HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	平面壁の干渉を受ける傾斜円柱まわりの流れ
Author(s)	有江, 幹男; Arie, Mikio; 木谷, 勝 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 87, 11-22
Issue Date	1978-06-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41456
Type	departmental bulletin paper
File Information	87_11-22.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第87号（昭和53年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 87 (1978)

平面壁の干渉を受ける傾斜円柱まわりの流れ

有江幹男* 木谷 勝*
鈴木雍宏* 吉村秀勇**

（昭和52年9月30日受理）

Characteristics of Flow around a Yawed Circular Cylinder Subjected to an Interference of Plane Wall

Mikio ARIE Masaru KIYA
Yasuhiro SUZUKI Hideyu YOSHIMURA

(Received September 30, 1977)

Abstract

Experiments were performed to clarify the effect of a neighbouring plane wall on the hydrodynamic characteristics of a yawed circular cylinder with the yaw angle β between 0° and 60°. Measurements were made on the pressure distributions along the surface of the cylinder together with the frequency of the vortex shedding from the cylinder, the Reynolds number based on the cross-flow component of the approaching velocity being 7250–14500. The behaviour of the properties of the yawed cylinder is usually based upon the cross-flow component of freestream velocity, which is referred to as the independence principle. It was found that the independence principle was also applicable even when the interference of the plane wall was included. The pressure drag coefficient was correlated with the relative clearance c/d, c being the clearance between the plane wall and d the diameter of the cylinder and the base-pressure coefficient in the forms

$$C_{Dp} = \begin{cases} 0.75\,(1+c/d)\cos^2\beta & (c/d<0.6) \\ 1.2\cos^2\beta & (c/d>0.6) \end{cases}$$

$$C_{Dp} = 0.4\cos^2\beta - 0.68\,C_{pb}$$

The correlation of $C_{Dp}St/\cos\beta$ with $(1-C_{pb})^{1/2}$ for the yawed cylinder showed a fairly good agreement with the well-known relation between $C_{Dp}St$ and $(1-C_{pb})^{1/2}$ which was originally proposed by Bearman for normal cylindrical bluff bodies in a uniform stream.

1. 緒 言

後退翼を有する航空機の主翼や地面あるいは水面に平行な長大スパンの構造物に対し斜め方向から風があたる場合のように，主流に対して傾いた軸をもつ柱体は工学的に数多く存在している。従来傾斜柱体のまわりの流れを対象とする研究は，翼型の場合その表面における三次元境界

* 機械工学科 流体工学第一講座
** 新日本製鉄株式会社

層の特性解析[1]，円柱などの流体力学的ににぶい物体では表面圧力分布および後流における渦放出などに関するもの[2]が大部分であり，これらの周囲における流れは十分に広がりを持つものと仮定されている。しかし，上述の橋梁などの長大構造物，大型航空機の胴体などに対する横風の影響は，近接して存在する地面の影響を切り離して考えることはできない。著者らの一人[3]は，近寄り流れが乱流境界層である場合について，主流に直角な軸を有する円柱の流力特性におよぼす平面壁の干渉効果を明らかにしたことがある。構造物の強度設計などの点では，軸に直角な場合のみを調べておけば十分であるが，実際問題として軸と直角でない流れがむしろ一般的であることを考えると，軸傾斜角の影響を明らかにしておく工学的意義は少なくない。

傾斜柱体まわりの流れを取り扱うにあたって，流れを軸に直角な横断流成分とこれに平行な接線流成分の二つに分離し，両者はそれぞれ独立なものと仮定することが多い。横断流成分は主流速度の $\cos\beta$ 倍（β は柱体の軸が流れに直交する状態を基準とした傾斜角）であるから，このような分離可能性は independence principle または，cosine law（以下，余弦法則とよぶ）と呼ばれている。Jones[4]による傾斜物体に対する実験的研究によれば，抗力は主流速度の $\cos^2\beta$ 倍に比例しており，Hanson[5]はさらに円柱からの渦放出周波数が $\cos\beta$ に比例することを示している。これに対し Van Atta[6]は，傾斜円柱からの渦放出周波数は傾斜角が大きくなると余弦法則からはずれてくることを指摘している。

本論文の主な目的は，供試円柱直径を代表長さに取ったレイノルズ数が 1.45×10^4 の場合について，平面境界壁の干渉効果が存在するときの余弦法則の適用可能な傾斜角範囲を明らかにすることにある。

2. おもな記号

C_{Dp}	圧力による抗力係数 $\left[=D/\left(\frac{1}{2}\rho V_\infty^2\right)\right]$
C_{Lp}	圧力による揚力係数 $\left[=L/\left(\frac{1}{2}\rho V_\infty^2\right)\right]$
C_p	圧力係数 $\left[=(p-p_\infty)/\left(\frac{1}{2}\rho V_\infty^2\right)\right]$
C_{pb}	背圧係数 $[=(C_p)_{\gamma=180°}]$
C_{pn}	U_∞ に基づく圧力係数 $[=C_p/\cos^2\beta]$
D	抗　力
K	$(1-C_{pb})^{1/2}$
H	風洞試験部の高さ
L	揚　力
Re	レイノルズ数 $[=V_\infty d/\nu]$
S_t	ストローハル数 $[=fd/V_\infty]$
S_{tn}	U_∞ に基づくストローハル数 $[=fd/U_\infty]$
U_∞	主流の横断流成分 $[=V_\infty\cos\beta]$
V_∞	主流の速度
c	円柱と平面壁とのクリアランス
d	円柱の直径
f	渦放出周波数
p	圧　力

x, y, z 直角座標系
β 円柱の傾斜角
ν 流体の動粘性係数
ρ 流体の密度
θ 円柱の前方よどみ点から測った角度（平面壁から遠ざかる方向を正とする）

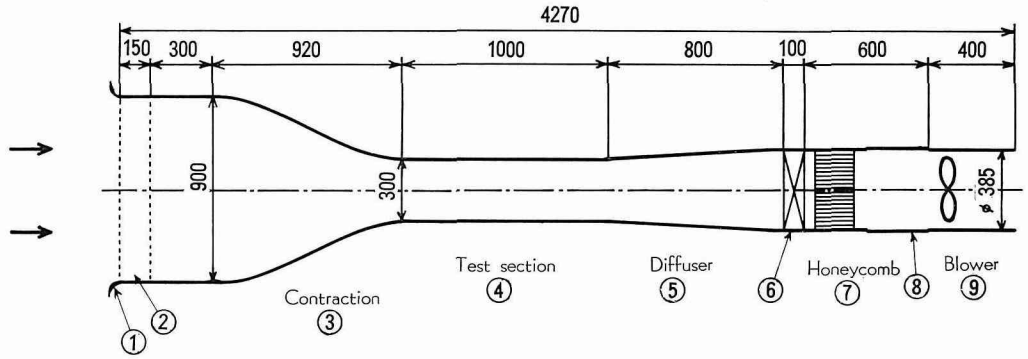
添字

s よどみ点
$(\ )_\beta$ 傾斜角 β における値

3. 実験装置および方法

3.1 供試風洞

本実験に使用した風洞は，高さ 300 mm，幅 300 mm，長さ 1000 mm の正方形断面の試験部を有する貫流型吸込み式風洞である (Fig. 1 参照)。風速の調節は送風機（三相インダクション・モーター組込み式軸流ファン）⑨の前方に取り付けた流量調節装置 ⑧ の開度を変化させることによって行うことができる。気流はベル・エントランス ① より流入し，2段の金網 ② によって整流され，9:1 の絞り比をもつ縮流部 ③ により一様な速度分布を与えられて試験部 ④ に流入す



(a) Plan view

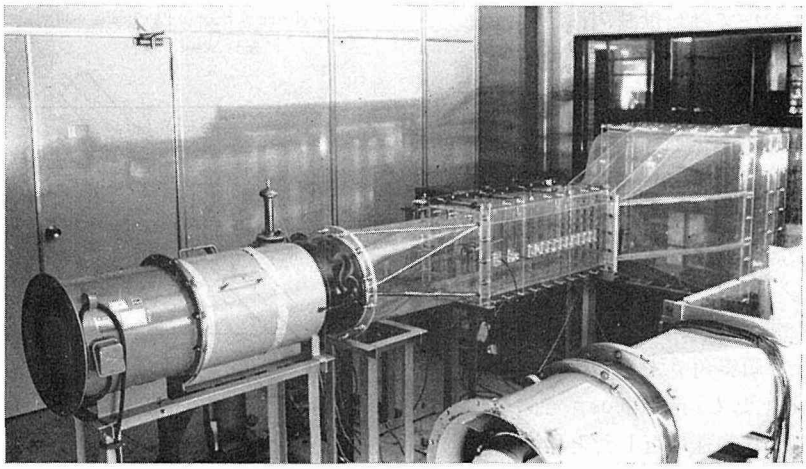


Fig. 1. Air tunnel.
(b) Photograph of air tunnel.

る。試験部の天井は，2 mm のアクリル樹脂性の可撓板によって構成されており，境界層の発達による縮流効果を補償して圧力勾配のない流れを実現できるようになっている。この試験部と送風機の間には，正方形断面から円形断面へ移行するための面積比 1.29 のディフューザ⑤および送風機による旋回速度成分を除去するためのハニコム・ブロック⑦が設置されている。また送風機と試験部の中間に，送風機の機械的振動が風洞試験部へ伝達されることを防止するための防振装置⑥が設けられている。

3.2 供試円柱

使用した円柱は直径 9.5 mm の黄銅製であり，中央に直径 0.4 mm の圧力孔を一個設けてある。この圧力孔から取り出された圧力はポリエチレン・チューブを介して圧力変換器に導かれる。なお流れの二次元性を確保するため，試験部内における円柱のスパンは風洞の幅に一致させてある。

3.3 円柱移動装置

円柱を流れ方向に対して任意の傾斜角に設置するために，風洞試験部側壁に主流に平行なスリットを設け，これに円柱支持装置を取り付けてある。また，この側壁全体を主流と直角方向に移動させることによって平面壁と円柱との間の距離を任意に設定することができる。

3.4 ピトー管およびトラバース装置

試験部内の平均速度分布および円柱後流の測定に当っては，全圧管と静圧管とを組み合せたプローブを用いた。これは標準ピトー管との対比によってあらかじめ較正されたものである。また，プローブの位置設定は 0.05 mm の移動精度をもつトラバース装置によって行なってある。

3.5 熱線風速計およびスペクトル分析装置

円柱から放出されるカルマン渦にもとづく速度変動を定温型熱線風速計によって検出し，その出力信号をローパス・フィルタを介して実時間相関計に入力して自己相関関数を計算し，そのフーリェ変換（フーリェ変換器を使用）をとって波数空間でのエネルギー分布を求めた。

3.6 実験条件

本実験においては，供試円柱設置以前に風洞の可動天井壁を調節し流れ方向に圧力勾配のない状態としてある。また，主流速度は，22.7 m/sec の一定値に保った。円柱は風洞試験部の側壁を貫いて固定してあり，任意の傾斜角 β および平面壁とのクリアランス c を設定できるようになっている (Fig. 2 参照)。円柱の直径および風洞内の流速にもとづくレイノルズ数は 1.45×10^4 である。また，傾斜角 β をもつ円柱に対する横断流の流速は，$U_\infty=V_\infty\cos\beta$ であるから，この流速を代表速度としたときのレイノルズ数 R_n は $R_n=1.45\times1.0^4\times\cos\beta$ となり，本実験 ($0\leqq\beta\leqq60°$) においては，7250

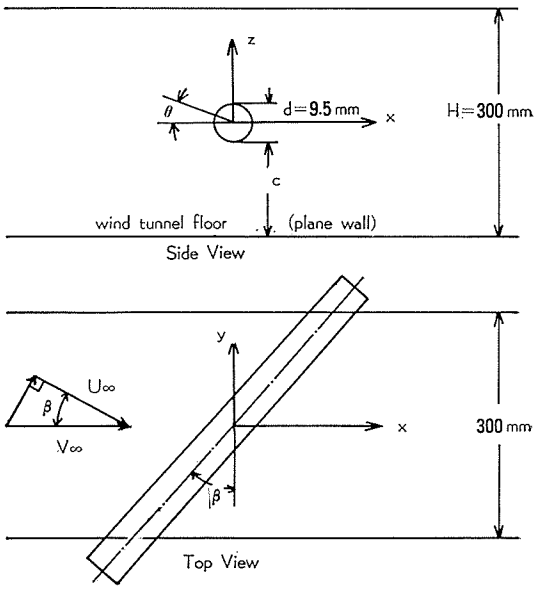


Fig. 2. Definition sketch of coordinate system and parameters.
d=diameter of cylinder, β= yaw angle, c=clearance.

$\leqq R_n \leqq 1.45\times10^4$ である。このレイノルズ数の範囲における円柱表面の境界層は層流で，剝離せん断層は層流から乱流への遷移過程を含んでおり，傾斜角が0のとき円柱の抗力係数 C_D は1.1～1.2となる。円柱に作用する流体力は圧力分布に起因するものと粘性せん断応力に起因するものとの和の形で表わされるが，上述のレイノルズ数の領域においては圧力分布にもとづくものが大部分を占める。したがって，円柱に作用する抗力および揚力をそれぞれ抗力係数および揚力係数の形で表示するものとすれば，これらは表面圧力分布を積分することによって算定することができる。

$$C_{Dp}=(1/2)\int_0^{2\pi} C_p\cos\theta\, d\theta\,, \qquad C_{Lp}=(1/2)\int_0^{2\pi} C_p\sin\theta\, d\theta \tag{1}$$

ここに，θ は円柱の軸を通り主流に平行な直線から測った角度，C_p は圧力係数であり次式によって定義される：

$$C_p=(p-p_\infty)/\left(\frac{1}{2}\rho V_\infty^2\right) \tag{2}$$

また，円柱からの渦放出周波数 f を

$$S_t=fd/V_\infty \quad \text{あるいは} \quad S_{tn}=fd/U_\infty \tag{3}$$

で定義されるストローハル数によって表わす。

4. 実験結果および考察

4.1 風洞特性

実験結果の説明に入る前に，円柱設置以前における風洞特性とくに風洞床面に発達する境界層の速度分布を明らかにしておく。供試風洞の試験部内での流れの二次元性は中央断面からそれぞれ ±90 mm の範囲において確保されており，これは円柱直径の約18倍である。円柱設置位置における平面壁近傍での境界層内の平均速度分布は Fig. 3 に示すとおりであって，境界層厚さは約6 mm である。速度分布形状から判断してこの境界層は層流から乱流への遷移過程にある。

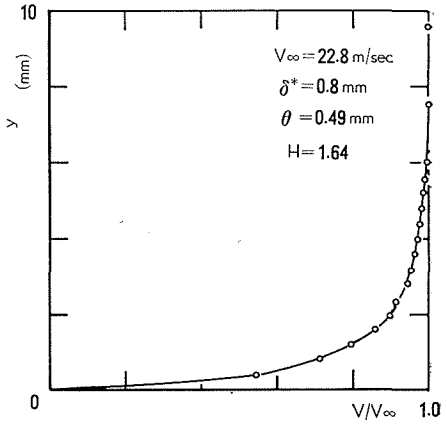


Fig. 3. Velocity profile in boundary layer along air-tunnel wall at the location of circular cylinder.

4.2 平面壁の干渉効果がない場合

傾斜円柱の流力特性に対する平面壁の干渉効果を評価するための比較資料として，干渉効果が無視しうる場合の流力特性を明らかにしておく必要がある。そのため，供試円柱を風洞試験部中央に設置してその流力特性を求めた。円柱を試験部中央に設置した場合においても試験部の高さ H と円柱直径 d の比 d/H が十分小さくなければ，試験部の閉そく効果をさけることができない。Allen and Vincenti[7] によれば，閉そく効果にもとづく流速および抗力係数の変化は次式によって与えられる：

$$V/V'=1+0.25\,C'_D(d/H)+0.82\,(d/H)^2 \tag{4}$$

$$C_D/C'_D=1-0.5\,C'_D(d/H)-2.5\,(d/H)^2 \tag{5}$$

ここに，V' および C'_D は閉そく効果がない場合の流速および抗力係数である。本実験装置の場合

$d/H=0.0327$ であるから式(4)および(5)から求められる抗力係数および近寄り速度に対する閉そく効果はそれぞれ1.9%および0.9%となり，速度，圧力分布および渦放出周波数の測定誤差と同程度の大きさである。また，円柱の直径と風洞内におけるその長さとの比は少くとも30.6であり，従来の多くの実験結果から判断して円柱に対する風洞側壁の効果を無視することができる。なお風洞側壁効果の程度をより詳細に明らかにするために，風洞中心をはさんで円柱を軸方向に $\pm 8d$ 移動させて表面圧力分布を求めたところ，傾斜角が $0°\leqq\theta\leqq 60°$ の範囲内では高々4%の差違をみるにすぎなかった。

円柱の傾斜角を0°～60°の範囲に変化させたときの円柱表面の圧力分布をFig. 4に示してある。これらの圧

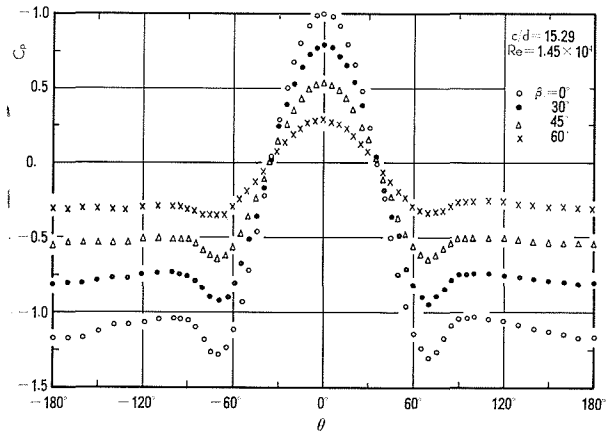


Fig. 4 Pressure distribution on the surface of yawed circular cylinder without interference of plane wall. θ=angle measured from front stagnation point, C_p=pressure difference divided by free-stream dynamic head $(1/2)\rho V_\infty^2$. Other parameters are included in the figure.

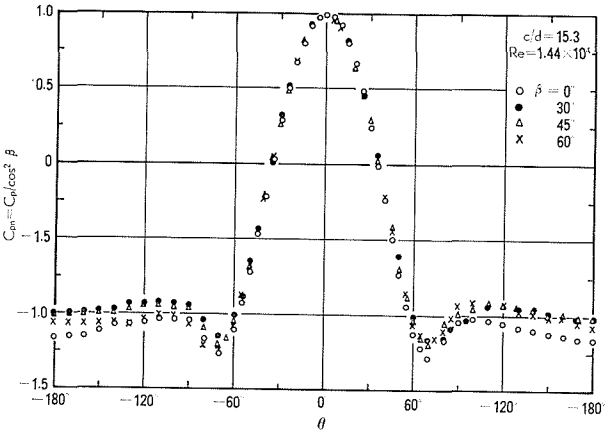


Fig. 6. Check of independence principle for surface-pressure distribution along yawed circular cylinder without interference of plane wall. Experimental data as in Fig. 4.

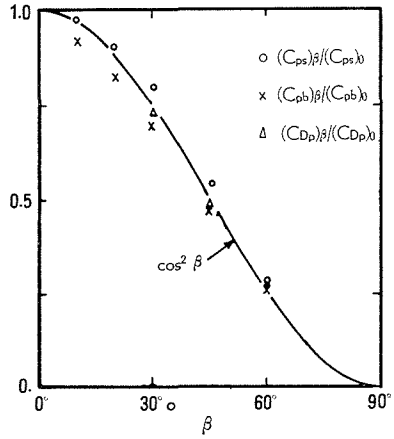


Fig. 5. Variation of $(C_{ps})_\beta/(C_{ps})_0$, $(C_{pb})_\beta/(C_{pb})_0$ and $(C_{Dp})_\beta/(C_{Dp})_0$ with yaw angle β. Confirmation of independence principle.

C_{ps}=pressure coefficient at stagnation point, C_{pb}=back-pressure coefficient, C_{Dp}=drag coefficient.

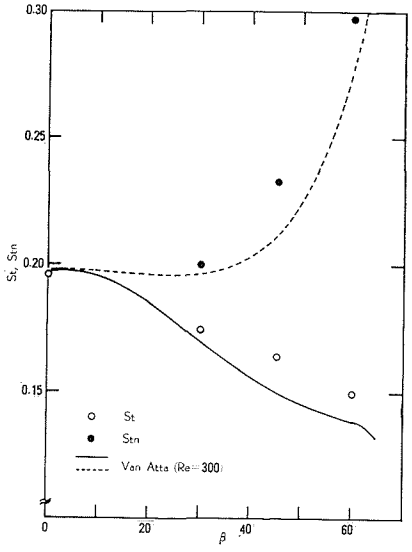


Fig. 7. Variation of Strouhal numbers with yaw angle β. Note deviation from independence principle in the range $\beta>30°$.

力分布にもとづいて各傾斜角に対するよどみ点圧力係数 C_{ps}, 背圧係数 C_{pb} および抗力係数 C_{Dp} を求め，これらを傾斜角が 0° の場合との比の形で表わしたものが Fig. 5 である。これから明らかなように，$(C_{ps})_\beta/(C_{ps})_0$, $(C_{pb})_\beta/(C_{pb})_0$ および $(C_{Dp})_\beta/(C_{Dp})_0$ を β の関数として表示したものは，すべて $\cos^2\beta$ の曲線上に集約されており，余弦法則がほぼ正確に成立していることがわかる。また Fig. 4 の圧力分布における縦軸を余弦法則に基づき $C_p/\cos^2\beta$ の形として整理すれば Fig. 6 に示すようになり，圧力分布曲線は傾斜角に依存しない形状となる。

円柱から周期的に放出される渦の周波数は，円柱の揚力変動の周波数と対応しており工学的に重要な量である。本実験においては，$x/d=2.8$, $z/d=2.0$ の位置で熱線プローブの軸を x 軸と直角な状態に保持し，放出渦の周波数を求めた。傾斜角 β が増加するにしたがって円柱後流の三次元性が強まるため，渦放出にもとづく速度変動のエネルギー・スペクトルが広帯域となり顕著なピーク値を示さなくなる。このような傾斜範囲においても，スペクトルが極大値をとるときの周波数を放出渦の周波数として採用した。Fig. 7 には van Atta[6] の実験結果とともに本実験結果を示してある。これによると約 30° をこえない傾斜角について余弦法則の成立することが認められるが，これ以上の傾斜角になると余弦法則からのへだたりが大きくなる。これは表面圧力分布に対する余弦法則が $30°\leqq\beta\leqq60°$ の範囲においても成立することと対比して注目すべき事実である。

4.3 平面壁の干渉効果がある場合

傾斜円柱の流力特性におよぼす平面境界壁の干渉効果を評価するために供試円柱を徐々に風洞床面に接近させ円柱表面の圧力分布および渦放出周波数の変化を調べた。円柱を平面壁に十分に近づけると Fig. 3 に示す風洞床面の境界層の影響を受けることとなるが，円柱を床面に接触させた状態においても円柱中心に対応する境界層内の速度は 2% 減少するにすぎないから，ここでは境界層の影響を無視して議論をすすめる。平面壁の干渉効果が現われている代表的な例として $c/d=0.23$ の場合について，傾斜角をパラメタにとったときの表面圧力分布の変化を Fig. 8 に示してある。主流における横断流成分の動圧によって整理すれば Fig. 9 のようになり，干渉効果のある場合でも余弦法則が良好な精度で成立することがわかる。最大圧力を示すよ

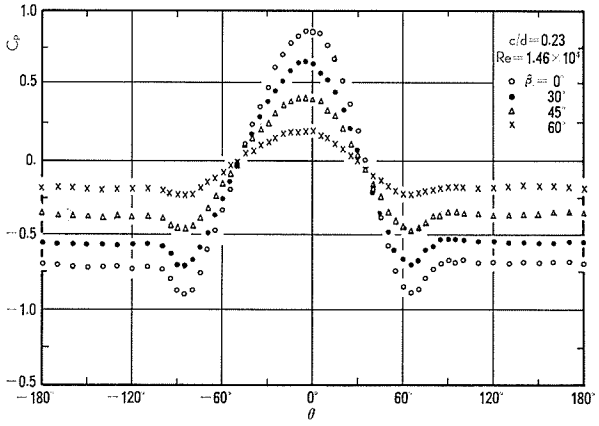


Fig. 8. Pressure distribution on surface of yawed circular cylinder with interference of plane wall. Parameters are indicated in the figure.

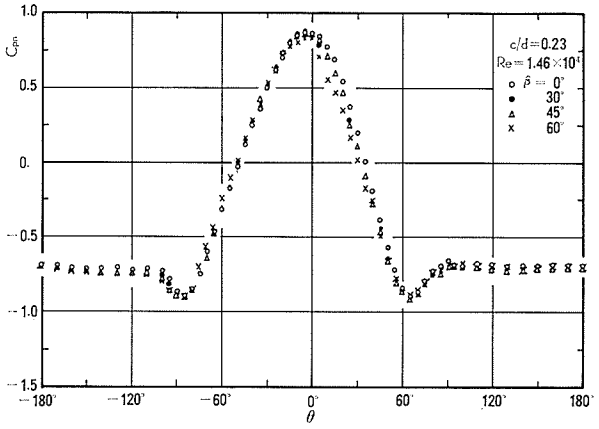


Fig. 9. Examination of independence principle for surface-pressure distribution along yawed circular cylinder with interference of plane wall. Experimental data as in Fig. 8.

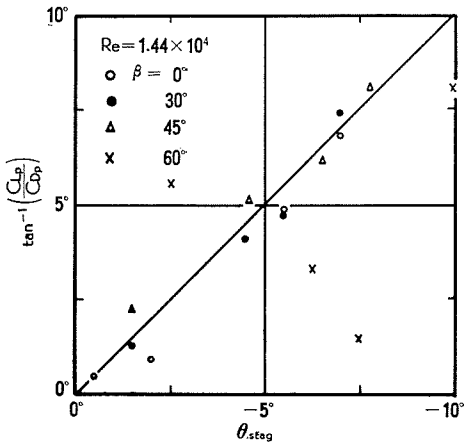


Fig. 10. Relation between stagnation-point angle and the direction of total hydrodynamic force experienced by yawed circular cylinder. Relative clearance c/d was changed for each yaw angle.

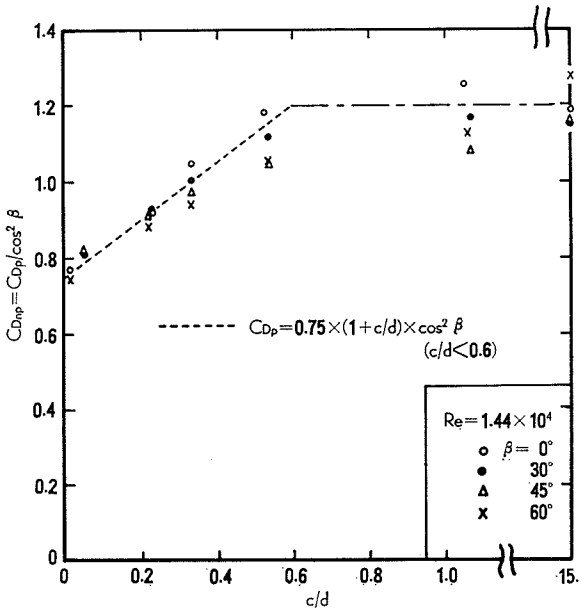


Fig. 11. Variation of pressure-drag coefficient with relative clearance c/d.

どみ点位置は壁面に近い側にづれており床面境界層における速度欠損の影響のために最大圧力係数は1よりも小さい。また，圧力分布の $\theta=0°$ の左右での非対称性のために円柱には揚力が作用するようになる。Fig. 10 はよどみ点位置 θ_{stag} と抗力および揚力にもとづく合成流体力の作用方向 $\tan^{-1}(C_{Lp}/C_{Dp})$ との関係を示すものである。円柱をよぎる流れの三次元性が最も強い $\beta=60°$ の場合を除くと，各傾斜角に対する実験結果はほぼ勾配が tan 45° の直線上に集約されており，よどみ点の移動角と合成流体力の作用角とが近似的に一致することがわかる。このことはよどみ点の左右における圧力分布がほぼ対称的であることを意味している。よどみ点の移動が顕著に現れるのは $c/d<0.6$ の範囲であって，これよりも大きな c/d については圧力分布におよぼす平面壁の干渉効果は小さいということができる。揚力の最大値は $c/d=0$ の場合に現われ，その値は抗力の15%程度であった。

抗力係数を余弦法則にもとづいて整理し，相対クリアランス c/d の関数として表示すれば，Fig. 11 のようになり，±10%程度の誤差を許容すれば次の実験式によって表わすことができる：

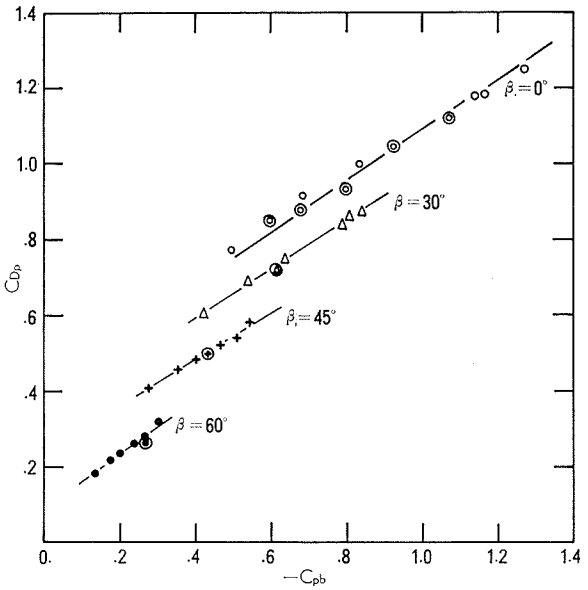


Fig. 12. Relation between pressure-drag coefficient and back-pressure coefficient. Relative clearance c/d was changed for each yaw angle. Data points shown by larger circles are due to Smith *et al.*[13]

$$C_{Dp}=\begin{cases}0.75\{1+(c/d)\}\cos^2\beta & (c/d<0.6) \quad (6\,a)\\ 1.2\cos^2\beta & (c/d>0.6) \quad (6\,b)\end{cases}$$

一般に，円柱のようなにぶい物体に作用する流体力は近寄り流れの速度分布形状およびこれに含まれる乱れ度などによって異なる。Wieselsberger[8] および Roshko[9] の実験結果によれば，抗力係数 C_D は背圧係数 C_{pb} の一次関数として表わされる。Fig. 12 は傾斜角およびクリアランスをパラメタにとって，抗力係数と背圧係数との関係を示している。この図から明らかなように，傾斜角が一定な場合，クリアランスの変化にともなう C_{Dp} と C_{pb} の変化は直線的である。余弦法則にもとづいて縦軸に $C_{Dp}/\cos^2\beta$，横軸に $-C_{pb}/\cos^2\beta$ をとって抗力係数と背圧係数との関係

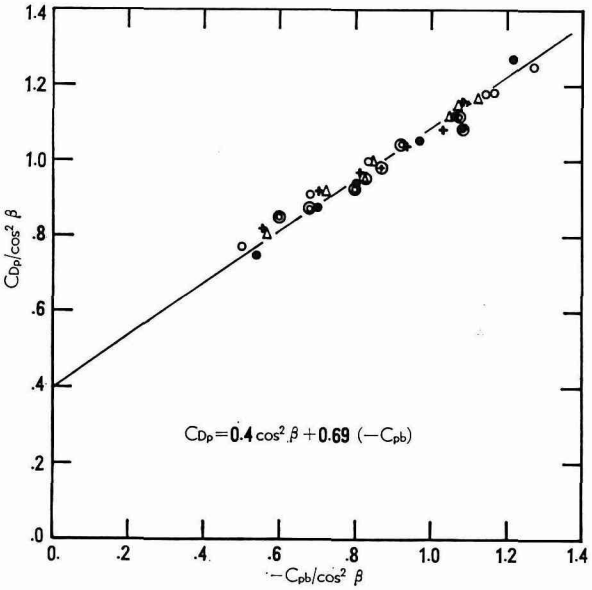


Fig. 13. Independence principle applied to the relation between pressure-drag coefficient and back-pressure coefficient. *Data points as in* Fig. 12.

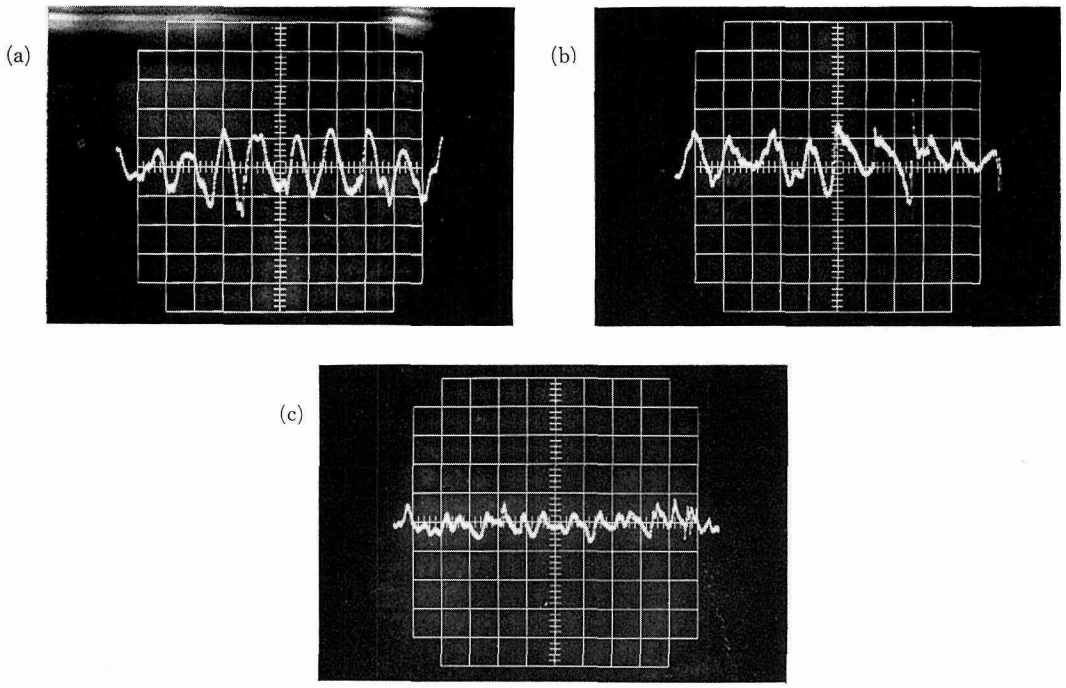


Fig. 14. Signals of fluctuating velocity in the wake of yawed circular cylinder.
(a) $c/d=0.225$, (b) $c/d=0.121$, (c) $c/d=0.015$.

を図示すればFig. 13のようになり，すべてのデータが次の実験式で表わされる曲線上に集約される：

$$C_{Dp} = 0.4\cos^2\beta - 0.68\,C_{pb} \qquad (7)$$

$C_{pb}=0$ に対応する傾斜角0°の場合の抗力係数の値0.4がWoods[10]による剝離角80°の場合のKirchhoff-Helmholtzの流れにおける理論値と一致することは興味ぶかい。なお，背圧係数 C_{pb} としては $\theta=180°$ 近傍の圧力係数をとっていることを明記しておく。

以上の実験結果より平面壁の干渉効果がある場合についても円柱に作用する流体力は余弦法則によって整理できることがわかる。実測された表面圧力分布を用いて円柱表面の層流境界層の計算を行ない，横断流方向および接線流方向の表面摩擦抵抗は全抗力の2～3%程度であることを確認した。

円柱への近寄り流れの速度勾配あるいは乱れの強さが大きい場合には，周期的な渦放出が生じない。本実験においてはさらに平面壁の干渉効果が加わるために，クリアランスが非常に小さな場合には，周期的に発生する渦は観測されなかった。Fig. 14 (a)～(c) は $\beta=0°$ における $x/d=2.8$, $z/d=1.8$, $y/d=0.5$ の位置での円柱後流の速度変動波形を異なるクリアランスについて示したものである。$c/d=0.225$ のときには明確な周期信号 (400 Hz) が観測されるが，クリアランスを小さくした $c/d=0.12$ および0.015の場合には，速度変動の中に乱流による不規則成分が顕著となり，とくに $c/d=0.015$ においてはもはや周期信号を認めることはできない。Fig. 15に傾斜角 β をパラメタにとったときの渦放出周波数とクリアランスの関係を示してある。図中 *……* の記号は，$\beta=60°$ の場合この記号間の周波数帯にわたってエネルギー・スペクトルが等しいことを示すも

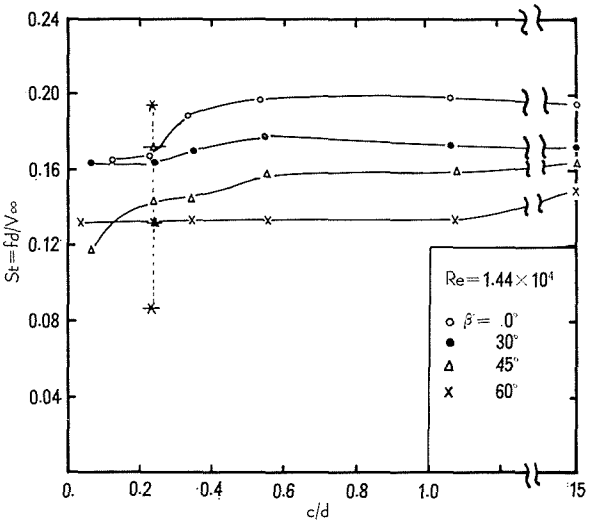


Fig. 15. Variation of Strouhal number with relative clearance.

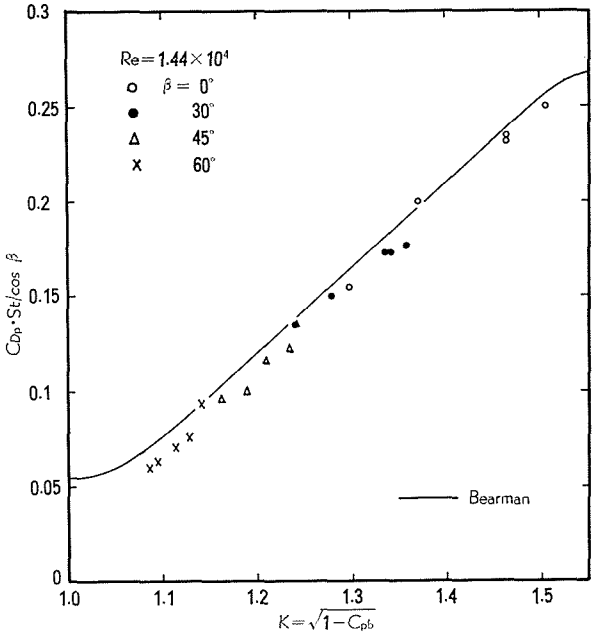


Fig. 16. Relation between $C_{Dp}\,St/\cos\beta$ and $k=(1-C_{pb})^{1/2}$ for yawed circular cylinder. Good argreement with Bearman's correlation[11] for normal cylindrical bodies is observed.

のであり，傾斜角が大きく平面壁干渉が顕著な範囲内では一定周波数の渦の発生がみられないことを意味している。なお，$c/d<0.6$ においては平面壁の干渉効果のためにストローハル数が減少する。

円柱のようなにぶい物体からの渦放出周波数は，剝離せん断層の流速および後流幅によって支配される。Bearman[11] は傾斜角 0° の柱体の場合，代表長さに後流幅 b を用いたストロハル数 $S_B=fb/U_\infty$ はせん断層外縁の無次元流速 $\sqrt{1-C_{pb}}$ に無関係に一定値 $S_B=0.181$ をもつが，Goldburg ら[12] によって導入された，後流の運動量厚さ δ^{**} を用いたストローハル数 $f\delta^{**}/U_\infty=(1/2)\,C_{Dp}S_t$ は $\sqrt{1-C_{pb}}$ のみの関数となることを示している。傾斜円柱に対する本実験データを $C_{Dp}S_t/\cos\beta$ と $\sqrt{1-C_{pb}}$ の間の関係として図示すれば，Fig. 16 のようになり渦列の安定性についての Kronauer の条件を用いて求められた Bearman[11] の理論曲線（傾斜角 0° の柱体に対する曲線）と一致するようになる。$S_t C_{Dp}/\cos\beta$ なる無次元量において $\cos\beta$ が分母に含まれる物理的意味を余弦法則にもとづいて説明することは困難であるが，Fig. 16 に示す相関関係が実用的に有意義なものであることは明らかである。

5. 結　　論

主流に対し 0°～60° の範囲の傾斜角をもつ円柱の流力特性に対する平面壁の干渉効果を明らかにすることを目的として，円柱表面の圧力分布，流体力および渦の放出周波数などを実験的に求めた。本研究で得られた主な結果を要約すれば以下の通りである。

(1) 傾斜円柱に対する平面壁の干渉効果は，円柱表面圧力分布および渦放出周波数に関して $c/d<0.6$ のクリアランスの範囲で顕著に現れる。

(2) 60° よりも小さな傾斜角においては，平面壁の干渉効果がある場合にも，円柱の表面圧力分布および流体力について余弦法則が適用できる。

(3) 0°～60° の傾斜角における抗力係数 C_{Dp} と相対クリアランス c/d との関係は，近似的に式 (6) によって表わされる。

(4) レイノルズ数 $V_\infty d/\nu$ が 1.45×10^4 の付近において，傾斜円柱の抗力係数 C_D は背圧係数 C_{pb} の関数として式 (7) のように表わすことができる。この関係式は過大な誤差を伴うことなく 10^4～10^5 のレイノルズ数の範囲において適用可能である

(5) 円柱からの渦放出周波数はクリアランスが減少するにつれて減少し，ついには速度変動のエネルギー・スペクトルは広帯域にわたり明確な渦放出周波数を定義できなくなる。$c/d<0.1$ では周期的な渦放出は存在しない。

(6) 傾斜円柱に対する $C_{Dp}S_t/\cos\beta$ とせん断層外縁の無次元速度 $\sqrt{1-C_{pb}}$ との関係は，傾斜角 0° の柱体に対する Bearman の理論曲線と一致する。

(7) (4) および (6) の結果を用いることによって，任意の傾斜角およびクリアランスについて背圧係数の値が既知であれば，抗力係数およびストローハル数を評価することができる。

最後に，本研究を実施するにあたり風洞装置をはじめとする多くの実験器具の作製について援助を受けた山崎輝夫，山保敏幸両技官に謝意を表する。

文　　献

1) Sears, W. S.: J. Aeron. Sci., **15** (1948), 1, p. 49.
2) Bursnall, W. J. and Loftin, Jr., L. K.: NACA-TN 2463 (1951).
3) Kiya, M.: Bulletin. Fac. Eng., Hokkaido Univ. **50** (1968), p. 1.
4) Jones, R. T.: NACA-Rep. 884 (1947).
5) Hanson, A. R.: AIAA J., **4** (1966), 4, p. 738.
6) Van Atta, C. W.: AIAA J., **6** (1968), 5, p. 931.
7) Allen, H. J. and Vincenti, W. G.: NACA-Rep. **782** (1944).
8) Wieselsberger, V. C.: Phys. Zeitschrift, **22** (1927), 11, p. 321.
9) Roshko, A: J. Fliud Mech., **10** (1961), 2, p. 345.
10) Woods, L. C.: Proc. Roy. Soc., **A 227** (1955), 1170, p. 367.
11) Bearman, P. W.: J. Fluid Mech., **28** (1967), 4, p. 625.
12) Goldburg, A. and Florsheim, B. H.: Phys. Fluids., **9** (1966), 1, p. 45.
13) Smith, R. A., Moon, W. T. and Kao, T. W.: J. Basic Eng., Trans. ASME **94** (1972), D 4, p. 771.