

1. まえがき 煙突、橋梁およびその部材、高層建築物、大型クレーン等々の地上構造物が自然風と相互作用したり、海底油田の南塔に用いられる海底掘削用のドリリンググの脚柱や石油ハーバーの水中パイプ等の海中構造物が潮流と相互作用することによって発生する、うねり振、ギャロッピングおよび失速フラック等の剥離流による空力弾性的不安定現象には工学的見地からも未解決の問題が数多く残されている。この中でギャロッピング現象だけは、物体に加わる流体力の静的特性を実験的に求めれば、準定常理論<sup>1)</sup>によって発振周波数や応答振幅を予知することが出来る。この現象において物体が動的に不安定になる必要條件は、物体に微小な正の迎角を与えたとき静的流体力が迎角零度付近の平板翼とは逆の負の揚力傾斜(機体軸に固定した座標系で考える)になることである。負の揚力傾斜の発生の流体力学的説明は、剥離域内部で圧力が一定と仮定する死水理論<sup>2)</sup>は取扱えず流れ観察をもとに文献<sup>2)</sup>において定性的に行われている。しかし物体の上下面に圧力差が生ずるためには死水領域と称される物体近傍において平均的な流れが存在していることが必要であると考えられる。このような理由により、本研究は剥離流および剥離流フラッターの現象を解明するための基礎的な問題として剥離領域内部の流れに着目する。そして断面比1/1, 1/2および1/4角柱を例に各々の角柱まわりの平均流速ベクトルを風洞実験により調べた。これらの結果により角柱まわりの平均流<sup>3)</sup>を定義する流線を求めた。そして断面比の違いや角柱の迎角の変化にともなう平均逆流域の大きさや、平均剥離渦の位置の変化を求めて角柱まわりの平均流れに関する基本的な考察を行ったものである。一方着目する領域における流速ベクトルは時間的にも空間的にも激しく変化しているため定量的にこの値を求めるには従来限界があった。そこで、この流速ベクトルを抽出できる特殊な熱線プローブを新しく開発し、これによって角柱まわりの平均流速ベクトルを測定した。

2. 風洞、角柱および実験方法

使用した風洞は、九州大学応用力学研究所所属の加振風洞(測定部、長さ×幅×高さ=2m×0.7m×3.0m)である。角柱は断面比1/1(0.15m×0.15m×0.7m)、1/2(0.15m×0.3m×0.7m)および1/4(0.09m×0.36m×0.7m)すべて短辺を一樣流(U<sub>∞</sub>=6.9m/sec, Re=(4.28~7.14)×10<sup>4</sup>)に垂直に設置する(α=0°)。1/1角柱は、α=10°についても計測を行った。角柱近傍の流れは、一般には逆流を含んで非常に激しい非定常性を示すが、流速ベクトルを二次元で表現でき、かつある周期性を持つとすれば、タリデム型熱線プローブおよび熱線トランス装置を使って、流速ベクトルを測定することが出来る<sup>3)</sup>。

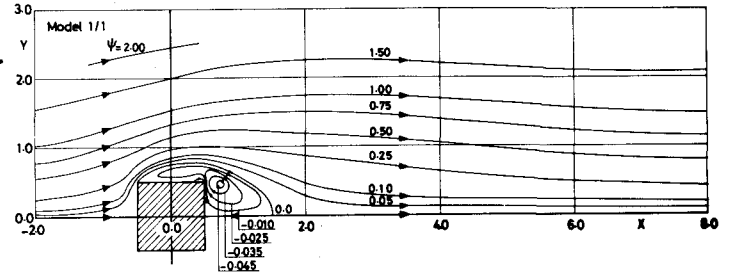


図1 1/1角柱まわりの平均流線(α=0°)

3. 実験結果、考察 以下測定流速は一樣流速U<sub>∞</sub>の値で、位置は角柱の短辺長を各々無次元化する。実験によって、角柱まわりの適当な位置における流速ベクトルの定常成分が求まる。その値から主流に平行(直角)方向成分U(V)を求めて、流れ散数ψの値を算出する。ψ=一定

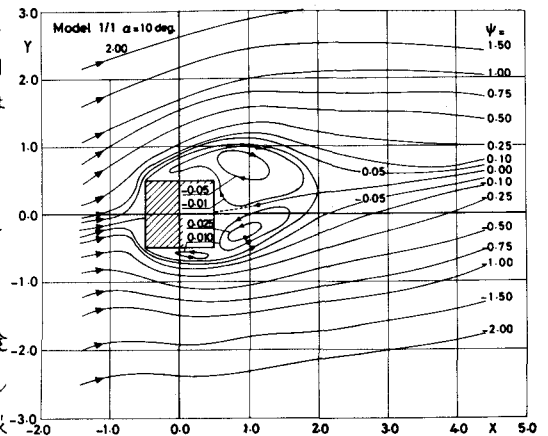


図2 1/1角柱まわりの平均流線(α=10°)

の線が流線である。まず図1, 2が1/1角柱の $\alpha=0^\circ, 10^\circ$ における広い範囲の平均流線である。図から平均剥離渦の位置と迎角の変化にもなるこれらの移動の様子を知ることが出来る。ここで特に、図1で $\psi=-0.01$ 、図2で $\psi=-0.01, 0.01$ の平均流線に着目する。図1において $\psi=-0.01$ は角柱後方から上面に大きい循環流を形成している。迎角を $10^\circ$ 付けた図2の上面側の $\psi=-0.01$ は同様に広い範囲にわたる循環流を形成しているが、下面側の $\psi=0.01$ は角柱の後方より閉じた循環流を形成している。一方角柱の表面圧力を測定した実験例<sup>1)</sup>を参照すると、正の迎角をわずかだけ付けた角柱下面の定常圧は背面や上面のそれと遮断されてほぼ一定値を保つ(負の揚力の発生)ことがわっている。この現象は対応する流れがこのように下面付近だけで一つの独立な循環流を形成していることから定性的に説明される。すなわち下面の後縁が流れの1つの特異点になって、角柱に正の迎角を付けた場合にその付近から流れを遮断する効果を生み、下面と背面との向く圧力を独立に保持することになると考えられる。次に1/2, 1/4角柱のまわりの流線を図3, 4に示す。1/2角柱は完全剥離型の流れであるが、1/1角柱に比べ平均剥離領域は広い。1/4角柱は前縁から出発した $\psi=0$ の平均流線が後縁近くの側面(下面)で再附着し、さらに後縁から出発した $\psi=0$ の流線が角柱背面に別な平均剥離渦を形成している再附着型の流れである。次に完全剥離型の角柱背後の逆流の最大値はほぼ $-0.2 \times U_\infty$ に達するので、1/1, 1/2角柱後縁付近の上面の流速を特別に計測した。その結果を図5, 6に示す。図中各測定点における流速ベクトルを矢印で記入する。この付近ではほぼ全域逆流を示すが、角柱上面の後縁近くに主流方向を示す流速ベクトルが測定され、局部的ではあるが逆の剥離現象が生じていることがわかった。平均剥離領域内部はこのように、さらに小さな平均逆剥離領域を持つ二重構造を示していることになる。

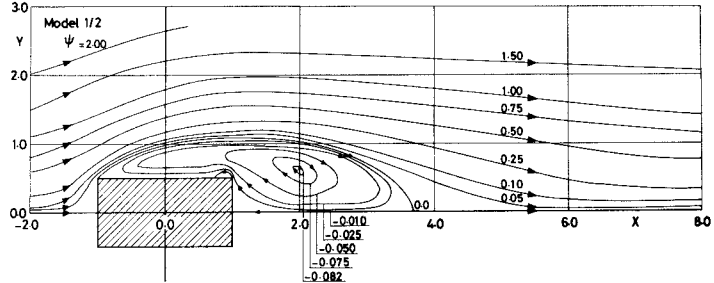


図3 1/2角柱まわりの平均流線 ( $\alpha=0^\circ$ )

図4 1/4角柱まわりの平均流線 ( $\alpha=0^\circ$ )

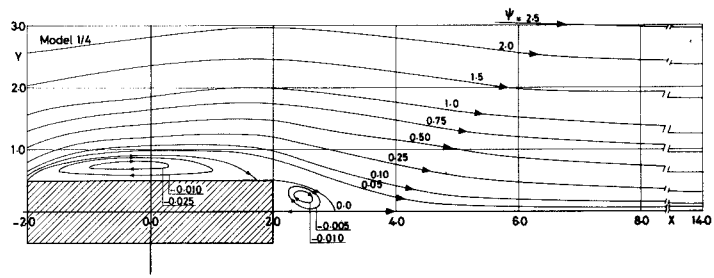


図4 1/4角柱まわりの平均流線 ( $\alpha=0^\circ$ )

図5 1/1角柱後縁付近の流れ

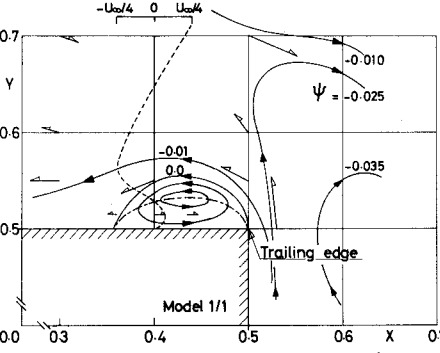


図5 1/1角柱後縁付近の流れ

図6 1/2角柱後縁付近の流れ

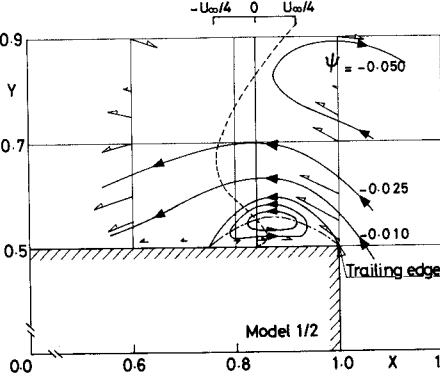


図6 1/2角柱後縁付近の流れ

おわりに本研究に対し数々の御助言を下された中村泰治教授、岡島厚助教授および友成義正助手に厚く感謝致します。実験の一部は文部省科学研究費の援助を受けた。データ解析は九大応力研電算機FACOM230-48を使用したことを記す。

[文献] 1) Parkinson, G.V., and Brooks, N.P.H., ASME, Vol. 28, 1961  
 2) 中村泰治, 溝田武人, 吉村 健, 九大応力研所報, 材40号, 1973年 3) 溝田武人, 岡島厚, 同45号, 1976年