第6章　動水壓及び水力機械

1. 動　水　壓[1]

流水がその運動によつて固體に及ぼす壓力を動水壓と言ふ。圖-131 の様な流量 Q の射出水[2]が固體に當る場合には，流れが A に於て2分して B

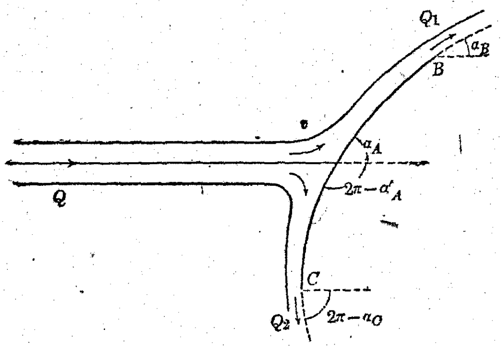


圖-131

に向つて Q_1, C に向つて Q_2 が流れるものとする。dt 時間には A と B の間の何れの斷面でも質量 $\dfrac{w_0Q_1}{g}dt$ の水が流れ，その有する加速度は $\dfrac{dv}{dt}$ であるから，之だけの水に及ぼす外力は $\dfrac{\rho Q_1}{g}dt\times\dfrac{dv}{dt}$ であつて，之の方向を反對にしたものが流れによる固體への動水壓である。この計算を x 及び y 方向の成分に分けて行へば，固體全體に働く動水壓 P_x 及び P_y は

$$P_x=-\frac{w_0Q_1}{g}\int_A^B dv_x-\frac{w_0Q_2}{g}\int_A^C dv_x$$

$$\therefore\quad P_x=-\frac{w_0Q_1}{g}\Big[v_x\Big]_A^B-\frac{w_0Q_2}{g}\Big[v_x\Big]_A^C\ \Bigg\}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

1) Dynamic pressure.　2) Jet.

$$P_y = -\frac{w_0Q_1}{g}\left[v_y\right]_A^B - \frac{w_0Q_2}{g}\left[v_y\right]_A^C \Bigg\}$$

A に於ける速度の B に向ふものを v_A, C に向ふものを v_A', B 及び C に於ける速度を v_B, v_C とし，各點に於ける固體面の傾きを夫々 圖-131 に示す樣に α_A, α_A', α_B 及び α_C とすれば

$$\left.\begin{aligned} P_x &= \frac{w_0Q_1}{g}(v_A\cos\alpha_A - v_B\cos\alpha_B) + \frac{w_0Q_2}{g}(v_A'\cos\alpha_A' - v_C\cos\alpha_C) \\ P_y &= \frac{w_0Q_1}{g}(v_A\sin\alpha_A - v_B\sin\alpha_B) + \frac{w_0Q_2}{g}(v_A'\sin\alpha_A' - v_C\sin\alpha_C) \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(2)$$

次に固體が或速度を以て動いてゐる場合を考へれば，固體の運動方向に x 軸を取り，兩端 A, B に於ける水の絶對速度及び固體との相對速度を v_A, v_B 及び w_A, w_B とし，固體の速度を兩端にて u_A 及び u_B とする。圖-132 に示す樣に u_A, v_A, w_A 及び u_B, v_B, w_B のベクトルは夫々閉止三角形を作り，又 w_B は固體面に切線の方向を持つてゐる。固體が直線的に動く時は $u_A = u_B = u$ でよい。

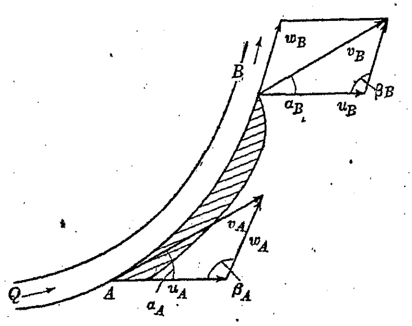


圖-132

水の運動の方程式は (1) 及び (2) を求めた場合と同じであるから，運動方向の動水壓 P は

$$P = \frac{w_0Q}{g}(v_A\cos\alpha_A - v_B\cos\alpha_B)$$

u の方向と w の方向のなす角を $\pi - \beta$ とすれば

$$v_A\cos\alpha_A = u_A - w_A\cos\beta_A, \quad v_B\cos\alpha_B = u_B - w_B\cos\beta_B$$

$$\therefore \quad P = \frac{w_0Q}{g}(u_A - u_B - w_A\cos\beta_A + w_B\cos\beta_B) \cdots\cdots(3)$$

$u_A = u_B = u$ の時は

$$P = \frac{w_0Q}{g}(-w_A\cos\beta_A + w_B\cos\beta_B) \cdots\cdots(4)$$

その時に水が單位時間になす仕事量は

$$E = \frac{w_0Q}{g}u(-w_A\cos\beta_A + w_B\cos\beta_B) \cdots\cdots(5)$$

2. 水タービン[3)]

水タービンは水の動壓力を原動力として軸の周りの回轉を起させ，之によつて發電機を回轉させて發電するものである。

圖-133 の樣に翼が圓周上に並び，水は外から内に向つて絶對速度 v_1 で流入し，v_2 で流出するものとし，翼に對する流入及び流出の相對速度を w_1, w_2 とする。又翼の速度は流入點で u_1，流出點で u_2，軸からの距離を r，圓周への切線方向からの傾きを α とすれば，dt の時間に流れる量 Qdt の有する角運動量は

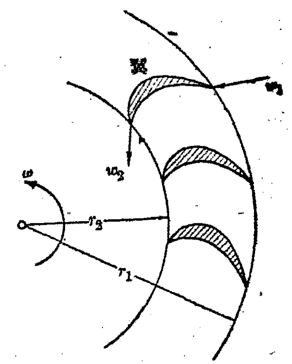


圖-133

$$\frac{w_0Q}{g}dt(rv\cos\alpha)$$

であつて，之の變化の割合は軸の周りに働くトルク[4)]の符號を反對にしたものである故にこのトルクを T_r とすれば

$$T_r = \frac{w_0Q}{g}\int_2^1 d(rv\cos\alpha)$$

$$\therefore \quad T_r = \frac{w_0Q}{g}(r_1v_1\cos\alpha_1 - r_2v_2\cos\alpha_2) \cdots\cdots(6)$$

軸の回轉の角速度を ω とすれば，$u_1 = \omega r_1$, $u_2 = \omega r_2$ であつて，水が

3) Water turbine. 4) Torque.

タービンに與へるエネルギーは單位時間につき

$$E = T_r \cdot \omega = \frac{w_0 Q}{g}(u_1 v_1 \cos \alpha_1 - u_2 v_2 \cos \alpha_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

Q なる水量が H の高さにある時に有するエネルギーは w_0QH であるから，その中で實際に利用される落差を H_w とすれば

$$E = w_0 Q H_w = \frac{w_0 Q}{g}(u_1 v_1 \cos \alpha_1 - u_2 v_2 \cos \alpha_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

$H - H_w$ はタービン中の抵抗の爲に失はれる落差である。又 H_w はタービンの中で利用されるヘッドであるから，タービンに入る時の全エネルギーを $\frac{p_1}{w_0} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g}$，出る時の全エネルギーを $\frac{p^2}{w_0} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$，ヘッドの損失を h_r とすれば

$$\left(\frac{p_1}{w_0} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_2}{w_0} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g}\right) = H_w + h_r$$

この中に (8) を代入し，更に

$$v_1^2 = u_1^2 + w_1^2 - 2u_1 w_1 \cos \beta_1, \quad v_2^2 = u_2^2 + w_2^2 - 2u_2 w_2 \cos \beta_2$$

$$v_1 \cos \alpha_1 = u_1 - w_1 \cos \beta_1, \quad v_2 \cos \alpha_2 = u_2 - w_2 \cos \beta_2$$

と書いて上の式を書き直せば

$$\left(\frac{p_1}{w_0} + h_1 + \frac{w_1^2 - u_1^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_2}{w_0} + h_2 + \frac{w_2^2 - u_2^2}{2g}\right) = h_r \quad \cdots\cdots(9)$$

タービンの流入口と流出口の高さが等しければ

$$\frac{p_1 - p_2}{w_0} - h_r = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

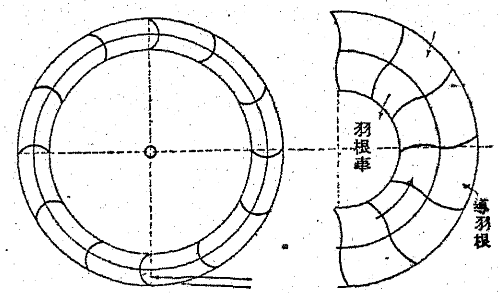
水タービンには大體衝動タービン[5]と反動タービン[6]の2種がある。衝動タービンとは 圖-134 の (a) の樣にノヅルから出た射出水を水承けに受けて回轉するものであつて；反動タービンは圖の (b) の樣に固定した導羽根から水を入れて，その水が羽根車を通過する時の反動で之を回轉させるものである。

5) Impulse turbine. 6) Reaction turbine.

尙或タービンと相似形で 1 m の落差の下に 1 馬力を出す樣なタービンを單位タービン[7]と言ひ，その回轉速度をそのタービンの特有速度[8]と言ふ。落差 H の時に回轉數 n で $\frac{1}{75}(1{,}000\,\eta QH)$ の軸馬力[9] (但し η は效率，單位は kg-m 秒 である) を出すならば，このタービンの特有速度は

$$n_s = n\left[\frac{1}{75}(1{,}000\,\eta QH)\right]^{\frac{1}{2}} H^{-\frac{5}{4}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

で與へられる。特有速度の大きいタービンを高速度タービン，小さいものを



(a) (b)

圖-134

低速度タービンと稱する。

3. ペルトン水車[10]

ペルトン水車は衝動タービンの代表的のものであつて，高落差で比較的流量の小さい場合に適するが，特有速度は小さく低速タービンに屬してゐる。

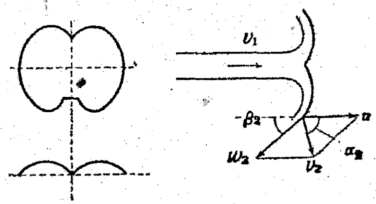


圖-135

水承け[11]の形は 圖-135 の樣になつてノヅル[12]からの噴出水が左右に2分する樣になつてゐる。中心から

7) Unit turbine. 8) Specific speed. 9) Shaft horse power.
10) Pelton turbine. 11) Bucket. 12) Nozzle.

水承けまでの距離を $\frac{D}{2}$，回轉數を毎分 n 回とし，速度は總べて m/秒 を用ひれば

$$u=\frac{n\pi D}{60}, \qquad w_1=v_1-u$$

毎秒水承けに當る水量を Q m³ とすれば (4) から

$$P=\frac{w_0Q}{g}(-w_1\cos\beta_1+w_2\cos\beta_2)$$

然るに $\beta_1=\pi$ であるから

$$P=\frac{w_0Q}{g}(v_1-u+w_2\cos\beta_2)\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

w_2 の値はタービンを通る間のヘッドの損失 h_r を知れば，(10) に於て $p_1=p_2$ として求められる。トルクは $r_1=r_2=\frac{D}{2}$ として (6) から

$$\left.\begin{aligned}T_r&=\frac{w_0Q}{g}\,\frac{D}{2}(v_1-v_2\cos\alpha_2)\\&=\frac{w_0Q}{g}\,\frac{D}{2}(v_1-u+w_2\cos\beta_2)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(13)$$

水が單位時間にタービンに與へるエネルギーは (7) から

$$E=\frac{w_0Q}{g}u(v_1-u+w_2\cos\beta_2)\cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

水承けの效率 η_1 は E を最初のエネルギー $\frac{w_0Qv_1^2}{2g}$ で除したものであるから

$$\eta_1=2\frac{u}{v_1}\left(1-\frac{u}{v_1}+\frac{w_2}{v_1}\cos\beta_2\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

タービン全體としての效率は全落差を H とすれば

$$\eta=\frac{E}{w_0QH}$$

であつて，$\frac{\eta}{\eta_1}$ はノヅルの效率である。

4. フランシス水車[13]

フラスシス水車は反動水車の代表的なものであつて，比較的低落差で大流量に適してゐる。羽根車[14]には色々な型があつて，之によつて低速度のものも高速度のものもある。

圖-136 は竪軸のフランシス水車の構造を示すもので，G は導羽根，[15] R は羽根車である。又 T は吸出管[16]と言ひ排水溝までの落差 h_2 を有效に使用する爲に設けたものである。

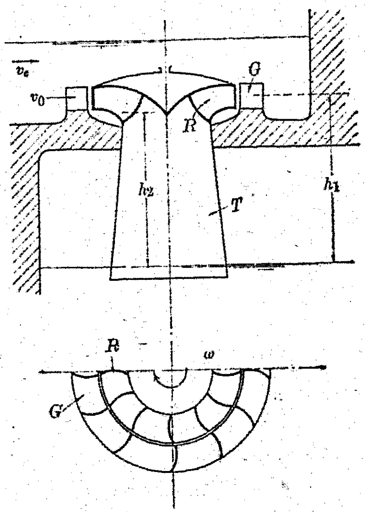


圖-136

排水溝の水面を基準とした高さ h，水壓の強さ p，及び速度 v を導羽根出口にて h_0, p_0, v_0，羽根車入口にて h_1, p_1, v_1，その出口にて h_2, p_2, v_2，吸出管入口にて h_3, p_3, v_3，その出口にて $-h_4, p_4, v_4$，水車に入る導水路の水面の高さを h_e，導水路内の速度を v_e とする。

導水路から導羽根に入つて之を通過する間のヘッドの損失は $\zeta_0\frac{v_0^2}{2g}$ の形で與へられる。更に水が導羽根から羽根車に入る時のヘッドの損失を $\zeta_1\frac{v_1^2}{2g}$ とすれば

$$\begin{aligned}h_e+\frac{p_a}{w_0}+\frac{v_e^2}{2g}-\zeta_0\frac{v_0^2}{2g}&=h_0+\frac{p_0}{w_0}+\frac{v_0^2}{2g}\\&=h_1+\frac{p_1}{w_0}+\frac{v_1^2}{2g}+\zeta_1\frac{v_1^2}{2g}\cdots\cdots(16)^{17)}\end{aligned}$$

羽根車の中の流れに對しては (9) に於て $h_r=\zeta_2\frac{w_2^2}{2g}$ と書けば

---

13) Francis turbine. 14) Runner 15) Guide vane,
16) Draft tube. 17) p_a は大氣壓の强さ。

$$h_1 - h_2 + \frac{p_1 - p_2}{w_0} - \zeta_2 \frac{w_2^2}{2g} = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} \quad \cdots\cdots(17)$$

但し v_1 及び v_2 は夫々 w_1 及び w_2 と回轉の線速度 u_1 及び u_2 との合速度である。

水が羽根車を出てから吸出管に入るまでの損失を $\zeta_3 \frac{v_2^2}{2g}$ を以て表せば

$$h_2 + \frac{p_2}{w_0} + \frac{v_2^2}{2g} = h_3 + \frac{p_3}{w_0} + \frac{v_3^2}{2g} + \zeta_3 \frac{v_2^2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

吸出管の出口に於ける高さ，壓力，速度 $-h_4$, p_4, v_4 に對し，吸出管の中及び出口に於ての損失を $\zeta_4 \frac{v_2^2}{2g}$ と書けば，吸出管内の流れに對しては

$$h_3 + \frac{p_3}{w_0} + \frac{v_3^2}{2g} = -h_4 + \frac{p_4}{w_0} + \frac{v_4^2}{2g} + \zeta_4 \frac{v_2^2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

(16), (17), (18), (19) から順次に h_0, h_1, h_2, h_3, p_0, p_1, p_2, p_3 等を消去して行けば，結局次の式が得られる。

$$\left(h_e + \frac{p_a}{w_0} + \frac{v_e^2}{2g}\right) - \left(-h_4 + \frac{p_4}{w_0}\right) - \left(\zeta_0 \frac{v_0^2}{2g} + \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g}\right.$$
$$\left. + \zeta_2 \frac{w_2^2}{2g} + \zeta_3 \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_4 \frac{v_2^2}{2g} + \frac{v_4^2}{2g}\right) = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$
$$+ \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

$\frac{p_4}{w_0} = \frac{p_a}{w_0} + h_4$ と見做す事が出來るから，(20) の最初の 2 つの括弧をまとめれば（普通は $p_a=0$ と取る）

$$h_e + \frac{v_e^2}{2g} = (\text{全落差}) - \frac{v_4^2}{2g} = H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

$\frac{v_4^2}{2g}$ は回收出來ないエネルギーでタービンとしては止むを得ない損失であるから，H は有效落差と見る事が出來る。

圖-137 の樣な羽根車に毎秒 Q の流量の水が入る時の水の爲す仕事は (7) により

$$E = \frac{w_0 Q}{g}(u_1 v_1 \cos\alpha_1 - u_2 v_2 \cos\alpha_2)$$

であるから，之を m-kg-秒 單位で表せば，この仕事は $\frac{w_0 Q}{75}(u_1 v_1 \cos\alpha_1 - u_2 v_2 \cos\alpha_2)$ 馬力に相當する。又有效落差 H の水の出し得る理論的の動力は $w_0 QH$ であるから

$$\eta_h = \frac{E}{w_0 QH} = \frac{1}{gH}(u_1 v_1 \cos\alpha_1 - u_2 v_2 \cos\alpha_2) \cdots(22)$$

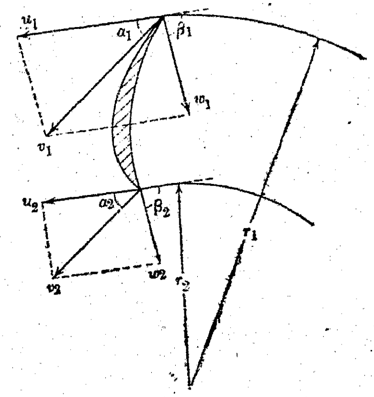


圖-137

と書いて，η_h を水力效率[18]と稱する。

然るに

$$w_1^2 = u_1^2 + v_1^2 - 2u_1 v_1 \cos\alpha_1$$
$$w_2^2 = u_2^2 - v_2^2 - 2u_2 v_2 \cos\alpha_2$$
$$\therefore \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} = \frac{1}{g}(u_1 v_1 \cos\alpha_1 - u_2 v_2 \cos\alpha_2)$$

之を (22) に代入すれば

$$\eta_h H = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

(20), (21) 及び (23) から

$$\eta_h = 1 - \left[\frac{\zeta_0}{H}\frac{v_0^2}{2g} + \frac{\zeta_1}{H}\frac{v_1^2}{2g} + \frac{\zeta_2}{H}\frac{w_2^2}{2g} + \frac{1}{H}\left(\zeta_3 \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_4 \frac{v_2^2}{2g} + \frac{v_4^2}{2g}\right)\right] \quad \cdots\cdots\cdots(24)$$

高速度のフランシス水車では吸出管の形によつて水力效率が著しく影響されるので，吸出管に對しては色々な形が考案されてゐる。その中の 2,3 の例

18) Hydraulic efficiency.

を擧げれば 圖-138 及び 圖-139 の様なものがある。又 圖-140 の様な曲管になつた吸出管もある

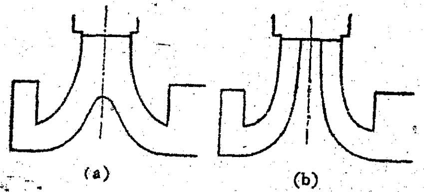


圖-138 Moody 擴散管

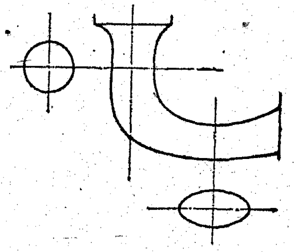


圖-140

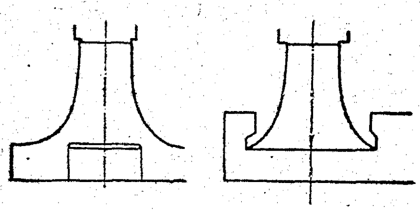


圖-139 White 圓錐型吸出管

5. プロペラ水車[19]

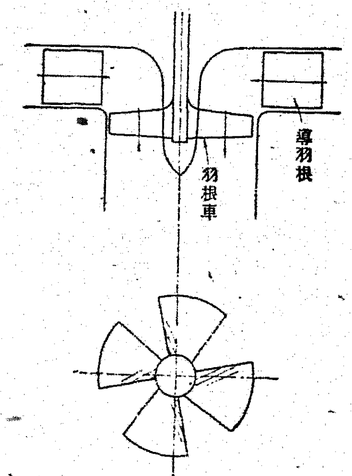


圖-141

低落差で流量の比較的大きい場合には，フランシス水車の變形したプロペラ水車を用ひる。之は高速タービンであつて羽根の數が少く，フランシス水車の様な羽根車の外輪がない。カプラン水車はプロペラ水車の一例であつて，圖-141 の様に羽根車の羽根の數は 4 枚で，之を通過する時には水は軸方向に流れる。

記號は之までに用ひたもの，他に水流の水車軸方向の速度成分を v_m，羽根外周への切線方向の速度成分を v_u とし，

19) Propeller turbine

羽根車への入口及び出口に對して夫々添字 1 及び 2 を付ける。

羽根車に働き得る有效落差を H' とすれば (8) から

$$gH' = u(v_{u1} - v_{u2}) \quad \cdots\cdots(25)$$

羽根車中央斷面の單位面積當りに作用する力を考へ，P をその w 方向の成分，P' を w に垂直方向の成分，R を P と P' の合力とすれば，u と $-w$ とのなす角 β は

$$\tan\beta = \frac{v_m}{u - \frac{1}{2}(v_{u1} + v_{u2})} \quad \cdots\cdots(26)$$

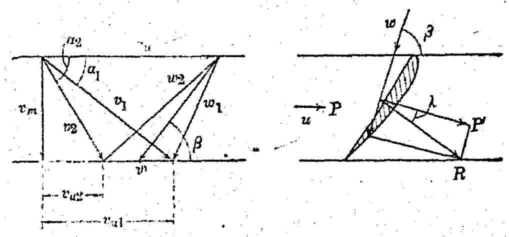


圖-142 羽根車外周側面の速度圖

故に單位面積當りの單位時間の仕事量 E は

$$E = (P' \sin\beta - P\cos\beta)\,u$$

$$\therefore \quad E = R(\cos\lambda \sin\beta - \sin\lambda \cos\beta)\,u = Ru\sin(\beta - \lambda) \quad \cdots(27)$$

然るに E は落差 H' の水が v_m の速度によつて爲す仕事であるから，(25) を用ひて

$$E = w_0 v_m H' = \frac{w_0}{g} u v_m (v_{u1} - v_{u2})$$

之と (27) から

$$R\sin(\beta - \lambda) = \frac{w_0}{g} v_m (v_{u1} - v_{u2}) \quad \cdots\cdots(28)$$

水車軸の方向の力の關係は．

$$R\cos(\beta - \lambda) = w_0(h_1 - h_2) + p_1 - p_2 \quad \cdots\cdots(29)$$

羽根車の效率を η とすれば

$$\eta = \frac{E}{E + Pw} = \frac{1}{1 + \dfrac{\sin\lambda}{\sin(\beta - \lambda)} \cdot \dfrac{w}{u}} \quad \cdots\cdots(30)$$

尙何れの水車でも負荷の急變による水衝作用を緩和する爲に制壓機が附いてゐる。

6. 渦巻ポンプ[20]

ポンプは水車の働きを反對にしたものと見る事が出來るが，渦巻ポンプはフランシス水車の作用を反對にしたものである。導羽根に相當するものは無い場合と有る場合があり，後者を特にタービンポンプと稱する。

圖-143 に示す様な渦巻ポンプでは水は吸水瓣から吸水管に入り，回轉する羽根車[21]の翼の間を通過して外室に出で，與へられた速度ヘッドによつて H_1 のヘッドに打ち勝つて排水管を昇る。吸水管の高さ H_0 は大氣壓 p_a に相當するヘッド $\frac{p_a}{w_0}$ よりも小さい事が必要で，一般には 8 m 程度までゝある。

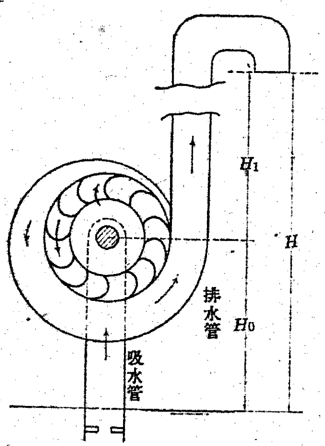


圖-143

水は羽根車の內側から v_1 の速度を以て入り，羽根車の回轉 ω の爲に外側に向つて v_2 の速度を與へられる。前と同じく水と羽根車の相對速度を w_1, w_2, 車の內側及び外側の線速度を u_1, u_2 とすれば，$u_1 = r_1\omega$, $u_2 = r_2\omega$ である。この場合は E なる仕事をして速度を v_1 から v_2 に變化させるのであるから，揚水する流量を Q とすれば

20) Centrifugal pump.　21) Impeller.

$$E = \frac{w_0}{g} Q\omega (v_2 r_2 \cos\alpha_2 - v_1 r_1 \cos\alpha_1)$$

$$\therefore \quad E = \frac{w_0}{g} Q (u_2 v_2 \cos\alpha_2 - u_1 v_1 \cos\alpha_1) \quad \cdots\cdots(31)$$

效率 η のポンプを用ひて，E なるエネルギーによつて毎秒 Q の水を H の高さに揚げるものとすれば

$$\eta E = w_0 Q H$$

從つて (31) に代入すれば

$$u_2 v_2 \cos\alpha_2 - u_1 v_1 \cos\alpha_1 = \frac{1}{\eta} g H \quad \cdots\cdots(32)$$

更に前と同樣にして v, u, w の關係を用ひて書き直せば

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} = \frac{H}{\eta} \quad \cdots\cdots(33)$$

效率 η は (24) の場合と同じ方法によつて求める事が出來る。但し (24) 中の最後の項 $\frac{v_4^2}{2g}$ は排水管から流れ出る水の速度ヘッドになる。ヘッドの損失の總計を h_r' とすれば

$$E = w_0 Q \left(H + \frac{v_4^2}{2g} + h_r' \right)$$

その中で有效に使用された仕事量は $w_0 Q H$ であるから，管路を含めてのポンプの效率は

$$\eta' = \frac{H}{H + \dfrac{v_4^2}{2g} + h_r'} \quad \cdots\cdots(34)$$

7. ハイドロリックラム[22]

僅かの落差を利用して水を流し水衝作用によつて流水の一部を高所に揚げるものである。その構造は圖-144 に示す様なものであつて，先づ瓣 V_2 を手で押し開けて落差 H' によつて水を流して居て急に手を離す。V_2 は急に

22) Hydraulic ram.

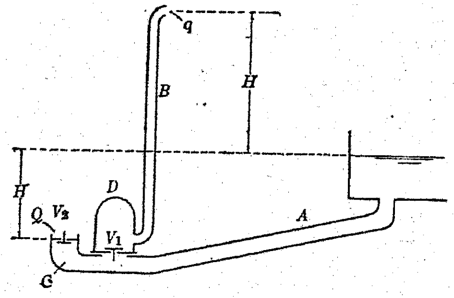


圖-144

閉ぢて水衝作用によつて瓣 V_1 が開き，水は D から管 B の方に流出する。暫くすれば D の中の壓力は下り B からの流出は止んで，瓣 V_1 は閉ぢ様とする。然し瓣には慣性があるから流出が止まるよりも幾分遲れて瓣が閉ぢる。従つて高壓の水は一部分 V_1 から逆流して圓筒部 C に入る。この時 V_2 は未だ閉ぢてゐるから管 A 内の水は逆流を初め，瓣 V_1 が閉ぢても慣性の爲にこの逆流は少し續く。従つて C の中が低壓になつて瓣 V_2 が開く。その中に管 A 内の水は再び C の方に向つて流れる様になり，V_2 から流出し始める。この流出が盛んになると V_2 は動水壓の爲に急に閉ぢる。斯くして再び管内に水衝作用が起つて上に述べた經過を繰返へす。

ハイドロリックラムの效率は揚水の高さを H，揚水流量を q，瓣 V_2 からの流出量を Q で表せば，次の2様の表し方がある。

$$\eta_1 = \frac{qH}{QH'}, \qquad \eta_2 = \frac{q(H+H')}{(Q+q)H'}$$

〔問題 1〕 效率約 55% の渦巻ポンプに排水管を附けて毎秒 0·06 m³ の水を 25 m の高さに揚げるには何馬力を要するか。但し取付けた排水管は長さ 30 m，内徑 10 cm の鑄鐵管とする。

(解) 排水管内の速度は

$$v = \frac{4 \times 0\cdot06}{\pi \times 0\cdot1^2} = 7\cdot65\ \text{m/秒}$$

従つて排水管内のヘッドの損失はマンニングの公式を用ひて計算すれば，$n = 0\cdot013$ として

$$\frac{4v^2}{C^2D}l = \frac{4v^2}{\frac{1}{n^2}\left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{1}{3}}D}l = \frac{4 \times 7\cdot65^2}{\frac{1}{0\cdot013^2}\left(\frac{0\cdot1}{4}\right)^{\frac{1}{3}} \times 0\cdot1} \times 30 = 40\cdot6\ \text{m}$$

ポンプの中でのヘッドの損失は落差 H の時に $\eta = 0\cdot55$ となるものと考へて

$$h_r = \frac{H}{\eta} - \left(H + \frac{v^2}{2g}\right)$$

を以て表せば，要する仕事量は

$$E = w_0 Q\left(H + \frac{v^2}{2g} + \frac{4v^2}{C^2D}l + h_r\right)$$
$$= w_0 Q\left(\frac{H}{\eta} + \frac{4v^2}{C^2D}l\right)$$

之を計算すれば $E = 5\cdot17$ ton-m/秒 になる。従つて必要な馬力數は $\frac{1,000}{75} \times 5\cdot17 = 68\cdot9$ 馬力 である。

〔練 習 問 題〕

1. 有效落差65 m，流量 0·05 m³/秒 の地點に $D = 2\cdot6$ m のペルトン水車を設けた場合の水車の出力を求めよ。但し $\beta_2 = 45°$，回轉數は毎分 360，水承内のヘッドの損失を

$$\frac{w_1^2}{2g} - \frac{w_2^2}{2h} = \zeta_2 \frac{w_2^2}{2g}$$

で表した時に $\zeta_2 = 0\cdot1$ とする。

2. 上の問題の水車の效率及び水承の效率を計算せよ。

3. フランシス水車で導羽根出口角 $\alpha_0 = 20°$，羽根車出口角 $\beta_2 = 30°$，羽根車の入口及び出口の半徑が夫々 $r_1 = 0\cdot2$ m 及び $r_2 = 0\cdot12$ m，導羽根出口面積 $A_0 = 250\ \text{cm}^2$，羽根車出口面積 $A_2 = 360\ \text{cm}^2$，羽根車の入口と出口は高さの差がなく，ヘッドの損失は $\zeta_0 = 0\cdot05$，$\zeta_2 = 0\cdot2$，$\zeta_1 = \zeta_3 = \zeta_4 = 0$ とする。$H = 10$ m，回轉數が毎分 400，流量 0·12 m³/秒 である時に，羽根車の利用するヘッド，水力效率，羽根車の入口及び出口に於ける壓力差及び馬力數を計算せよ。但し $\alpha_1 = \alpha_0$，$v_1 = v_0 = \frac{Q}{A_0}$ とする。

4. 上の問題に於て羽根車内のヘッドの損失及び吸出管の出口にて棄てられるヘッドを計算せる。

5. 上の問題と同型の水車で $H = 15\,\mathrm{m}$ の落差で 50 馬力を出すには何程の流量を必要とするか。

6. 毎秒 $0{\cdot}01\,\mathrm{m}^3$ の水を渦巻ポンプによつて $12\,\mathrm{m}$ の高さに揚げるのに，内徑 10 cm，長さ $18\,\mathrm{m}$ の鑄鐵管を用ひた。この時のポンプの效率が 50% ならば，ポンプ内のヘッドの損失を $\zeta\dfrac{v^2}{2g}$（v は管內速度）で表した時の ζ の値は何程か。

7. 上の問題と同じポンプを用ひて $Q = 0{\cdot}025\,\mathrm{m}^3/$秒 の水を $15\,\mathrm{m}$ の高さに揚げるには何馬力を要するか。但し管の長さは $20\,\mathrm{m}$ とする。