

水路の流速の一測定法

岡部, 淳一

井上, 進

<https://doi.org/10.15017/4743395>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 16, pp.1-34, 1961. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



水路の流速の一測定法

岡 部 淳 一
井 上 進

クロルベンゼン C_6H_5Cl とキシロール $C_6H_4(CH_3)_2$ とに少量の赤の着色剤を加えて比重1の混合液を作る。それを運転中の水路の中でピペットから噴き出すと、多くの液球となつて水と共に流れくだる。この様にして出来た液球の運動を写真観測することによつて、水路の流速(測定範囲 6 cm/sec 乃至 35 cm/sec)と流線とを知ることが出来る。併用された風車型流速計(粟谷陽一, 応用力学研究所所報, 第12号, 昭和33年)の使用法についての簡単な説明を附録としてつけ加える。

1. ま え お き

水の中にそれと比重の等しい浮遊体(固体又は水に溶けない液体)を浮かべ、その運動を観測することによつて流速の分布や流線の状態を知ろうとする方法の特徴は、それが流速の所謂絶対測定法であり、ピトー管やその他の流速計を用いた間接測定法とちがつて、測定に水の温度や粘性などが全然関係しないという点にある。この様な試みは以前からしばしば報告されたところであり、別段耳新しくはないのであるが、筆者は現在実施している研究の一部としてこの方法を実際に用いる機会を持ったので、その部分だけを取り出して述べることにする。筆者の方法に果してどれだけの新しさがあるのか審らかにしなないのであるが、以下の記述が同種の問題、特に流体の緩やかな運動の visualization, に興味を持つておられる読者に少しでも御参考になれば幸いである。

以下、先ず測定を行なわれた水路の概略について述べ(2.1. 水溜めとヘッドタンク, 2.2. 静水槽, 2.3. 水路, 2.4. 流速の変えかた, 2.5. 水路の壁の影響), 次にこの方法とその装置とを具体的に説明し、更にそれによつて得られた結果を掲げる(3.1. 液球, 3.2. 測定装置, 3.3. 風車型流速計, 3.4. 測定結果, 及び注意 1, 2, 3, 4). 最後に附録として、併用された風車型流速計の使用法その他について、必要な範囲内での説明を行なう(1. 風車型流速計, 2. ポンプの連続運転テスト, 3. 水路の流速相関係数).

終りに、この研究を通じて常に御指導と御激励とを忝なくしている山田彦児教授、クロルベンゼンとキシロールとの混合を御教示いただいた竹下健次郎教授、風車型流速計の設計製作に当たられた粟谷陽一氏、及び実験に協力された青木春男君に厚く謝意を表する。

2. 水 路

水路は回流式と呼ばれる形式で、コンクリート製の水溜め、鉄製のヘッドタンク、木製

の水路、及び若干の附属設備から成る（第 1 図、第 2 図、及び写真 (1)、(2)、(3) 参照）。以下その各部に亘り、新しい考案と思われる部分に重点を置いて説明する。

2. 1. 水溜めとヘッドタンク

水は最大容積約 26 m³ のコンクリート製水溜めから、揚水量毎分 2 m³ の主ポンプと同じく毎分 0.54 m³ の補助ポンプとによつてヘッドタンクに供給される。

ヘッドタンク内の水位を一定に保つために、オーバーフロー管がタンクの中心に垂直に設けられ、余分の水を直接水溜めに戻す。オーバーフロー管は捲き上げ装置によつて或範囲内を上下し、タンク内に任意の水位を作ることが出来る。然しポンプの給水量が何かの原因で急に減少して、溢流が止まつた場合にはオーバーフロー管の効果がなくなるので、警報用としてタンクの中に水位調整用接点を取り付けられている。これは垂直距離を 1 cm だけ離された 2 個の電気接点から成り、各々の接点が水面と接触することによつて別々のネオンランプがつく。そこで測定は必ず、“下のランプがついて然も上のランプはきえてゐる”という状態で行なうことにすると、水位の変動は 1 cm に達しないはずである。下の接点の高さを、溢流が辛うじて行なわれる様な水位に一致させておくと、測定に際してオーバーフロー管は常に有効に働らしていることが保証される。

2. 2. 静 水 槽

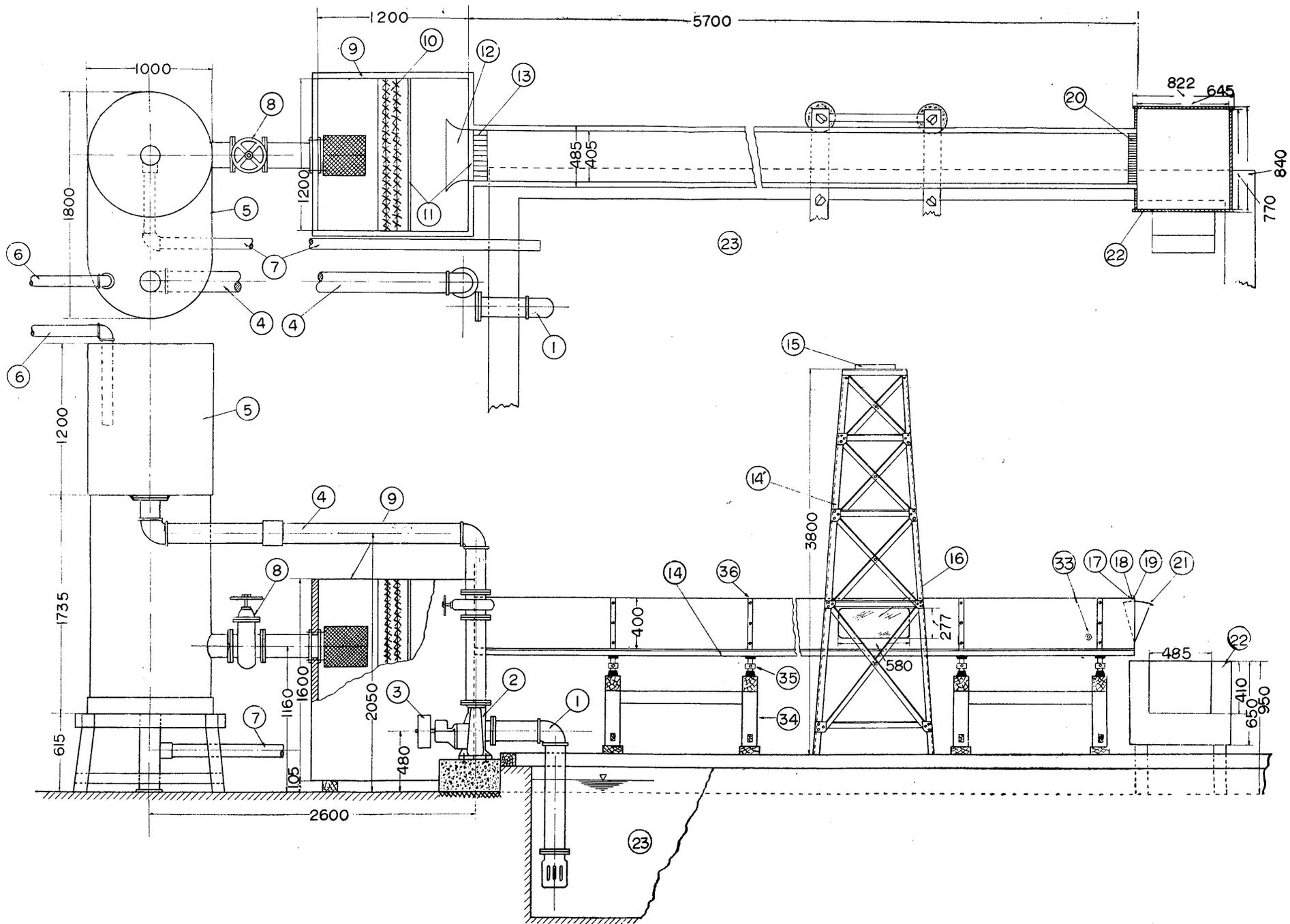
ヘッドタンクを出た水はスルースバルブを経て静水槽にはいる。静水槽は木製で、容積約 2.3 m³、その中にしゆろ（棕櫚）製の渦消し、金網、1 mm 目のサラン網などが置かれている。しゆろの渦消しは我々の試作したもので、しゆろを水平に張られた針金を軸として放射状に密集して植え、長さ約 120 cm、直径約 20 cm の筒状とし、これを流れに直角に多数取り付けられたものである。その利点は渦消しの排列と疎密とを任意に選ぶことが出来、しかもそれは使用中変化しないという事である。静水槽の全容積を有効に利用するために、ヘッドタンクから導かれた水はその吐き出し口を覆つた金網の疎密によつて、大部分斜下方に噴き出る様に設計され、更に渦消しも上方に密、下方に疎に排列され、従つて大部分の水は静水槽の中を大廻りして水路に進入する。

2. 3. 水 路

水路の入口はラッパ管で整形され、次に再びサラン網と金属製格子（固定）とが置かれている。これらの網と格子とは水路に進入して来る渦を消滅させるのに確かに有効であつたけれども、¹⁾ 一方又その抵抗によつて流速を若干低下させた。

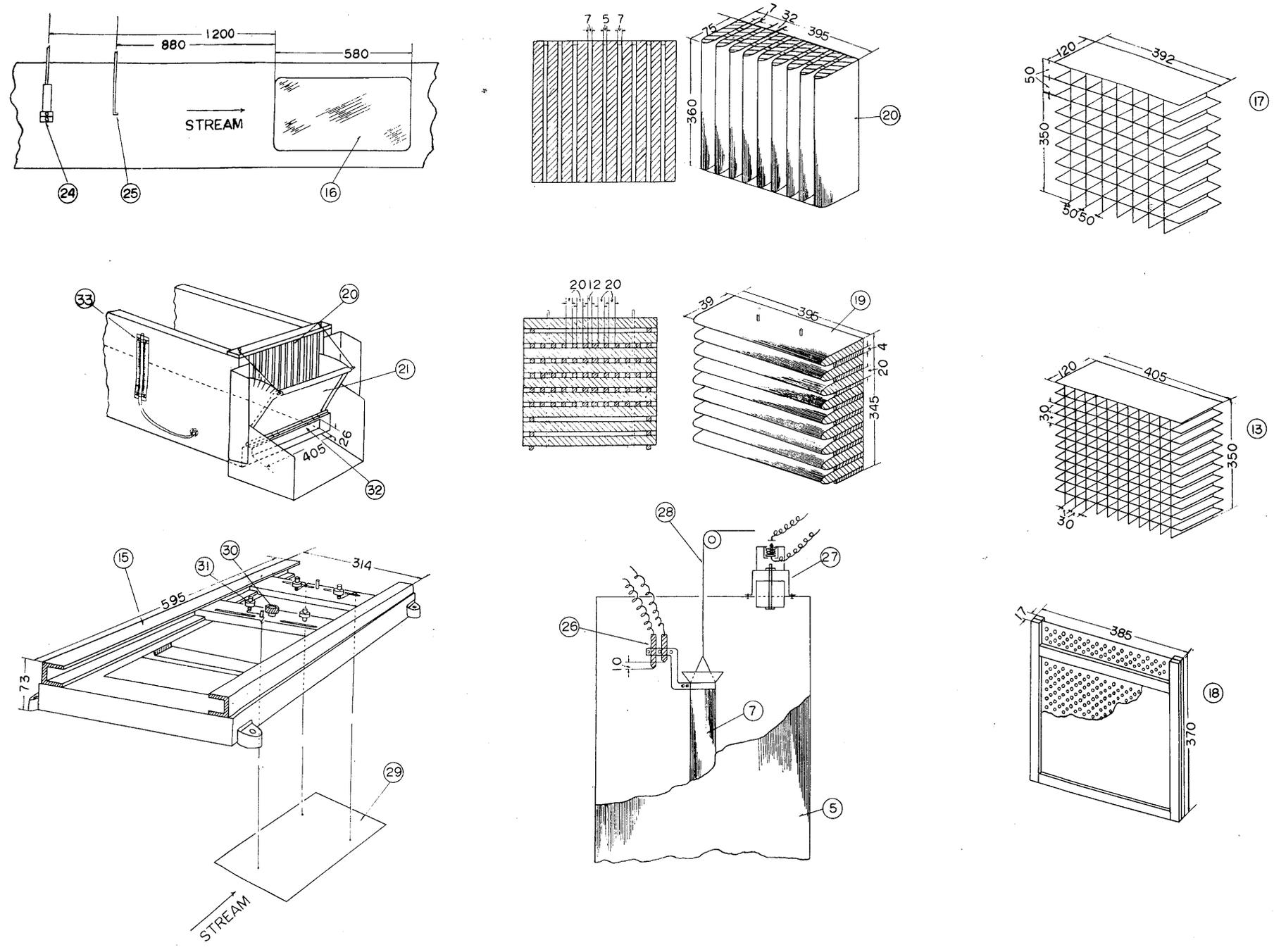
水路は木製で、変形を防ぐために約 1 m おきに 8 個の鉄バンドで締めつけられ、更にコンクリートの土台の上に組まれた頑丈な木製支持台の上に載せられた鉄のアングルに固

¹⁾ 渦の存在は適当な照明を行なうことによつて、水路の底板に薄黒い影となつて示された。



第1図 水路 (その1)

(長さの単位は mm)



水路及び附属品図面番号一覧

- ① 吸込管 (5")
- ② 主ポンプ
(ヘッド 6.5 m, スピード 980, サイズ 125 mm, 揚水量 2m³/min)
- ③ モーター (ポンプ駆動用, 5 HP 3 相誘導電動機)
- ④ 導管 (5")
- ⑤ ヘッドタンク
- ⑥ 補助ポンプ及び導管 (3")
(口径 75 mm, 総揚程 19 m, 揚水量 0.54 m³/min, 回転数 1750 rpm, 駆動 5 HP 3 相誘導電動機)
- ⑦ オーバーフローパイプ (3")
- ⑧ スルースバルブ (5")
- ⑨ 静水槽
- ⑩ しゅうろ製渦消し
- ⑪ サラン網
- ⑫ ラップ管
- ⑬ 金属製格子 (固定)
- ⑭ アングル (75×75×8 mm)
- ⑮ アングル (40×40×5 mm)
- ⑯ 模型懸吊装置
- ⑰ 観測窓
- ⑱ 金属製格子 (可動)
- ⑲ 金網 (可動)
- ⑳ 木製格子 (可動)
- ㉑ 木製格子 (固定)
- ㉒ 水門
- ㉓ 排水槽
- ㉔ 水溜め
(長さ 6.0 m, 巾 3.6 m, 深さ 1.2 m, 容量 26 m³)
- ㉕ 風車型流速計
- ㉖ 流速測定用液球の噴射器
- ㉗ 水位調整用接点
- ㉘ 警報用接点
- ㉙ オーバーフロー管巻き上げ装置
- ㉚ 測定用平板
- ㉛ 水準器
- ㉜ 糸巻き取り装置
- ㉝ 隙間 (底面境界層除去用)
- ㉞ 水位計
- ㉟ 木製支持台
- ㊱ ジャッキ (12 個)
- ㊲ 鉄バンド (8 個)

第 2 図 水 路 (その 2)

(長さの単位は mm)

定されている。アングルと支持台との間には、左右6個宛のジャッキが入れられ、水路を任意の勾配に置くことが出来る。水路の入口から下流へ約 3.8 m 進むと、その附近長さ約 60 cm に亘つて水路の両側がガラス張りの観測窓になっている。水路は下流端に設けられた木製の格子（固定）と水門とで終わり、水は排水槽を経て再び水溜めに戻る。

木製の格子（固定）は若干の隙間をおいて垂直に並べられた 13本の流線形断面の木片から成り、水路の両方の側面に発生する境界層を吸い取つて薄くするために、木片間の隙間は水路の中央部で狭く、両側面附近で広く作られている。更に水路の底面の境界層を吸いとる目的で、格子の脚は下から約 2 cm の長さだけ切り除かれている。一方水門は円弧形に整形された金属板で水平軸の周りに開閉し、その開度は水門にマークされた番号で読み取ることが出来る。水路を流れ下つて来た水の一部分は格子の下の隙間から噴き出し、その他の部分は水門の上を溢れて、共に排水槽に流れ落ちる。従つて上流から伝わつて来た水面波は水路の下流端で反射することなく逃れ去つてしまう。

表面波の影響を更に除き去るために、水路にはその全長に亘つて木製の蓋が取り付けられている。¹⁾ 水を流し始めた時残つた若干の空気が蓋の下に閉じこめられて僅かの自由表面を作るのは避けられないけれども、以上2つの方法によつて表面波の影響を略々除き去ることが出来る。

非常に小さな流速（約 10 cm/sec 以下）を実現するには、水路に余分の抵抗をつけ加える必要が生じる。そのため水路の下流端に別の木製の格子（流線形断面の木片を垂直面内に若干の隙間をおいて水平に並べたもので、必要に応じて木片を1本宛取り外す事が出来る。図には「可動」と記されている）、と金属製格子（可動）、及び金網のうちの1つ、2つ、又は全部を水路に入れる。

最後に、水路の下流端には温度計を吊して水温を計測し、又簡単な水位計を装備して、水路の水位が常に一定に保たれることを確かめる。水位を定められた高さに保つと、水表面は蓋の上面より約 1 cm 高いところ出来る。そして水量を注意深く調節することによつて、実験中の水位計の読みの変動を大体 ± 0.5 mm 以内に収めることが出来た。

水路の上流端と下流端とでは約 2.1 cm の高さの差があり、その間水路の高さは直線的に変化している。水路の全長が約 5.7 m であるので、水路の勾配は約 0.0037 であつて、これは終始不変に保たれた。

2. 4. 流速の換えかた

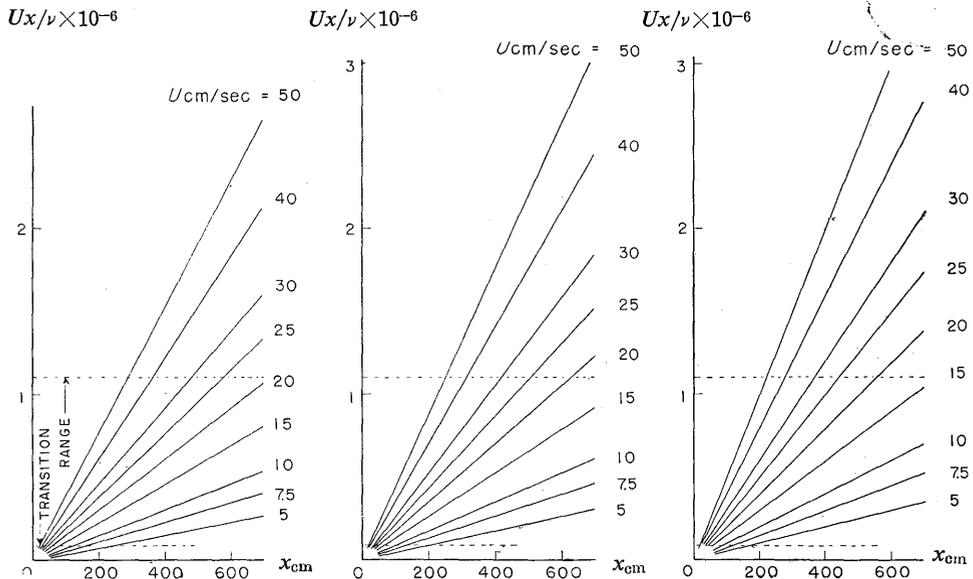
水路の流速を変えるには種々の方法が可能である。それらを列挙すると、i) オーバーフロー管を上下してヘッドタンク内の水位を変える方法、ii) 水路の支持台とアングル材

¹⁾ 但し観測窓の上に相当する部分は、上方から光を当てる必要上、完全に覆つてしまうわけにゆかないので、この部分だけには特別の蓋が使用されている、18頁附録3及び第12図参照。

との間に左右 6 個宛入れられたジャッキによつて水路の勾配を変える方法, iii) 水門の開度を変え, それに応じてポンプとヘッドタンク, タンクと静水槽の間に入れられた 2 つのスルースバルブを調節することによつて水路の水量の釣合いを保つ方法. iv) 低速を得るには水路に抵抗を入れること, 等である. このうち実際に採用されたのは iii) と iv) との 2 つで, 流速を約 6 cm/sec から約 35 cm/sec まで変えることが出来た. 尚その間, 前に述べた様に, 水路の水位は略々一定に保たれた.¹⁾

2. 5. 水路の壁の影響

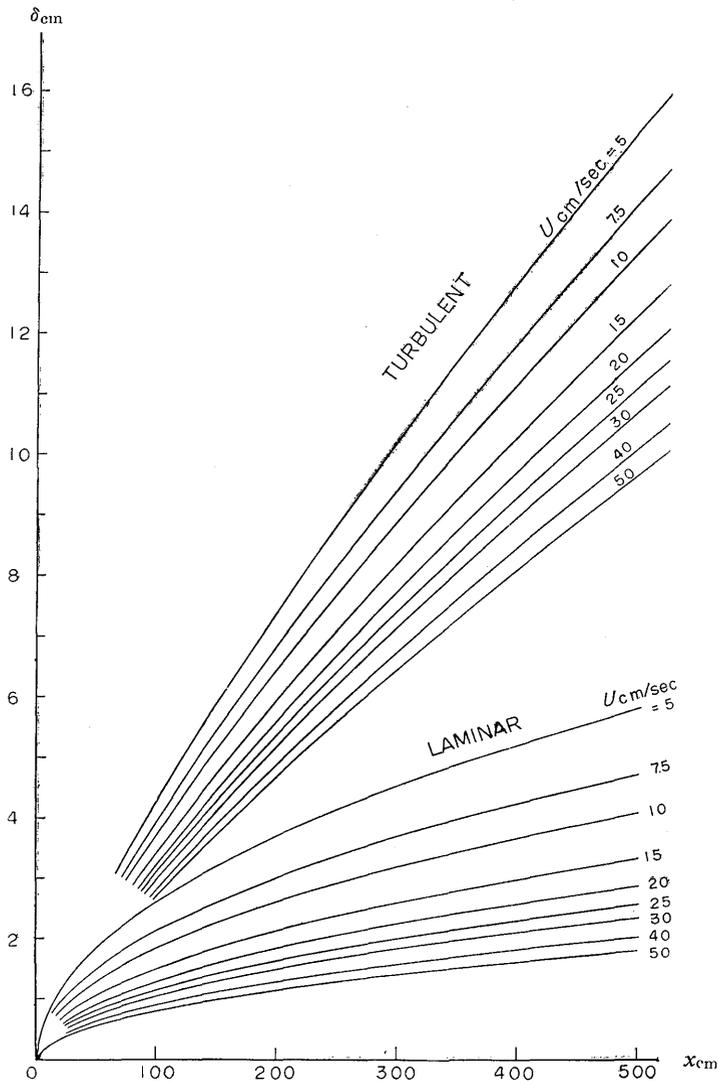
最後に, 水路の壁が流速分布に及ぼす影響, 即ち壁に沿つて発達する境界層について述べる. 水路の入口から壁に沿つて下流へ測つた距離を x cm, 断面の平均流速 (略々境界層外縁の流速と看做されるであろう) を U cm/sec, 水の動粘性係数を ν cm²/sec と書いて, 水路のレイノルズ数 Ux/ν を示したのが第 3 図である. このレイノルズ数が一定の値に達すると, 境界層は層流から乱流へと遷移する. GOLDSTEIN によれば, “平板” に沿う境界層は, 流れの中に元々含まれている乱れの多少や, 板の前縁の状態によつて異なるけれども, x を前縁からの距離として, Ux/ν の値が大体 9×10^4 乃至 1.1×10^6 の範囲



第 3 図 水路のレイノルズ数
水温 左から 10°, 15°, 20°C

¹⁾ 水路の下流端にとりつけられた水位計の読みが一定に保たれることは水路が定常状態で運転されていることの 1 つの指標と考えられるので, iii), iv) の方法によつて新しい流速を実現したとき, 測定は必ず水位計の水位が基準の値に充分落ち付いてから始めることとし, 測定中もときどき水位計を点検して異常のないことを確かめた.

で遷移するものと思われる。¹⁾ この範囲は第3図に“遷移の範囲”として示されている。かりにこの範囲が水路にも亦あてはまるとしても、具体的にその中のどこに我々の場合の遷移レイノルズ数を選ぶべきか、俄には断定出来ない。そこで第4図には、境界層が遷移を起こすことなく最後まで層流に保たれる場合と、入口から既に乱れて乱流境界層として始まる場合との両方の境界層の厚さ δ が種々の流速 U に対して併わせ示されている。



第4図 水路の壁に出来る境界層の厚さ(層流, 乱流)
水温 20°C

¹⁾ GOLDSTEIN, S. *Modern Developments in Fluid Dynamics*, vol. I (1938), p. 71.

水路の壁の境界層の厚さは、簡単のためかりに、無限幅の平板の境界層の厚さで近似されるものと考え、層流の場合には POHLHAUSEN の公式¹⁾

$$\delta = 5.83(\nu x/U)^{1/2} \quad (2.1)$$

を、又乱流に対しては BLASIUS の公式²⁾

$$\delta = 0.37(\nu/Ux)^{1/5} x \quad (2.2)$$

を用いて計算した。但し水温は共に 20°C とし、 ν としては 0.01007cm²/sec という数値を採用した。³⁾ 平板と矩形水路との境界層の厚さの違いを無視することにすれば、我々の場合の δ は (2.1) で与えられるものよりは大きく、(2.2) から計算されるものよりは小さいことが期待される。

然し実際には前に述べた様に我々の水路では、境界層の厚さを減らすために、水路の下流端に於て種々の方法が予め講じられている。即ち、底面の境界層に対しては木製格子(固定)の脚を切り除いて水をその隙間から噴出させることにより、水路の上蓋の内側に出来る境界層は水をして水門上を溢流させることにより、水路両側面の境界層に対しては木製格子の間隙を中央で狭く両脇で広くすることにより、いずれも各部の境界層を吸い取つて薄くする効果を狙う。これらの工夫が実際にどの程度迄有効であつたかを数量的に述べることは今のところ出来ないけれども、結果から見て確かに相当の効果があつたらしいことは後に述べる流速分布の測定によつて明らかとなつた。我々の大体の推定では、壁面の境界層は観測窓(水路の入口から窓の中央迄約 3.8 m)附近で数 cm 以下の程度であつて、(2.2) の式から計算された値よりかなり小さい様に思われる。

3. 流速の絶対測定法

3. 1. 液 球⁴⁾

先ず、クロルベンゼン (C₆H₅Cl, 無色, 20°C に於ける密度 1.106 gr/cm³, 沸点 132°C) とキシロール (C₆H₄(CH₃)₂, 無色, o-, m-, p-キシロールの混合物で、密度 gr/cm³ はこの順に 0.880(20°C), 0.868(15°C), 0.861(20°C), 沸点 144°C, 139°C, 138°C) とに少量の赤の色素⁵⁾を加えて水と同じ比重の混合液を作る。クロルベンゼンもキシロールも共に水に溶けないので、この混合液をピペットで水路の流れの中に静かに噴き出すと、直径 2 乃至 3 mm の橙色の小液球となつて流れ去る。混合液の比重を水に合わせるには、比重瓶等を使うより、水路の水をビーカーに取り分けてその中で液球を噴き出し、液球の上昇又

¹⁾ GOLDSTEIN, S. 前掲, vol. I, p. 157.

²⁾ GOLDSTEIN, S. 同上, vol. II, p. 362.

³⁾ GOLDSTEIN, S. 同上, vol. I, p. 5, TABLE 1.

⁴⁾ 以下に掲げた諸物質の化学的性質に関する数値は芝亀吉, 物理常数表(岩波, 昭和 24 年版, pp. 22-30) による。

⁵⁾ マジックインキの赤を使つた。色を決定したのは数多くの試みによつてである。

は下降を観察して、クロルベンゼンとキシロールとの混合比を変え、次第に比重を合わせてゆくのが寧ろ容易である様に思われる。この混合液を噴き出すのに用いたピペット(断面は幅 2 mm, 長さ 3 mm の流線形)と液球とは写真(4), (5)に示されている。

この様に水と比重を同じくする液球の運動を観測することによつて水の運動を測定しようという試みは、筆者の知る限りでも、エーテル $C_4H_{10}O$, 密度 $0.719 \text{ gr/cm}^3(15^\circ\text{C})$, 沸点 35°C , と 4 塩化炭素 CCl_4 , 密度 $1.575 \text{ gr/cm}^3(30^\circ\text{C})$, 沸点 77°C , との混合液によつて行なわれたことがある。¹⁾ 然し筆者の経験によると、後者の組み合わせは 2 つの欠点をもつ様に思われる。即ち、その 1, エーテルは麻酔薬であり 4 塩化炭素も有毒であるから、混合液の長期間の使用が危険であること。その 2, これら 2 つの物質は上記の様に沸点を著しく異にするので、混合比を調節して比重を水に等しくすることが出来ても、極めて短時間の間にエーテルだけが蒸発し、その成分比即ち比重が変化してしまうこと、それである。これに反してここに述べた新混合液には毒性に対する心配も少なく、又一旦比重を調節しておく、我々の場合数十 cc の液を使い尽くすまでは充分にそのままで使用することが出来た。

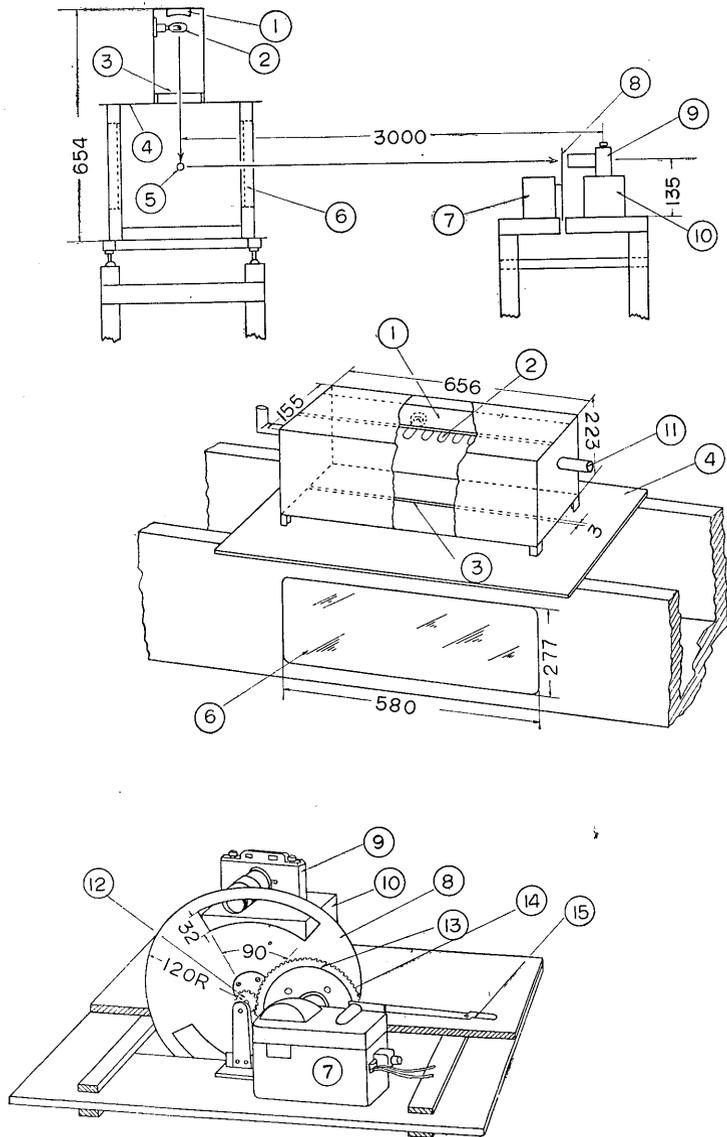
さて、この様にして作られた多くの液球を水に流し、水路の上方からスリットを通した光を当てると、液球は橙色に輝き、水路の流線を観察することが出来る。それを写真に撮影すると流線(正確には流跡)の写真を得る、写真(13)参照。撮影フィルム及び背景の色は種々の試みのうち SSS パンクロフィルム及び黒に決定された。

3. 2. 測定装置

次に、その様な液球の運動から如何にして流速を算定すべきかが問題となる。その目的のために、我々は実験室全体を暗室とし、更に第 5 図及び第 6 図に画かれた様な測定装置を作製した。

固定されたカメラの開放されたレンズの前をフォノモーターによつて駆動される円板が回転する。円板には中心角 90° の扇形の孔 2 個が対称の位置にあけられていて、水路から来た光はその孔がレンズの前を横切る間だけ遮られることなくレンズを通過してフィルムを感光させる。モーターの回転は小さい流速に対して $33\frac{1}{3} \text{ rpm}$, 通常 45 rpm とし、ネオンランプと電蓄用回転計とで調節される。モーターの回転は歯車によつて 4 倍に増速されて円板に伝えられる。即ち円板の回転数は $133\frac{1}{3} \text{ rpm}$ 及び 180 rpm である。但しモーターの回転数及び電蓄用回転計の精度は電源の交流サイクルによつて影響されるので、別にサイクルメーターを備えて、交流のサイクル数を実験中絶えず点検することにしたが、

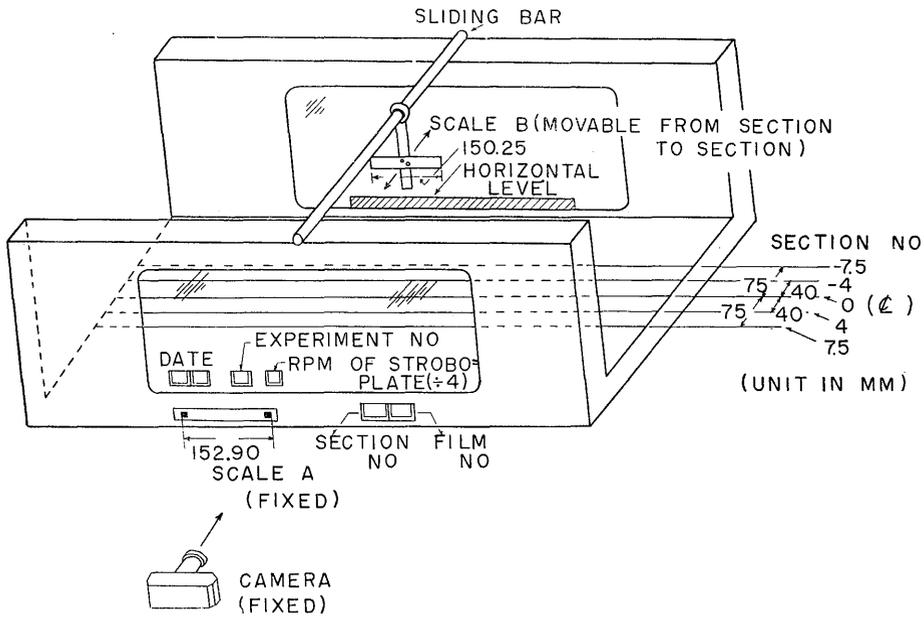
¹⁾ 我々の実験が終つて後、フランスにおいてもポリスチロールの粒(固体)を使つて同じ様な試みが行なわれたことを知つた。WERLÉ, H. Visualisation en Tunnel Hydrodynamique, *La Recherche Aéronautique*, no. 33 (1953), pp. 3—7.



第 5 図 流速測定装置 (その 1)

流速測定用ストロボ装置図面番号一覧

- | | |
|--------------------|-------------------------------|
| ① 反射板 | ⑨ カメラ (望遠レンズ, 焦点距離 135 mm 付き) |
| ② 電球 (10V5A×20 個) | ⑩ カメラ固定台 |
| ③ スリット (巾 3.4 mm) | ⑪ 冷却用送風パイプ |
| ④ ガラス板 (厚さ 4 mm) | ⑫ 小歯車 (歯数 15) |
| ⑤ 流速測定用小液球 | ⑬ 大歯車 (歯数 60) |
| ⑥ 観測窓 | ⑭ 電蓄用ストロボ回転計 (大歯車裏) |
| ⑦ フォノモーター | ⑮ モーター回転調節用レバー |
| ⑧ 回転円板 (直径 240 mm) | |



第 6 図 流速測定装置 (その 2)

これは常に 59.5 乃至 60 サイクルの範囲に収まり、我々の実験に対しては十分な精度をもつていた、写真 (6) 参照。

さて前述の小液球を上流の定位置 (観測窓の中央から約 1.2 m 上流、第 2 図参照) で噴き出し、写真 (7) に示されている照明装置で水路の上からスリットを通して強い光をあて、これを我々のストロボカメラで撮影すると、液球の流跡は等間隔に断続して、フィルムに破線の像を結ぶ。そして簡単な計算によつて、モーターが 45 rpm の時破線の 6 個分が 1 秒に当り、 $33\frac{1}{3}$ rpm の時同じく破線 6 個分が 1.35 秒に当ることが分る。この様にして流跡にタイムマークを入れることが出来る。¹⁾

次にその様にして印画紙の上で切りとられた長さがスリットの置かれた縦断面上の何 cm の長さに相当するかを知らねばならぬ。そのために我々は A, B なる 2 つの物差を用意した。A は水路の前面に貼り付けられたジュラルミンの板で、その上に画かれた 2 つのマークの外縁間の距離約 15 cm がスケール A を示すものとする。一方 B は水路を横断して架け渡された円棒から垂れ下つた十字架 (材料は鉄でクロームめつきを施されている) の横板で、その長さは 15.025 cm である。これをスケール B とする。十字架は円棒に沿つて移動し、B は水路の中心軸に平行な任意の縦断面内に横たわることが出来る。スケール

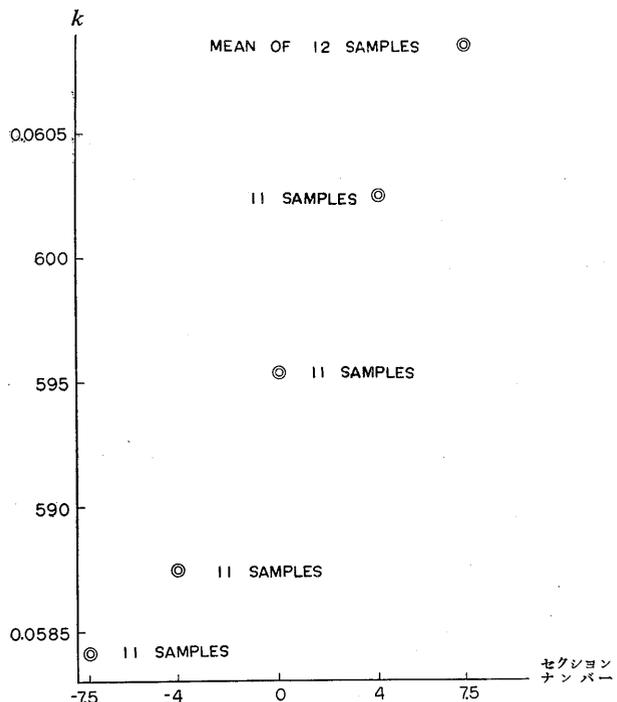
¹⁾ モーターの回転を円板に伝える際これを 4 倍に増速したのは、それによつて 1 つ 1 つの破線の端のボケを防ぐことが出来たからである。

A, Bは写真 (8) に示されている。

さて、水路には観測位置の上にジュラルミン製蓋¹⁾を置き、水路の中央縦断面をセクション 0 (零), 中央縦断面から右 (下流から上流へ向つて) へ距離 7.5 cm 及び 4 cm の縦断面を夫々セクション -7.5 及び -4 と名付け、同じく左へ 7.5 cm 及び 4 cm の縦断面を夫々セクション 7.5 及び 4 と呼ぶ。そして流速分布は観測窓の位置でセクション -7.5, -4, 0, 4 及び 7.5 なる 5 種類の縦断面上で測定することにした。そこで先ずスケール B を順次に上の 5 種類の縦断面内の、これから流速分布を測定しようとする領域の中心附近に入れる。水路には水を満たし、所定の位置に固定されたカメラで撮影すると、各々の縦断面に対して写真 (12) に示されている様な写真を得る。スケール B が例えばセクション s 内にある時、印画紙の上で A, B の長さを測り、それを夫々 a, b とする。B の実際の長さは前に述べた様に 15.025 cm であるから、セクション s の上の 1 cm の長さはこの印画紙の上では $b \div 15.025$ cm に拡大 (又は縮小) されている。そこで今

$$k(s) = b \div 15.025 a \tag{3.1}$$

という量を作ると、これはセクション s 内の 1 cm の長さ C が印画紙の上に作る像とスケール A が作る像との長さの比である。故に、5 種類の縦断面の任意の 1 つ s を撮影した 1 枚 1 枚の印画紙の上で、スケール A の長さ a を測定し、これに定数 $k(s)$ を掛けると、その答はセクション s の上の 1 cm の長さ C がその印画紙の上に結ぶべき像の長さ c を与える。そこで前に述べた破線 6 個分の長さを c で割ると、モーターが 45 rpm の時は 1 秒間、同じく 33 1/3 rpm の時は 1.35 秒間の流跡の長さが cm で与えられ、我々の測定は完了する。第 1 表と第 7 図とに種々のセクションの縮尺定数 k の値を示す。写真 (14) にはこの様な方法で撮影された流速測定の結果を掲げる。



第 7 図 種々のセクションの定数 k

¹⁾ 附録 3 及び第 12 図参照。

3. 3. 風車型流速計

この様な写真測定を行なうと同時に、上流の基準点¹⁾に風車型流速計（附録 1 参照）を設置し、1つの流速に対する測定（第 2 表の 1 つの実験番号によつて代表され、5 つのセクションに亘つて通算 25 乃至 30 回の撮影を行なう）の間、流速計を連続作動させ、その rps（毎秒回転数）を測定する。²⁾ その値に水路の流速相関係数（附録 3 参照）を掛け、その様にして得られた rps から、第 8 図の流速計検定曲線（附録 1 参照）を用いて、観測窓附近の流速 U_* cm/sec を読み取る。³⁾ 但し流速計の検定はこの測定の開始直前昭和 33 年 5 月 13 日と終了直後同年 6 月 18 日との 2 回行われ、その各々について 1 本宛の特性曲線を引き、更に同じ横座標（流速計の rps）に対してこれら 2 本の曲線の与える 2 つの縦座標（流速 cm/sec）の平均値を結ぶ曲線を想定して、これを内挿曲線と呼ぶことにした。そして全体の測定 14 個のうち、前半 3 個に対しては 5—13 曲線を、後半 4 個に対しては 6—18 曲線を、最後に中間 7 個に対しては内挿曲線を使つて U_* の読み取りを行なつた。これら 3 本の曲線は非常に接近しているので、第 8 図には代表として内挿曲線だけを示し、更に低速、中速、高速の領域から 1 例ずつ選んで、検定の実験点の散らばり方と 3 本の曲線の開き方を明かにした。

3. 4. 測定結果

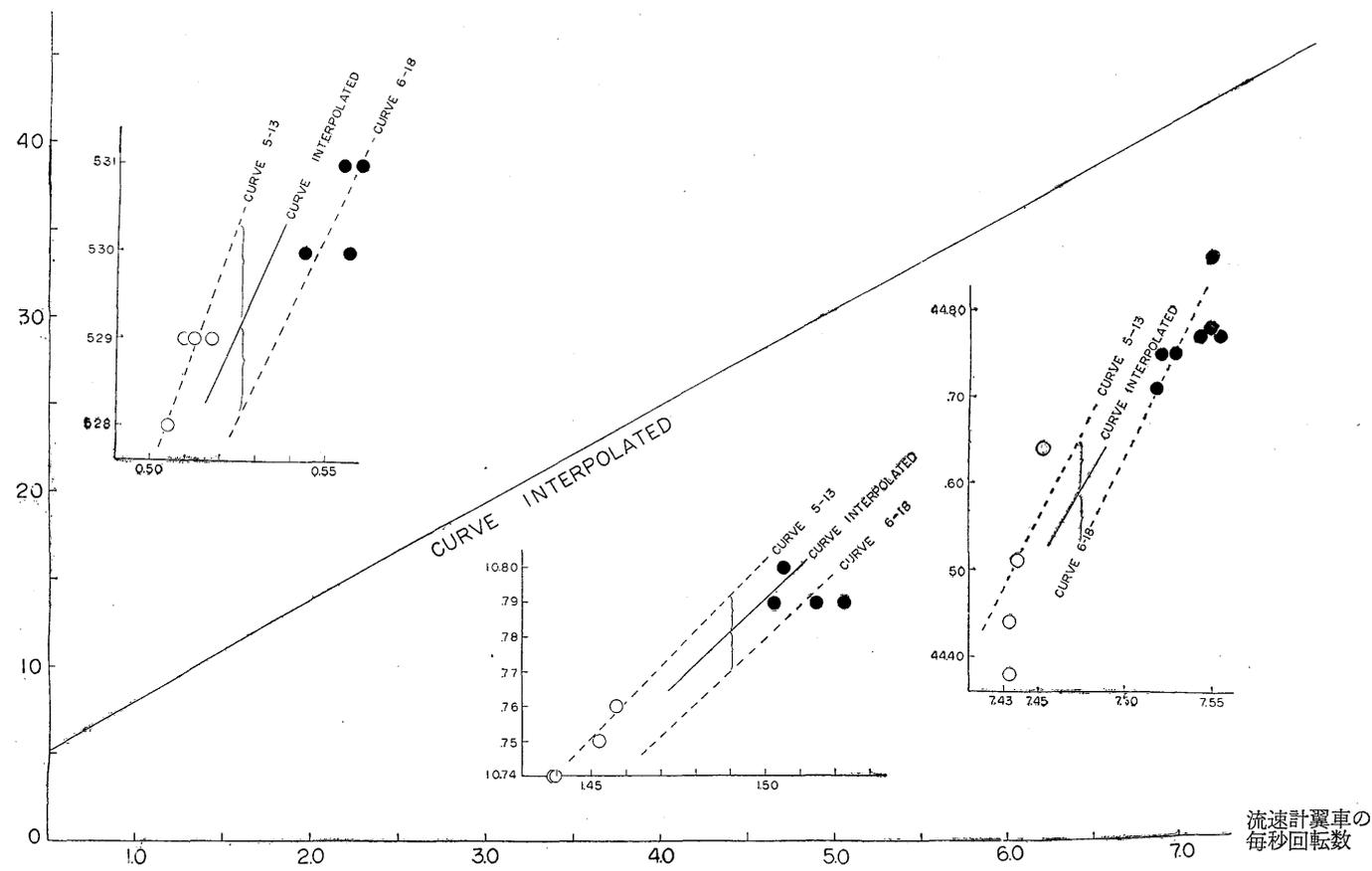
この様にして同じ流速に対して液球の流跡による絶対測定と風車型流速計による間接測定とが同時に行なわれたので、これら 2 つの結果から各縦断面相互間の流速の分布や風車型流速計の測定誤差などを知ることが出来る。測定の結果は第 2 表にまとめて掲げられている。第 9 図には U_* cm/sec 即ち観測窓附近に於ける中央縦断面上の代表速度の風車型流速計による測定値（以下簡単のため流速計の示度と呼ぶことにする、本頁脚註 2 参照）を横軸にして、5 つの縦断面内の夫々の平均流速 U cm/sec（液球の散らばりによつて面内で空間的に平均をとり、併わせて測定の繰返しによつて時間的にも平均をとつたことになつている。平均のとり方については本節終りの注意 2 参照）と 5 つの縦断面の U のその又平均、 U_{mean} cm/sec、との 6 種類の数値を流速計の示度 U_* で割つてパーセントで示した。これは各縦断面相互間及び直接間接 2 測定法間の相対誤差の程度を与えるものと看做されるであろう。次に第 10 図には同じく流速計示度を横軸にして、5 縦断面の流速の平均値（上述の U_{mean} cm/sec）を白丸で記入し、併わせて 5 縦断面の流速のうちの最大値と最小値との範囲を示して、各セクションによる流速の散らばりの程度を明らか

1) 観測窓の中央から約 1.5 m 上流、第 2 図参照。

2) 実際には全測定時間を数個の略々相等しい時間区分にわち、各々で rps を算出し、それら間に大きな相違がなく、水路が順調に活動していることを確認した上でそれら数個の rps を平均して、全体の平均 rps を求めた。

3) 風車型流速計は基準点 P に設置され、又流速相関係数はこの点と観測窓附近の中央縦断面上の一定点 Q との間で測定されたものであるから（第 13 図参照、P は Q の約 1.5 m 上流に在る）、 U_* は厳密に言うとき Q 点の流速（時間に関する平均流速）、大まかに言うとき観測窓附近の代表的な流速と考えてよいであろう。

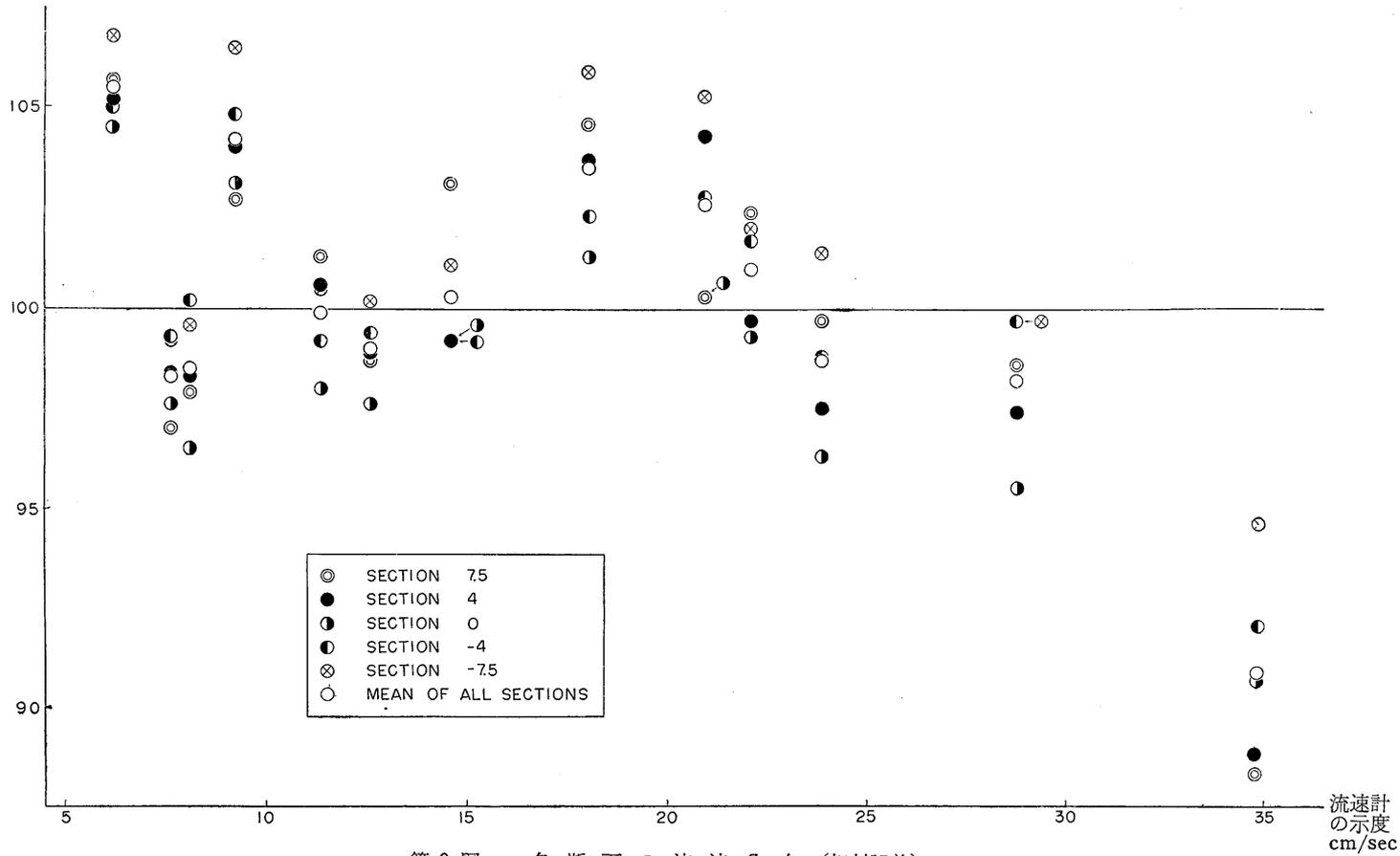
流速 cm/sec



流速計翼車の
毎秒回転数

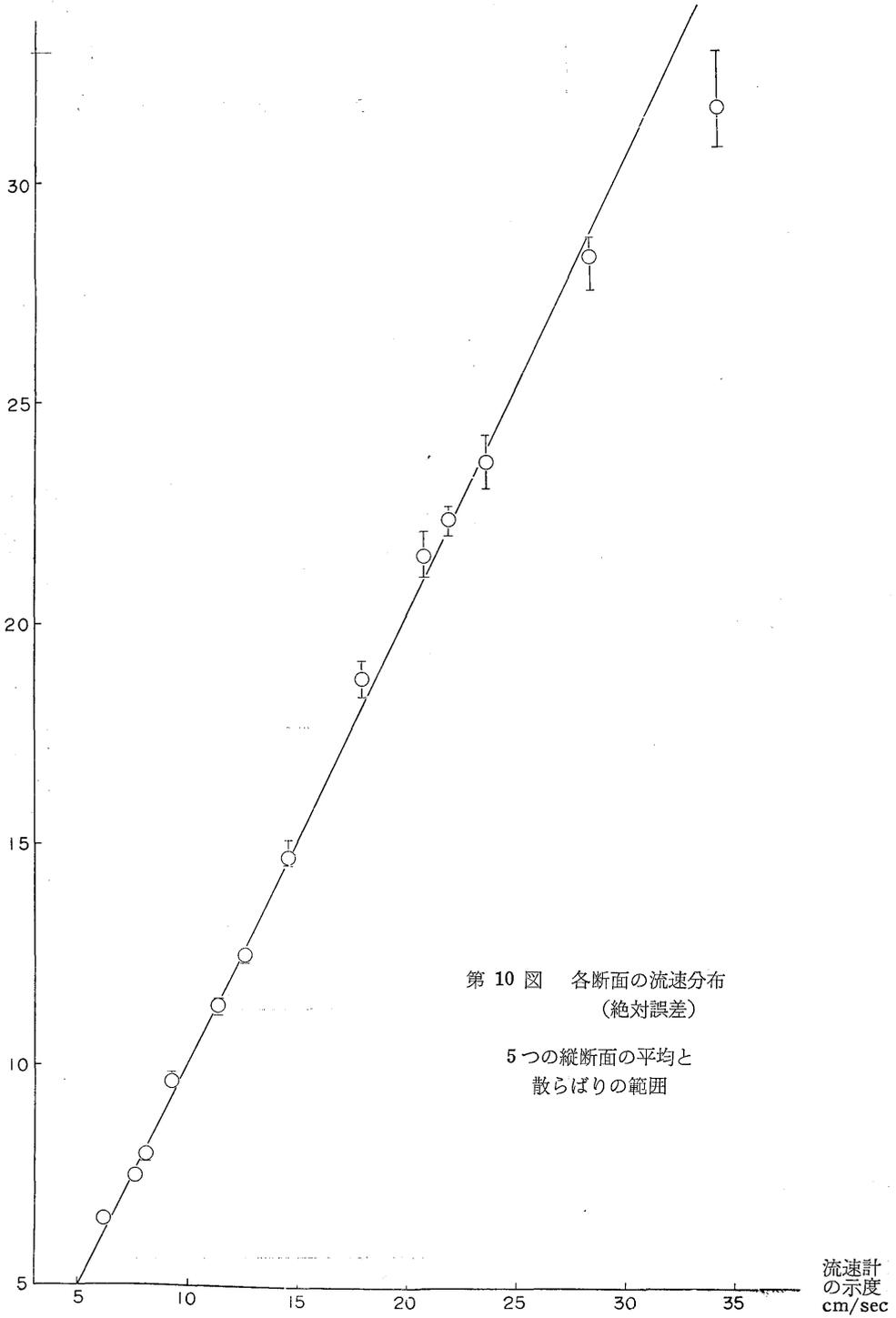
第 8 図 風 車 型 流 速 計 の 検 定 曲 線

各断面の流速 (%)



第9図 各断面の流速分布 (相対誤差)
5つの縦断面の流速 (及びその平均) を流速計示度で割った値 (%)

流速 cm/sec (写真測定)



にした。又一方同図の直線は $U=U_*$ という誤差零の理想的状態に対応する。この図は従つて、各断面間及び直接間接の2方法間の絶対誤差の程度を描いたものということが出来よう。

第9, 10両図によれば、流速25cm/sec以下の中乃至低速領域では絶対測定の結果(特に中央縦断面と断面平均との流速)は流速計の示度とよく一致するが、流速30cm/sec以上の高速領域で両者はかなりの差異を示すことが明らかとなる。然しながらこれは必ずしも風車型流速計の不正確のみによるものではなく、流速がこの程度になると、液球の流跡の写真がはつきりしなくなり、写真(14の8, 9)参照、速度の算出にかなりの困難を伴つてくるので、絶対測定の方にも相当の誤差が含まれているものと見なければならぬ。

注意 枝葉にわたる事項をまとめて列挙する。

1) ピペットから噴き出された液球を仔細に観察すると、液球の各々に非常に小さい気泡が1個宛丁度種子の様に含まれているを知る。これはピペットの噴き出し口の形又は噴出の方法を改良することによつて防止することが出来るものと思われるが、この実験ではそこまで立ち入った試みを行ななかつた。液球の流線を撮影するに当つては、比重の調節及びピペットの操作を入念に実行することによつて写真(13)に見られる様に割合にきれいな写真をとることが出来たけれども、一方流速分布の測定に際しては、短時間に非常に多くの写真を撮影する必要から、上記の操作に流線撮影の時程の慎重さを用いる余裕がなかつた。それでストロボ式カメラで撮影した写真は流線写真程きれいでない。これは必ずしも水が一様に流れていなかったためではなく、むしろ比重調節の不十分と気泡介入との影響と看做した方がよいと思われる。特に液球の流跡のうち、時に単独で著しく上昇したものがあるのは大きい気泡の含入によるものである。

2) 液球は夫々のセクションの上流側への延長面上で噴き出される。写真全部を通覧した処、一旦スリットの光の面の中に完全にはいつた液球で流れ下るにつれてそれから逃れ出たものは発見されなかつたので(スリットの幅は3mmであるから光の面の厚さも大体その程度と思われる)、水は、少くとも観測窓の附近では、この程度の精度で中央縦断面に平行な平面内を流れていることがわかる。

3) 写真(14)に掲げた写真を各縦断面に対して撮影する時、液球を流す高さは1つの流速について水路の断面の重心の高さ附近3枚、少々高目、少々低目各々1枚、計5枚を標準とした。これらの少々高目及び少々低目の写真を調べると、粒子の高さからでは水路の上蓋の内側と水路の底面とに沿つて発生する境界層の中にはいつていそうに思われる流跡を発見することが出来る。しかし実際に流速を計算してみると蓋及び底面の境界層の影響らしいものはつきり見出すことは出来なかつた。水路下流端の境界層吸い取り装置が効果的であつたらしいという2.5の結論はこれから下されたのである。

但し実際に流速測定の際データをとる場合には、液球の位置があまり高いもの、あまり低いもの、大きな気泡を含んでいるらしく急に上昇しているもの等は省き、流跡がはつきり撮影されたものを作為なしに選り出して、同じセクションに属する5枚(通常)の印画紙の流跡に通し番号をつけ(その全体の数は第2表に測定数として示されている)、それらをまとめて計算するという手続きをとつた。

4) 液球を噴き出させるためのピペットは断面が非常に小さいので(幅2mm, 長さ3mmの流線形)流速分布を測定する観測窓の附近には殆ど後流の影響を残さないであろう。然しピペットに比べて形の大きい風車型流速計の方は観測窓附近にある程度の後流を残す恐れがあり、セクション0よりセクション±7.5等水路の外側の縦断面の流速が大きく測定されている(第9図参照)原因の1つには幾分かこの影響があるものと思われる。然し筆者の想像では、水路の下流端に設けられた境界層の吸い取り装置と、併わせて水路の中央断面部分に抵抗を多く入れるという考慮とがその原因の大部分をなした

ものと思われ、これらの装置を適当に調節することによつて、水路のある希望された横断面の大部分に亘つて、流速分布の極めて一様な流れを作ることにも出来そうに思われる。

附 録

1) 風車型流速計

補助流速計として使用された風車型流速計（ディスク直径 14 mm）は粟谷陽一氏によつて考案製作されたものである。¹⁾ 我々が普通のピトー管に依らずに、この新しい形式の流速計を採用したのは、この流速計のもつ次の3つの特徴によるものである。その1、測定の対象となるのが流速の極めて低い領域（6 cm/sec より 35 cm/sec の範囲、動圧に直して水柱で 0.18 mm より 6.25 mm）であり、ピトー管の使用にはかなりの困難を感じるのに反し、この流速計はこの程度の低速に於ても充分正確に動作すること。その2、水表面の波が測定に直接影響する恐れがないこと。²⁾ その3、作動させたまま一定時間放置することによつて、その間の（時間的）平均流速が自ら算出されること。この流速計の実物は写真（9）に、又その電気回路は第 11 図に示されている。

流速計の特性曲線（翼車の毎秒回転数 rps と流速との関係を与えるグラフ）を作るための性能検定は本研究所津屋崎分室の水槽において行なわれた。この水槽は全長 10 m（有効 5 m）、幅 0.5 m、深さ 0.5 m のコンクリート製で、水槽の縁に設置されたレールの上を台車が走る、写真（10）参照。この台車に流速計を取り付け、ペン書きオシログラフによつて、タイムマーク（低速 1 秒、高速 1/5 秒）、³⁾ 流速計翼車の 1 回転を示すシグナル、及びレールに 1 m おきに 6 個（全長 5 m）設けられた電気接点と台車車輪との接触によつて生じるマークの 3 種類が同時に記録される、写真（11）。このデータから台車の速度（流速に対応する）と流速計翼車の rps との関係が求められる。但しこれらの数値は共に台車が 5 m の全長を走る間の平均値をとる事とし、タイムマーク及びシグナルの端下の部分は内挿計算によつて処理する。又性能検定では各々の測定の間 10 分程度の時間をおいて水槽の水の運動が消失するのを待ち、尚安全を期して低速から高速へ、次に再び高速から低速へと測定を繰り返した。又ごく微少ではあろうが水表面の影響をなるべく取り去るために、流速計は実際の水路と同じ深さに取り付けた。流速計の検定の結果は第 3、第 4 表に掲げられている。

2) ポンプの連続運転テスト

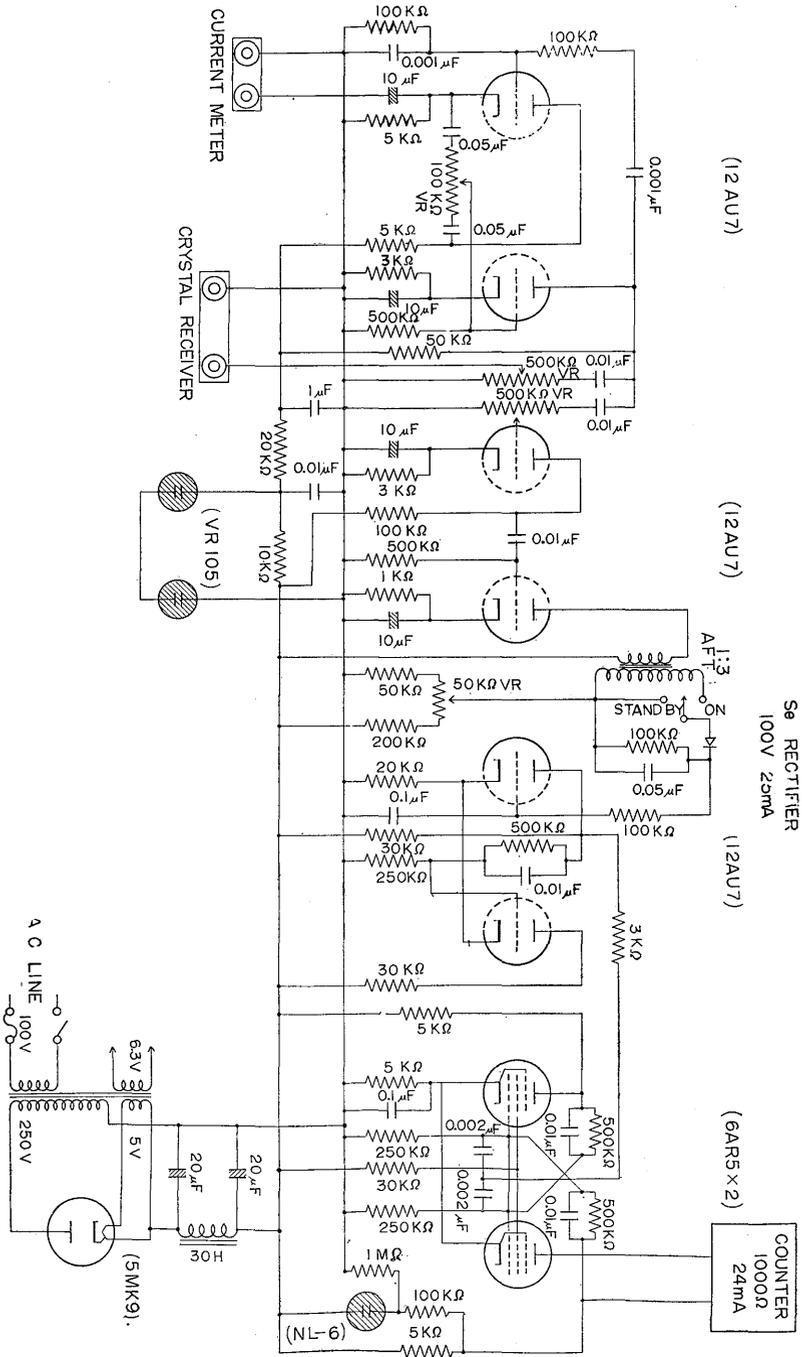
ポンプを一定の作動状態のもとに放置して、長時間に亘つて測定が行なわれる場合、水路の流速が一定に保たれることは 2.1 に述べたオーバーフロー装置と水位調整用接点との共同動作によつて一応保証されているはずであるが、それを実際に検証したのがこのテストである。

このテストでポンプは一定の状態 で連続的に運転され、水位調整用接点の作用によつて、オーバーフローも規定通り行なわれていることが確かめられた。そのまゝの状態 で基準位置（3.3、頁 11 に所謂 P）に置かれた風車型流速計を数分間働かせてその rps r をとり、同じ測定を数分間の間隔をおいて数回繰り返して r の平均値 r_{mean} を求め、最後に各々の r を r_{mean} で割つて r の散らばり fluctuation の程度を見た。又ポンプの運転状態には交流電源の状況が影響することが考えられるので、同じ

¹⁾ 粟谷陽一、水槽実験用風車型流速計に就いて、九州大学応用力学研究所所報, no. 12 (昭和33年), pp. 33—38.

²⁾ 水表面の波動によつてピトー管の動圧、静圧は共に直接の影響を受ける。それを取り除くにはこれら2つの圧力の同時測定を行なう必要がある。勿論水路の全長に亘つて設けられた蓋によつて水表面の影響は一応取り除かれているはずであるが、流速計取り付けの部分は点検その他の取扱いの便利から若干の水表面を出しておく必要があり、又仮に完全に蓋でおおつていても、蓋の内側の所々に取り残された若干の空気が流速計の上に自由表面を作らないという保証は困難である。

³⁾ 第 3、4 表参照。

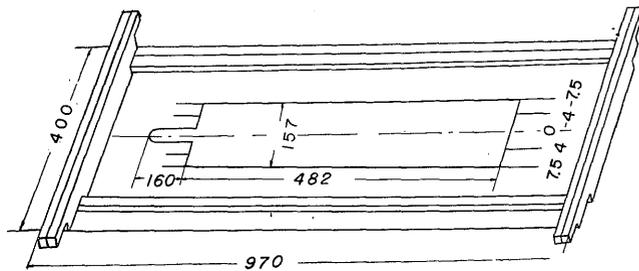


第 11 図 風車型流速計カウンター電気回路

測定を日を変えて行なつた。測定の結果は第 5 表に示されている。第 8 図で見られる様に、流速計の rps は大体において流速に比例するので、流速の時間的変動の程度は略々流速計翼車の rps の時間的変動の程度と見て差支えないであろう。このテストから、水路を同じ状態で長時間運転した時、ある一定点における刻々の流速のその平均値からの変動は 1% に足りないことがわかる。このテストは又次に述べようとする水路の流速相関係数の測定の予備実験として欠くことの出来ないものである。

3) 水路の流速相関係数

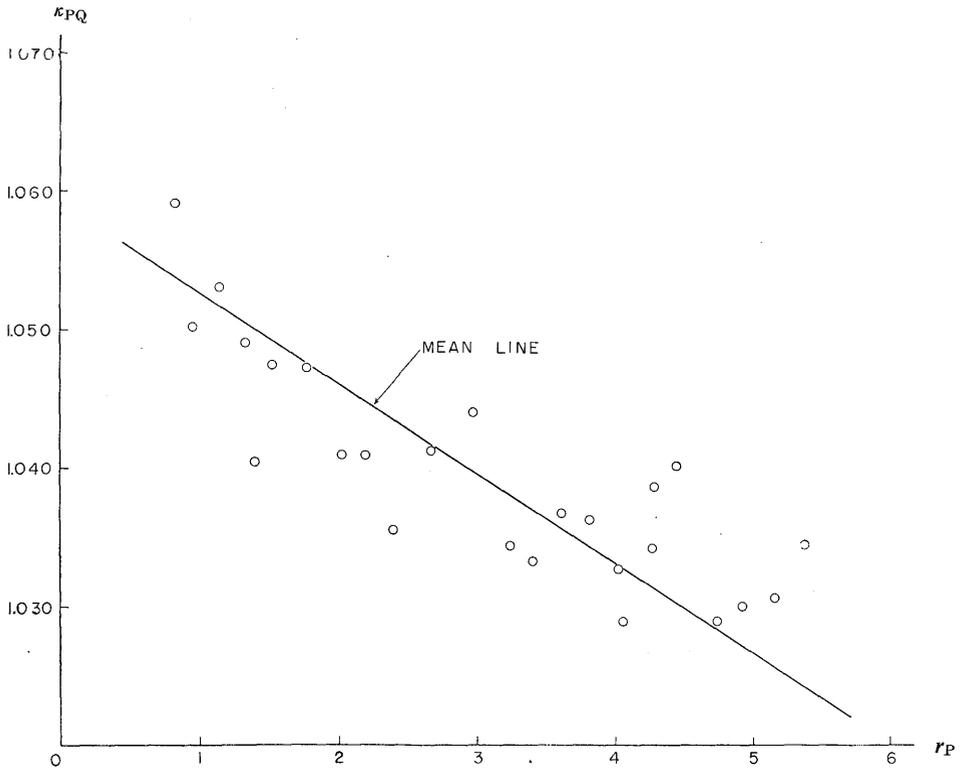
2.3 で述べた様に、水路にはその全長に亘つて蓋がかぶせられて、表面波の影響が取り除かれているのであるが、上から光を当てる必要上、肝心の観測窓附近は蓋で水路を完全に覆ってしまうことが出来ない。そのためこの附近約 1 m の範囲には第 12 図に示す様な取り外し可能なジュラルミン製の覆いを作つた。この様にして、風車型流速計を常時設置した所謂“基準位置” P と流速分布を観測した位置とではその覆いの状態を異にするばかりでなく、水路自体に約 0.0037 の勾配がついている事を併わせ考慮すると、これら 2 つの位置で流速は一般に異なるはずである。水路が定常状態で働いている時、風車型流速計を観測窓内の 1 点 Q に置いて得られる翼車の rps r_Q を、流速計の基準位置 (所謂 P 点) に置いて得られる rps r_P で割つて、それを ϵ_{PQ} と書くことにすると、P、Q を明確に指定する限り、 ϵ_{PQ} は主として r_P だけに関係する数と考えられるであろう。この ϵ_{PQ} を便宜上水路の流速相関係数と呼ぶことにしよう。



第 12 図 観測点附近の水路蓋，単位 mm

ところでその相関係数は次の様にして測定された。まず、流れが定常になつたら、基準位置 P 点に置かれた流速計を作動させて r_P を充分正確に測定する。次に観測窓内で中央縦断面上の 1 点を定めて、これを“観測位置” Q 点と名付け、他の条件は全くそのまゝの状態では流速計を基準位置から外せずして、Q 点に取り付ける。勿論この様にして選定された観測位置という点の意味は非常に曖昧であるけれども、一旦 Q 点を定めたら相関係数の測定に当つては流速計の翼車の中心を正確にその点に置いて、流速計の置き場所の変動に原因する誤差は完全に排除し、Q 点で流速計の rps r_Q を測定する。一方 2) のポンプの連続運転テストの結果によれば、流速計を P 点から Q 点に移す間の時間の経過による流速の変化は無視してよいと思われるので、上の様にして測定された相関係数は“水路固有の原因による” P、Q 2 点間の流速変化の割合を与えるものと考えられる。実験の結果は第 6 表に示されている。 r_P を横軸にして ϵ_{PQ} を画いたのが第 13 図である。実験点はかなり散らばつていて、平均線を求めるには最小自乗法を用いるべきであるが、こゝでは簡単のために、実験点が両側に同じ数だけ振り分けられる様に直線を入れた。翼車の rps と流速とは略々比例関係にあるので、 ϵ_{PQ} は Q 点の流速 U_* と P 点の流速 U_P との比に略々等しい。 U_* が U_P より少々大きい原因は、水路の長さが小さすぎて流れが定常状態に達せず、水が P 点から Q 点に進むまでに少し加速されることを示している。¹⁾

¹⁾ この加速の原因は水路につけられた勾配と、下流に進むに従い境界層の発達によつて水路の有効な断面積が少しずつ小さくなってゆく事との 2 つの影響であろう。



第 13 図 流速相関係数 ϵ_{PQ}

最後に、流速分布の補助測定として本文で実際に用いられた風車型流速計による流速算定法をまとめて記すと次の様になる。i) 基準位置 P 点に置かれた流速計の r_P を測定する。ii) 第 13 図を用いて、その r_P に対する $\epsilon_{PQ}(r_P)$ の値を読みとる。iii) r_P に $\epsilon_{PQ}(r_P)$ を掛ける。iv) 第 8 図から横座標 $r_P \times \epsilon_{PQ}(r_P)$ rps に対する縦座標を読みとり、これを Q 点の流速として採用する。3.4 及び第 2 表で流速計の示度 U_* cm/sec として挙げたのはこの値である。

(昭和 36 年 4 月 1 日 受理)

第 1 表 標 準 尺 の 縮 尺 定 数

実験 番号	$k(7.5)$	$k(4)$	$k(0)$	$k(-4)$	$k(-7.5)$
1	0.06117	0.06052	0.05980	0.05899	0.05857
2	0.06100	0.05984	0.06012	0.05905	0.05868
3	0.06092	0.06014	0.05973	0.05854	0.05838
4	0.06129	0.06038	0.05941	0.05885	0.05838
5	0.06110	0.06031	0.05939	0.05850	0.05824
6	0.06002	0.06013	0.05898	0.05862	0.05782
7	0.06073	0.05996	0.05964	0.05844	0.05844
8	0.06047	0.05991	0.05958	0.05897	0.05855
9	0.06130	0.06017	0.05954	0.05872	0.05826
10	0.06036	0.06096	0.05932	0.05852	0.05863
11	0.06066	0.06051	0.05950	0.05899	0.05857
12	0.06133				
平 均	0.06086	0.06026	0.05955	0.05874	0.05841

第2表 水路各縦断面の流速分布測定結果

実験 番号	流速計による 測定結果 (U_* cm/sec)		写 真 測 定					左 5 sections の平均	ストロボ 円板の毎 分回転数
			section 7.5	section 4	section 0	section -4	section -7.5		
1	$U_* = 6.18$	測定数	16	19	25	16	29	*	33 $\frac{1}{3}$ × 4
		平均流速 (U cm/sec)	6.53	6.50	6.46	6.49	6.60	6.52	
		U/U_*	1.057	1.052	1.045	1.050	1.068	1.055	
		測定数	20	30	23	19	28	*	33 $\frac{1}{3}$ × 4
2	$U_* = 7.62$	平均流速 (U cm/sec)	7.39	7.50	7.44	7.57	7.56	7.49	
		U/U_*	0.970	0.984	0.976	0.993	0.992	0.983	
3	$U_* = 8.10$	測定数	22	9	20	14	27	*	33 $\frac{1}{3}$ × 4
		平均流速 (U cm/sec)	7.93	7.96	7.82	8.12	8.07	7.98	
		U/U_*	0.979	0.983	0.965	1.002	0.996	0.985	
		測定数	27	32	29	27	15	*	45 × 4
4	$U_* = 9.24$	平均流速 (U cm/sec)	9.49	9.61	9.53	9.68	9.84	9.63	
		U/U_*	1.027	1.040	1.031	1.048	1.065	1.042	
5	$U_* = 11.34$	測定数	11	18	13	12	16	*	45 × 4
		平均流速 (U cm/sec)	11.49	11.41	11.11	11.25	11.40	11.33	
		U/U_*	1.013	1.006	0.980	0.992	1.005	0.999	
		測定数	29	33	25	40	17	*	45 × 4
6	$U_* = 12.58$	平均流速 (U cm/sec)	12.42	12.44	12.28	12.51	12.60	12.45	
		U/U_*	0.987	0.989	0.976	0.994	1.002	0.990	
7	$U_* = 14.59$	測定数	10	10	11	14	12	*	45 × 4
		平均流速 (U cm/sec)	15.04	14.48	14.47	14.47	14.75	14.64	
		U/U_*	1.031	0.992	0.992	0.992	1.011	1.003	
		測定数	14	15	17	22	14	*	45 × 4
8	$U_* = 18.04$	平均流速 (U cm/sec)	18.87	18.71	18.27	18.46	19.11	18.68	
		U/U_*	1.046	1.037	1.013	1.023	1.059	1.035	
9	$U_* = 20.94$	測定数	8	18	14	22	17	*	45 × 4
		平均流速 (U cm/sec)	21.01	21.83	21.01	21.53	22.04	21.48	
		U/U_*	1.003	1.043	1.003	1.028	1.053	1.026	
		測定数	6	19	10	8	20	*	45 × 4
10	$U_* = 22.09$	平均流速 (U cm/sec)	22.61	22.02	21.94	22.46	22.53	22.31	
		U/U_*	1.024	0.997	0.993	1.017	1.020	1.010	
11	$U_* = 23.87$	測定数	20	26	19	13	15	*	45 × 4
		平均流速 (U cm/sec)	23.80	23.27	22.99	23.59	24.20	23.57	
		U/U_*	0.997	0.975	0.963	0.988	1.014	0.987	
		測定数	19	13	15	10	9	*	45 × 4
12	$U_* = 28.77$	平均流速 (U cm/sec)	28.36	28.02	27.47	28.68	28.69	28.24	
		U/U_*	0.986	0.974	0.955	0.997	0.997	0.982	
13	$U_* = 34.79$	測定数	7	14	7	11	10	*	45 × 4
		平均流速 (U cm/sec)	30.71	30.89	31.54	32.03	32.93	31.62	
		U/U_*	0.883	0.888	0.907	0.921	0.947	0.909	

水路の流速の一測定法

第3表 風車型流速計の検定結果 その1 (昭和33年5月13日検定)

実験番号	タイム	シグナル	台車速度 (cm/sec)	流速計の回転数 (rps)
1	94.47	48.87	5.29	0.517
	94.49	48.42	5.29	0.512
	94.67	47.83	5.28	0.505
	94.52	48.15	5.29	0.509
2	66.69	59.06	7.50	0.886
	66.68	58.97	7.50	0.884
	66.77	59.09	7.49	0.885
	66.73	59.41	7.49	0.890
3	46.57	67.02	10.74	1.439
	46.54	67.00	10.74	1.440
	46.51	67.54	10.75	1.452
	46.46	67.69	10.76	1.457
4	33.46	72.46	14.94	2.166
	32.98	72.72	15.16	2.205
	32.83	73.36	15.23	2.235
	32.77	73.29	15.26	2.237
5	118.30*	77.47	21.13	3.274
	116.16*	77.93	21.52	3.354
	115.80*	78.04	21.59	3.370
	116.50*	77.89	21.46	3.343
6	81.50*	81.31	30.67	4.988
	83.23*	81.10	30.04	4.872
	81.10*	81.40	30.83	5.019
	81.14*	81.40	30.81	5.016
7	56.26*	83.64	44.44	7.433
	56.33*	83.75	44.38	7.434
	56.17*	83.56	44.51	7.438
	56.00*	83.47	44.64	7.453

備考 (1) タイムの項目は台車が 500 cm を走るに要する時間 (sec).

* をつけた数字はタイムマークが 1/5 秒毎に入っているので実際の走行時間の5倍が記されている。 * のないものはタイムマーク1秒。

(2) シグナルの項目は台車が 500 cm を走る間に記録された流速計のシグナル数, 即ち流速計の全回転数。

(3) タイムを t (sec), シグナル数を s とすると台車速度 = $500/t$ 又は $2500/t^*$ (cm/sec), 流速計の毎秒回転数 = s/t 又は $5s/t^*$ (rps) で与えられる。

第4表 風車型流速計の検定結果 その2 (昭和33年6月18日検定)

実験番号	タイム	シグナル	台車速度 (cm/sec)	流速計の回転数 (rps)
1	94.40	51.32	5.30	0.544
	94.33	52.49	5.30	0.557
	94.20	52.74	5.31	0.560
	94.21	52.25	5.31	0.555
2	66.60	62.73	7.51	0.942
	66.56	63.66	7.51	0.956
	66.46	62.61	7.52	0.942
	66.46	62.87	7.52	0.946
3	46.32	70.53	10.79	1.523
	46.33	70.17	10.79	1.515
	46.29	69.68	10.80	1.505
	46.33	69.61	10.79	1.503
4	32.76	75.16	15.26	2.294
	32.65	75.11	15.31	2.301
	32.65	75.01	15.31	2.297
	32.66	75.18	15.31	2.302
5	115.30*	79.49	21.68	3.447
	115.35*	79.38	21.67	3.441
	115.25*	79.38	21.69	3.444
	115.26*	79.55	21.69	3.451
6	80.44*	82.08	31.08	5.102
	80.50*	82.13	31.06	5.101
	80.54*	81.91	31.04	5.085
	81.85*	81.87	30.54	5.001
7	55.84*	84.25	44.77	7.544
	55.84*	84.38	44.77	7.556
	55.73*	84.15	44.86	7.550
	55.83*	84.30	44.78	7.550
	55.86*	84.12	44.75	7.530
	55.92*	84.09	44.71	7.519
	55.87*	84.04	44.75	7.521

第5表 ポンプの連続運転による水路の流速変動の測定

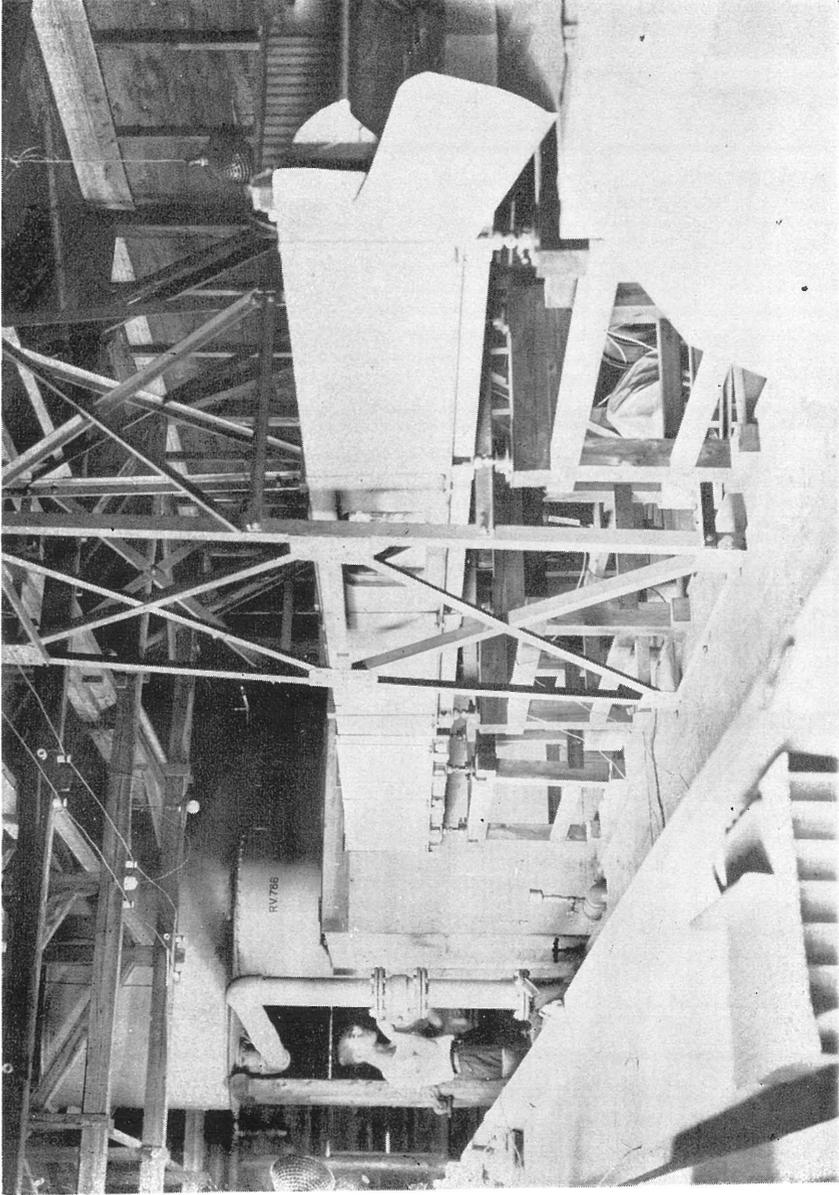
実験番号	流速計の全回転数	同左所要時間 (sec)	流速計の毎秒回転数 (r)	r/r_{mean}	水温 °C
1	530	423.35	1.252	0.9932	24.85
	540	426.55	1.266	1.0044	
	540	427.35	1.264	1.0025	
	540	428.45	1.260	0.9999	
以上4個の平均 $r_{mean}=1.261$					
2	901	422.8	2.131	0.9999	24.55
	906	424.4	2.135	1.0016	
	912	428.5	2.128	0.9986	
	919	431.25	2.131	0.9999	
以上4個の平均 $r_{mean}=2.131$					
3	948	304.05	3.118	1.0005	24.8
	952	305.0	3.121	1.0016	
	949	304.35	3.118	1.0006	
	951	306.0	3.108	0.9973	
以上4個の平均 $r_{mean}=3.116$					
4	1539	304.5	5.054	0.9942	24.8
	1540	302.1	5.098	1.0027	
	1560	306.65	5.087	1.0007	
	1541	302.4	5.096	1.0024	
以上4個の平均 $r_{mean}=5.084$					

備考 1) 実験 2, 4 は実験 1, 3 の翌日行なわれた。
 2) 水温は実験の始と終の水温の平均である。

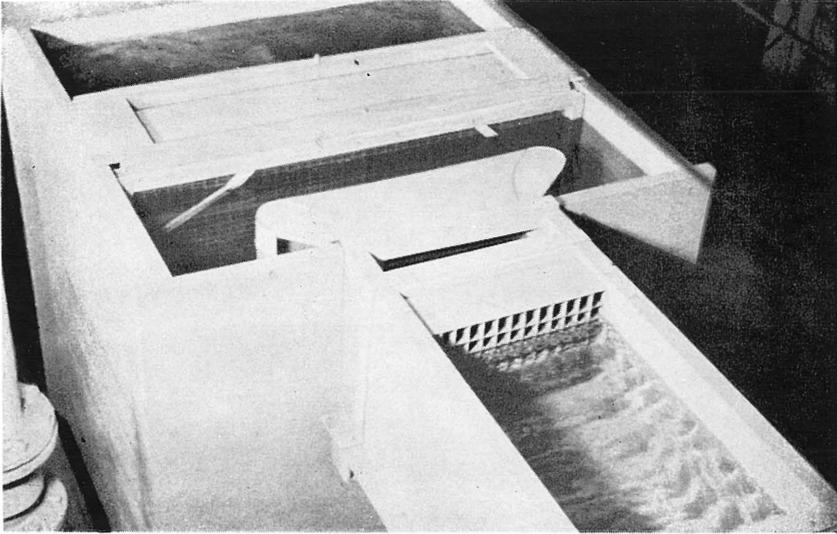
第6表 水路の流速相関係数 κ_{PQ}

実験番号	基準点Pに於ける流速計の回転数 (rps) r_P	測定点Qに於ける流速計の回転数 (rps) r_Q	$\kappa_{PQ}=r_Q/r_P$	水温 °C
1	0.775	0.827	1.0664	22.55
2	0.823	0.872	1.0592	23.75
3	0.950	0.997	1.0503	22.7
4	1.146	1.207	1.0532	23.0
5	1.336	1.402	1.0492	22.75
6	1.399	1.455	1.0406	21.95
7	1.525	1.597	1.0476	21.95
8	1.775	1.859	1.0474	22.1
9	2.022	2.105	1.0411	22.25
10	2.198	2.288	1.0411	22.1
11	2.394	2.479	1.0357	22.3
12	2.668	2.779	1.0414	22.45
13	2.974	3.105	1.0442	21.35
14	3.240	3.352	1.0345	21.45
15	3.399	3.513	1.0334	23.1
16	3.609	3.742	1.0369	21.6
17	3.811	3.950	1.0364	23.6
18	4.019	4.151	1.0328	23.75
19	4.052	4.170	1.0290	21.75
20	4.263	4.469	1.0343	24.15
21	4.280	4.446	1.0388	23.8
22	4.448	4.628	1.0403	23.7
23	4.738	4.876	1.0290	24.25
24	4.920	5.068	1.0301	23.6
25	5.155	5.313	1.0307	24.7
26	5.377	5.563	1.0346	24.5

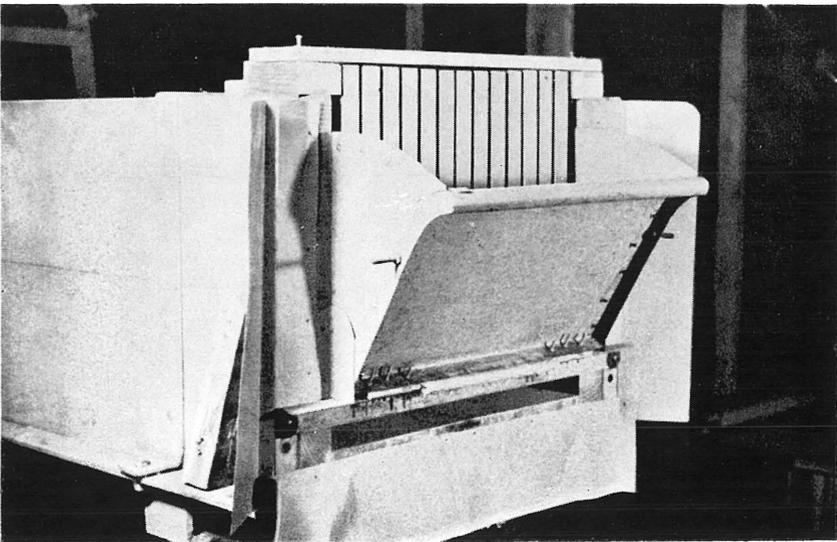
水路の流速の一測定法



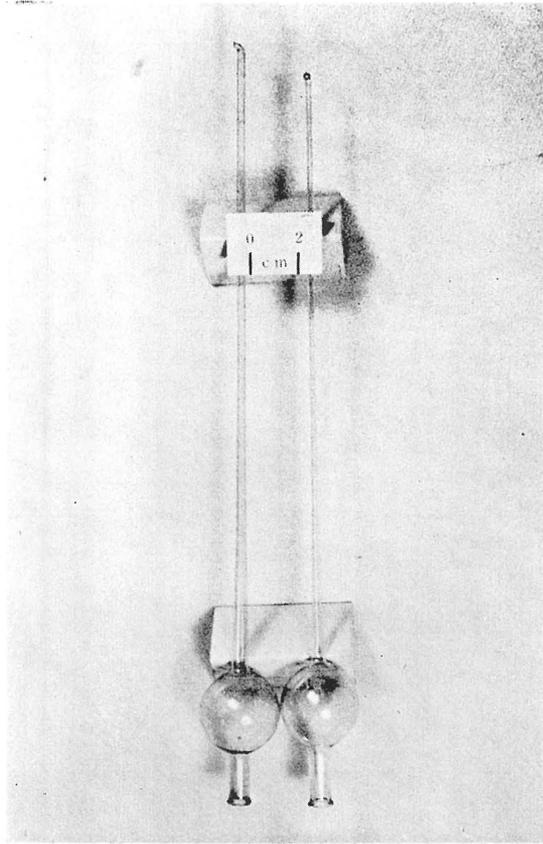
景 全 路 水 (1)



(2) 静水槽と水路の上流端
第1図 ⑨ 乃至 ⑬ 参照

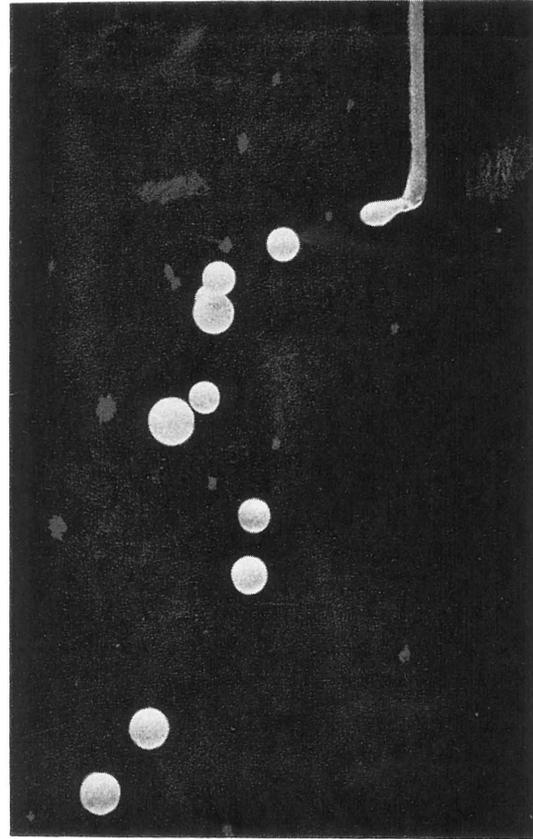


(3) 水路の下流端
第2図 ⑳, ㉑, ㉒ 参照



(4) 流速測定用の小液球を噴き出すピペット

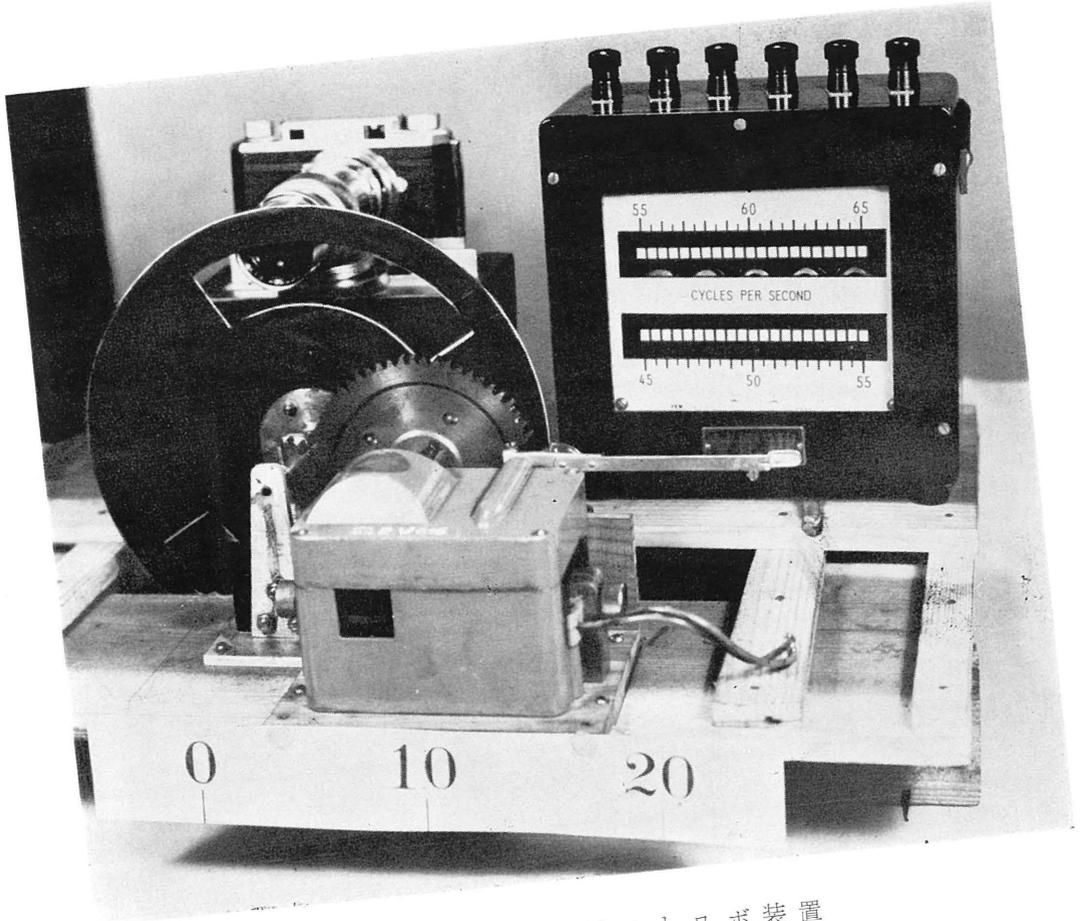
第2図㊸参照



(5) 液 球

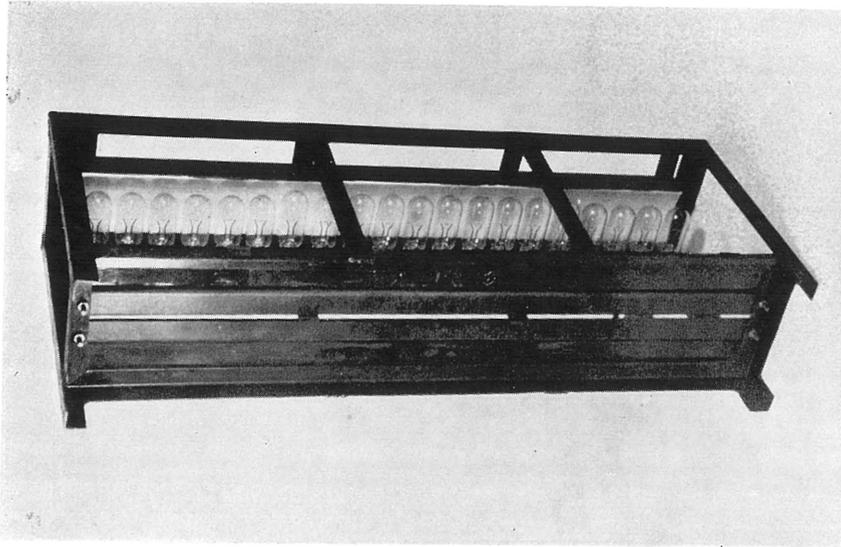
(ほぼ実物大)

水路の流速の一測定法



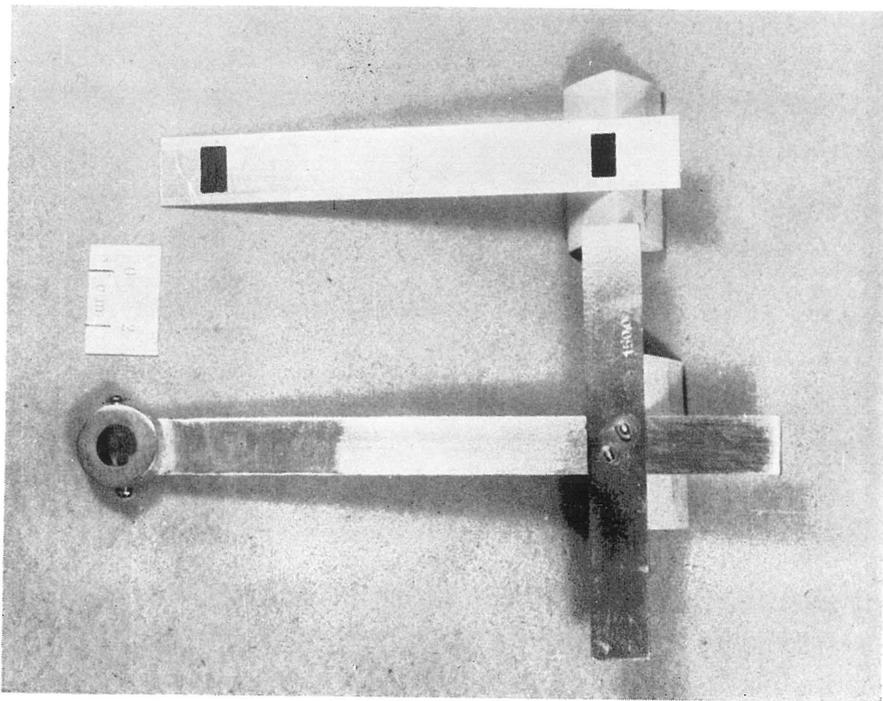
(6) 流速測定用ストロボ装置

フォノモーター 第5図 ⑦ 参照, 回転円板 ⑧, カメラ ⑨,
 カメラ固定台 ⑩, 歯車 (小, 大) ⑫, ⑬, モーター回転調節
 用レバー ⑭ 及び周波数計



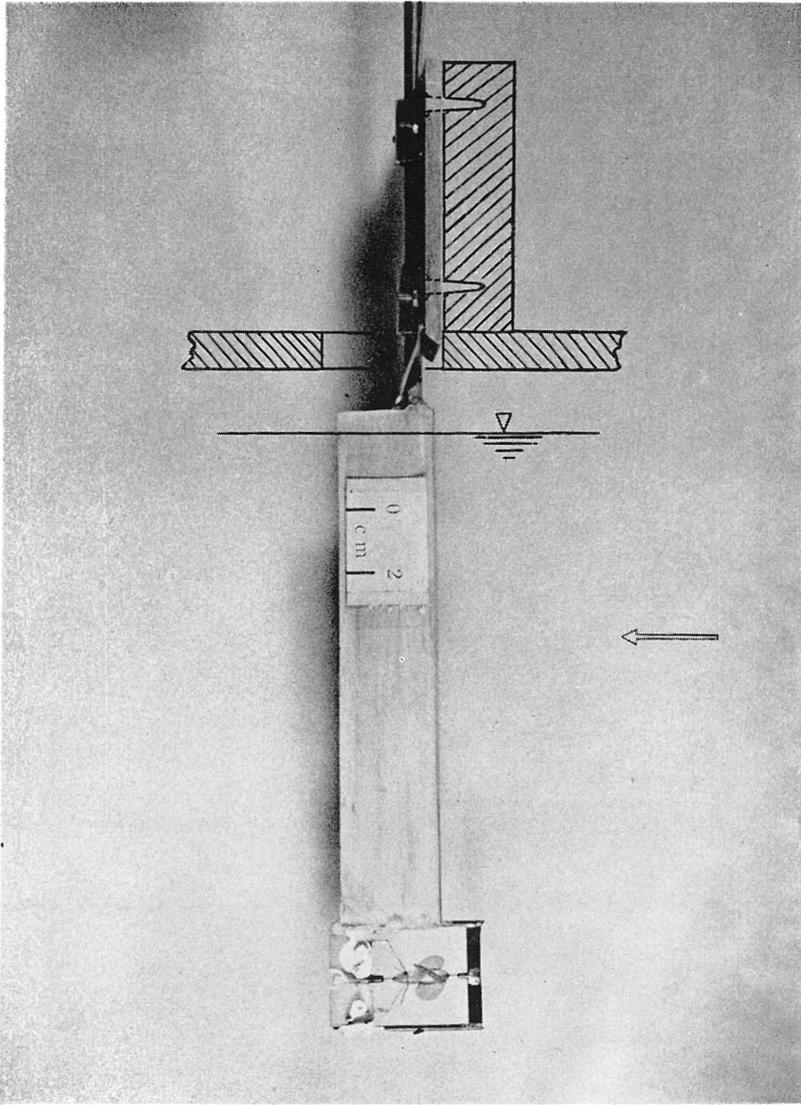
(7) 照 明 装 置

反射板 第5図 ① 参照, 電球 ②, スリット ③



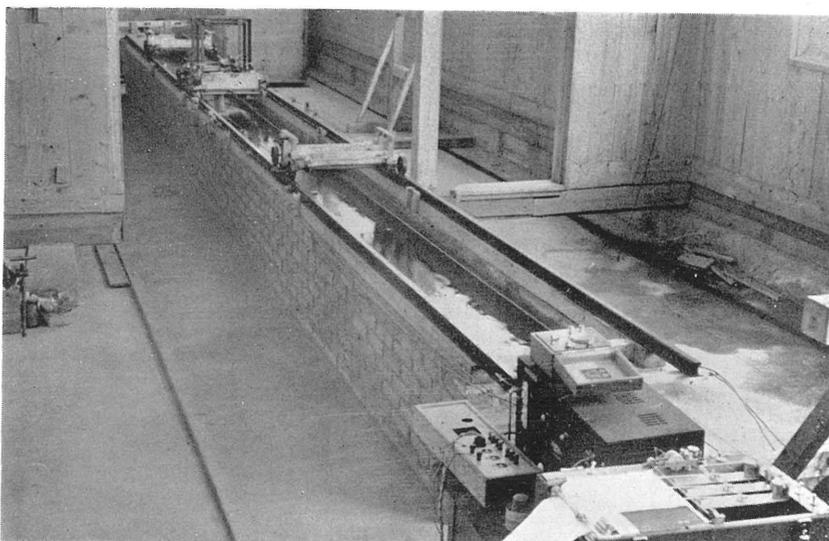
(8) スケールA(上)とスケールB(下)

第 6 図 参 照

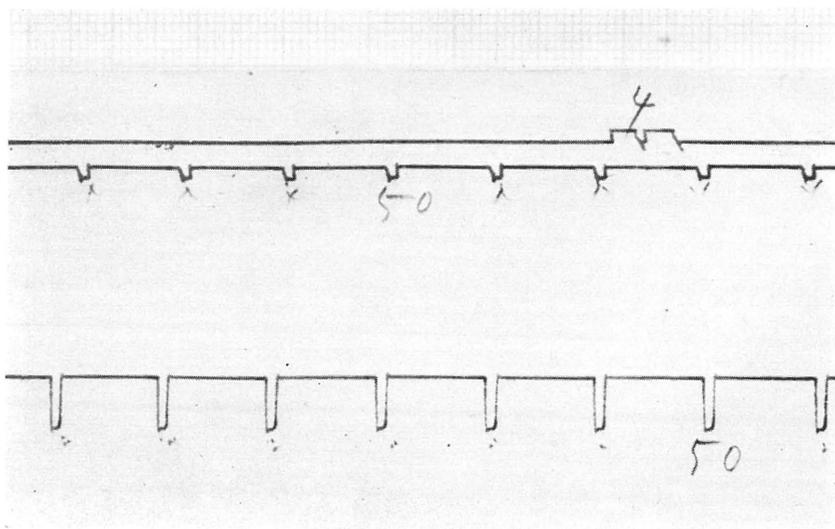


(9) 風車型流速計とそのとりつけ方

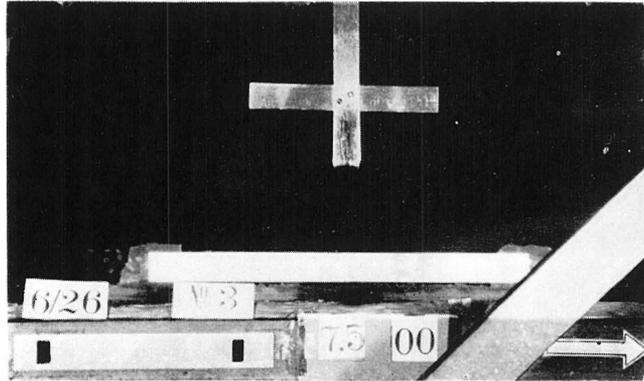
第2図 ㉔ 参照, 矢印は水流の方向を示す



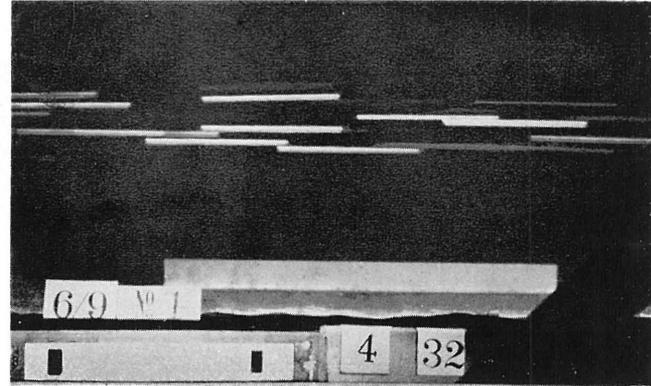
(10) 風車型流速計の検定に使用した水路
(全長 10m)



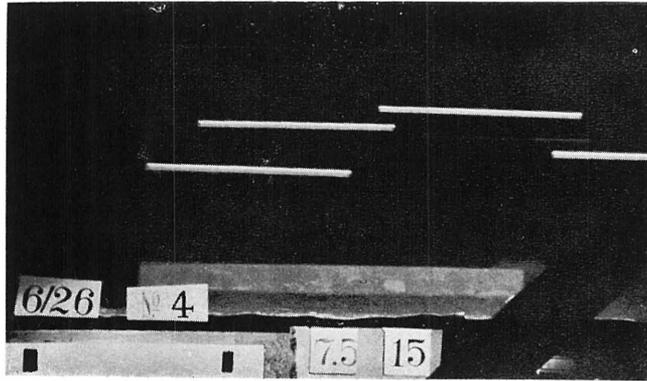
(11) 流速計検定のデータ
上から レールのコンタクト (距離), タイムマーク (1秒),
流速計のシグナル (1回転で山1つ)



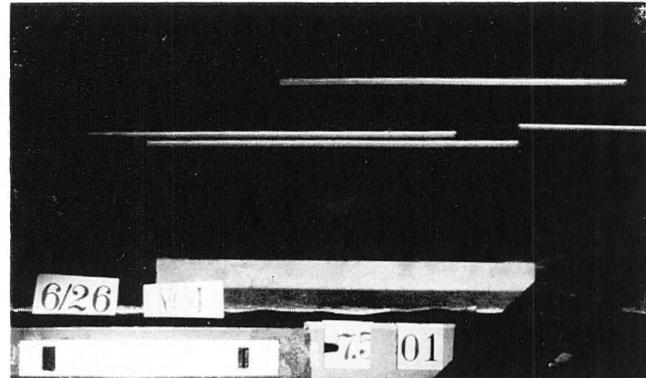
(12) A, Bスケールの比較, 縮尺係数 k の決定
 (スケールAは下, スケールBは十字架, セクション7.5)



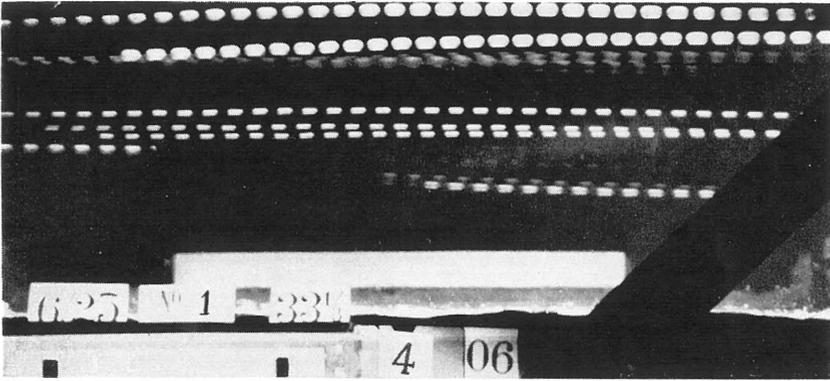
(13の1) 流跡, セクション4
 (横長の板の上の端が水平線)



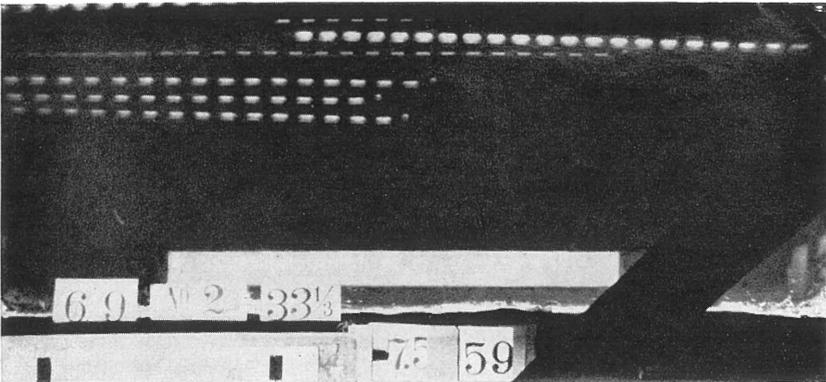
(13の2) 流跡, セクション7.5



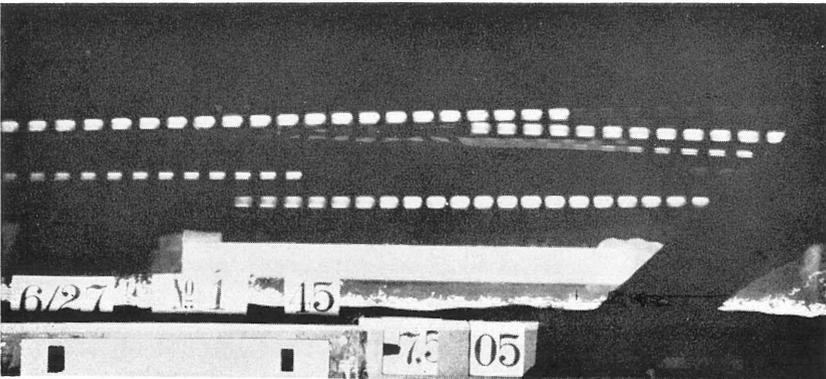
(13の3) 流跡, セクション -7.5
 (露出時間長い)



(14の1) セクション4
第2表 No. 2 (流速 7.62 cm/sec) 参照

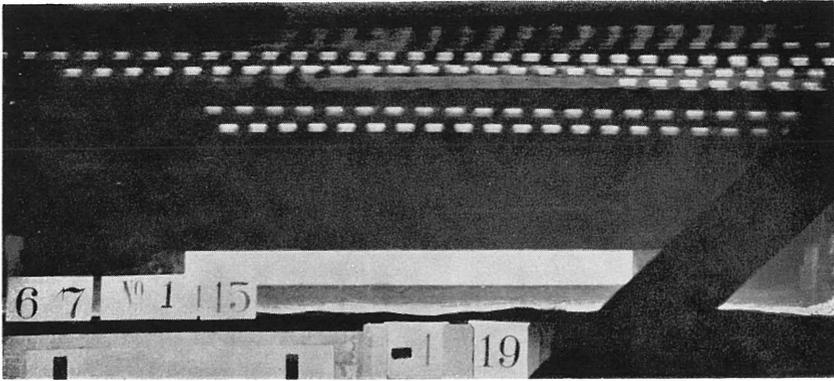


(14の2) セクション-7.5
第2表 No. 3 (流速 8.10 cm/sec) 参照

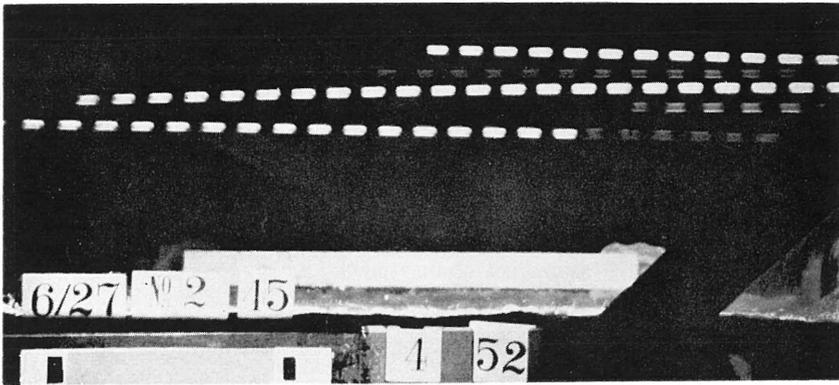


(14の3) セクション-7.5
第2表 No. 5 (流速 11.34 cm/sec) 参照

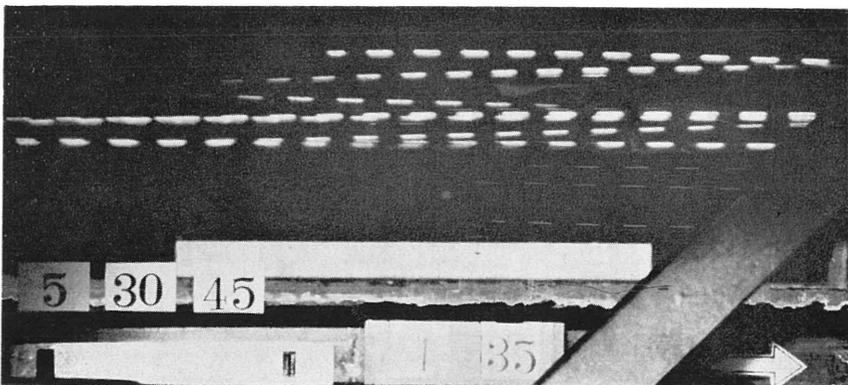
(14) 流速分布の測定 その1



(14の4) セクション4
第2表 No. 6 (流速 12.58 cm/sec) 参照

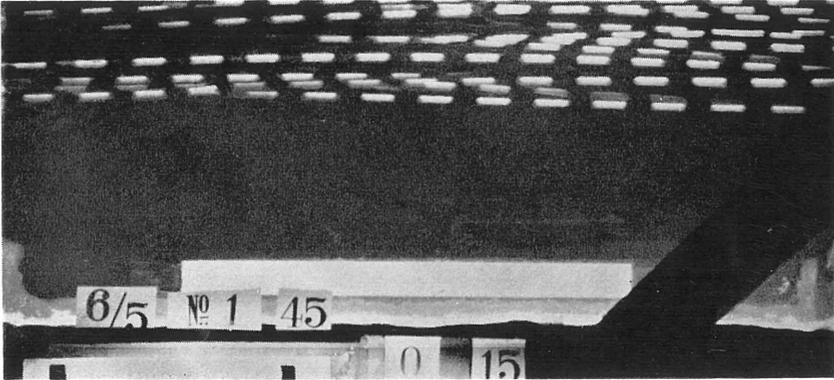


(14の5) セクション4
第2表 No. 7 (流速 14.59 cm/sec) 参照

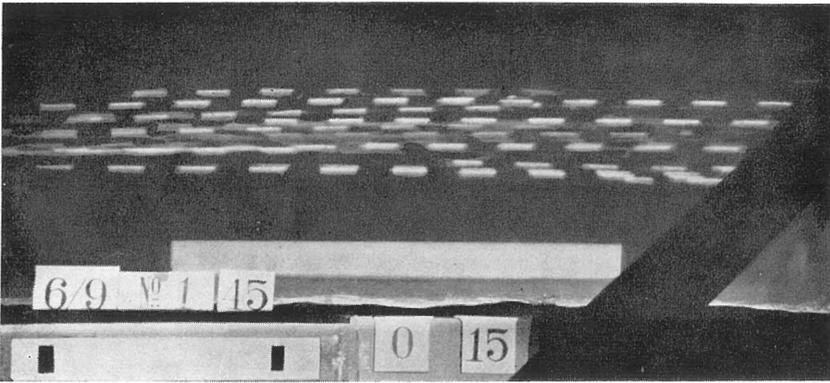


(14の6) セクション4
第2表 No. 8 (流速 18.04 cm/sec) 参照

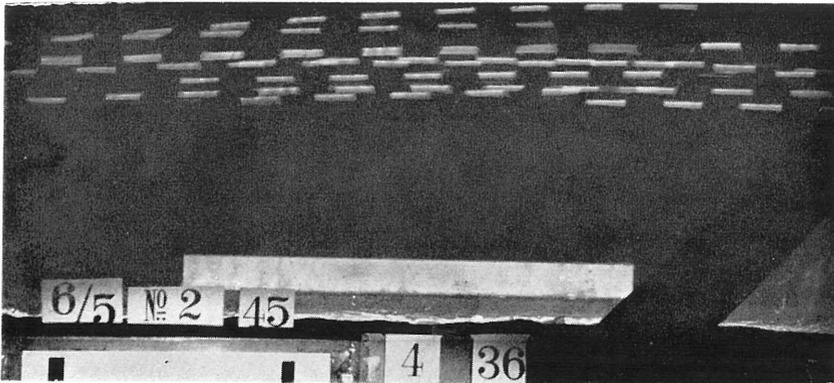
(14) 流速分布の測定 その2



(14の7) セクション0
第2表 No. 11 (流速 23.87 cm/sec) 参照



(14の8) セクション0
第2表 No. 12 (流速 28.77 cm/sec) 参照



(14の9) セクション4
第2表 No. 13 (流速 34.79 cm/sec) 参照

(14) 流 速 分 布 の 測 定 その 3