

金沢大学工学部 岡島 厚、富士重工(株) 卯埜敏雄
 日本鉄塔工業(株) 原田博志、矢野勝義

1. 緒言：送電鉄塔・アンテナ支柱・橋梁などの構造物の構成要素として頻りに使用されているアングル材(L字形断面材)およびその組合せより構成されるT字形、十字形断面を持つ構造物の構成要素材の空力弾性的不安定振動挙動を、並進モード(Plunging mode) およびねじりモード(Torsional mode)について、迎え角 α と質量減衰パラメーター S_c (スクルートン数)を変化させ、風洞実験によって調べた。

2. 実験装置と実験方法：風洞測定部内(一様流の乱れ強さは0.3%以下、非一様性は1%以下)で、供試模型が並進モードおよび模型中心周りのねじりモードで自由振動する装置を図1に示す。また、図2に(a)十字、(b)T字および(c)L字形断面の供試模型形状を示す。供試振動模型はアクリル樹脂製で、角部は可能な限り鋭利にしてある。模型辺高さ $H=50(30)$ mm、スパン長さは $l=294$ mmである。曲げモードの模型変位の測定は模型支持装置外壁に取り付けたレーザー変位計により、ねじりモードの変位角度の測定は板バネに貼つけた左右、合計8枚の歪ゲージの歪量により行う。供試模型の迎え角 α の範囲は、断面形状の対称性からT字形断面では $\alpha=-90^\circ\sim 90^\circ$ 、L字形断面では $\alpha=-45^\circ\sim 135^\circ$ 、十字形断面では $\alpha=-45^\circ\sim 0^\circ$ の範囲で、 15° 刻みで設定した。曲げモード応答振幅 η (H に対する応答変位のRMS値の%)とねじりモード応答振幅 θ (応答変位角のRMS値)を測定した。曲げモードのスクルートン数 $S_{cp}(=2m\delta/\rho H^2; m$ は模型の単位スパン長さ当りの等価質量、 δ は対数減衰率、 ρ は空気密度)およびねじりモードのスクルートン数 $S_{ct}(=2I\delta/\rho H^4; I$ は模型等価慣性モーメント)の値は、電磁ダンパーにより δ を変え、変化させた。なお、本実験のレイノルズ数 $Re(=UH/\nu; U$ は一様流速、 ν は空気動粘性係数)は $(0.2\sim 3.3)\times 10^4$ である。

3. 十字形断面模型の動特性：十字形断面模型のねじりモードは比較的安定で、応答振幅 $\eta=0.05\%$ 程度($S_{ct}\sim 3$)の微小振動であり、ここでは、曲げモードの典型的振動挙動を例示する。

(1)曲げモード：迎え角 $\alpha=0^\circ, -45^\circ$ の場合の応答振幅 η を図3(a),(b)に実験時の風速 U および無次元流速 $\bar{U}(=U/f_n H)$ に対して示す。図中の矢印は後流ストローハル数から求めた共振風速 \bar{U}_{cr} を表す。 $\alpha=0^\circ$ では \bar{U}_{cr} より低風速域にのみ渦励振が生じる。 α の減少により発振域は \bar{U}_{cr} より高風速域に移動し、 η の最大値は減少する。 $\alpha=0^\circ\sim -30^\circ$ では渦励振のみの振動応答であるのに対し、 $\alpha=-40^\circ$ から、ギャロッピング振動に移行する。 S_{cp} 数の増加による振動応答の変化は、 $\alpha=0^\circ\sim -30^\circ$ の場合、 η は著しく減少するが、 $\alpha=-40^\circ\sim -45^\circ$ のギャロッピング振動の η は図(b)に例示するように、 S_{cp} 数にはあまり依存しない。

(2)迎え角の影響：図4に曲げモード渦励振振幅の最大値 η_{max} の変化およびギャロッピング振動の発生領域(図中、 斜線 印)を α に対して示す。十字形断面の曲げモード振動挙動は α に対し、敏感に変化する。

4. T字形断面模型の動特性：

(1)曲げモード：T字形断面の応答 η を図5(a) $\alpha=-45^\circ$ (b) $\alpha=75^\circ$ に示す。 $\alpha=-45^\circ$ では \bar{U}_{cr} 付近からギャロッピング振動が発生する。 $\alpha=75^\circ$ では \bar{U}_{cr} 付近で渦周波数のLock-in現象を伴った典型的渦励振が生ずる。

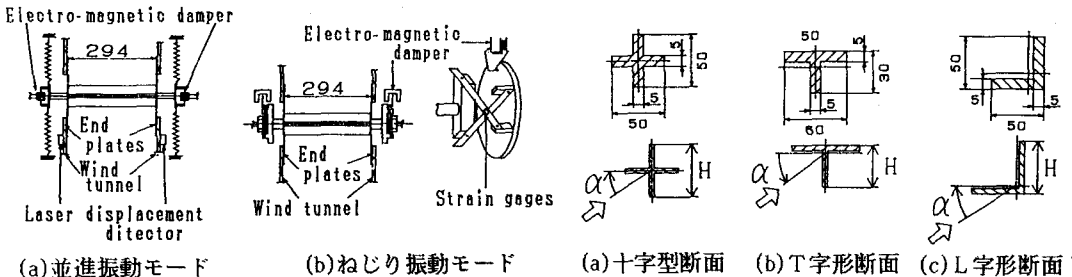


図1 風洞測定部の振動模型設置装置

図2 供試模型

(2)ねじりモード: 図6に示すねじりモードの角振幅 θ は、 $\alpha=0^\circ$ 付近でハードフラッター特有の不安定なリミットサイクルが生ずる以外、 θ は高々 0.5° 程度であった。

5. L字形断面模型の動特性:

(1)曲げモード: L字形断面の応答 η を図7(a) $\alpha=-45^\circ$ (b) $\alpha=75^\circ$ に示す。 $\alpha=-45^\circ$ では、 \bar{U}_{cr} 付近で渦励振のみ発生し、Modi & Slaterの実験結果⁽¹⁾と一致する。 $\alpha=75^\circ$ では、 $\bar{U}=6$ 付近から発振するが、 S_{cr} の増大に伴って高風速域で一旦減衰するが、 \bar{U} の増加と共に η は漸増する。 α に対する振動挙動を図8に示す。 $\alpha=15^\circ \sim 40^\circ, 105^\circ \sim 135^\circ$ の迎え角範囲では曲げ振動はほとんど認められず、 $\alpha=-45^\circ \sim 15^\circ, 40^\circ \sim 105^\circ$ でギャロッピング振動、渦励振が発生し、L字形断面の静特性⁽¹⁾と対応する。

(2)ねじりモード: α に対するねじりモードのフラッター振幅の最大値 θ_{max} およびソフトフラッター発生領域は図9のように、 $\alpha=15^\circ \sim 45^\circ, 105^\circ \sim 135^\circ$ では安定で、 $\alpha=-45^\circ \sim 15^\circ, 45^\circ \sim 105^\circ$ で振動が発生する。

6. 結論: アンクル構成材である十字、T字、L字形断面の空力弾性的不安定振動に注目して、各断面材の迎え角とスクリーン数を変え、振動挙動を調べた。迎え角によって振動特性は大きく影響を受ける。

(1)Modi, V.J. and Slater, J.E., J. Wind Eng. & Indu. Aerodyn., 11(1983)pp.321-334.

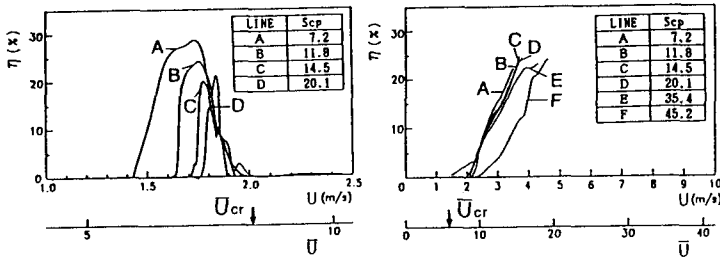


図3 十字形断面模型の応答特性(曲げモード)

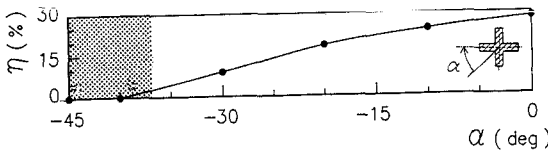
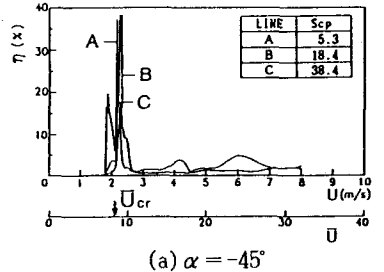
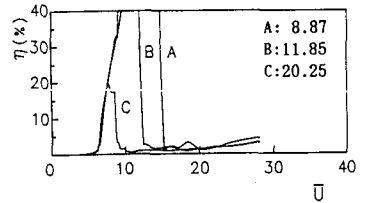


図4 十字形断面模型の応答特性に及ぼす α の影響(曲げモード, $S_{cp} \sim 10$)

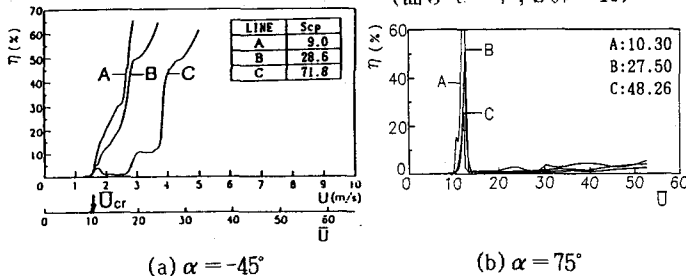


(a) $\alpha = -45^\circ$



(b) $\alpha = 75^\circ$

図7 L字形断面模型の応答特性(曲げモード)



(a) $\alpha = -45^\circ$

(b) $\alpha = 75^\circ$

図5 T字形断面模型の応答特性(曲げモード)

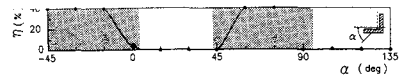


図8 L字形断面模型の応答特性に及ぼす α の影響(曲げモード, $S_{cp} \sim 10$)

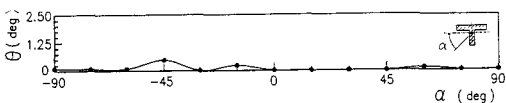


図6 T字形断面模型の応答特性に及ぼす α の影響(ねじりモード, $S_{cp} \sim 3$)

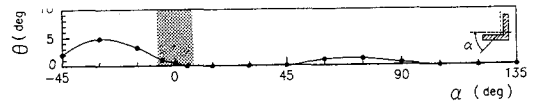


図9 L字形断面模型の応答特性に及ぼす α の影響(ねじりモード, $S_{cr} \sim 3$)