不連続流物体の空気抵抗と相互干渉の実験的研究⁽¹⁾ (第1報)

レイノルズ数に対する理論的考察と基礎的実験

(昭和12年2月2日関西支部講演會及び2月21日長崎地方講演會に於て講演)

正員 小谷 寛之亮⁽²⁾

摘 要

不連続流物体の空気抵抗とレイノルズ数との関係に就て理論的考察を行い、併せて三角形、四角形、六角形、八角形、十角形、十二角形断面の柱体、並に構造部材である型鋼断面の柱体等の不連続流物体に対し種々なるレイノルズ数に就て風洞実験を試みこの関係を明かにしたものである。尙この種風洞実験に際する二次元流の取扱上の問題として平行流中に物体の存在する場合の流れに対する乱れの最大限度に就て実験結果から言及したものである。

1. 緒 言

不連続流物体の空気抵抗に関しては地上構造物の大部分がこれに属し、例へば煙突、送電塔、廣告塔を始め一般の高架建造物並に日本建築、西洋建築等は凡て周囲の流れは不連続流をなしこれ等に関して空気抵抗の研究は極く二三の特種の場合⁽³⁾を除いては量的な研究は余り発表されてゐない様である。著者は最近(昭和9年9月21日)の近畿大風害の現狀に鑑みこれ等に対する空気抵抗の検討を試みるため二三の理論的考察を行い、併せて大阪帝国大学工学部風洞に於て構造物の種々なる断面を有する部材に就て、実験を行い、これ等を綜合し本文に於て空気抵抗とレイノルズ数の関係、第2報以下に於て各種不連続流物体の空気抵抗及び相互干渉を発表することにした。勿論構造物各種部材の様に断面形の多種多様に亘るものであるから個々の空気力学的な理論計算は後日の取扱ひとし、量的の表示は凡て風洞実験結果を以てすることにした。

2. 不連続流物体の空気抵抗の機構

構造物各部材の様な不連続流に対する空気抵抗の機構は連続流物体の場合と同様に流れに対し物体前部の高圧に依る前面抵抗後部風下に起る渦動領域の抵抗に原因する吸引抵抗、及び表面の摩擦に依る摩擦抵抗の三つの部分に別けることが出来よう。この中摩擦抵抗は連続流物体の場合に比し極く一小部分に過ぎず、大部分の抵抗は他の二つの部分より成立つ

と考へることが出来る。風速の小さいレイノルズ数の小さな範囲では摩擦抵抗も抵抗全体を考へると相當な量を占めるが風速が大となりレイノルズ数が大きくなると前面の淀み及び後面の渦動の発生に依りこの者のみが次第に抵抗の増加を来し、尙風速の増加に連れ後面の渦動領域は益々擴大してこれに依る抵抗は著しく増加し従て高風速、即ちレイノルズ数の大なる場合における空気抵抗はこの風下に発生する渦動領域⁽⁴⁾の大小に原因する所大でこの領域の大小が全抵抗の増減を左右するものと考へられる。

かゝる抵抗の機構は物体の単体に対する機構であるが物体が複合或は並列してゐる場合には物体相互の干渉を受けて単体の時の倍数関係には一般にならず単体の場合よりは干渉のため増減する。尙抵抗自体に対しても空氣の活動条件即ち高度に対する圧力差に依る空氣密度の変化並に流れの状況に関係するものであつて、これ等の見地から空氣抵抗を一般的に次の様に表すことが出来る。

 C_w : 物体の単体に対する空氣抵抗係数 F_r : 物体の表面に取つた標準面積 M : 重複風圧倍数、物体が複合した場合の風圧率 σ : atm 係数高度に依る密度の減少率 W_f : 構造物前部材の抵抗 W_r : 構造物後部材の抵抗 N : 並列風圧倍数: 物体が並列した場合の風圧率とすれば、(i) 部材の単体に対する風圧 W は、

$$W = C_w \frac{1}{2} \rho v^2 F_r \dots\dots\dots (1)$$

(ii) 前後相重なる時は、

$$W = W_f + W_r = W_f M = C_w \frac{1}{2} \rho v^2 F_r M \dots\dots\dots (2)$$

(iii) 一般に複合する部材に対しては、

$$\begin{aligned} WP &= \sum C_w \frac{1}{2} \rho v^2 F_r M \\ &= \sum C_w F_r M \frac{1}{2} \frac{P_0}{\rho_0} \rho v^2 \\ &= \sum C_w F_r M \frac{1}{2} \rho_0 \sigma v^2 \end{aligned}$$

Shading field.

(1) On the Air Resistance and the Mutual Interference of the Discontinuous Profiles in Two-Dimensional Flow (1st Report; On the Theoretical Investigation of the Relation Between the Air Resistance and Reynolds-Number and the Results of those Fundamental Experiments in the Wind Tunnel). (2) Kwan-noryō-KOTANI, Member. The Ōsaka Imperial University. 大阪帝国大学。 (3) (a) Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, III, Lief. 146~151. (b) Arbeit d. Preuss Aeron. Obs. Lindenberg 13 (1919). (c) Mechanics Applied to Engineering, London. (d) Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, II, Lief. 23~28. (e) Trans. Int. Elec. Congress, St. Louis (1904). (f) Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, IV, Lief. 96~100. (g) 航空研究所報告, 3, 33. (h) 電気学会雑誌, 57, 584. (i) 建築協会雑誌, (昭和10-2)

昭和12年8月]

$$\text{今, } f(c) = \sum CwFrM \quad \phi(h) = \frac{1}{2} \rho_0 \sigma v^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{と置けば, } W = f(c)\phi(h) \dots\dots\dots(4)$$

で表すことが出来る。若し構造物の部材が斜向風を受ける場合には $f(c)$ の中に傾角 θ の函数を入れて取扱へば良い。但し風圧倍数 M は前後二部材の場合には、

$$M = 2 - 4S$$

相重なる部材の数が n 個ある時には、

$$M = n - 4S_1 - 4S_2 - 4S_3 - 4S_{n-1} \dots\dots\dots(5)$$

となる。但し $4S$ は相互干渉減少率である。

(iv) 物体が風向に対して直角に或は斜方に並列する場合も物体相互の干渉を受けて抵抗の増減を伴ふ。かゝる状態の二つの部材に対しては、

Wr : 右側物体の抵抗、 We : 左側物体の抵抗

とすれば、 $W = Wr + We = WrN$ 但し、 $N = 2 + 4\mu$ 一般に n 個の物体が風向に対し並列してある場合には、

$$W = \sum WrN = \sum Cw \frac{1}{2} \rho v^2 FrN$$

$$= \sum CwFrN \cdot \frac{1}{2} \rho_0 \sigma v^2$$

$$f(K) = \sum CwFrN \quad \text{と置けば}$$

$$\rho = f(K)\phi(h) \dots\dots\dots(6)$$

但し $N = n + 4\mu_1 + 4\mu_2 + 4\mu_3 + \dots\dots\dots + 4\mu_{n-1}$

4μ は相互干渉に依る変化率である。

従て、構造部材の空気抵抗に関する研究は (1) の示す単体における Cw 及び複合、並列の場合における MN の研究で各構造物体に対してこれ等の値を知ることが不連続流物体即ち構造物部材の空気抵抗を解決する鍵である。

3. レイノルズ数に対する考察

物体の空気抵抗係数はレイノルズ数に依て変ることは勿論であるが物体のレイノルズ数に対する抵抗の変化は概ね摩擦抵抗に関するもので前面の淀みに依る抵抗及び後面の渦動領域に依る吸引抵抗はこのレイノルズ数には殆ど関係しないと考へることが出来る。今二次元の流れに於て物体の表面に沿つて或は切線の方に x 軸を取り、それに直角の方向に y 軸を取つて物体の表面における定常流の基本運動方程式を考へて見ると、

$$v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots(7)$$

但し v_x : x -方向の分速度、 v_y : y -方向の分速度、

P : 任意の点の圧力、 ν : μ/ρ 運動摩擦係数、

μ : 空気の粘性係数、 ρ : 空気密度。

(7) は物体の表面に沿つて常に成立しなければならない又何なるレイノルズ数に対しても同一の方程式が成立つ管である。従て (7) から異なるレイノルズ数に対して常に成立するためには次式が成立しなければならない。

$$\frac{v_l}{\nu} = \text{Const.} \dots\dots\dots(8)$$

(8) は異なるレイノルズ数に対し常に流れが相似である条

件である。而して、物体の単体に対する空気抵抗は一般に元に関する法則から、

$$Cw = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho v^2 Fr} f\left(R \cdot \frac{v}{a}\right) \dots\dots\dots(9)$$

但し W : 物体の空気抵抗、 a : 音波の速度

v/a に依る影響は風速 65 m/s に対して約 1% の影響を持つものであるからこれは省略するとして、

$$Cw = \frac{W}{\frac{1}{2} \rho v^2 Fr} f(R) \dots\dots\dots(10)$$

(10) の示す様に抵抗係数はレイノルズ数の函数でレイノルズ数の増減に依て W は変つて来る筈である。然るにレイノルズ数に対する変化は (8) が示す様に流体の粘性係数に起因するもので、即ち摩擦抵抗はレイノルズ数に依て左右される。例へば極く薄い平板に表面に沿つて流体を流した場合の抵抗係数は、

$$Cf = 1.327 R^{-1/2} \dots\dots\dots(11)$$

但し $R < 5 \times 10^5$

$$Cf = 0.072 R^{-1/5} \dots\dots\dots(12)$$

但し $R > 5 \times 10^5$

(11) は表面の流れが層流をなす場合、(12) は渦流をなす場合に相當した摩擦抵抗係数である。又層流から渦流になる場合の式として⁽⁷⁾、

$$Cf = 0.074 R^{-1/5} - 1.700 R^{-1} \dots\dots\dots(13)$$

及び渦流の場合の式として⁽⁹⁾、

$$Cf = \frac{0.455}{(\log R)^{2.58}} \dots\dots\dots(14)$$

又上下面对称の流線形断面の物体に対しては⁽¹¹⁾、

$$Cf = 0.0375 R^{-0.15} \dots\dots\dots(15)$$

の様に摩擦係数 Cf はレイノルズ数の函数である。併し前面の淀み及び風下にかかる渦動領域に関する抵抗部分は殆ど無関係と云つてよいが不連続物体の抵抗の大部分を占める。殊にレイノルズ数の大なる場合には風下の渦動領域の大小は結局空気抵抗の大小となり、この渦動領域がレイノルズ数に依て増減されることは云ふ迄もない。凡そかゝる渦動領域の発生は第1図に示す様に一つの表面を想像する時表面に沿つて流

第 1 図

れはレイノルズ数の小さい時には層流をなし、この時の摩擦抵抗は極く小さいものであるがレイノルズ数が大きくなり層外の流れの速さが変化した場合を考へると層流内の圧力も変化する層中の流れは始め粘性のみに打勝つて流れてゐたものが更に圧力に対しても逆つて流れることを要し、流れの進むに連れて圧力増加の割合が或る限度に達すれば流れの

(5) Blasius. (6) Prandtl and Kármán. (7) "Theorie des Reibungswiderstandes" W.R.H. (1932) 210. (8) Prandtl. (9) "Ergebn A.V.A. GÖ" IV. Lief 96. (10) Kármán and Prandtl. (11) "Ergebn A.V.A. GÖ" I Lief 128.

有する運動の勢力は流体の粘性及び圧力に逆つてなす仕事に全部費され最早表面に沿つて流れることが出来なくなり、遂に境の層は或る点から剝離して渦動を起し不連続面を作り二次元的に考ふる時渦動領域を形成することとなる。従てこの剝離点の移動に依てこの部分の領域が増減し C_w をして増減させるこの剝離点の移動が結局 レイノルズ 数の大小に依て左右される。今表面の流れが レイノルズ 数の小さい層流の場合に就て見ると、層流内の速さ v とすれば一般に、

$$v = f_1 y + f_2 y^2 + f_3 y^3 \dots (16)$$

但し f : 常数

で與へられる層流中の或る部分の厚さを δ とすれば、

$$\left. \begin{aligned} y = \delta, \quad v = V \quad \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\ y = 0, \quad v_x = 0 \quad v_y = 0 \end{aligned} \right\} \dots (17)$$

であるからかゝる条件から f_1 を定める (10) より $y=0$ で $v_x=0, v_y=0$ であるから、

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right)$$

δ が x に比較して極く小さい所では一般に、

$$\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} \ll \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}$$

であるから $\partial^2 v_x / \partial x^2$ は $\partial^2 v_x / \partial y^2$ に比較して省略するとすれば、

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \dots (18)$$

而して層の厚さが極めて薄いものと考へると極く近似的に層内の圧力は層外の圧力に等しいと考へることが出来るから、

$$\begin{aligned} P + \frac{1}{2} \rho V^2 &= \text{Const.} \\ \therefore \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{2} \rho \frac{\partial V^2}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial P}{\partial x} &= -\frac{1}{2} \rho \frac{\partial V^2}{\partial x} \end{aligned}$$

この式と (16) から、

$$f_1 = \frac{1}{\delta} \left(\frac{3}{2} V + \frac{\delta^2}{8\nu} \frac{\partial V^2}{\partial x} \right) \dots (19)$$

$$\text{又 (18) から、} \quad \nu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = -\frac{1}{2} \rho \frac{\partial V^2}{\partial x} \dots (20)$$

となり、表面から剝離が起るための条件は $\partial^2 v_x / \partial y^2 \geq 0$ であることを要するから、

$$\partial V / \partial x \leq 0 \dots (21)$$

でなければならない。即ち層外の流れが流れの方向に対して逆流をなすことが必要条件である。このことは (19) から f_1 の値は $y=0$ で $\partial v / \partial x$ の値であるから $\partial v / \partial x \leq 0$ 即ち $f_1 \leq 0$ なる時表面に沿つて逆流を起し結局 (19) から $f_1=0$ なる点から剝離が起る。かゝる剝離点は レイノルズ 数 が大となる

昭和 12 年 8 月]

と勿論 (19) も変り、その点は レイノルズ 数の大いさ如何に依り前後に移動を始める。然るに (21) に示す剝離の現象を起す条件は不連続流物体には殆ど満足せざることが実験的に証明することが出来、即ち物体の前部或は後部にある角の部分から レイノルズ 数の 値の如何に関せず常に剝離を起しその点が移動を来すことは殆どあり得ない。かゝる見地から不連続流物体に対しては摩擦抵抗は極く小さいものであるからレイノルズ 数の或る範囲内では殆ど全空気抵抗は レイノルズ 数 と無関係に一定値を與へると云へる。著者はかゝる見地から不連続流物体の空気抵抗が レイノルズ 数 に対し如何なる関係を示すかを構造物の主要部材に対して風洞実験を試み以上の レイノルズ 数 に対する考察の是非を明かにした。

第 2 図

第 3 図 円柱体附近の静圧の変化 (前後)

第 4 図 円柱体附近の静圧の変化 (上下)

4. 不連続流物体のレイノルズ数に対する風洞試験

(1) 流れの物体に依る変化の最大限度 風洞実験は第 2 図で示す様に二次元流で行ふこととし両端の廻流を除くために厚さ 5mm の黄銅製の 2 枚の板をピアノ線で吊し板の周辺は流れの乱れを防ぐために流線型となし模型は凡て木製表面はニス塗としたものを用いた。最初に補正の意味でこの種実験に際し風上の旋みの部分及び風下の渦動領域が両側の板の狭小なるために板の後方から流れが廻流し低圧部分に流れ込み渦動領域の圧力に変化を與へる様な場合は往々にしてあるから先づ円柱、三角柱、四角柱、並に等辺山型鋼材を以て流れの前後及び上下方向に及ぼす影響を検べることにし流れに対する模型中心線の方角に対し静圧の変化を測定し模型のための流れの乱れた範囲を検べた。而して任意の点における静圧は次式に依つた

$$P = \frac{Pr - P_0}{P_0} \dots (22)$$

但し Pr = 各点の静圧、

P_0 = 同位置における物体なき時の静圧、

模型は板に取付け両側に於て所要の方向に回轉出来る様に於てある。 h を模型の巾、 l を模型断面の中心より前後及び上下方向に到る距離を示すものとして次の様な結果を得た。

第 3 図は円柱体の流れに対し前後距離の影響を示し、第 4 図は上下方向の影響を示す。円柱体は流れの方向に対して前方は約直径の 8 倍、後方は 18 倍の距離迄乱し上下方向に対しては約 3.5 倍に影響することを知る。第 4 図及び第 5 図は三角柱体の前後及び上下方向の影響を示し流れの方向に依り一概に云ふことは出来ぬが前方に於て約 8 倍、後方に対して

第 5 図 三角柱体附近の静圧の変化(前後)

第 7 図 正方形柱体附近の静圧の変化(前後)

第 9 図 矩形柱体附近の静圧の変化(前後)

は約 20 倍の距離に影響し、上下方向に対しては約 5 倍の変化を與へると云へよう。第 7 図及び第 8 図は正方形柱のもので前方は 10 倍、後方は約 28 倍、上下方向に対しては約 5.5 倍の距離に影響する。第 9 図及び第 10 図は矩形柱体の場合にして巾に対し高さの大きな時は上下の影響は次第に小さくなる。その他は正方形柱体と大同小異である。

第 11 図及び第 12 図は等辺型鋼柱の場合で前後は殆ど正方形柱体と変わりなく、流れの方向に依て勿論異なるが上下方向に対して約 6 倍程度の距離に影響するものと云へる。

(2) C_w とレイノルズ数との関係 第 12 図迄の物体の前後及び上下方向の流れへの影響を考慮して第 2 図に示す様な方法を以て二次元流に対する各種構造部材の空気抵抗係数を種々なるレイノルズ数に対して測定した。この時の測定の方法としては最初に両側の板及び吊線の抵抗を種々なる岐点圧に対して予め測定し、次に部材模型を取付けた時の全抵抗を測定し測定時における各場合の相当岐点圧に対して前者を後者より引去りその値を以て模型の空気抵抗と

第 6 図 三角柱体附近の静圧の変化(上下)

第 8 図 正方形柱体附近の静圧の変化(上下)

第 10 図 矩形柱体附近の静圧の変化(上下)

第 11 図 等辺型鋼柱体附近の静圧の変化(前後)

第 12 図 等辺型鋼柱体附近の静圧の変化(上下)

した。勿論この場合には両端の廻流は除れ二次元流として取扱ふことが出来るが模型は両側の板の表面における境界層の影響を受けて、両端に於ては中央部分と多少異なる流れの状態を呈することは明かである。併し

境界層計算の結果から見ても明か様に板の表面における境界層の厚さは模型位置に於て僅かに 3~4 mm 程度である故に流れに対する影響も模型の全抵抗の大きさに比較して省略して差支へない程度のものである。従てこの影響は省略した。この場合の空気抵抗係数及び揚力係数は次式に依て計算した。

$$\left. \begin{aligned} C_w &= \frac{W}{\frac{1}{2} \rho V^2 Fr} = \frac{W}{q Fr} \\ C_z &= \frac{F_z}{\frac{1}{2} \rho V^2 Fr} = \frac{F_z}{q Fr} \end{aligned} \right\} \dots (23)$$

ρ : 空気密度 ($\text{kg, s}^2/\text{m}^4$),

V : 風速 (m/s).

但し W 及び F_z は測定値、 q は岐点圧 Fr は標準面積で l に対して両板間の

距離を乗じた面積を取り、模型を回轉した場合に対しても常にこの値は一定にして計算を行つた。 l は各図に示す長さを採用し、レイノルズ数の計算は次式に依る。

$$R = \frac{\mu V l}{\rho} = \frac{V l}{\nu} \dots (24)$$

μ は空気の粘性係数で $\mu \cdot \rho$ の値は次式で算出した。

$$\mu = 0.000001821 \{1 + 0.00276 (t - 15^\circ)\} \dots (25)$$

$$\rho = \frac{1.295}{8.8} \left(\frac{1}{1 + 0.004t} \right) \frac{\rho}{760} \dots (26)$$

但し ρ : atm (Hg mm), t : 気温 ($^\circ\text{C}$)

第 13 図に示す様に円柱に於ては各所における研究発表したものと同様な関係を示し、レイノルズ数に対し C_w の変化の状況はレイノルズ数が小さい表面における流れが層流と見做される程度では剝離点は上下の 2 点附近に常に剝離を起し殆どその移動を見ないがレイノルズ数が 2.5×10^5

[第 3 巻 第 12 号]

を越える位から層流から渦流に
変り剥離点も次第に後方に移動
し 2.8×10^5 位から急に移動を
急速に始めて渦動領域を狭め、
従て C_w も急に減少しレイ
ノルツ数が $5 \times$

10^5 程度に於て 限界レイノルツ数 が存在することは想像される。

これに対し (II) (III) の様な半円柱体に於ては レイノルツ数の小さい時は稍々円柱の様な状態を呈するが レイノルツ数が大きくなると最早や剥離点は移動せず後部の角の点から常に剥離し円柱の様に急に C_w が減少する様な現象は呈しない。(V) に於ては上面は最初より剥離点は上面後縁より起

第 13 図 円柱半円柱及び欠円柱の C_w レイノルツ数の関係

第 14 図 円板及び矩形柱体の C_w と レイノルツ数の関係

るが下面は円柱体と全く同様な状態なるを以て後面の渦動領域は急激な変化はないと雖も徐々に変化し従て C_w も次第に減少し或る レイノルツ 数に対して限界尺数が存在することも推定することが出来る。(IV) の如き場合では最初 レイノルツ数の小さい時は相當変化はあつても レイノルツ 数が 1.2×10^5 附近からは剥離点は前面の上下点 2 点に固定し、少しも移動を起さない。従てその レイノルツ 数以上の状態で

第 1 表 円及び半円、欠円断面を有する柱体の C_w とレイノルツ数 (R) の数値

円柱		II		III		IV		V	
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w
0.864 7	1.207	0.702 9	1.060	0.701 9	1.002	0.625 6	2.032	0.581 9	0.439
1.007 9	1.206	0.851 6	1.055	0.811 6	1.001	0.735 7	1.965	0.672 9	0.437
1.261 6	1.206	1.034 2	1.045	0.957 1	1.091	0.821 7	1.924	0.779 9	0.424
1.567 0	1.211	1.461 7	1.025	1.124 3	1.092	0.951 1	1.864	0.919 6	0.423
1.908 5	1.195	1.701 9	1.010	1.386 4	1.081	1.075 6	1.832	1.183 6	0.411
2.080 6	1.200	1.932 5	0.982	1.700 5	1.055	1.257 3	1.789	1.484 4	0.406
2.260 8	1.194	2.196 3	0.976	2.010 8	1.054	1.505 5	1.790	1.800 1	0.365
2.609 9	1.186	2.486 1	0.955	2.171 9	1.050	1.771 6	1.765	2.190 6	0.370
2.879 6	1.171	2.751 6	0.947	2.439 1	1.052	2.063 1	1.777	2.390 6	0.361
3.086 5	1.145	2.998 4	0.934	2.635 5	1.051	2.501 9	1.779	2.701 4	0.355
3.200 7	1.110	3.241 7	0.929	2.900 8	1.055	2.760 3	1.775	3.019 8	0.340
3.446 8	1.062	3.481 5	0.934	3.196 6	1.042	2.966 6	1.784	3.307 7	0.350
3.640 7	1.004	3.802 7	0.905	3.499 5	1.031	3.245 1	1.786	3.500 6	0.347
3.900 8	0.942	4.011 6	0.882	3.717 7	1.035	3.721 5	1.783	3.941 1	0.325
4.200 5	0.849	4.210 9	0.880	3.986 3	1.033	3.958 6	1.782	4.211 6	0.316
4.341 9	0.820	4.581 7	0.875	4.275 6	1.032	4.135 2	1.775	4.431 8	0.314

第 2 表 円板及び矩形柱体の C_w とレイノルツ数 (R) の数値

円板		$b/h=0.480$		$b/h=1$		$b/h=0.445$		$b/h=0.265$		$b/h=0.177$		$b/h=0.133$		$b/h=0.106$	
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w
0.635 7	2.236	0.617 0	2.143	0.605 8	2.020	1.063 2	0.555	0.962 4	0.251	1.024 1	0.143	1.375 2	0.118	1.507 9	0.097
0.810 9	2.232	0.786 4	2.135	0.710 8	2.019	1.260 4	0.553	1.207 4	0.251	1.235 1	0.145	1.576 2	0.117	1.829 6	0.098
0.900 9	2.231	0.926 4	2.134	0.781 2	2.016	1.464 1	0.542	1.418 2	0.248	1.401 9	0.143	1.691 9	0.116	2.011 1	0.096
0.996 8	2.220	1.126 4	2.133	0.889 2	2.009	1.607 6	0.535	1.752 6	0.245	1.603 5	0.139	1.901 4	0.115	2.208 9	0.095
1.376 8	2.215	1.346 2	2.142	1.196 4	2.006	1.907 6	0.526	2.086 1	0.242	2.017 2	0.131	2.216 4	0.111	2.631 9	0.093
1.796 9	2.210	1.506 4	2.130	1.439 6	2.004	2.251 5	0.516	2.186 4	0.241	2.246 3	0.128	2.385 6	0.108	2.956 3	0.093
2.018 0	2.207	1.806 5	2.122	1.609 6	2.007	2.376 1	0.523	2.456 9	0.238	2.519 8	0.122	2.752 6	0.105	3.500 8	0.089
2.206 3	2.205	1.990 6	2.120	1.806 4	2.005	2.630 7	0.520	3.018 7	0.233	2.759 8	0.121	3.196 1	0.099	4.208 7	0.085
2.816 4	2.203	2.200 1	2.119	2.019 0	2.001	2.875 0	0.501	3.245 1	0.232	3.175 6	0.113	3.756 1	0.096	4.981 1	0.083
3.026 9	2.201	2.580 6	2.118	2.247 1	2.001	3.519 6	0.509	3.998 6	0.229	4.019 8	0.110	4.399 6	0.096	5.508 6	0.082
3.205 6	2.200	3.009 6	2.110	2.456 3	2.002	3.801 9	0.510	4.927 1	0.225	4.516 3	0.108	5.006 3	0.094	5.905 5	0.082
4.019 9	2.200	3.256 0	2.105	2.676 0	2.012	4.242 5	0.509	5.524 7	0.226	5.256 3	0.108	5.659 9	0.093	6.651 5	0.083
4.536 7	2.205	3.862 1	2.100	2.826 4	2.011	4.768 2	0.508	6.256 3	0.225	5.751 1	0.104	6.375 2	0.094	7.600 1	0.084
5.027 9	2.206	4.326 0	2.105	3.156 3	2.008	5.251 6	0.514	7.375 2	0.225	6.751 4	0.103	7.161 1	0.093	8.211 6	0.083
5.582 6	2.210	4.762 8	2.120	3.527 6	2.005	5.725 6	0.509	7.721 9	0.224	7.256 1	0.102	7.682 5	0.091	8.671 4	0.082
6.028 5	2.215	5.257 8	2.128	—	—	7.228 6	0.502	8.367 4	0.224	7.820 4	0.101	8.459 9	0.089	9.557 1	0.081

昭和 12 年 8 月]

第 15 図 三角柱体の C_w , C_z と
レイノルズ数の関係

第 16 図 四角柱体の C_w , C_z と
レイノルズ数の関係

は C_w はレイノルズ数に無関係と云つて差支へない。第 14 図の円板の場合は最初より剥離点は上下の 2 点で殆ど移動せず従て C_w はレイノルズ数に対して一定値を取る。これに反して、矩形柱体の様なものは b/h が大きい間は剥

離点の移動は殆どあり得ないが b/h が小さくなるに連れ C_w の値もレイノルズ数の増大に依て変化する。この現象は既に述べた様に空気抵抗の分類に於て前面の淀み及び後面の渦動領域に依る抵抗よりも寧ろ摩擦抵抗の方が大となり、この抵抗は μ に大いに関係を持つものであるから表面の流れの状態がレイノルズ数に対して次第に変化し又剥離点もレイノルズ数の変化ある毎に変わる。従て C_w はレイノルズ数に対して変つた値を取ると考へることが出来る。 b/h が減少する場合はこれが ∞ となる様な薄い板では全部摩擦抵抗となることから推してもレイノルズ数に依て C_w の値が変ることは明である。従て矩形柱体の様なものは $b/h \leq 0.4$ 以下ではレイノルズ数に依て C_w の値は変ると考へて良からう。

第 15 図は三角柱体の C_w とレイノルズ数との関係、第 16 図は四角柱体のそれを示し孰れも図の様に θ を取り、代表的角度に対して C_w とレイノルズ数の関係を調べたものである。剥離点はレイノルズの値の如何に拘はらず殆ど移動の現象は無い、従て結果が示す様に C_w はレイノルズ数の小なる 10^5 以下を除き殆ど一定値を取る。図中負号は下向

第 3 表 三角柱体の C_w , C_z とレイノルズ数 (R) の数値

$\theta=0^\circ$		$\theta=30^\circ$			$\theta=60^\circ$		$\theta=90^\circ$		
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z
0.756 0	1.905	0.775 2	1.953	1.211	0.625 1	1.183	0.764 8	1.605	1.226
0.875 6	1.885	0.925 5	1.942	1.206	0.799 8	1.176	0.889 0	1.612	1.219
0.990 5	1.899	0.982 1	1.941	1.200	0.923 6	1.185	1.105 8	1.614	1.215
1.305 6	1.890	1.195 6	1.935	1.195	1.156 8	1.176	1.396 2	1.608	1.209
1.560 5	1.892	1.495 2	1.934	1.205	1.359 8	1.182	1.659 2	1.608	1.209
1.852 1	1.892	1.746 1	1.935	1.198	1.589 0	1.175	1.842 5	1.606	1.208
2.120 0	1.891	1.968 2	1.935	1.196	1.859 6	1.176	2.168 1	1.602	1.207
2.305 0	1.891	2.175 6	1.932	1.192	2.176 3	1.173	2.391 5	1.602	1.218
2.498 6	1.889	2.386 5	1.933	1.195	2.398 2	1.180	2.581 5	1.615	1.219
2.700 0	1.885	2.586 1	1.930	1.194	2.736 8	1.181	2.796 0	1.614	1.219
2.905 3	1.883	2.798 1	1.956	1.196	2.978 1	1.181	2.961 6	1.612	1.210
3.105 6	1.886	3.039 6	1.916	1.192	3.198 6	1.179	3.110 1	1.615	1.211
3.306 0	1.891	3.256 1	1.925	1.202	3.378 1	1.175	3.361 8	1.611	1.212
3.507 0	1.895	3.456 2	1.930	1.200	3.582 6	1.183	3.596 2	1.613	1.214
3.695 6	1.898	3.685 0	1.929	1.195	3.796 2	1.183	3.794 2	1.608	1.210
3.962 5	1.889	3.950 6	1.928	1.198	3.975 9	1.180	3.975 6	1.601	1.213

第 4 表 四角柱体の C_w , C_z とレイノルズ数 (R) の数値

$\theta=0^\circ$		$\theta=15^\circ$			$\theta=30^\circ$			$\theta=45^\circ$	
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w
0.605 5	1.575	0.605 7	1.401	0.080	0.615 6	1.193	0.475	0.598 6	2.040
0.811 5	1.532	0.793 8	1.360	0.065	0.779 1	1.160	0.463	0.785 6	2.025
1.019 6	1.479	1.098 1	1.350	0.055	1.028 7	1.141	0.448	1.036 1	2.010
1.359 6	1.476	1.364 5	1.346	0.045	1.356 1	1.138	0.445	1.396 0	2.008
1.729 6	1.436	1.705 6	1.351	0.042	1.655 3	1.137	0.444	1.648 5	2.006
1.998 2	1.440	1.968 1	1.339	0.040	1.986 1	1.105	0.450	1.978 3	2.005
2.183 6	1.438	2.190 0	1.340	0.041	2.198 5	1.103	0.460	2.196 8	1.996
2.396 8	1.411	2.398 1	1.351	0.041	2.398 2	1.100	0.498	2.400 5	1.985
2.605 8	1.426	2.608 6	1.339	0.039	2.600 5	1.120	0.486	2.625 1	1.983
2.801 6	1.454	2.836 1	1.350	0.038	2.825 1	1.100	0.435	2.863 7	2.010
3.068 4	1.475	3.048 1	1.346	0.036	3.078 6	1.105	0.440	3.096 3	1.996
3.308 2	1.386	3.300 5	1.305	0.037	3.300 0	1.104	0.445	3.336 4	1.999
3.596 1	1.442	3.526 0	1.336	0.038	3.598 4	1.103	0.435	3.576 1	1.999
3.796 9	1.446	3.797 7	1.321	0.039	3.799 9	1.105	0.441	3.779 0	1.989
4.001 9	1.472	3.947 1	1.320	0.041	3.989 6	1.105	0.451	3.936 1	2.015
4.196 0	1.469	4.156 8	1.338	0.042	4.196 3	1.120	0.450	4.175 0	1.998

第 5 表 第 17 図 (I) の場合の C_w と レイノルズ数 (R) の数値

六角柱体		八角柱体		十角柱体		十二角柱体		円柱	
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w
0.771 1	1.619	0.775 7	1.532	0.700 6	1.455	0.796 8	1.289	0.864 7	1.207
0.952 5	1.615	0.876 3	1.529	0.920 1	1.432	0.986 7	1.282	1.007 9	1.206
1.146 1	1.612	0.964 1	1.512	1.153 0	1.405	1.296 3	1.272	1.261 6	1.206
1.505 5	1.608	1.198 2	1.491	1.336 0	1.390	1.486 3	1.267	1.567 0	1.211
1.705 6	1.585	1.471 0	1.488	1.475 0	1.392	1.839 1	1.255	1.908 5	1.195
2.100 6	1.582	1.761 9	1.487	1.600 3	1.395	2.005 1	1.250	2.080 6	1.200
2.386 7	1.589	1.981 1	1.485	1.936 8	1.388	2.268 1	1.226	2.260 8	1.194
2.600 9	1.569	2.256 8	1.486	2.196 6	1.385	2.501 6	1.217	2.609 9	1.186
2.876 3	1.585	2.516 1	1.484	2.416 8	1.368	2.720 0	1.212	2.879 6	1.171
3.107 8	1.576	2.796 1	1.481	2.600 8	1.362	2.956 1	1.207	3.086 5	1.145
3.336 4	1.585	3.039 6	1.480	2.976 1	1.352	3.200 8	1.205	3.200 7	1.1101
3.542 9	1.570	3.291 5	1.480	3.176 1	1.348	3.418 0	1.195	3.446 8	1.062
3.799 9	1.572	3.503 9	1.481	3.396 9	1.351	3.667 1	1.198	3.640 7	1.004
4.006 8	1.576	3.750 0	1.480	3.618 6	1.349	3.886 2	1.178	3.900 8	0.942
4.236 9	1.565	3.999 6	1.479	3.799 2	1.355	4.167 1	1.162	4.200 5	0.849
4.399 6	1.564	4.200 3	1.480	4.019	1.350	4.329 6	1.154	4.341 9	0.820

きの揚力を示す。

第 17, 18 図は六角柱体、八、十、十二角柱体及び円柱の C_w とレイノルズ数の関係で柱体断面の辺数を次第に増して円柱に近づけ C_w とレイノルズ数の関係を比較したものにして両図は風の方が角に當る場合及び平面に當る場合に対する結果で

第 17 図 六、八、十、十二角形として辺数を次第に円柱に近づけた柱体の C_w とレイノルズ数の関係 (1) 第 18 図 六、八、十、十二角形として次第に円柱に近づけた柱体の C_w とレイノルズ数の関係 (2) 第 19 図 等辺型鋼柱体の C_w, C_z とレイノルズ数の関係

昭和 12 年 8 月]

第 6 表 第 18 図 (II) の場合の C_w とレイノルズ数 (R) の数値

六角柱体		八角柱体		十角柱体		十二角柱体	
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w
0.875 9	1.312	0.796 3	1.250	0.700 5	1.183	0.831 5	1.125
0.996 1	1.308	0.886 1	1.245	0.989 0	1.192	0.943 0	1.142
1.200 8	1.306	0.985 9	1.243	1.196 0	1.193	1.023 1	1.145
1.400 9	1.298	1.485 6	1.245	1.395 8	1.183	1.265 3	1.132
1.667 1	1.296	1.759 1	1.241	1.598 2	1.176	1.491 0	1.134
2.008 9	1.300	2.019 6	1.238	1.850 1	1.165	1.690 0	1.142
2.321 6	1.304	2.233 6	1.198	2.108 0	1.155	1.962 5	1.253
2.518 6	1.290	2.468 6	1.197	2.285 1	1.135	2.405 0	1.101
2.786 3	1.299	2.711 2	1.179	2.519 6	1.123	2.751 5	1.089
3.001 6	1.288	2.963 1	1.190	2.736 1	1.118	3.036 2	1.102
3.200 7	1.296	3.185 6	1.188	2.975 6	1.114	3.263 5	1.085
3.496 9	1.297	3.400 6	1.187	3.235 6	1.112	3.462 5	1.095
3.701 9	1.289	3.620 1	1.190	3.446 2	1.111	3.665 1	1.076
3.901 8	1.305	3.985 2	1.191	3.684 0	1.120	3.810 0	1.072
4.119 6	1.298	4.100 9	1.194	3.826 0	1.134	4.006 0	1.063
4.376 5	1.297	4.208	1.195	4.046 0	1.108	4.196 0	1.047

ある。図から見ても明かな様に六角柱体は八角柱体より、八角柱体は十角柱体より、孰れも C_w はレイノルズ数に対して変化の量は減少してゐる。即ち辺数を増すに従ひ次第に C_w とレイノルズ数の関係も円柱に近づき実験結果から見ても大体十角形柱体以上に於てはレイノルズ数の増加に伴ひ C_w も減少し円柱の様に限界レイノルズ数が存在すること

第 20 図 不等辺型鋼柱体の C_w, C_z とレイノルズ数の関係

も推定得る。従て正多角形柱体に於ては角を有すると雖も辺数の多い場合には C_w もレイノルズ数に依て変化を来たし、この現象は辺数が多くなると剝離点は一つの角からレイノルズ数の増加に伴ひ次の角に移り円柱の様に連続的に移動はせず不連続的に角から角に移動するものと考へられる。この場合 C_w とレイノルズ数の関係は逆に円柱から辺数を次第に減じて C_w レイノルズ数の関係を見るも如何なる傾向を持つかは自から明かである。

第 19, 20 図は構造部材として最も良く使用される等辺型鋼及び不等辺型鋼の C_w , C_z とレイノルズ数の関係を示し風向きは図に示す様に θ を取り代表的に図の様な角度に対して C_w , C_z とレイノルズ数との関係を示したものである。かかる断面に対しては極く小さいレイノルズ数を除き殆ど C_w はレイノルズ数に無関係でレイノルズ数が 10^5 以上であればこの実験範囲では C_w , C_z は一定 θ に対して不変であると云ひ得る。

第 21 図 I 断面型钢柱体の C_w , C_z とレイノルズ数の関係

第 22 図 Z 断面型钢柱体の C_w , C_z とレイノルズ数との関係

剝離点の移動の現象も各レイノルズ数を通じ殆ど一定個所を離れず常に同一点から剝離を起す。

以下 I 型断面、Z 型断面、溝型断面、T 型断面の各柱体に就て二次元における C_w , C_z とレイノルズ数の実験結果を示せば、第 21~24 図の様になり全く同様な観察を下すことが出来る。

結 論

以上の C_w 並に C_z とレイノルズ数の関係に対する理論考察及び風洞実験結果から大体次の様に結びを附けることが出来よう。

第 23 図 溝型断面柱体の C_w , C_z とレイノルズ数との関係

第 24 図 T 型断面柱体の C_w , C_z とレイノルズ数との関係

第 7 表 等辺型钢柱体の C_w , C_z とレイノルズ数 (R) の数値

$\theta=0^\circ$			$\theta=30^\circ$			$\theta=60^\circ$			$\theta=85^\circ$			$\theta=120^\circ$			$\theta=135^\circ$		
$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	
0.845 6	2.018	0.105	0.751 9	1.512	0.914	0.750 9	1.006	0.237	0.765 3	1.351	2.355	0.763 5	2.275	0.738	0.755 2	2.539	
0.935 2	2.025	0.115	0.842 9	1.520	0.902	0.857 1	1.079	0.198	0.950 3	1.372	2.360	0.891 9	2.309	0.763	0.940 8	2.536	
1.219 8	1.985	0.109	0.942 9	1.516	0.936	0.965 0	1.075	0.187	1.136 4	1.368	2.368	1.069 0	2.335	0.751	1.296 3	2.528	
1.657 2	2.018	0.092	1.121 9	1.507	0.890	1.109 8	1.048	0.156	1.450 1	1.337	2.375	1.139 0	2.338	0.769	1.591 9	2.511	
1.757 2	2.025	0.117	1.500 9	1.463	0.904	1.440 8	1.037	0.159	1.675 1	1.332	2.369	1.598 2	2.339	0.770	1.896 2	2.509	
1.896 9	2.023	0.087	1.801 9	1.506	0.908	1.684 6	1.036	0.158	1.920 8	1.346	2.376	1.837 1	2.336	0.779	2.196 9	2.506	
2.037 5	2.016	0.092	2.130 9	1.529	0.901	1.921 5	1.057	0.150	2.090 6	1.350	2.365	2.200 9	2.317	0.772	2.396 8	2.500	
2.236 1	1.990	0.097	2.406 3	1.512	0.903	2.071 5	1.062	0.162	2.436 0	1.351	2.357	2.420 3	2.319	0.775	2.691 6	2.509	
2.400 9	1.987	0.098	2.836 4	1.505	0.892	2.426 3	1.048	0.156	2.736 5	1.336	2.351	2.671 8	2.326	0.777	2.946 3	2.505	
2.549 1	1.982	0.101	3.051 7	1.500	0.882	2.718 1	1.034	0.154	3.021 5	1.324	2.320	2.981 7	2.321	0.764	3.231 8	2.487	
2.796 3	2.005	0.104	3.507 1	1.486	0.876	3.019 2	1.027	0.164	3.427 6	1.305	2.334	3.276 3	2.336	0.760	3.486 7	2.499	
3.291 0	2.004	0.109	3.715 6	1.492	0.879	3.600 6	1.039	0.168	3.709 1	1.301	2.346	3.536 4	2.340	0.772	3.777 7	2.494	
3.600 1	2.016	0.098	4.007 2	1.491	0.884	3.851 6	1.037	0.157	3.996 0	1.321	2.357	3.800 7	2.347	0.776	4.031 6	2.497	
3.899 2	2.007	0.099	4.286 3	1.499	0.890	4.218 4	1.015	0.159	4.200 6	1.326	2.346	4.101 8	2.341	0.814	4.336 3	2.481	
4.200 8	2.005	0.104	4.536 4	1.490	0.800	4.521 9	1.020	0.150	4.520 2	1.339	2.352	4.410 6	2.346	0.779	4.587 2	2.489	
4.486 3	2.019	0.107	4.781 1	1.485	0.825	4.771 5	1.036	0.153	4.725 3	1.330	2.356	4.618 9	2.351	0.772	4.798 9	2.496	

第 8 表 不等型鋼柱体の C_w, C_z とレイノルズ数 (R) の数値

$\theta=0^\circ$			$\theta=30^\circ$			$\theta=60^\circ$			$\theta=180^\circ$		$\theta=200^\circ$		
$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	R_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z
0.801 5	1.895	1.597	0.801 9	2.219	0.416	0.851 7	2.057	1.095	0.751 3	1.981	0.801 9	1.505	0.841
0.917 1	1.882	1.575	0.926 3	2.210	0.386	0.928 6	2.028	1.086	0.843 9	1.962	0.861 8	1.482	0.831
1.072 6	1.851	1.571	1.081 9	2.196	0.354	1.136 8	2.005	1.034	0.900 7	1.952	0.968 3	1.451	0.829
1.301 7	1.842	1.590	1.201 1	2.181	0.359	1.496 1	1.981	1.015	1.053 2	1.923	1.246 8	1.423	0.830
1.521 9	1.821	1.545	1.420 9	2.193	0.332	1.723 6	1.980	1.005	1.298 5	1.911	1.507 9	1.420	0.819
1.805 7	1.819	1.544	1.684 9	2.161	0.310	1.931 7	1.978	1.001	1.581 6	1.900	1.720 8	1.426	0.813
1.999 6	1.801	1.505	1.923 7	2.161	0.311	2.191 8	1.975	1.000	1.860 7	1.910	2.027 6	1.423	0.810
2.201 5	1.805	1.534	2.291 7	2.146	0.301	2.459 8	1.976	1.025	2.021 8	1.921	2.276 3	1.420	0.837
2.407 5	1.796	1.515	2.501 9	2.141	0.310	2.736 0	1.982	1.020	2.328 6	1.919	2.536 3	1.429	0.845
2.731 8	1.815	1.520	2.796 1	2.136	0.325	2.996 0	1.984	1.022	2.601 9	1.905	2.800 8	1.431	0.821
3.027 9	1.795	1.531	3.126 3	2.164	0.330	3.287 5	1.987	1.012	2.911 8	1.899	3.020 5	1.435	0.802
3.311 6	1.825	1.520	3.371 9	2.215	0.315	3.521 8	1.971	1.008	3.208 6	1.882	3.306 5	1.426	0.810
3.687 1	1.805	1.511	3.608 5	2.175	0.295	3.796 7	1.982	1.021	3.551 8	1.880	3.691 5	1.367	0.823
3.891 7	1.803	1.509	3.799 6	2.143	0.289	4.021 8	1.979	1.009	3.805 9	1.899	3.909 1	1.386	0.809
4.151 5	1.785	1.502	4.119 1	2.150	0.291	4.231 9	1.990	1.989	4.098 2	1.910	4.140 8	1.402	0.805
4.392 9	1.790	1.501	4.417 0	2.131	0.311	4.489 0	1.993	0.997	4.400 3	1.905	4.408 6	1.398	0.819

第 9 表 I 断面型鋼柱体の C_w, C_z とレイノルズ数 (R) の数値

$\theta=0^\circ$		$\theta=15^\circ$			$\theta=30^\circ$			$\theta=45^\circ$	
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w
0.748	1.919	0.832 1	1.635	0.712	0.741 6	2.057	0.194	0.791 5	2.031
0.842 6	1.942	0.965 1	1.614	0.698	0.829 1	2.091	0.257	0.875 6	1.989
0.935 4	1.936	1.026 3	1.546	0.681	0.900 6	2.094	0.246	1.046 3	1.949
1.035 1	1.871	1.200 1	1.549	0.668	0.986 4	2.036	0.204	1.275 1	1.933
1.300 5	1.805	1.315 6	1.548	0.657	1.174 2	2.008	0.196	1.441 9	1.939
1.520 3	1.789	1.572 8	1.560	0.636	1.526 3	2.010	0.220	1.682 7	1.934
1.799 6	1.796	1.842 5	1.545	0.634	1.753 6	2.020	0.236	1.845 1	1.896
2.098 2	1.809	2.153 4	1.540	0.641	2.034 6	2.036	0.231	2.018 9	1.888
2.384 5	1.816	2.396 4	1.572	0.620	2.236 5	2.024	0.209	2.222 6	1.920
2.698 2	1.809	2.600 8	1.576	0.600	2.496 1	2.021	0.211	2.534 2	1.949
2.946 3	1.802	2.875 1	1.536	0.609	2.776 5	2.015	0.206	2.771 5	1.946
3.200 9	1.796	3.132 5	1.539	0.649	2.946 3	2.006	0.202	2.917 6	1.942
3.520 8	1.794	3.756 3	1.544	0.657	3.275 1	1.987	0.200	3.106 9	1.936
3.811 1	1.814	3.601 9	1.538	0.624	3.572 6	1.992	0.219	3.421 9	1.914
4.019 6	1.806	3.892 1	1.532	0.614	3.800 5	1.994	0.190	3.715 0	1.889
4.209 8	1.775	4.135 6	1.529	0.609	4.085 1	1.986	0.199	4.001 5	1.899

第 10 表 z 断面型鋼柱体の C_w, C_z とレイノルズ数 (R) の数値

$\theta=0^\circ$			$\theta=45^\circ$			$\theta=90^\circ$			$\theta=240^\circ$			$\theta=300^\circ$		
$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z
0.557 8	1.982	0.835	0.582 9	1.012	0.819	0.642 8	1.185	0.396	0.582 5	0.548	0.239	0.584 6	1.890	1.263
0.657 8	1.975	0.886	0.692 8	1.023	0.772	0.765 8	1.164	0.385	0.687 5	0.461	0.210	0.672 4	1.886	1.329
0.752 6	1.931	0.889	0.772 5	0.986	0.780	0.872 9	1.119	0.324	0.821 9	0.518	0.243	0.801 9	1.859	1.256
0.857 9	1.895	0.875	0.900 8	0.964	0.801	0.972 6	1.111	0.322	0.915 6	0.517	0.259	0.900 4	1.856	1.229
1.000 9	1.955	0.842	1.128 1	0.978	0.799	1.136 4	1.105	0.321	1.135 2	0.510	0.256	0.985 2	1.832	1.234
1.298 6	1.925	0.840	1.427 6	0.972	0.795	1.372 5	1.095	0.329	1.392 1	0.495	0.241	1.196 9	1.785	1.240
1.623 1	1.900	0.815	1.655 8	0.971	0.790	1.600 6	1.082	0.300	1.632 5	0.482	0.222	1.482 5	1.796	1.271
1.864 5	1.892	0.823	1.936 4	0.964	0.789	1.918 6	1.085	0.277	1.901 8	0.515	0.192	1.800 6	1.799	1.246
2.163 5	1.935	0.820	2.284 6	0.952	0.786	2.153 4	1.119	0.310	2.180 5	0.513	0.182	2.127 9	1.814	1.222
2.300 8	1.940	0.812	2.500 8	0.934	0.775	2.400 8	1.152	0.321	2.408 6	0.510	0.199	2.356 1	1.805	1.201
2.496 9	1.948	0.836	2.684 1	0.925	0.782	2.651 6	1.134	0.324	2.701 9	0.512	0.209	2.657 1	1.812	1.204
2.828 2	1.917	0.839	2.975 1	0.924	0.781	2.918 1	1.116	0.321	2.985 6	0.519	0.225	2.956 3	1.810	1.199
3.096 1	1.890	0.809	3.266 8	0.929	0.743	3.196 3	1.089	0.325	3.284 1	0.505	0.201	3.239 6	1.784	1.220
3.382 5	1.886	0.789	3.557 6	0.935	0.725	3.475 6	1.088	0.296	3.587 1	0.532	0.185	3.471 5	1.775	1.219
3.726 9	1.911	0.832	3.772 8	0.952	0.738	3.732 5	1.092	0.307	3.846 7	0.477	0.200	3.732 5	1.803	1.190
3.980 8	1.926	0.835	3.926 5	0.959	0.723	4.018 9	1.094	0.305	4.028 4	0.569	0.205	3.927 6	1.805	1.185

1. 平行流中に物体が存在しそれがために流れの前後上下が乱される最大限に対しては、

(i) 円柱の場合は前方は直径の約 8 倍、後方は約 18 倍
上下方向は約 3.5 倍である。

昭和 12 年 8 月]

第 11 表 溝型断面柱体 C_w, C_z のとレイノルズ数 (R) の数値

$\theta=0^\circ$		$\theta=30^\circ$			$\theta=60^\circ$			$\theta=120^\circ$			$\theta=150^\circ$		
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z
0.567 5	2.305	0.582 6	1.812	0.886	0.615 3	1.020	0.799	0.651 4	1.405	0.605	0.565 2	1.615	0.710
0.731 5	2.299	0.687 5	1.795	0.835	0.800 5	1.120	0.765	0.785 6	1.417	0.567	0.657 9	1.557	0.705
0.899 2	2.275	0.785 6	1.741	0.805	1.059 6	1.075	0.735	0.901 8	1.386	0.547	0.817 6	1.542	0.679
1.208 9	2.256	0.976 2	1.720	0.781	1.345 6	1.020	0.750	1.078 2	1.339	0.549	1.065 7	1.561	0.624
1.584 2	2.205	1.296 1	1.719	0.802	1.574 2	1.021	0.743	1.440 6	1.335	0.547	1.417 5	1.585	0.620
1.800 2	2.202	1.556 3	1.718	0.820	1.825 6	1.002	0.730	1.719 6	1.332	0.561	1.697 2	1.584	0.622
2.084 6	2.186	1.832 6	1.708	0.819	2.105 8	1.005	0.710	1.942 5	1.305	0.552	2.007 1	1.581	0.614
2.256 7	2.195	2.245 1	1.685	0.809	2.541 5	1.018	0.711	2.275 6	1.304	0.539	2.298 9	1.577	0.603
2.538 9	2.225	2.465 1	1.711	0.800	2.785 1	1.015	0.695	2.536 7	1.312	0.534	2.541 9	1.575	0.600
2.726 5	2.231	2.764 3	1.690	0.769	3.041 4	1.041	0.682	2.800 7	1.305	0.551	2.813 8	1.570	0.608
2.956 3	2.219	3.071 5	1.719	0.770	3.296 3	1.019	0.681	3.089 2	1.301	0.541	3.081 6	1.562	0.592
3.211 5	2.186	3.325 6	1.689	0.775	3.581 2	1.017	0.683	3.426 5	1.345	0.526	3.231 9	1.563	0.597
3.486 5	2.185	3.562 5	1.668	0.785	3.895 2	1.019	0.711	3.667 5	1.322	0.527	3.472 9	1.570	0.611
3.792 5	2.184	3.852 6	1.705	0.805	4.152 2	1.031	0.713	3.942 1	1.295	0.541	3.751 4	1.595	0.605
3.962 1	2.185	4.082 9	1.716	0.813	4.415 0	1.005	0.710	4.205 6	1.296	0.543	3.981 7	1.588	0.601
4.120 5	2.189	4.309 5	1.739	0.825	—	—	—	4.386 5	1.299	0.539	4.398 9	1.536	0.600

第 12 表 T 断面型柱体の C_w, C_z とレイノルズ数 (R) の数値

$\theta=0^\circ$		$\theta=15^\circ$			$\theta=60^\circ$			$\theta=90^\circ$			$\theta=120^\circ$			$\theta=180^\circ$	
$R \times 10^{-5}$	C_w	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w	C_z	$R \times 10^{-5}$	C_w
0.763 4	1.523	0.763 1	2.295	1.261	0.801 9	2.246	0.238	0.765 2	1.923	1.302	0.861 2	1.650	0.632	0.763 1	2.015
0.896 3	1.501	0.880 3	2.285	1.256	0.930 8	2.226	0.309	0.963 2	1.920	1.300	1.026 3	1.555	0.598	0.875 1	1.986
1.008 1	1.482	1.443 6	2.240	1.243	1.036 8	2.205	0.305	1.082 1	1.901	1.295	1.183 6	1.553	0.532	1.008 6	1.976
1.203 6	1.442	1.321 9	2.201	1.221	1.256 1	2.186	0.287	1.226 3	1.905	1.283	1.462 1	1.540	0.510	1.208 6	1.990
1.496 3	1.420	1.486 5	2.186	1.200	1.457 8	2.159	0.260	1.426 5	1.920	1.260	1.700 3	1.539	0.515	1.431 0	2.015
1.786 3	1.419	1.611 5	2.180	1.186	1.684 0	2.179	0.231	1.608 4	1.900	1.226	1.911 2	1.540	0.500	1.503 1	2.026
2.018 6	1.421	1.736 5	2.178	1.185	1.840 9	2.176	0.220	1.720 6	1.915	1.225	2.196 1	1.536	0.476	1.652 3	2.028
2.258 6	1.418	1.921 6	2.206	1.175	2.100 6	2.186	0.219	1.900 9	1.901	1.224	2.496 3	1.515	0.510	1.798 6	2.020
2.526 8	1.410	2.198 6	2.222	1.200	2.286 3	2.196	0.237	2.056 3	1.921	1.227	2.682 0	1.508	0.519	1.976 3	2.011
2.758 3	1.391	2.386 5	2.215	1.208	2.550 6	2.176	0.246	2.350 6	1.912	1.240	2.876 3	1.500	0.521	2.096 1	2.006
3.028 6	1.411	2.608 7	2.210	1.198	2.756 3	2.198	0.240	2.590 6	1.920	1.238	3.096 2	1.501	0.522	2.408 6	1.982
3.268 6	1.410	2.906 5	2.211	1.199	3.089 6	2.193	0.236	2.801 5	1.911	1.246	3.289 6	1.508	0.511	2.703 4	1.975
3.451 6	1.435	3.196 3	2.210	1.198	3.256 3	2.182	0.210	3.158 6	1.912	1.256	3.562 1	1.520	0.503	3.028 6	1.981
3.721 9	1.398	3.476 3	2.230	1.197	3.576 0	2.183	0.218	3.306 4	1.923	1.243	3.698 2	1.496	0.500	3.300 0	1.980
3.956 3	1.395	3.786 3	2.219	1.186	3.796 3	2.180	0.215	3.536 8	1.920	1.209	3.829 0	1.480	0.521	3.539 1	1.979
4.176 8	1.372	3.958 9	2.216	1.199	3.963 0	2.167	0.205	3.829 6	1.920	1.200	4.086 3	1.519	0.510	3.309 1	1.978

(ii) 正三角柱体では前方は一辺の約 8 倍、後方は 20 倍上下は約 5 倍程度である。

(iii) 正方形柱体では前方は一辺の約 10 倍、後方は 28 倍程度で上下は約 6 倍。

(iv) 矩形柱体及び型鋼柱体は風向に依て勿論異なるが大体正方形柱体に等しい前後上下方向への影響を持つと考へて良い。

2. C_w とレイノルズ数の関係に対しては、

(i) 断面に角を有する柱体の空気抵抗はレイノルズ数に余り影響を持たない。

(ii) 正多角形断面の柱体では断面の辺数が大体 10 辺以下では殆どレイノルズ数に無関係であるが、それ以上になると辺数の増すに従ひ円柱の空気抵抗とレイノルズ数に対する様な関係に近づく。

(iii) 矩形断面では $b/h \cong 0.5$ 以下ではレイノルズ数に関係を有す。

(iv) 型断面の柱体ではレイノルズ数が大体 10^5 以下を除き 5×10^5 位迄は空気抵抗はレイノルズ数に無関係として取扱つて差支へない。それ以上のレイノルズ数に対しての変化及び限界レイノルズ数の存在等に就ては実験設備が小規模のため後日の問題とした。

(v) V : 風速 (m/s), L : 物体標準長さ (m)

として圧力 760 mm, 温度 15°C に対してレイノルズ数は約 $R \cong 69\,400\,VL$ であるから風洞の性能にも関係するが今日使用されてゐる Gö 型風洞では約 2.5 m 程度の風洞迄はレイノルズ数に無関係と見做される不連続物体の C_w は一定値を保ちレイノルズ数に左右されないと考へて良からう。

終りに実験に際し種々有益な御高見並に御援助を賜つた大坂帝国大学七里義雄教授に対して厚く御礼を申上げる次第である。