

立命館大学理工学部 正 小林 敏士
大阪大学工学部 正 小松 定夫

1 はじめに 箱形断面を有する構造物は、ある特定の風速域で気流直角方向の並進振動またはねじり振動を発生することがある。この種の振動は、限定振動、渦励振または風琴振動と呼ばれている。模型による風洞実験によれば、このような断面の後流には周期的な渦の放出が見られ、その周波数は風速に比例する。この周波数が模型の固有振動数と一致するような風速 (V_{cr}) がその振動の発生風速域に含まれている。そのため、多くの人はこの種の振動の発生は風の渦の作用によるものと考えている。一方、この種の振動はストローハル数とは直接関係を持たない自励振動の一種とする見方もある。本報告は、振動中の模型に作用する動的風圧力を測定することにより、断面に作用する空気力の特性を明らかにし、その結果をもとに限定振動の発生機構に関する一考察を行なったものである。

2 実験方法 高さ $D=75$ mm, 幅 $B=150, 225, 300, 375$ mm の4種類の矩形断面模型を用いた。迎角 $\alpha=0^\circ$ とし、振幅 $\zeta_0 = y_0/D = 0.067$, 振動数 $N=3.0$ Hz で上下加振し、模型のスパン中央断面の風圧分布を測定した。風圧の測点は図-1に示す。風圧測定孔の直径は2 mmとし、その測点に作用する圧力を内径4 mmのビニール管で風路外に設置した風圧計に導いた。図-2に測定方法を示す。ビニール管を含む風圧計の共振振動数は約30 Hzであった。

3 実験結果 変動風圧力は模型と同周期の正弦波とみなすことができたので、風圧力の振幅 C_p および変位に対する位相差 ϕ を読みとった。図-3, 4に $B/D=3$ の場合の結果の一例を示す。 $V_R = V/ND$ の小

さいとき、 C_p が極小となる点が認められる。その点は V_R の増大とともに下流側へ後動している。

位相差 ϕ は全測点で負となり風圧変動は変位変動より遅れている。下流側の測点ほどその遅れ量は大きくなっている。また V_R の増大とともに遅れ量は小さくなってきている。前縁からはく離した渦が平均流によって下流に流される過程でその渦は上

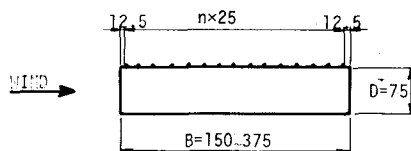


図-1 風圧測定点 ($B/D=5$)

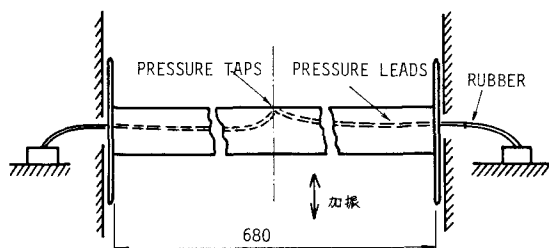


図-2 模型実験方法

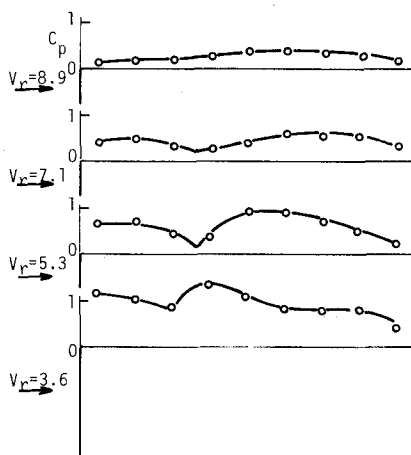


図-3 変動風圧力の振幅

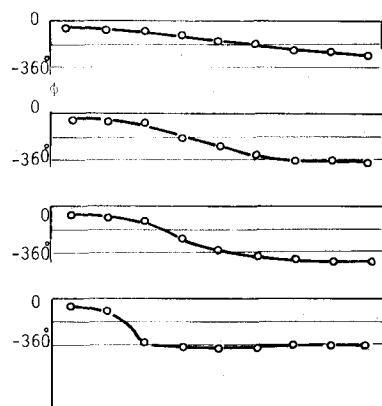


図-4 変動風圧力の位相差

面の各測点に異なった位相の変動風圧力をおよぼしているものと考えられる。

以上のことから、 B/D の異なる他の模型に対しても同様であった。 $\phi = -180^\circ, -360^\circ$ となる点を x_1, x_2 とする。全模型について x_1, x_2 を読みとり、 V_r を横軸としてプロットすると図-5のようになった。 B/D の値にかかわらず $x_1 = x_1/D$, $x_2 = x_2/D$ はほぼ風速に直線比例している。渦の流下速度は風速に比例しているものと言える。なお、 x_1 の位置は、前述の C_p の極小となる点にはほぼ一致していた。図-5をもとに x_1, x_2 を次式で表わす。

$$x_1 = 0.2 V_r, \quad x_2 = 0.4 V_r \quad (1)$$

4 振動の発生機構 各測点の風圧力が1サイクル中、模型に対してなす仕事は $W = \pi B \rho_0 a m \phi$ である。各模型に対して W を計算した結果を総合すると図-6のようになる。 ϕ の値が測点により変わるのでそれに応じて W の分布形状も $\ominus \rightarrow \oplus \rightarrow \ominus \dots$ というパターンを示す。風速の増大 $(a) \rightarrow (e)$ と共に分布形状が変わる。 $W > 0$ となる領域が相対的に増し、 $W_{total} + \text{減衰力の仕事} > 0$ となると模型は励振される。

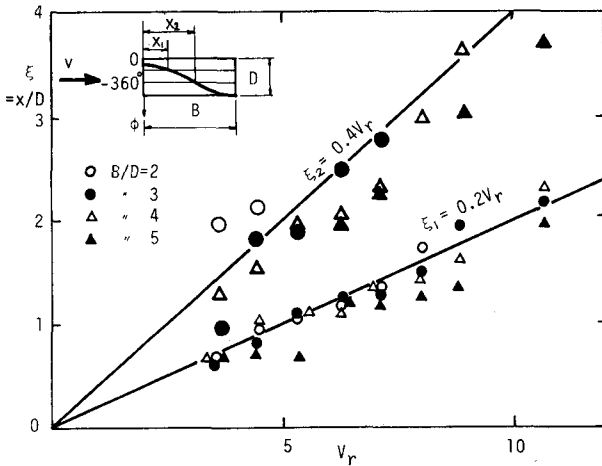


図-5 $\phi = -180^\circ, -360^\circ$ となる点の位置

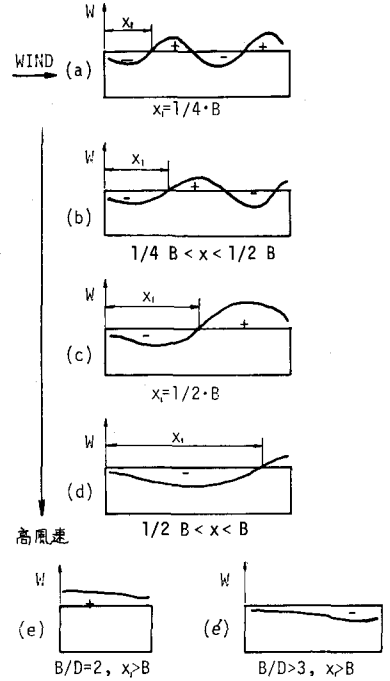


図-6 風圧力の仕事の分布形状

$W > 0$ となる領域が相対的に増すのは $x_1 = B/2, B/4, B/6, \dots$ の時である。この条件を式(1)に代入すると、

$$V_r = 2.5 B/D, V_r = 1.25 B/D, V_r = 0.825 B/D, \dots \quad (2)$$

このような風速で振動が発生する可能性がある。また、 $x_1 \geq B$ となると、各測点の風圧力の位相差は非常小さくなり、位相差を考えない準静的理論が適用できるようになる。断面によってはギャロップが発生する。

その条件は

$$V_r \leq 5 B/D \quad (3)$$

図-7に式(2), (3)の条件を示した。ばね支持実験結果から限定振動が極大振幅を生ずる風速を求めプロットした。式(2)で求めた風速で限定振動が発生している。限定振動ははく離渦の流れの遅れが原因となって生ずるものと考えられる。一方、ギャロップの発生風速の予測値も式(3)を満足していることも認められる。

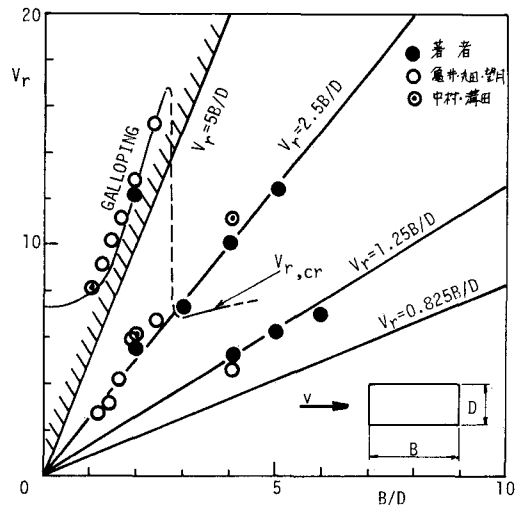


図-7 限定振動の振幅が極大となる風速とギャロップの発生風速域の比較