

東京大学工学部 正会員 ○伊藤 学
同 同 田中 宏
日本国有鉄道 同 橋口 誠之

1. 研究の目的と内容

構造断面のまわりの流線の状態を観察し、作用する空気力およびそれによって生ずる振動現象との関連を考察することと目的として煙風洞を設置し、模型実験も行なった。今回対象とした構造断面は図-2のような単純なものであり、未だ定性的な考察を主とする予備実験の域を出ないが、筆者らが行なっている、構造物の耐風設計に関する一連の研究に対する一つの基礎資料として役立てたいと考えている。ここには後流中の渦の発生状況、物体まわりの流線の状況を中心に報告する。

2. 煙風洞の概要

風洞の構造概要は図-1に示すとおりで、測定部寸法は幅110mm、高さ90cm、長さ150cmである。測定部における最大風速は 10 m/sec で、送風機には多翼型を用い、風量 $55 \text{ m}^3/\text{分}$ 、静圧 20 mmHg 、駆動する電動機の出力3HP、回転数 $650 \sim 2000 \text{ rpm}$ である。気流は集合筒から8枚の整流スクリーンを通して縮流筒へ流れ、縮流筒内所定位置に設置された煙ノズルから白煙を伴って測定部、拡散筒を経て送風機に至る、吹込式のエッフェル型風洞である。送風機を出入気流は排気ダクトを通して屋外へ排出される。

煙ノズルは流線形断面の煙導管に35本の黄銅管製、取外し可能なノズルを梯型に配置しており、各ノズルは風洞軸と平行で位置を上下に移動できる。煙発生装置から供給される煙は上下二方向から煙導管に流入する。煙発生装置では電熱により白灯油を蒸発させ、この蒸気に空気を吹込んで白煙とし、これを供給している。煙の現わす流線は35本で、その間隔は中央部で 10 mm 、その他で 20 mm である。

測定部の側壁の片面に $90 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ のガラス窓部があり流線の観察が行なわれ、他の面には模型迎角の変角装置があって、最大 $\pm 45^\circ$ の回転が可能である。一方、上下壁内に水素ランプが設置され、流線を照明するようになっており、写真撮影ができる。

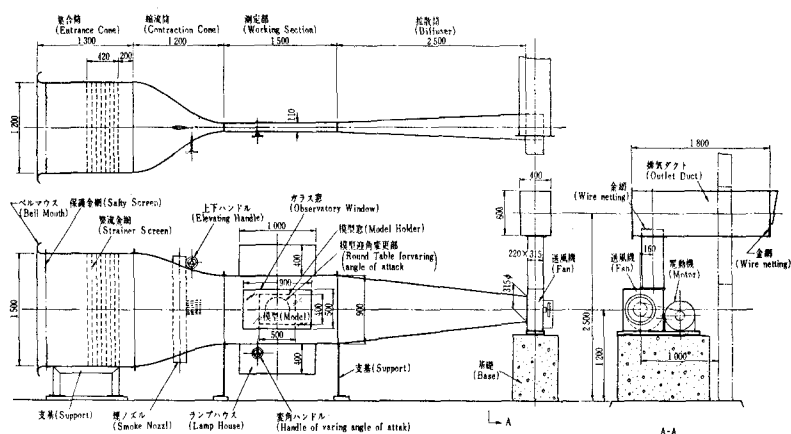


図-1 煙風洞の一般図

3. 実験の対象と方法

実験に用いた模型の断面形状は図-2に示す、円形、箱形、H形、 Γ 形の4種で、縦横比 b/r は 0.1, 0.2, 0.3 の3段階に変化させた。模型記号は、たとえば $b/r = 0.2$ の箱形断面を $\square 20$ のように名付ける。寸法は $D = 50\text{mm}$, r は後流の状況を見るためのもので 40mm , 物体まわりの流線を見るためのもの 150mm の2種を用いた。箱形断面についてのみ $b/r = 0.02$ のものも作成し、これを平板とみなした。

風向は図-3における角度 ϕ で示す。したがって $\phi = -90^\circ \sim +90^\circ$ の範囲で実験を行なった。実験風速は $V = 0.4 \sim 4.3 \text{ m/sec}$ で、レイノルズ数にして $1.1 \times 10^3 \sim 1.2 \times 10^4$ の範囲である。

後流中の渦の発生周波数はストロボ発光器により測定し、流線の考察は写真撮影の結果によった。

4. 実験結果とその考察

(1) 後流中の渦 …… 風に対する曝露面積のごく小さい場合を除き、いずれも明確な後流中の渦の発生が認められ、その周波数は風速に比例する。すなわちストローハル数 $S = ND/V$ はほぼ一定であり、表-1に示すように実験値は *Nepkentrer* によって与えられた値に近く、場合ほぼ一致する。 S 値は風向方向の物体幅にはほとんど関係なく、断面の高さのみ影響される。

迎角とストローハル数の関係を示す例が図-4で、一般に $\phi = 20^\circ$ 付近と $40^\circ \sim 60^\circ$ の2個所に極大値があり、後者における S 値が最大となる。もちろんこの点で D の値がもっとも大きくなることにもよるが、後述の物体まわりの流線の状況とも関連する現象である。

断面形状別には、箱形が S が比較的大、 Γ ($\phi < 0$) がこれに続き、Hおよび Γ ($\phi > 0$) では比較的小さくなる。また、 b/r の影響はHではほとんどないが、 $\square$ および Γ では b/r 大なるほど S は大きく、これは抗力係数の減少傾向とも関連がある。

Γ 形断面を間隔 d で並列した場合の渦の周波数は

図-5のようになり、間隔が桁高にほぼ等しいときに最大値が、間隔が一フランジ幅の10倍ぐらゐのときに最小値が現れ、間隔が桁高の数倍に達すれば風上側の構造物の影響はほとんどなくなる。なお周波数が最小になる間隔を境として、風上側断面の背面に流線が入りこみ、両断面の間にも渦が発生するようになる。

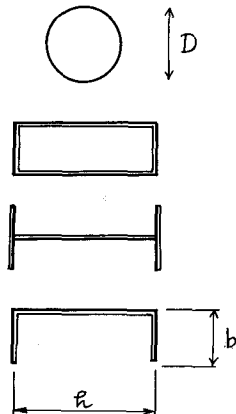


図-2 実験断面

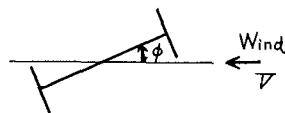


図-3 迎角の定義

断面	○	I	□	[←	]←
実験結果	0.223	0.153	0.147	0.143	0.150
<i>Nepkentrer</i> による	0.2 ($Re=10^3$)	0.144 ~0.145	0.145	0.140 ~0.145	0.153 ~0.168

表-1 ストローハル数 : S

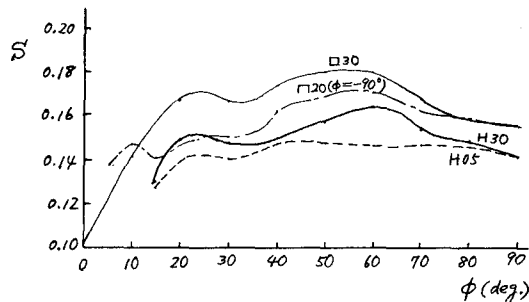


図-4 風向とストローハル数

(2) 後流中の流れの状況 …… 円筒については実験例も多く、理論的にもかなりよく知られているが、本実験でも写真 a) に見るごとく、流速が大になるにつれて渦層の領域も拡大し、渦列は下流に進むにしたがって拡大し直径の10倍ぐらいのところで消滅する。片列の渦間隔は約18cm (直径の3.6倍) で、これは他のすべての形状 ($R=4\text{cm}$ の場合) についてほぼ共通している。

I 形断面 (H において $\phi=90^\circ$ の場合) や箱形、 Γ 形では b/R の影響は顕著でないこと、2 つめぐらいから渦は明確に認められにくいこと、渦層の幅は下流 $10D$ (図-6 参照) 付近で $D''=5D$ ぐらいになることが共通して認められた [写真参照]。

渦間距離 a 、物体直径の渦層の幅 D' 、 $10D$ 下流での渦層の幅 D'' はいずれも、だいたい流れ方向の投影面積に比例する傾向があり、特に迎角による特異現象はない。円筒に対する Kármán の理論から求めた渦列間隔 $b=0.281a$ (図-6) をそのまま用いれば $b/D'=0.7\sim0.8$ となる。

(3) 物体周囲の流れの状況

上流側の流れ点 (図-7 の Z_2 点) は、平板においてはポテンシャル流理論の結果とよく合う。下流側でも迎角 ϕ が小さい範囲では理想流体と似たような流れ状態を示すが、 ϕ が大きくなると渦層内に乱れが生じ、この実験では渦はかき大きくなる。

他の箱形、H 形、 Γ 形断面では流れ点は迎角によって変化する。流れ点が断面の稜角上にくる迎角は $b/R=0.1\sim0.3$ の範囲では $\phi=(\pm)25^\circ\sim40^\circ$ であって、 Γ ($\phi<0$)、 $\square$ として H、 Γ ($\phi>0$) の順に小さくなり、同じ形状では b/R の小さいほど小さい。これは空気力係数曲線 (特に揚力係数) の性質とも関連がある。また、この角度は図-4 の α - β 曲線の変曲点に相当する。

H、 Γ のような断面では迎角が大きくなると、図-8 (a) に示すように風上側稜角部で分離した流れは断面の凹部に入り込むようになり、さらに迎角が増せば流れ点が凹部内面にくる。前者の限界迎角は本実験では $\phi=30^\circ\sim60^\circ$ 、後者の限界は $\phi=60^\circ\sim80^\circ$ である。いずれの場合も b/R 大なるほどこ

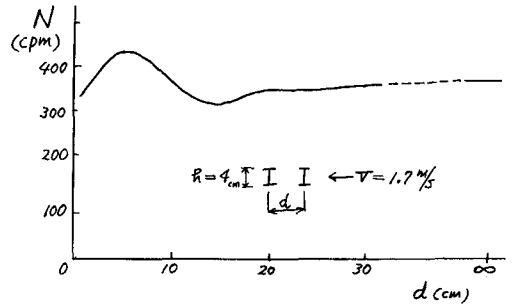


図-5 並列 I 断面後流中の渦の周波数

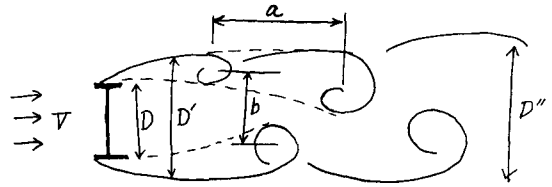


図-6 渦の発生

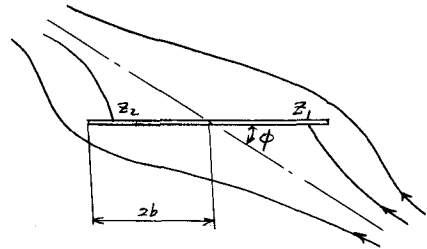


図-7 平板のまわりの流れ

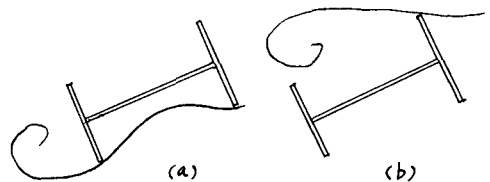
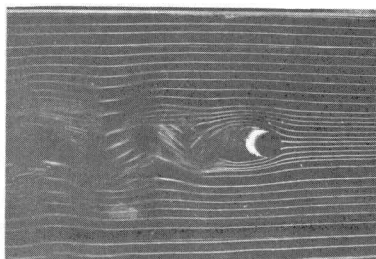


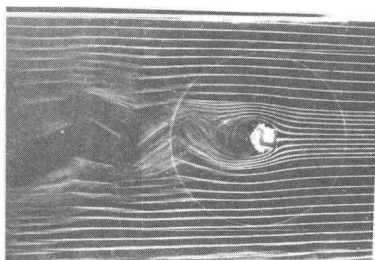
図-8 H 断面における渦の生成

の角度は大で、H断面のものが凹部が浅いため、同じ
 1/4の円断面より角度は小さい。渦の発生状況は図
 -8のような場合、当然上縁より発生する状況と下
 縁より発生する状況は異なり、また渦の発生初期の
 状況も、渦が発達して定常化した状態とは相違があ
 る。多くの例についてはスライドにより報告する。

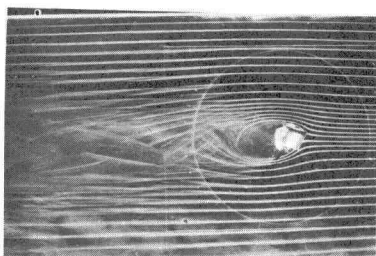
[写真] 煙風洞実験における流線の状況



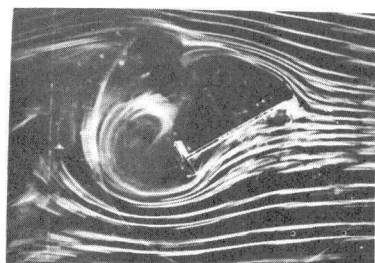
(a) 円断面, $V=2.1 \text{ m/s}$



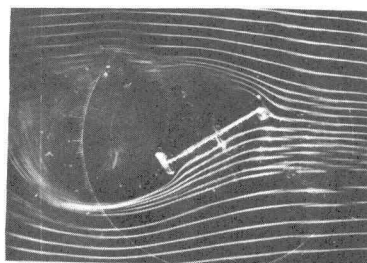
(b) H30, $\phi=90^\circ$, $V=1.7 \text{ m/s}$



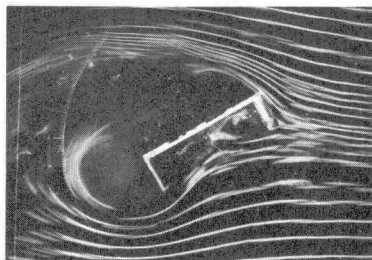
(c) H30, $\phi=90^\circ$, $V=3.1 \text{ m/s}$



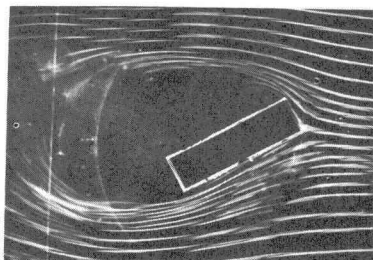
(d) H30, $\phi=30^\circ$, $V=1.6 \text{ m/s}$



(e) H20, $\phi=30^\circ$, $V=1.6 \text{ m/s}$



(f) Γ 30, $\phi=30^\circ$, $V=1.6 \text{ m/s}$



(g) $\square$ 30, $\phi=30^\circ$, $V=1.6 \text{ m/s}$