

送電線の振動特性に及ぼす碍子の影響

九州大学 工学部 正 員 小坪 清真
 佐賀大学 理工学部 正 員 井嶋 克志
 九州大学 工学部 学生員 ○畑元 浩樹

1. まえがき

著者らは、これまでに鉄塔・送電線系の地震応答解析法として、鉄塔には基礎の地動変位と送電線の付加張力として働き、送電線にはその支持点の鉄塔の変位が外力として働くとして、鉄塔および送電線それぞれの振動形を用いて振動形解析法により解析する方法を示した。その解析法では、碍子は単に鉄塔の腕金に付加した質量としてのみ取り扱い、送電線は一様ケーブルとしてそれぞれの振動形を求めている。しかし、実在の鉄塔・送電線系において、碍子の重量は送電線に比べて非常に大きく、送電線・碍子系の振動特性は送電線のみ振動特性と異なるとともに、碍子の振動により鉄塔腕金に作用する張力も、単に鉄塔腕金への付加質量として見積することはできないと思われる。従って、本研究では送電線・碍子系の自由振動解析を行なうとともに、一端に正弦波水平変位を受けた時の両端の水平付加張力を求めることにより、送電線の振動特性に及ぼす碍子の振動の影響を求めた。解析法としては、通常、碍子および送電線部分の変位をそれぞれsine級数で仮定しGalerkin法を用いる方法が考えられるが、本法では碍子・送電線系全長にわたって1つのsine級数を仮定しGalerkin法により解析を行った。

2. 理論解析

解析は次の仮定のもとに行った。Ⅰ) 送電線および碍子は完全可塑性とし、曲げ剛性は考慮しない。Ⅱ) 送電線および碍子の伸張性は線形の範囲で考慮する。Ⅲ) 送電線および碍子の動的付加張力はその初期張力を超えるほどにはならない。Ⅳ) 架線の変位もスパンに比べて十分小さく、微小振動と仮定し、線形振動とした。

図-1の座標系のもとに、架線要素の鉛直面内振動における運動方程式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2 U}{\partial T^2} &= \frac{\partial}{\partial S} \left[\left\{ H \frac{dS}{dX} + EA \left(\frac{dX}{dS} \right)^2 \right\} \frac{\partial U}{\partial S} + EA \frac{dX}{dS} \cdot \frac{dY}{dS} \cdot \frac{\partial V}{\partial S} \right] \\ \rho \frac{\partial^2 V}{\partial T^2} &= \frac{\partial}{\partial S} \left[EA \frac{dX}{dS} \cdot \frac{dY}{dS} \cdot \frac{\partial U}{\partial S} + \left\{ H \frac{dS}{dY} + EA \left(\frac{dY}{dS} \right)^2 \right\} \frac{\partial V}{\partial S} \right] \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{ここに、} U, V \text{ は水平および鉛直変位、} \\ \text{(1)}_{a,b} \text{ } L \text{ はスパン長、} X, Y \text{ は水平および鉛直} \\ \text{座標、} S \text{ は図-1における} A \text{ 点を始点と} \end{array} \right\}$$

した碍子・送電線に沿う距離、 T は時間、 H は初期水平張力、 ρ および EA は架線の単位長さ当りの質量、伸び剛性であり、送電線と碍子部分でそれぞれの値は異なる。

両端固定の境界条件のもとに、送電線・碍子系の水平および鉛直変位を支間全長にわたって1つのsine級数で表せば次式となる。

$$\begin{aligned} U(T, S) &= \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin \frac{n\pi S}{S_0} \cdot \exp(i\Omega T) = \bar{U}(S) \cdot \exp(i\Omega T) \\ V(T, S) &= \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi S}{S_0} \cdot \exp(i\Omega T) = \bar{V}(S) \cdot \exp(i\Omega T) \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{ここに、} S_0 \text{ は架線長、} \Omega \\ \text{(2)}_{a,b} \text{ は円振動数である。式(2)} \end{array} \right\}$$

を式(1)に代入し、時間関数を分離し、Galerkin法を用いることにより a_n 、 b_n の連立1次方程式が得られる。この a_n 、 b_n の係数行列を固有値解析することにより、 j 次の固有円振動数 Ω_j 、および変位モード $\bar{U}_j(S)$ 、 $\bar{V}_j(S)$ が得られる。一方、送電線・碍子系の j 次のモードにおける付加張力の水平成分 $\bar{T}_{Hj}(S)$ は、式(2)_aを式(1)_aの右辺に代入し S について積分すれば、次式で表わされる。

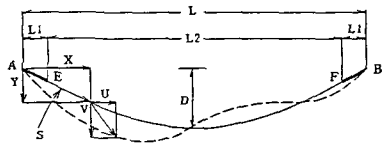


図-1 送電線・碍子の座標系
(AE, FB: 碍子部分)

$$T_{Hj}(S) = \mu_j - \Omega_j^2 \sum_{n=1}^{\infty} a_{nj} \int_0^S \rho \sin \frac{n\pi S}{S_0} dS \quad (3)$$

ここに、 μ_j は積分定数である。

次に、図-1の右端に鉛直面内正弦波水平変位 $\Delta = \bar{\Delta} \exp(i\Omega T)$ を与えたときの変位 U, V は、変位モードを用いて次式のように仮定する。

$$\left. \begin{aligned} U(T, S) &= \sum_{j=1}^{\infty} \Psi_j \bar{U}_j(S) + \Delta(T) U_0(S) \\ V(T, S) &= \sum_{j=1}^{\infty} \Psi_j \bar{V}_j(S) + \Delta(T) V_0(S) \end{aligned} \right\} \quad (4)_{a,b}$$

ここに、 Ψ_j は j 次の基準座標、 $U_0(S), V_0(S)$ は送電線・碍子右端の単位水平静変位による水平および鉛直変位である。式(4)を式(1)に代入し Ψ_j に関する微分方程式が得られる。基準座標を $\Psi_j = \bar{\Psi}_j \exp(i\Omega T)$ と仮定し、この微分方程式を解けば基準座標の定常振幅値 $\bar{\Psi}_j$ が得られる。したがって、送電線・碍子系の水平付加張力 $T_{Hj}(S)$ は次式で表わされる。

$$T_{Hj}(S) = \sum_{j=1}^{\infty} \bar{\Psi}_j \bar{T}_{Hj}(S) + \bar{\Delta} \bar{T}_0(S) \quad (5)$$

ここに、 $\bar{T}_0(S)$ は送電線・碍子右端の単位水平静変位による水平付加張力である。

3. 数値計算およびその考察

送電線の場合(case1)と碍子・送電線の場合(case2)について自由振動解析を行なうことにより、それぞれのcaseの固有振動数、鉛直変位モード、水平付加張力モードを比較した。図-1において、case1は $L = 488.0\text{m}$ 、サグ $D = 28.9\text{m}$ (サグ比 $D/L = 0.06$)、送電線の単位長さ当りの重量 $\rho_1 g = 2.7\text{kgf/m}$ 、送電線の伸び剛性 $E_1 A_1 = 4.57 \times 10^6 \text{ kgf}$ とし、初期水平張力 $H = 2794.0\text{kgf}$ である。一方、case2は $L = 500.0\text{m}$ 、 $D = 31.5\text{m}$

(サグ比 $D/L = 0.06$)、碍子の水平投影長は $L_1 = 6.0\text{m}$ 、碍子の単位長さ当りの重量 $\rho_2 g = 166.7\text{kgf/m}$ 、碍子の伸び剛性 $E_2 A_2 = 6.86 \times 10^6 \text{ kgf}$ とし、 $\rho_1 g, E_1 A_1$ および H はcase1と同じものとする。case1、case2において、それぞれ固有振動数 $f_j (j=1 \sim 3)$ 、鉛直変位モード $\bar{V}_j(S)$ 、および無次元化した水平付加張力モード $\bar{h}_j(S) (= \bar{T}_{Hj}(S)/H)$ を図-2に示す。

図からわかるように、送電線・碍子系の両端の水平付加張力は、送電線の場合に比べて非常に大きいことがわかる。これは、碍子の質量が送電線の質量に比べて非常に大きい(約80倍)からである。また、送電線の場合、逆対称モードの水平付加張力は対称モードのそれに比べて非常に小さいが、送電線・碍子系の逆対称モードの水平付加張力は対称モードのそれと同程度に大きいことがわかる。

なお、送電線・碍子系の一端に正弦波水平変位を与えたとき、水平付加張力の応答については、講演時に発表する。

<参考文献> 1) 小坪 清真 他：鉄塔-

送電線系の地震応答解析法、第18回地震工学研究発表会

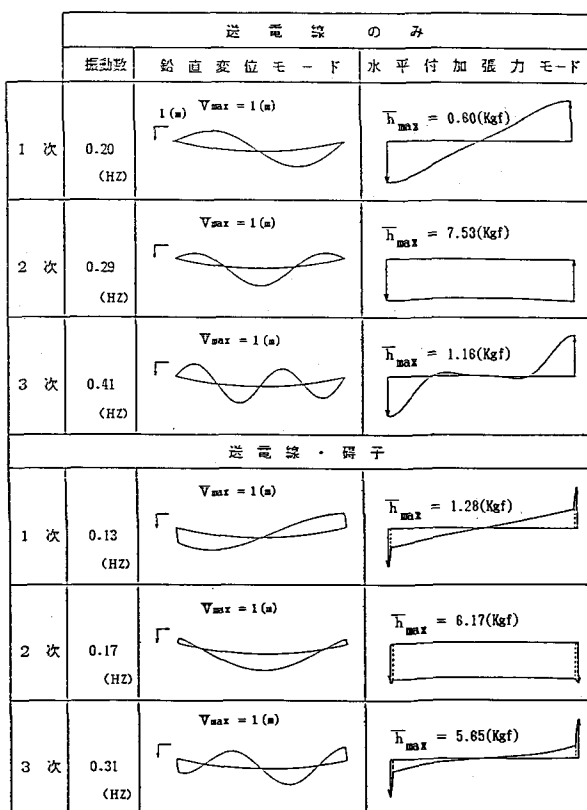


図-2 鉛直変位モードおよび水平付加張力モード