

建設省 正員 真下和彦
 東京大学 正員 宮田利雄
 東京大学 正員 小栗英和

1. まえがき

斜張橋、送電線等のいわゆるケーブル構造は、可撓性に富み、風の作用下においてよく振動することが知られている。このようなケーブル構造の空力弾性振動では、たとえば、複数平行ケーブルの下流側ケーブルが、上流側ケーブルの後流内にはいることにより生じられる不安定振動現象が特徴的であるが、3次元ケーブル構造においては、ケーブルの構造的非線形性、空気力のスパン方向の非一様性に代表される厄介な問題をまげ得ない。

ここでは、ケーブル構造の空力弾性振動に関する研究の一段階として、2次元2本平行円筒系を対象とし、複数平行ケーブルの後流内不安定振動現象に着目した振動実験および理論的研究について報告する。

2本平行円筒系のモデル化に際しては、2本の平行円筒それぞれが独立に振動し得るとする立場をとり、下流側円筒は鉛直方向、流れ方向に弾性支持し、上流側円筒の設置条件としては、固定状態と共に、下流側ケーブルとの構造的なつながりにより誘発されると想定される鉛直定常振動状態を考える。

2. 振動実験の概要

下流側円筒を鉛直水平2自由度弾性支持し、固定及び鉛直定常加振した上流側円筒の形成する後流内に置いて振動実験を行なった(図1参照)。使用した模型は実際のケーブルに近い状態のものと考え、円筒径、表面粗度、重量を定めている。鉛直方向、水平方向の固有振動数(2Hz)はほぼ同一であるとした。円筒径は上下流とも同じにとり($d=4\text{ cm}$)、相対位置は高さ(z)方向に z_0 、水平(x)方向に x_0 とついている。

実験によれば、上流側円筒を固定した場合、および下流側円筒の固有振動数の2倍で加振した場合には、図2、図3に示すように、下流側円筒は顕著な振動状態には至らなかったが、下流側円筒とほぼ同一の振動数で上流側円筒を鉛直加振した場合には、図4、図5に示すように、上下流円筒と特定の相対位置に設置したとき、鉛直、水平方向の振幅とも大きくなり、中には定常楕円振動状態に至る例が観測された(図6参照)。

3. 理論式による定常振動の数値計算

上に述べた定常振動を解析すると、準定常的な空気力の作用を仮定すれば、下に示す2自由度振動方程式が導かれる。

$$\begin{cases} \ddot{x} + (2\zeta_x \omega_x + \frac{2q_d}{mbV} C_D) \dot{x} - \frac{q_d}{mbV} C_L \dot{z} + \frac{q_d}{mbV} C_L \dot{w} + \omega_x^2 x + \frac{q_c}{m} C_D = 0 \\ \ddot{z} + \frac{2q_d}{mbV} C_L \dot{x} + (2\zeta_z \omega_z + \frac{q_d}{mbV} C_D) \dot{z} - \frac{q_d}{mbV} C_D \dot{w} + \omega_z^2 z + \frac{q_c}{m} C_L = 0 \end{cases}$$

ここで、 ζ_x : 水平方向構造減衰定数, ζ_z : 鉛直方向構造減衰定数, ω_x : 水平方向固有円振動数,
 ω_z : 鉛直方向固有円振動数, C_D : 抗力係数, C_L : 揚力係数, m : 単位長当りの質量,
 b : 風速比($=V'/V$), q : $\frac{1}{2} \rho V^2$, w : 上流側円筒鉛直方向振動
 である(図1, 図6参照)。

上式中の抗揚力係数は、上下流円筒と特定の相対位置に設置したとき、下流側円筒に作用する定常抗揚力から求め、 x, z 方向の変化は関数近似したものである。解析は、下流側円筒が上流側円筒と同一振動数の調和振動とすると仮定して、すなわち、振動試験と同一の設定で行なった。鉛直方向、水平方向の振幅 a_z, a_x を計算した結果を図7、図8に示す。この計算結果を図4、図5に示す実験値と比較すると、鉛直、水平両方向とも定性的には同様な傾向が認められる。さらに、図6の定常楕円軌道についても同様な計算結果が得られている。

4. まとめ

流れに垂直に置かれた2本平行円筒において、上流側円筒鉛直定常振動時に下流側円筒の定常横円振動が観測されたこと、および本現象を理論解析により定性的に把握し得たことが本報告の主要点である。

今後は上下流円筒の相対位置設定を変えた場合、あるいは後流中の流れの変動成分を考慮した場合等について実験的、理論的研究を行なうことが課題となると考えられる。さらに、これらの成果を3次元ケール構造系に適用し、その応答挙動が説明できるかどうか検討する必要がある。

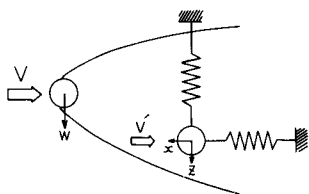


図 1

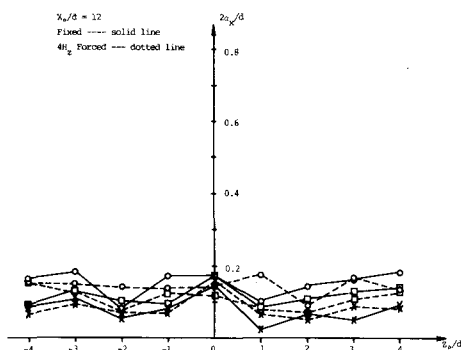


図 3 水平倍振幅の円筒径に対する比

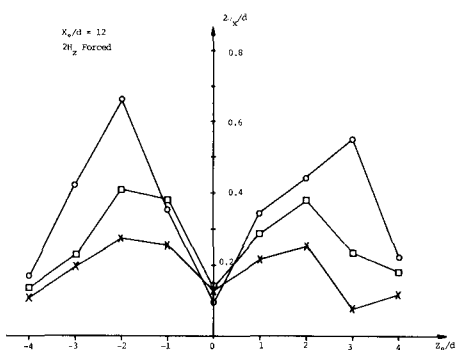


図 5 水平倍振幅の円筒径に対する比

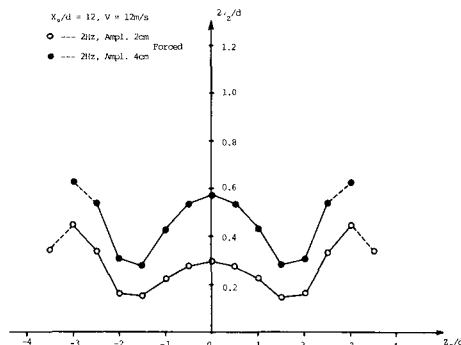


図 7 鉛直倍振幅の円筒径に対する比(数値計算)

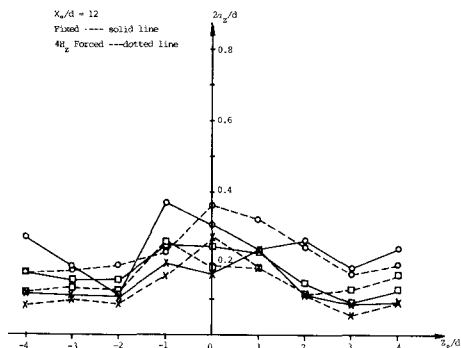


図 2 鉛直倍振幅の円筒径に対する比

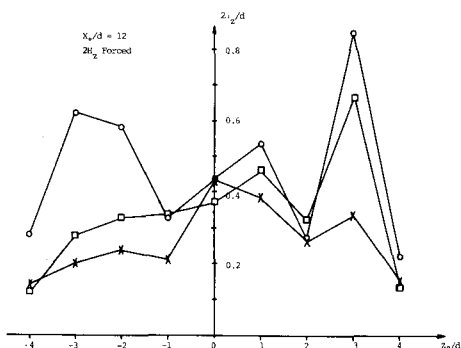


図 4 鉛直倍振幅の円筒径に対する比

図 6

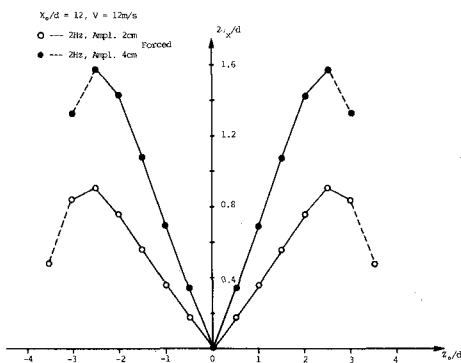
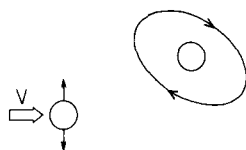


図 8 水平倍振幅の円筒径に対する比(数値計算)