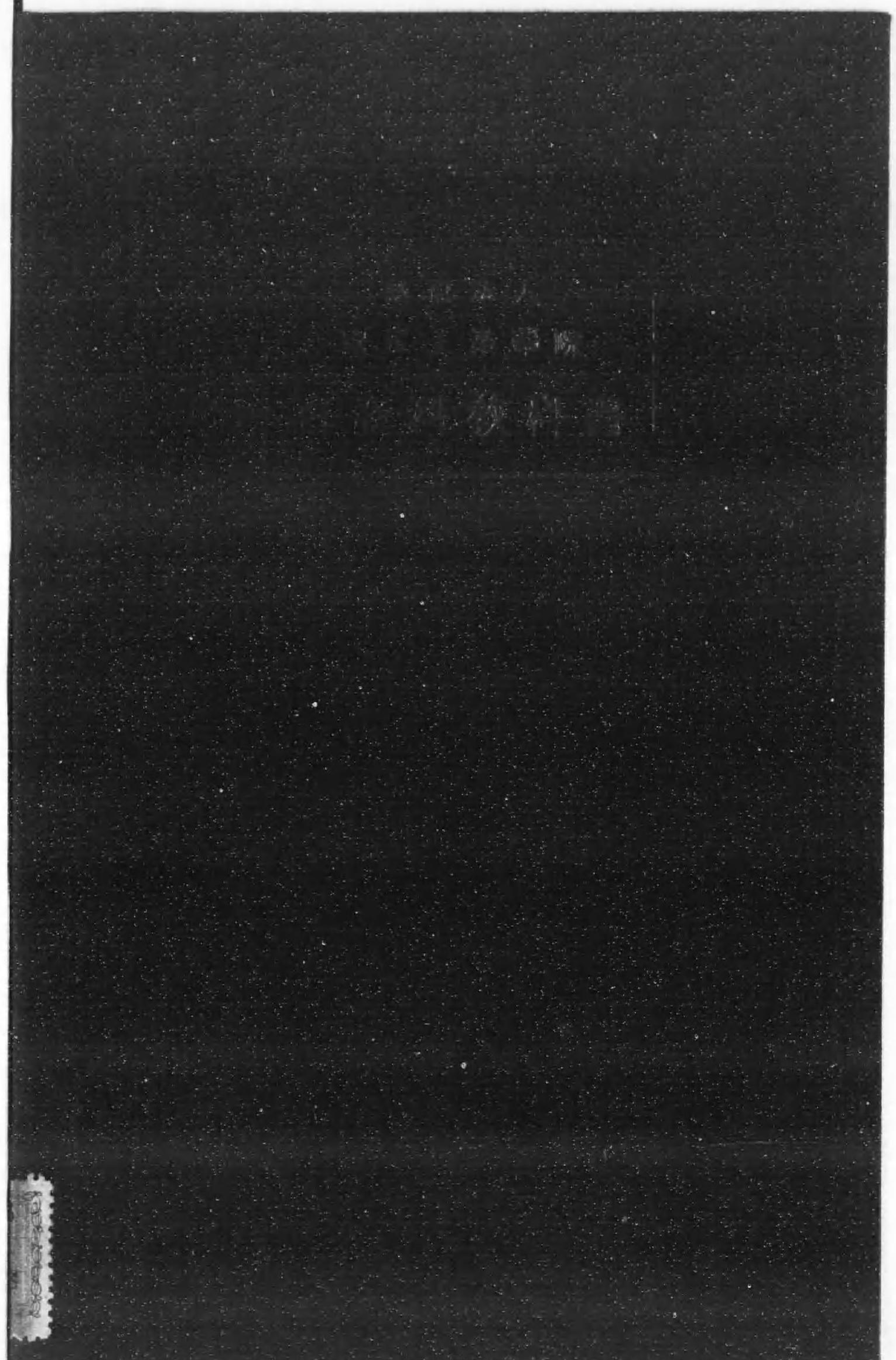
始



財團法人
國民工業學院
專修科教科書

財團法人國民工業學院

專修科教科書

水力學及水力機

全

東京・銀座

財團法人國民工業學院

發　　行

例　　言

本書は本學院專修科の通信教科書として編し、實地に必要な知識を成るべく平易に理解させることを主眼としたものである。

專修科の修學期間は一科目毎に三箇月と定めてあるから、本書に依つて學習せられる諸子は其の間に反復精讀して、不審の點は本學院に質問せられ、本學院は力めて丁寧に回答することゝするから、これに依つて研究を重ね、成るべく期間内に學習し終ることを期せられたい。

本書を十分に理解するには凡そ次の三段の手順を踏むがよい。

（一）**通讀**　初めに一章なり一節なり、適當な區切を定めて置いて、それだけ讀み通して大意を知るのである。此の時には假令分らぬ箇所があつても、それは後で考へることにして兎に角讀み通して大體どんな事が書いてあるかを知るのが肝心である。

（二）**精讀**　通讀のすんだ所を初めから讀み直して、今度は十分に考へて分らぬ所や曖昧な所が無いやうに理解するのである。これも最初は多少通讀の意味を加へて、十分には行かずとも先づ一應の精讀を試み、相次いで二回三回と繰り返して〻最初に分らなかつた所も十分に理解し、幾回も反復して遂に一點の不明な箇所も無いまでに至らねばならぬ。此の時に不審が起れば質問するがよい。自分でよく考へもしないで直ぐに質問するのは良いことではない。また後の章に進めば自ら分るといふ類の事柄は、自分の頭に保留して置いて次に進むがよい。

（三）**應用**　精讀して理解した事柄は、これを實地に當て嵌めて見ねばならぬ。美く實地に活用することが出來れば、初めて知識が自分

のものになつたのである。併し應用は複雜なもので、さう容易く出來ない場合がある。諸子が實地に當つて見ると、書物で讀んだのとは勝手が違ふと感ずる事もあるであらう。その場合には書物にあつた說明と實地とを比較してよく考へて見るがよい。すると成程樣子は違つて居るけれども同一の原則に依つたものだといふ事が分るであらう。同一の原則を種々の場合に當て嵌めるのが應用であるから、これにも十分に頭腦を働かせねばならぬ。そして最も注意周到に且用心深くすることが肝要である。この時にも不審が起るであらうから、十分に質問するがよい。

以上の手順を採つて章節を逐つて本書全體を終れば卽ち修了である。尙修了後も復習を怠らず、又本書を基礎として硏究を進めて行くならば、諸子の進步は必ずや著しく、殆ど無限に伸び得る譯である。

修了生には希望に依つて修了證書を授與し、その修了者には院友徽章を贈つて永く本學院との連絡を保ちたいのであるから、諸子に於いても學問技術の點のみならず、道德の點に於いても本學院の生徒たるの品位を全うせられることを希望する。

昭和九年一月

財團法人 國民工業學院

水力學及び水力機

目 次

水力學及び水力機

第1編　水　力　學

第1章　序　　說

1.　水の重さ及び壓力　水は地球上到る所にある液體で、その靜止及び運動を取り扱ふ學問を **水力學** といひ、それを應用した機械を總稱して **水力機** と呼ぶ。水は總ての液體の代表者であるから、油，水銀その他有らゆる液體も皆水と同樣に取り扱ふことが出來る。

普通の狀態で淸水 $1\,\mathrm{cm}^3$ の重さは 1 g であるから、1 リットルの重さは 1 kg、$1\,\mathrm{m}^3$ の重さは 1 トン である。水は 4° C の時に最大の密度を有し、溫度の變化と共に多少の重さが變るけれども、普通の氣溫では春夏秋冬を通じてその差は極めて小さいから、水の重さに及ぼす溫度の影響は一般に考へない。

混有物を有する汚水，泥水のやうな濁水は淸水よりも重く、油や空氣を混入してる水は淸水よりも輕く、水銀の重さは淸水の約 13·6 倍である。海水は鹽分の含有量等によつて違ふけれども、平均して淸水の 1·025 倍の重さである。

物質の單位容積の重量を略して **單位重量** といひ、單位容積の質量を **密度** といふ。單位重量は通例 γ で表し、密度は ρ で表す。故に地球重力の加速度を g とすれば次の關係になる。

$$\gamma = g\rho \qquad \text{故に} \quad \rho = \frac{\gamma}{g} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

2 種の物質の單位重量又は密度の比をその 2 物質間の **比重** と

いふ。通例清水を基準として各種の物質の比重を表すのである。例へば水銀の比重 13·6，海水の比重 1·025 といふのは、清水の重さ 1 に對して水銀の重さは 13·6，海水の重さは 1·025 といふ意味である。

水には **壓力** が働く。壓力は單位の面積の上に直角に働く力の大いさで測る。例へば面積 1 cm^2 上に働く力が p kg ならば、それを p kg/cm^2 の壓力といふのである。

壓力 1 kg/cm^2 を壓力 1 氣壓ともいふ。これは大氣壓が大凡 1 kg/cm^2（詳しくは 1·0336 kg/cm^2）に等しいからである。故に壓力 p 氣壓といふのは p kg/cm^2 の壓力をいふのである。

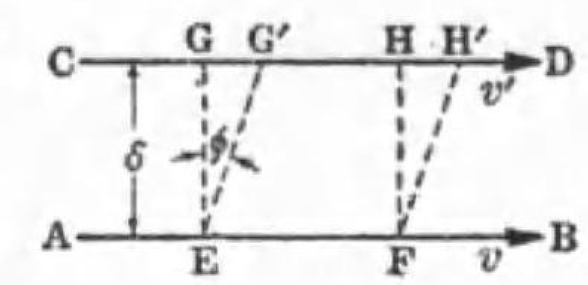
2. 壓縮性及び粘性 水は總ての物體と同じく、壓力を加へると收縮して容積が小さくなくなる。今容積 V の水が壓力 p によつて收縮して容積 V' になつたとすれば、$V-V'$ は容積の變化でこれを初めの容積 V で除したるものを **容積歪** といひ、壓力 p を容積歪で除した値を **容積彈性係數** といふ。故に容積歪を e とし、容積彈性係數を K とすれば、

$$e=\frac{V-V'}{V},\qquad K=\frac{p}{e}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

水は壓力のために收縮するとはいへ、その度合は非常に小さく、壓力 100 氣壓につき原容積の大凡 $\frac{1}{200}$ 收縮するに過ぎない。この値から計算すると K の値は 20,000 kg/cm^2 となる。100 氣壓につき $\frac{1}{200}$ といふことは 1 氣壓については $\frac{1}{20{,}000}$ で、これは極めて微小な容積の變化である。それ故通例水を取り扱ふ場合には、水は壓力によつて容積を變へず、從つて水の單位重量及び密度は、壓力によつて影響されぬものと考へる。

二つの固體の摩れ合ふ面に摩擦が働くと同じやうに、水の層と層とが互に接して摩れ合へば、接觸面に沿つて或抵抗力が働く。この力を **粘力** と稱へ、粘力を發生する性質を **粘性** といふ。水は必ず粘性を有するけれども、計算を簡單にするために粘性がない水を假定することがある。このやうに假定された水（廣くいへば流體）を **完全流體** と呼ぶ。

第 1 圖



運動する水の中に極めて接近した二つの水の層 AB，CD を考へ（第 1 圖）、その距離を δ とし、AB の速度を v、CD の速度を v' とし、v' が v よりも大なれば、EFHG のやうな長方形は次の瞬間に EFH'G' のやうに變形する。この時 AB 叉は CD なる層の單位面積の上に働く粘力を f とすれば、f は $\frac{v'-v}{\delta}$ に正比例するものである。故にこれを式で書けば、

$$f=\mu\frac{v'-v}{\delta}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

μ は流體の種類と溫度とによつて異なる或係數で、これを **粘性係數** といふ。實際には μ の代りにそれを密度 ρ で除した $\frac{\mu}{\rho}$ を用ゐることが多い。この値を **動性粘性係數** と名づけ通例 ν で表す。故に單位重量 γ と μ 及び ν の間には次のやうな關係があることになる。

$$\nu=\frac{\mu}{\rho}=\frac{\mu g}{\gamma}\qquad 或は\quad \mu=\rho\nu=\frac{\gamma}{g}\nu\cdots\cdots(4)$$

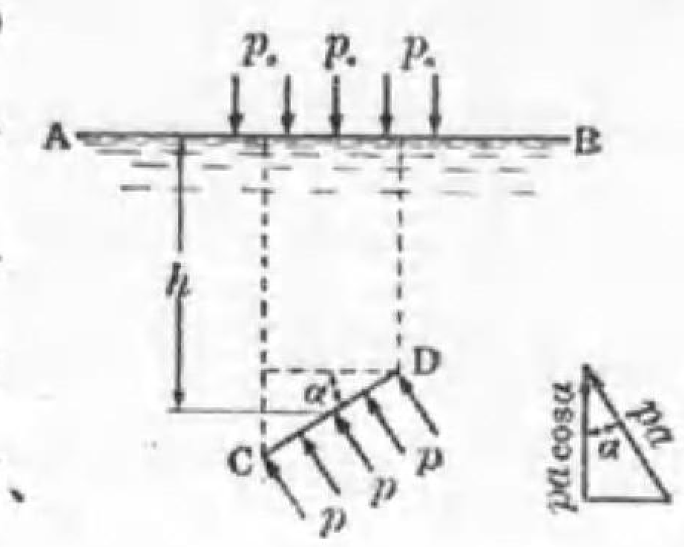
第 2 章 靜 壓 力

3. 深さと壓力との關係 壓力は凡て考へてゐる面に直角に働くものである。そして靜止してる水中に於て働くこの壓力を **靜**

壓力 といふ。

今靜止してる水面 AB から平均の深さ h の位置に、AB と α なる角をなして極めて小さい平面 CD を考へる（第 2 圖）。この位置に働く靜壓力を p とし、CD の面積を a とすれば、p は CD の面に直角に働くから、これに働く全壓力即ち壓力による力は pa である。[1] 故に垂直上方に働くこの力の分力は $pa\cos\alpha$ となる。

第 2 圖



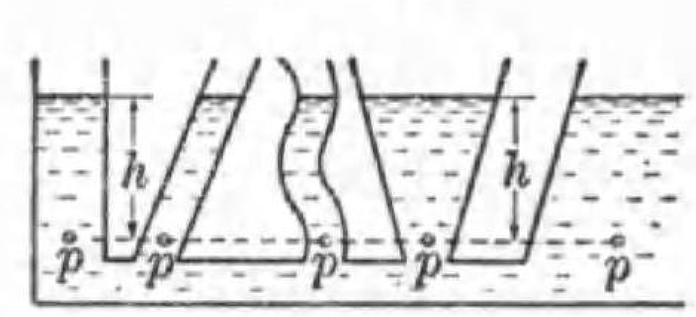
次に平面 CD 上に乗つてゐる水の容積は CD $\cos\alpha \times h$ 即ち $ah\cos\alpha$ であるから、水の單位重量を γ とすれば、その重量は $\gamma ah\cos\alpha$ で、この重量は前の $pa\cos\alpha$ なる力と釣合を保たなければならぬ。よつて次の關係となる。

$$pa\cos\alpha = \gamma ah\cos\alpha$$

即ち
$$p = \gamma h \cdots\cdots (5)$$

斯くの如く靜壓力は水の單位重量と水面からの深さとの乗積によつて定まり、水を入れた器物の大小，形狀等には少しも關係がない。故に同じ水の同じ h なる深さに働く靜壓力 p は、到る處で悉く等しい（第 3 圖）。靜止せる水面が、地球重力の方向即ち地球の中心に向く直線の方向に直角な平面を呈するのはこのためである。

第 3 圖



[1] 壓力は單位面積につきそれに働く力の割合である。故に壓力を力として取り扱ふには必ずその面積を掛けなければならぬ。

水面 AB は、空氣，蒸氣その他一般に氣體と接觸する面で、動搖を起し易い自由の面である。故にこのやうな面を水の **自由面** といふ。自由面には通例或壓力が働く。この壓力を p_0 とすれば、上式は次のやうになる。

$$p = p_0 + \gamma h \cdots\cdots (6)$$

p_0 は自由面が眞空に接するならば 0、大氣に接するならば大氣壓、蒸氣罐内のやうに蒸氣に接するならば蒸氣壓である。

例 1 深さ 4,000 m の海底の壓力を問ふ。

（解） 海水の比重は普通 1·025 であるから、$\gamma = 1{,}025\ \mathrm{kg/m^3}$ である。

故に $p = 1{,}025 \times 4{,}000 = 4{,}100{,}000\ \mathrm{kg/m^2}$

壓力は通例面積 1 $\mathrm{cm^2}$ 上に働く壓力として $\mathrm{kg/cm^2}$ の單位で表すから、これをこの單位で表せば、

$$p = 410\ \mathrm{kg/cm^2} \quad 即ち\ 410\ 氣壓$$

若し水面に働く大氣の 1 氣壓を加算するならば 411 氣壓である。

例 2 壓力 1 氣壓に相當する水及び水銀柱の高さを求む。

（解） $p = 1$ 氣壓 $= 1\ \mathrm{kg/cm^2} = 10{,}000\ \mathrm{kg/m^2}$

水は $\gamma = 1{,}000\ \mathrm{kg/m^3}$ であるから、式（5）より

$$h = \frac{p}{\gamma} = \frac{10{,}000}{1{,}000} = 10\ \mathrm{m}$$

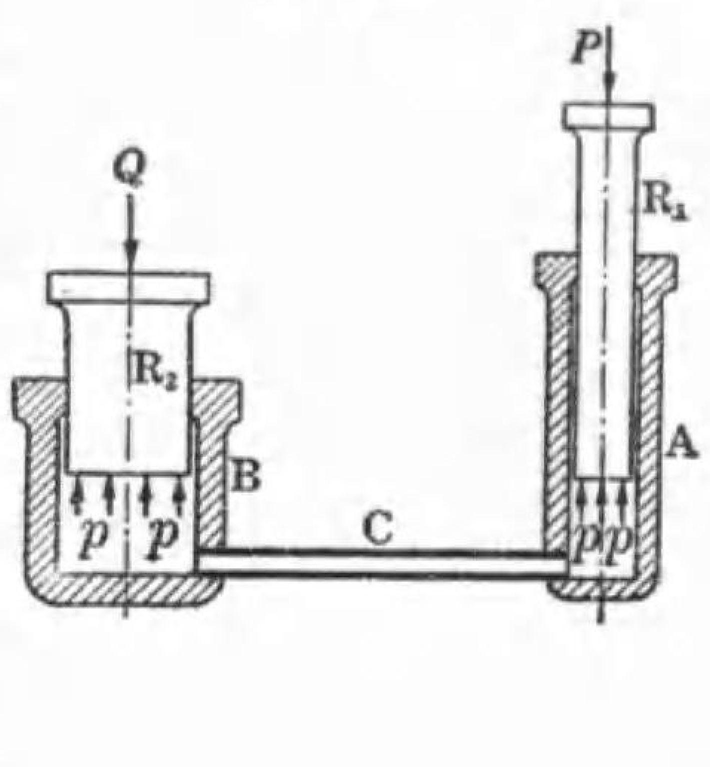
又水銀の比重を 13·6 とすれば、水銀は $\gamma = 13{,}600$ であるから、同様に $h = \dfrac{10{,}000}{13{,}600} = 0{\cdot}735\ \mathrm{m}$ 或は 735 mm

即ち求める水柱の高さは 10 m，水銀柱の高さは 735 mm で

ある。[2]

4. **壓力の傳播** 水中の或箇所に或壓力を加へると、その壓力はそのまゝ四方八方に一樣に傳播する。これを **パスカル の法則** と名づける。今 C なる管で結び付けられた二つの圓筒 A，B の中に水を滿し（第 4 圖）、それに夫々 R_1，R_2 なる圓柱を挿し込み、水の洩れぬやうに裝置して、

第 4 圖



R_1を P なる力で A の中に壓し込めば、水に壓力が現れる。この壓力は R_1 の下面に直角に働き、それを p とし、R_1 の斷面積を A_1 とすれば、$p=\dfrac{P}{A_1}$ である。この壓力は四方八方に一樣に傳播し、R_2 の下面に同じ壓力 p が直角に働く。故に R_2 に働く力を Q とし、R_2 の斷面積を A_2 とすれば、$pA_2=Q$ なる關係になる。故に

$$p=\frac{P}{A_1}=\frac{Q}{A_2} \qquad \text{よつて} \quad Q=P\frac{A_2}{A_1}\cdots\cdots(7)$$

R_1 の直徑を D_1，R_2 の直徑を D_2 とすれば、$\dfrac{A_2}{A_1}=\left(\dfrac{D_2}{D_1}\right)^2$ であるから、

$$Q=P\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

水の容積は壓力に關係なく一定であるから、R_1 の壓し込まれ

[2] 水銀柱の高さ 760 mm に相當する壓力を標準大氣壓とする。故に標準大氣壓は壓力 1 氣壓よりも水銀柱の高さにして 25 mm だけ壓力が高い。標準大氣壓を水柱の高さに換算すると 10·33 m となる。

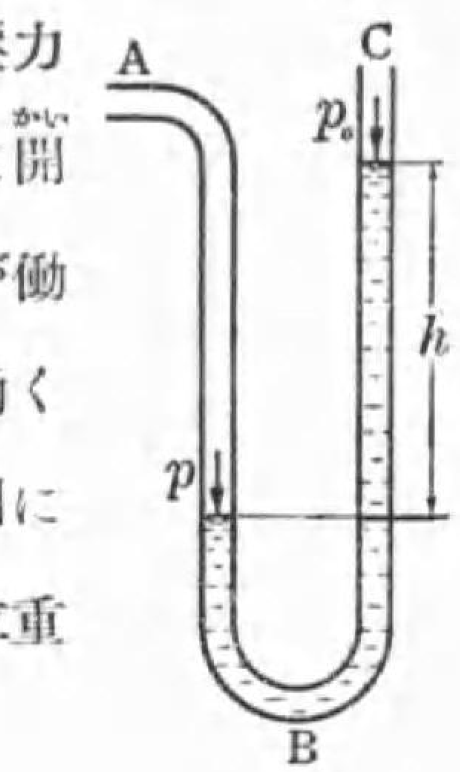
た深さを l_1、R_2 の拔け出す高さを l_2 とすれば、

$$l_1A_1=l_2A_2 \qquad \text{故に} \quad l_2=l_1\frac{A_1}{A_2}=l_1\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\cdots(9)$$

卽ち圓柱に働く力は直徑の 2 乘に正比例し、圓柱の動く深さ又は高さは直徑の 2 乘に反比例する。これは水壓機の原理である。

5. **壓力計** 流體の壓力を測る計器を **壓力計** といふ。その最も簡單なものは U 字形に作つた ガラス 管に水，油，水銀のやうな液を入れ、兩管に現れる液面の高さの差によつて壓力を測る方法である（第 5 圖）。

第 5 圖



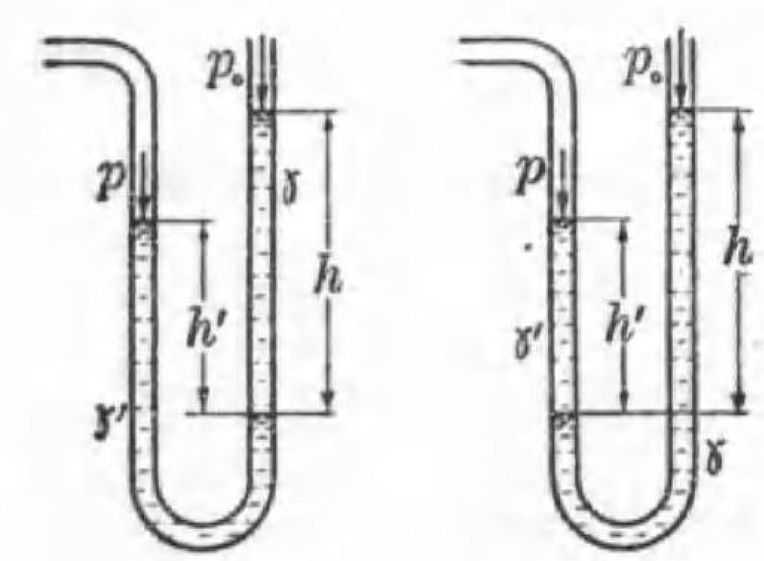
U 字管 ABC の中に液を入れ、A 端を壓力を測らうとする所に接續し、C 端を大氣中に開放する。然る時は C 端の液面には大氣壓が働くこれを p_0 とする。若し A 端の液面に働く壓力 p が大氣壓よりも大なれば、兩液面間に h だけの高さの差が現れる。よつて液の單位重量を γ とすれば、式（6）より

$$p=p_0+\gamma h\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

この算式は管の太さが一樣であるなしに關らず、又管の形狀の如何に關らず成り立つ。若し管が垂直に置かれてなく、傾いて居るならば、兩液面間を垂直に測つた高さを h とすればよい。

第 6 圖

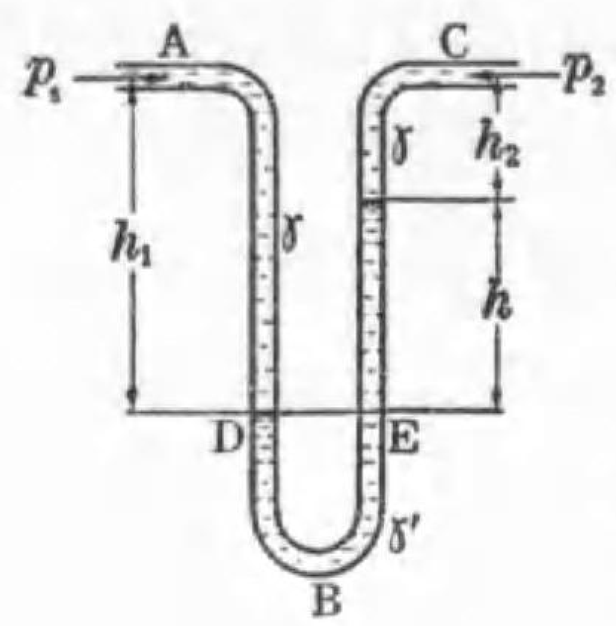
(A) (B)



若し測らうとする壓力 p が大氣壓 p_0 よりも小ならば、A 端の液面は C 端の液面よりも高くな

り、兩液面間の高さを h とすれば、

第 7 圖



$$p = p_0 - \gamma h \cdots\cdots\cdots\cdots (10a)$$

上記の壓力計と同じ U 字管に互に混和しない 2 種の液、例へば水と油，水と水銀のやうなものを注入した壓力計がある（第 6 圖 A, B)。この場合には 2 種の液の單位重量を夫々 γ 及び γ' とすれば、

$$p = p_0 + \gamma h - \gamma' h' = p_0 + \gamma\left(h - \frac{\gamma'}{\gamma} h'\right) \cdots\cdots (11)$$

γ を水とし、γ' を他の液とすれば、$\dfrac{\gamma'}{\gamma}$ はその液の比重である。これを s で表せば、

$$p = p_0 + \gamma(h - sh') \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11a)$$

若し p が p_0 に等しいならば、

$$h - sh' = 0 \qquad \text{故に} \quad \frac{h}{h'} = s$$

卽ち壓力の等しい時に、二つの管に液の上る高さは、**比重に反比例する**ものである。

6. **示差壓力計** U 字管 ABC の中に互に混和しない液を入れ（第 7 圖)、兩端 A , C を異なる壓力 p_1 及 p_2 に接續した時に管内の液面に h なる高さの差を生じたとし、兩液の單位重量を γ 及 γ' とすれば、同じ液内の、同じ水平面 DE **上の壓力は等しい**ことから、

$$p_1 + \gamma h_1 = p_2 + \gamma h_2 + \gamma' h$$

故に　$$p_1 - p_2 = \gamma' h - \gamma(h_1 - h_2) = (\gamma' - \gamma)h$$

卽ち　$$p_1 - p_2 = \left(\frac{\gamma'}{\gamma} - 1\right)\gamma h \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

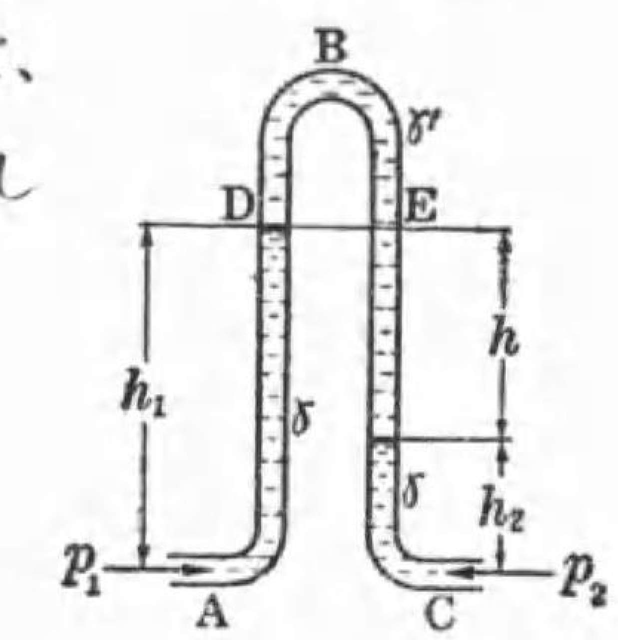
例へば γ が水、γ' が水銀ならば、$\dfrac{\gamma'}{\gamma} = 13{\cdot}6$ であるから、

$$p_1 - p_2 = 12{\cdot}6\,\gamma h \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12a)$$

斯くの如く p_1 と p_2 との差は液面の高さ h によつて直接に測ることが出來る。このやうに壓力の差を直接に測る壓力計を **示差壓力計** と呼ぶ。

測らうとする壓力の差が極めて小さい場合には、水銀のやうな水よりも重い液を用ゐず、その代りに油のやうな水よりも輕い液を用ゐ、U 字管を倒置する（第 8 圖)。この場合に γ' を油の單位重量とすれば、同じ液内の水平面 DE 上の壓力が等しいことから、

第 8 圖



$$p_1 - \gamma h_1 = p_2 - \gamma h_2 - \gamma' h$$

故に　$$p_1 - p_2 = \gamma(h_1 - h_2) - \gamma' h = (\gamma - \gamma')h$$

卽ち　$$p_1 - p_2 = \left(1 - \frac{\gamma'}{\gamma}\right)\gamma h \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

例へば γ を水とし、γ' を水に對して比重 0·71 の揮發油を用ゐるならば、

$$p_1 - p_2 = (1 - 0{\cdot}71)\,\gamma h = 0{\cdot}29\,\gamma h$$

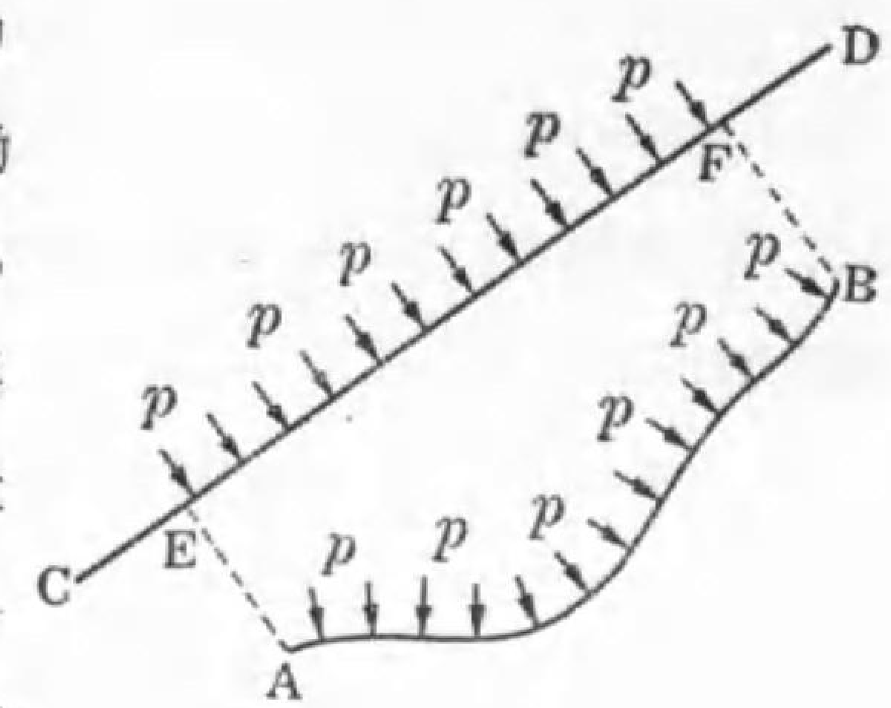
又若し比重 0·8 の石油を用ゐるならば、

$$p_1 - p_2 = (1 - 0{\cdot}8)\,\gamma h = 0{\cdot}2\,\gamma h$$

7. **曲面に働く全壓力** 壓力は凡て考へてゐる面に直角に働く。例へば考へてゐる面が AB のやうな曲面であるならば(第 9 圖)、壓力 p はこの面の各點でその面に直角に働くのである。

今曲面 AB を任意の平面 CD の上に投射した平面を EF とすれば、EF は CD 面上に考へてゐる面であるから、壓力 p はまたこの面に直角に働く。そして EF は平面であるから、これに直角に働く壓力 p は凡て平行である。故に EF の面積を A とすれば、この面に働く全壓力は $p \times A$ である。つまり曲面 AB に働く全壓力を、平面 CD の方向に直角に分解すれば力 pA に等しい。即ち曲面に働く全壓力の或方向の分力は、その方向に直角なる投射面に働く全壓力に等しい。

第 9 圖



蒸氣機關の ピストン 鋲に働く蒸氣の全壓力は、ピストン 面の凹凸の如何に關らず、常に ピストン の平面積 A と蒸氣壓力 p との乘積 pA に等しいのは、この理論によるものである。

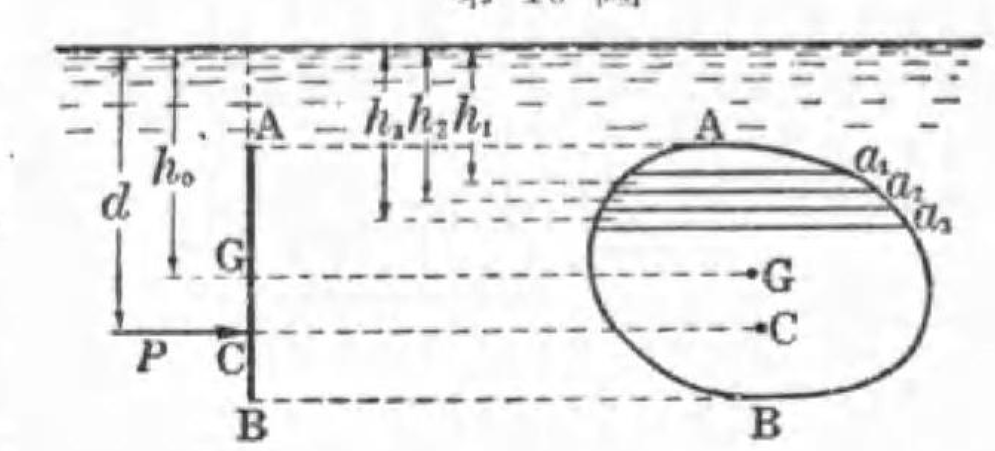
8. 絕對壓力と常用壓力　大氣壓は地球上の總ての物體に一様に働くものであるから、大氣壓に等しい壓力は互に釣合を保つて何等力の働を現さない。力の働を現す壓力は大氣壓よりも高い壓力か又は大氣壓よりも低い壓力である。だから凡て力として働を現す有効壓力は大氣壓を基準とした壓力であつて、このやうな壓力を **常用壓力** といふ。これに對して眞空卽ち壓力 0 を基準とした壓力を **絕對壓力** と呼ぶ。

例へば式（5）の p は常用壓力であり、式（6）の p は絕

對壓力である。凡て常用壓力に大氣壓を加へれば絕對壓力となり、絕對壓力から大氣壓を減ずれば常用壓力となる。以下の諸計算には、有効壓力を表すために、凡て常用壓力を用ゐることにする。

9. 面に働く水の全壓力　AB を水中に垂直に置かれた面とする（第10圖）。靜壓力は水面からの深さに正比例するから、今この面を水平な狹い多數の小面積に分割したと考へ、それ等の小面積を a_1, a_2, a_3, 等とし、それ等小面積に働く壓力を順次に p_1, p_2, p_3, 等とし、AB の全面積に働く全壓力を P とすれば、P は p_1a_1, p_2a_2, p_3a_3, 等の合力であるから、

第 10 圖



$$P = p_1a_1 + p_2a_2 + p_3a_3 + \cdots\cdots$$

これ等の小面積の水面からの深さを順次に h_1, h_2, h_3, 等とすれば、式（5）より[3]

$$p_1 = \gamma h_1,\ p_2 = \gamma h_2,\ p_3 = \gamma h_3,\ \text{等}$$

故に　$$P = \gamma(a_1h_1 + a_2h_2 + a_3h_3 + \cdots\cdots)$$

與へられた面 AB の重心を G とし、水面から G までの深さを h_0 とし、AB の全面積を A とすれば、重心の定義から

$$a_1h_1 + a_2h_2 + a_3h_3 + \cdots\cdots = Ah_0$$

故にこれを上式に代入すれば、

$$P = \gamma A h_0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

(3) 常用壓力を以て計算する場合には水面に働く大氣壓を考へる必要がない。

γh_0 は重心 G に働く壓力である。故にこれを p_0 で表せば、

$$P = p_0 A \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14a)$$

これで判るやうに、平面 AB に働く全壓力は、その重心に働く壓力が全面に一樣に働くと考へた全壓力に等しい。

P は p_1a_1, p_2a_2, p_3a_3, 等の合力であつて、この合力の働く點を C とすれば、C を **壓力の中心** といふ。この點の位置を求めるには、水面から其の點迄のその深さを d とし、水面に對する力のモーメント を求めれば、

$$p_1a_1h_1+p_2a_2h_2+p_3a_3h_3+\cdots\cdots\cdots = Pd$$

この p_1, p_2, p_3, 等に上記の値を代入すれば、

$$\gamma(a_1h_1^2+a_2h_2^2+a_3h_3^2+\cdots\cdots\cdots)=Pd$$

然るに $a_1h_1^2+a_2h_2^2+a_3h_3^2+\cdots\cdots$ は與へられた平面 AB の、水面に對する慣性 モーメント である。故にこれを I' で表せば、

$$\gamma I' = Pd \qquad 即ち \quad d=\frac{\gamma I'}{P}$$

AB の重心 G を通り、AB 面上に於て、水面に平行に引いた直線に對する平面 AB の慣性 モーメント を I とすれば、慣性 モーメント の定理から、

$$I' = I + Ah_0^2$$

故にこれを上式に代入し、なほ P の代りに式 (14) の値を入れると、

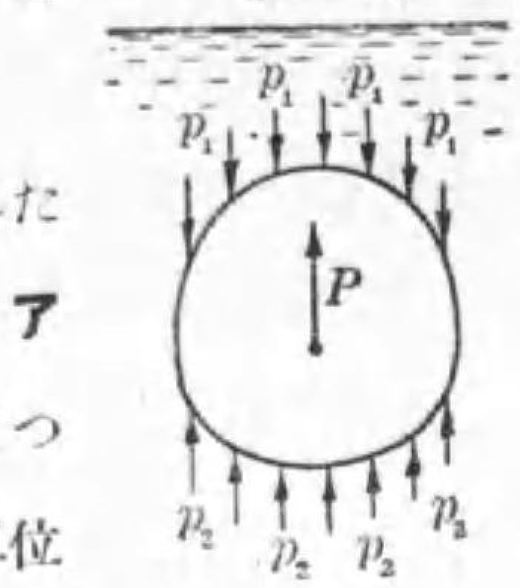
$$d = \frac{I}{Ah_0} + h_0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

これは壓力の中心を求める公式で、これで見ると壓力の中心は重心よりも下にあり、兩點間の距離は $\frac{I}{Ah_0}$ に等しい。

10. **浮力** 水中にある物體はその周圍の全面から壓力を受け、

上面に働く壓力 p_1 よりも、下面に働く壓力 p_2 は、深さに正比例して大きい (第11圖)。故にこの物體は、これ等の壓力の差による力で垂直上方に壓し上げられる、この力を **浮力** と名づける。

第11圖



浮力の大いさは、物體によつて占められた容積だけの流體の重さに等しい、これを **アルキメデス の原理** と稱へる。今物體によつて占められた水の容積を V とし、水の單位重量を γ とすれば、浮力 P は次の公式で表される。

$$P=\gamma V \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

浮力 P は垂直に上方に働く力であるから、水中にある物體の重さは眞空中で測つた重さよりも P だけ輕い。これは水に限らず總ての流體の場合にも同樣で、例へば空氣中にある物體は空氣の浮力を受け、空氣中で測つた物體の重さは、眞空中で測つた重さよりも空氣の浮力だけ輕いのである。

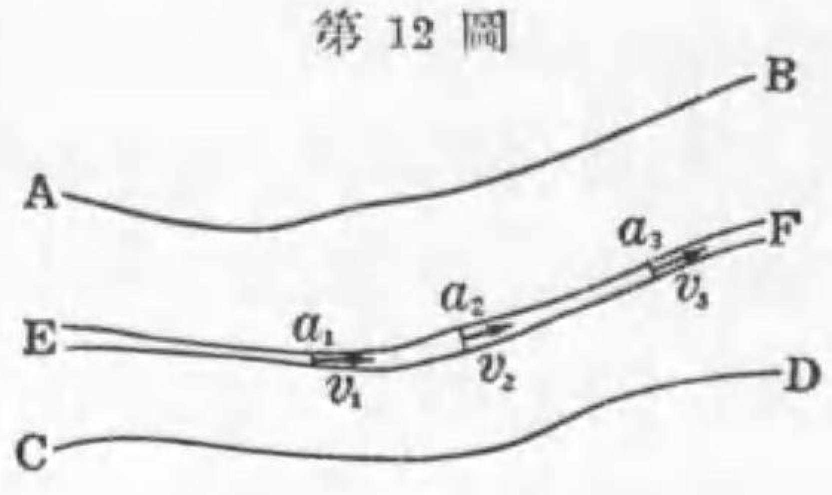
第3章 ベルヌイ の定理

11. **流水の連續** これより後は凡て運動する水について論ずる。水が運動すれば **流水** を形成する。故にそれを **流動** ともいふ。

流れを形成する水の各分子は夫々或徑路に沿うて流動する。この徑路は直線なることもあり、曲線なることもあるが、それ等を凡て **流線** といひ、或太さの流線の束を **流管** と稱へる。

流管は流れの或束であるから、この中を流れる水の容積は流管の總ての位置に於て一定でなければならぬ。故に今 AB, CD を

第 12 圖



一つの流れの兩壁だとし（第12圖）、その中に考へた或流管を EF とし、その斷面積が a_1, a_2, a_3 なる所を流れる水の速度を v_1, v_2, v_3 とすれば、一定時間にそれ等の斷面を通過する水の容積は夫々 a_1v_1, a_2v_2, a_3v_3 であるから、

$$a_1v_1 = a_2v_2 = a_3v_3 \cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

これを **連續の方程式** といひ、水の流が中斷することなしに順次連續するためには、この方程式が滿足されなければならぬ。

一つの流は流管の多數の集合から成るものであるから、流全體についてもこの方程式は滿足されなければならぬ。流全體については、a_1, a_2, a_3 は流の斷面積であり、v_1, v_2, v_3 はそれ等の斷面積を通して流れる水の各平均速度である。[4]

式 (17) によれば、流水の速度はその斷面積に反比例する。故に流の狹い所の速度は大きく、廣い所の速度は小さい。

一定の斷面を通して單位時間に流れる水の容積を **流量** といふ。連續の方程式によれば、一つの流の流量は總ての斷面に於て等しい。故に斷面積 A なる所を流れる水の平均速度を v とし、流量を Q とすれば、[5]

$$Q = Av \cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

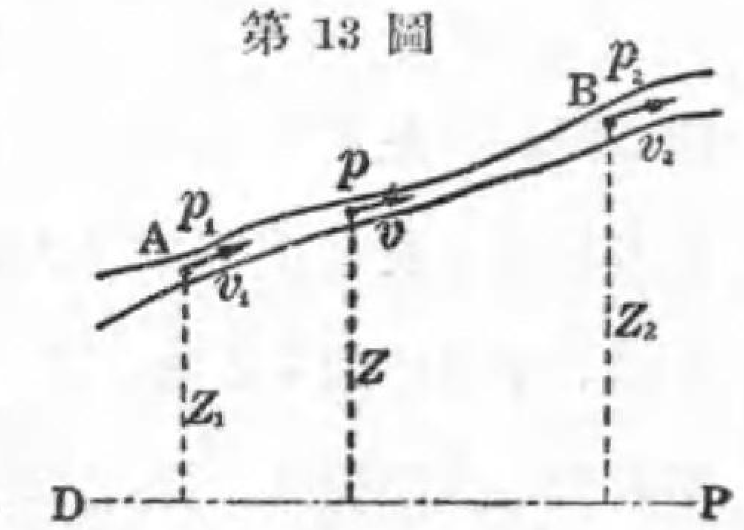
(4) 流水の各斷面を流れる水の速度は必ずしも同一でないから、その斷面を流れる水の平均速度を以て計算するのである。

(5) 流量を測る單位は m^3/時, l/秒 等である。前者は毎時の流量を m^3 で表したもの、後者は毎秒の流量を l で表したものである。

12. **ベルヌイ の定理** 水はその流動中に順次その位置を變へると同時に速度及び壓力が次第に移り變つて行くけれども、流動中に他から エネルギー の供給を受けず、又他に エネルギー を給與することがなければ、その水が所有する エネルギー の總量は流水の總ての位置で常に一定なるべき理である。

流動する水の所有する エネルギー は、靜 エネルギー と動 エネルギー との和であり、靜 エネルギー は壓力 エネルギー と位置 エネルギー との和であるから、エネルギー の出入のない流水の總ての位置で、位置 エネルギー, 壓力 エネルギー 及び動 エネルギー の3種の エネルギー の和は一定でなければならぬ。この定理を **ベルヌイ の定理** といふ。

第 13 圖



今流水又は流管の或點の速度を v とし（第 13 圖）、その點の壓力を p とし、任意に定めた水平面 DP から測つたその點の高さを z とし、流量を Q とすれば、單位時間にこの流水又は流管を流れる水の重量は γQ である。但し γ は水の單位重量で、以下水の單位重量を表すに常にこの符號を用ゐる。

すると單位時間に流れる水がこの點に於て有する動 エネルギー は $\frac{\gamma Q v^2}{2g}$ であり、位置 エネルギー は γQz である。又 p なる壓力を水の高さに換算すれば $\frac{p}{\gamma}$ であつて、壓力 p は $\frac{p}{\gamma}$ なる水の高さから發生するものであると考へ得るから、壓力 p に相當する靜 エネルギー は $\gamma Q\frac{p}{\gamma}$ 即ち Qp で、これが即ち壓力 エネルギー である。

以上 3 種の エネルギー の和は ベルヌイ の定理によつて、與へられた一つの流水又は流管の總ての點で一定である。それ故

$$Qp+\frac{\gamma Qv^2}{2g}+\gamma Qz=一定$$

これを單位時間に通過する水の重量 γQ を以て通約し、一定値を H で表せば

$$\frac{p}{\gamma}+\frac{v_2}{2g}+z=H \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

これは ベルヌイ の定理を算式で示したもので、これを算式で表した **ベルヌイ の定理** と稱へる。一つの流水、又は流管の總ての點でこの方程式は成り立つのであるから、A なる點の速度が v_1、壓力が p_1、DP よりの高さが z_1、B なる點の速度が v_2、壓力が p_2、DP よりの高さが z_2 ならば、次のやうな關係になる

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2=\frac{p}{\gamma}+\frac{v^2}{2g}+z=H \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(19\,a)$$

ベルヌイ の定理は流動の狀態にある流體の壓力，速度及び位置の間に存在する エネルギー の關係を表したもので、この定理を方程式で表した (19) 式或は (19a) 式と、連續の方程式 (17) とは、水力に關する殆ど總ての計算の基礎をなすものであつて、水力學の諸問題は、この定理と方程式との應用であるとさへいはれてゐるものである。

實際流體の流動は、この定理とこの方程式とに支配されて流動するものであつて、それ等は何れも極めて簡單なる定理と方程式とではあるが、その重要さに至つては甚だ大なるものであることを忘れてはならない。

13. ヘッド ベルヌイ の方程式 (19) の第 1 項 $\frac{p}{\gamma}$ は單位時間に單位の重量の水が流れる時に有する壓力 エネルギー、第 2 項 $\frac{v^2}{2g}$ はその動 エネルギー、第 3 項 z はその位置 エネルギー であるから、その 3 種の エネルギー の和である右邊の H は、單位時間に單位の重量の水が流れる時に有する全 エネルギー である。

一般に單位時間に單位の重量の水が流れる時に有する エネルギー を **ヘッド** と名げける。故に $\frac{p}{\gamma}$ を **壓力 ヘッド**、$\frac{v^2}{2g}$ を **速度 ヘッド**、z を **位置 ヘッド** といひ、この 3 種の ヘッド の和である H を **全 ヘッド** と稱へる。[6] されば ベルヌイ の定理は エネルギー の出入がない一つの流水又は流管の總ての點で、壓力 ヘッド、速度 ヘッド 及び位置 ヘッド の和は一定で、全 ヘッド に等しいともいひ得られる。

ヘッド は z 又は $\frac{p}{\gamma}$ で知られる通り、水の高さ又は水の深さと同じ單位で表されるものである。故に ヘッド は長さの單位 m，cm 等を以て表される。

14. 損失(そんしつ) ヘッド 水が流動すればそれに種々の抵抗力(ていかうりよく)が働く。抵抗力は凡て エネルギー を減小せしめるものであるから、流水が下流に進むに從つて ヘッド が次第に失はれて行く。今水が A 點から B 點に向つて流れるものとし (第 13 圖)、その A と B との間で失はれる ヘッド、語(ご)を換(か)へていへば、單位時間に單位の重量の水が A と B との間に於て失ふ エネルギー を h と

(6) 全 ヘッド を河川の流の場合には **落差**(らくさ)、ポンプ の場合には **揚程**(やうてい) などといつてゐる。

すれば、B 點に於て有する全 ヘッド に h を加へたものが、A 點に於て有する全 ヘッド に等しくなければならぬから、次のやうな關係になる。

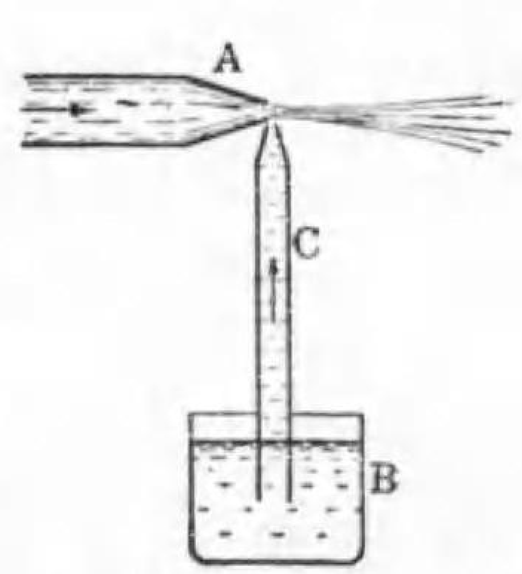
$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2+h \cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

これは抵抗力のために失ふ エネルギー を加算した ベルヌイ の方程式で、h のやうな ヘッド を **損失 ヘッド** といふ。

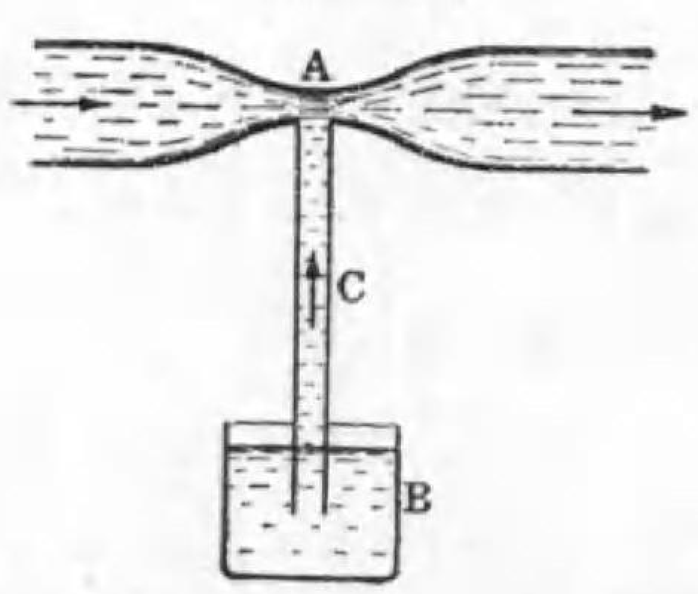
15. 速度と壓力との關係 水が水平に置かれた管の中を流れる場合のやうに、水平面に沿つて流れる場合には、z なる位置 ヘッド は流の各點に於て一定であるから、壓力 ヘッド $\frac{p}{\gamma}$ と速度 ヘッド $\frac{v^2}{2g}$ との和が一定といふことになる。故にこのやうな場合には、速度が大きい所の壓力は低く、速度が小さい所の壓力は高い。例へば、流に廣い所と狹い所とがあれば、廣い所の速度は小さいから壓力は高く、狹い所の速度は大きいから壓力が低い。

A なる筒先から大きな速度で、水なり蒸氣なりを噴出させると（第 14 圖）、そこの壓力が非常に降り、水槽 B に立てた管 C から、B 內の水が吸ひ上げられる。霧吹はこの原理によるものである。管の 1 部を細く絞つてそこに C なる管を連結しても、同樣に（第 15 圖）B 內の水は C を昇つて A に於て本流に合し、B 內の水は終に排除される。このやうな例は常に見る所に甚だ多くあるもので、何れも皆速度

第 14 圖



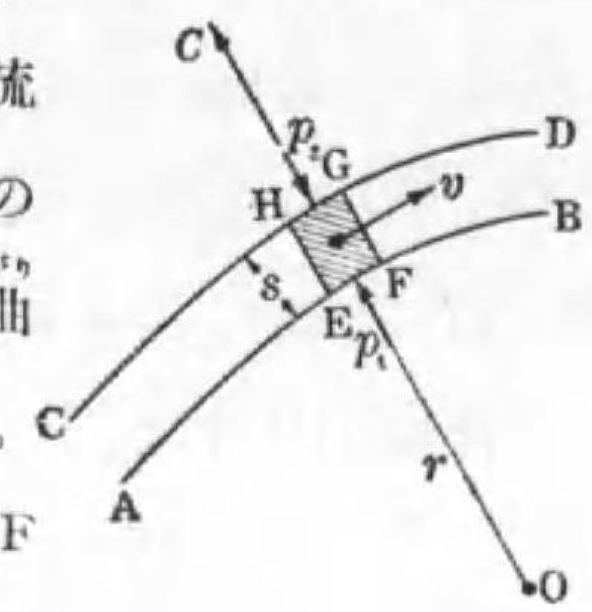
第 15 圖



と壓力との相互の關係から容易に說明されるものである。

16. 遠心力による壓力 AB, CD を、同一水平面上にあつて極めて接近してゐる二つの流線とし（第 16 圖）、その間の距離を s、その間を流れる水の平均速度を v とし、これ等の流線は或曲線をなすものとして、その曲の半徑を r、曲の中心を O とする。今 AB, CD の間に水の小さな柱體 EFGH を考へ、EF 及び GH の面積を a とすれば、この柱體の重さは γas であるから、これに働く遠心力は $\frac{\gamma as}{g}\frac{v^2}{r}$ である。この遠心力を C とすれば、C は O を中心とする放射方向に働くから、EF に働く壓力を p_1 とし、GH に働く壓力を p_2 として、この柱體に働く力の放射方向に於ける釣合を考へれば、

第 16 圖



$$p_1a+C-p_2a=0 \qquad \text{卽ち} \qquad p_2-p_1=\frac{C}{a}=\frac{\gamma s}{g}\frac{v^2}{r}$$

$$\therefore \quad \frac{p_2-p_1}{r}=\frac{v^2}{gr}s \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (21)$$

流線が直線であれば r は無限大であるから、この算式の右邊は 0 となり、從つて p_2 は p_1 に等しい。然るに曲線であれば、式 (21) に示すやうに、遠心力の爲に p_2 は p_1 よりも大きくなり、水平距離 s なる曲線の外側にある流線の壓力は、內側にある流線の壓力よりも、壓力 ヘッド として $\frac{v^2}{gr}s$ だけ高くなり、壓力としては $\gamma\frac{v^2}{gr}s$ だけ高くなるのである。[7]

---

[7] 壓力 ヘッド に水の單位重量 γ を乘じたものは壓力である。

17. 自由回轉流動 エネルギー の一定な流が、一定軸の周に回轉する場合に、それを **自由回轉流動** といふ。自然に發生する水の渦巻のやうな場合がそれである。

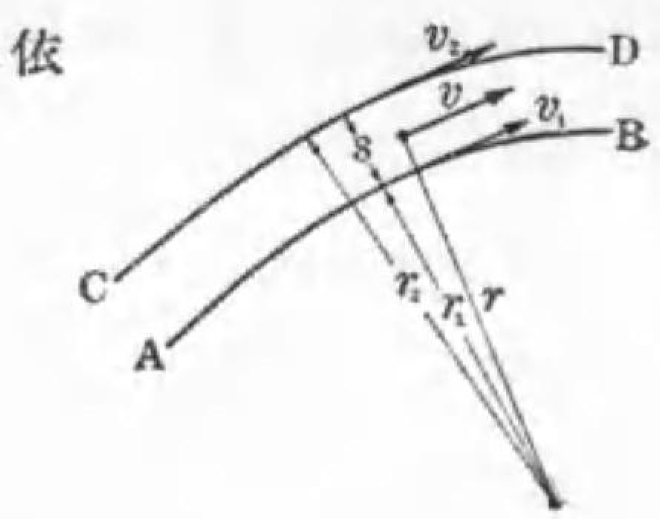
今中心 O の周に回轉流動をする流の隣り合つてゐる二つの流線 AB, CD の速度を、夫々 v_1, v_2 とすれば(第 17 圖)、ベルヌイ の定理に依つて、流線 AB では、

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}=H_1$$

又流線 CD では、

$$\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}=H_2$$

第 17 圖



H_1, H_2 は流線 AB, CD の有する全 ヘッド であるから、自由流動ならば、それ等は總ての流線について一定でなければならぬ。それ故に、

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v^2}{2g}=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v^2}{2g} \qquad \therefore \quad \frac{p_2-p_1}{\gamma}=\frac{v_1^2-v_2^2}{2g}$$

公式 (21) をこれに應用すれば、

$$\frac{v_1^2-v_2^2}{2g}=\frac{v^2}{gr}s$$

v は v_1 と v_2 との平均速度であり、又 r は流線 AB, CD の半徑で、r_1, r_2 の平均値であるから、

$$v=\frac{v_1+v_2}{2}, \qquad r=\frac{r_1+r_2}{2} \qquad \text{且} \qquad s=r_2-r_1$$

依つてこれ等を上式に代入すれば、

$$\frac{v_1^2-v_2^2}{2g}=\frac{(v_1+v_2)^2(r_2-r_1)}{2g(r_1+r_2)} \qquad \text{又は} \qquad (v_1+v_2)(v_1-v_2)=\frac{(v_1+v_2)^2(r_2-r_1)}{r_1+r_2}$$

これから $\frac{v_1-v_2}{v_1+v_2}=\frac{r_2-r_1}{r_2+r_1}$

$\therefore$ $\frac{v_2}{v_1}=\frac{r_1}{r_2}$ 即ち $v_1r_1=v_2r_2$

この關係は、回轉する水の速度がその半徑に反比例することを示し、中心 O の周に圓を描いて自由回轉流動をなす總ての流線について、一樣に成り立つ關係であるから、一般に半徑 r なる所を回轉する水の速度を v とすれば、次の公式が成り立つ。

$$vr=\text{一定} \cdots\cdots\cdots\cdots (22)$$

18. 自由回轉流動の水面 自由回轉流動は、一定な エネルギー を以て回轉する流動であるから、全 ヘッド は總ての流線について一定である。故にその一定な全 ヘッド を H とすれば、ベルヌイ の定理により、

$$\frac{p}{\gamma}+\frac{v^2}{2g}=H$$

式 (44) の一定値を a で表せば $v=\frac{a}{r}$ を得、これを上式に代入すれば、

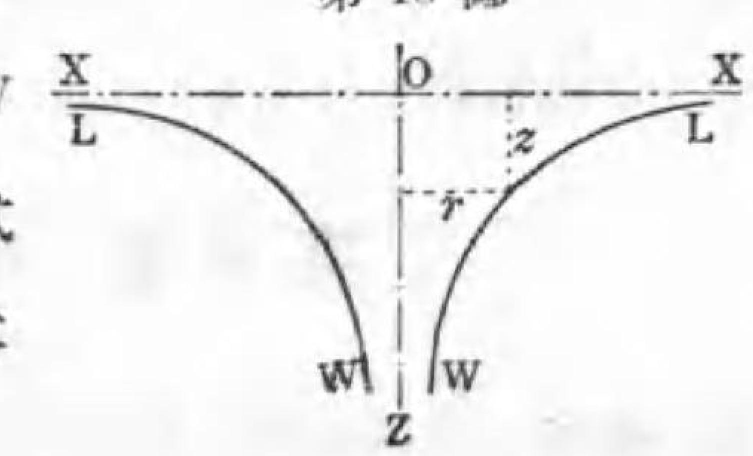
$$\frac{p}{\gamma}+\frac{a^2}{2gr^2}=H \qquad \text{或は} \qquad r^2\left(H-\frac{p}{\gamma}\right)=\frac{a^2}{2g}$$

然るに $\frac{a^2}{2g}$ は一定値であるから、$H-\frac{p}{\gamma}$ を z で表せば、

$$r^2z=\text{一定} \cdots\cdots\cdots\cdots (23)$$

これは O を基點とし、OX, OZ を直角座標の 2 軸とする WL, WL のやうな曲線の方程式で(第 18 圖)、水面はこのやうな曲線狀をなすことを示す。

第 18 圖



19. 强制回轉流動 流線ごとに全 ヘッド の違ふ回轉流動、即

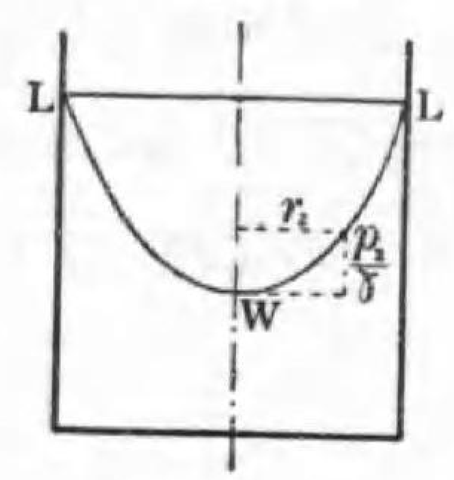
ち他から エネルギー の給與を受け、又は他に エネルギー を與へながら回轉する流動を **强制回轉流動** と名づける。圓筒の中に入れた水が、圓筒と合體して回轉するやうなのはその1例である。

この場合には、圓筒と水とは 1 體となつて、恰も水の棒のやうに回轉するもので、その回轉の角速度を ω とすれば、ω は一定であるから、半徑 r なる所を回轉する水の速度を v とすれば、

$$\frac{v}{r} = \omega = \text{一定} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (24)$$

卽ちこの場合には、水の回轉する速度は、その半徑に正比例するのである。

第 19 圖



公式 (21) をこれに應用すれば、

$$\frac{p_2-p_1}{\gamma} = \frac{v^2}{gr}s = \frac{\omega^2 r}{g}s$$

然るに前項の場合のやうに、

$$r = \frac{r_1+r_2}{2}, \qquad s = r_2-r_1$$

$$\therefore \quad \frac{p_2-p_1}{\gamma} = \frac{\omega^2(r_1+r_2)(r_2-r_1)}{2g} = \frac{\omega^2(r_2^2-r_1^2)}{2g}$$

回轉の中心は $r_1=0$ なる位置で、そこの壓力 p_1 を O とすれば、

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{\omega^2 r_2^2}{2g} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (25)$$

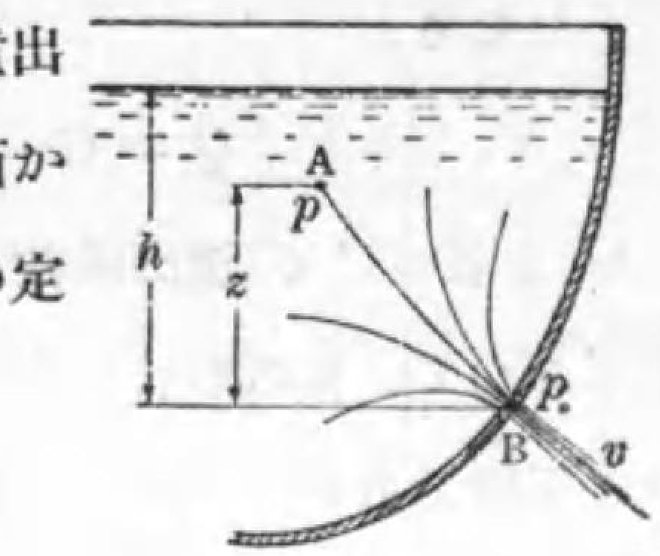
卽ち半徑 r_2 なる所の壓力 ヘッド は、中心の壓力よりも $\frac{\omega^2 r_2^2}{2g}$ だけ高いのであつて、この場合の水面は、W を頂點とする LWL のやうな拋物線をなすものである (第 19 圖)。

第 4 章 噴　　水

20. 噴水 水槽の底面又は側面に造られた孔から水が噴出する場合には、無數の流線は孔に向つて集中するものであるが、その

內何れか 1 本の流線を AB とし (第 20 圖)、流は A に始まり B に於て孔を通過するものとすれば、A の所の水の速度は O である。故に A の所の壓力を p、B からの高さを z とし、B を通る時の水の噴出速度を v、壓力を p_0 とし、なほ水面から孔の深さを h として、ベルヌイ の定理を A, B の 2 點に應用すれば、

第 20 圖



$$\frac{p_0}{\gamma}+\frac{v^2}{2g} = \frac{p}{\gamma}+z$$

A の速度は O であるから、そこの壓力は靜壓力である。故に p は水面からの A の深さ $h-z$ に正比例する。卽ち、

$$p = \gamma(h-z)$$

これを上式に代入すれば、

$$\frac{p_0}{\gamma}+\frac{v^2}{2g} = h-z+z = h$$

$$\therefore \quad v = \sqrt{2g\left(h-\frac{p_0}{\gamma}\right)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (26)$$

噴水が大氣中に噴出する場合とすれば、p_0 は大氣壓である。常用壓力で計算する場合には、大氣壓は總て O であるから、

$$v = \sqrt{2gh} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (27)$$

卽ち深さ h なる所の孔からの噴出水は、この速度で噴出する。

21. 流出係數 噴出孔の面積を a とすれば、單位時間に噴出する水の容積は av に等しい。故にこれを Q で表せば、

$$Q = av = a\sqrt{2gh}$$

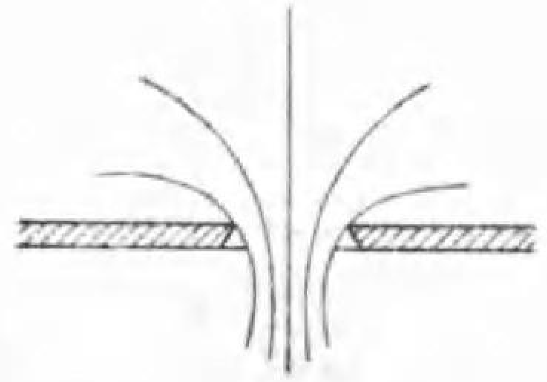
以上は、水の噴出に對して少しも抵抗を考へない時の結果である。併し實際には、流線相互間の摩擦の抵抗や、噴水に働く空氣

の抵抗などがあつて、噴出する容積は $a\sqrt{2gh}$ よりも常に少い。故にこれを實際の量に一致させる爲に、これに C なる或係數を乘する。さうすれば、實際の流出量は次のやうな公式で表されることになる。

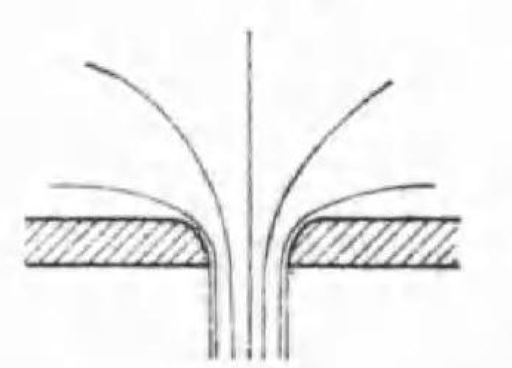
$$Q = Ca\sqrt{2gh} \cdots\cdots\cdots\cdots (28)$$

C を名づけて **流出係數** といひ、それは常に 1 よりも小さい値であつて、孔の形狀，大小，位置などに從つて、實驗して定むべき係數である。大體は、孔の緣が刄先のやうに尖つてゐれば、$C = 0.62$（第 21 圖）、それが丸形になつてゐれば $C = 0.97$（第 22 圖）、孔が內方に突入して緣が尖つてゐれば $C = 0.485$（第 23 圖）で、C の小さいほど水の出方が惡い。

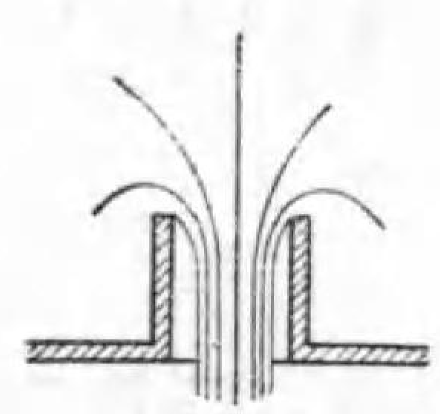
第 21 圖



第 22 圖



第 23 圖



例　深さ 3 m の位置に造られ、面積が 10 cm² で、緣が尖つてゐる平坦な孔から、1 時間に噴出する水量を求める。

（解）　先づ式（27）から噴出速度を求めれば、

$$v = \sqrt{2\times 9.8\times 3} = 7.67 \text{ m/秒}$$

孔は第 21 圖に當るものであるから、$C = 0.62$ とすれば、毎秒の噴出量 Q は式（28）から、

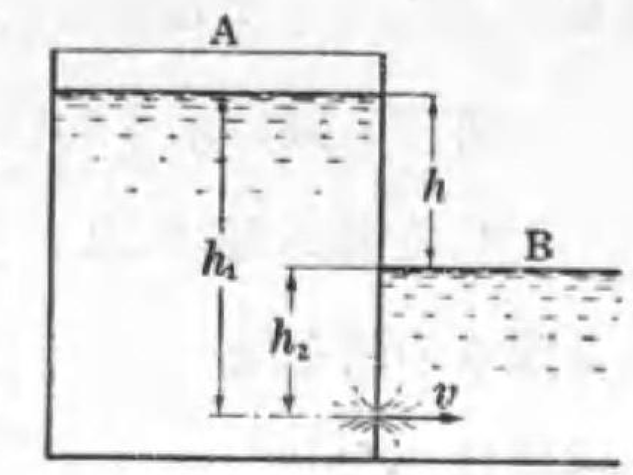
$$Q = Cav = 0.62\times 0.001\times 7.67 = 0.00476 \text{ m}^3\text{/秒}$$

故に求める 1 時間の流出量は、

$$0.00476\times 60\times 60 = 17.1 \text{ m}^3\text{/時}$$

22. 水面下の噴水　水槽 A と水槽 C とを連絡する孔が、兩水面以下に潛在してゐて（第 24 圖）、A の水面が B の水面よりも h だけ高ければ、A の水はこの孔を通して B 內に流入する。今この噴出速度を v とし、孔の中心から A, B の水面までの高さを夫々 h_1, h_2 とし、先づ A の水面と噴水孔との間に、ベルヌイ の定理を應用すれば、

第 24 圖



$$h_1 = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

但し p は噴水に働く壓力で、この壓力は深さ h_2 なる B 內の靜壓力に等しい。卽ち $p = \gamma h_2$ 或は $\frac{p}{\gamma} = h_2$ であるから、これを上式に代入すれば、

$$h_1 = h_2 + \frac{v^2}{2g} \qquad 故に \qquad v = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} = \sqrt{2gh} \cdots (29)$$

卽ち水面下から噴出する速度は、兩水面間の高さの差 h だけに依るもので、噴水孔の位置には少しも關係しない。

流出量 Q は、噴水孔の面積を a とし、流出係數を C とすれば、式（28）と同樣に、

$$Q = Cav = Ca\sqrt{2gh} \cdots\cdots\cdots\cdots (30)$$

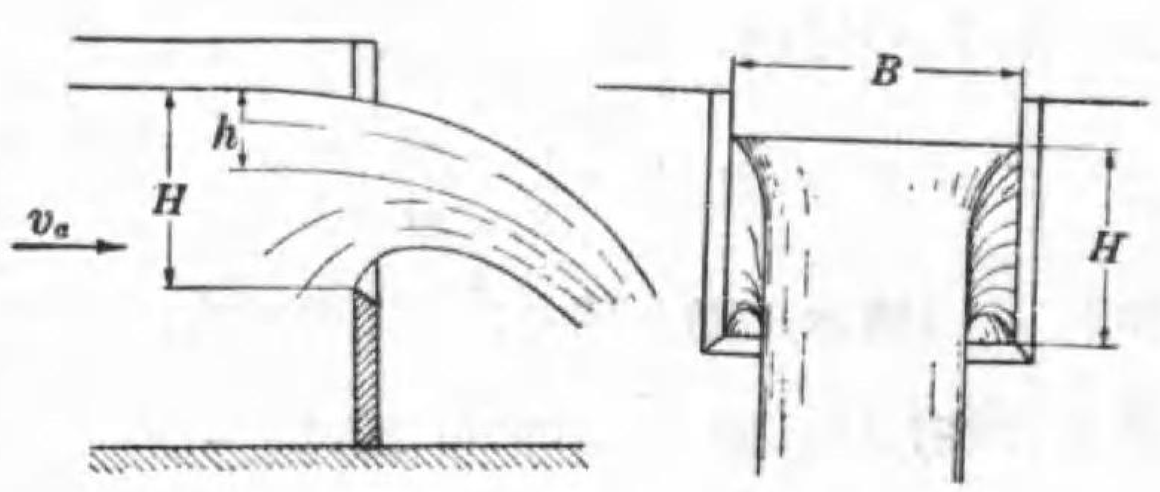
C の値は、前項に述べた空氣中に噴出する場合の C の値の大凡 0.98 で、例へば、第 21 圖に示すやうな孔ならば、その C の値は $0.98\times 0.62 = 0.608$ であつて、流出量は同じ孔から空氣中に噴出する場合よりも少い。

第5章 ノッチ及び堰

23. **ノッチ** 水路を横切つて縁の尖つた薄い板を立て、それに四角形又は三角形の切込を作り、それを越して水を流す装置は、流量を測らうとする場合に屢用ゐるもので、これを**ノッチ**といふ。第25圖に示すのは四角形のノッチである。

ノッチを流れ越す水の速度は深さに依つて違ふ。水面から h なる深さの所を越す速度は $\sqrt{2gh}$ であり、H なる深さの所を越す速度は $\sqrt{2gH}$ である。故にノッチを越す水の深さを H とし、深さ O なる水面から深さ H なる縁までの平均流速を計算すると、$\frac{2}{3}\sqrt{2gH}$ といふ結果になる。これに流出する水の断面積を乗ずれば流量になる。然るに、ノッチの幅を B とすれば、断面積は $B\times H$ であるから、求める流量を Q とすれば、

第25圖



$$Q=\frac{2}{3}BH\sqrt{2gH}=\frac{2}{3}B\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}$$

實際の流量は、この値に流出係數 C を乗じて、

$$Q=\frac{2}{3}CB\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}\cdots\cdots\cdots\cdots(31)$$

C の値は、水路の兩壁及び下底が、ノッチの縁に接してゐるか、十分に離れてゐるかに依つて違ふことは當然で、これに關し

て種々の實驗式がある。フランシスの實驗式といふのは、C を與へる代りに Q の實驗式を與へてゐる。それに依ると、第25圖のやうに、ノッチの縁が水路の兩壁及び下底から十分に離れてゐると

$$Q=1\cdot84(B-0\cdot2H)H^{\frac{3}{2}}\cdots\cdots\cdots\cdots(32)$$

この公式は簡單であるから最も多く用ゐるもので、B と H とは m で測り Q は m^3/秒 で測る。

水路内の水は、ノッチに向つて或速度で流れて來る。その流の平均流速を v_a とすると、ノッチを流れ越す水の全ヘッドは H ではなくして、實は $H+\frac{v_a^2}{2g}$ であることは、ベルヌイの定理を考へれば明かなことである。v_a を水の**寄せ來る速度**といひ、(31), (32) の兩式にはこの速度を考へてゐない。この速度を考へて一層正確な流量を求めるには、$\frac{v_a^2}{2g}$ を h とすれば、(31), (32) の兩式の $H^{\frac{3}{2}}$ の代りに、$(H+h)^{\frac{3}{2}}-h^{\frac{3}{2}}$ を用ゐなければならぬ。

例 幅 4 m のノッチを越す水の高さが 1·2 m で、水は 3 m/秒 の速度で寄せ來るとすれば、その流量は如何程か。

(解) $h=\frac{v_a^2}{2g}=\frac{3^2}{2\times9\cdot8}=0\cdot459$ m

故に式(32)に依れば、

$$Q=1\cdot84(4-0\cdot2\times1\cdot2)[(1\cdot2+0\cdot459)^{\frac{3}{2}}-0\cdot459^{\frac{3}{2}}]=12\cdot6\ m^3/秒$$

24. **三角ノッチ** 割合に小さい流量を測るには、二等邊三角形のノッチを用ゐる(第26圖)。今ノッチの頂角を α とし、ノッチを越す水の高さを H、流出係數を C とすると、流量 Q の理論算式は次のやうになる。

$$Q=\frac{8}{15}C\sqrt{2g}\tan\frac{\alpha}{2}.\ H^{\frac{5}{2}}\cdots\cdots\cdots\cdots(33)$$

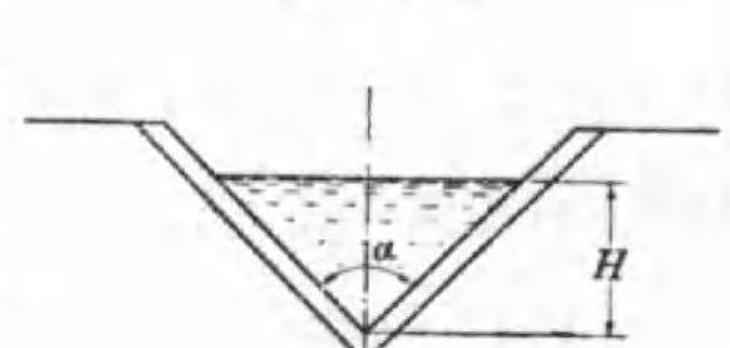
C の値は α によつて違ふが、$\alpha=90^\circ$ とすると C は大凡 0·593 である。最も普通に用ゐるのは $\alpha=90^\circ$ なる直角三角 ノッチ であるから、$C=0{\cdot}593$, $g=9{\cdot}8$ m/秒^2 とし、上式から實驗式を作ると、

$$Q=1{\cdot}4H^{\frac{5}{2}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(34)$$

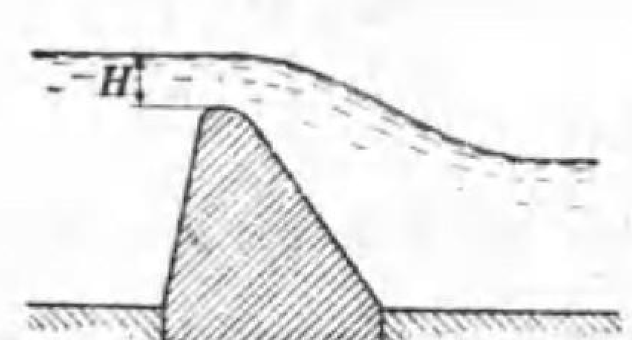
これは直角三角 ノッチ を用ゐて、流量を計算する實驗式で、H は m, Q は m^3/秒 で測るのである。

寄せ來る速度を考へるには、以上の 2 式の $H^{\frac{5}{2}}$ を $(H+h)^{\frac{5}{2}}-h^{\frac{5}{2}}$ と書き換へるのである。但し h は、寄せ來る速度を v_a とすれば、$h=\dfrac{v_a^2}{2g}$ なる値である。

第 26 圖



第 27 圖



25. 堰 流水を堰き止めて、水面を高くする 築造物 が **堰** であつて（第 27 圖）、ノッチ の大規模のものに當る。

堰を流れ越す流量の理論算式は、式（31）と同じであるが、C の値は大凡 0·69 であるから、$g=9{\cdot}8$ m/秒^2 として、これ等の値を以て式（31）から實驗式を作ると、

$$Q=2{\cdot}04BH^{\frac{3}{2}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(35)$$

但し B は堰の幅である。B と H とは m で、Q は m^3/秒 で測る。

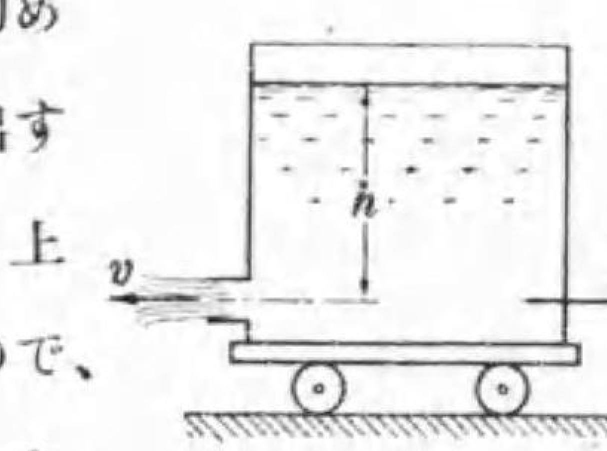
第 6 章 流の反動及び衝突力

26. 噴水の反動力 流の速度が或速度から他の速度に變ると、運動量の變化が起り從つて力の働が發生する。今流量 Q なる流が、v_1 なる速度から t 秒後に v_2 なる速度に變つたとすれば、初めの運動量は $\dfrac{\gamma Q}{g}v_1$ で、t 秒後の運動量は $\dfrac{\gamma Q}{g}v_2$ であるから、t 秒間に起つた運動量の變化は $\dfrac{\gamma Q}{g}(v_1-v_2)$ である。故にこれを t で除したものは、その時に働いた力を表す。依つてこの力を R で表せば、

$$R=\frac{\gamma}{g}Q(v_1-v_2)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

これが流の反動力及び衝突力を求める基礎となる算式である。

第 28 圖



例へば、深さ h から v なる速度で水が噴出する場合には（第 28 圖）、初め靜止してゐて 速度 0 なる水が、噴出する時には速度 v となるのであるから、上式に於て $v_1=0,\ v_2=v$ とすれば可いので、さうすると反動力 R は次のやうになる。

$$R=-\frac{\gamma}{g}Qv\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(37)$$

この式の負號は反動力を示す符號で、この力は噴水の出る方向と逆の方向卽ち後向に働き、水槽を後方に押し動かすやうに働くことを意味する。

噴出速度 v は $\sqrt{2gh}$ に等しく、又噴出孔の面積を a とすれば $Q=av$ であるから、上式は次のやうにも書ける。

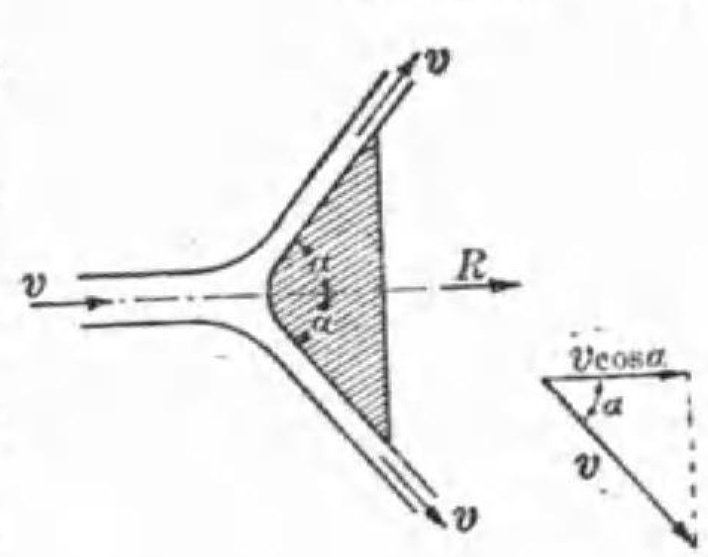
$$R=-\frac{\gamma}{g}av^2=-\frac{\gamma}{g}a2gh=-2\gamma ah$$

γh は噴水孔に働く靜壓力であるから、γah は噴水孔に働く全壓力である。故に噴水の反動力は噴水孔に働く全壓力の 2 倍に等しい。

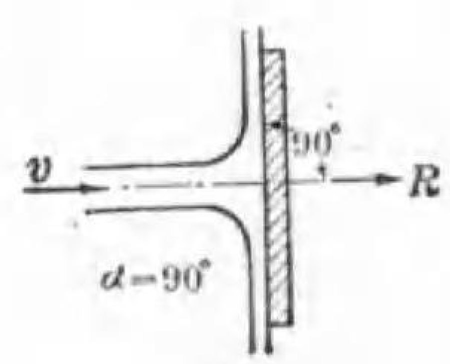
27. 噴水の衝突力 v なる速度を有する噴水が物體に衝突して、その方向が角 α だけ押し曲げられたとすれば（第 29 圖）、初めの速度は v で後の速度は $v\cos\alpha$ であるから、$v_1=v$, $v_2=v\cos\alpha$ を式 (36) に代入すると、物體に働く衝突力 R が決定される。卽ち、

$$R=\frac{\gamma}{g}Q(v-v\cos\alpha)=\frac{\gamma}{g}Qv(1-\cos\alpha)\cdots\cdots(38)$$

第 29 圖



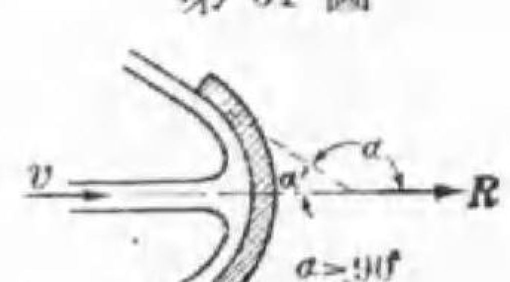
第 30 圖



これで見ると、衝突力 R は α に依つて變る。例へば、噴水が物體に直角に衝突すると（第 30 圖）、$\alpha=90^\circ$ であるから $\cos\alpha=0$ である。

$$\therefore\quad R=\frac{\gamma}{g}Qv\cdots\cdots\cdots\cdots(39)$$

第 31 圖

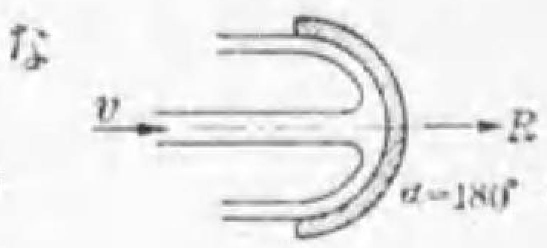


又 α が 90° よりも大きいと（第 31 圖）、$\cos\alpha$ は負號となるから、α の補角を α' とすれば、$\cos\alpha=-\cos\alpha'$ となり、式 (38) は次のやうになる。

$$R=\frac{\gamma}{g}Qv(1+\cos\alpha')\cdots\cdots\cdots\cdots(40)$$

卽ち、直角に衝突する場合よりも、衝突力が大きくなる。例へば衝突した噴水が眞後に押し曲げられると（第 32 圖）、$\alpha=180^\circ$ であるから、$\alpha'=0^\circ$ となり $\cos\alpha'=1$ となる。故にこの場合には、

第 32 圖



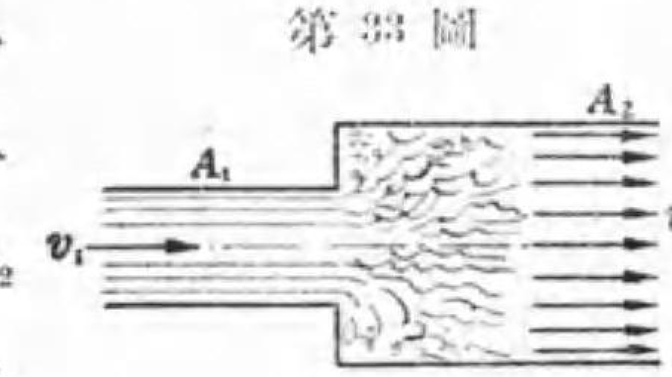
$$R=2\frac{\gamma}{g}Qv\cdots\cdots\cdots\cdots(41)$$

卽ち、噴水が眞後に向を變へる時の衝突力は、直角に衝突する場合の 2 倍に當る。

第 7 章 流の變化による損失ヘッド

28. 流が急に擴大する損失 總て流の速度の大いさ、又はその方向に急激の變化があると、そこで水は亂を起し、エネルギーの 1 部は失はれて損失ヘッドを生ずる。例へば、斷面積 A_1 なる管が、急に斷面積 A_2 なる管に擴大すると（第 33 圖）、その擴大部に於て水は亂を起し、損失ヘッドを惹き起す。この時の損失ヘッドは、A_1 部の速度を v_1 とし A_2 部の速度を v_2 とすれば、速度が v_1 から急に v_2 に減少する爲に起るのであつて、その損失ヘッドを h で表せば、

第 33 圖



$$h=\frac{(v_1-v_2)^2}{2g}\cdots\cdots\cdots\cdots(42.a)$$

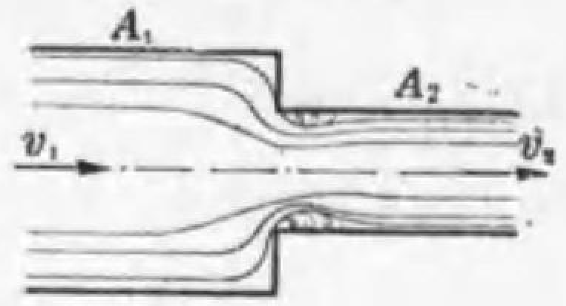
或は $A_1v_1=A_2v_2$ であるから、

$$v_1=\frac{A_2}{A_1}v_2,\quad v_2=\frac{A_1}{A_2}v_1$$

$$\therefore\quad h=\left(1-\frac{A_1}{A_2}\right)^2\frac{v_1^2}{2g}=\left(\frac{A_2}{A_1}-1\right)^2\frac{v_2^2}{2g}\cdots\cdots(42.b)$$

29. **流が急に縮少する損失** 流の斷面積が A_1 から急に A_2 に縮小し、速度が v_1 から急に v_2 に增大すれば（第 34 圖）、また水の亂を惹き起すけれども、この場合の損失は流が急に擴大する場合の損失よりも小さく、實驗の結果に依ると、この時の損失ヘッドを h とすると、h の値は大凡次のやうである。

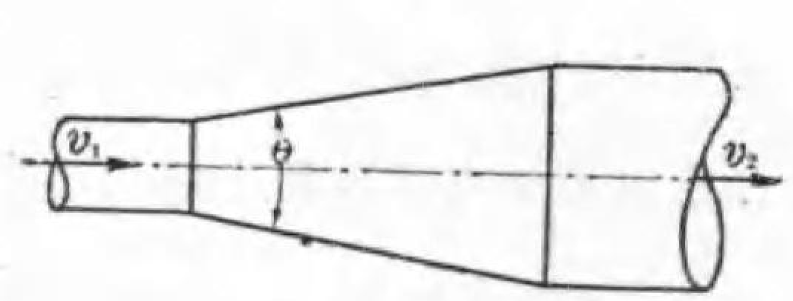
第 34 圖



$$h = 0.48\frac{v_2^2}{2g}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(43)$$

30. **流が圓錐管內に擴大する損失** 細い管と太い管とを連結する場合に、それをそのまゝ連結すると大きな損失ヘッドを惹き起すから、通例その間に圓錐管を插し入れて、速度が v_1 から段々に變つて遂に v_2 になるやうにする（第 35 圖）。特別に細い管から太い管に連結する場合には、殊にこの注意を要する。

第 35 圖



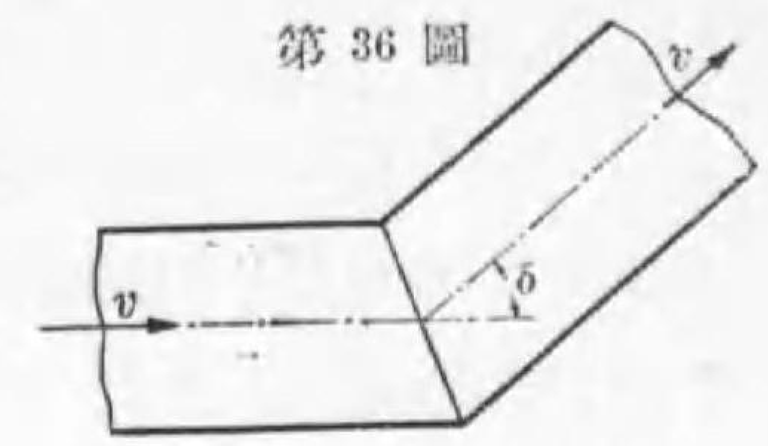
流が圓錐管內で段々と擴大する損失は、急に擴大する損失ほどには大きくないから、1 よりも小さい係數 ξ を用ゐて、この場合の損失ヘッド h は一般に次のやうに書き表される。

$$h = \xi\frac{(v_1-v_2)^2}{2g}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(44)$$

ギブソンの實驗に依ると、ξ は圓錐管の頂角 θ に依つて變り、$\theta=5^\circ 30'$ の時に損失が最小で、その時 $\xi=0.135$ である。θ がこの角より小さくても大きくても、共に損失は大きく、$\theta=65^\circ$ の時が損失は最大で、その時 $\xi=1.13$ である。$\theta=180^\circ$ は圓錐管を插し入れない場合で、その時は勿論 $\xi=1$ である。

31. **流が急に方向を變へる損失** 流が急に方向を變へると、又そこに亂を起す。今速度 v なる流が、急に角 δ だけ方向を變へたとし（第 36 圖）、その時の損失ヘッドを h とすれば、

第 36 圖



$$h = \xi\frac{v^2}{2g}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(45)$$

係數 ξ は角 δ に依つて變り、δ と ξ とは實驗から得た關係は、大凡次表に示す通りである。

δ	20°	40°	60°	80°	90°	120°	140°
ξ	0.05	0.14	0.36	0.74	0.98	1.86	2.43

32. **他の種々の損失** 以上の各種の損失は、流の變化による損失の主なものであるが、この他、流が段々と方向を變へても損失が起り、流の途中に各種の邪魔物、例へば瓣のやうなものがあつても損失が起る。これ等の損失は、流速を v とし、損失ヘッドを h とし、實驗の係數を ξ とすれば、一般に次のやうな公式で表される。

$$h = \xi\frac{v^2}{2g}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(46)$$

第 8 章 管中の流

33. **流體摩擦** 水は流の變化に依つてエネルギーを失ふ外に、なほエネルギーを失ふ原因がある。それは流の內部に於て水の層と層とが互に磨れ合ふための粘性や、場合に依つては流の內部に流線の不安定から水の亂流が出來たり、又は流が周壁と接

觸する面に於て水と周壁とが磨れ合ふために エネルギー を失ふことである。

このやうな損失は流の變化による損失とは著しく性質を異にするもので、水が速度の變化のない直線狀の管又は水路の中を流れる時に起る現象であつて、これを **流體摩擦** と名づける。流體摩擦は固體と固體とが磨れ合ふ時に發生する所謂固體摩擦とは著しく性質を異にし、水と固體との接觸面の大いさに正比例し壓力には關係のないものである。[8]

實驗の結果によると、流體摩擦は接觸面の大いさとその粗滑とにより、又流速の凡そ 2 乘に正比例するものであるから、接觸面の大いさを S, 流速を v, 摩擦力を R とすれば次のやうな關係になる。

$$R = fSv^2 \cdots\cdots\cdots\cdots(47)$$

f は接觸面の粗滑と流體の種類とによる實驗係數で、これを **流體摩擦係數** といふ。

34. 管の摩擦 内徑の一樣な直管に水を通せば、摩擦のために壓力が次第に下り、l なる長さの兩端の壓力が p_1, p_2 で、管の斷面積が A ならば $(p_1-p_2)A$ は摩擦力に等しいことは明らかである。故に (47) 式によつて

$$(p_1-p_2)A = fSv^2$$

水の單位重量を γ とすれば、$\dfrac{p_1-p_2}{\gamma}$ は摩擦のために起つた損失 ヘッド で、これを h で表せば、

(8) 固體摩擦は二つの固體間の全壓力に正比例し、接觸面の大小には關係がない。

$$h = \frac{fSv^2}{\gamma A}$$

流に直角な任意の斷面上に於て、流の接觸する周壁の長さを P とすれば、$S = Pl$ であるから

$$h = \frac{fPlv^2}{\gamma A} = \frac{2gf}{\gamma}\cdot\frac{Pl}{A}\cdot\frac{v^2}{2g}$$

$\dfrac{2gf}{\gamma}$ を f' で表し、且 $\dfrac{A}{P}$ を m で表せば、

$$h = f'\frac{l}{m}\,\frac{v^2}{2g} \cdots\cdots\cdots\cdots(48)$$

$m = \dfrac{A}{P}$ を **平均水深** といひ、内徑 d なる圓管ならば、$A = \dfrac{\pi}{4}d^2$, $P = \pi d$ であるから、$m = \dfrac{d}{4}$ である。故にこの値を上式に代入し、且 $4f'$ を λ で表せば、圓管の摩擦による損失 ヘッド の公式が出來る。即ち

$$h = \lambda\frac{l}{d}\,\frac{v^2}{2g} \cdots\cdots\cdots\cdots(49)$$

λ に關する實驗式は甚だ多い。その内で ラング の公式を擧げれば

$$\lambda = a + \frac{0{\cdot}0018}{\sqrt{vd}}$$

これに用ゐる單位は m と秒で、平滑な鋼管及び ガラス 管ならば $a = 0{\cdot}010$ 乃至 $0{\cdot}012$ に取り、鑄鐵管及び鋲締鐵管ならば $a = 0{\cdot}02$ に取る。

鑄鐵管又は鋼管に對して概略の計算をする場合には、摩擦面を比較的粗なものとして $\lambda = 0{\cdot}03$ と假定すれば大差がない。そして $g = 9{\cdot}8$ m/秒^2 とし、(49) 式より次の公式を得る。

$$h = 0{\cdot}00153\,\frac{v^2 l}{d}\;\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(50)$$

流量を Qm³/秒 とすれば、$v = \dfrac{4Q}{\pi d^2}$ であるから、これを上式に代入して計算すると

$$h = 0{\cdot}00248\,\frac{Q^2 l}{d^5}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(51)$$

管が甚だ長い場合には、損失ヘッドの大部分は管の摩擦によつて起り、流の變化による各種の損失ヘッドなどは、通例極めて微小なものとなるから、略算をなす場合には摩擦による損失ヘッドだけを考へればよいので、他の原因によるものは悉く省略しても差支がない。

例　長さ 1,200m の鑄鐵管の兩端の壓力ヘッドの降下を 18m にし、0·5m³/秒 の水を通さうとする。管の直徑と流速とを求めよ。

(解)　h は壓力ヘッドの降下である。故に (51) 式より

$$d^5 = 0{\cdot}00248\,\frac{Q^2 l}{h} = 0{\cdot}00248\,\frac{0{\cdot}5^2\times 1200}{18} = 0{\cdot}04133$$

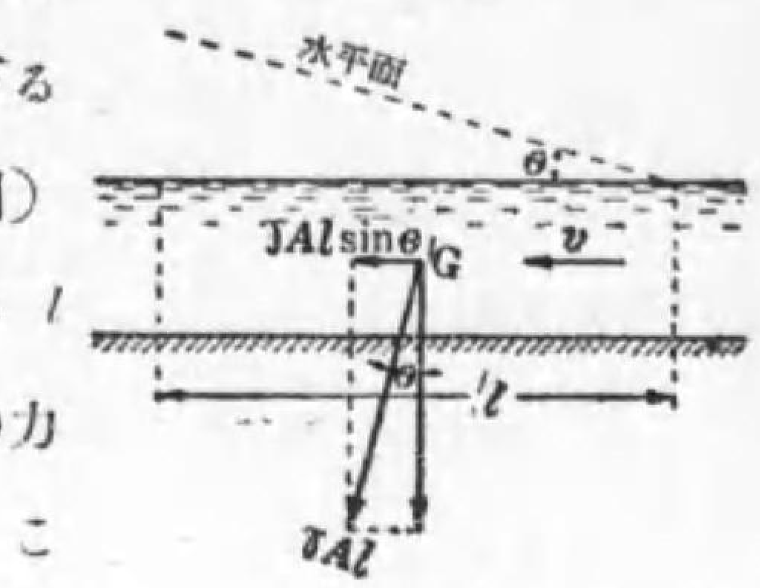
故に　$d = \sqrt[5]{0{\cdot}04133} = 0{\cdot}529\,\mathrm{m}$

よつて　$v = \dfrac{4Q}{\pi d^2} = \dfrac{4\times 0{\cdot}5}{3{\cdot}14\times 0{\cdot}529^2} = 2{\cdot}28$m/秒

第9章　水路及び河流

35. 水路及び河流　水路は種々の目的のために水を通ずる人工の流で、河流は自然に構成された水の流である。人工の流は斷面を圓形，長方形，梯形等の規則正しい幾何學的の形とするか、自然の流は斷面形が通例極めて不規則なものである。

第 37 圖



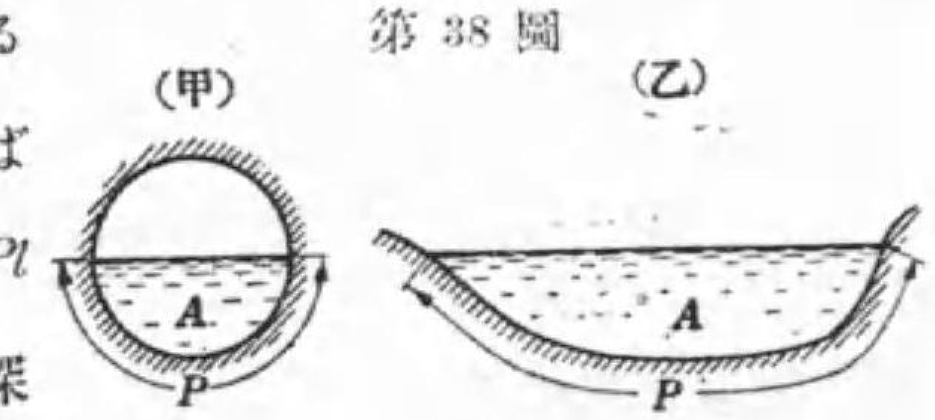
今水平面に對して角 θ なる傾斜をなす地面上を、v なる速度で流れ下る水流の斷面積を A とし (第 37 圖) 水の單位重量を γ とすれば、長さ l なるこの水の重量は γAl で、この力はその重心 G で垂直下方に働く。この力を流の方向に分解した分力 $\gamma Al\sin\theta$ は、流を發生させる力である。

然るに流體摩擦はこの力に抵抗するから、流が加速し又は減速することなく一定の速度で流れ下るならば、$\gamma Al\sin\theta$ なる力は摩擦力に等しくなければならぬ。それで (47) 式を用ゐて

$$\gamma Al\sin\theta = fSv^2$$

θ は通例極めて小さい角であるから、$\sin\theta$ は凡そ $\tan\theta$ 卽ち地面の勾配に等しい。故に地面の勾配を i とし、又流に直角な任意の斷面上で流に接觸する周壁の長さを P とすれば (第38圖甲，乙)、$S = Pl$ であり、それを平均水深 $m = \dfrac{A}{P}$ を以て書き變へれば、上式より次の結果を得る。

第 38 圖



$$v = \sqrt{\frac{\gamma}{f}\,mi}$$

或は $\sqrt{\dfrac{\gamma}{f}}$ を λ で表せば、

$$v = \lambda\sqrt{mi}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(52)$$

λ に關する實驗式は多い。その内でフォルヒハイマーの公式

を擧げれば

$$\lambda = a\sqrt[5]{m}$$

但し a は周壁面の粗滑によつて異なる係數で、その値は凡そ次の通りである。

平滑な木板又は セメント 面	$a = 100$
平滑ならざる木板面	$'' = 83$
積まれた荒切石又は煉瓦積の面	$'' = 77$
積まれた石塊，切石又は碎石の面	$'' = 59$
地面，小川及び河の面	$'' = 40$
石塊或は植物に被はれたる川の面	$'' = 33$

流の速度はこれに接觸する周壁の摩擦のために、底面と兩岸とでは最小で流の中心部では最大である。從つて流の各點に於て流速は異なるもので、(52) 式より計算される v はその平均流速である。故にこの v に、そこの横斷面積を乘ずれば流の流量となる。

第 10 章　流速及び流量の測定

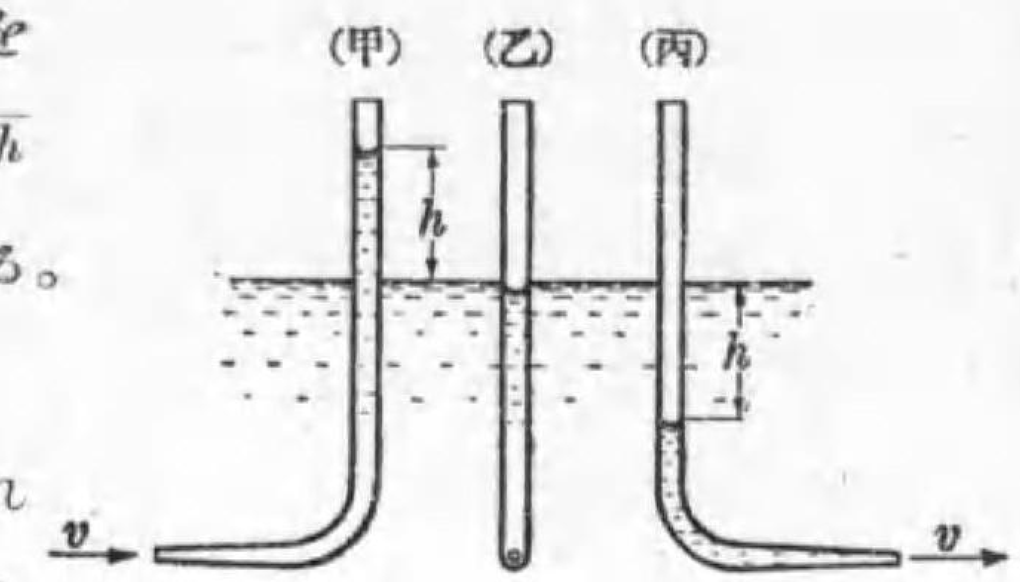
36. 流速の測定　流の速度を測るには種々の方法がある。

（1）ピトー管

兩端の開放してゐる管を直角に曲げ、その一端を速度 v なる流の中に眞向に置けば（第 39 圖甲）、水は管中に h だけ昇る。又それを流に眞横向に置けば（第 39 圖乙）、水は管中に昇ることはなく、又若しそれを眞後向に置けば（第 39 圖丙）、管中の水面は流の面よりも h だけ低く下る。甲，丙の場合の h は速度

ヘッド $\dfrac{v^2}{2g}$ に等しいことは明らかで、從つて h を測定すれば、$v=\sqrt{2gh}$ から流速 v が計算される。

第 39 圖



（2）浮

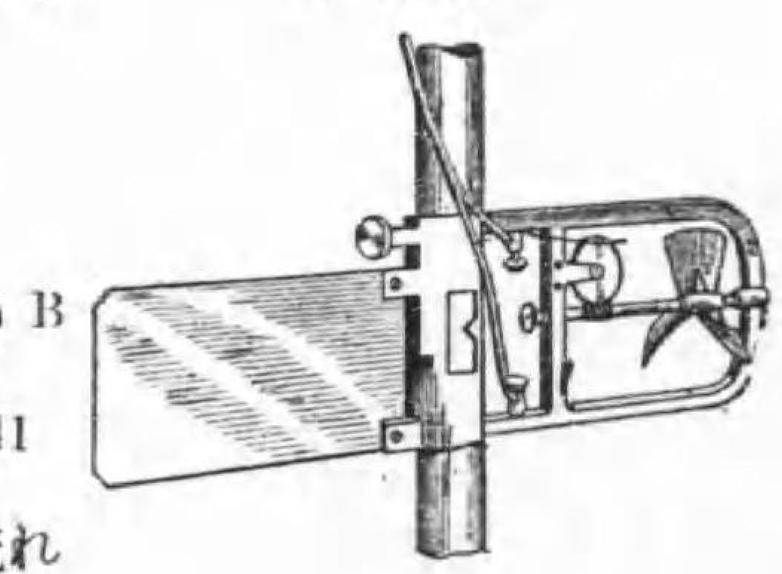
水面に浮を流し、それが流と共に流れた距離と時間とを測つて、流速を定めることが出來る。浮には種々のものを用ゐる。

（3）流速計

流速計　は機械的に流速を測る携帶用の小なる計器である。これに種々あるが、要するに流に當つて回轉する車があつて、一定時間中に回轉したその回轉數を以て流速を測らうとするものである。第 40 圖は流速計の 1 例を示す。

37. 流量の測定　流量の測定にも種々の方法がある。

第 40 圖

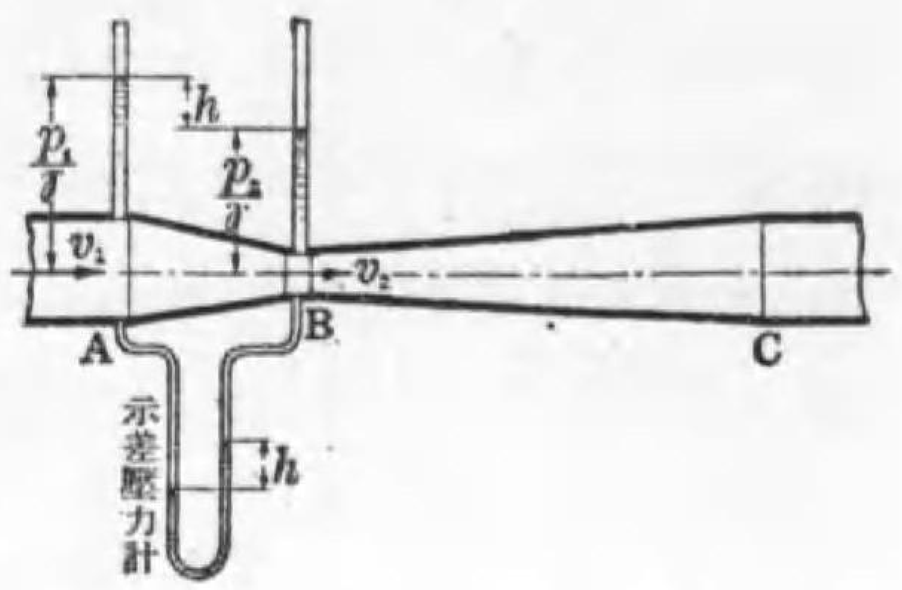


（1）ベンチユリ管

水平に置いてある直管 ABC の B の部を細く圓錐形にくびり（第 41 圖）、水は A より B に向つて流れるものとする。今 A の部の流速を v_1、壓力を p_1 とし、B の部の流速を v_2、壓力を p_2 とすれば、ベルヌイ の定理より

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}$$

第 41 圖



A , B の部に上端の開放した ガラス 管を立てれば、水は夫々この管中に $\frac{p_1}{\gamma}$, $\frac{p_2}{\gamma}$ だけ上る。v_2 は v_1 よりも大きいから $\frac{p_1}{\gamma}$ は $\frac{p_2}{\gamma}$ よりも大きく、管中の水面間に h だけの差が出來る。即ち $\frac{p_1}{\gamma}-\frac{p_2}{\gamma}=h$ であるから、これと上式とから

$$h=\frac{v_2^2-v_1^2}{2g}$$

然るに A の斷面積を A_1, B の斷面積を A_2 とすれば、$A_1v_1=A_2v_2$ であるから $v_2=\frac{A_1v_1}{A_2}$ を得る、これを上式に代入すれば

$$h=\frac{v_1^2}{2g}\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2-1\right]\qquad 故に\quad v_1=\sqrt{\frac{2gh}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2-1}}\cdots\cdots(53)$$

このやうに h を測れば流速 v_1 はこの公式で計算することが出來る。h は A , B を示差壓力計で接續すれば容易に測定される。流速 v_1 が定まれば流量 Q は A_1, v_1 に等しいから

$$Q=A_1\sqrt{\frac{2gh}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2-1}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(54)$$

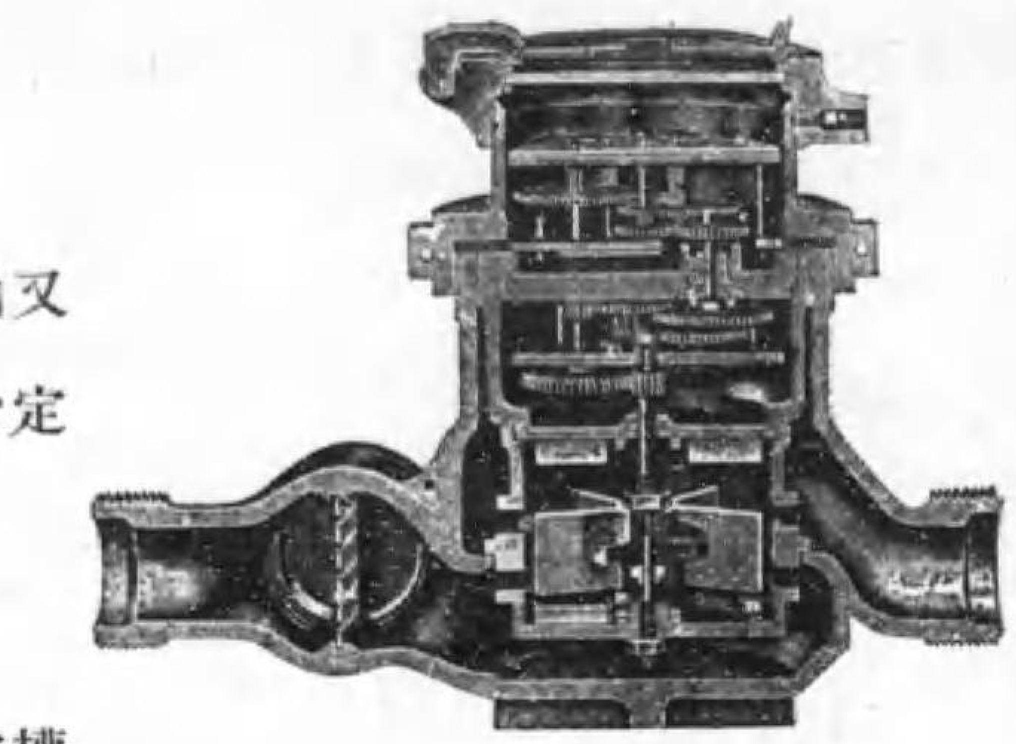
流速又は流量を測定するために、かやうに直管の一部を圓錐形にくびつたものを、**ベンチュリ 管** 又は **ベンチュリメーター** といふ。

（2） 流量計

流量計 は管中を流れる水の流量を機械的に測定する一種の計

器である。これに種々あるが第 42 圖に示すものはその一種で、極めて輕く回轉する小さな水車があつて、水を通せばそれが流量に正比例して回轉し、それを時計仕掛によつて指針に傳へ、指針は目盛板の上を靜かに回轉し、その指し示す目盛を讀んで流量を知るやうに造られたものである。

第 42 圖



（3） ノッチ

これは既に述べた四角又は三角 ノッチ で流量を定める方法である。

（4） 測定用水槽

容積の知られてゐる水槽の中に水を流し込み、流れ込んだ水の容積とその時間とを測つて流量を計算するのである。容積を測る代りに重量を測つてもよい。清水 1 m³ は 1,000 kg 即ち 1 t であるから、重量を測つても容積は計算される。

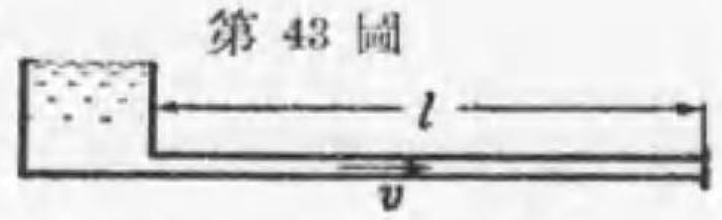
第 11 章 水 槌 作 用

38. **水槌作用** 管中に或速度で流れる水を急に堰き止めたやうな場合、例へば管の一部に裝置した瓣を急に閉鎖したやうな場合には、水の運動が急に止まつて水は壓縮され、水の動 エネルギー が水を壓縮する仕事となつて現れ、その瞬間に壓力の上昇が起る。この現象を **水槌作用** といふ。

斷面積 A, 長さ l なる管中を水が速度 v で流れゝば、その動

エネルギー は $\gamma Al\frac{v^2}{2g}$ である（第43圖）。但し γ は水の單位重量である。この エネルギー が水を壓縮する仕事をするのである。

第 43 圖



今この管の外端に瓣 D があつて、それが急に閉鎖されたとすれば、水は管內に壓縮されて水槌作用を起し、そのために壓力が前の壓力よりも p だけ上つたとする。これと同時に初めに長さ l だけあつた水が λ だけ長さが縮まつて $l-\lambda$ になつたとすれば、初めの水の容積は $V=Al$ で、後の水の容積は $V'=A(l-\lambda)$ である。故にこれを（２）式に照せば

$$K=\frac{p}{e}=\frac{pV}{V-V'}=\frac{pAl}{Al-A(l-\lambda)}=\frac{pl}{\lambda}$$

これより $$\lambda=\frac{pl}{K}$$

全壓力 pA が働いて λ だけ收縮した仕事は $pA\lambda$ である。併し壓力は初めは上昇せず、終に p だけ上昇するのであるから、壓力上昇の平均値は $\frac{p}{2}$ である。故に壓縮による實際の仕事は $\frac{p}{2}A\lambda$ でなければならぬ。よつて次の方程式を得る。

$$\gamma Al\frac{v^2}{2g}=\frac{p}{2}A\lambda$$

この λ に上式の λ の値を代入して計算すると、次の結果を得る。

$$p=v\sqrt{\frac{\gamma}{g}K}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(55)$$

cm, kg, 秒の單位を用ゐることゝして $\gamma=0.001$ kg/cm³, $K=20{,}000$ kg/cm², $g=980$ cm/秒² とすれば

$$p=v\sqrt{\frac{0{\cdot}001}{980}\times 20{,}000}=0{\cdot}143\,v$$

v を m/秒, p を kg/cm² 卽ち氣壓の單位で表せば

$$p=14{\cdot}3\,v\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(56)$$

これが水槌作用によつて上昇する壓力を求める公式で、速度 v m/秒 の 14.3 倍の氣壓に上昇することが判る。管の太さ及び長さには關係なきものである。

閉鎖せる瓣を急に開けばその瞬間に壓力の降下が起る。この現象も水槌作用といふけれども、壓力降下の方は眞空壓よりも低くなることはないから、上昇する場合ほどの危險は先づないといつてよい。

第２編　水タービン

39. **水力機械** **水力** とは水の動力といふのを約めた言葉であつて、動力とは エネルギー を指す。[(9)] 故に **水力機械** とは、水の エネルギー を利用し、又は水に エネルギー を給與する機械の總稱である。

自然界の動力を有用な機械的の動力に導く機械を總稱して **原動機** といふ。自然界の水力を利用する水車の如き、火力を利用する蒸氣機關，內燃機關の如き、風力を利用する風車の如きは皆原動機である。

原動機によつて得たる有用な機械的の動力を利用して、吾人の

(9) 火の動力を火力といひ、風の動力を風力といひ、電氣の動力を電力といふのも皆これと同じで、凡て力といふのは動力の約言である。これをただの力と思つては誤である。

目的とする種々有用なる仕事をさせる機械は甚だ多く、吾人が日常機械として目に觸れるものは皆この種類の機械である。つまり原動機を除いた機械は悉くこの種の機械である。

水力を利用する原動機には水車と水 タービン との 2 種があり、水に動力を給與する機械には水壓機，ポムプ 等がある、水力機械とはこれ等を總稱した言葉である。先づ水力 タービン から始めて順次說明しよう。

第1章 總 論

40. 水 タービン **水 タービン** は自然界の水力を機械的動力に導く原動機で、現今著しく發達して大規模の水力利用に使用する。外觀は甚だ簡單で、羽根車と名づける回轉車を軸で支へ、それに水を働かせて回轉させる。[10] 水 タービン は水の エネルギー を利用する原動機であるが、水の エネルギー には位置 ヘッド に相當する位置 エネルギー，壓力ヘッド に相當する壓力 エネルギー，速度 ヘッド に相當する速度 エネルギー の 3 種の形態があるから、水 タービン はこれ等の エネルギー の何れを利用するかに依つて構造及び性質が違ふことになる。

併し凡て機械には必ず運動を伴ひ、運動には速度が伴ふ。故に何れの水 タービン でも速度 エネルギー を利用せぬものはない。それで水 タービン は、速度 エネルギー だけを利用するも

(10) 回轉性の原動機を一般に タービン といひ、往復性の原動機を機關といふ。蒸氣 タービン，ガスタービン，水 タービン の如きは前者に屬し、蒸氣機關，內燃機關等は後者に屬する。タービン の原名は Turbine であり、機關は英語の Engine に當る。

のと、速度 エネルギー と位置及び壓力 エネルギー の混合エネルギー を利用するものとの 2 種に大別される。前者を **衝動 タービン** といひ、後者を **反動 タービン** といふ。

41. 水 タービン の發達 自然界の水力は概して山間地方にある。然るにそれを利用して工業や交通その他百般の事業に用ゐようとする場所は多くは都會地であるから、山間地方で得た動力を遠い都會地へ輸送する必要が起つて來る。これが卽ち動力の遠距離輸送であつて、これを最も簡單に最も有效に行ふには、水 タービン によつて得た動力を一旦電力に變へ、それをそのまゝ銅の架空線によつて目的地に輸送するに若くはない。

この目的を達するために水 タービン の軸に通例發電機を直結し、タービン を以て發電機を運轉し、水力を直ちに電力に變へる。この裝置を **水力發電** といひ、俗に水力電氣といつてゐる。

それで水 タービン の目的は發電機を直結運轉するにある。從つて水 タービン の發達は發電機の發達と相伴つて興り、水力利用は年と共に長足の進步をなし、タービン 一臺分の發出する動力が[11]年々大きくなり、今日では一臺で 10,000 馬力を發出するものは普通となり、70,000 馬力を發出するものさへ現れるやうになつた。

水 タービン の歷史をいへば、今迄種々のものが發明され工夫されたけれども、優勝劣敗，自然淘汰の結果、全然廢棄されたものが甚だ多く、今日使用されてゐるものは僅かに 3 種類で、一つを **ペルトン 水車** といひ、一つを **フランシス 水車** といひ、一

(11) 發出する動力を約めて俗に 出力 といふ。

つを **プロペラ 水車** と名づける。この内 ペルトン 水車は衝動 タービン に屬し、他の二つは共に反動 タービン に屬する。

42. **水力の大いさ** 高さ Hm の處から水が Qm^3/秒 の割合を以て流下すれば、その重量は γQ kg/秒 であるから、この時の水力は毎秒 γQH mkg である。但し γ は水の單位重量 1,000 kg/m^3 を表す。故にこの水力を馬力の單位で表せば

$$\text{水力（馬力にて）} = \frac{1{,}000QH}{75} \cdots\cdots\cdots\cdots (57)$$

これは自然界の水力の大いさであるが、實際に タービン の出力はこれよりも小さい。それで タービン の效率を η_1 とすれば

$$\text{タービン の出力（馬力にて）} = \eta_1\frac{1{,}000QH}{75} \cdots (58)$$

これは タービン が發電機を回轉する動力であるが、發電機の出力はこれよりも更に小さい。それで發電機の效率を η_2 とすれば

$$\text{發電機の出力（馬力にて）} = \eta_1\eta_2\frac{1{,}000QH}{75} \cdots (59)$$

$\eta_1\eta_2$ は タービン と發電機との合體したる效率で、これを η とすれば

$$\text{發電機の出力（馬力にて）} = \eta\frac{1{,}000QH}{75} \cdots\cdots (60)$$

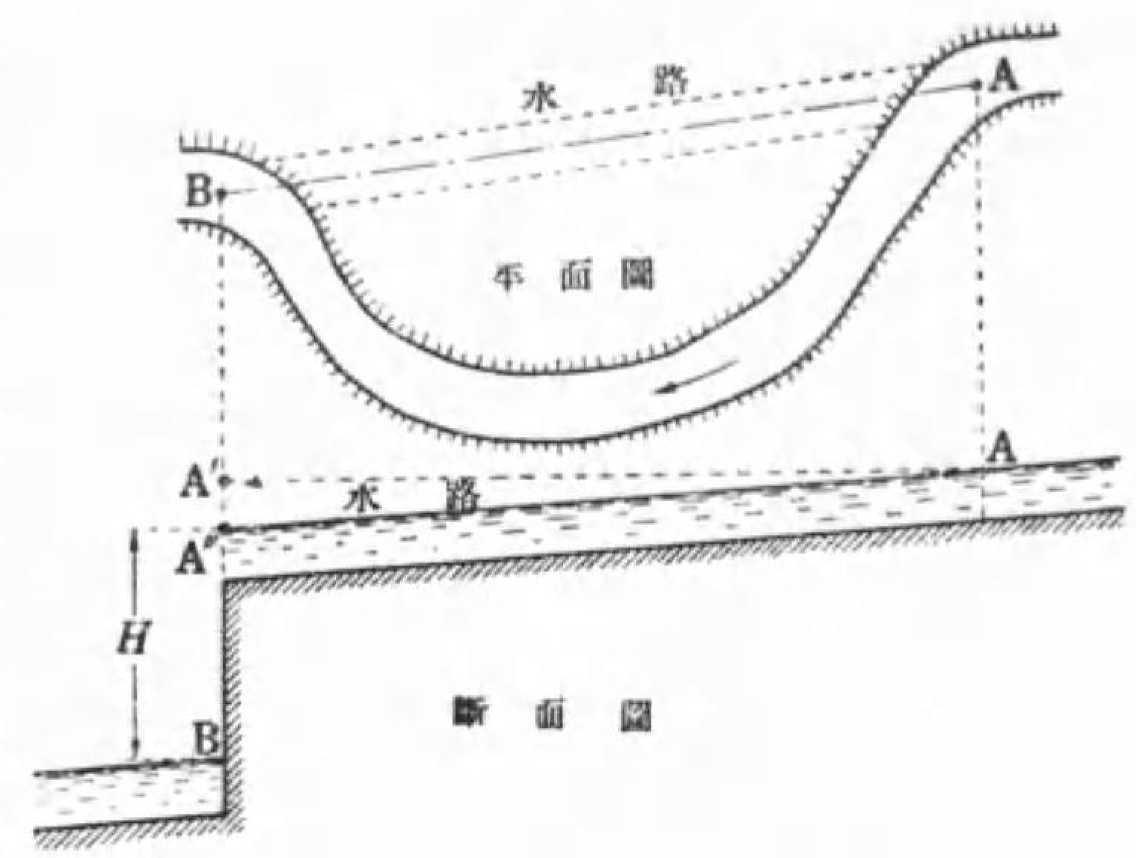
發電機の出力は卽ち電力であつて、これは通例 キロワット（KW）の單位で表す。然る時は 1 馬力 = 0·736 KW，又は 1 KW = 1·36 馬力なる關係を用ゐて

$$\text{電力（KW にて）} = \eta\frac{1{,}000QH}{1{,}36 \times 75} = 9{\cdot}8\,\eta QH \cdots (61)$$

これを要するに水力及び電力は Q と H とによるもので、Q は流量であり H は **落差** と呼ぶ。落差は ヘッド と同意義のものである。

43. **裝置概要** タービン の裝置は落差 H m の所に流量 Q m^3/秒 の水を流すやうにして、そこに タービン を仕掛ければよいのである。自然界の流に多少人工的の施設を加へてこの目的を達するやうにするのであるが、流には千差萬別あるから、人工的施設もまた多種多様である。

第 44 圖

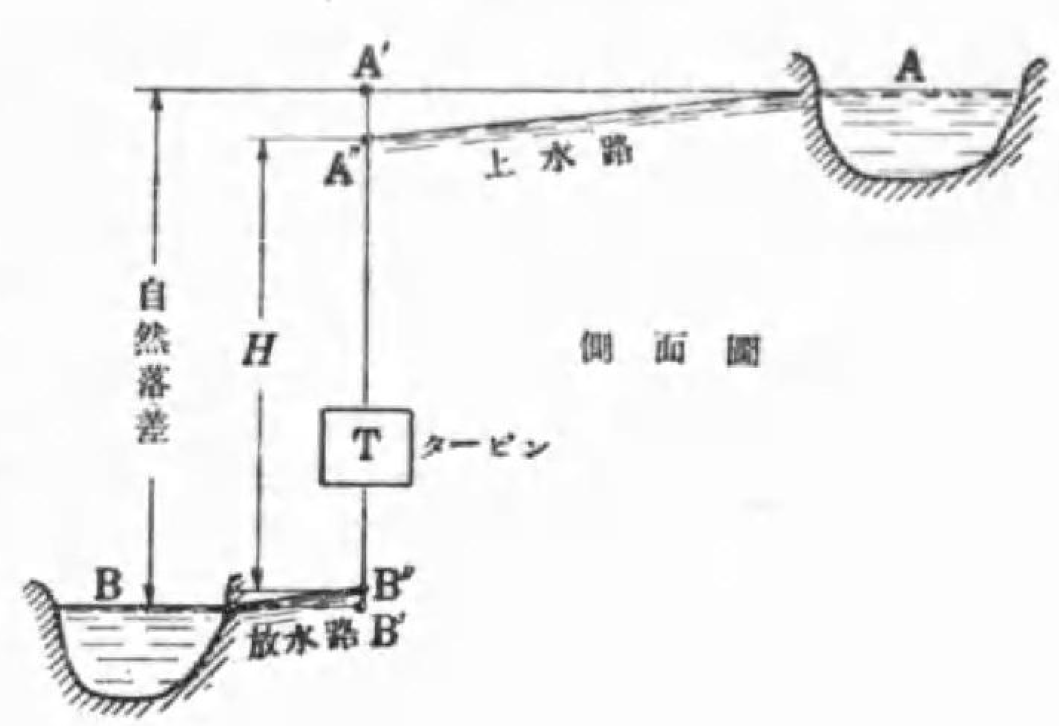


曲折のある川があつて、その A 及び B の 2 地點間に A′ B なる自然の落差があるとする（第 44 圖）。この A, B 2 地點間に人工的に直線狀の水路を造れば、水路の中に於て水面は A A″ の如く多少水平面 A A′ に對して傾を生じ、B 點に於て A″ B なる落差が出來る。これ卽ち利用さるべき落差 H である。故に A″ B 間に タービン を設置すれば Hm の落差が利用され、流量 Q m^3/秒 は、水路を通つて A から A″ に流れ來る流量を測れば定まる。

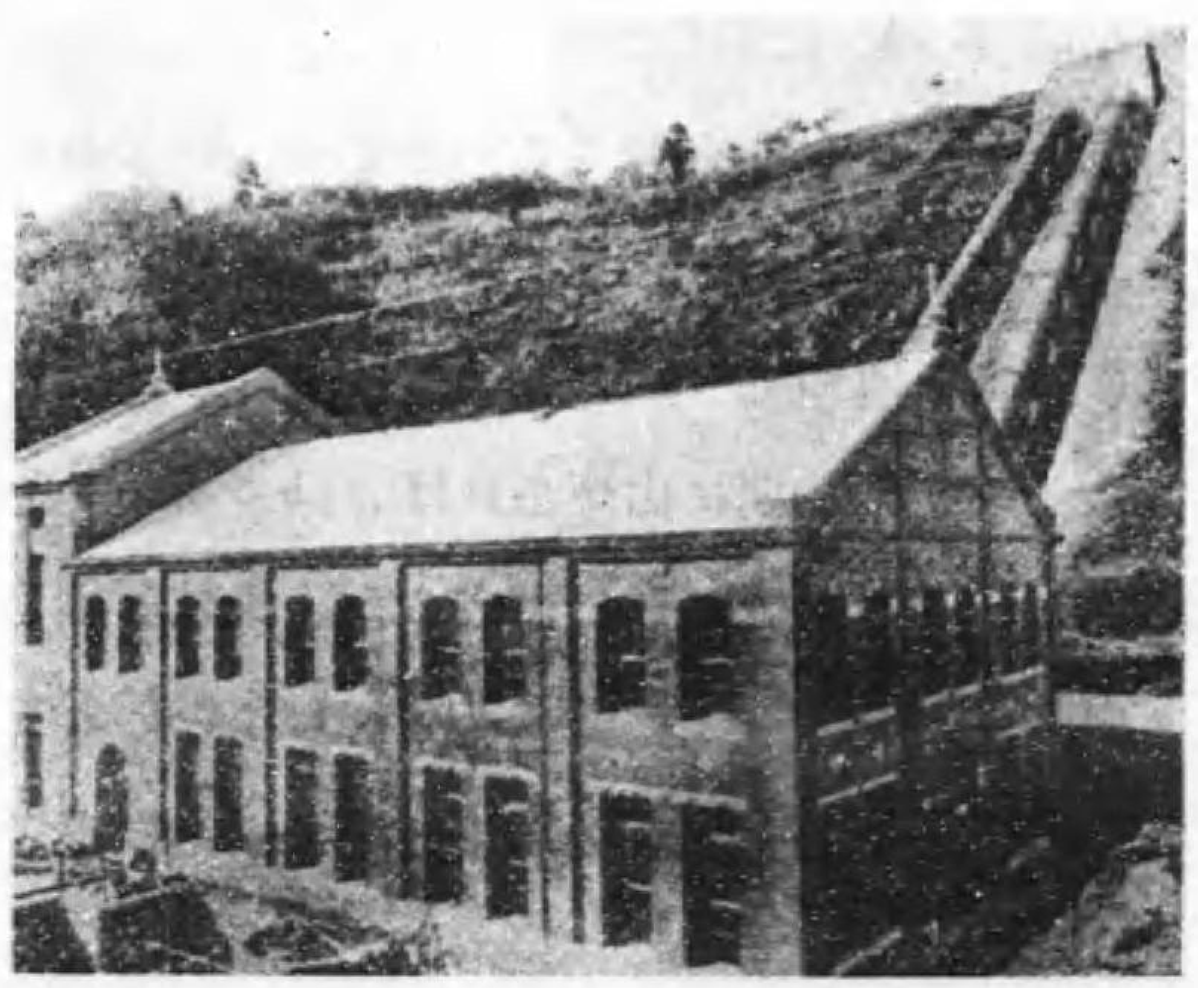
A, B 2 地點間に山があれば、トンネル を掘つて水路を通ずる必要がある。この流には成るべく抵抗を少くし、A′A″ を出來る限り小にし、H を出來る限り大ならしめるために、水路は能ふ限り直線路にし、且又石或は煉瓦，木板等で斷面を長方形に造る。

A″B は使用さるべき有效の落差で、この高いのを **高落差** 低いのを **低落差** といふ。高落差の場合には A″ と B とを管で連結し、その間に タービン T を置く (第 45 圖)。A″ と T との間の管を **導水管** といひ T と B との間の管を **吸水管** といふ。導水管は タービン に水を供給する管であり吸水管は タービン から水を吸ひ出す管である。吸水管の下端を B の中に直ちに開放し難い場合には、それと B とを連結する水路 B″B を造る必要がある。然る時は水路 AA″ を **上水路** といひ B″B を **放水路** と呼ぶ。放水路内の水面は B″B の如く水平面 B′B に對して多少傾くものであるから、この時利用される有效の落差は A″B″ となる。斯くの如き落差 H は、タービン

第 45 圖



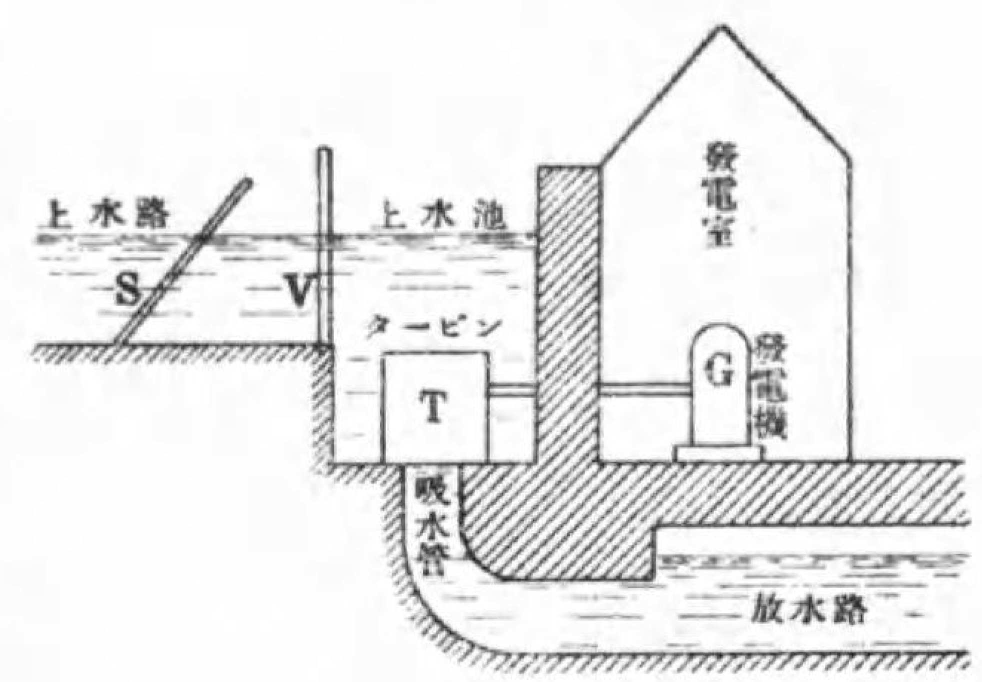
第 46 圖



によつて利用さるべき外觀上の落差であるから **現在落差** といひ、A の水面と B の水面との間の高さを **自然落差** といふ。第 46 圖はこのやうな裝置の實景を示す。

低落差の場合には吸水管のみを用ゐて導水管は用ゐず、上水路の水を直ちに タービン に導き吸水管を經て放水路に放出する。その裝置は大凡第 47 圖に示すが如くである。斯くの如き裝置を **開放式** といひ導水管を用ゐた裝置を **密閉式** といふ。

第 47 圖



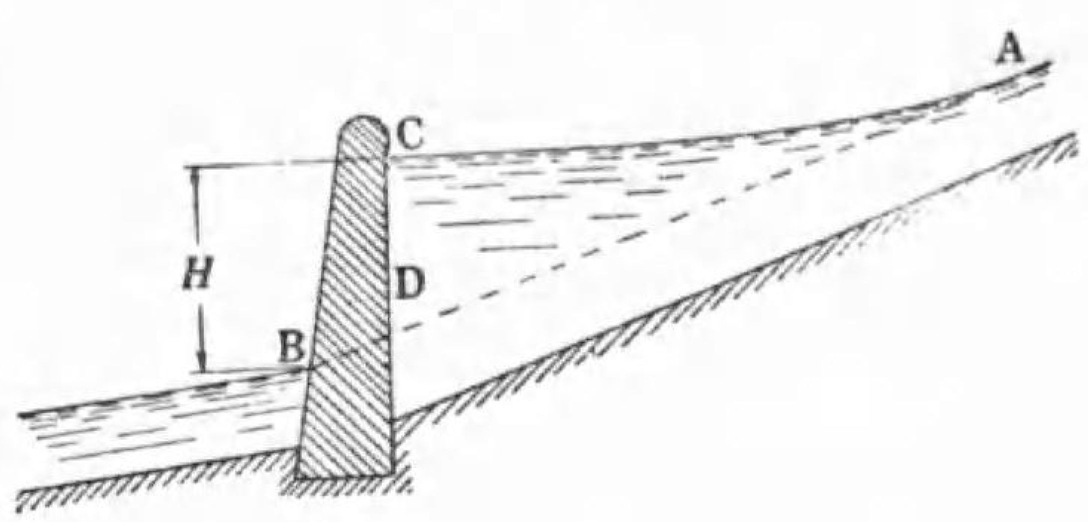
導水管を用ゐると否とに關らず、上水路の終端には相當量の水を集めるために、並に水の中の浮游物を沈澱させるために、やゝ廣き **上水池** を造る。その入口には水門 V を設け、タービン の運轉中はこれを開放し、上水池や タービン の掃除をする場合等には閉鎖して水を遮斷する。S は V の前に傾けて置いた水漉で、上水路を流れて來る浮游物例へば木片，木葉・石塊，土塊，氷塊の如き タービン を損傷する虞あるものを除く用をする。

上水路内の水は殆ど一定の速度を以て上水池内に流れ來る。故に タービン が多くの水を要求せざる場合には、水は上水池内に蓄積して水面が高まる。それが或一定の限度以上に高まれば上水池より溢れ出す。この水を **餘水** といふ。上水池には特に餘水を

一箇所から溢れ出させる **餘水口** を造り、そこから餘水全部が流れ落ちるやうにする。餘水は タービン が最大出力を出さずに運轉する場合に生ずるもので、不經濟なる棄水である。

G は タービン T の軸に直結する發電機である。この軸の水平なるを **橫型 タービン** といひ、垂直なるを **縱型 タービン** といふ。圖は橫型 タービン を示す。導水管は多くは鐵板を接合して造つた鐵管であるが、吸水管は鐵管のこともあり コンクリート 造のこともある。圖に示すは コンクリート 吸水管である。

第 48 圖



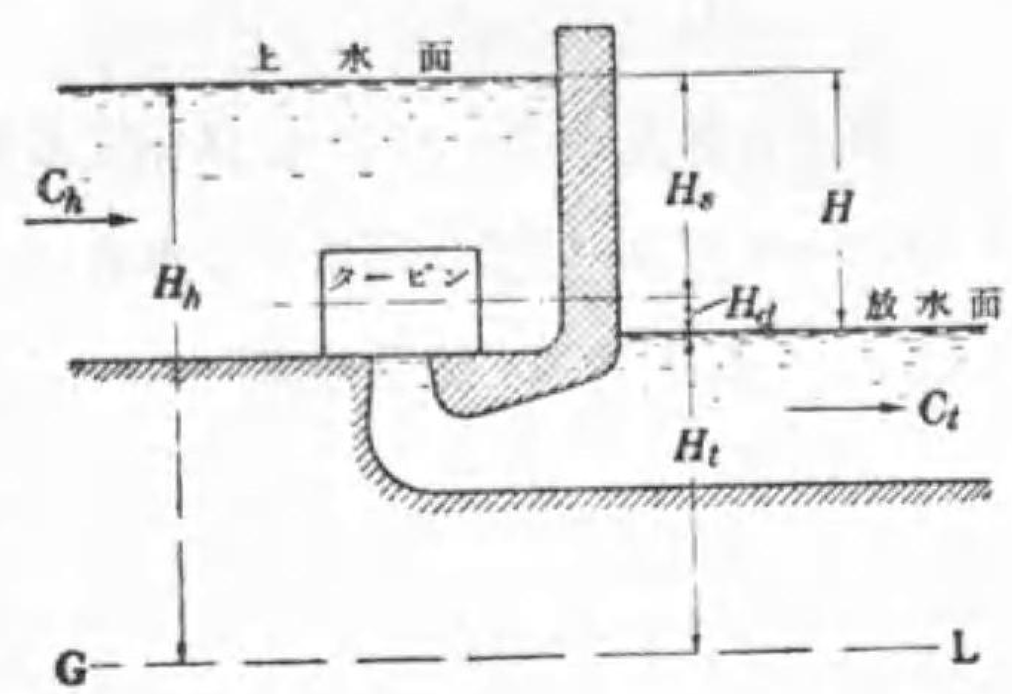
上水路の始端卽ち川の水が水路内に分派する所には **取入口** を置く。それは一種の水門で、タービン が運轉を休止したり上水路や上水池の掃除をしたりするときには閉鎖する。

又或場合には川を橫切つて石造或は コンクリート 造の堰を造り、水を堰止めて落差を作り、そこに タービン を設置することもある（第 48 圖）。川を橫切つて D なる堰を造れば、川の水面 AB は D の上流で AC の如くに高まり、D の前後に於て H なる落差が出來る。この落差と流量とを利用せんとするのである。

44. **落差の種々** 上水路の水面を **上水面**、放水路の水面を **放水面** といひ、この兩水面間の落差 H は現在落差である（第 49 圖）。

又 タービン の中心より上水面までの高さ H_s を **給水落差** といひ、タービン の中心より放水面までの高さを **吸水落差** といふ。給水落差と吸水落差との和は現在落差である。

第 49 圖



任意の水平面を GL とし、これより上水面までの高さを H_h、放水面までの高さを H_t とし、上水池内に於ける水の速度を C_h、放水路内を流れ去る水の速度を C_t とすれば、タービン の活動する眞の落差は $H_h+\frac{C_h^2}{2g}-H_t-\frac{C_t^2}{2g}$ でこれを **眞正落差** 又は **有效落差** といひ、これを H_n にて表せば

$$H_n = H_h - H_t + \frac{C_h^2 - C_t^2}{2g} = H + \frac{C_h^2 - C_t^2}{2g} \quad (62)$$

速度 C_h 及び C_t は大體相等しと見て大差がない。然る時は

$$H_n = H \cdots\cdots\cdots\cdots (63)$$

卽ち現在落差は有效落差として差支ない。單に タービン の落差といへば現在落差のことであるが、それは大體に於て有效落差である。

水が上水池から タービン に達する間、タービン を通過する間、タービン を出て吸水管を通り放水路に達する間に、水は種々の流體抵抗を受け、有效落差の一部はこの抵抗のために失はれ、

タービン が眞に利用する落差は H_n 或は H よりも常に小さくなる。今これ等の流體抵抗によりて失はれる ヘッド の總額を h とすれば、タービン の眞に利用する落差は $H-h$ で、これを **理論落差** といふ。卽ち理論落差を H_e とすれば

$$H_e = H-h \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (64)$$

45. 效率の種々 タービン に供給する自然の水力は γQH であるが、タービン が眞に利用する水力は γQH_e である。この兩者の比を タービン の **流體效率** といふ。今これを η_h にて表せば

$$\eta_h = \frac{\gamma QH_e}{\gamma QH} = \frac{H_e}{H} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (65)$$

タービン には種々の機械的部分があつて動力の損失を來す。軸と軸受との摩擦の如きはその主なる損失である。故に タービン が發電機を回轉すべく發電機に供給する動力は γQH_e よりも小さい。卽ち タービン が發電機に供給する動力を E とすれば、E は常に γQH_e よりも小さく、兩者の比を η_m とすれば

$$\eta_m = \frac{E}{\gamma QH_e} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (66)$$

η_m を タービン の **機械的效率** といひ、機械的裝置の善惡にかかる値である。

タービン に γQH なる自然の水力を供給すれば、タービン は E なる有效動力を發生して發電機を回轉するのである。故に γQH と E との比は タービン 全體の效率であつて、これを タービン の **全效率** 又は單に タービン の **效率** といふ。今これを η で表せば

$$\eta = \frac{E}{\gamma QH} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (67)$$

(65), (66), (67) なる 3 式より次の關係を得る。

$$\eta = \eta_m \frac{H_e}{H} = \eta_m \eta_h \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (68)$$

卽ち タービン の效率は機械的效率と流體效率との積に等しい。

タービン が發電機を回轉する動力 E を馬力で表したものを N とすれば、$N = \frac{E}{75}$ であるからこの E に (67) 式の値を代入すれば

$$N = \eta \frac{\gamma QH}{75} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (69)$$

或は m, kg 及び秒の單位で表せば、$\gamma = 1{,}000\ \mathrm{kg/m^3}$ であるから

$$N = \eta \frac{1{,}000\ QH}{75} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (69a)$$

46. タービン の諸型式 水 タービン は水力を利用して軸に回轉動を與へるのが目的である。そのために タービン は何れも **羽根車** といふ一種の車を有し、それを軸と共に回轉させるやうにする。羽根車は曲面をした板形或は椀形の羽根を周圍に數個排置した車で、水が羽根に作用して衝動或は反働を與へて回轉させるものである。

水が羽根車を通過する時それに衝動を與へるものは衝動 タービン であり、反働を與へるものは反働 タービン である。

羽根車の羽根の間を水が通過する時、軸に對して車の內方から外方に向つて放射的に流れるものを **外流 タービン** といひ、その反對に外方から內方に向つて集中的に流れるものを **內流 タービン** といひ、軸に平行に流れるものを **軸流 タービン** 軸に對し

て或傾を以て流れるものを **斜流 タービン** といふ。斜流には外斜流と內斜流との別がある。內方より外方に向つて斜流するものは **外斜流 タービン** であり、外方より內方に向つて斜流するものは **內斜流 タービン** である。

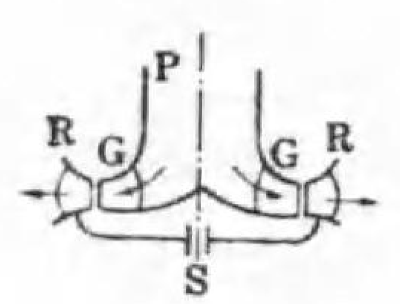
多くの タービン は眞の外流，內流，軸流或は斜流ではなく、概してそれ等の混成したものでこれを **混流 タービン** といふ。

以上の外羽根が椀形を呈し、その多數を等一に車の周圍に排置し、車の圓周の接線に羽根に向つて水を吹付ける型式のものがある。それを **接線流タービン** といふ、ペルトン水車がそれである。

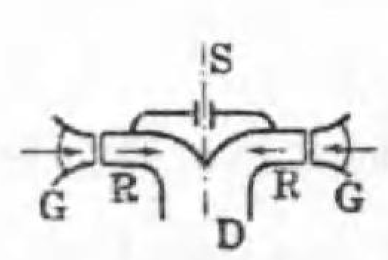
羽根車に水が流れ込む所に、流れ込む方向を指定して都合よく羽根に水を働かせるために、羽根車に流れ込む直ぐ前に、水をその指定の方向に向けてやる **導羽根** と名づける固定の羽根を置くか、又はそこに指定の筒先を置いて水をその指定の方向に噴出させる。導羽根は曲面より成る板形の羽根で、その數枚を等一に分布して羽根車の入口の所に排置する。

第 50 圖乃至第 56 圖はこれ等各種の タービン の略圖であつ

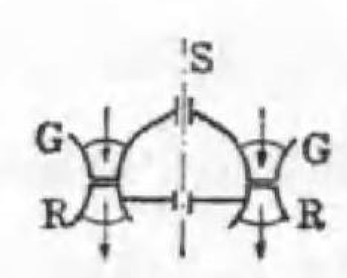
第 50 圖



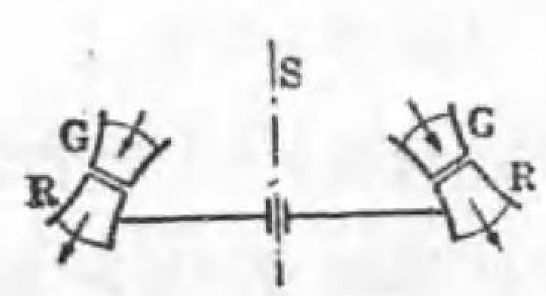
第 51 圖



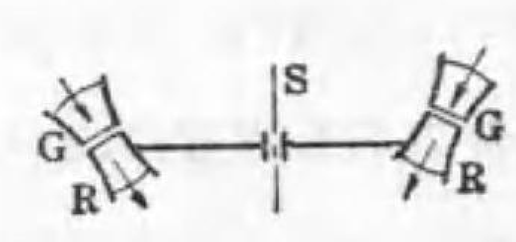
第 52 圖



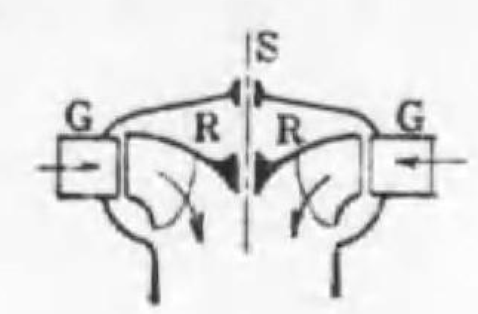
第 53 圖



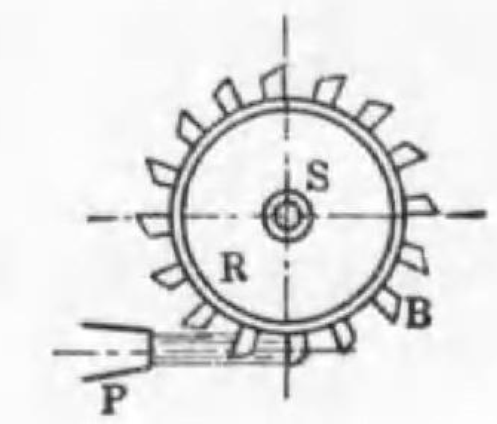
第 54 圖



第 55 圖



第 56 圖



て、第 50 圖は外流 タービン，第 51 圖は內流 タービン，第 52 圖は軸流 タービン，第 53 圖は外斜流 タービン，第 54 圖は內斜流 タービン を示す。凡て P は導水管の末端、G, G は導羽根、R, R は羽根車、S は羽根車に固着してそれと共に回轉する軸、D は吸水管の上端である。

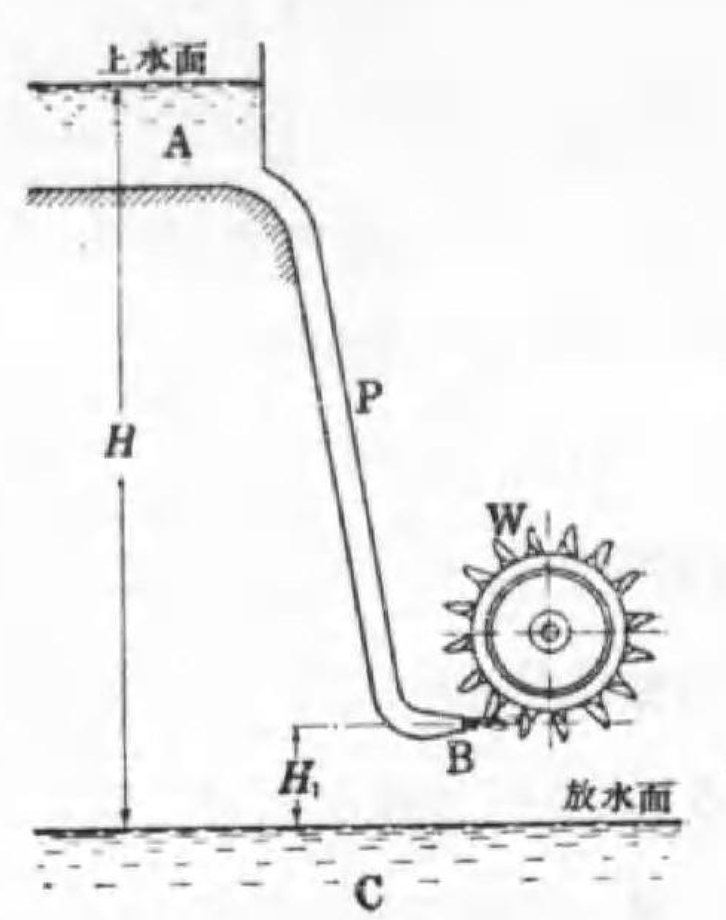
第 55 圖は混流 タービン の 1 例で、導羽根 G, G を出た水が羽根車 R, R 內に入る時內流で、間もなくそれが內斜流に變り、羽根車を出る頃軸流を加味して吸水管 D に入る場合を示す。現時の多くの フランシス 水車が大凡この型式である。

第 56 圖は接線流 タービン の一種で、現今多く用ゐられる ペルトン 水車の略圖である。P は導水管の末端に備へた噴水口の筒先、B は椀形の羽根、R はこの羽根の多數を排置した羽根車、S はその軸である。

第 2 章 ペルトン 水車

47. 概說 ペルトン 水車は西紀 1,870 年頃米人 ペルトン の發明にかゝり、その後種々に改良されて今日に至つたもので、型式は接線流衝擊 タービン である。車の周圍に椀形の羽根を均一

に排置し、それに噴水を吹きあてゝ回轉させる仕組である。流量の小なる割合に落差の大なる場所に用ゐるに適する タービン である。



第 57 圖

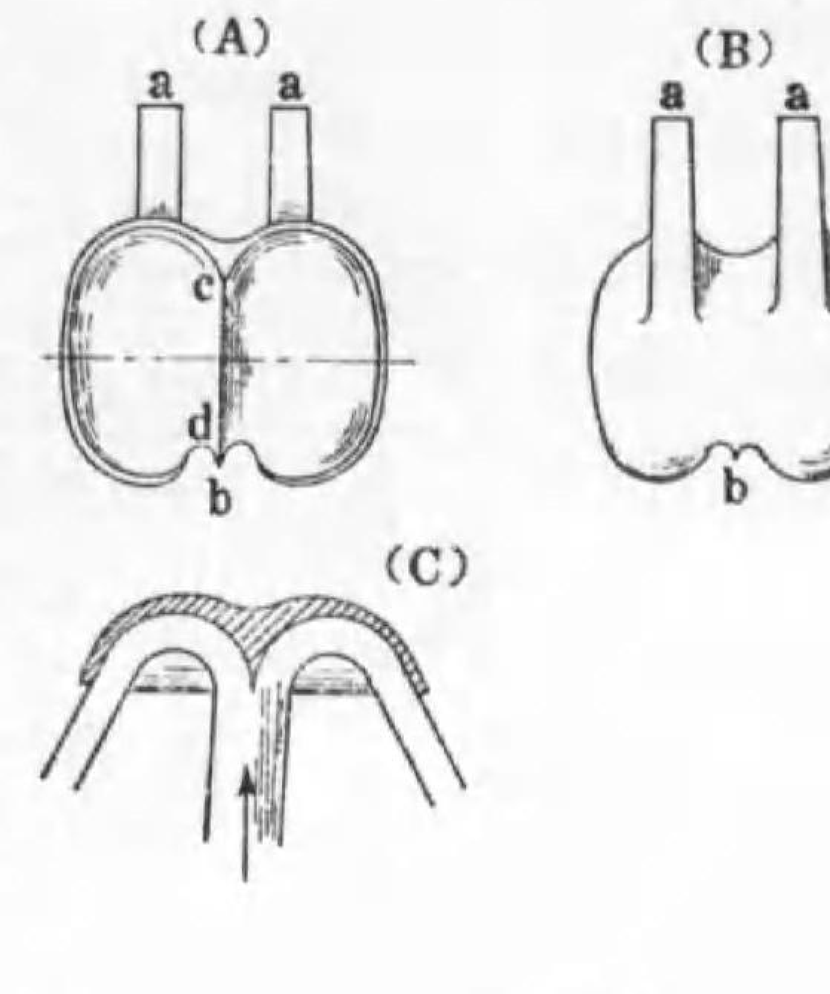
上水池 A から導かれる導水管 P の末端 B に圓錐形の筒先を備へ(第 57 圖)、そこから水は大氣中に勢よく噴出し、それが ペルトン 水車 W の羽根を衝撃してそれを回轉させ、斯くして仕事を成し終つた水は放水路 C 內に落ちるのである。

水は筒先から大氣中に噴出し、そのまゝ水車に働くのであるから、水車に働く壓力は到る處大氣壓に等しい。されば壓力は水車に何等の働をもなさず、たゞ噴水の動 エネルギー のみが水車を回轉させる働をするのである。これ卽ち ペルトン 水車が衝撃 タービン である所以である。

現在落差を H とし、放水面上の筒先の高さを H_1 とすれば、噴水の速度は $\sqrt{2g(H-H_1)}$ に等しい。この速度が水車を回轉させる仕事をするので、從つて H_1 なる落差は損失となる。故に ペルトン 水車は出來るだけ放水面に近く設置して、H_1 を小さくするやうに計らねばならぬ。

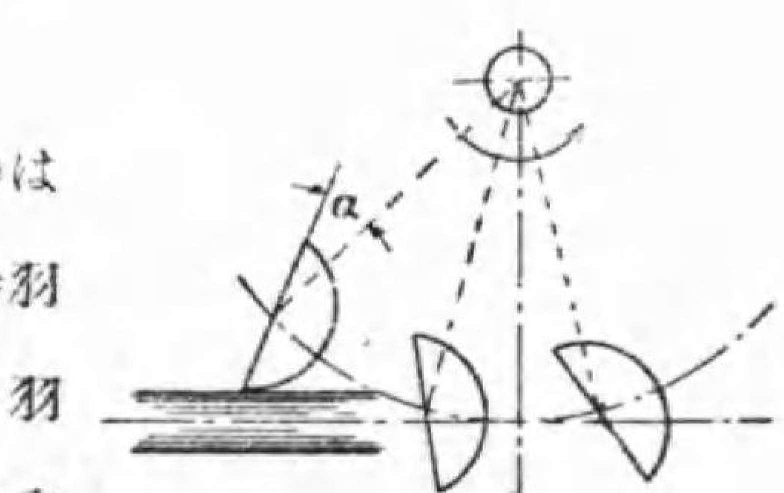
雨の降り續く季節には川の水面は高まる。上水池には餘水口があつてその水面は常に大凡一定に保たれてるけれども、放水面は降雨の時には高まり晴天の續く時には低まる。故に洪水の時に水

車が放水面に接觸しない程度に、出來るだけ低く水車を設置すべきものである。



第 58 圖

羽根は椀形で恰も瓜を半分に割つて開いたやうな形狀を呈し、第 58 圖の (A) は正面圖，(B) は背面圖，(C) は斷面圖である。a, a は フランヂ でこれで羽根を車の周圍に固く取りつける。b は羽根の先端でこゝを羽根の脣といふ。



第 59 圖

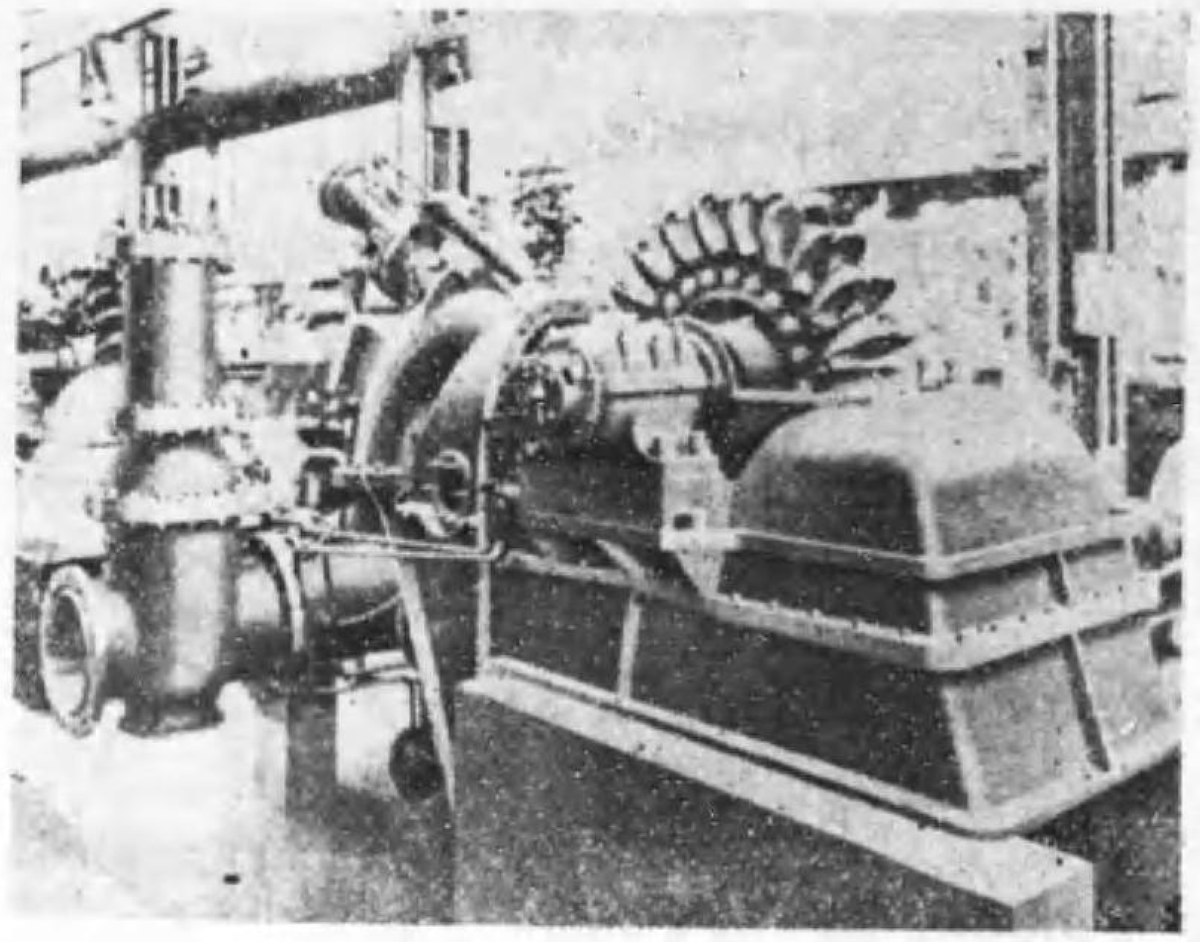
羽根が最初に噴水に出會ふのは脣からで(第 59 圖)、この時羽根は噴水に對して著しく傾き、羽根の中に切り込んだ水が水車の內側に突入して、車の回轉に有害な作用を與へる虞があるから、これを避けるために脣は通例幾分か切り取る。從つて b のやうに幾分凹入した形になる。

cd の線は刀の刄のやうに尖るこれを羽根の峰といふ。噴水は峰に向つて吹き付けられ、左右に兩斷されて左右均一の働をなし、車が軸の方向に横に推されることが防がれる。第 60 圖は ペルトン 水車の羽根車の實景である。

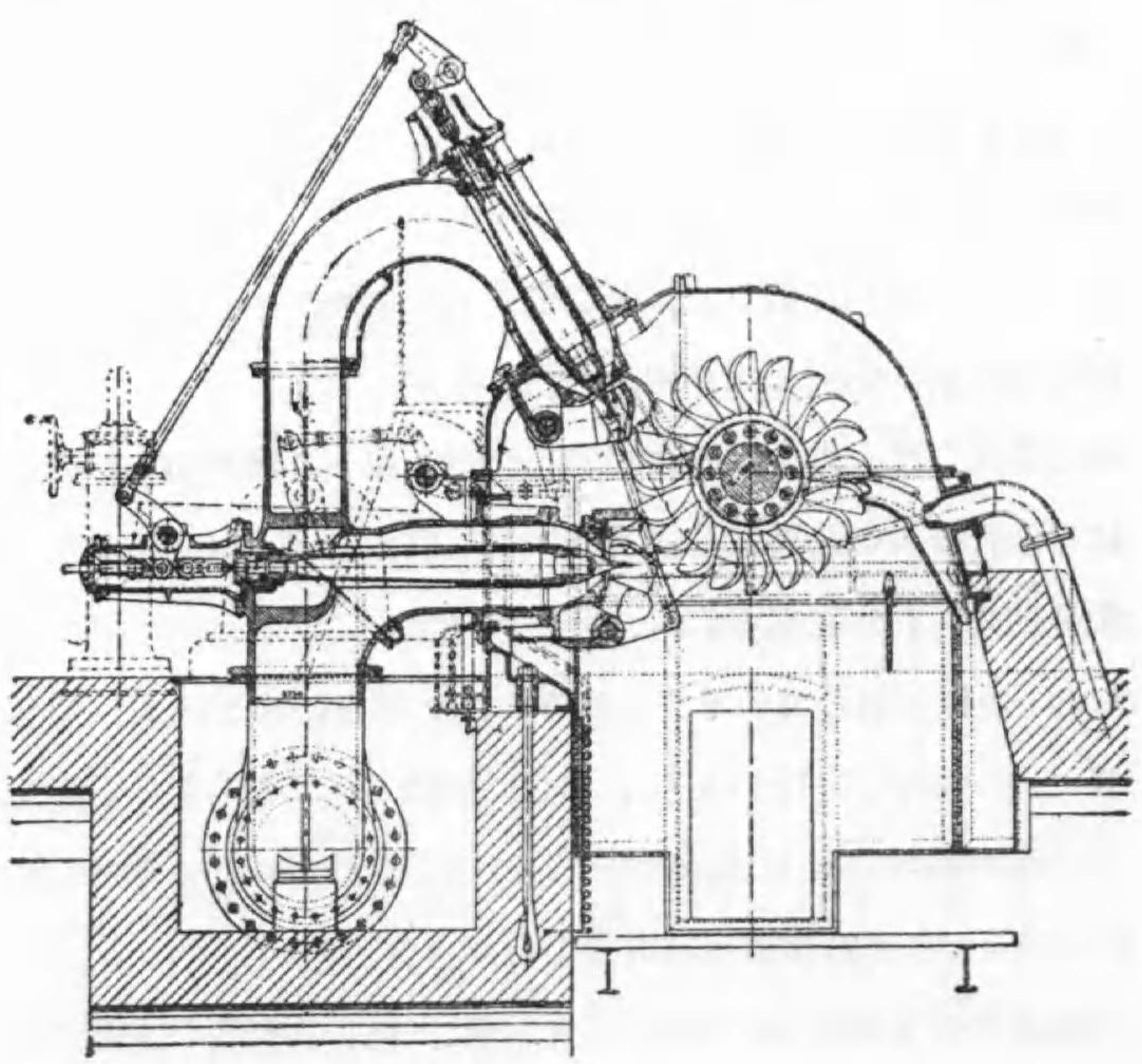
導水管の下端が二つ又は三つに分岐され、それ等の末端に夫々

筒先を備へ、一つの車に二つ又は三つの噴水を或角度で同時に吹き付ける場合もある。斯うすると一つの噴水を當てるよりも働作が均等になり、且又噴水の

第60圖



第61圖

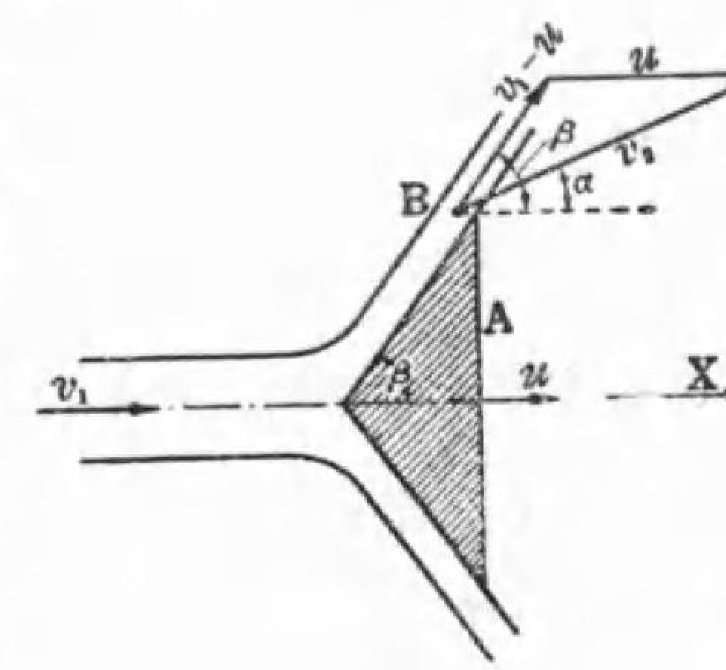


太さが細くなるから水車の效率が良くなる。

一つの軸に二つの羽根車を同時に備へる場合もあり、又軸を水平に据ゑた横型、それを垂直に据ゑた縦型の別もある。第61圖は一つの羽根車に直角なる二つの噴水を當てた横型ペルトン水車の或一種の構造を示す。

48. 理論 v_1 なる速度を有する噴水が、u なる速度で運動するAなる羽根に衝突すれば（第62圖）、羽根に働く噴水の速度は v_1-u なること明らかである。これ即ち羽根に對する噴水の相對速度で、運動する羽根から見れば、噴水は v_1-u なる速度でこれに働くのである。故に羽根の面に沿つて接線的に流れ去るB點の水の速度もまた v_1-u でなければならぬ。然るにB點自身は u なる速度で運動するのであるから、B點を流れ去る時の水の眞の速度即ち固定する地面上から見た水の絶對速度は、v_1-u と u とのヴェクトルの和たる v_2 でなければならぬ。

第62圖



つまり固定する地面上から見た絶對運動についていへば、噴水は v_1 なる絶對速度で羽根に衝突した後、v_2 なる絶對速度でこれを流れ去るのである。故に v_2 が u の方向に傾く角を α とし、羽根に及ぼす噴水の衝突力を X とすれば（38）式に照し

$$X=\frac{\gamma}{g}Q\,(v_1-v_2\cos\alpha)$$

然るに羽根の面が u の方向に傾く角を β とすれば、

$$v_2\cos\alpha = (v_1-u)\cos\beta + u$$

故に $$X = \frac{\gamma}{g}Q(v_1-u)(1-\cos\beta) \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(70)$$

羽根車が X なる力を受けてその方向に u なる速度で回轉すれば、單位時間に成すその仕事は Xu であるから

$$仕事 = \frac{\gamma}{g}Qu(v_1-u)(1-\cos\beta) \quad\cdots\cdots\cdots(71)$$

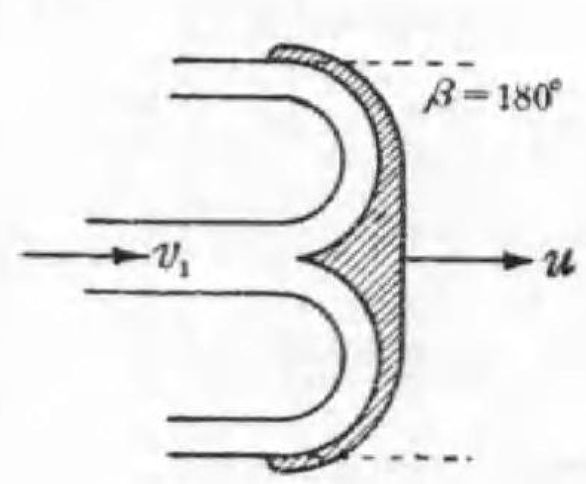
噴水が單位時間に噴出する エネルギー は $\frac{\gamma Q v_1^2}{2g}$ であるから、これで仕事を除した商は羽根車の效率である。故にこれを η で表せば

$$\eta = \frac{2u(v_1-u)(1-\cos\beta)}{v_1^2} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(72)$$

この效率は水の作用のみを考へたものであるから、羽根車の流體效率である。水車の全效率は、これに機械的效率を乘じ更に損失落差 H_1（第 57 圖）等をも考へたものでなければならぬ。

(72) 式を見ると、效率は $\cos\beta$ の小なるほど大きい。然るに $\cos\beta$ は $+1$ から -1 までの間の値を有し、-1 がその最小値である。故に $\cos\beta = -1$ 卽ち $\beta = 180°$ なる效率は最大である（第 63 圖）。卽ち羽根が椀形を呈し、噴水が 180° 方向を變へて眞後向に羽根を流れ去るやうになれる時に、效率は最大でその時の最大效率の値を η_m とすれば

第 63 圖



$$\eta_m = \frac{4u(v_1-u)}{v_1^2} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(73)$$

ペルトン 水車の羽根を椀形に作るのは、正にこの理論に從つて最大の效率を得ようとする考に外ならぬ。

羽根が椀形を呈し $\beta = 180°$ に造られてゐても、$u = 0$ であつたり $u = v_1$ であつたりすると $\eta_m = 0$ となる。故に $u = 0$ と $u = v_1$ との間に η_m の正に最大となる狀態があるので、それは $u = \frac{v_1}{2}$ なる時である。卽ち羽根車の圓周速度、換言すれば羽根の走る速度が、噴水の速度の $\frac{1}{2}$ なる時に η_m は最大で、その最大效率の値は上式中の u に $\frac{v_1}{2}$ を代入して計算すれば $\eta_m = 1$ となる。

これを要するに ペルトン 水車は羽根を椀形に造り、それを噴水速度の $\frac{1}{2}$ の速度で走らせれば、$\eta_m = 1$ 卽ち 100% の流體效率を發し得るものである。

49. ペルトン 水車の效率 ペルトン 水車は 100% の效率を出し得る資格を有するけれども、實際のものは決して斯くの如き理想的の效率を出すものではなく、90% 出すことさへ困難で多くは 80% 前後のものである。何故 100% の效率を出し得ないかといふ理由を次に列擧する。

(1) 噴水を 180° 眞後に方向を變へさせると、羽根を去つた水が次の羽根の背面に衝突して車に逆運動を與へるから、これを避けるためにはどうしても β を 180° にすることが出來ないこと。

(2) 導水管及び筒先の內部に流體摩擦があり、噴水にも空氣の抵抗があり、羽根の面に於て水の流體摩擦があり、又羽根車の軸承には摩擦があつて總て エネルギー の損失を來すによること。

(3)　噴水が羽根車に最大の回轉 モーメント を與へるのは、噴水の中心線と羽根車の中心からこれに直角に引いた直線との交點に羽根が來た瞬間であつて、その他の位置に羽根がある時は噴水は羽根に對して常に傾斜した方向に働き、第 62 圖及び第 63 圖に示す噴水の衝突力の分力が車を回轉させるによること。

この影響は車の直徑に比して噴水の直徑の大なるほど著しい。故に效率を大ならしめようとすれば噴水は出來るだけ細い方がよい。しかし噴水が細ければ流量が小さく、流量が小さければ動力が小さい。流量を減らさないで噴水を細くするには、噴水を二つ又は三つに分岐して同時に一つの水車に當てればよいといふことになる。

斯く車の直徑と噴水の直徑との關係は效率に大なる關係のあるもので、車の直徑が噴水の直徑に比して大なるほど效率は大きく、車の直徑が噴水の直徑の大凡 9 倍よりも小であれば效率は著しく低下するものである。

(4)　羽根の面は車の半徑の方向に對して角 α だけ後方に傾けて取り付ける（第 59 圖參照）。これは上に述べた衝突力の分力を成るべく大にして、回轉の效果を大にしようとの考によるもので、α は水車夫々の構造によつて悉く異なる角で一律にはいへないが、噴水が太いほど α は大きくするのが必要であることだけは明白である。

50. 回轉度の調節　流量が一定で落差が一定なら水車の出力は一定である。然るに水車の發出した水力を發電機を通して電力に變へ、その電力を利用して或は電燈を點じ、電車を走らせ、電動

機を回轉させる仕事は決して一定ではなく、晝夜によりて違ひ、時々刻々にも違ふ。これを發電機の **荷重** といふ。卽ち出力は一定であるが荷重は不定である。こゝに於て水車の回轉に過不足が起る。荷重が增せば水車の廻轉は遲くなり、荷重が減れば回轉は增す。

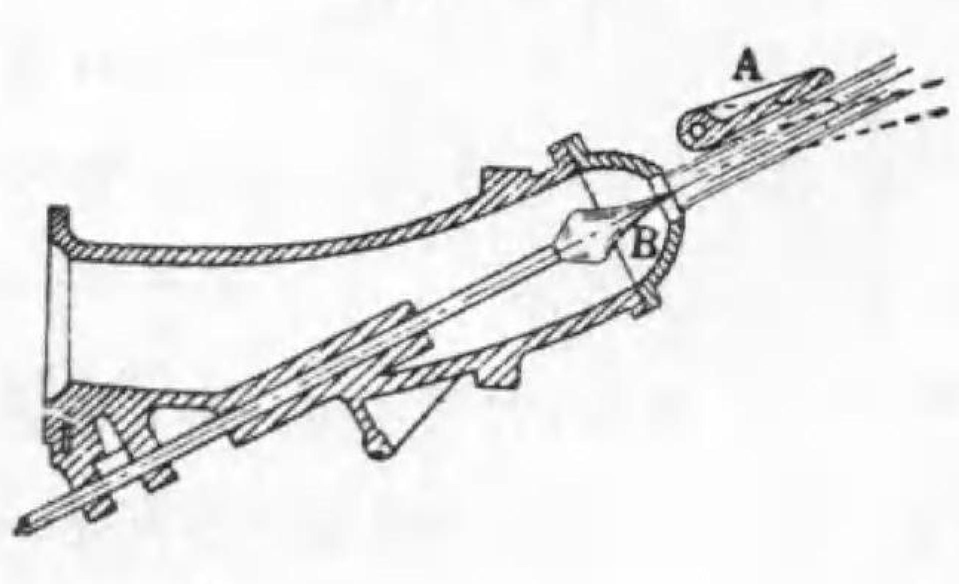
荷重の變化につれて水車の回轉に過不足が起れば、發電機の發出する交流電氣の サイクル 數に變化が起る。さうすると電燈が明滅したり、電車や電動機の回轉に豫期に反した遲速が起り、種々不都合なる結果を來すものである。

この不都合を避けるためには、荷重の大小に關らず水車の回轉を常に一定に保たせる必要がある。それには荷重に應じて流量を增減し、荷重が增せば出力を增し、荷重が減れば出力を減じ、兩々相助けて水車の回轉を常に一定にさせるより外はない。

これを自働的に行はせるために後章述ぶる所の **調速機** を用ゐる。調速機で ペルトン 水車の出力を加減するには、噴水の筒先に種々の仕掛をしてそれを調速機に連結する。

現今多く用ゐてゐる方法は、筒先と羽根車との間に A の如き曲板を置き（第 64 圖）、更に筒先の中心部には B の如き團栗形の瓣を裝置し、これを中心線の方向に出し入れして筒先の孔の面積を增減し、以て流量を加減するやうに仕掛ける。荷重

第 64 圖



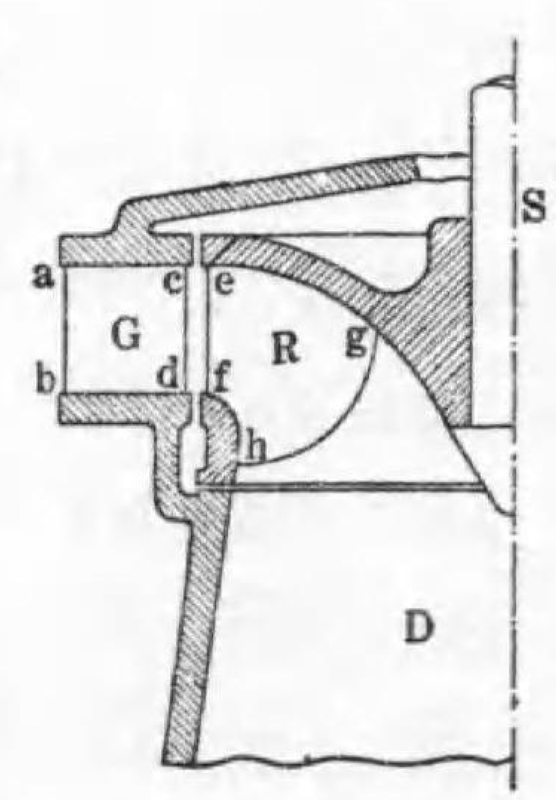
の減つた瞬間には、先づ A が點線で示した位置に搖動して噴水を外方に押し曲げその一部を羽根から反らし、次で B が外方に抜け出して筒先の面積を減らし、その動作の間に A が始めの位置に戻る。この複雜した動作を調速機は自動的に行ふのである。

第 3 章 フランシス 水車

51. 概說 フランシス 水車は西紀 1,849 年米人 フランシス の發明にかゝり、その後種々改良發達して今日の形態となつたもので、型式は元來內流反働 タービン であるけれども、今日用ゐられてゐる多くは內流より發達した混流反働 タービン である。流量の大なる割合に落差の小なる場合に使用するに適する水車である。

最外圍に G なる導羽根があり（第 65 圖參照）、その內側に軸 S と共に回轉する羽根車 R があり、ab は導羽根の入口，cd はその出口，ef は羽根車の入口，gh はその出口、D は吸水管である。

第 65 圖



反働 タービン であるから水は速度 エネルギー と壓力 エネルギー とが同時に働いて車に回轉を與へる。故に導羽根並に羽根車は水の充滿した容器の中に入れられ、羽根を通る間に水の速度が變り同時に壓力が變る。

ペルトン 水車では噴水は通例大氣壓の下に働くから吸水管は利用されない

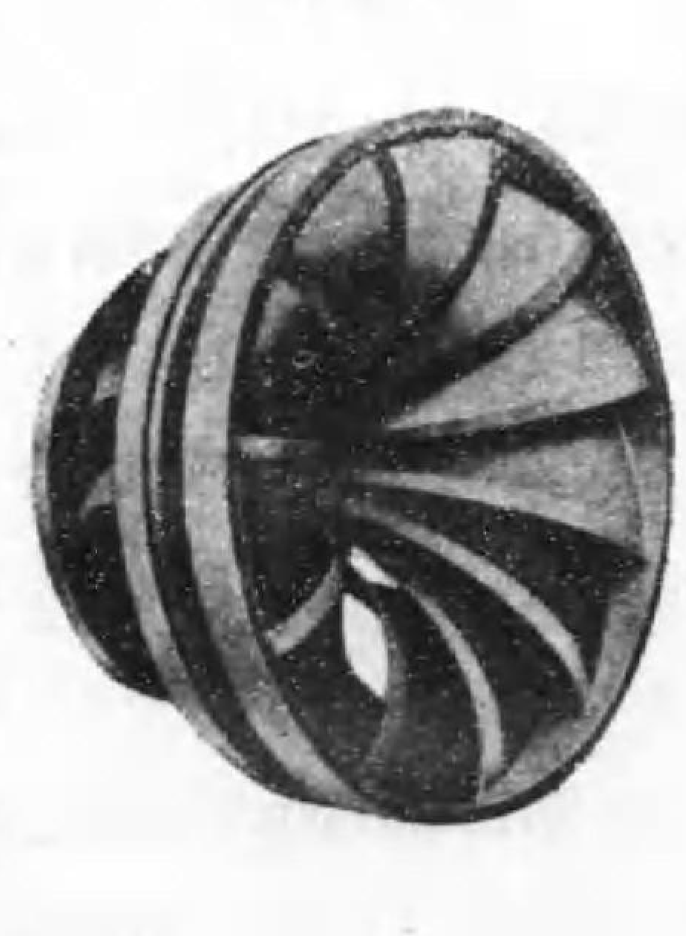
が、フランシス 水車では水が充滿してゐるから吸水管を利用して水車から水を吸ひ出させる。從つて水車は放水面から任意の高さの位置に設置して差支なく、現在落差が有效に使はれ得る特長がある。

しかし吸水落差が大氣壓に相當する水の高さ卽ち大凡 10 m よりも高い時は、羽根車出口の近傍は眞空壓となり、水は氣化して空虛となり、羽根車が空虛の中で回轉することゝなるから、吸水落差の最大限は大凡 10 m である、しかし實際には大凡 6 m よりも高くしてはならない。

羽根車の羽根は可なり複雜に彎曲した曲面で、その何十枚かを均一に排置し、導羽根から流れ出た水は羽根車に入り、この曲面に働いて速度と壓力とが變る間に羽根車に回轉 モーメント を與へるのである。第 66 圖は羽根車の實景である。

52. 水車設置上の型式 設置すべき土地の狀況、流量と落差との相互關係によつて、フランシス 水車は種々の型式に造られる。それを大別すれば **開放式** と **密閉式** との二つになり、第 67 圖は開放式，第 68 圖乃至第 70 圖は密閉式であつて、凡て A は上水池，P は導水管，T は水車，D は吸水管，S は車軸である。密閉式は更に 3 種に細別され、第 68 圖は圓筒形の容器內に水車を納め

第 66 圖



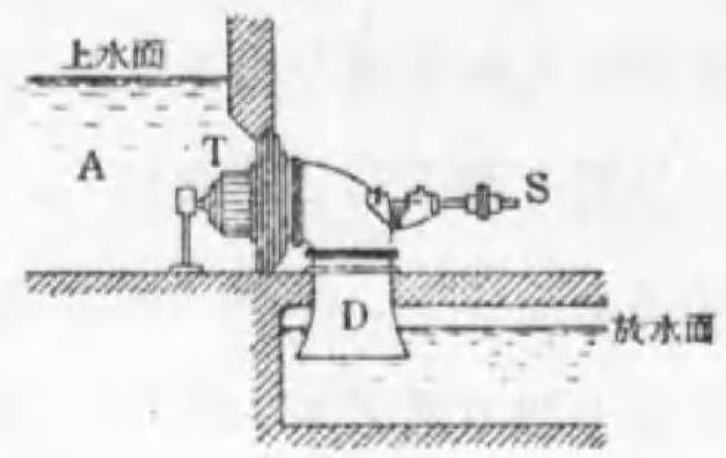
たもので、これを **圓筒型水車**、第 69 圖は圓錐形の容器內に水車を納めたもので、これを **フロンタル 水車** といひ、第 70 圖は渦卷形の容器の中に水車を納めたもので、これを **スパイラル 水車** と稱へる。

こゝに示したものは車軸 S が總て水平に据ゑられた狀態を示し、これを **橫型** といひ、それが垂直に据ゑられたものを **縱型** といふ。縱型水車では發電機は軸の頂端に直立して連結する。

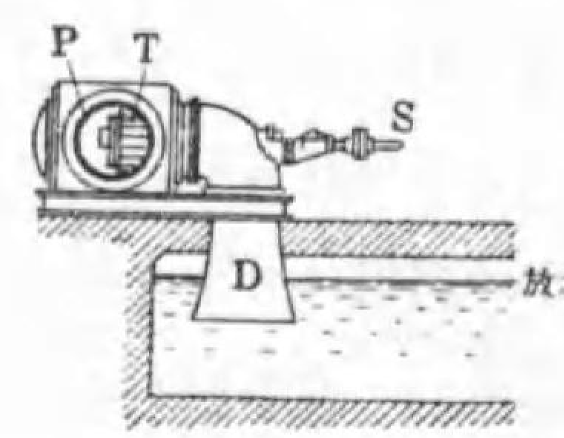
一つの軸には二つ又は二つ以上の羽根車と、それに所屬する導羽根とを備へる場合もある。この場合には吸水管は羽根車ごとに獨立のものを附けることもあり、又は羽根車の何個かを 1 個の共通の吸水管に連結することもある。

53. 羽根車の型式 流量と落差との關係によつて、羽根車は

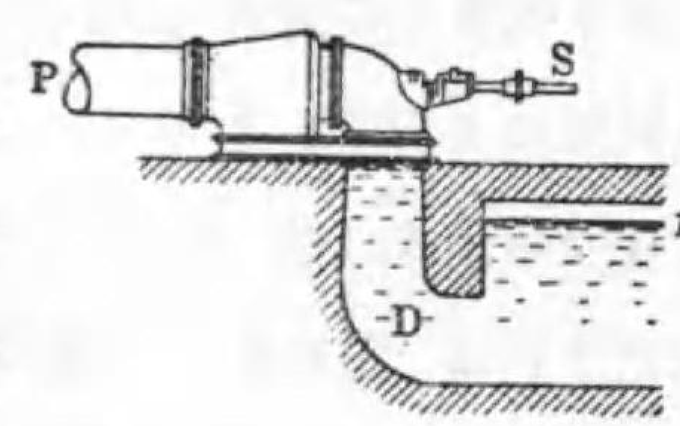
第 67 圖



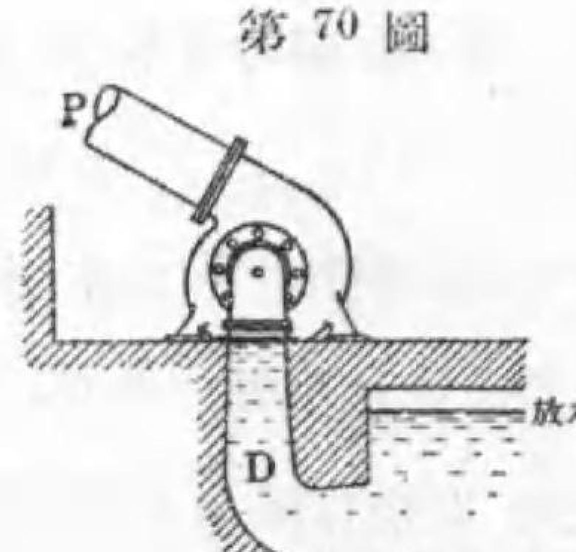
第 68 圖



第 69 圖



第 70 圖



種々大小を異にしたものになるけれども、大小は問はずに二つの羽根車が相似形であれば、その二つの水車は同じ型式の水車であるといふ。

現在落差 H から大氣中に噴出する水の速度は $\sqrt{2gH}$ であるから、水車中を流れる水の速度及び羽根車の圓周速度は $\sqrt{2gH}$ よりも常に小さい。故に羽根車の圓周速度を u_1 とすれば、$u_1 = C_v\sqrt{2gH}$ と書くことが出來、C_v は 1 よりも小なる係數でこれを **速度係數** といふ。同じ型式の水車では C_v は等しいものである。

斯くの如く、同じ型式の水車の圓周速度 u_1 は $\sqrt{2gH}$ に正比例するから、流量が大で落差が小であれば u_1 が小さい。今水車の回轉度を n 回/分 とし、羽根車入口の直徑を D_1 m とし、u_1 を m/秒 の圓周速度とすれば

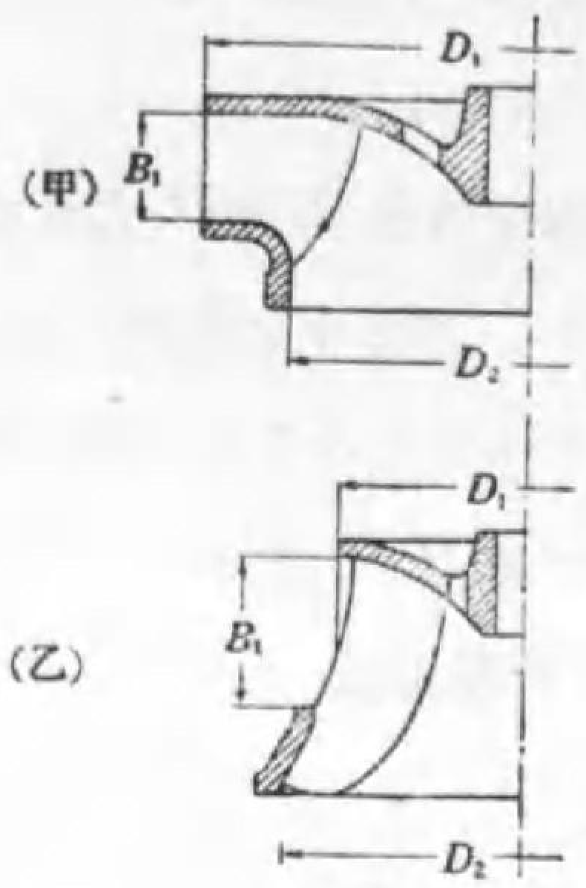
$$n = \frac{60u_1}{\pi D_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (74)$$

卽ち u_1 が小なれば n が小さく、n を大にしようとすれば D_1 を小にしなければならぬ。

n の小なるは回轉の遲いことで、回轉が遲ければ水車も發電機も共に大型となり軸もまた太くなり、設備費及び運轉費に多くの費用を要することになる。それ故これ等の費用を節減するには、事情の許す限り n を大ならしめて、所謂高速度回轉のものたらしめねばならぬ。それには水車の直徑 D_1 を出來る限り小さくすればよい。然るに D_1 を小さくすると、入口の幅 B_1 を大きくしなければ要求するだけの流量が水車の中に流れ込まぬことになる(第 71 圖)。又吸水管の上端の直徑を D_2 とすれば、一定量の流

量を通過させるには、D_1 を小さくし從つて B_1 を大きくしても、D_2 は元のまゝにして置かねばならぬ。その結果（甲）の如き型式の羽根車の回轉度を高くするためには、勢ひ（乙）の如き型式の羽根車を用ゐねばならぬことになる。

第 71 圖



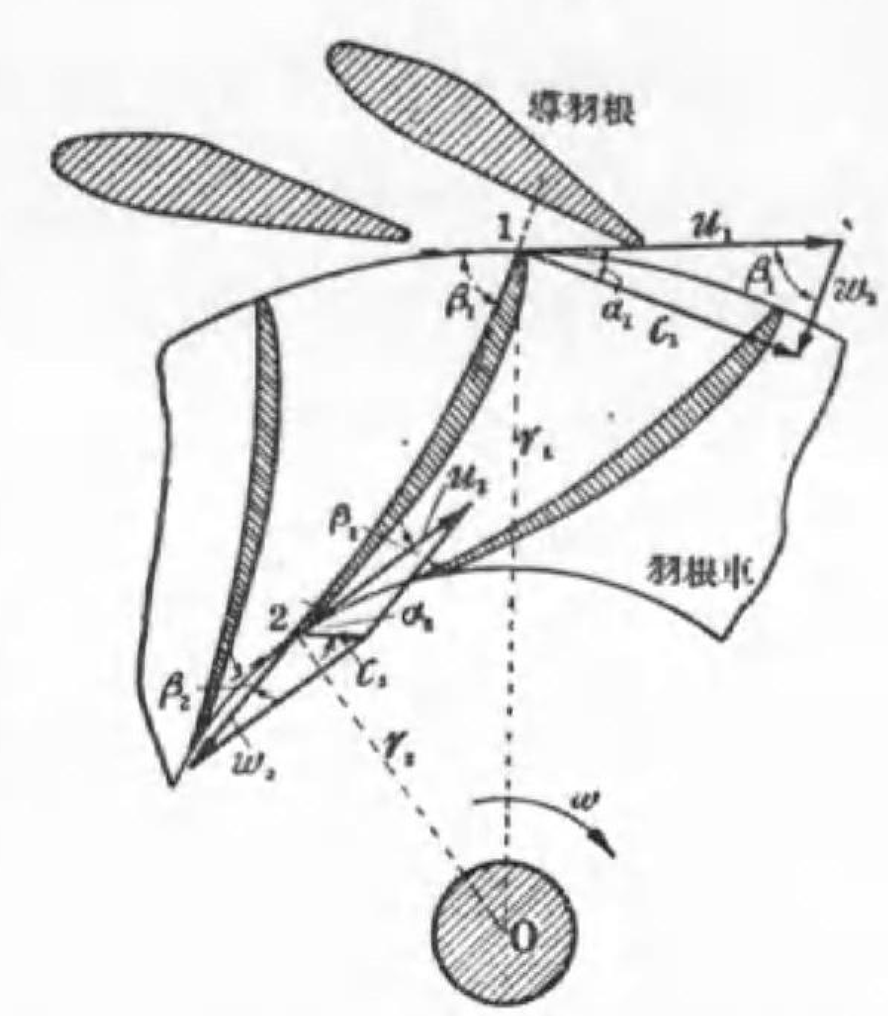
D_2 は本來 D_1 よりも小なるものであるけれども、D_2 を一定に保つて D_1 を極度に小ならしめようとする結果、D_2 と D_1 との差が次第に小となり、甚しきは（乙）のやうに D_2 が却つて D_1 よりも大なるものともなる。

同じ出力の水車として、（乙）は（甲）よりも小形であり、同時に（乙）は（甲）よりも回轉が速い。故に（乙）は（甲）よりも **高速度**[12] であるといふ。こゝに於て水車の型式を通例三段に分け、同じ出力に對して回轉度の最も小なるものを **低速水車**、それよりも回轉の大なるものを **中速水車**、回轉の更に大なるものを **高速水車** といひ、場合によつては四段に分けて、高速水車よりも更に回轉の大なるものを **特高速度水車** といふ。

[12] この場合高速度とは圓周速度が大きいといふことでなく、軸の回轉度の大きいことをいふのである。

54. 羽根の構成　導羽根に導かれて羽根車入口の 1 なる點に於て、水は c_1 なる絶對速度で羽根車の中に流入し（第 72 圖）、そのために羽根車は軸 O を中心として回轉する、1 なる點の圓周速度を u_1 とし、u_1 に對する c_1 の相對速度を w_1 とすれば、回轉する羽根に對しては水は w_1 なる速度で流入するのである。故に水を羽根車の羽根に衝突させることなしに、羽根車の中に流れ込ませるためには、羽根の入口の方向を w_1 の方向に造らなければならぬ。それ故 c_1 と u_1 と w_1 との作る三角形の内角を α_1, β_1 とすれば、β_1 は入口に於ける羽根の方向角を表すことになる。

第 72 圖



斯くして羽根車の中に無理なしに流れ込んだ水は、羽根に沿うて流れ、出口の 2 なる點に於て w_2 なる相對速度を以て接線的に羽根から流れ出す。故にこの點の羽根車の圓周速度を u_2 とすれば、羽根車から流れ出す水の絶對速度は c_2 であつて、この速度で水は吸水管中に入るのである。それ故 c_2 と u_2 と w_2 との作る三角形の内角を α_2, β_2 とすれば、β_2 は出口に於ける羽根の方向角を表すことになる。

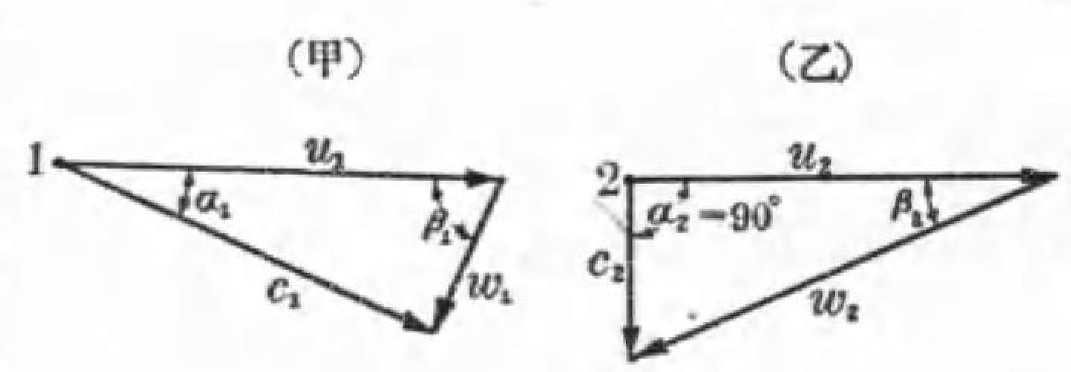
羽根の入口及び出口に於ける方向角 β_1 と β_2 とによつて羽根の形は定まり、この 2 點に於ける速度及び角度の關係は、以上

二つの三角形によつて表される。故にこれ等の三角形を入口及び出口の **速度三角形** といひ、羽根の計算に非常に大切なる三角形である。

水は絶對速度 c_2 を以て吸水管中に入るのであるから、α_2 が直角でないと、水は吸水管中に渦巻運動を起すことゝなる。これは甚だ有害なる運動であるから、これを除くために α_2 が直角になるやうに羽根を造らなければならぬ。さうすると出口の速度三角形は直角三角形になる。よつて入口及び出口の速度三角形を取り出して書くと、第 73 圖 (甲) (乙) の如きものとなる。

55. 理論 力學の定理によれば、或軸に對する角運動量の變化の時間に對する比は、その軸に働く力のモーメントに等しい。

第 73 圖



さて羽根車入口に於て c_1 なる絶對速度を有する水は、出口に於て c_2 なる絶對速度となる。故に羽根車を通過する水の質量を M とすれば、入口に於ける運動量は Mc_1 で、出口に於ける運動量は Mc_2 である。又入口の半徑を r_1, 出口の半徑を r_2 とすれば、中心 O_1 から c_1 の方向に直角に引いた直線の長さは $r_1\cos\alpha_1$, c_2 の方向に直角に引いた直線の長さは $r_2\cos\alpha_2$ であるから、入口に於ける角運動量は $Mc_1r_1\cos\alpha_1$, 出口に於ける角運動量は $Mc_2r_2\cos\alpha_2$ である。故に羽根車を通る間に起る角運動量の變化は $M(c_1r_1\cos\alpha_1-c_2r_2\cos\alpha_2)$ である。よつて質量 M の水が入口から出口に達するまでに要する時間を t とす

れば、これを t で除したものは、角運動量の變化の時間に對する比である。

上記の定理によれば、この比は軸 O に働く力のモーメントに等しいのであるから、このモーメントを T で表せば、

$$T=\frac{M}{t}(c_1r_1\cos\alpha_1-c_2r_2\cos\alpha_2)$$

然るに水の單位重量を γ とし、流量を Q とすれば、$M=\frac{\gamma}{g}Qt$ であるから、

$$T=\frac{\gamma}{g}Q(c_1r_1\cos\alpha_1-c_2r_2\cos\alpha_2)\cdots\cdots\cdots(75)$$

羽根車の回轉する角速度を ω とすれば、その工程は $T\omega$ に等しい。よつて

$$\text{工程}=\frac{\gamma}{g}Q\omega(c_1r_1\cos\alpha_1-c_2r_2\cos\alpha_2)$$

然るに ωr_1 及び ωr_2 は羽根車の入口及び出口の圓周速度 u_1 及び u_2 に等しいから、

$$\text{工程}=\frac{\gamma}{g}Q(u_1c_1\cos\alpha_1-u_2c_2\cos\alpha_2)\cdots\cdots(76)$$

さて一方に於て、現在落差を H とし、水車の全效率を η とすれば、

$$\text{工程}=\gamma QH\eta\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(77)$$

故に以上 2 式を相等しと置けば、

$$u_1c_1\cos\alpha_1-u_2c_2\cos\alpha_2=g\eta H\cdots\cdots\cdots\cdots(78)$$

これは羽根車の計算に必要な基本公式である。

若し第 73 圖 (乙) の如く $\alpha_2=90°$ ならば $\cos\alpha_2=0$ であるから、上式は次の如く簡單になる。

$$u_1c_1\cos\alpha_1=g\eta H\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(79)$$

第 73 圖 (甲) の三角形に於て、三角術の定理によれば、

$$u_1c_1\cos\alpha_1=\frac{u_1^2+c_1^2-w_1^2}{2}$$

出口の三角形についても同様に、

$$u_2c_2\cos\alpha_2=\frac{u_2^2+c_2^2-w_2^2}{2}$$

この二つの値を (78) 式に代入すれば次の公式を得る。

$$\frac{c_1^2-c_2^2}{2g}+\frac{u_1^2-u_2^2}{2g}-\frac{w_1^2-w_2^2}{2g}=\eta H\cdots\cdots\cdots(80)$$

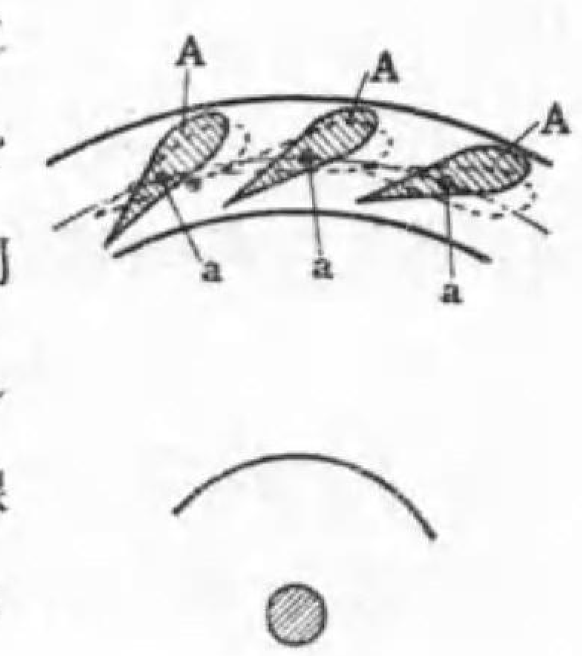
出口の三角形が直角三角形ならば、$c_2^2+u_2^2=w_2^2$ であるから (80) 式は次のやうに簡單になる。

$$\frac{c_1^2}{2g}+\frac{u_1^2}{2g}-\frac{w_1^2}{2g}=\eta H\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(81)$$

(80), (81) の 2 式はまた羽根車の計算及び設計に必要な基本公式で、以上の諸公式と入口及び出口の速度三角形とから、反働 タービン の總ての計算が出來るのである。

56. 回轉度の調節　荷重の變動から起る羽根車の回轉度の調節は、フランシス 水車では導羽根でする。導羽根は一枚一枚別々に造り、それが各の ピン のまはりに搖動するやうに造る。第 74 圖に於て A, A, A は導羽根、a, a, a はそれ等の ピンで ある。荷重の大小に應じて流量を加減するには、これ等の導羽根を ピン のまはりに搖動させれば、羽根の間の水の通路が廣くなつたり狹くなつたりして、それで流量の增減が出來るので、點線のやうな位置に搖動させると通路は閉鎖される。これは荷重のない場合に相當する。

第 74 圖

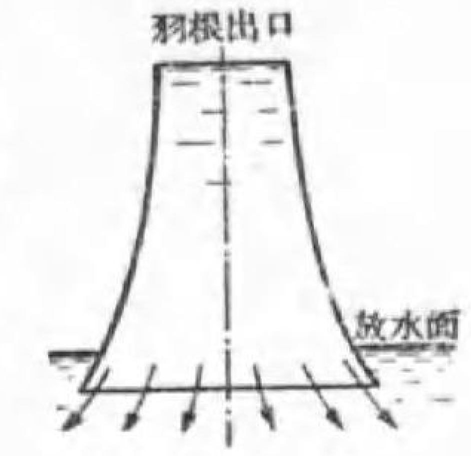


導羽根のこの動作は、調速機にこの装置を連結して荷重の大小に應じて自動的に行はせる。荷重の大なる時は導羽根は立ち、荷

重の小なる時はそれが寢るやうに自動的に仕掛け、斯くして荷重は變動しても羽根車は常に一定の回轉をするやうにするのである。

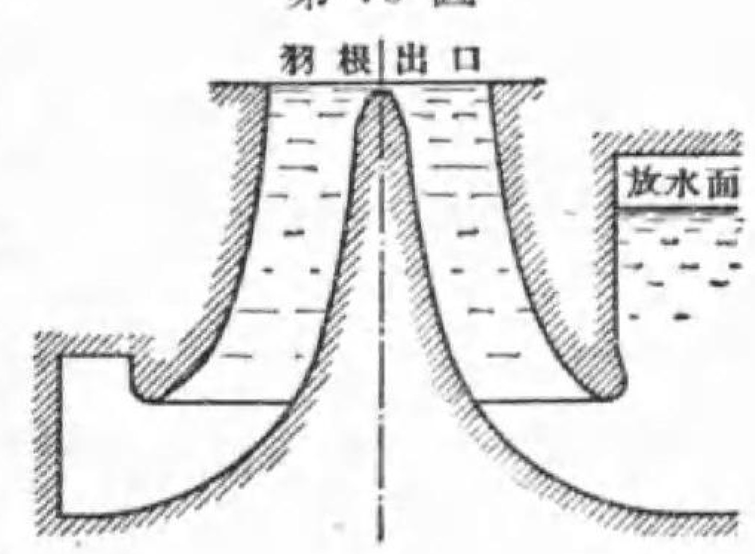
57. 吸水管　總ての反動 タービン には必ず吸水管を裝置し、タービン と放水路とを連絡して水を吸ひ出させる。羽根車の出口から可なり元氣よく吸水管中に流入した水を、出來るだけ流體抵抗を少くして放水路内に導くために、吸水管は必ず曲線壁を喇叭形に造る。[13] 第 75 圖乃至第 77 圖は最も普通にある 3 種の吸水管の形狀を示す。

第 75 圖



吸水管は流體損失を最小限度に止めて、水の速度 ヘッド を壓力 ヘッド に變換させる水路であるから、その形狀及び構造の善惡は直ちに水車の善惡に影響を及ぼすもので、殊に低落差高速度の水車であるほど影響が大きい。

第 76 圖



第 77 圖

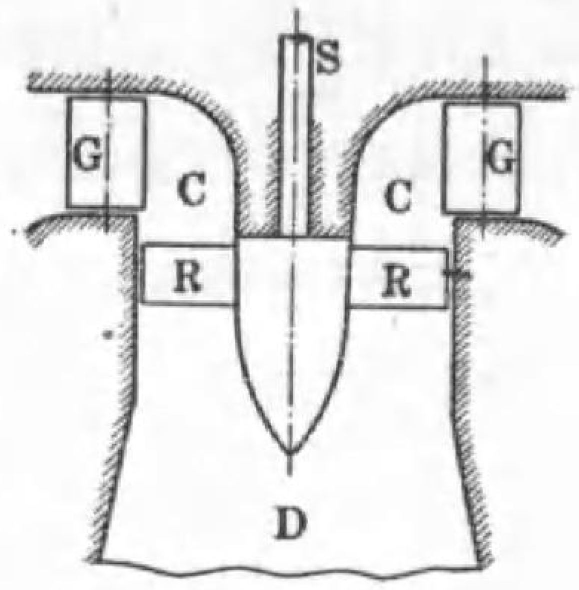
第 4 章　プロペラー 水車

58. 概說　プロペラー 水車は、特高速度 フランシス 水車が極度に發達變形して出來た反動 タービン で、型式は本來は軸

(13) 直線壁を有する截頭圓錐形にするのは宜しくない。

流であるけれども、内斜流のものも外斜流のものもある。何れにしても羽根車の外觀が船の螺旋推進器に酷似するため、一般にプロペラー 水車と稱へてゐる。眞の發明者は明瞭になつて居らぬけれども、蓋し西紀 1,912 年 チエコスロヴキヤ の カプラン 教授が創出したものであらう。[14]

第 78 圖



同じく反働 タービン であるけれども、フランシス 水車と著しく異なり、羽根の數は僅に 2 枚以上 4, 5 枚を有し、それが「ねぢ」形にねぢれた曲面をなし外輪がないから、恰も船の推進器の如き外觀を呈し構造は至つて簡單で水の通過が極めて宜しい。この如き羽根車を、フランシス 水車と同じ導羽根を備へた容器内に納めたものが プロペラー 水車である。

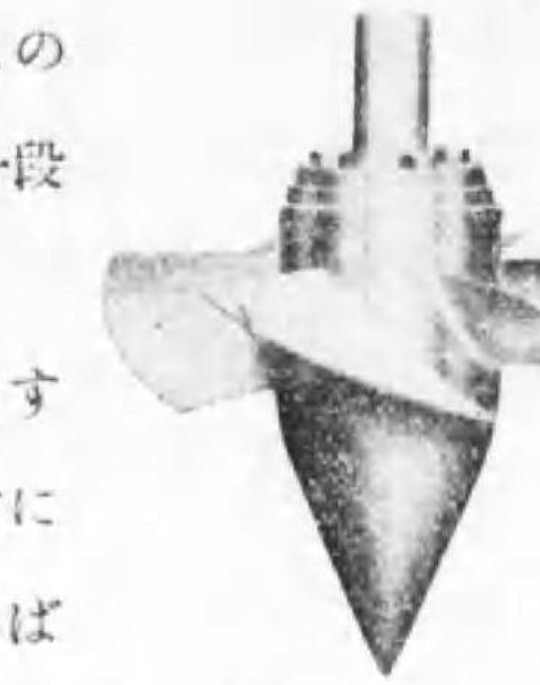
第 78 圖は軸流 プロペラー 水車の概要を示し、R, R は羽根車、G, G は導羽根、S は軸、D は吸水管である。羽根車と導羽根との間には C, C なる廣き空所がある。この中で水は自由に回轉流動をしつゝ内流から軸流に方向變換をして、羽根車を通過する時には軸流の働をするのである。第 79 圖は プロペラー 水車の羽根車の寫眞圖である。

導羽根の構造並びに回轉度の調節は フランシス 水車と異なる

(14) 創出して世に知られぬうち歐洲大戰爭となり、眞の發明者が不分明となつたから、發明者の名を冠することが出來ないで止むを得ず形狀から プロペラー 水車といふのである。廣く實用されるやうになつたのは極めて近年のことである。

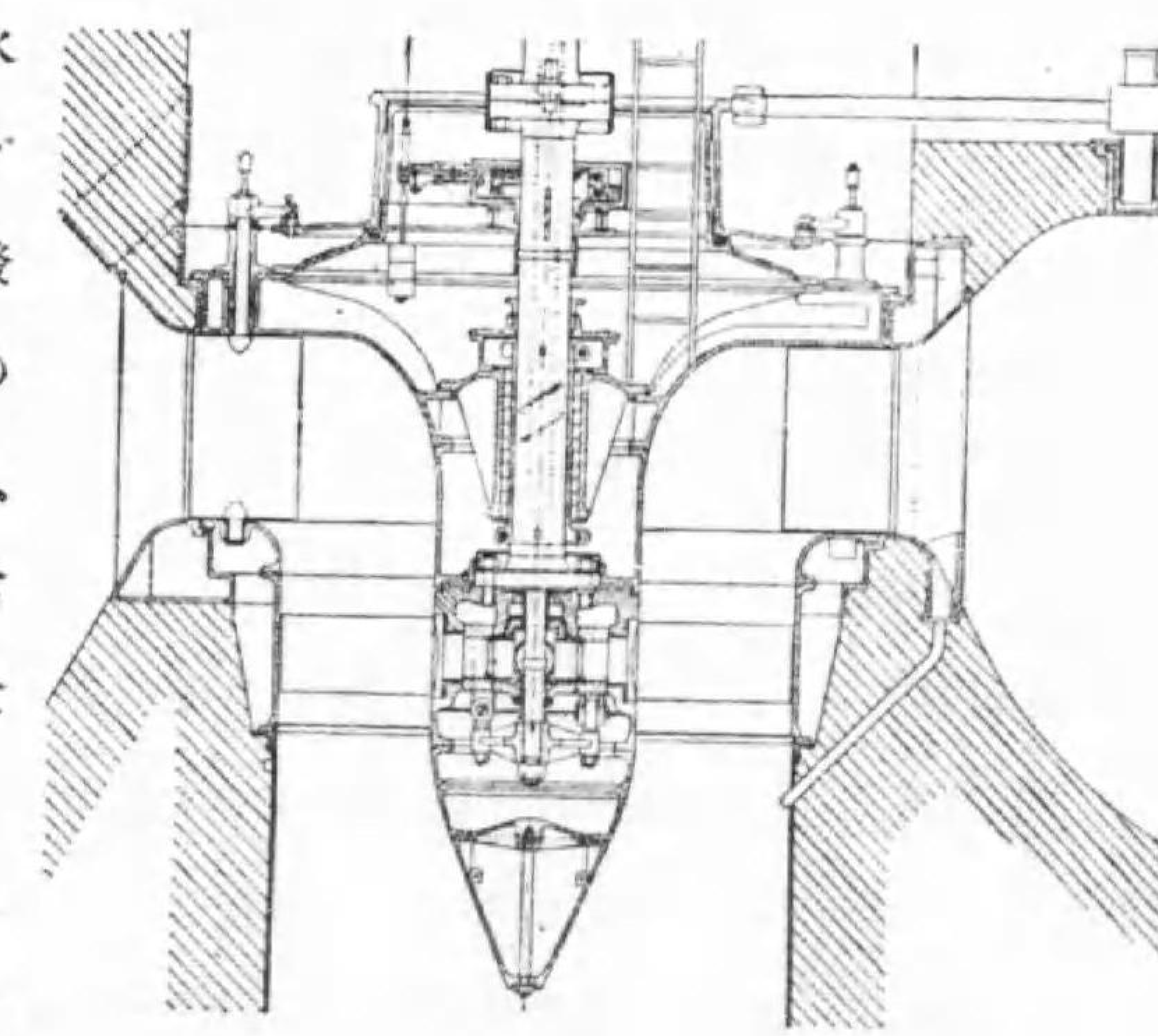
所がない。この種の水車は流量甚だ大で落差甚だ小なる場合に適するもので、吸水管の形狀や構造には特に一段の注意を要する。

第 79 圖



59. カプラン 水車　荷重の變動するに關らず水車は調速機によつて常に一定回轉數に保たれる。荷重が變れば導羽根は搖動して羽根車に流入する水の方向角 α_1 が變り（第 72 圖參照）、相對速度 w_1 が羽根車の入口の方向と一致しなくなり、水が入口に衝突して流體損失を起し效率が減る。この場合に羽根の入口の方向を變へて w_1 に一致させるやうに、荷重に應じて羽根を動かすやうにした プロペラー 水車がある。それを **カプラン 水車** と稱へる。

第 80 圖



カプラン 水車は前記 カプラン 教授の發明で、羽根の轂を中空にし、その中に適當な リンク 仕掛を裝置し、羽根を別々に造つてこの リンク 仕掛に接續し、軸を中空に造つてその中に細長い丸棒を挿

入し、その下端をこの リンク 仕掛に、又その上端は調速機に接續し、丸棒を軸の中に出入させるこによつて羽根の向が幾分變るやうに仕組んだもので、第 80 圖はその構造を示す。プロペラー水車及び カプラン 水車は縱型に造ることが多い。

第 5 章　比 回 轉 度

60. **水 タービン の規格統一**　自然界の水力の落差と流量とは多種多樣であるから、それを利用する水 タービン の落差，流量及び回轉度はまた極めて種々雜多で、從つて羽根車の大小，形狀もまた千差萬別である。しかし羽根車の形狀と落差とが總て互に相似形である水車は、その大小に關係なしに性質が同じであるから、水 タービン の規格統一をするには、性質の同じ水車卽ち型式の同じ水車を集めて一團とする意味で、總ての水 タービン をそれが ペルトン 水車であるか フランシス 水車であるか又は プロペラー 水車であるかに應じて、各幾つかの型式に分類するのが最も正しい水 タービン の分類法である。

この規格統一に從つて分類すれば、水車の大小は問題でなくなるから、性質の同じ大小各種の タービン を悉く或は一定寸法及び一定落差の假定的の タービン に變換し、それを或數字で表すことにすれば、タービン の性質が數字で表されることになり、從つて他の型式との性質の相違が、極めて明瞭に比較したり對照したりすることが出來ることになる。

61. **比回轉度**　數字で型式を定め、それで水車の規格統一をする最も正しい方法として、現時一般に採用されてゐる方法は、次

の約束によるものである。

大小及び性質を異にする諸多の水車を、落差 1 m で出力 1 馬力を發生する假想的のものに變換した時、その假想水車の回轉度を以て型式を定める。

斯くの如き假想水車を **單位 タービン** といひ、その回轉度を **比回轉度**(15) といふ。

今 A なる水車と B なる水車とが、形狀及び落差その他總ての點に於て相似であるとし、A なる水車の羽根車の圓周速度を u, 落差を H, 羽根車入口の直徑を D, その面積を A, 回轉度を n, 出力を HP 馬力とし、B なる水車のそれ等を順次に $u', H', D', A', \mathrm{HP}'$ とすれば、圓周速度は落差の平方根に正比例し、面積は直徑の二乘に正比例するから、

$$\frac{u'}{u}=\sqrt{\frac{H'}{H}}\qquad \frac{A'}{A}=\left(\frac{D'}{D}\right)\cdots\cdots\cdots(82)$$

次に流量は面積と流速との積に正比例し、流速は落差の平方根に正比例するから、A の流量を Q, B の流量を Q' とすれば、

$$\frac{Q'}{Q}=\frac{A'}{A}\sqrt{\frac{H'}{H}}=\left(\frac{D'}{D}\right)^2\sqrt{\frac{H'}{H}}\cdots\cdots\cdots\cdots(83)$$

出力は流量と落差との積に正比例するから、

$$\frac{\mathrm{HP}'}{\mathrm{HP}}=\frac{Q'H'}{QH}=\left(\frac{D'}{D}\right)^2\sqrt{\frac{H'}{H}}\cdot\frac{H'}{H}=\left(\frac{D'}{D}\right)^2\left(\frac{H'}{H}\right)^{\frac{3}{2}}\cdots(84)$$

故に

$$\frac{D'}{D}=\sqrt{\frac{\mathrm{HP}'}{\mathrm{HP}}\left(\frac{H}{H'}\right)^{\frac{3}{4}}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(85)$$

次に回轉度は圓周速度に正比例し直徑に反比例するから、

$$\frac{n'}{n}=\frac{u'D}{uD'}=\sqrt{\frac{H'}{H}}\sqrt{\frac{\mathrm{HP}}{\mathrm{HP}'}\left(\frac{H'}{H}\right)^{\frac{3}{4}}}=\sqrt{\frac{\mathrm{HP}}{\mathrm{HP}'}}\left(\frac{H'}{H}\right)^{\frac{5}{4}}\cdots(86)$$

(15)　比回轉度の英譯は specific speed である。

これは A, B 二つの相似水車の間に於ける回轉度，出力及び落差の關係である。故に B が A の單位 タービン であるならば、$H'=1\,\mathrm{m}$, $\mathrm{HP}'=1$ 馬力であるから、n' は A なる水車の比回轉度でなければならぬ。故にこの比回轉度を n_s で表せば、

$$\frac{n_s}{n}=\sqrt{\mathrm{HP}}\frac{1}{H^{\frac{5}{4}}}=\frac{\sqrt{\mathrm{HP}}}{H\sqrt[4]{H}}$$

故に

$$n_s=\frac{n\sqrt{\mathrm{HP}}}{H\sqrt[4]{H}}\cdots\cdots\cdots\cdots(87)$$

これは落差 $H\,\mathrm{m}$ で毎分 n 回轉して出力 HP 馬力を發生する任意の タービン の、比回轉度を計算するに必要な公式である。但し出力は ペルトン 水車なら噴水 1 個、フランシス 水車又は プロペラー 水車なら羽根車 1 個が發出する出力である。つまり HP は總出力を噴水の數又は羽根車の數で除したものである。

62. 比回轉度による水車の分類 比回轉度 n_s の等しい水車は、同じ性質の水車であると同時に n_s の大なるほど高速度であることになる。故に n_s の値の大小で各種の水車を低速，中速，高速及び特高速に分類すれば、略同じ n_s の値を有するものは性質が同じであるから、これによれば最も正しく水車を分類れさるのである。

今この方法に從つて上述した 3 種の水車を分類すれば大凡次の通りになる。

（1） ペルトン 水車

低速……………………$n_s=10$

中速……………………$n_s=15$

高速……………………$n_s=20$ 乃至 30

（2） フランシス 水車

低速……………………$n_s=50$ 乃至 150

中速……………………$n_s=150$ 〃 250

高速……………………$n_s=250$ 〃 350

特高速…………………$n_s=350$ 〃 500

（3） プロペラー 水車

低速……………………$n_s=500$ 乃至 700

中速……………………$n_s=700$ 〃 900

高速……………………$n_s=900$ 〃 1100

第 6 章 荷重と效率との關係

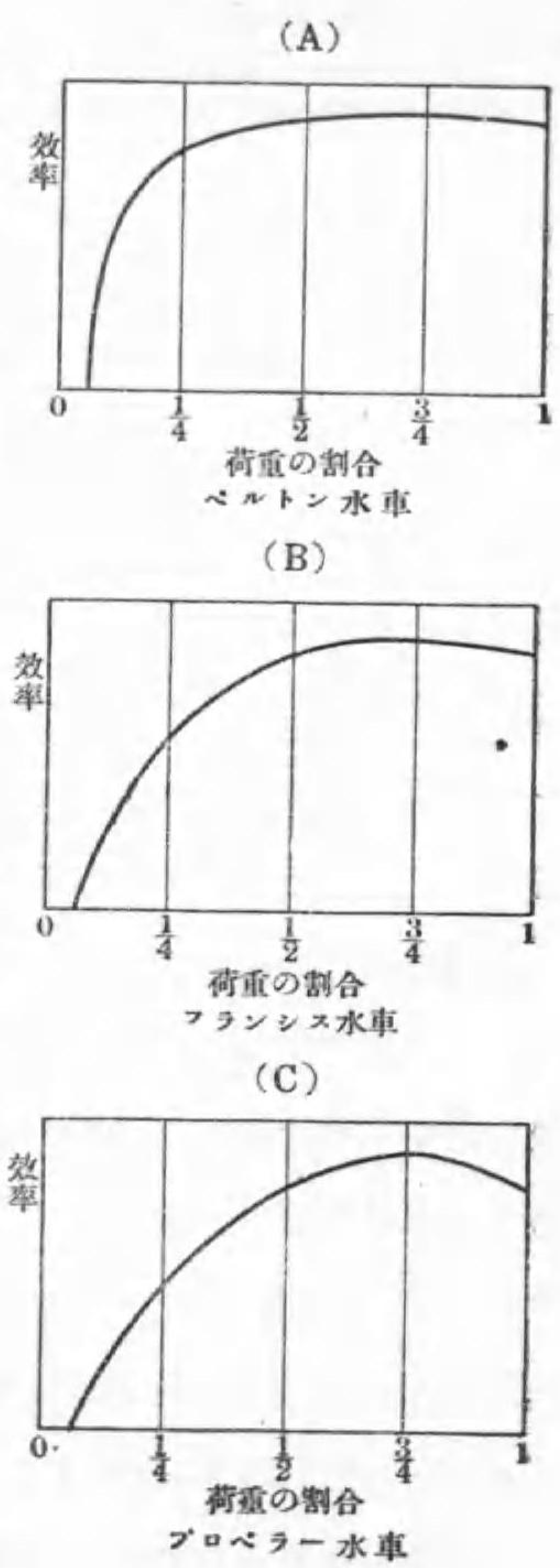
63. 荷重と效率 水車は凡て流量の或一定量が通る時、效率が最大であるやうに設計されてるものである。そして流量は荷重に比例するものであるから、荷重が或一定量の時效率が最大であるやうに設計されてゐることになる。多くの場合には、荷重が最大荷重の $\frac{3}{4}$ の時に效率が最大であるやうに造られてある。

水車の回轉は荷重の大小に關係なく常に一定に保たれねばならぬから、荷重が變れば羽根車の入口と出口の速度三角形の形が、最大效率を得るやうに設計した速度三角形と違つた形になり、入口では水は羽根の一面に衝突して エネルギー の損失を來し、フランシス 水車及び プロペラー 水車では出口の速度三角形が直角三角形にならぬから、水は吸水管の中で渦卷運動を起して エネルギー の損失が一層增すことになる。

これ等の損失のために、水車の荷重が規定の荷重より多くても

少くても共に效率の減小を來すもので、荷重に對する效率の變化は、ペルトン 水車よりも フランシス 水車は著しく フランシス 水車よりも プロペラー 水車は更に著しい。今橫軸に荷重，縦軸に效率をとつて荷重對效率の曲線を畫がくと、大體第 81 圖に示したやうな曲線を得る。

第 81 圖



(A) は ペルトン 水車の曲線で荷重に對する效率の變化は最も小さく、(B) は フランシス 水車の曲線でその變化はやゝ大きく、(C) は プロペラー 水車の曲線でその變化は最も大きい。カプラン 水車は プロペラー 水車であるけれども、荷重が變化すると同時に羽根の入口が水の衝突を減ずるやうに働くため效率の減小が少く、從つて荷重に對する效率曲線が大體 (B) の フランシス 水車と同じやうである。何れの水車でも全荷重を 1 とし、その $\frac{3}{4}$ の所で效率は大凡最大であつて、曲線の頂點がその近傍にある。

64 水車の使用範圍 水車は成るべく效率の高い近傍で使用するのが肝要である。故に成るべく全

荷重の $\frac{3}{4}$ 近傍で使用すべきである。大なる荷重に於て效率よく造られたる水車を、小なる荷重に於て使用することは避けなければならぬ。

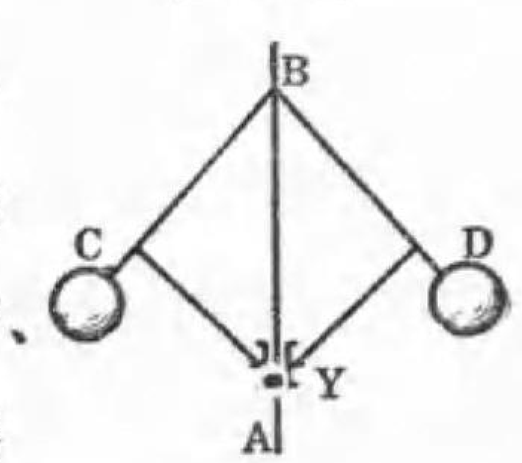
ペルトン 水車は荷重に對して效率の變化が少いから使用範圍が廣いけれども、フランシス 水車の使用範圍 はそれよりも狹く、プロペラー 水車の使用範圍はそれよりも更に狹い。

效率の小なる狀態で水車を使へばたゞに水量の損失を來すばかりでなく、羽根車の腐蝕は多くこれに起因するものであるから、水車の耐久性を失ふことになる。故に荷重の變化の烈しい場合には、水車を 1 臺にしないで同じ大いさのもの數臺に分割し、荷重の大なる場合には全體を運轉し、荷重の小なる場合にはその內の數臺を運轉して、各水車が常に最大效率の近傍で活動するやうにしなければならぬ。

第 7 章 調速機

65 サーボモーター と リレー 蒸氣機關の如きものに用ゐる調速機は、機關の軸で回轉される AB なる心棒があつて、それで C, D なる球を AB のまはりに回轉させ（第 82 圖）、その遠心力を利用して Y なる環が AB に沿つて上下に動かされるやうに造り、この Y の運動を傳へて機關に注入される蒸氣の量を直接加減し、調速の目的を達するやうに出來てゐるが、ペルトン 水車の瓣 B（第 46 圖參照）を出入させたり、フランシス 水車や プロペラー 水車の導羽根を動

第 82 圖



かさうとすれば、非常に大なる力を要してこんな簡單な調速機では到底目的を達せられない。

されば水車の調速機には蒸氣機關の調速機の外に、特に大なる力を發出させるための裝置を所屬させてある。この裝置を **サーボモーター** と稱へる。

サーボモーター は一種の水壓機で、「壓縮された水」多くは「壓縮された油」で運動する ピストン とそれを圍む シリンダー とより成り、この ピストン に水門又は導羽根を動かす機構が連結する。

サーボモーター の シリンダー には小なる瓣を備へ、この瓣と環 Y とを適當の機構で連結する。この瓣を **配油瓣** といひ、非常に輕く動くから、水車の回轉に變化があれば球 C, D の遠心力に變化が起つて環 Y が動き、それに連結する配油瓣が直ちに開いて壓縮された油が サーボモーター に入り ピストン を壓して、これに連結する水門なり導羽根なりを動かすことになる。

されば環 Y は配油瓣を動かすだけの小なる力で動かされ、配油瓣が動けば大なる油壓が サーボモーター の ピストン に働いて非常に大なる力を發出して水門なり導羽根なりが動かされるので、蒸氣機關の調速機から見れば水車の調速機は活動が 2 段に行はれるのである。

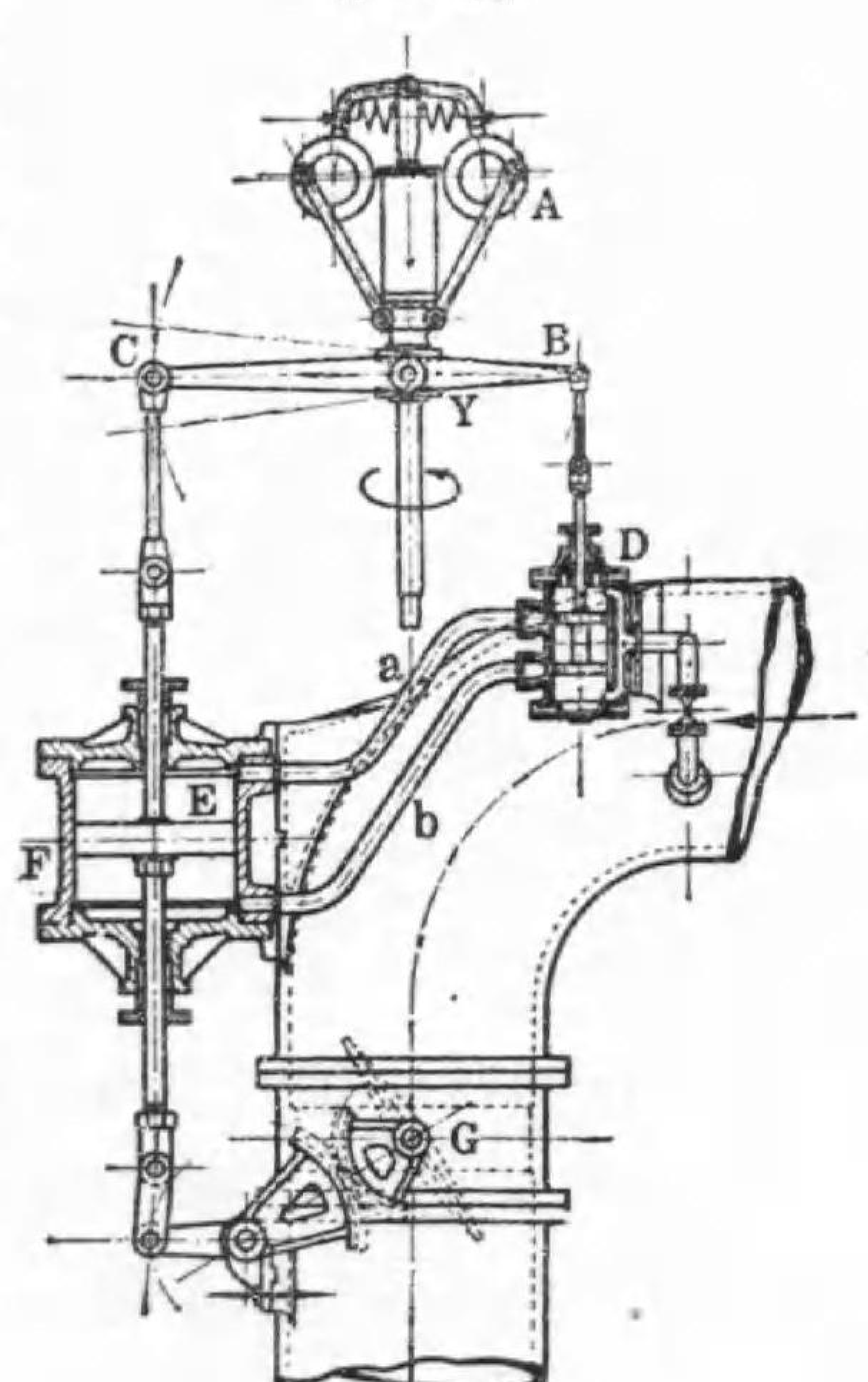
配油瓣が開いてゐる間、油壓は サーボモーター の ピストン に働いて水門なり導羽根なりの運動が續く。然るに水門なり導羽根なりの開がその時の荷重に適應する流量を通過するやうになれば、それで サーボモーター の ピストン の運動は停止させなけ

ればならぬ。それがためには一旦開いた配油瓣は、水門なり導羽根なりが所要の位置まで運動すれば閉鎖するやうに仕掛けなければならぬ。つまり サーボモーター の ピストン は シリンダー の中で任意の位置に停止するやうに仕掛けなければならぬ。この仕掛を **リレー** といふ。

リレー は荷重が變動した時に一旦開いた配油瓣を再び閉鎖させる裝置であつて、この裝置がなければ ピストン は常に ストローク の一端から他端まで全行程を行き、任意の位置に停止させることが出來ない。

66. 調速機の機構 以上の目的を達せしめる調速機は、水車の調速機として使用することが出來る。從つて水車の調速機には種々の設計があるけれども大要は皆同一であつて、第 83 圖はその梗概を示す。

第 83 圖



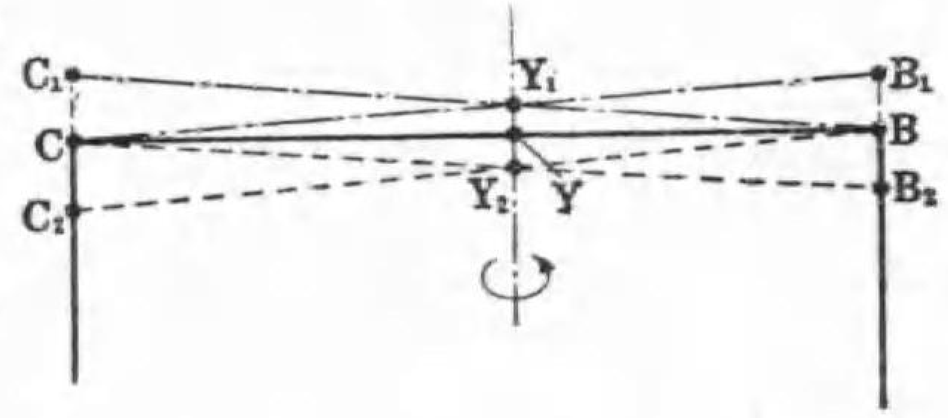
A は第 82 圖に示した振子調速機で、水車の軸から調革又は齒車で回轉されるから、水車の回轉の變化はつまり A の回轉の變化である。Y なる環には水平に置かれた挺子 BC が附着し、この挺子の一端 B には配油瓣 D が釣り下げられ、他端 C は ピス

トン銲でサーボモーターのピストン E に接續する。F はサーボモーターのシリンダーである。又 E は更に他のピストン銲で水門 G に接續する。G はペルトン水車なら瓣 B (第 64 圖參照)でありフランシス水車なら導羽根であるが、判り易くするため第 83 圖には、G の搖動によりて導水管を流れる水の流量が加減されるやうに示してある。

配油瓣 D には一定壓力に壓縮された油が來てゐて、それとサーボモーターシリンダーの上下兩端とは給油管 a と b とで連絡し、Y が少しでも位置を變へて B がこれにつれて動けば D がこれに釣られて動き、然る時は a, b の一つは給油管一つは排油管となり、ピストン E が動きそれに連結する水門 G が動き同時に C が動く。C の動くのが卽ちリレーである。

今荷重の減少によつて水車が急に高速度回轉を始めたとする。然る時は振動調速機の回轉が增し、遠心力が增すために環 Y は Y_1 の位置に昇つたとする(第 84 圖)。すると挺子 BC は C を中心として輕く搖動し、B は B_1 に昇り配油瓣は釣り上げられて、

第 84 圖



a は排油管, b は給油管となり、サーボモーターのピストン E は上昇し水門 G を閉ぢ荷重に應じて流量が減少する。

ピストン E が上方に動けばこれに接續する挺子 BC の C は上方に運動する。BC のこの運動は Y_1 を中心として起り、その結果 B_1 は初めの B の位置に持ち來され、配油瓣はこゝで閉鎖

の位置に復し、サーボモーター並びに水門の運動がこゝで停止する。つまり一度開いた配油瓣を水門が目的の位置に達した時再び元の位置に戻す C の動運をリレーといふ。

又若し荷重の增大によつて水車の回轉が遲(おそ)くなれば、環 Y は Y_2 の位置に降り、挺子 BC は C を中心として輕く搖動し B は B_2 の位置に降り配油瓣は押し下げられて、a は給油管, b は排油管となり、前と反對にサーボモーターのピストン E が降り水門 G を開き流量が增加する。サーボモーターのこの運動でこれに接續する C は C_2 の位置に降り、B_2 は初めの B の位置に持ち來され、配油瓣は閉鎖されて總ての活動が止まる。この時水門を通過する流量はその時の荷重に適應したものである。

第 3 編　ポンプ

第 1 章　總論

67. ポンプ　水にエネルギーを附與(ふよ)して流動を起させる機械を **ポンプ** と名づける。さればポンプは水力を利用した原動機と正に反對の作用をなすもので、ポンプなる機械によりてエネルギーを與へられる時は、靜止する水は流動を始め低い所にある水は高い所に上がり壓力のない水は壓力を有するやうになる。

水は人類生活の必需品(ひつじゆひん)であるために、井戸より水を汲み上げようとする企(くはだて)は、文明への出發點に於て先づ考へ付かれ、從つて今日の發達した諸機械を導き出したもので、有らゆる機械の歷史は實にポンプから出發し、ポンプぐらゐ古い歷史を有するも

のは他にはない。

68. 吸水及び送水 ポンプ には必ず 2 種の管が接續する。一つは水を汲み取らうとする井戸から水を吸つて一旦 ポンプ に流し込まうとする管であり、一つはそれを目的の所に流し送らうとする管である。前者を **吸上管** といひ後者を **送出管** といふ。

ポンプ は、若しそれが井戸の水面外に置かれてあれば、一旦 ポンプ 内に水を吸ひ上げた後でなければそれを目的の所に送られぬ。卽ち ポンプ には必ず水を吸ひ上げる作用が必要であつてこれを ポンプ の **吸上作用** といひ、この作用を行ふには ポンプ 內部の壓力を大氣壓よりも低くする。換言すれば ポンプ の內部に空虛の場所を作る。さうすると外界の大氣壓卽ち井戸の水面に働く大氣壓に壓されて、井戸の水がその空虛の場所を滿たすために吸上管を流れ上つて ポンプ 內に達する。

69. 吸上 ヘッド の最大限 井戸の水面から ポンプ の中心までを垂直に測つた高さを ポンプ の **吸上ヘツド** といひ、ポンプ の中心から送出管の出口又は送出された貯水池の水面までを垂直に測つた高さを ポンプ の **送出 ヘッド** といふ。吸上 ヘッド と送出 ヘッド との和は水の上げられる全體の高さであつて、これを **全 ヘッド** 又は單に ポンプ の **ヘッド** といふ。

ポンプ の吸上は大氣壓のために起るのであるから、吸上 ヘッド がその時の大氣壓に相當する水柱の高さよりも高い時は、ポンプ 內には完全眞空を發生し、それ以上高く水を吸ひ上げることは出來ない。されば吸上 ヘッド には極限があつて、大氣壓に相當する水柱の高さ以上には水を吸ひ上げ得ざるものである。

さて水に對する水銀の比重は約 13·6 であるから、例へば大氣壓が水銀柱の高さ 760 mm であるならば、それに相當する水柱の高さは約 $13.6 \times 0.760 = 10.33$ m で、これ以上の吸上 ヘッド へは水を吸ひ上げることが出來ない。又例へば大氣壓が水銀柱の高さ 732 mm ならば、それに相當する水柱の高さは約 $13.6 \times 0.732 = 9.955$ m で、これ以上の吸上 ヘッド へは水を吸ひ上げ得ない。

斯くの如く ポンプ が水を吸ひ上げ得る最大吸上 ヘッド の値は、大氣壓によつて左右されるものであつて、從つて土地の高低によつてその値を異にするものである。今海面上の大氣壓は標準氣壓の 760 mm であるとし、それを基準として ポンプ の据え付けられる土地の高度が高くなるに從つて、吸上 ヘッド の最大限が次第に小となるものである。その關係を次の表に示す。

海面上の高さ m	0	100	200	300	400	500	600	700	800
氣壓計の讀 mm	760	751	742	733	724	716	707	699	690
最大吸上 ヘッド m	10·33	10·2	10·1	9·9	9·8	9·7	9·6	9·5	9·4

海面上の高さ m	900	1000	1200	1500	2000
氣壓計の讀 mm	682	674	658	635	598
最大吸上 ヘッド m	9·3	9·2	8·9	8·6	8·1

水は壓力を減ずると沸騰して蒸氣を發散する。然る時は吸上管の上部卽ち ポンプ の內部は蒸氣を以て充滿し、如何に ポンプ

が活動しても吸上管中では水の流動が止まり、送水の目的を達することが出來ない。而して蒸氣の發生は水の溫度によりて異なり溫度が高ければそれだけ蒸氣の發生が速いから、最大吸上 ヘッド は水の溫度が高いほど低い。

今水の溫度と、その時發生する蒸氣壓を水柱の高さに換算した値とを次の表に示す。水の溫度のために、この表に示した水柱の高さだけ吸上 ヘッド は減るのである。されば沸騰する攝氏 100° の水の蒸氣壓は正に標準大氣壓 10·33 m の水柱の高さに等しいから、吸上 ヘッド の最大値は 0、即ち沸騰する攝氏 100° の水は ポンプ を以てこれを吸ひ上げることを得ないのである。

攝氏溫度	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
蒸氣壓に相當する水柱の高さ m	0·09	0·12	0·24	0·43	0·75	1·25	2·02	3·17	4·82	7·14	10·33

以上述べたやうに、吸上 ヘッド の最大限は土地の高さにより、又水の溫度によりて常に 10·33 m よりも小なるものである。且この最大限の値は吸上管の上部、即ち ポンプ 內に正に空虛を生じようとする極限の高さであるから、實際に水を吸ひ上げて故障なく水を吸上管中に流動させ、連續的に送水の目的を達しさせる吸上 ヘッド の最大限は、以上掲げた値よりも遙かに小なるものでなければならぬ。普通は海面と餘り高低の差のない平地に於て、攝氏 15° ぐらゐの常溫の水を汲む場合の吸上 ヘッド の最大限は、大約 6·5 m 以下であると見れば宜しい。

吸上作用は大氣壓に左右され、從つて吸上 ヘッド には上述の如き一定の制限があるけれども、送出 ヘッド は ポンプ を運轉

する動力さへ十分なら、如何に大なる ヘッド へも完全に送水し得るものである。

70. 種々の馬力と效率　ポンプ の動作は必ずしも理想する程に完全のものではないから、實際に送出管から送り出される水量は ポンプ の動作に少しも無駄がなく、完全に送り出されるものと考へられた水量よりは常に少ない。それは主として ポンプ 內に起る水の逆流と漏泄とによるものである。故に ポンプ の動作によつて少しも無駄なく完全に送り出される單位時間の送出量を Q とし、實際現實に送出管より排出される單位時間の送出量を Q_e とすれば、Q_e は Q よりも常に小さく從つて $\dfrac{Q_e}{Q}$ なる比は常に 1 よりも小さい。この比を **體積效率** といふ。故にこれを η_v で表せば

$$\eta_v = \frac{Q_e}{Q} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (88)$$

漏泄し又は逆流する水量を q とすれば $q = Q - Q_e$ である。よつて

$$\eta_v = \frac{Q_e}{Q_e + q} \quad 或は \quad \eta_v = \frac{Q-q}{Q} = 1 - \frac{q}{Q}$$

$$\left.\begin{array}{ll} 故に & q = Q_e\left(\dfrac{1}{\eta_v} - 1\right) \\ 又は & q = Q(1 - \eta_v) \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (89)$$

ポンプ が實際に送出する水量毎秒 Q_e m³ を、井戸の水面から目的の所まで垂直に H m 上げる仕事を、馬力の單位で表した値を、ポンプ の **水馬力** といふ。即ち

$$水馬力 = \frac{1{,}000\, Q_e H}{75} \cdots\cdots\cdots\cdots (90)$$

水馬力は ポンプ が水を揚げる外觀上の仕事である。外觀上では ポンプ は毎秒 Q_e m³ の水を送出するのであるが、ポンプ が

眞に ポンプ 内に吸ひ上げてゐる水は毎秒 Q m³ である。又 H m は水の揚げられる外觀上の高さであるけれども、水を H m に揚げるにはその間に各種の流體抵抗が働き、それを ヘッド に換算した値を h とすれば、ポンプ が眞に働くべき ヘッド は H m でなくて $H+h$ m でなければならぬ。されば ポンプ が眞に働くべき仕事は毎秒 Q m³ の水を $H+h$ m の高さに揚げるのであつて、これを馬力の單位で表したものを ポンプ の **實馬力** といふ。卽ち

$$\text{實馬力} = \frac{1{,}000\,Q\,(H+h)}{75} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(91)$$

水馬力は ポンプ の働く外觀上の仕事であり實馬力はその眞實の仕事であるから、水馬力を實馬力で除した商を ポンプ の **流體效率** といふ。今これを η_h で表せば、

$$\eta_h = \frac{\text{水馬力}}{\text{實馬力}} = \frac{Q_vH}{Q(H+h)} = \eta_v\frac{H}{H+h} \cdots\cdots(92)$$

$\frac{H}{H+h}$ は外觀上の ヘッド と眞實の ヘッド との比であつてこれを **マノメトリック 效率** といふ。これを η_o で表せば、

$$\eta_o = \frac{H}{H+h} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(93)$$

從つて

$$\eta_h = \eta_v\eta_o \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(94)$$

H は上下兩水面間の高さを測れば定まり $H+h$ は壓力計卽ち マノメーター で測定される。されば $H+h$ を **マノメトリックヘッド** といひ從つて $\frac{H}{H+h}$ を **マノメトリック 效率** といふ。

次に ポンプ を運轉する仕事は實馬力よりも大なる理である。これは ポンプ が一種の機械であるから、水を揚げることなしにたゞ空廻(からまはり)したとしても或仕事を要する。空廻するに要する仕事は

ポンプ なる機械の機構の善惡如何によるのである。されば ポンプ を運轉する仕事を P 馬力とすれば P は常に實馬力より大であつて、その機構の善惡は P 馬力に對して實馬力が如何に大きいか小さいかによつて判定される。故に實馬力を P で除したものは ポンプ の **機械的效率** であつてこれを η_m にて表せば、

$$\eta_m = \frac{\text{實馬力}}{P} = \frac{1{,}000Q(H+h)}{75P} \cdots\cdots\cdots(95)$$

水馬力を運轉馬力 P で除した商は ポンプ の **全效率** でなければならぬ。故にこれを η で表せば、

$$\eta = \frac{\text{水馬力}}{P} = \frac{1{,}000Q_vH}{75P} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(96)$$

全效率は單に ポンプ の **效率** ともいふ。

(96) 式に (92) 式の Q_vH の値を代入すれば、

$$\eta = \frac{1{,}000Q(H+h)\eta_h}{75P}$$

これと (95) 式と更に (94) 式とより

$$\eta = \eta_m\eta_h = \eta_m\eta_v\eta_o \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(97)$$

卽ち ポンプ の效率は機械的效率と流體效率との積、又は機械的效率と體積效率と マノメトリック 效率との積に等しい。

71. 空氣 チャムバー 多くの ポンプ の吸上管幷びに送出管中を流れる水の速度は、定時的に變動して整一(せいいつ)ならざるものである。斯くの如き ポンプ では、管中を流れる水の壓力が定時的に變動して ポンプ に鼓動的(こどうてき)の振動(しんどう)を起し、延いて運轉動力の不均一が ポンプ 全體に激動(げうどう)を與へその害が著しい。殊に管の長い場合にその害が一層著しいものである。

斯かる ポンプ には、吸上管及び送出管の成るべく ポンプ に

接近した所に **空氣 チャムバー** なるものを裝置する。これは壺の一部に空氣を入れてそれを倒に立てたやうな構造のもので、このやうなものを管の一部に裝置して置けば、空氣は膨脹及び收縮の作用が大きいから、管中を流れる水の壓力の不平均は空氣の壓縮と膨脹とによりて緩和され、そのために吸上管及び送出管中を流れる水の速度が均一となり上記の如き害が除去される。

空氣 チャムバー は吸上管と送出管との何れにも附けるのが理想であるが、通例吸上管は甚だ短かく送出管は甚だ長いから、送出管だけへ附けて吸上管へは附けないことが多い。又大きいほど效果は大きいけれども、構造の關係から無制限に大きなものを裝置することは實際に出來ない。

72. **ポンプ の分類** ポンプ は歴史が古く且人生との關係が密接であるため、絶え間なく色々考案工夫されたことは他に多くその類がない。從つてその種類は甚だ多く數へ能はぬ程であるが、原理と構造とにより學術的に分類すると次の 6 種になる。

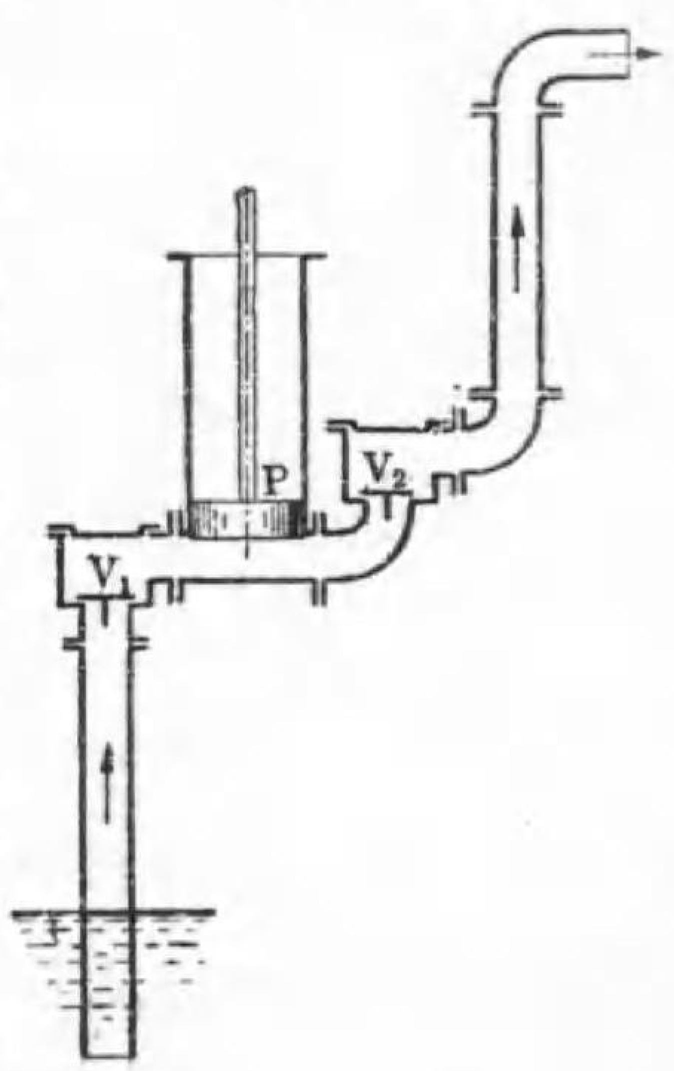
(1) 往復 ポンプ　(2) ロータリーポンプ
(3) 渦巻 ポンプ　(4) エーヤリフトポンプ
(5) エヂエクターポンプ　(6) 水槌 ポンプ

これ等の外になほ一二特種の ポンプ がある。しかしそれ等は現今殆ど廢棄され又は全然顧みられないものばかりであるから、こゝに擧げることを差し控へ、以下順序に從つて各種 ポンプ の構造 理論・性能等を述べる。

第 2 章 往復 ポンプ

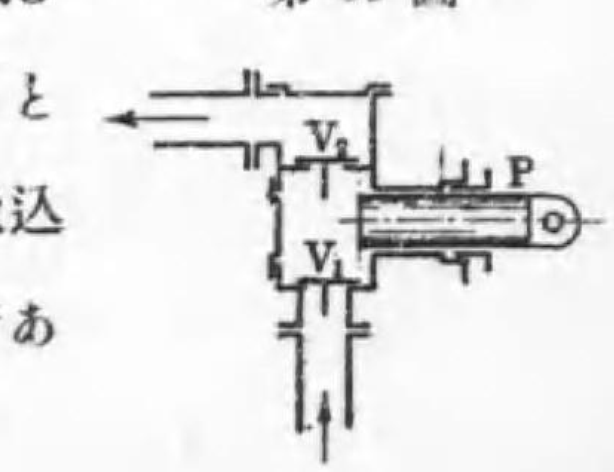
73. **概説** 圓筒形の シリンダー と、これに適合する圓盤形の ピストン 又は丸棒形の プランヂャー とより成り、その ピストン や プランヂャー を シリンダー 内に往復させて水の吸ひ上げや送り出しをさせる ポンプ、それが **往復 ポンプ** である。ピストン より成るものを **ピストンポンプ**、プランヂャー より成るものを **プランヂャーポンプ** といひ、又 シリンダー が垂直なるか水平なるかによつて夫々 **縦型 ポンプ**，**横型 ポンプ** といふ。第 85 圖は縦型 ピストンポンプ の略圖で P は ピストン、又第 86 圖は横型 プランヂャーポンプ の略圖で P は プランヂャー である。

第 85 圖



往復 ポンプ には必ず 2 種の瓣が必要である。一つは シリンダー 内に水の吸込を處理する瓣で **吸込瓣** といひ、一つは シリンダー 内に吸ひ込んだ水の送出を處理する瓣で **送出瓣** といふ。第 85 圖及び第 86 圖の V_1 は吸込瓣、V_2 は送出瓣の概要を示したものである。

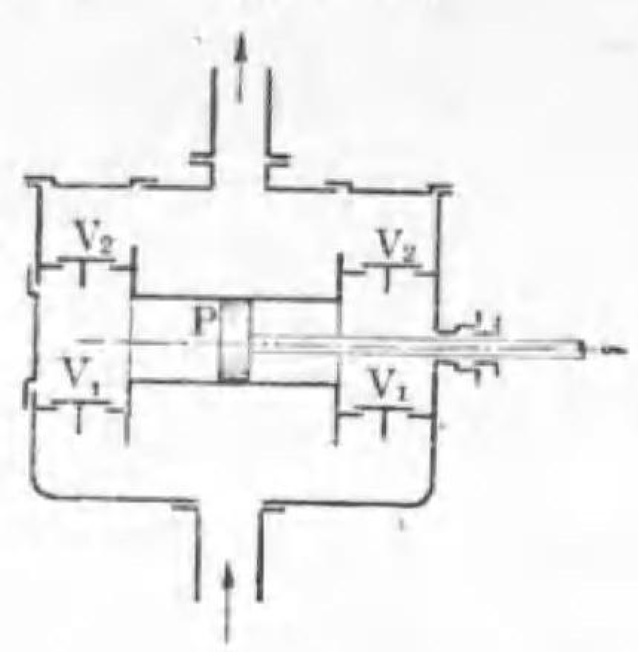
第 86 圖



この圖に示すものは、ピストン 又は プランヂャー の 1 往復

につき たゞ 1 回水を吸ひ、そして次の行程にそれを送出する構造のもので、これを **單働 ポンプ** といふ。然るにその構造を少し變へると、ピストン (又は プランヂャー) の往復ごとに水を吸ひ、往復ごとに水を送り出すものとなる、これを **複働 ポンプ** といふ。第 87 圖は横型複働 ピストンポンプ を示す。

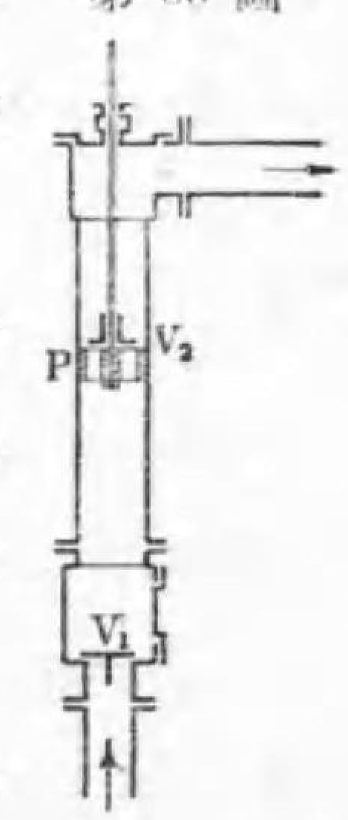
第 87 圖



複働 ポンプ はその構造に於て單働 ポンプ 2 個を組合はせたやうな作用をなすもので、必ず二組の吸込瓣 V_1, V_1 と、二組の送出瓣 V_2, V_2 とが必要である。

第 88 圖に示す縦型 ポンプ では、送出瓣 V_2 が ピストン P の上に裝置され、ピストン と共に運動する。

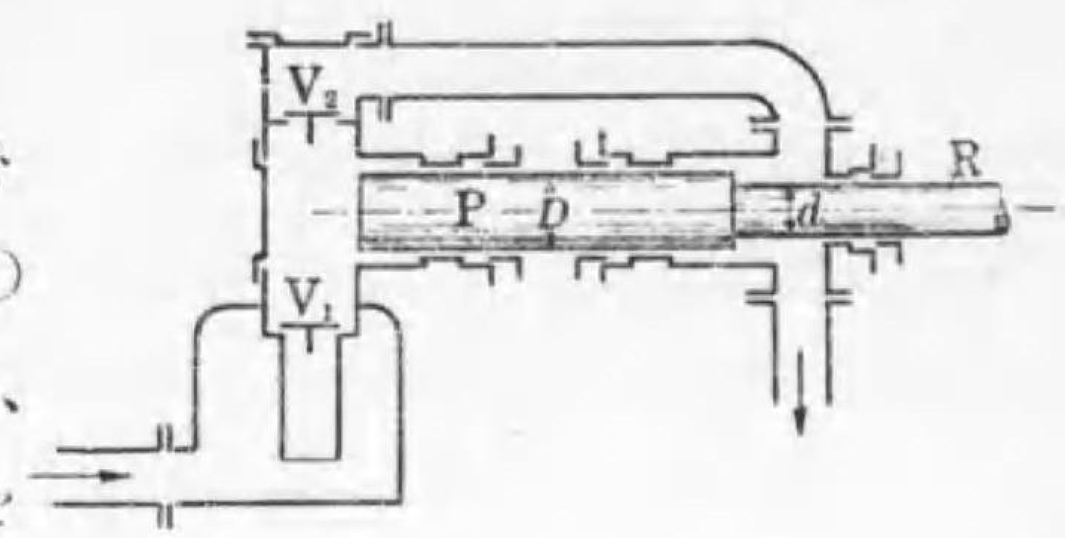
第 88 圖



このやうな ピストン を **バッケット** といひ、かやうな ポンプ を **バッケット ポンプ** といふ。これは家庭用井戸懸 ポンプ などに多く使用されるもので單働 ポンプ の 1 種である。

第 89 圖 に示すやうに、プランヂャー (又は ピストン) P の銲 R を特に太く造り ポンプ の内部を通過させると單働 ポンプ と同じ構造でありながら、一度に吸ひ込んだ水を二度に送出するものである。即ちこのやうな ポンプ の吸込は 1 往復につき 1 回であるが、送出は往復ごとに起る。このやうな ポンプ を **差働 ポンプ** と呼ぶ。從つて第 89 圖は横型差働 プランヂャー ポンプ である。

第 89 圖



74. 送出量 ピストン (又は プランヂャー) の斷面積を A とし、これが往復する行程を l とすれば、1 行程につき シリンダー 内に吸ひ込まれ、又は 1 行程ごとに送出される水の容積は Al である。故に ピストン が 1 分間に n 往復するとすれば、1 分間に送出される水量 Q は、單働及び複働 ポンプ に對して夫々次の如くである。

$$\left.\begin{array}{ll}\text{單働 ポンプ} & Q = Aln \\ \text{複働 ポンプ} & Q = 2Aln\end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (98)$$

ピストン は通例 クランク と連銲との機構によつて運轉する。そして クランク の 1 回轉は ピストン の 1 往復即ち 2 行程に該當するから、n は クランク の毎分の回轉度に等しい。

差働 ポンプ の場合には、ピストン (又は プランヂャー) P の斷面積を A とし、ピストン 銲 R の斷面積を a とすれば (第 89 圖)、P が外方に引き出される時に送出される水の量は $(A-a)l$ であり、内方に差し込まれる時に送出される水の量は $Al-(A-a)l = al$ である。故に ピストン の 1 往復につき送出される水の量は、

$$(A-a)l+al = Al$$

故に毎分の送出量 Q は、

$$Q = Aln$$

卽ち差働 ポンプ の送出量は單働 ポンプ のそれと同じである。

差働 ポンプ の吸込の量を考へれば、ピストン の 1 往復につきたゞ 1 回 Al だけの水を吸ひ込み、單働 ポンプ と少しも違はぬことが判る。

このやうに差働 ポンプ は ピストン が引き出される時に $(A-a)l$ の水を送出し、差し込まれる時に al の水を送出するのであるから、往復ごとに送出される水の量を等しくするためには、

$$(A-a)l = al$$

これより

$$A = 2a \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (99)$$

或は ピストン の直徑を D、ピストン 桿のそれを d とすれば、

$$A = \frac{\pi}{4}D^2, \quad a = \frac{\pi}{4}d^2$$

故に上式の關係は次の如くになる。

$$D = \sqrt{d} = 1{\cdot}414\, d \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (99a)$$

卽ち ピストン の直徑を ピストン 桿の直徑の 1.414 倍に造れば、往復ごとに送出される水量が等しくなり、運轉動力が甚だ整一になる。

75. 體積效率 瓣はその自動的の開閉作用によつて、シリンダー 内に吸ひ込まれた水が、吸上管の方に逆流することを防ぎ、送出管に向つて送り出された水が、シリンダー 内に逆流することを防ぐものであるけれども、開いた瓣は瞬間的に閉鎖することが出來ず、開いた瓣が閉鎖するまでには多少の時間がかゝるので、その間に幾分の水は逆流し、從つて實際送出される水量は、(98) 式によつて計算される水量よりも少い。卽ち實際送出される水量

を Q_e とすれば、Q_e は常に Q よりも小く、$\dfrac{Q_e}{Q}$ なる **體積效率** を生ずるものである。

體積效率は瓣の構造とその働の鋭敏さとによる。又大な一つの瓣を裝置するよりは、小な瓣を數多く裝置した方が瓣の働が活潑となり、體積效率が增す。(79) 式に示すやうに、體積效率は ポンプ の全效率に直接影響する。殊に往復 ポンプ に對する瓣の存在は、恰も人體の心臟に瓣があると同じく、その善惡は直ちに ポンプ の善惡に非常な影響を與へるものであるから、ポンプ を造る場合には、瓣の構造を考へることは極めて肝要なことである。

大型の ポンプ には多數の小い瓣を排置することが出來るけれども、小型の ポンプ では場所の關係上それが甚だ困難である。それ故大型 ポンプ の體積效率は大く小型 ポンプ はそれが通例小い。今 ポンプ の大小に應じて體積效率の大體の値を次に示すことにする。

(1) 水道用 ポンプ の如き大型の優秀なるもの、

$$\eta_v = 0{\cdot}97 \sim 0{\cdot}99$$

(2) 工場用 ポンプ の如き中型の勝れた構造のもの、

$$\eta_v = 0{\cdot}90 \sim 0{\cdot}95$$

(3) 小型 ポンプ の勝れた構造のもの、

$$\eta_v = 0{\cdot}85 \sim 0{\cdot}90$$

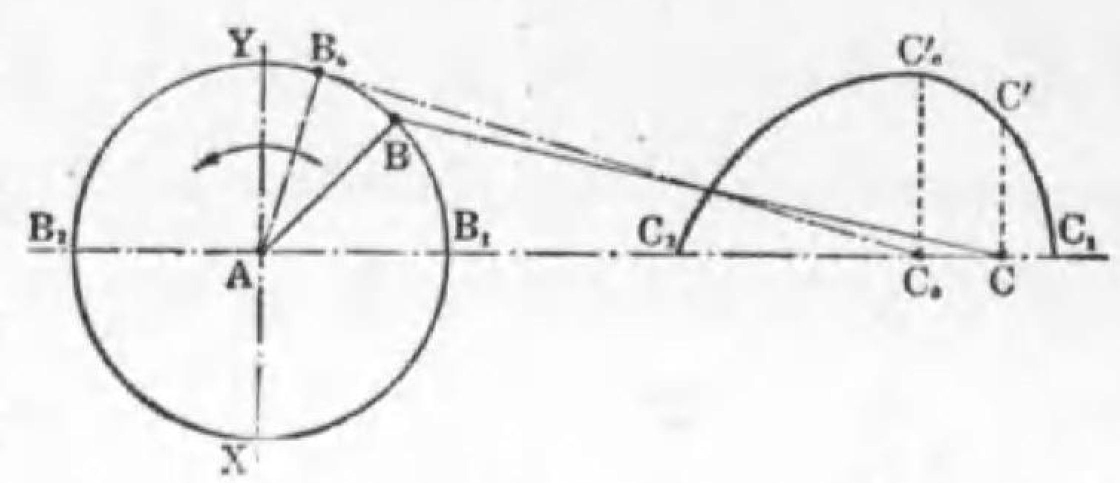
76. 送出量の瞬間的變化 ピストン(又は プランヂャー)は通例 クランク と連桿との結合より成る蒸氣機關機構[16]によりて運轉

---

(16) 「機構」の蒸氣機關機構の項參照。

する。故に クランク が一定の回轉をなすとしても、これにより て運轉される ピストン の速度は均一ではなく、行程の兩端に於て 0 で中央部に於て最大となる。

第 90 圖



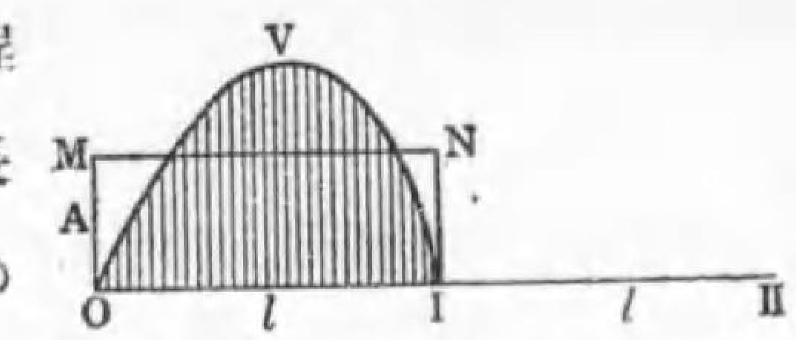
第 90 圖はこの機構の略圖で、A は クランク 軸の位置，AB は クランク，BC は連桿，C は滑子で、これに ピストン が直結し、從つて ピストン の運動は C の運動と同じである。B が B_1 にある時 C は C_1 にあり、B が B_2 にある時 C は C_2 にあり、從つて C_1C_2 は ピストン の行程でその兩端に ピストン がある時、その速度は 0 である。

ピストン C の速度は C_1C_2 に直角な直線の長さ CC' によつて表され、從つて ピストン C の速度圖は $C_1C'C_0'C_2$ のやうな一種の曲線で表される。連桿が クランク に對して直角となりたる AB_0C_0 のやうな位置で ピストン C_0 の速度は最大で、その速度は C_0C_0' を以て表される。

今 ピストン の面積を A とし、その瞬間的の速度を v とすれば、瞬間的に ポンプ が送出する水量は Av である。然るに v は上述のやうに 1 行程中絶えず變化するのであるから、送出される水量もまた絶えず變化し、C_1, C_2 に於て送出は止まり C_0 に於て最大送出量がある。その絶えず變化する送出量を 1 行程に平均すれば、1 行程につき Al だけの水が送出されるのである。但し l は行程 C_1C_2 の長さである。

77. 送出量線圖 瞬間的の送出量は Av であり、そして A は與へられたる ポンプ に對して一定値であり、v は直線 CC' の長さを以て表されるから、CC' に定數 A を乘じたるものは瞬間的の送出量である。されば ピストン の速度線圖 $C_1C'C_0'C_2$ は、そのまゝ瞬間的に送出される水量の變化を示す送出量線圖であると見ることが出來る。

第 91 圖

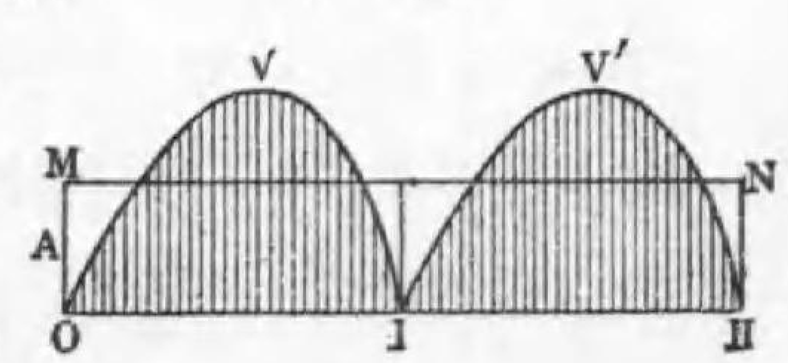


第 91 圖に於て OI は 1 行程の長さ、I II はその次の行程の長さ、從つて O I II は ピストン の 1 往復の長さである。OVI は第 90 圖の $C_2C_0'C'C_1$ と同じ曲線で、1 行程中の送出量を表す。

單働 ポンプ では ピストン の 1 往復につきたゞ 1 回水を送出するのであるから、行程 OI に於て送出される時は、行程 I II に於ては送出はない。されば單働 ポンプ の送出量線圖は第 91 圖のやうな線圖を以て表される。

曲線 OVI の面積は 1 行程中に送出される水量 Al を表す。故に OM = IN を ピストン の面積 A に等しくとり、直線 MN を引けば、長方形 OMNI の面積は Al に等しく、若しも送出管から水が均一の速度で送出されるならば、その送出量曲線は MN のやうな直線で表されることを示す。

第 92 圖

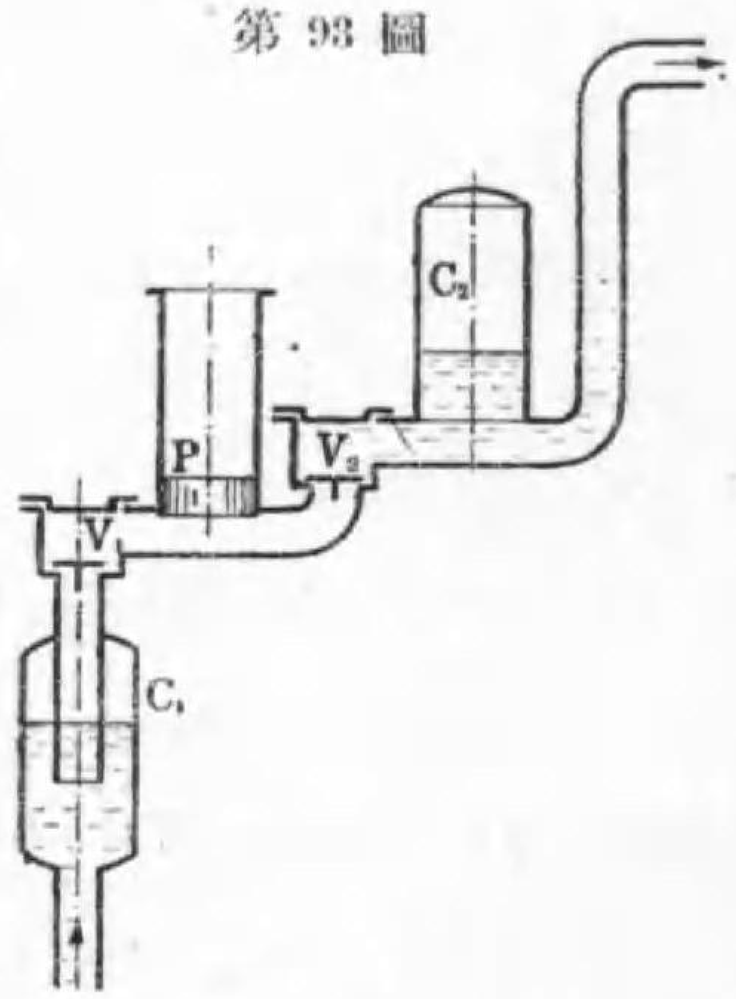


第 92 圖は第 91 圖の送出量の曲線を行程ごとに連續したもので、これは複働 ポンプ の送出量線圖で、MN は平均送出量を示す直線である。

差働ポンプの送出量線圖は複働ポンプのそれと同じであるが、ピストンの1往復に送出する水量が複働ポンプは $2Al$ であるけれども、差働ポンプでは單働ポンプと同じく Al であるから、第92圖に示す曲線 OVI 又は IV'II の高さの低い送出量線圖を呈する。

78. 空氣チャムバーの必要　往復ポンプの送出量はかやうに瞬間的に變動するから、これを第92圖に於ける直線 MN で示すやうな成るべく整一な送出をさせるために、空氣チャムバーを裝置する必要がある。

第93圖



第93圖は吸上管及び送出管に空氣チャムバーを裝置した縱型プランヂャーポンプの略圖で、P はプランヂャー，V_1 は吸込瓣，V_2 は送出瓣，C_1 は吸上管に裝置した空氣チャムバー，C_2 は送出管に裝置した空氣チャムバーである。C_1 は V_1 の直前に、C_2 は V_2 の直後に裝置することが必要である。

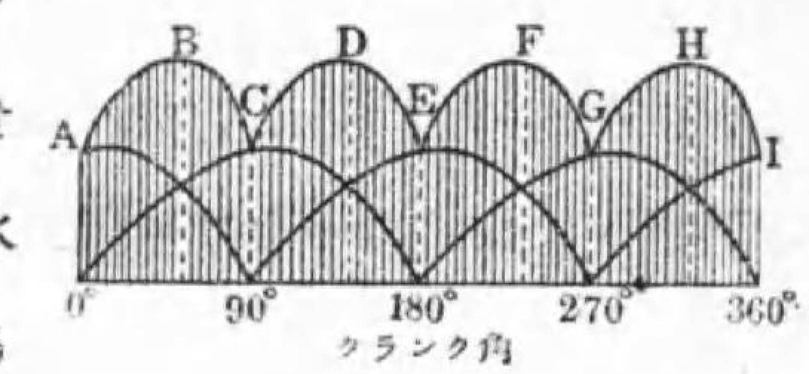
79. ポンプの組合　往復ポンプの送出する水量は甚だ不整一であつて、これを整一にするために空氣チャムバーを裝置するのであるが、極めて大なる空氣チャムバーを裝置しなければその效果が十分でない。殊に單働ポンプに於てさうである。

それで機械的動力を以て運轉する往復ポンプは、通例たゞ1個のポンプを使用することなく、2個又は2個以上の同型同

大のポンプを都合よく組合はせ、各ポンプから送出する水を1個の送出管に集めて目的地に送るやうにする。さうすると送出管中に運ばれる水の速度が大に整一になるものである。尚、更に空氣チャムバーを裝置するのが通例で、かやうにすると送出量が非常に整一になるものである。

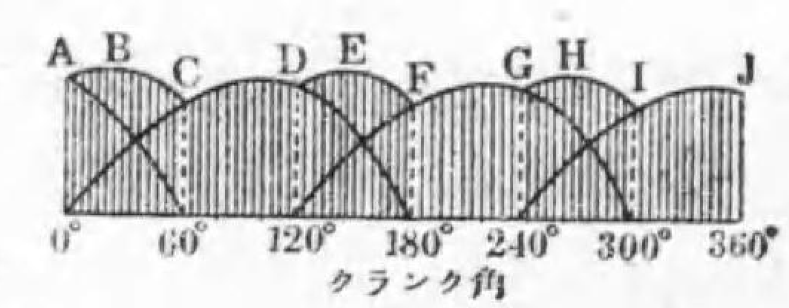
この目的を達するために2個のポンプを組合はす場合には、それ等のポンプを運轉する2個のクランクの角度を直角卽ち90°にし、3個のポンプを組合はす場合には、それ等を互に120°にし、4個のポンプを組合はす場合には、それ等を互に90°にする。

第94圖



第94圖は2個の複働ポンプをクランク角90°に組合はせた時の送出量線圖で、送出する水量の變化は ABCDEFGH のやうな曲線狀となり、たゞ1個の複働ポンプを用ゐた時よりも著しく整一となる。

第95圖



第95圖は、3個の單働ポンプを、クランク角を各120°に配置した時の送出量線圖で、送出する水量の變化は ABCDEFGHIJ のやうな曲線狀となり、ただ1個の單働ポンプを用ゐた時よりも甚だ整一となる。

かやうにポンプを數多く組合はせるほど送出量は一層整一となるもので、2個組合はせた時それを**ツースローポンプ**[17]、3個

(17) ツー，スリー，フオーアは英語の2，3，4でスローは英語の throw でピストン又はプランヂヤーを投げる意である。

組合はせた時それを **スリースローポンプ**、4 個組合はせたる時それを **フォーアスローポンプ** といふ。しかし餘り多く組合はせることは、送出水量を整一にする效果は增すことにはなるが、構造が複雜となる缺點があるので、多くは スリースロー までにする。

第 3 章 ロータリーポンプ

80. 概說 翼形の扉の搖動又は 1 個或は 2 個又は 2 個以上の回轉體の組合によつて、密閉した器中に空虛を作り、以て水の吸上及び送出の作用を生じさせる ポンプ を一般に **ロータリーポンプ**[18] といふ。委しくいへば ロータリーポンプ とは、回轉するこの種の ポンプ のことで、その內搖動するものは別に **搖動 ポンプ** 又は **セミロータリーポンプ**[19]、或は **ウイングポンプ**[20] などゝいふ。

この種類に屬する ポンプ は多くは小型で、殊に搖動 ポンプ は特に小型で手働式のものが多く、概して家庭用である。

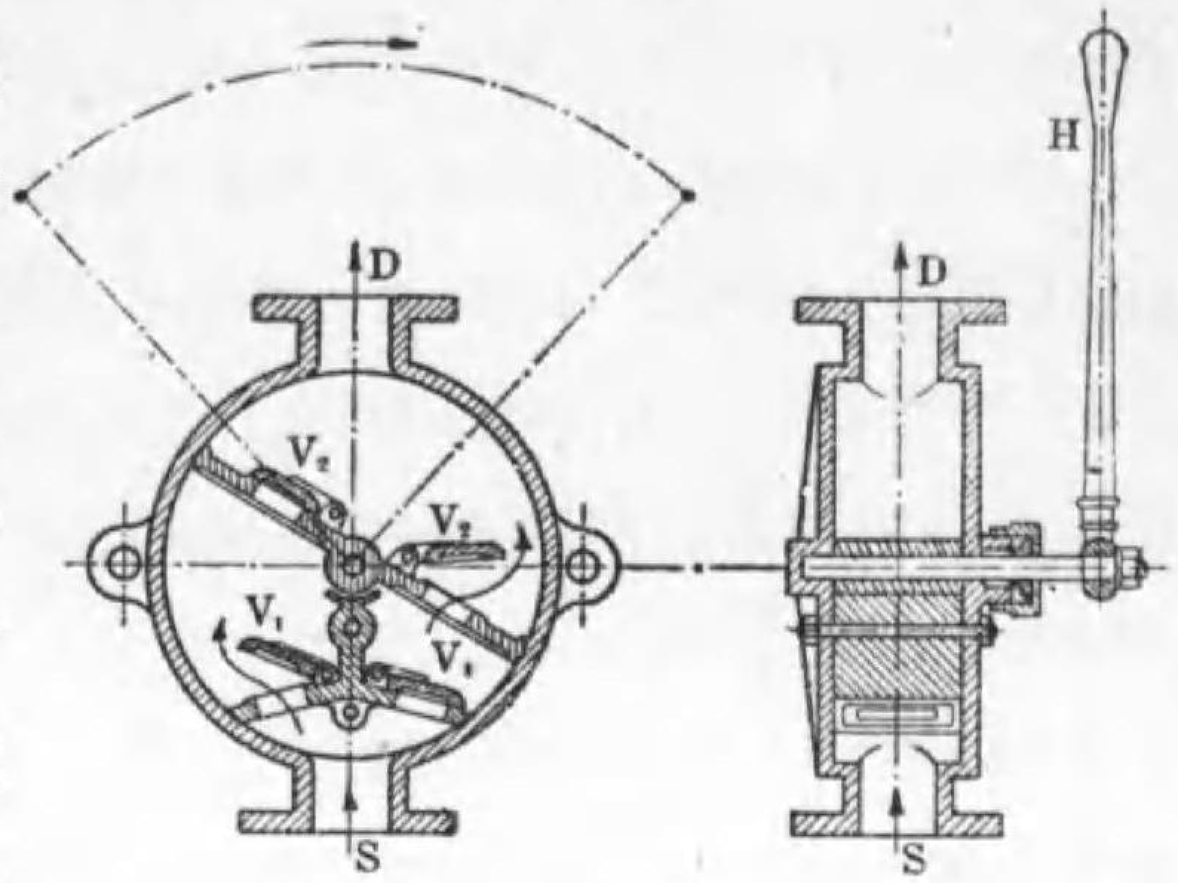
瓣を有するものもあり又有さぬものもあつて、構造が雜多で種類が極めて多い。

81. 搖動ポンプ 第 96 圖は最も普通にある一種の小型の手働搖動 ポンプ を示す。奧行の淺い圓筒形の密閉した固定の容器の中に、外から挺子 H によつて搖動する翼形の扉があつて、それに V_2, V_2 なる 2 組の送出瓣と別に容器に所屬する 2 組の吸

(18) ロータリー は英語の rotary で回轉の意。
(19) セミロータリー は英語の semirotary で半回轉即ち搖動の意。
(20) ウイング は英語の wing で、その形狀翼に似てゐるからである。

込瓣 V_1, V_1 とがあり、容器には吸込管 S と送出管 D とが接續する。

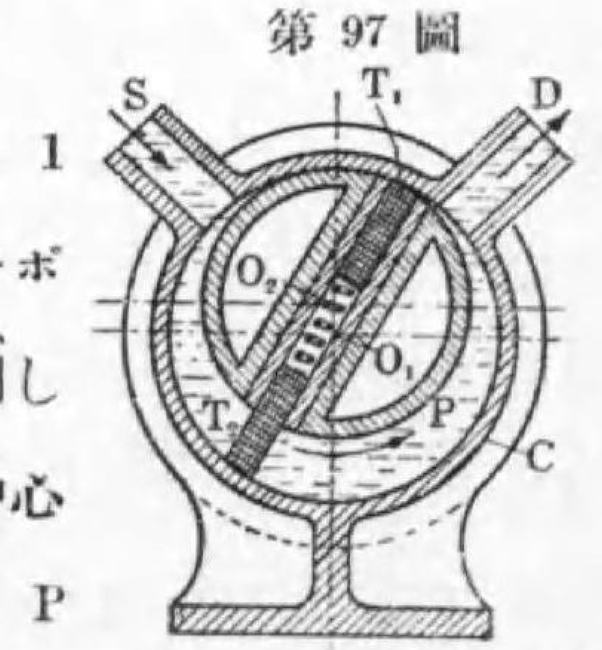
第 96 圖



このポンプは H を矢で示すやうに右方に搖動すれば、自動的に左室の V_1 は開き V_2 は閉ぢ、右室の V_1 は閉ぢ V_2 は開き、井戸の水は S から左室に吸ひ込まれると同時に D から送り出され (圖にはこの狀態を示す)、又圖と反對に H を左方に搖動すれば、自動的に左室の V_1 は閉ぢ V_2 は開き、右室の V_1 は開き V_2 は閉ぢ、井戸の水は S から右室に吸ひ込まれると同時に D から送り出される。

このやうにこの ポンプ は二組の吸込瓣と二組の送出瓣とを備へ、その働は複働 ポンプ であつて、挺子の搖動毎に水を吸ひ且それを送出する。

第 97 圖



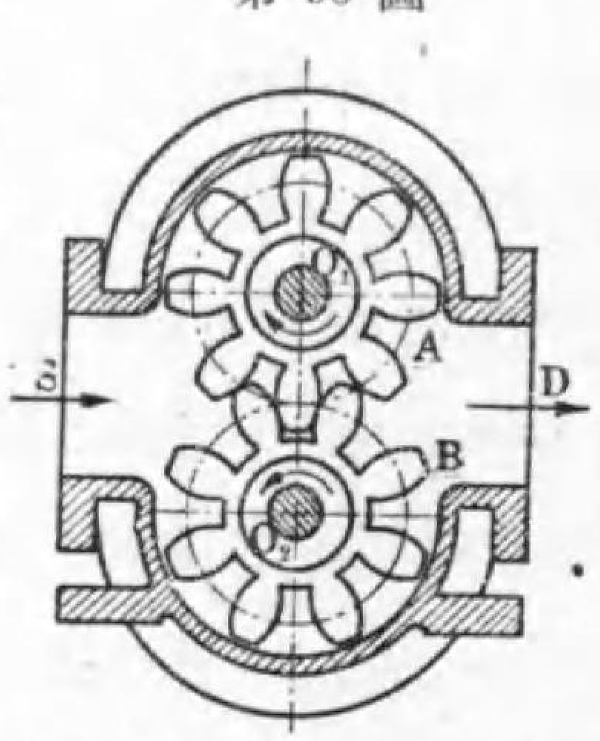
82. ロータリーポンプ 第 97 圖は 1 個の回轉體を用ゐた一種の ロータリーポンプ で、O_1 を中心とする圓筒形の密閉した固定の容器 C の中に、別に O_2 を中心として回轉する圓筒 P がある。そして P にはその直徑に沿うて溝があり、それに T_1, T_2 なる 2 枚の扉が背合に挿し込まれ、その間の空隙に「ばね」を置き、それに

よつて T_1 と T_2 とは外方に押し出されて常に圓筒 C の内面に密着する。

斯くの如く圓筒 C の中心 O_1 に對して圓筒 P の中心 O_2 は偏心になつてゐるから、T_1, T_2 なる扉は P と共に回轉しつゝ出入し、P が矢で示すやうに回轉すれば、この扉によつて區切られた左室の容積は擴大し、右室の容積は縮小するから、水は吸込管 S より入りて送出管 D より送り出される。

第 98 圖は 2 個の回轉體の組合より成る一種の ロータリーポンプ を示す。A, B なる二つの齒車形の回轉體があつて、A は O_1 を中心とし、B は O_2 を中心として互に嚙合ひつゝ反對の向に回轉する。この組合に於て、今 A と B とが矢で示すやうに互に回轉すれば、左室の容積は擴大し、右室の容積は縮小することになるから、吸込管 S より水を吸ひ、それを送出管 D から送り出す。

第 98 圖



この ポンプ は一種の齒車そのまゝを嚙合はせて ポンプ に用ゐたものであるから、この種の ポンプ を俗に **ギーアポンプ**[21] といふ。

第 4 章 渦巻 ポンプ

83. **概說** **渦巻 ポンプ** は反動 タービン と反對の作用をする ポンプ である。反動 タービン は高所にあつて エネルギー を

(21) ギーア は英語の gear で嚙合の意である。

有する水が低所に流下するので回轉する車である。これに反して渦巻 ポンプ は、それを回轉させると水が エネルギー を與へられて低所から高所に流れ上るやうになる。

渦巻 ポンプ は反動 タービン と同じく **羽根車** とそれを容れる **外匣** と **導羽根** とより成る。但し導羽根はこれを有するものもあり又有さないものもある。導羽根を有する渦巻 ポンプ の外觀は反動 タービン と全く同じであるから、俗にそれを **タービンポンプ** と稱へる。そして導羽根を有する タービンポンプ と區別するために、導羽根を有さない渦巻 ポンプ を **ボルートポンプ** と呼ぶ。

渦巻 ポンプ の羽根車は反動 タービン の羽根車と同じく、圓形の車に曲面より成る數枚の **羽根** を排置し、水を充滿した外匣の中で回轉させる。すると水は羽根のために搔き廻されて エネルギー を得、以て低所にある水が高所に上げられるのである。羽根車を回轉するには電動機，蒸氣機關，內燃機等を以てする。

外匣には吸込管と送出管とが接續し、羽根車の回轉によつて エネルギー を與へられた水は、吸込管より ポンプ 内に吸ひ込まれ、そして送出管から目的の場所に送り出される。

このやうに水の上げられる働が羽根車の回轉によつて達せられるのであつて、往復 ポンプ の如き瓣の開閉によつて達せられるのではないから、瓣の必要が全然なく、吸込管から ポンプ を經て送出管に向つて流動する水の流が連續的で、往復 ポンプ の場合のやうに斷續的でないから、空氣 チャムバー の必要も亦全然ない。

羽根車の回轉によりて吸ひ上げられ且 エネルギー を與へられた水は次に渦巻形の外匣に入り、それより送出管に送り出されるのであるが、導羽根のあるものは、羽根車と外匣との間にそれが置かれるので、水の流の向が反動 タービン の場合と全く反對になる。

渦巻 ポンプ の最も普通の型は フランシス 水車の逆で、羽根車の中心部に吸込管が接續し、水はそれから吸ひ込まれ、羽根車によつて搔き廻されて外方に流れ、羽根車の外圍にある外匣を經て送出管から送り出される。

近頃 プロペラー 水車を逆にした型の **プロペラーポンプ** が用ゐられるやうになつた。これは プロペラー 水車そのまゝの羽根車を用ゐた一種の渦巻 ポンプ で、その軸流又は斜流型のものに外ならぬ。反動 タービン に內流，外流，斜流，軸流等の別があると同じく、渦巻 ポンプ にもそれ等の別がある。

84. 往復 ポンプ との比較 往復 ポンプ の瓣の働は極めて微妙なもので、少しでもその構造や働が惡いと十分に水を上げることが出來ないけれども、渦巻 ポンプ には瓣がないから、往復 ポンプ に最も起り易い瓣の故障は渦巻 ポンプ にはなく、從つて取扱が極めて容易である。

往復 ポンプ には瓣があるために土砂の如き浮游物を混入する水を汲み上げることは、瓣の故障を生じ ポンプ を破滅する原因となるけれども、渦巻 ポンプ は土砂を混入する水を汲み上げても何等故障を起すことはなく、甚しきは海底又は河底から土砂を排除する浚渫機としてさへ用ゐられてゐる。

往復 ポンプ の瓣は、それを餘り速く開いたり閉ぢたりする時は、十分にその働をさせることが出來ず、甚しきは開き放しになつて、逆流が甚しく到底目的通りの水を汲み上げることが出來ぬけれども、渦巻 ポンプ には瓣がなく、水の流動が連續的であるから如何に高速度に羽根車を回轉しても、決して故障を起すことがない。されば往復 ポンプ にはそれを運轉する速度に一定の制限があつて、成るべく緩やかに運轉するほど瓣の働が完全となり、從つて容積效率が增すけれども、渦巻 ポンプ にはそのやうな速度の制限がない。故に往復 ポンプ は高速度に回轉する電動機や蒸氣 タービン に直結して運轉することは出來ぬけれども、渦巻 ポンプ はそれが出來る。それ故往復 ポンプ の運轉には種々の間接運轉を必要とし、その結果構造が複雜となり ポンプ が大型となるけれども、渦巻 ポンプ は直接運轉で差支ないから總ての設備が非常に簡單で、且非常に小型になる。

かやうに往復 ポンプ は高速度の運轉に適せぬから、概して大型で重さは重く建造費は高く設置する場所は廣く萬事不利益である。それ故渦巻 ポンプ の需要は日々に增加し、往復 ポンプ を必要とする特別の理由なき限りは、皆渦巻 ポンプ を用ゐる程盛大なる現狀である。

以上は渦巻 ポンプ が往復 ポンプ より優つてゐる諸點を擧げたのであるが、渦巻 ポンプ にも亦多少の缺點はある。それは羽根車，導羽根，外匣等の形狀及び構造が、水力學的に不合理に出來てゐる場合には、如何に高速度に羽根車を運轉するとも、全然水を吸ひ上げる能力がないことである。つまり羽根車の 羽根の

形狀，寸法等は、汲み上げる水量と回轉度とに極めて密接な關係があつて、その關係を無視する時は全然ポンプの目的を達することが出來ない。

これが往復ポンプであれば、ピストンやプランヂャーを如何に靜かに又は如何に速く動かしても、それ相應の水が汲ひ上げられるけれども、渦卷ポンプは豫め定めた回轉度の範圍以外の回轉を以てしては、ポンプの內部は空虛となつて、一滴の水も汲み上げ得ないものである。これ前者は瓣を以て水の逆流を止め、後者は水の逆流を喰ひ止める瓣がなく、回轉度とヘッドとの間に微妙な關係があるからである。

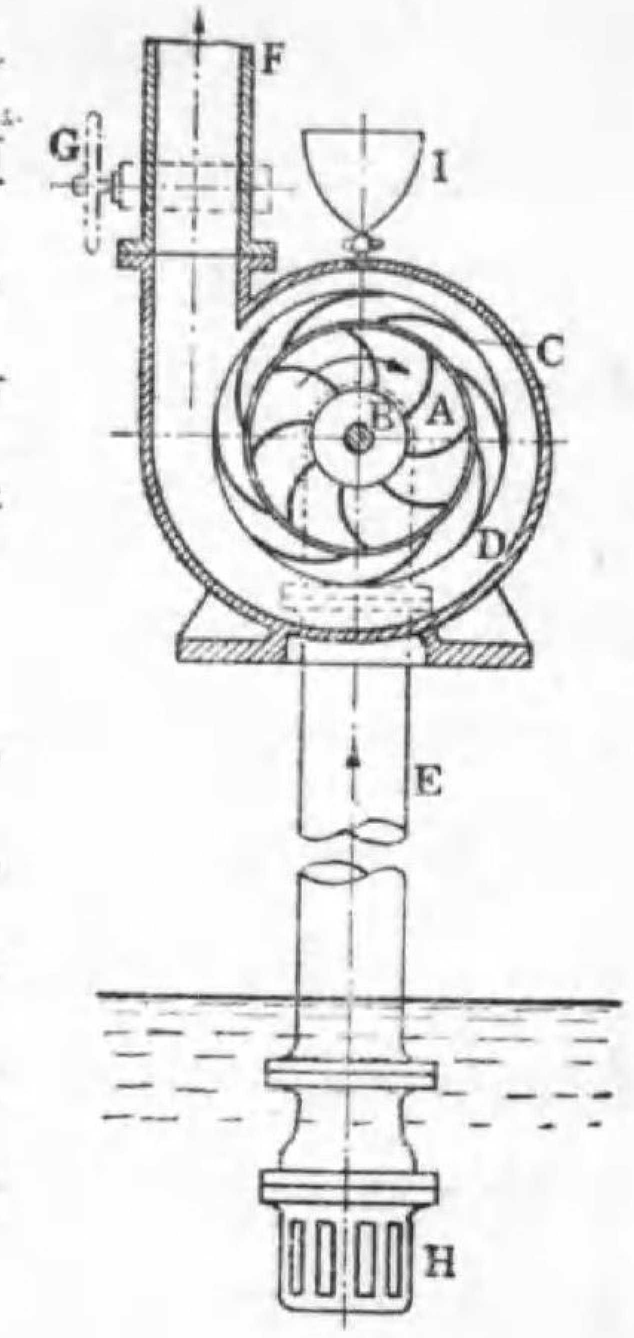
又往復ポンプは初めポンプ內が空虛であつても、それを運轉して暫くすると水が吸ひ上げられるけれども、渦卷ポンプは運轉する前に豫め水をポンプ內に充滿して置かないと、全然水を吸ひ上げ得ないものである。されば渦卷ポンプは、吸上管の入口に特に底瓣を裝置して水の逆流を止め、且豫めポンプに水を注入する適當な裝置が必要である。小型の渦卷ポンプに最も普通行はれる注水方法は、ポンプの頂部にコックを接續してそこに漏斗狀の注水器を裝置し、運轉開始の前にこのコックを開いて外から水をポンプ內に注入し、吸上管とポンプとが水を以て充滿したる所でコックを閉めて運轉を開始する。ポンプの運轉中は底瓣は開放のまゝになつてゐるので、運轉中はこの瓣は寧ろ不用な邪魔物である。

運轉中水量の加減をするには、往復ポンプでは、運轉の速さを變へるか又は一部を逆流させるけれども、渦卷ポンプでは運

轉の速さを變へることは出來ないから、ポンプは一定の回轉狀態に置き、別にポンプと送出管との接續部に仕切瓣を裝置し、その開閉の度合によつて加減する。

85. **構造概要** 第99圖は最も普通にある渦卷ポンプの裝置の略圖である。Aは羽根車でBなる軸で回轉する。Cは羽根車の周圍に裝置した固定の導羽根で、Dは渦卷形の外匣である。Eは羽根車の中心部に接續する吸上管で、羽根車が回轉すると水は外方に送られ中心部に空虛を生ずるから、井戸の水はEから吸上げられる。

第99圖

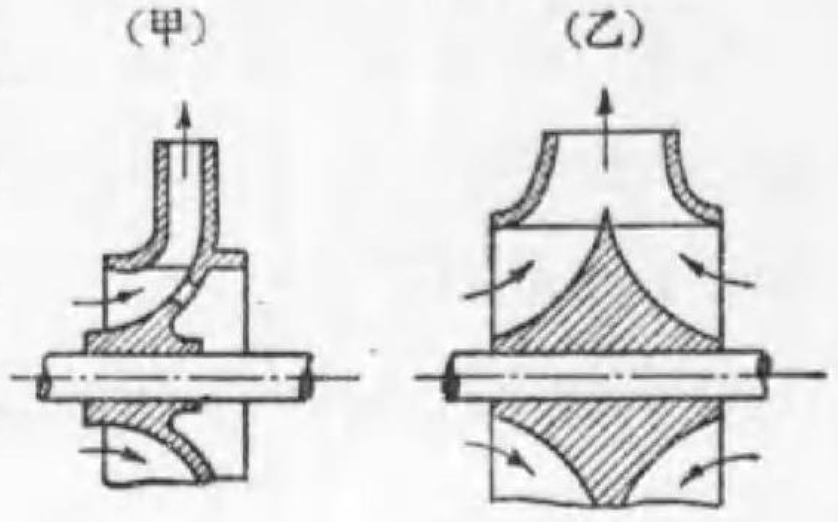


外匣Dの末端は送出管Fに連結し、その接續部に仕切瓣Gが置かれてある。Hは吸上管の入口に置かれた水漉で、木葉，土砂のやうなものがこれで遮られ、この中に底瓣が裝置してある。Iは外匣の頂部に附けてある漏斗である。

AとDとの間にCのやうな導羽根を有するものはタービンポンプであつて、Aより送り出された水が直ちにD內に入り、Cのやうな導羽根を有せざるものはボルートポンプである。又或場合にはAとDとの間にCなる場所を置き、しかしその中に羽根を有せず、たゞ空所として存するものもある。斯くの如き空所を**渦卷室**と名づける。つまり導羽根は渦卷室に羽根を備へたものである。

86. **片吸込と兩吸込** 第100圖は羽根車を、軸を含む平面で切斷した斷面圖である。これに(甲)のやうに、吸込が羽根車の一側にあるものと、(乙)のやうに羽根車の兩側にあるものとある。前者を **片吸込**，後者を **兩吸込** の羽根車といふ。

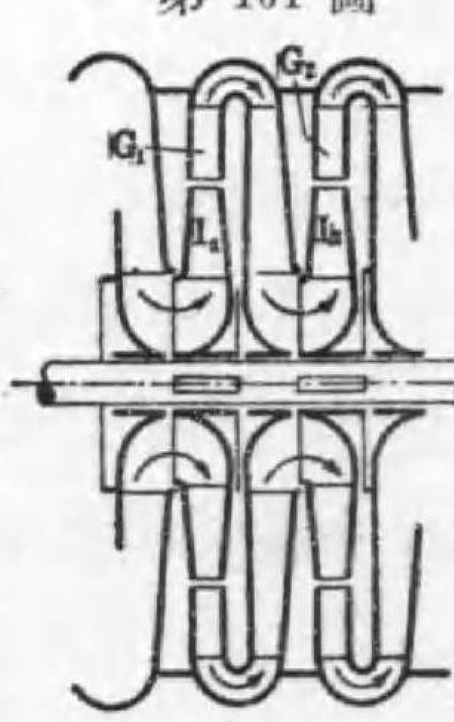
第100圖



同じ直徑の羽根車だとすると、兩吸込は片吸込に比べて 2 倍の水量を流過する譯である。又片吸込は羽根車に對する水の流が左右對稱的でないために、軸が横に推しやられるものであるが、兩吸込は水の流が對稱的であるために、軸を横に推す力が左右互に打ち消し合ふ結果、軸が横に推しやられるやうなことがない。

87. **段渦卷ポンプ** 羽根車の 1 個が水を上げる能力卽ちそのヘッド及び揚水量には、羽根車の大さ及び回轉度に應じて一定の制限があつて、たゞ譯もなく高いヘッドに水を上げ、又譯もなく多量の水を送ることは出來ない。若し强ひてそれを行はうとすれば著しく效率を下げ、運轉動力に於て著しい不經濟になるのである。

第101圖



そこで羽根車の組合といふことを行ふ。それは同じ形狀，大さ及び構造の二つ又は二つ以上の羽根車を、一つの軸の上に順次に並べて取り付け、例へば第 101 圖のやうに I_1 なる羽根車の次に、それと同じ I_2 なる羽根車を同じ軸の上に固着し、I_1

から流れ出した水は、G_1 なる導羽根を通つた後 I_2 の吸込に向つて流れるやうに水の通路を造れば、I_1 によつてエネルギーを得た水は再び I_2 によつて同額のエネルギーを得ることゝなるから、次に I_3 次に I_4 と順次に配列された多數の羽根車を順々に通過する間に、エネルギーは次第に増し、終に如何に高いヘッドへも自由に揚水し得るやうになる。

この場合に、構造を簡單にし且設計を容易にするために、羽根車は皆同じ形狀，大さ及び構造に造る。故に各の羽根車が水に與へるヘッドを H とすれば、羽根車 I_1 を出た時に水の有するヘッドは H であり、羽根車 I_2 を出た時に水の有するヘッドは $2H$ であり、その次の羽根車 I_3 を出た時水の有するヘッドは $3H$ であり、順次かやうに最後の羽根車を出て送出管から送り出される水は、羽根車の總數を n とすれば、nH なるヘッドを有する理である。

各の羽根車に働く流體抵抗をヘッドに換算した値を h とすれば、n 個の羽根車を有する組合の流體抵抗の總額は nh に等しい。故にこのポンプの流體效率は

$$\frac{nH}{nH+nh}=\frac{H}{H+h}$$

であつて、n に無關係となる。卽ちかやうに組合はされたポンプの效率は、各羽根車の效率に等しいのである。

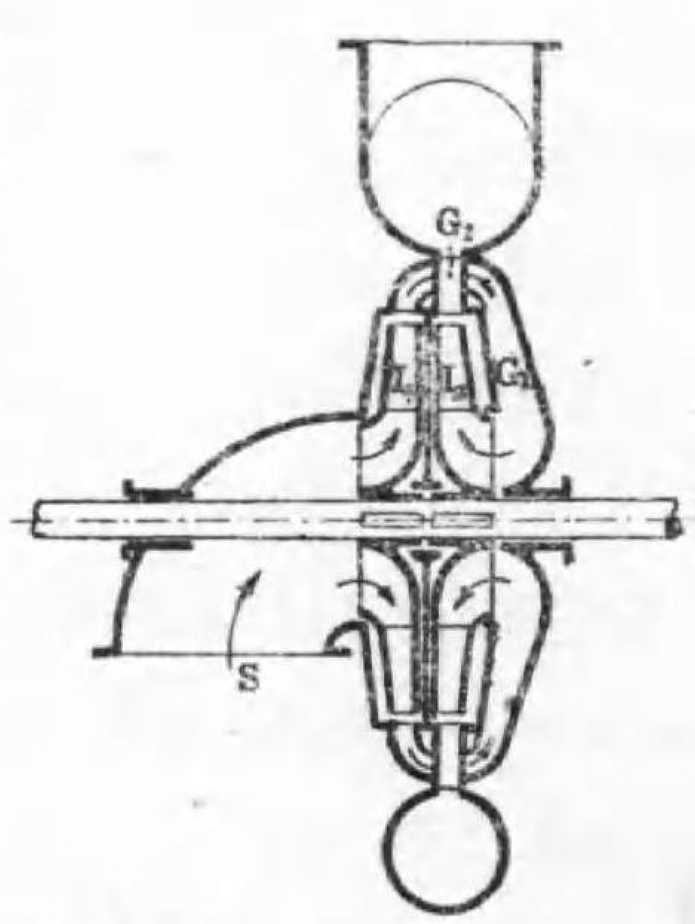
これを要するに、羽根車の n 個を上記のやうに組合はすことにより、ヘッドは各羽根車のヘッドの n 倍となるけれども、效率は各羽根車の效率に等しい。それでかやうなポンプは效率を損することなしに、ヘッドを n 倍に増すことが出來るのである。

かやうに組合はされた ポンプ を一般に **段ポンプ** といひ、羽根車の 2 個あるものを **二段渦巻ポンプ**、その 3 個あるものを **三段渦巻ポンプ** 等といふ。

第 101 圖のやうに順次に組合はされた段 ポンプ は軸の横に推される推力の甚しく大となる缺點がある。例へば各羽根車の横に推される力を T とすれば、n 段渦巻 ポンプ の横推力は nT となる。

この不結果を避け、横推力を消滅させるために、第 102 圖に示すやうに I_1, I_2 なる羽根車を、二つづゝ背合に組合はせることがある。かうすると水の通路が著しく彎曲し、複雜になる缺點はあるけれども、横推力は完全に消滅し、軸端に特に推力承を裝置する必要がなくなる。第 102 圖は二段渦巻 ポンプ を示したのであるが、かやうに 2 個づゝ順次に組合はせて、四段、六段、八段と偶數段 ポンプ を造ることが出來る。

第 102 圖



以上の組合は、水量はそのまゝにたゞ ヘッド を n 倍に増さうとする時に用ゐるものであるけれども、ヘッド はそのまゝにし、水量を n 倍に増さうとする時には、一つの外匣の中に n 個の羽根車を併置し、それ等を一つの軸で同時に回轉させるやうに造ればよい。かやうな ポンプ は ヘッド 低く、水量の大なる灌漑用などに用ゐるものである。

88. **羽根車の理論** 渦巻 ポンプ は反動 タービン の逆である。故に反動 タービン の理論はそのまゝ渦巻 ポンプ に當てはまる。されば反動 タービン の一種 フランシス 水車の基本公式 (78) は、そのまゝ渦巻 ポンプ に當てはまるので、即ち羽根車の働く ヘッド を H とすれば、

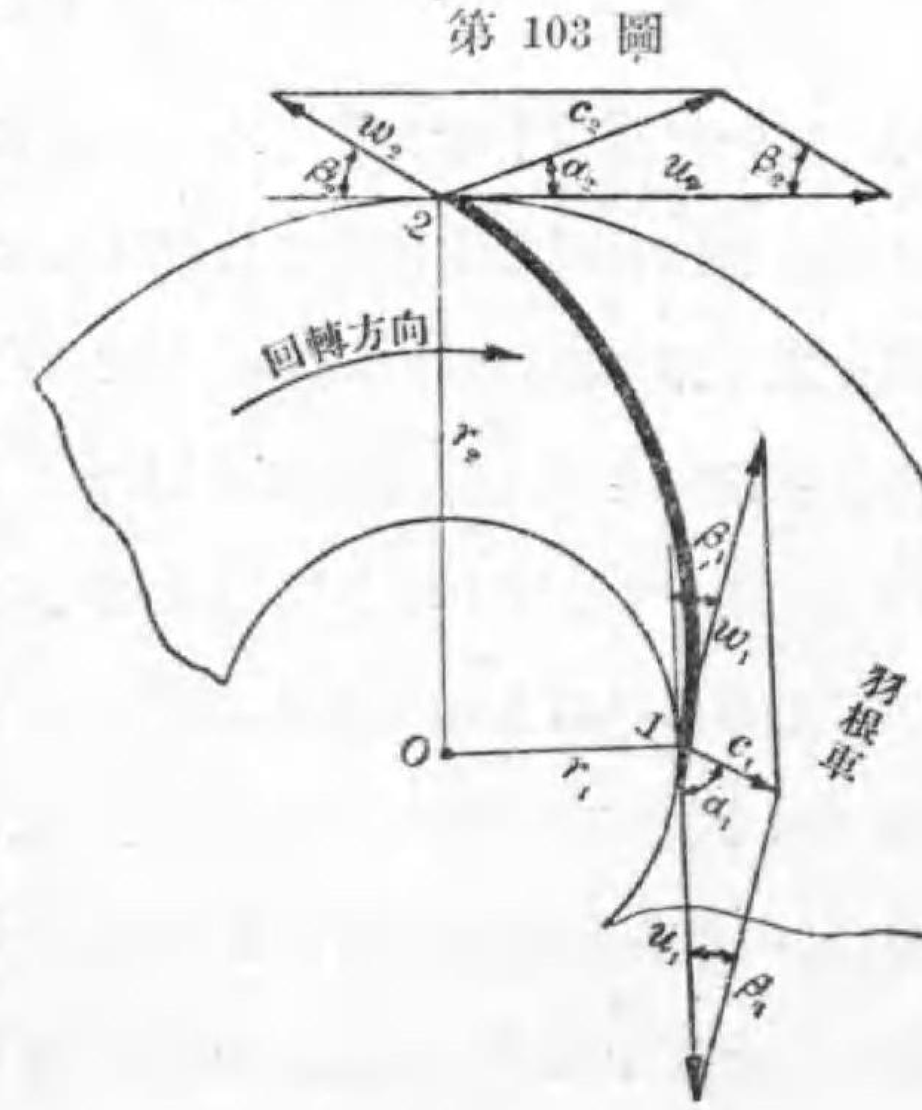
$$u_2c_2\cos\alpha_2 - u_1c_1\cos\alpha_1 = g\phi H \cdots\cdots\cdots\cdots(100)$$

この公式は渦巻 ポンプ に關する總ての計算の基礎となるものであるが、たゞこの公式が (78) 式と違ふ所は、η と ϕ との相違である。(78) 式の η は反動 タービン の效率で、常に 1 よりも小なる値であるけれども、ϕ は抵抗係數で常に 1 よりも大なる値であり、$\frac{1}{\phi}$ がその效率に該當する。

又これと同樣に (80) 式は渦巻 ポンプ に對して次のやうな公式となる。

$$\frac{c_2^2-c_1^2}{2g}+\frac{u_2^2-u_1^2}{2g}-\frac{w_2^2-w_1^2}{2g}=\phi H \cdots\cdots\cdots(101)$$

第 103 圖



羽根車の入口 1 及び出口 2 の速度及び角度の關係は第 103 圖に示すやうに (第 72 圖參照)、u_1, u_2 は入口及び出口の羽根車の圓周速度、c_1, c_2 は水の絶對流入及び流出速度、w_1, w_2 は羽根に對する水の相對速度で、w_1 は入口に於

て羽根に接線たることを要し、w_2 は出口に於て羽根に接線的である。又 α_1, α_2 は水の流入及び流出の方向を示す角であり、β_1, β_2 は羽根の入口及び出口角である。

c_1 は羽根車の中に水の流入する速度であつて、その方向は羽根車回轉の影響を受けて多少前方に傾き、角 α_1 は $90°$ よりもやゝ小なるものであるけれども、簡單なためにこれを通例 $90°$ と見なす。然る時は $\cos\alpha_1 = 0$ となり、且入口の速度三角形が直角三角形となり、$c_1^2+u_1^2 = w_1^2$ となるから、(100), (101) の二式は次のやうに非常に簡單になる。

$$u_2c_2\cos\alpha_2 = g\phi H \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(102)$$

$$\frac{c_2^2}{2g}+\frac{u_2^2}{2g}-\frac{w_2^2}{2g} = \phi H \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(103)$$

これ等は渦卷ポンプの羽根車の設計に普通用ゐる公式である〔(79), (81) 式參照〕。

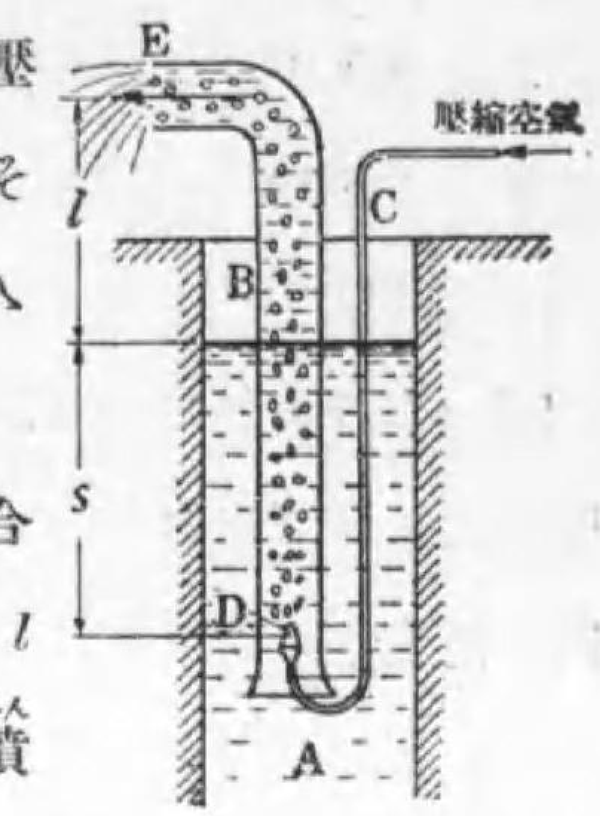
第 5 章　エーヤリフトポンプ その他

89. エーヤリフトポンプ　空氣を小な泡の形にして水に混加する時は、單位容積の水の重さは輕くなる。この理に基き、空氣壓縮機を以て作つた壓縮空氣を水中深く粒狀に噴き出させて水に混加し、それによつて低所の水を高所に上げようとするポンプ、それを **エーヤリフトポンプ** といひ、主として深井戸用ポンプとして用ゐられるものである。

第 104 圖はこのポンプの概要を示す。A は深井戸とし、その中に B なる送出管を立てる。別に C なる細管を井戸の中に挿し込み、その下端 D を送出管 B の下端近くに置く。この D は

空氣を細粒にするために特に造つたもので、これをフートピースといひ、空氣壓縮機で壓縮した空氣を C から送れば、それが D から水中に吹き出して細粒のまゝ水に混加する。

第 104 圖



そのために輕くなつた水と空氣との混合液は、井戸の水面よりも B 管中に於て l だけ高く上り、送出口 E から連續的に噴出する。井戸の水面から D までの深さ s を **サブマーヂエンス** といひ、井戸の水面から噴出口までの高さ l を **リフト** といふ。

l と s とは大凡次のやうな關係にある時に效率がよい。

l が 15 m までの時	$s = (2{\cdot}33-1{\cdot}94)\,l$
15 m から 30 m までの時	$= (1{\cdot}94-1{\cdot}22)\,l$
30 m 〃 60 m 〃	$= (1{\cdot}22-1{\cdot}00)\,l$
60 m 〃 90 m 〃	$= (1{\cdot}00-0{\cdot}755)\,l$
90 m 〃 120 m 〃	$= (0{\cdot}755-0{\cdot}667)\,l$
120 m 〃 150 m 〃	$= (0{\cdot}667-0{\cdot}493)\,l$

又サブマーヂエンス s m、リフト l m の場合に、毎分 1 m³ の割合に水を噴出させるのに必要な常壓に於ける空氣量 V m³ は、次の公式から計算される。

$$V = \frac{l}{C\log\frac{s+10}{10}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(104)$$

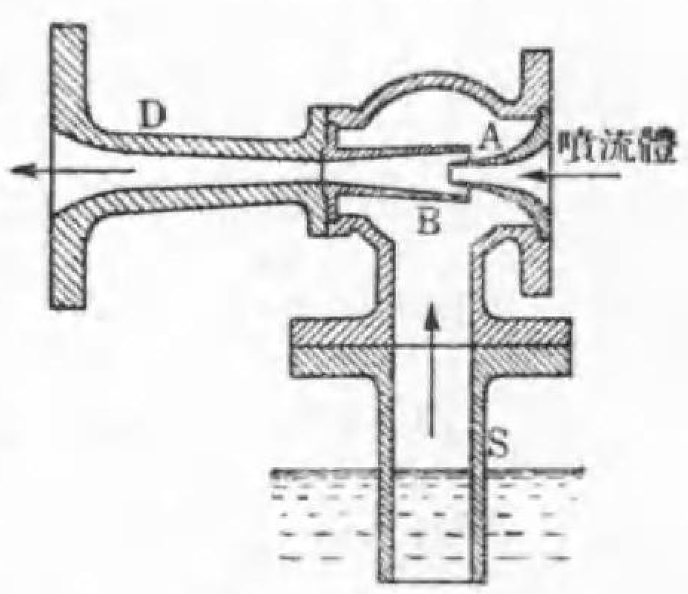
但し log は普通對數で、C は次の如き定數である。

l が 3 m から 18 m までの時　　$C = 15{,}600$

18 m から 60 m までの時	= 14,800
60 m 〃 150 m 〃	= 13,700
150 m 〃 200 m 〃	= 11,800
200 m 〃 230 m 〃	= 9,900

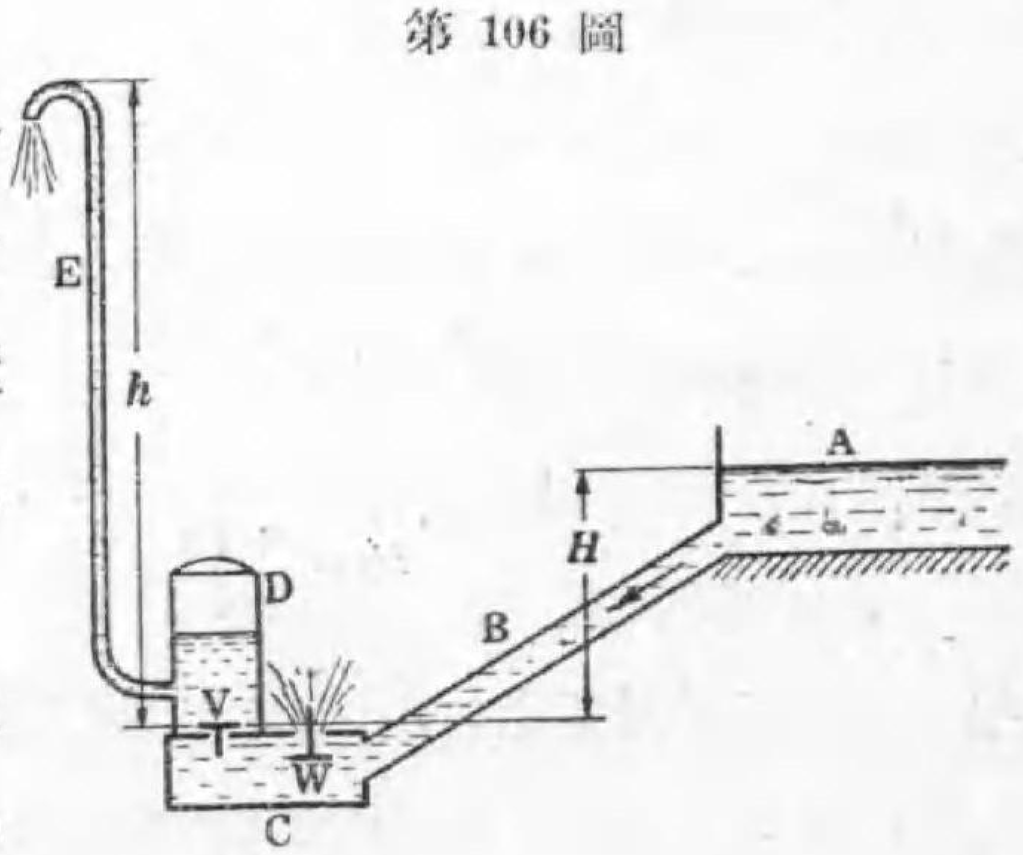
90. エヂェクターポンプ ベルヌイ の定理により、流體の速度が大なれば壓力が降下する。故に壓縮空氣，蒸氣，水の如き流體を筒先から高速度に噴出させると、そこに壓力の降下が起り、それを利用して水を井戸から吸上げ、且それを目的の所に送出することが出來る。この原理に基づく ポンプ が **エヂェクターポンプ** である。

第 105 圖



第 105 圖はこの ポンプ の 1 例を示す。A は筒先で、それから任意の流體を高速度に噴出させると、B なる空所の壓力が降るから、井戸の中の水は吸込管 S から上つて B に達し、噴流體に合して送出管 D から目的の所に送られることになる。

第 106 圖



91. 水槌ポンプ 方法の如何を問はず、凡て低位置にある水を高位置に流れ上げさせる機械は ポンプ である。

水槌ポンプ は、流水速度の急激な變化によつて起る水槌作用を利用した ポンプ で、第 106 圖はその大要を示したものである。A は川，池その他凡て多量に水を保有する貯水場とし、C は水槌 ポンプ で、A と C とを B なる給水管で結ぶ。

W は C に對して內方に開く可なり大な重い瓣、V は C に對して外方に開く送出瓣である。D は空氣 チャムバー、E は送出管である。

さて瓣 W は內方に開くから、A の水は B から流れ下つて C 內に入り、W の孔から外方に溢れ出す。この溢れ出す水の速度は初めは小いけれども、次第に勢を增し、B 內の水の速度も從つて次第に增し、或速度に達すると、W が急に壓し上げられて瓣口を閉塞するやうになる。さうすると C 內の水は出口を遮られ、こゝに水槌作用を起して C 內の壓力が非常に高まり、その高壓によつて送出瓣 V が開き、C 內の水の一部は D 內に逃げ入り、D 內の空氣を壓縮し、それに壓されて送出管 D から目的の高さに送り出される。

水槌作用は一種の波動運動であるから、W が閉塞した瞬間は C 內の壓力は著しく上るけれども、間もなく壓力の著しい降下が起り、そのために W が再び開き、水が W から溢れ出し、以上の動作を自然的に繰り返す。繰り返す度數は B の太さ及び長さと W の大さ及び重さとに關係するものである。

この ポンプ の作用は完全に自動的で、W から溢れ出す水は棄てられてしまふけれども、この棄てられる水があるために、*H* なる低い ヘッド にある多量の水を使つて、その水の一部を *h* な

る高い ヘッド に連續的に上げ得るのである。故にこの ポンプ は多量の水の供給ある場所に於て、その一部を高所に上げようとする時に用ゐて極めて便利なものである。（終）

昭和九年[illegible]日 印刷
昭和九年[illegible]日 發行

水力學及水力機 全

定價金七拾五錢

編輯兼發行者 財團法人 國民工業學院
代表者 井上角五郎
東京市小石川區久堅町一〇八番地
印刷者 君島潔
東京市小石川區久堅町一〇八番地
印刷所 共同印刷株式會社

發行所
財團法人國民工業學院
東京市京橋區銀座六ノ四交詢ビル
電話銀座(57)2-555番
振替東京10.555番

財團法人 國民工業學院の大要

—目　　的—

本學院は工業知識の養成、工業道德の涵養、工業從事者間の氣風の改善を三大目的として之が達成を圖らんが爲に必要なる事業を行ふ。

—財團法人の組織と役員—

本學院は財團法人である。この財團法人は會員が銘々に醵金し又は寄附をなし、然も何等の利益をも受けず、全く營利を離れた公益法人であつて、その役員は下の通りである。

理事長	井上角五郎	總長 顧問	鎌田榮吉	顧問	岡田良平
顧問	工學博士 高松豐吉	顧問	工學博士 曾禰達藏	顧問	工學博士 眞野文二
顧問	工學博士 淺野應輔	顧問	工學博士 青柳榮司	顧問	工學博士男爵 斯波忠三郎
教務部長 理事	工學博士 持田巽	協議委員 理事	橋本圭三郎	協議委員 理事	中川末吉
協議委員 理事	工學博士 牧田環	協議委員 理事	松永安左工門	協議委員 理事	藤原銀次郎
協議委員 理事	鮎川義介	協議委員 理事	三谷一二	理事	岩崎清七
理事	磯村豐太郎	理事	工學博士 今岡純一郎	理事	池尾芳藏
理事	林安繁	理事	濱田彪	理事	小畑源之助
理事	大澤德太郎	理事	岡谷惣助	理事	岡崎忠雄
理事	奧主一郎	理事	鹿島精一	理事	門野幾之進
理事	工學博士 片岡安	理事	金森又一郎	理事	田中博
理事	根津嘉一郎	理事	矢田績	理事	松本健次郎
理事	小林一三	理事	阿部房次郎	理事	青木鎌太郎
理事	清水釘吉	理事	弘世助太郎	監事	岩原謙三
監事	原邦造	監事	大林義雄	監事	大川平三郎
監事	岡本櫻	監事	岡本友三郎	監事	和田嘉衡
監事	中山太一	監事	古田敬德	監事	美濃部俊吉
監事	日比谷平左衞門	監事	平井權七	監事	杉山榮
監事	鈴木梅四郎				

―事　業―

本學院は前記三大目的を達成せんが爲に、その第一期事業として昭和六年十月より工業通信教授を開始して專ら工業の學識を授けると共に、工業道德の涵養に資し、兼ねて工業從事者間の氣風改善に努力して居るのである。通信教授の概要は次の通である。

通信教授

本科・科目　機械科・電氣科・工業化學科・冶金科・土木科・建築科・採鑛科

各學科共工業學識に兼ねて工業道德を教授する。

專修科・科目及學費　（教科書送料は本學院負擔）

科目	學費	科目	學費	科目	學費
幾何畫法	圓錢 1,20	電氣工學 卷一 電氣及磁氣、交流理論 電氣測定、電氣材料	圓錢 1,00	冶金學 卷二 非鐵冶金	圓錢 1,00
物理學	1,20	電氣工學 卷二 電氣機械器具	1,20	冶金學 卷三 鐵冶金	1,00
工業材料	75	電氣工學 卷三 電燈、電力、電熱、電池、送電及配電	1,20	冶金學 卷四 合金學、金屬顯微鏡及加工學	1,00
實用力學	75	電氣工學 卷四 發電所、電氣鐵道、電信、電話	1,20	測量	1,00
材料强弱學	75	建築法規工場建築及機械基礎	75	應用力學 卷一	1,00
水力學及水力機	75	化學	75	應用力學 卷二	1,00
機械製作法	1,20	無機化學	1,20	建築材料	1,00
工作機械及工具	1,00	有機化學	1,00	土木工學 卷一 土工、基礎工	75
機構	75	分析化學 卷一 定性分析	75	土木工學 卷二 擁壁、堰堤、石拱橋、隧道、橋梁、鐵道、發電水力	1,20
汽罐及汽機	75	分析化學 卷二 定量分析	1,00	土木工學 卷三 道路及都市計畫、港灣及河川、上水道及下水道	1,00
蒸氣タービン	75	工業化學 卷一 工業化學總論	1,00	建築構造學	1,20
內燃機	75	工業化學 卷二 窯業、曹達、酸類、肥料、顔料等	1,00	採鑛學	1,20
船舶學大意	75	工業化學 卷三 脂肪、石油、燃料、コールタール、染料、染色、纖維、紙、セルロイド、人造絹糸等	1,20	機械工學大意	1,20
航空學大意	75	工業化學 卷四 澱粉、砂糖、醱酵、ゴム、革、香料、火藥、瓦斯等	1,00	電氣工學大意	1,00
機械設計及製圖	1,20	冶金學 卷一 冶金學總論	1,00	製圖及透視畫法	75

專修科は本科在學中又は修了後各自に必要な科目を選擇速修することが出來、苟くも工業に志す人々の勉學に全きを期して居る。

修業期間　本科は各科共に一ヶ年半とし、專修科は各科共三ヶ月である。

新學期　本科は毎年四月と十月の兩度に開始する。但し隨時入學を許すことにしてある。

專修科は別に學期を定めない。何時でも入學することが出來る

學費　學費は下に示すが如く低廉である。

科別＼月數	一ヶ月前納	三ヶ月前納	六ヶ月前納	一ヶ年前納	一ヶ年半前納
本科	錢 65	圓錢 1,75	圓錢 3,25	圓錢 6,00	圓錢 8,75
專修科	各科目毎に之を定める（前掲）				

尙學費は、多數共同して申込まれる場合は、特別に割引する方法を設けて居る。同一工場に從事せられる諸君はこの方法に依られるのが便利である。詳細は問合されたし。

特典　修業期間中教科書中の疑義に關し **質問** することが出來る、質問はその趣旨を所定の用紙に簡單に記載し、返信料（三錢郵便切手）を添付して差出すこと。

本科修了者には **修了證書** を、專修科修了者には希望に依り **修了證明書** を附與する。

前項の修了者には **院友徽章** を附與する。

內容見本　本學院通信教授の詳細は「內容見本」に依つて明かであるが、內容見本は ハガキ で申込めば無代で進呈する。

申込所は　東京・銀座・交詢ビル　財團法人 國民工業學院

―特　別　冊　子―

工業道德に關しては、隨時特別冊子として、工業道德の要諦を編纂して本科の生徒に無代配布する。

本科學期の最初に進呈する特別冊子は、下の通りである。

前文部大臣、樞密顧問官
帝國教育會々長
財團法人國民工業學院總長
鎌田榮吉先生著

國民の三大要道

全一冊九ポイント組
菊判二百餘頁

從來容易に執筆されぬ鎌田先生が、特に本學院生徒の爲に心血を注いで著述された稀有の處世訓で、立身，立家，立國の三大要道を說き、現代青年に適切なる幾多の活教訓を與ふ。

以後引續き下の如き特別冊子を發行無代配布する豫定である。

財團法人 國民工業學院理事長
井上角五郎先生編纂

作業心得

全一冊九ポイント組
菊判百數十頁

工業從事者の作業上最も必要な心得を能率增進，產業合理化の趣旨に照して編纂した作業者必携の要書。

慶應大學教授法學博士
財團法人國民工業學院教務委員
氣賀勘重先生著

經濟原論

全一冊九ポイント組
菊判百數十頁

生產を增進させ一般の所得を增大させること、それが國民經濟の進步である。我國經濟界の泰斗氣賀先生が特に諸子の爲に最も平明にその原理を論ぜらる。

財團法人
國民工業學院編纂

我々は諸君に何を望むか

前編　菊判二百餘頁
後編　同　百數十頁

本學院會員百數十氏に新に執筆を請うたもので、現代產業界の耆宿要人を悉く網羅した觀がある。各胸襟を披いて諸君に向つて望むところは果して何？

正　誤　表

頁	行	誤	正
5	7	蒸氣罐内の　　やうに	蒸氣罐内の水のやうに
19	16	$\frac{P_2-p_1}{r}$	$\frac{P_2-p_1}{\gamma}$
21	13	式（44）	式（22）
22	15	$r_1=O$　p_1 た O と	$r_1=0$　p_1 た 0 と
23	13	$\frac{F^{0}}{\gamma}$	$\frac{P_0}{\gamma}$
25	2	水槽 C と	水槽 B と
26	18 20	$\sqrt{2gH^{\frac{3}{2}}}$	$\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}$
67	7	$C\sqrt{2gH}$	$Cr\sqrt{2gH}$
90	2. 3. 6. 下より 2	揚	揚

終