

京都大学 工学部 正員 白石 成人
 鹿島建設技術研究所 正員 ○真田 早敏

構造物の渦励振を考える時、wakeと物体の運動とを、相互に関連づけることが特に大切である。ここでは円断面をとり上げて、風洞実験を行った。その結果を、円柱模型が固定された場合と振動している場合の後流について、特長的な点を報告する。

実験装置 円柱模型は直径 14cm で、風洞に鉛直に吊り下げられ、主流に直角水平方向に振動できるようにバネ支持されている。模型の上流約 2 m に置かれた発煙チップより流出する白煙を、模型の上後方より、毎秒 400コマで高速度撮影した。また円柱後方に作った格子点(図1に示すように、主流方向にA→D、水平方向に

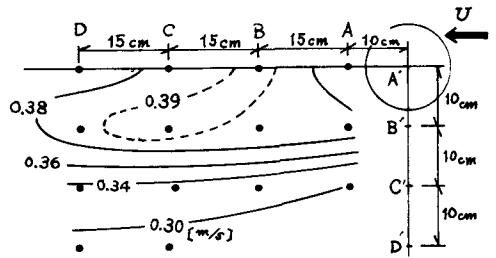


図1. 固定円柱後流の速度変動の分布

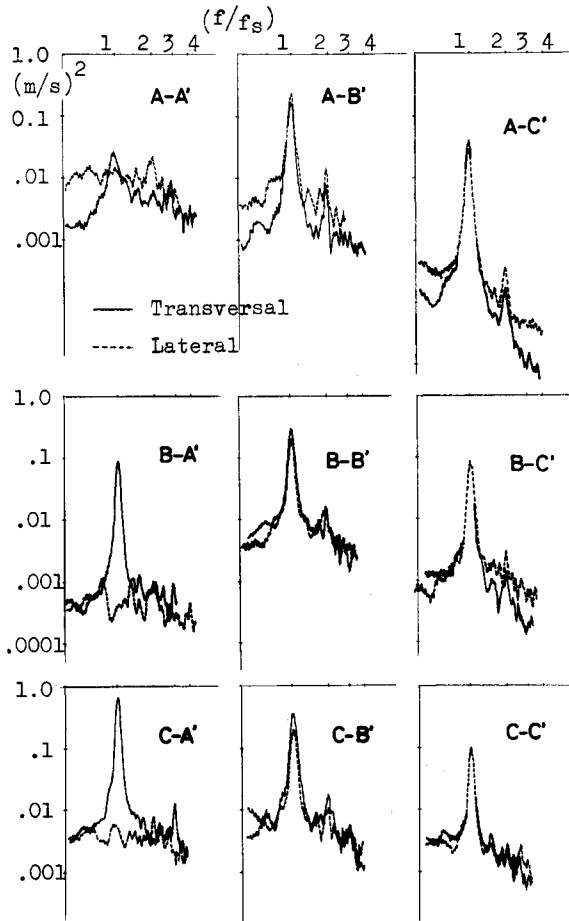


図3. 速度変動のパワースペクトル密度 (固定円柱) $f_s=4.50(\text{Hz})$ $U=2.98(\text{m/s})$

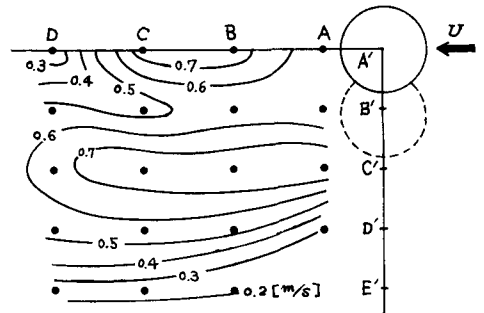


図2. 振動円柱後流の速度変動の分布 振幅 11cm

A'→E')において、流れの主流および水平方向の変動分を、X型エレメントを用いた熱線風速計によって測定記録した。

実験結果 振動は、文献1と同様、ビート→定常振動→ローリングと移り、`lock-in`の状態では片振幅で最大 11cm に達した。煙撮影は表1に示す6つの場合について行った。後流の速度変動測定は、振幅 11cm で振動中と固定された場合とについて、風速約 3m/s で行った。なお模型の減衰は、 $\frac{2M\delta}{\rho D^2 L} \approx 1$ であり、風速領域はRe数が約 20000 である。

1. 風速変動の分布とパワースペクトル

図1~4に、変動の強さ、パワースペクトル密度を示

表 1. 撮影条件

U (m)	Amp. (cm)	f (Hz)
2.16	~1	3.00 beating
2.27-2.30	~2	3.05 "
2.37-2.40	4→4.5	3.08 " (div.)
2.57-2.60	11	3.10 stationary
2.78-2.81	4.25	3.16 "+ rolling
2.54		fixed

す。解析はそれぞれ別に、アナログ方式で行った。変動の強さは、主流、水平方向それぞれ別に求めた分散値の和の平方根をとって自乗平均の形で表わした。

(図1,2の等高線は、各格子点での値を参考にして適当に引いたもので、直接求められた正確な図ではない。特に固定円柱の場合には、A',B'の列において差が小さく問題はある。)

固定円柱の後流に比べ、振動円柱の場合には変動の強さが非常に大きく、最大値の比で2倍となっている。しかし振動している場合でも主流の25%であって、Griffinの報告している値には及ばない。(3)

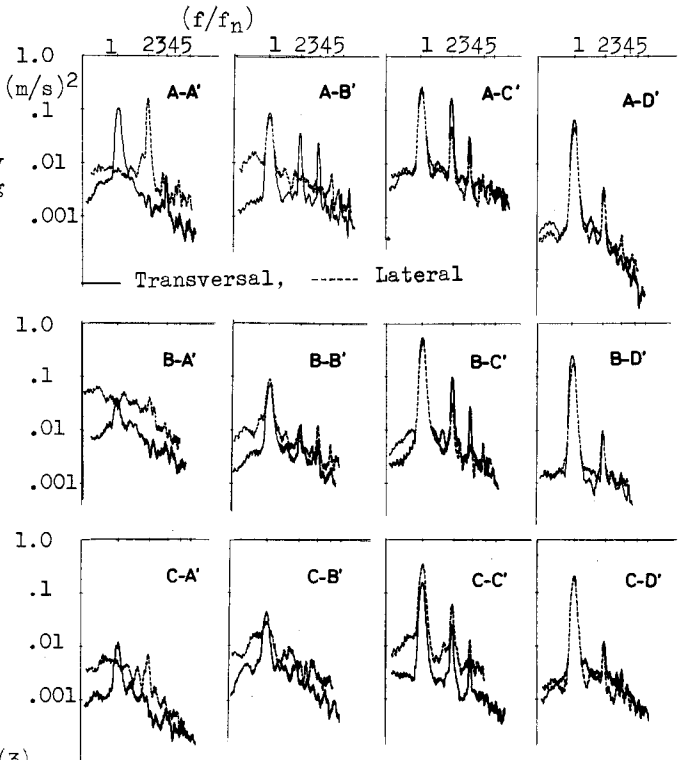
これはRe数や、実験方法の違いもあると思われ、今後検討する必要がある。

次に、これら4つの図から見ると、固定円柱の場合にはC', 振動円柱の場合にはD'の列の内側付近が wake の平均的な意味での境目となっており、それぞれ B',C' の列の付近を通過していると考えられる。パワースペクトル密度は、この渦の通過の内、外側で、非常に異なり、主流方向成分のランダム性が大きいことが示されている。また固定円柱の場合の A-A' と振動円柱の場合の B-A' でのパワースペクトル密度が類似して、主流、水平方向共にランダム性が強く現われていることは興味深い。

2. wakeのパターンの変化
コマ間隔が約 $\frac{1}{20}$ 秒である。

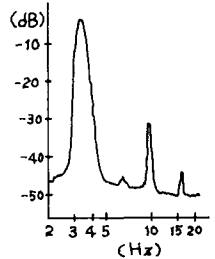
Gerrardは、early wakeの機構を考えるに際し、formation regionの終わりのところで、wakeの外側の流体が初めてwakeの中心を横ぎるとしている。(4) またGriffinはformation regionの長さが、円柱の振動によって、短くなることを示している。(2,3) ここでは、図5の2,6, 図6の3,6, 図7にこれが示されている。これらの写真や、Koopmanの写真(5)を見ると、Kármán渦の周期性が、その形成時における“外側からの流体の流入”によって保障されることが分る。これは、パワースペクトル密度が、円柱直後でランダム性が高く、下流に移って周期性が現われることにも示されている。

“外側からの流入”を図8のスケッチで、おってみよう。固定円柱の場合の1では、上側で剝離した流跡線がA→Cと連なり、Cで反時計まわりの渦に巻いている。一方下側の剝離流D→Fは、FでCの渦によって、矢印のように移動している。Fより下流では既に放出された渦に連なっている。次の段階の2に移るとFが



円柱振動

図4. 速度変動のパワースペクトル (振動円柱) Amp.= 11cm
U = 2.99 (m/s) f_n = 3.25 (Hz)



撮影された煙とそのスケッチを図5~8に示した。図5,6では

wake の内側に渦込み、外側の流体が、Cの渦の上流側に、割り込んでいる。渦は下流に押し出され、wakeを形づくる流跡線は彎曲する。同時に円柱とFの間で、新しい時計まわりの渦が生れている。この渦は3,4に見るように“外側からの流入”によって成長し、上側の剝離流のB付近を押し上げ、少し上流の部分を引きつけて、次の“外側からの流入”を準備している。この時、円柱の上側では、剝離が拡がり易いと思われるにも拘らず、境界層は円柱面に沿うようで、一見矛盾している。しかしこのことが次に起る剝離を、より大規模にすると考えるのが妥当ではないだろうか。

一方、円柱が振動している場合を見ると、この時、平衡点を下向きに通過しており、最も大きな速度で移動している。そのため上側では、渦度の生成がより小さく、下側ではより大と考えられ、新しい渦は、より強いものとなることがうかがえる。

これを固定円柱の場合にあてはめてみると、この場面での円柱の下方への移動と、渦形成の強さが formation region の長さを短くさせることが予想される。

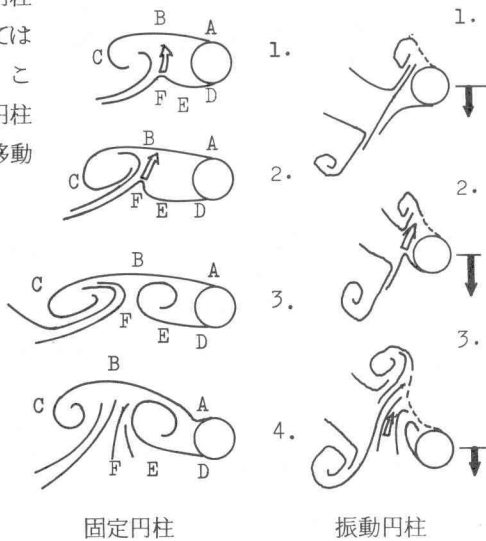


図8. 後流のスケッチ

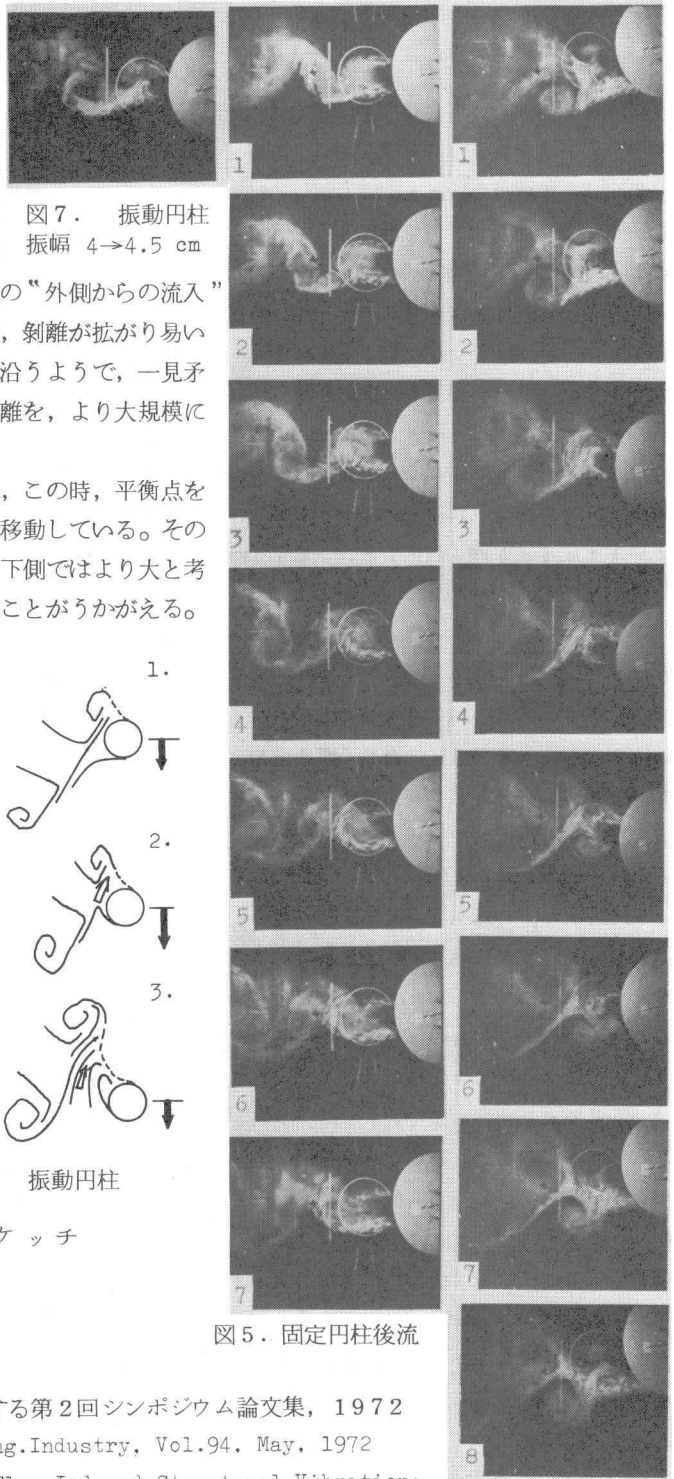


図5. 固定円柱後流

図6. 振動円柱後流

振幅 = 11 cm

参考文献

- (1) 白石・真田, 構造物の耐風性に関する第2回シンポジウム論文集, 1972
- (2) Griffin, O.M., Trans. ASME, J. Eng. Industry, Vol. 94, May, 1972
- (3) Griffin, O.M., Preprint Symp. Flow-Induced Structural Vibrations, Karlsruhe, 1972
- (4) Gerrard, J.H., J. Fluid Mech., Vol. 25, Pt. 2, 1966
- (5) Koopman, G.H., J. Fluid Mech., Vol. 28, Pt. 3, 1967