

九州大学 正会員 小坪 清真

〃 〃 井嶋 克志

〃 〇学生員 後藤 裕司

1. まえがき

著者らはこれまで鉄塔-送電線系の線路方向における地震応答の解析を行ってきた。本研究では、鉄塔-送電線系の面外方向に入射する地震に対してその応答特性を解析する。そこで、まず送電線の張力の面外方向成分の振動数特性を理論的に求めた。次に、送電線模型で振動実験を行い、数値計算結果と実験値とを比較して理論の検証を行った。さらに、不規則波である地震に対しての張力の面外方向成分の応答を計算し、最後に鉄塔-送電線系の地震に対する応答の解析手法について述べる。

2. 解析理論

解析に当たって送電線は完全可撓性、伸張性とし、その両端は同レベル支持とした。また、微小変位を仮定し線形の範囲内で解析を行った。送電線の線形振動の範囲内では鉛直面内振動と面外振動とは連成せず、本論では面外振動のみ解析した。

送電線の座標系を図-1のとおりとする。ここに、 x, y, z は直角座標、 X, Y は送電線のたわみ曲線の座標、 S は送電線に沿う距離、 W は変位、 L はスパン、 D はウグである。無次元化した送電線要素の面外振動における運動方程式は次式で与えられる。

$$\pi^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{dx}{d\lambda} \frac{\partial^2 w}{\partial \lambda^2} \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 $x = X/L$ は無次元面内水平座標、 $\lambda = S/L$ は送電線に沿う無次元距離、 $w = W/L$ は無次元変位、 $t = \Omega_0 T$ は無次元時間、 T は時間、 $\Omega_0 = (\pi/L) \sqrt{H/\rho}$ は H の張力で張られた長さ L の弦の1次の固有円振動数、 H は初期水平張力、 ρ は単位長さ当りの質量、 π は円周率である。送電線の無次元変位 w を次式で仮定する。

$$w(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\pi x) \exp(i\omega t) = \bar{w}(x) \exp(i\omega t) \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 a_n は任意定数、 $\omega = \Omega/\Omega_0$ は無次元円振動数、 $\bar{w}(x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\pi x)$ である。式(2)を式(1)に代入し Galerkin法を用いて n 次の無次元固有円振動数 ω_n および変位モード $\bar{w}_n(x)$ が得られる。一方、送電線の無次元張力モードの面外方向成分 $\bar{f}_n(x)$ は、変位モード $\bar{w}_n(x)$ を用いて計算した。

3. 数値計算

実在の送電線について数値計算を行った。 L は438m、 D は28.9m、単位長さ当りの重量 ρ は2.7kgf/mである。 H は2730kgf、 Ω_0 は0.65rad/sであった。 ω_n 、変位モード、張力モードの面外方向成分、および送電線左端のみの振動に対する刺激係数 β_i を図-2に示す。また、図-3には送電線左端の無次元正弦波変位 $\delta_L(x) = \Delta(x)/L = \bar{\delta}_L \exp(i\omega t)$ ($\bar{\delta}_L = 1$) による送電線両端における張力の面外方向成分の振動数特性を示す。なお、張力モードの面外方向成分および張力の面外方向成分は初期水平張力で無次元化している。また、減衰は考慮していない。

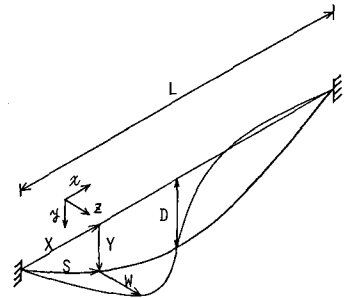


図-1 送電線の座標系

	DISPLACEMENT MODE	TRANSVERSAL COMPONENT OF TENSION MODE
1st $\omega = 0.998$ $\beta = 0.636$		
2nd $\omega = 1.992$ $\beta = -0.319$		
3rd $\omega = 2.987$ $\beta = -0.210$		

図-2 変位モードと張力モードの面外方向成分

4. 理論解析結果と実験値との比較

架線模型のLは660cm、Dは46.4cm、単位長さ当りの重量 ρ は0.131kg/cm、Hは154kgfである。架線右端は支柱に固定し、左端に振動台より正弦波変位を架線に与えた。加速度計を架線の数ヶ所に取りつけて測定し、この加速度から各点の変位を計算した。また、架線左端と振動台とをバネで接続し、バネ側面の歪みから架線左端における張力の面外方向成分を測定した。測定は、振動が定常状態まで成長したのち行なった。

架線模型に一端強制変位を与えたとき、強制変位点における張力の面外方向成分の振動数特性の理論値および実験値を図-4に示す。実験値は一端強制変位を $\bar{A}=1\text{cm}$ に換算した。張力の面外方向成分の理論値および実験値はよく一致し、変位についても同様のことが示された。

5. 送電線の地震に対する応答

送電線が定常振動しているとき、図-3のように張力の面外方向成分は共振点において非常に大きな値まで成長する。しかし、不規則波が入力されたときそこまで成長するとは考えられない。そこで、不規則振動である地震波を入力したとき、張力の面外方向成分がどれ程まで成長するか調べた。

計算に用いた送電線は3号節の数値計算で用いたものと同型である。1質点系に置換した鉄塔を送電線の一端に接続し、鉄塔の基礎に地震波を入力して送電線支持点における張力の面外方向成分を求めた。送電線の他端は固定している。図-5にサンフェルナンド地震(最大加速度は216gal)を入力したときの、送電線の強制変位点における張力の面外方向成分の時刻歴上の最大値と鉄塔の固有振動数との関係を示す。張力の面外方向成分は初期水平張力で無次元化している。最大応答値は、鉄塔の固有振動数が2.9Hzのときの 12×10^3 (33kgf)で、初期水平張力の1%程度まで成長していることがわかった。

6. 鉄塔-送電線系の地震応答解析

鉄塔-送電線系の地震応答の解析法として、文献に示されている「送電線をはねとみなす方法」がある。この方法では送電線両端における張力の定常解を用いており、不規則振動が働くときの解の信頼性にやや疑問が残る。したがって、本論では張力の面外方向成分の定常解を用いることなく行なえる鉄塔-送電線系の面外方向についての地震応答解析法を用いた。すなわち、鉄塔には地動変位と送電線の張力の面外方向成分とが外力として働き、送電線には鉄塔の送電線支持点の変位が強制変位としてその両端に働くとして、鉄塔と送電線の地震応答を鉄塔のみの振動特性および送電線のみの振動特性を用いて両者の連成振動として解く方法である。鉄塔および送電線のおのおのには振動数解析法を利用することができる。なお、数値計算結果は講演時に発表する。

参考文献

小坪他：送電線のはね定数の振動数特性，土木学会論文集 第344号，1984

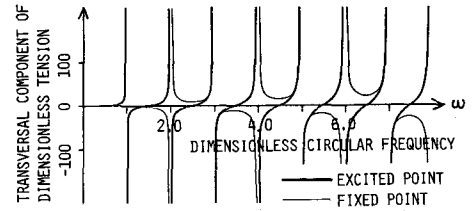


図-3 送電線左端に正弦波強制変位を与えたときの送電線両端における無次元張力の面外方向成分の振動数特性

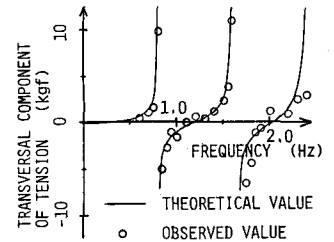


図-4 強制変位点における張力の面外方向成分の理論値および実験値

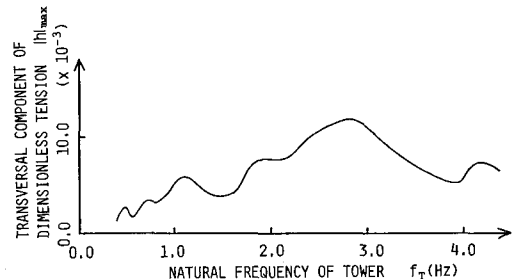


図-5 サンフェルナンド地震を入力したときの強制変位点における無次元張力の面外方向成分の最大値