

*風圧荷重883N/m²作用時、若老ともに水平張力34.5kN/導体となるよう無風時張力を設定

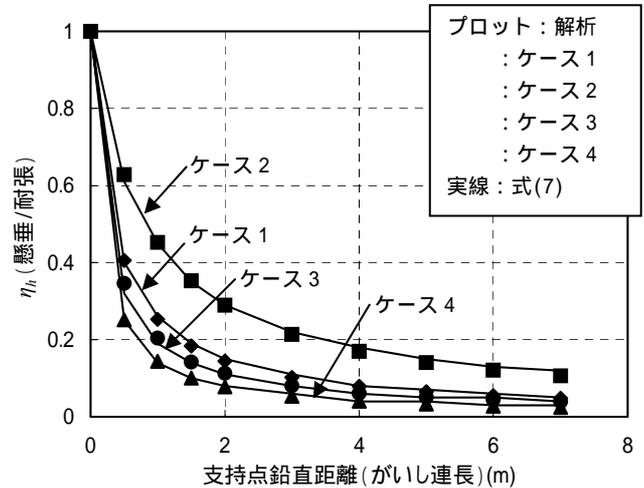


図 2 η_h とがいし連長の関係

なお、動的応答解析結果より、架渉線風圧荷重（線路直交方向反力）の若老間の和については、耐張型と懸垂型で差異が認められなかった。すなわち、架渉線風圧荷重の非同時性低減係数は耐張型と共通に用いることができる。

4. まとめ

本報告では、送電鉄塔の合理的耐風設計法の確立を目的に、懸垂型鉄塔の若老間の架渉線風荷重の組み合わせ法について、理論的に検討した。また、数値解析結果との比較を通じて、その妥当性を確認した。

参考文献

[1] 大熊武司, 他: 風向別風速を用いた送電鉄塔の耐風設計法に関する研究, 日本風工学論文集, No. 98, pp. 137-150, 2004. 1
 [2] 石川智巳: 送電鉄塔の動的効果を考慮した風荷重評価法に関する研究, 土木学会論文集, No. 738/I-64, 2003