

I-108 箱型構造物のフラッタに関する一実験

九州大学 応用力学研究所 正員 ○中村泰治
九州大学 応用力学研究所 正員 溝田武人

1. はしがき

鋭い断面構造物では、それぞれの振動モードに対応して特有のフラッタが発生する。このことは周知の事実であるが、非定常はく離流に関する理論が確立されていない現在、それらの発生機構の詳細は不明といわなければならない。流れに直角に振動し得る箱型構造物で主として問題となるものは、うずによる励振とギャロピングであろう。ギャロピングについては静特性を利用した理論があり、正方形断面の動的挙動についてかなりの成功を収めているといわれる。¹⁾しかし、いわゆる準定常理論であるので、理論には自ら限界がある。すなわち、このような理論は高風速における動特性の推定には有効であろうが、低風速における場合には流れの非定常性が問題となってくるであろう。実用上重要となるフラッタ限界風速は多くの場合低風速である。のみならず、一般に鋭い断面構造物の後流にはカルマンうず列が発生し、低風速ではこのうずによっても構造物は励振されるわけである。箱型構造物の場合、低風速においてはギャロピングとうず励振とが互いに干渉し合っ自励振動を誘起しているものと思われる。このことが問題を一層複雑にする。

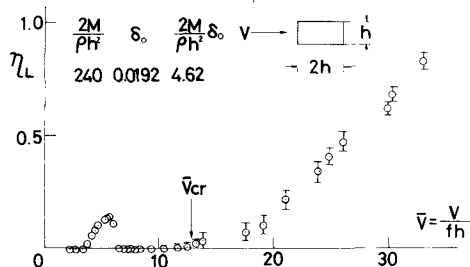
本報では、流れに直角に振動し得る三次元矩形柱に関する風洞実験結果について述べる。目的とする处は、ギャロピングに関する準定常理論の限界及び後流うずのフラッタに及ぼす影響である。

2. 実験方法

模型は、た $\times$ よ $\times$ 高さ $=150\times300\times770\text{ mm}$ の軽い発泡スチロール製、中空の三次元矩形柱で、これを大型低速風洞の測定部(た $\times$ よ $\times$ 長さ $=4\text{ m}\times2\text{ m}\times6\text{ m}$)の床面に置く。床面の下から4枚の板ばねで振振子式に模型を支持し、流れに直角に振動し得るようにする。模型に適當な重りを加えて質量をかえると系の固有振動数を変化できる。板ばね下部にストレンゲージをはり、模型の振動変位を記録する。床面に開けた穴の流れに及ぼす影響をできるだけ避けるために、模型に直径560mmの地面板を取り付けた。断面の長辺を流れに平行に置いた場合を迎角 0° とし、迎角を $0^\circ\sim90^\circ$ まで変え、自由振動法により、リミット・サイクルの振動振幅 $\eta_L (= \frac{2\eta}{\delta})$ 、片振幅)および空力減衰力 $k_a (= \frac{2M}{\rho A^2} \delta a)$ を求める。模型の振動変位の測定と同時に、後流の一点に熱線プローブを置き後流の速度変動を計測した。実験風速範囲は $V=0.5\sim10\text{ m/s}$ で、対応するレイノルズ数は断面の短辺を基準として $Re=5\times10^3\sim1\times10^5$ である。

3. 実験結果

第1図は迎角 0° におけるリミット・サイクルの振動振幅 η_L の測定結果を示す。風速を増すと、まず $V\approx6\text{ m/s}$ でピークをもつフラッタが発生する。これを便宜上、第1の発振と呼ぶ。更に風速を上げるとこの発振は一旦停止し、 $V\approx12\text{ m/s}$ で第2の発振が発生する。以後、風速の増加とともに

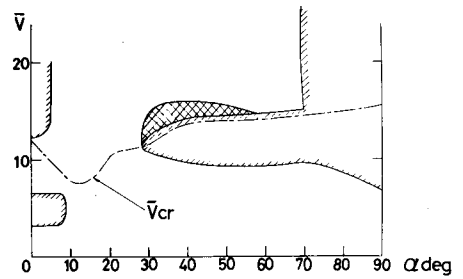


第1図 $\alpha = 0^\circ$ における模型応答

もに振動振幅は単調に増大する。ただし、リミットサイクルにおける波形にはうなりがあり、図中至はうなりの幅を示す。

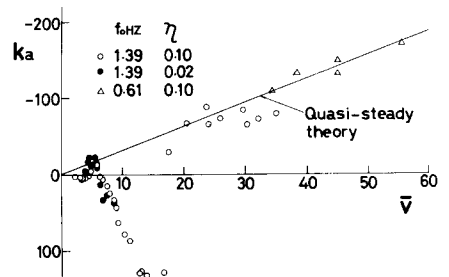
第1の発振は、大築・鷲津²⁾の実験に指摘されたものとはほぼ同一のものと思われるが、Parkinsonの実験¹⁾には見当らない。静止模型のうず振動数の測定によれば、うず振動数が模型の固有振動数と一致する風速は $\bar{V}_{cr}(=1/s)=12.5$ であり、ほぼ第2の発振の始まりと一致する。すなわち、第1の発振の風速域は $\bar{V}_{cr}$ を含まず、ほぼ $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \bar{V}_{cr}$ であり、このフラッタの発生機構については目下不明である。

第2図は迎角をかえた場合のフラッタ限界を示す。実線は振動が自然に発散する場合の安定限界を示し、点線は不安定なリミット・サイクルの存在を示す。すなわち、点線で囲まれた領域では、振動は小振幅で減衰し、それ以上では発散して大振幅の安定なリミット・サイクルに入る。静特性の測定によれば $7.5^\circ < \alpha < 65^\circ$ で $C_{L\alpha} + C_D > 0$ 、その他で $C_{L\alpha} + C_D < 0$ であった。したがって、準定常理論によれば、模型は $7.5^\circ < \alpha < 65^\circ$ で安定、その他の領域で不安定となる。この範囲は第2の発振の安定限界 ($\alpha = 5^\circ$ 及び約 70°) とほぼ一致する。一方、第1の発振は $\alpha = 10^\circ$ で消失する。 $10^\circ < \alpha < 30^\circ$ の領域では、振動はすべての風速域で減衰する。また、 $30^\circ < \alpha < 70^\circ$ では、高風速の振動は減衰し第1の発振のみが存在する。この場合、振動の発散率は $\bar{V}_{cr}$ において最大となり、この領域における発振がうずによる励振であることを思わせる。 $70^\circ < \alpha < 90^\circ$ では第1と第2の発振の領域が重なっているが、振動の発散率は $\bar{V} = \bar{V}_{cr}$ において極大となり、やはりうずによる励振の存在を示しているようである。



第2図 フラッタ限界

第3図は、 $\alpha = 0^\circ$ における振動揚力の空力減衰 $k_a(\eta = 0.1$ 及び 0.02 における値) の測定結果である。高風速における測定点のバラツキがやや大きく、なお計測点を追加する必要がある。第3図で静特性より求めた準定常理論 $k_a = (C_{L\alpha} + C_D) \bar{V}$ と比較すると、この例に関する限り、 $\bar{V} \approx 20$ が準定常理論の限界であり、 $\bar{V} > 20$ ならば計測値は理論の与える値にほぼ一致する。一方、



第3図 $\alpha = 0^\circ$ における空力減衰力

$\bar{V} < 20$ では、 k_a は一旦正值となり、第1の発振においてふたたび負値をとる。低風速のこのような k_a の複雑な変化に対し、準定常理論は勿論無力であるけれども、流れのどのような変化が対応するか興味のあるところであり、目下流れの観察を行ないつつある。

1) G. V. Parkinson and N. P. H. Brookes, "On the aeroelastic instability of bluff cylinders", Trans. ASME, J. of Applied Mech., June, 1961.

2) 大築志夫, 鷲津久一郎, "箱型建物模型のフラッタ風洞実験", 日本鋼構造協会, 鋼構造物の耐風設計講習会, テキスト No. 8, 昭和42年.