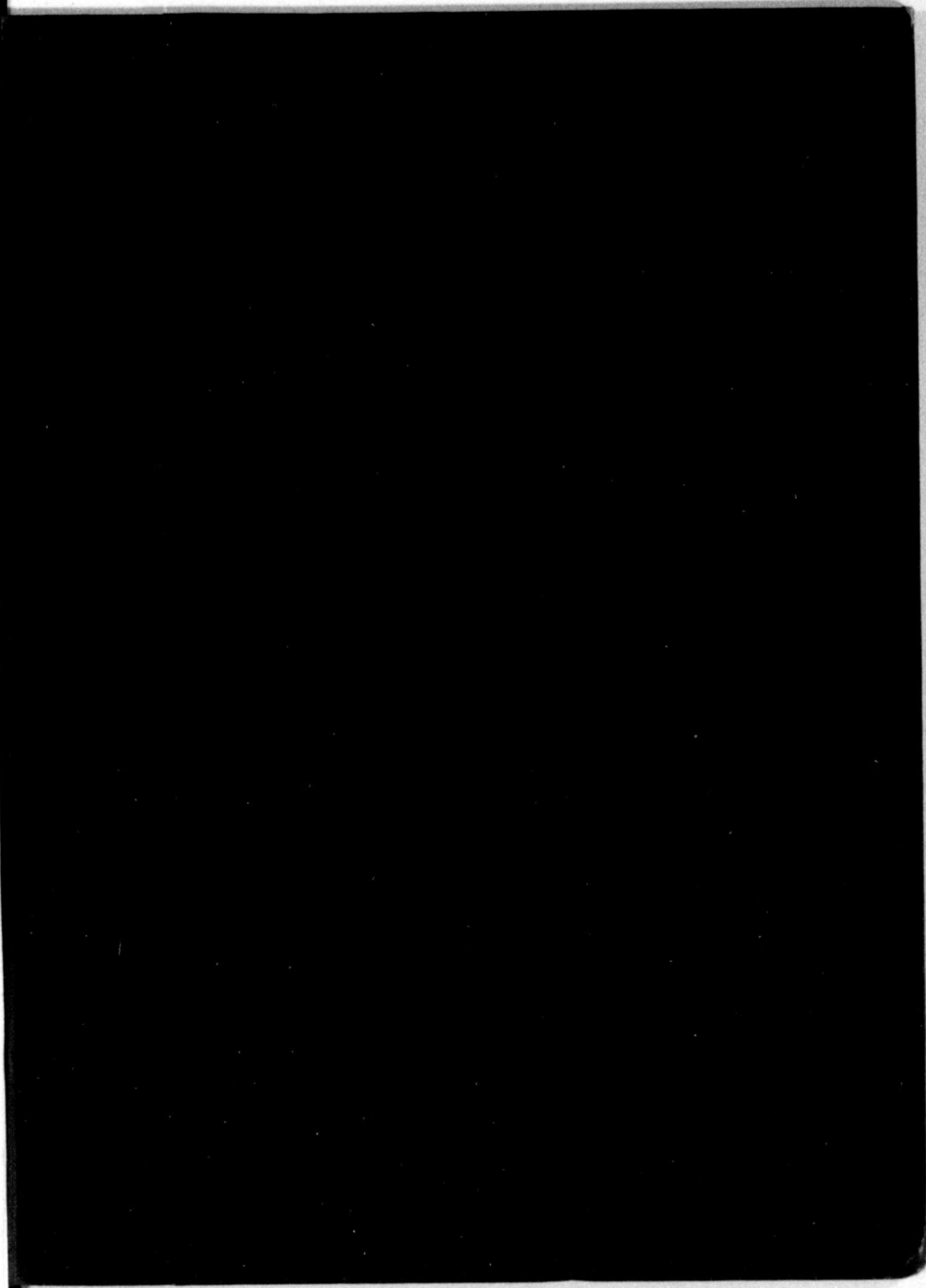


始



543.3
D58

32.10.17

543.3
D58

21349



水 力 發 電

編者寄贈本

電 機 學 園 編

序

一國文化の興隆に動力資源が如何に重要な役割を持つてゐるかは、今更乍ら多言を要しない所である。動力資源として第一に考へられるものは石炭、石油のやうな燃料によるものであるが、我國の現状では到底これに大きな期待を掛けることは出来ない。風力も地方的に小規模のものには適するけれども、大規模の発電には満足を與へない。潮力、波動力、太陽熱等の利用も同様に實現性は遠い。原子核の破壊に際して發生するエネルギーの利用は原子爆彈の完成以來、これが文化的方面の利用として學者の間に相當の研究が進んでは居るが、これも將來のことである。差し當りの問題として我國の目下の事情を考へるならば、水力資源を置いて先づ他には無からうと云ひ得る。殊に我國内の開發可能水力地點のうち今日迄に既に開發せられた地點数が日に過ぎないことを思へば、水力の今後の發展は期して待つ可きものがあらう。然し乍ら残された^①の地點は決して地勢的に有利ではあり得ない。今后これが開發に當つては技術的に幾多の苦難が伴ふことを豫想せねばならぬ。

水力發電の開發に當つては水力學、土木工學、材料力學、水力機械學、電氣工學等の極めて廣範圍の技術的要素を習得せねばならぬ。一種の綜合工學とも云ひ得る。従つて我々は先づこれらについての基礎的事項の研究に精通すると共に現在を深く理解する必要がある。

本書はこの意味に於て水力發電工學の概要を知らうとする方々を對象として上述の趣旨に基いて、水力發電に關する一般を出來得る限り平易に紹介することに努めた。しかし乍ら前述の通り水力發電に必要な部分が餘りにも廣範であるから、限られた紙數内にこれを納めることは編集



者が多大の苦心をした所である。従つて本書では主として電気技術者の
 觀點に立つて主眼を水力學、水力機械學、土木工學に關する部分に注ぐ
 ことにした。その内容は決して高級完備であるとは云えない。唯、本書
 によつて得た基礎的理論と解説とを習得した方々が更に程度を高めた研
 究に進む爲の第一段階として本書はよくその使命を果してゐるものであ
 ることを信ずる。本書は新制高等學校電気科生徒に、又電檢受験者の參
 考書としても好適である。

昭和二十三年十一月

編者 じるす

水力發電

目次

第一章 總論	1
1. 天與のエネルギー 2. 水力の利用と其の發達 3. 現今の水車 4. 流量と落差 5. 水力利用の型式 6. 水路式發電所 7. 堰堤式發電所 8. 水力發電所の主要部分 9. 落差と水車型との關係 10. 天然落差と有效落差 11. 出力 復習問題 I	
第二章 水力學一般 (其一)	21
1. 水の性質 2. 水の目方 3. 水の目方による壓力 4. 壓力の強さ 5. 大氣の壓力 6. 平面に動く壓力の大きさ 7. 矩形の平面に働く全壓力 8. 側壁に對する壓力の中心 9. 流量と流速 10. 流水の連続性 11. 位置水頭 12. 壓力水頭 13. 速度水頭 14. ベルヌイの定理 15. ピトー管 16. ベンチュリ・メータ 17. 噴水の收縮、速度並に流量 18. 矩形堰 19. 堰 復習問題 II	
第三章 水力學一般 (其二)	39
1. 流體摩擦 2. 圓形管中の摩擦損失 3. 摩擦損失の計算式 4. 管中の水速 5. 水力勾配線 6. 水路 7. 水路中の流れの一般式 8. 係數の値 9. 水路の經濟的形狀 10. 背水曲線 11. 河川及び管路に於ける流量の測定 12. 固定せる板に當る噴水 13. 噴水のなす仕事 復習問題 III	
第四章 ベルトン水車	59
1. ベルトン水車の構造 2. ベルトン水車の型式 3. バックेटに及ぼす水の作用 4. バックेट車の直徑の定め方 5. 回轉數の定め方 6. 効率 7. 効率と出力との關係 8. 無拘束速度 復習問題 IV	
第五章 フランシス水車	73
1. 構造 2. 横軸渦巻水車 3. 壓軸渦巻水車 4. 前口水車及び横口水	

車 5. 露出水車 6. フランシス水車の構造例 7. 羽根車の羽根に及ぼす水の作用 8. 回転数の定め方 9. 水車内に於ける諸損失 10. 効率と出力との関係 12. 吸出管 13. 吸出高さの限度 14. 吸出管の構造 15. 軸圧力 16. 軸受 17. 水車の主弁 復習問題 V	
第六章 プロペラ水車 105	
1. プロペラ水車の發達 2. カブラン水車の特徴 3. カブラン水車の構造 4. 翼の形状及び大きさ 5. 無拘束速度 6. 軸圧力 復習問題 VI	
第七章 水車の特有速度と水車の選定 115	
1. 落差の變化に對する回転数、流量及び出力の關係 2. 特有速度 3. 特有速度と水車の型式 4. 回転数と特有速度との關係 5. 水車の臺数の決定 6. 水車の選定 復習問題 VII	
第八章 調速機 131	
1. 回転の調整 2. 油壓式調速機の構造 3. 調速作用 4. 復歸裝置の機能と作用 5. 調速機の附屬裝置 6. 調速機と水車との連結 7. 速度昇降率 8. 調速機の取扱法 復習問題 VIII	
第九章 水壓調整裝置 143	
1. 水壓管内の壓力上昇 2. 水壓調整裝置の機能及び種類 3. 自動水壓調整機の構造及び作用 4. 轉向子の構造及び作用 5. 調壓水槽 復習問題 IX	
第十章 運轉試験及び腐蝕 153	
1. 水車の運轉 2. 水車の磨滅、腐蝕及び故障 復習問題 X	
第十一章 制水門 160	
1. 制水門の使用箇所及び種類 2. 角落及び堰板工 3. 水門 4. 轉動堰 5. テンタ水門 6. 水扉卷上裝置 7. 自動制水門 復習問題 XI	
第十二章 堰堤及び附屬設備 169	
1. 堰堤の分類 2. 木造堰堤 3. 土堰堤 4. 石造堰堤 5. 堰堤の附屬設備 6. 堰堤に對する注意 復習問題 XII	

第十三章 取水口及び水路 181	
1. 取水口一般 2. 塵除、防材及水門 3. 取水口の位置 4. 堰堤式發電所の取水口 5. 沈砂池 6. 水路の種類 7. 開渠 8. 切取と盛土 9. 隧道 10. 開渠と隧道との比較 11. 水路橋及び逆サイホン 12. 水路の勾配と流速 復習問題 XIII	
第十四章 水槽及び水壓管 197	
1. 水槽一般 2. 水槽水門 3. 餘水溢路 4. 餘水路 15. 水槽の位置選定 6. 水壓管 7. 水壓管の接手 8. 水壓管の直徑及び厚さ 9. 水壓管の支持 10. 水壓管の附屬設備 11. 水壓管の配置 12. 放水路 復習問題 XIV	
第十五章 發電所 215	
1. 發電所の位置 2. 發電所建物 3. 發電機の通風 4. 各種冷却用水 5. 發電所の自動化 6. 半自動式發電所 7. 發電所の落成試験 復習問題 XV	
第十六章 河川流量及び貯水池 228	
1. 雨量 2. 降雨の行方及び流出量 3. 流量の變化 4. 流量と水位 5. 水位流量圖 6. 水力發電所の出力 7. 調整池 8. 貯水池 9. 揚水式發電所の概念 復習問題 XVI	

(終)

水 力 發 電
第 一 章 總 論

1. 天與のエネルギー 現代人類の營む文化の生活様式を古代のそれと比較すれば、實に驚く可き向上發展の域に到達してゐる。それは人類が特有の人智によつて天與のエネルギーを巧みに利用し活用したからであつて、人類が萬物の靈長たる所以もここに在ると云へよう。扱、人類が利用し活用してゐるエネルギーを大別して見ると

- (i) 動物の有するエネルギー
- (ii) 燃料の有するエネルギー
- (iii) 自然界の現象の有するエネルギー

の三種とすることが出来る。(i) は馬車、牛車等のやうに動物を使驅するもので、古代から行はれて居た方法であるが、現在は問題とするに足りない。(ii) は石炭、石油等の燃料を利用する方法で、皇紀 2400 年代に James Watt によつて蒸汽力の利用が創案せられて以來、急激なる進歩をなし、蒸汽タービン、ディーゼル機關等として現今の原動機界に必要缺く可からざるも

のとなつて居る。(iii)は瀑布、河川等の流水のエネルギーを初めとして、太陽熱、地熱、風力、空中電氣、潮力等を總稱する。この内で現今最も廣く工業的に利用せられて居るものは流水のエネルギー即ち水力であつて、これが本書にて詳述せんとするものである。

2. 水力の利用とその發達 瀧又は河川等の流水を利用して動力を採る方法は、太古の時代から行はれて居つたが、その利用の方法や設備等は極めて幼稚なものであつた。今から、150年位以前に科學的の理論に基礎を置いた設計による水車が製作された。次で十九世紀末に至つて交流理論の發達と共に電力の長距離輸送が經濟的に可能となつた爲に、山間僻地の水力はどしどし利用せられて大馬力の水車を運轉し、之は直に發電機に直結せられて電力の形として大都會に送られる様になつた。爾來、水車、發電機、發電設備等の發達と共に世界各國に於ける水力發電の開發は實に目覺しいものがあり、今やその全盛時代を見るに至つたのである。

我國の水力發電の發達を簡単に顧みると、明治 23 年頃に足尾銅山が松木川の上流の水源によつて發電して自家用として使つたのが嚆矢で、一般供給用としては明治 25 年頃に京都市が琵琶湖疏水工事を起して電力を京都市の電燈、電力用に送つた。

水力電氣が發展の端緒についたのはこの頃からで、明治 40 年頃、東京電燈會社は桂川の水源によつて發電し、電壓を五萬ボルトにして約 80 km を離れた東京送電に成功したのが我國の遠距離電力輸送の開祖で、以來水力發電の進歩は實に目覺しく續々として各地に水力發電が開始せられ、大正年間に入つてからは俄然火力發電を壓倒して現在の水力發電全盛時代に進んだ。今日の火力發電は燃料の節約、建設費の低減等の技術的改良が相當に進歩したから採算上には相當に有利となつたが、火力發電が多量の燃料を消費するのに反して水力發電は全く無代價にて得られる天然の恩恵を利用するのであるから、結局は現在の火力發電は水力利用上の能率を高めるための補給用としての重要性を持つことになるであらう。

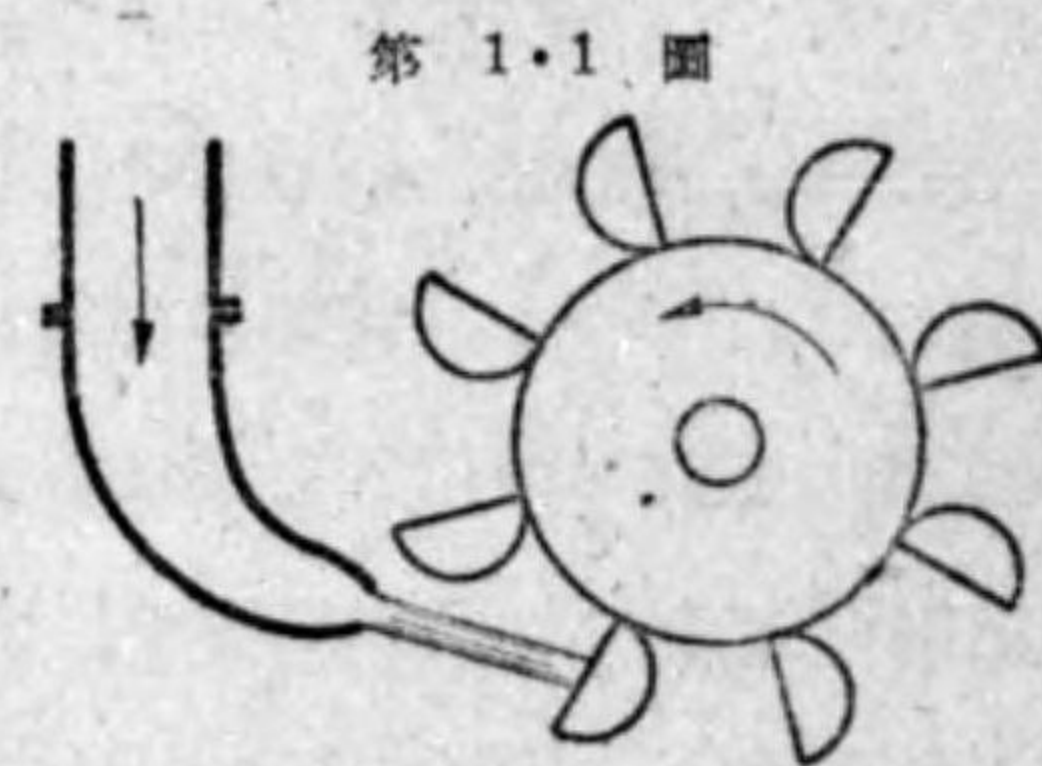
我國の水力地點は無數ありその包藏水力も數千萬キロワットと推定されてゐる。此等の中既に開發せられたものも相當あつて水量の豊富な河川としては信濃川を筆頭に阿賀野川、木曾川、利根川、天龍川、黒部川等多數あり、全國的に水力の利用は普及されてゐる。水車一臺の容量は近時益々増大の傾向になつて、一臺で數萬馬力のものが多い。發電所は普通三臺乃至七臺程度の水車を設備するから一發電所としての總出力は二十萬馬力以上に達する所もある。世界第一位の水力國は米國であるが、全國では最近、落差凡そ 100 m で一臺の容量 150,000 馬力といふ

大型機を數臺据付中の所がある。これは水車羽根車の直徑が約5 m ある。我國の信濃川にある鐵道省の發電所には一臺の容量60,000 馬力の國產大型機三臺を据付け更に二臺増設の計畫がある。羽根車の直徑は3.736 m である。

3. 現今の水車 現今の發電用水車として使はれてゐるものは從來あつたペルトン水車及びフランシス水車で、これに二十世紀の初頭に考案せられて最近に發達したプロペラ水車が加はつてゐる。

之等の水車については後章に於て詳述するが、ここに極く簡單にその構造の概念を説明して置きたいと思ふ。

ペルトン水車と云ふのは第1・1圖の様に車盤の外周に多數の椀型の水受けを取りつけ一方の噴射管からの噴水を之に吹き當てて車を廻すやうに仕掛けたもの

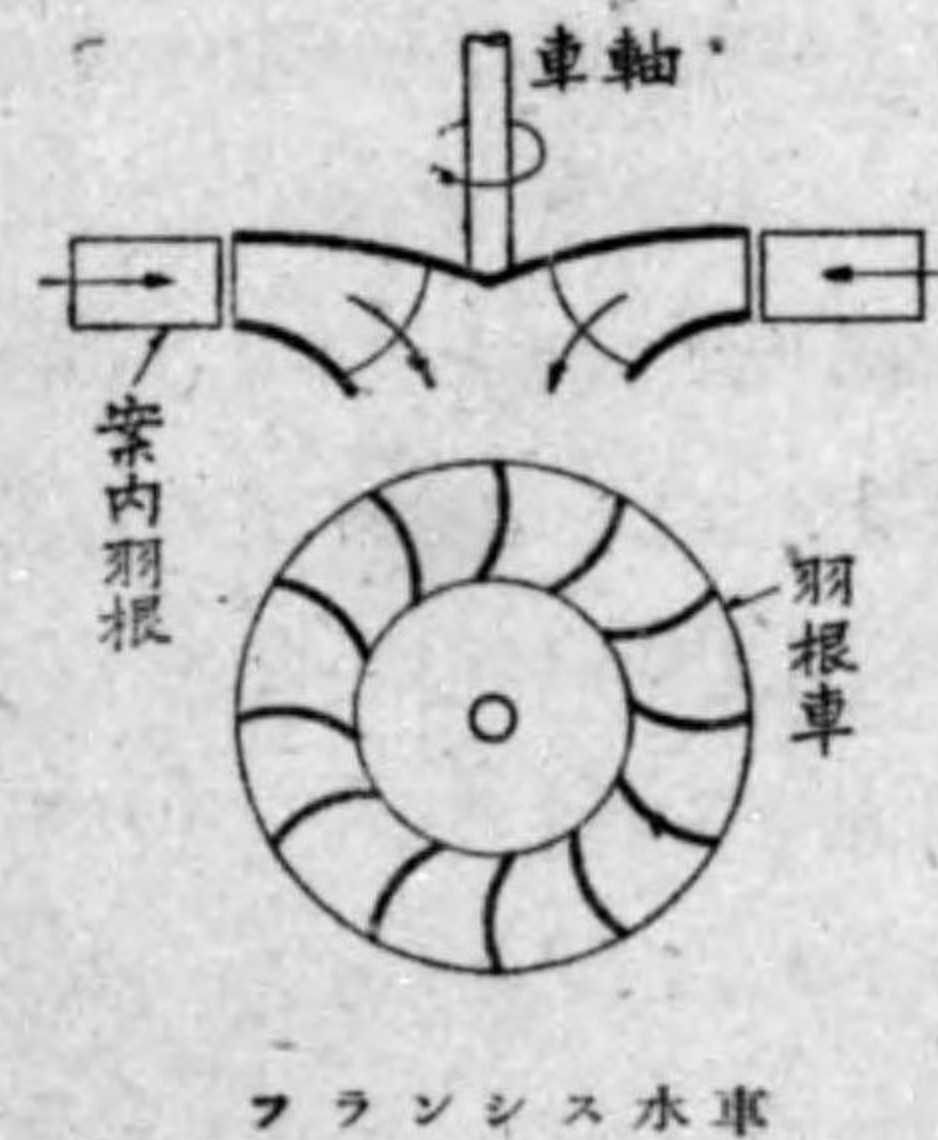


である。水の衝動を利用してゐるからこれを衝動水車とも云ふ。

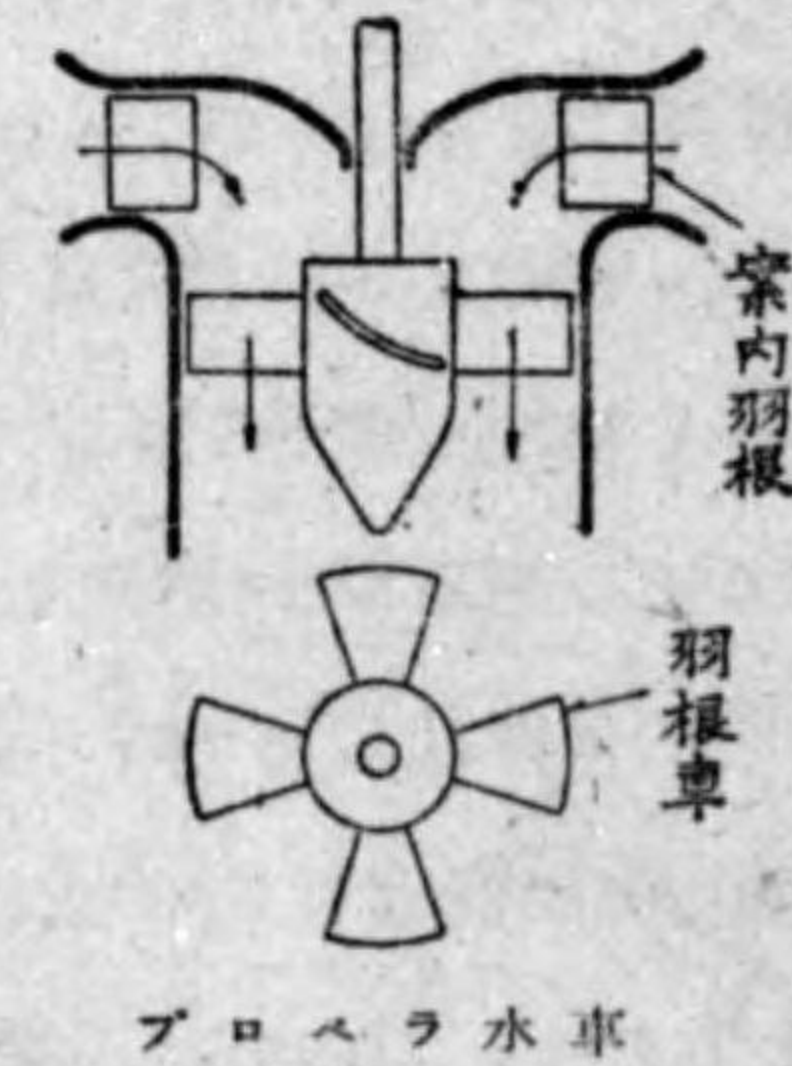
フランシス水車とは第1・2圖の様に多數の曲つた羽根を有する羽根車の外周から水が流入して羽根車を廻す様に仕掛けたものである。

水が羽根車の全圓周から流入する點がペルトン水車と違ふ。又この水は羽根車の外周にある多數の案内羽根で流入方向が案内せられてゐる。羽根車に入る水は壓力を持つて居り羽根に反動作用を與へるから、この水車は反動水車とも云はれる。我國の發電用水車にはこの型が非常に多く約80% 内外はフランシス水車である。

第1・2圖



第1・3圖



プロペラ水車と云ふのは第1・3圖に示すやうに船舶のプロペラ(推進器)の様な形狀を有する羽根車で、水は案内羽根に導かれて垂直に流下し羽根車に作用するもので、矢張り反動水車の一ツである。

プロペラ水車の創始者カプラン氏は羽根に改良を施して、水車の運轉中に羽根が動き得る様な構造としたので、今日では可

動翼のプロペラ水車を特に**カブラン水車**と稱してゐる。この水車は比較的最近に考案せられ發達した爲と、我國の水力地點がこの水車に適する所が餘り多くないと云ふ關係で全國的には未だその數は總數の4~5%の程度である。

4. **流量と落差** 水車とはその名の示す様に、水の有するエネルギーを利用する原動機であるから、水車に流入する**流量**が大切な要素である。俗に水量と言ふが單位時間に水車に流入する水量の意味であるから、**流量**と云ふべきで、普通は m^3/s (立方メートル/秒) を使ふ。日本式單位で**1箇**と云ふ言葉がある。之は1秒間に付き1立方尺の流量の意味であつて、この「箇」と云ふ言葉の中には既に“1秒に付”と云ふ意味が含まれて居る。尙ほ $1m^3/s$ の流量をメートル法の**1箇**とも稱する。

次に大切な要素としては、この流量が流れ落ちる高さを有することである。この高さを**落差** (head) と云ふ。落差を形成せしめるためには次に述べる種々なる人工的設備を必要とする。落差には**天然落差** (natural head) と**有效落差** (effective head) とがある。天然落差とは、天然に有する二地點間の水位差を云ふ。之に對して有效落差とは水車に有効に作用する落差の意味で、これは人工的設備の爲に種々の損失を生じ、天然落差より幾分か小さなものとなる。

5. **水力利用の型式** 水車を運轉する爲には、前述の様に一定量の水を一定の高さから絶えず落下せしめることが絶対に必要である。そのためには天然の地形を利用して山頂の湖水を取入れるとか、又は河川に適當な設備を施して、人工的に或る高さから水を落下せしめる工夫をしなければならない。

現今我國に於て最も一般に行はれて居る水力利用の型式は、次の二つに分類することが出来る。

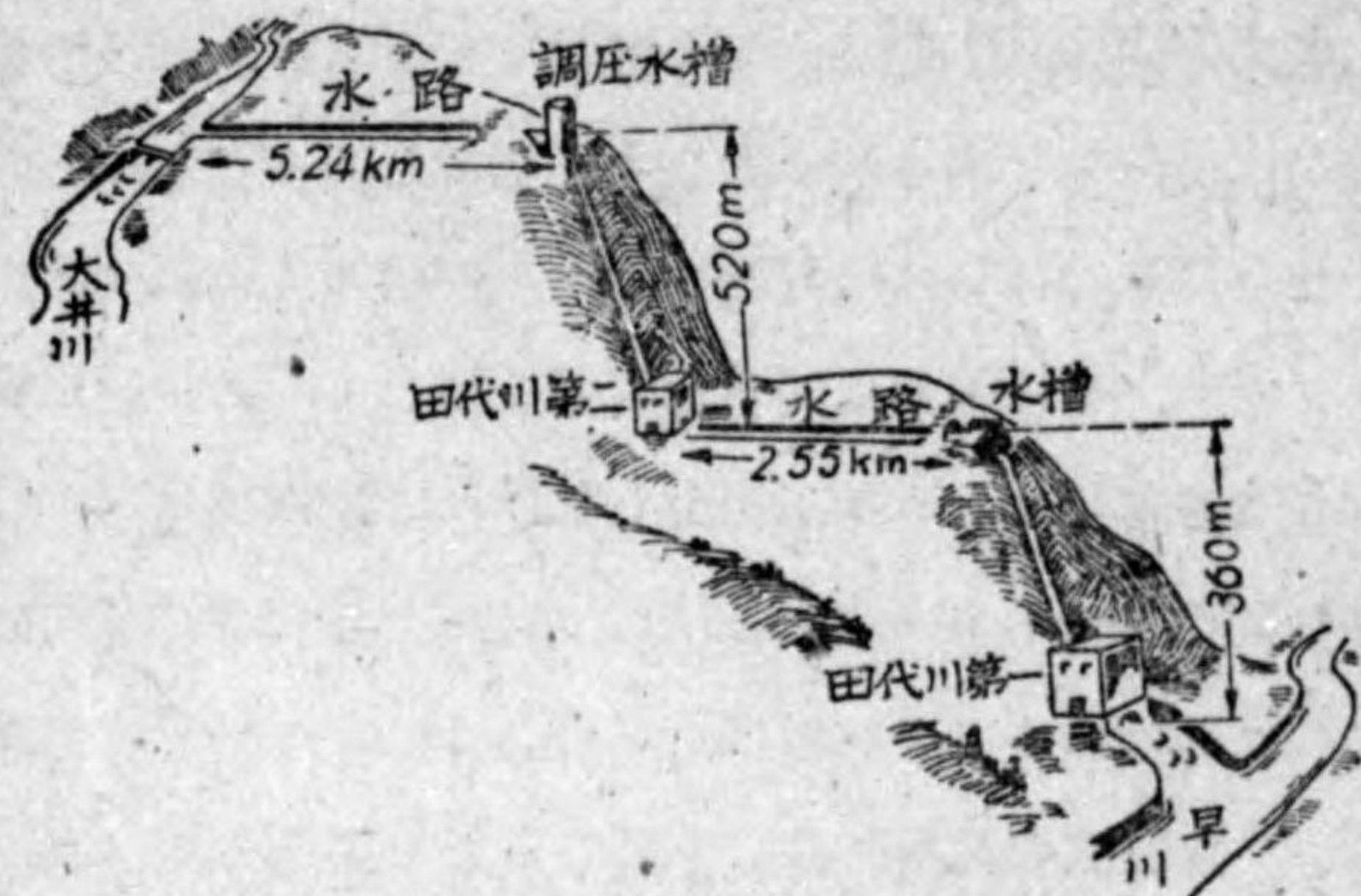
- ㄨ(1) **水路式發電所** 長い水路で落差を作るもの
 - ㄨ(2) **堰堤式發電所** 高い堰堤を築造して落差を得るもの
- 尙ほ特殊のものとして、**瀑布の有する落差を利用する發電所**とか、**接近した二つの川の高低差を利用する發電所**等がある。

又近年季節的渇水や日々の尖頭負荷に對する補給用として**揚水發電所**なるものが我國に於ても現れて來た。揚水發電所に就ては後章で述べる。

天然の瀑布を利用する發電所は水力發電所としては工事が一番簡單である。しかし我國の瀑布は落差の點では相當高いものもあるが、概して流量が少く、又風致上の關係もあつて、これに屬する大規模のものはない。

接近した二つの川の高低差を利用する發電所の例は極めて少いがその一例としては、田代川第一、第二發電所(山梨縣)や

第 1・4 圖



田代川発電所の水路の圖

湯澤発電所（新潟縣）等がある。第 1・4 圖は田代川発電所の圖であつて、静岡縣の大井川から水を取入れて山梨縣の早川に落し、その間第一、第二の二つの発電所を設け僅か 8 km 程の水路で、約 900 m の落差を得て居るものである。

(6) 水路式発電所 第 1・5 圖はこれを示したもので、河川の上流の適当な地點 A に堰堤を作り流水を取入れる。これを取水口と云ふ。之より極く緩勾配の水路 C にて水を導き、水槽 D に達せしめる。他方、本流の方は瀑布又は相當急傾斜を以て流下して居るから、下流の H 點に至る頃には水槽 D との間、相當の高さの差を生ずることになる。従つて水槽から水壓管 E

第 1・5 圖



水路式発電所説明圖

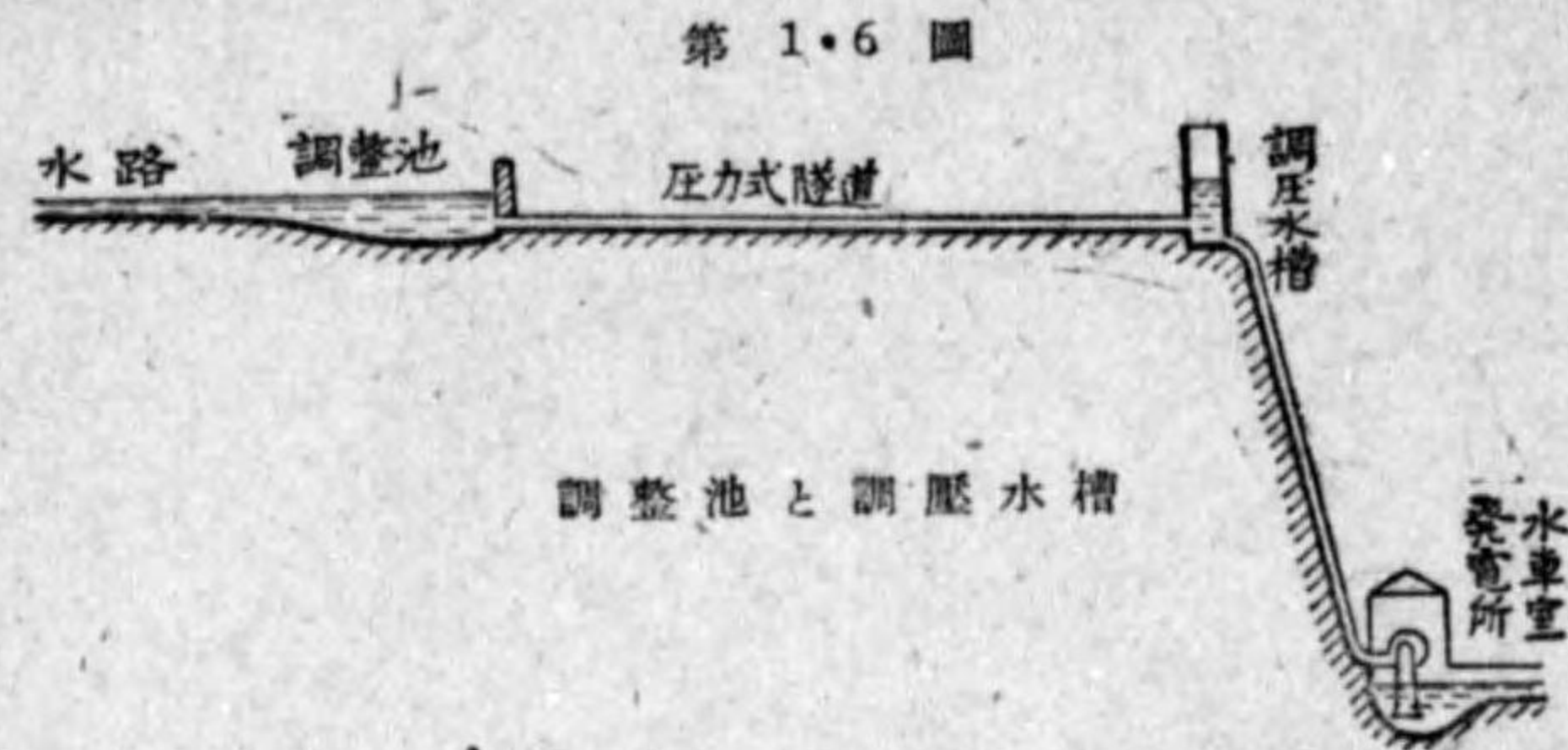
によつて水を発電所（水車室） F 内の水車に導入すれば、ここに水車は一定の落差と水量とを得て動力を發生する。水車に作用し終つた水は放水路 G を經て本流と H にて合する。取水口に接近して設けた沈砂池 B は取水中に含まれた土砂を沈澱せしめる所である。

以上は水路式発電所の基本的様式を述べたのであるが、更にこれを實際の場合に就て分類すると、

- a. 貯水池を有するもの
- b. 調整池を有するもの
- c. 貯水池も調整池も有せざるもの

の三つに分ける事が出来る。

貯水池や調整池の事に就ては後章で詳しく述べるが、調整池の位置は水路の途中で水槽に近い所を選ぶのが普通である。そ

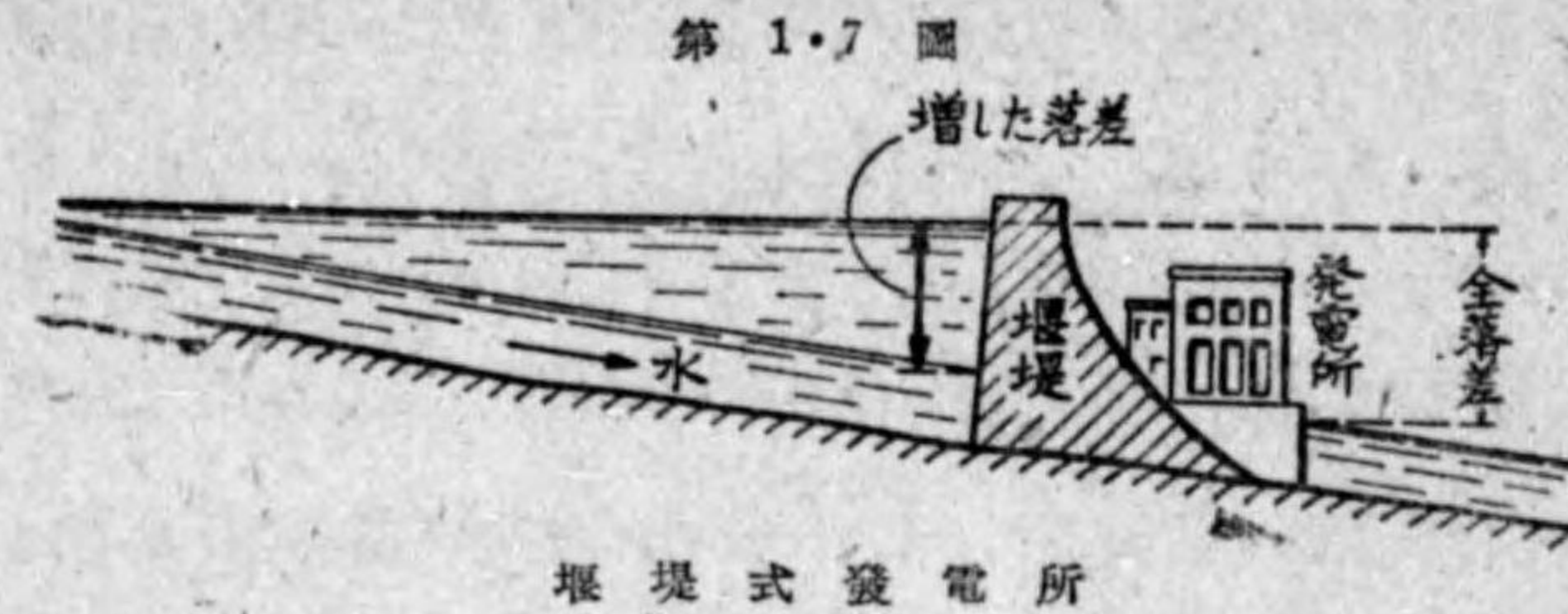


してこの場合第 1・6 圖の様に調整池以下の水路は圧力式隧道とし、隧道と水圧管との接續點には調壓水槽 (surge tank) を設けるものが多い。これは調整池の有効水深を増加するため、隧道の入口を相當深い所に設けるためである。

以上に於て明瞭な様に、水路式發電所は瀑布又は河川の上流の比較的急流の地點に於ける水力利用に適する型式であつて、落差としては中落差以上に採用される方法である。

7. 堰堤式發電所 これは河川の下流の方、比較的傾斜の緩い流量の多い所に適する型式であつて、落差で云ふと低落差發電所に屬する型式である。

第 1・7 圖の様に河川の適當な所に堰堤を作つて上流の水を堰き止め、此處に一種の貯水池を形成せしめ、上流の水位を或る程度まで高め、下流との間に約堰堤の高さ程の落差を作る。そこで堰堤の直ぐ下に發電所を設け、この落差を利用するもの

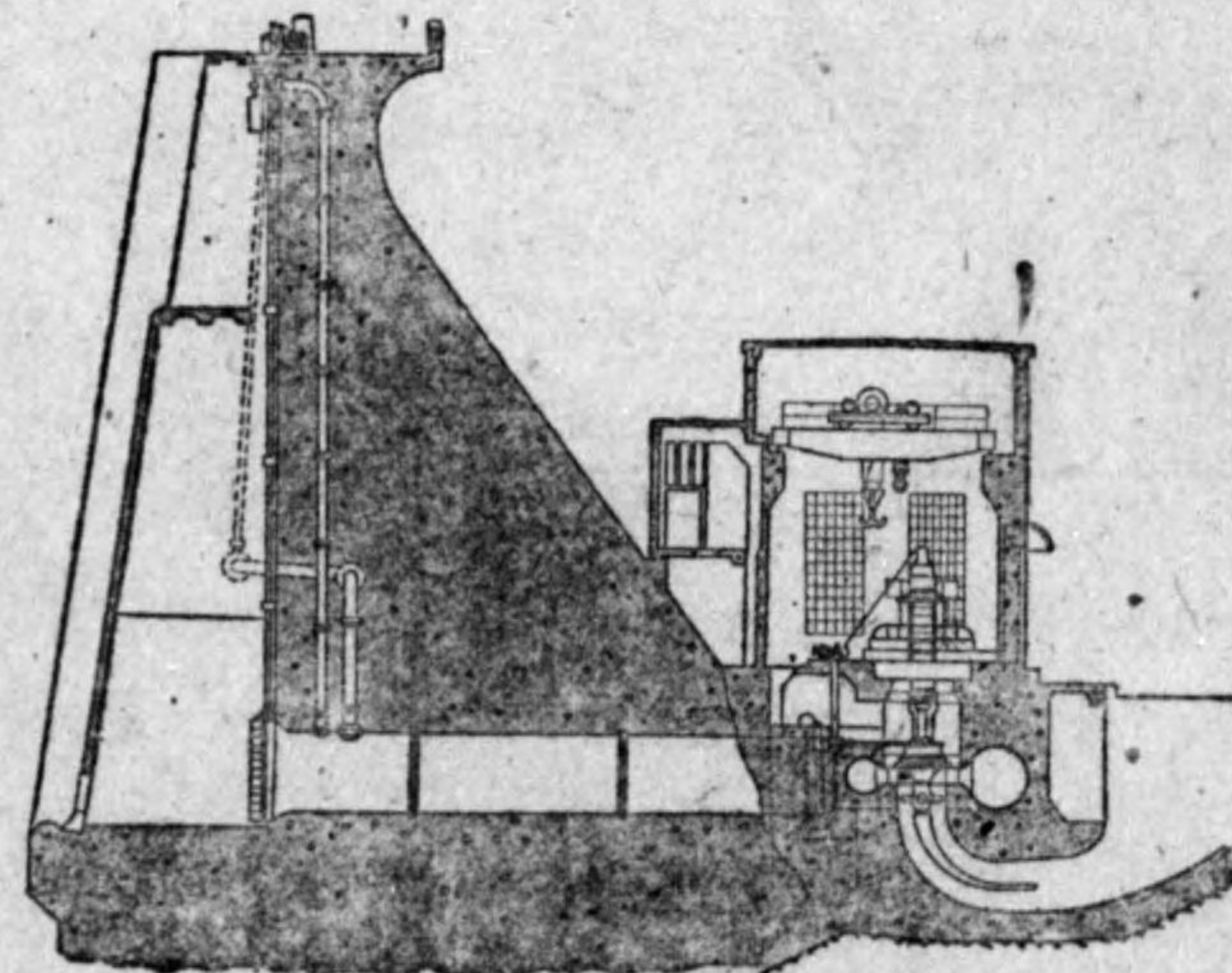


である。第 1・8 圖はその外觀を示す。

これを更に次の三つに分類する事が出来る。

- a. 發電所を堰堤の直下又は内部に設け、水圧管が堰堤内部を通過するもの。

第 1・8 圖



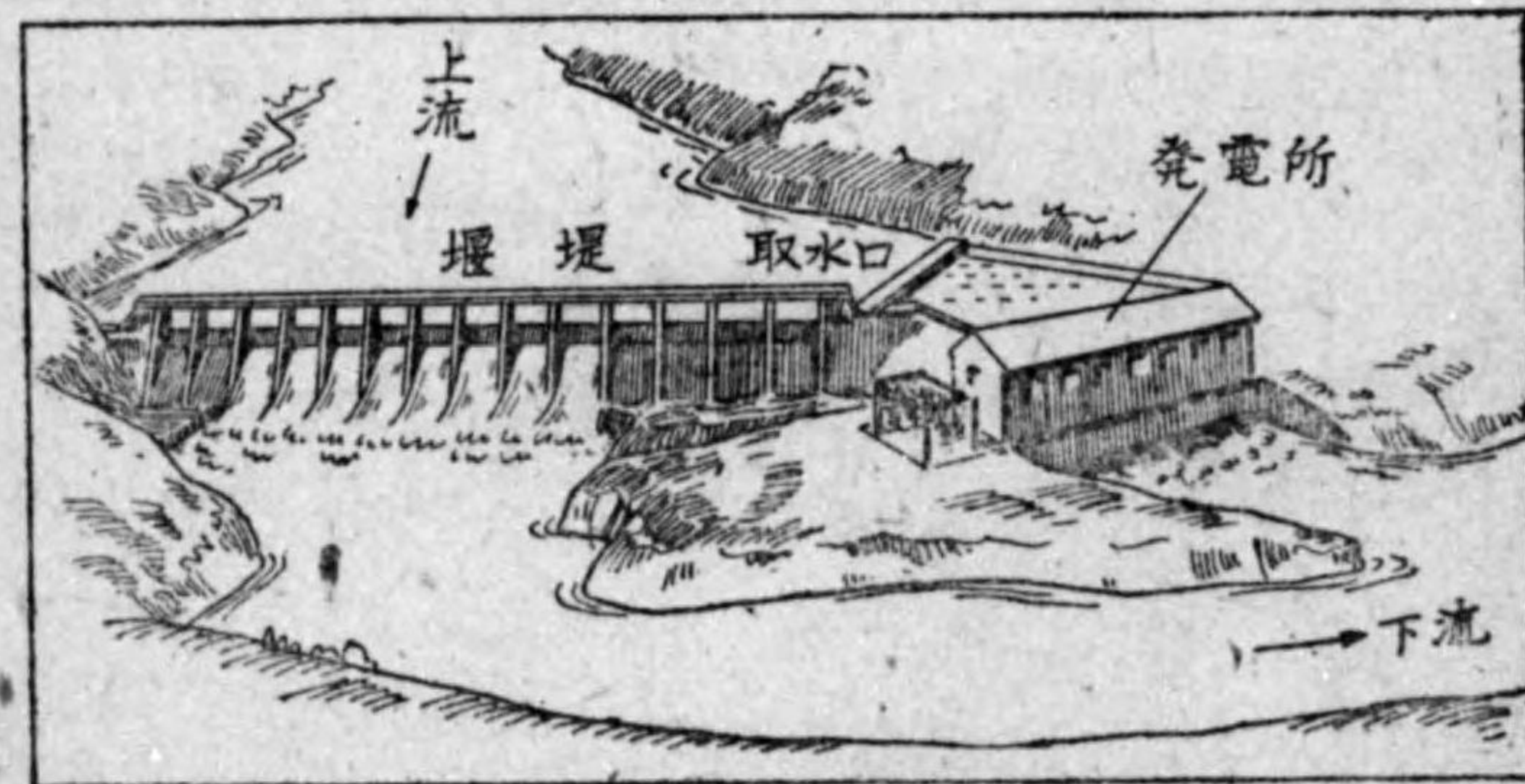
王 泊 發 電 所 (堰堤式 a の例)

初放初

- b. 堰堤の一端に取水口兼水槽を設け、この一側に発電所を作るもの。
- c. 堰堤から少し離れた處に発電所を設け、堰堤上流の取水口から水路で水を導くもの。

千歳川発電所(北海道), 王泊堰堤発電所(広島縣)等は(a)の例であり(第1・8圖), 鹿瀬^{かのせ}, 豊實^{とよみ}発電所(新潟縣)等は何れも(b)の例である(第1・9圖)。然し我國の堰堤式発電所と

第1・9圖



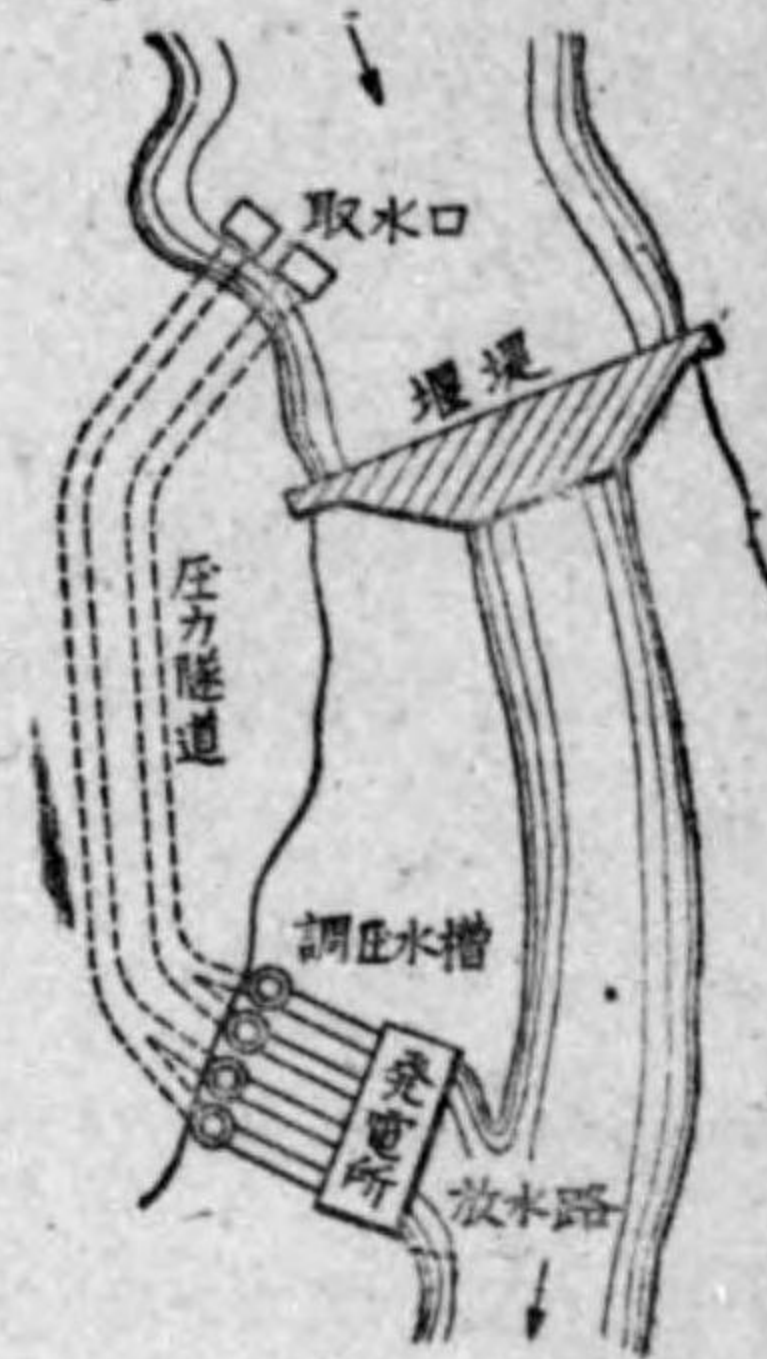
鹿瀬発電所(堰堤式bの例)

しては寧ろ(c)が多い。(c)の型式は堰堤で大部分の落差を生ぜしめ、水路で一部分の落差を採る発電所であつて、嚴密に云ふと堰堤式と水路式とを組合せたものである(第1・10圖)。そして此の場合の水路は壓力式(壓力隧道)とし、水路と水壓管との繼目に調壓水槽を用ひるものが多い。これは前述の調整

池を有する水路式発電所と同様で、堰堤上流に於ける湛水^{水溜り}を利用し水深を増加するためである。(c)発電所の例としては泰阜^{やすおか}発電所(長野縣), 小牧^{こまき}発電所(富山縣)等相當多い。

堰堤式発電所の一般的長所は、高堰堤を築造するため上流に湛水池が出来る事であつて、この湛水區域は數軒の上流にも及び一つの人工的湖水を形成する。故に利點としてはこれを貯水池又は調整池として水力の經濟的利用が出来ること、又発電所が堰堤に近いから大水量發電が容易に行へること等である。缺點としては有效落差が相當大きな割合に變動することである。

第1・10圖



堰堤式cの例

8. 水力発電所の主要部分

上記の各型式を通覽するに、水力発電所を構成する主要なる工事設備は次の様である。

- (1) 堰堤 (2) 取水口 (3) 沈砂池 (4) 水路
(5) 水槽 (6) 水壓管 (7) 発電所 (8) 放水路

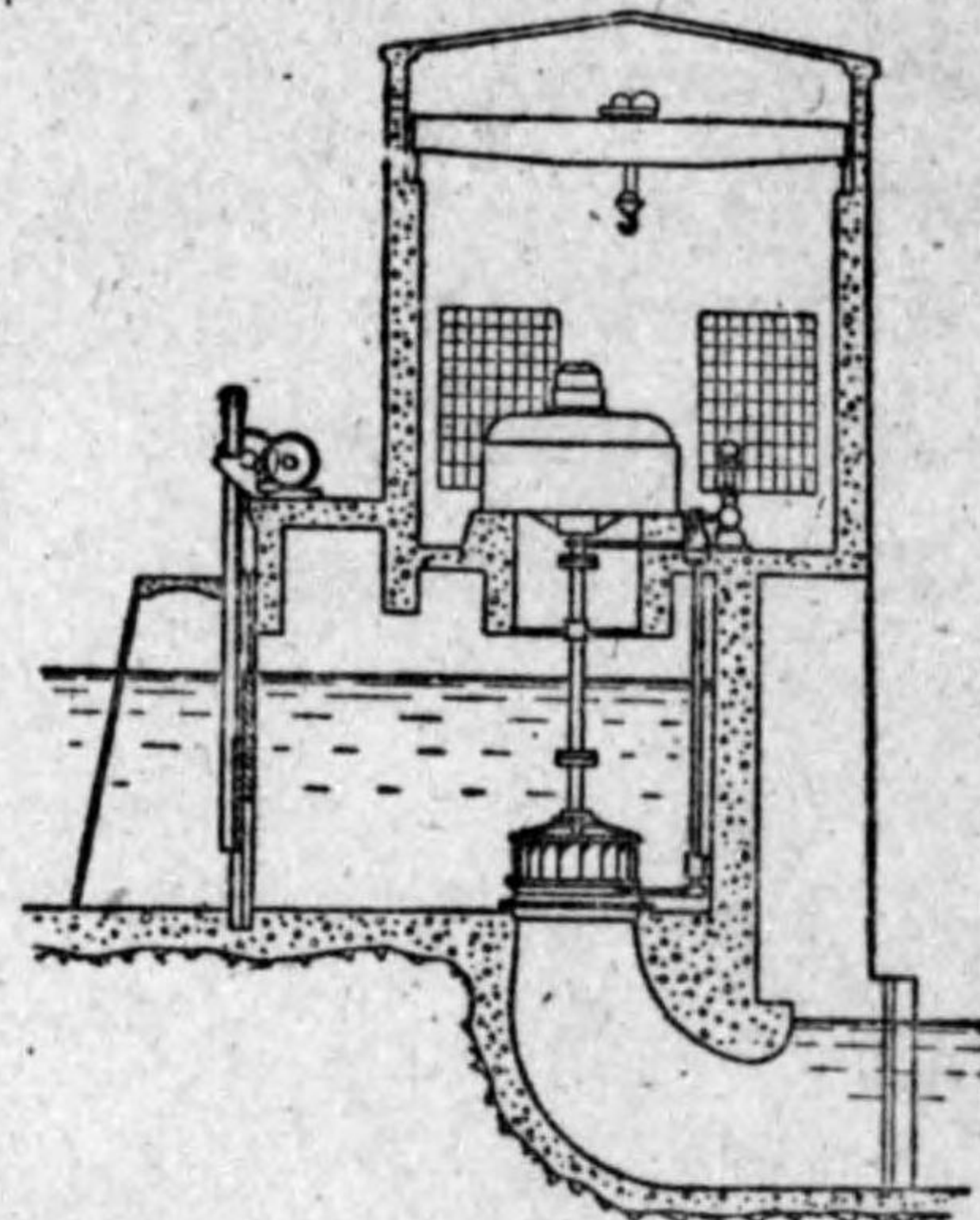
この内、場合に依つて一二を缺いたものもある。

例へば堰堤式発電所は一般に(3)の沈砂池は設けない。これ

は堰堤上流の湛水池が沈砂池の働きもするからである。又堰堤式の内 (a), (b) の型式に属するものは水路もない、又 (a) は水槽もない譯である。

此の外、小規模の低落差発電所の場合で、第 1・11 圖の様に水槽中に水車を露出して据付けたものがある。この発電所では水圧管が要らない。

第 1・11 圖



露出型発電所

9. 落差と水車型式との関係 現今使用せられてゐる水車は前述の様にペルトン、フランシス、プロペラの三通りであつて、之等が使用される範囲は大體に於て落差の大小によつて定まつて居る。高落差で比較的流量の少い所には導水管の先端から水を噴出せしめるペルトン水車の型式が適當である。之は普通 150~200 m 以上の落差に對して適用せられる。實例としては朝鮮の松興第一発電所(有效落差 706 m, 出力 33 500 kW),

富山縣の小口川第三発電所(有效落差 621 m, 出力 9 000 kW)等はこの例である。歐州に於ては瑞西の Fully に落差 1 650 m で 2 240 kW のペルトン水車の例があるが、これは特殊の高落差の例で一般には 900 m 程度が限度である。

落差が 30~200 m の範囲になるとフランシス水車の渦巻型が使はれる。之は前述のフランシス水車を鑄鐵、鑄鋼、軟鋼板或はコンクリート等で作つた渦巻型の胴内に納めたもので、我國には比較的多い型式である。使用流量もペルトン水車に比較して遙に大であり、水車の形體もなかなか大きなものがある。我國に於ては蟹寺^{かにでら}発電所の 28 800 kW (落差 134.5 m), 佐久^{さく}発電所の 27 000 kW (落差 119 m), 朝鮮では松興^{しょうこう}第二発電所の 23 200 kW (落差 214 m) 等がこの例で、前述の鴨綠江の水豊^{みずゆたか}発電所の 105 000 kW の水車もこの型式に屬してゐる。

落差が 30 m 以下では、水車と水槽との距離が非常に接近する場合が多く、我國に於ては豊實^{とよじつ}発電所(落差 24.85 m, 出力 10 500 kW)又は鹿瀬^{しかせ}発電所(落差 22.43 m, 出力 9 350 kW)等がこの例に屬する。尙ほ落差が 10~30 m の時にはフランシス水車を鐵板の胴で作つた罐胴型の函内に納めた前口水車又は横口水車が用ひられるが、最近は極く稀れになつた。

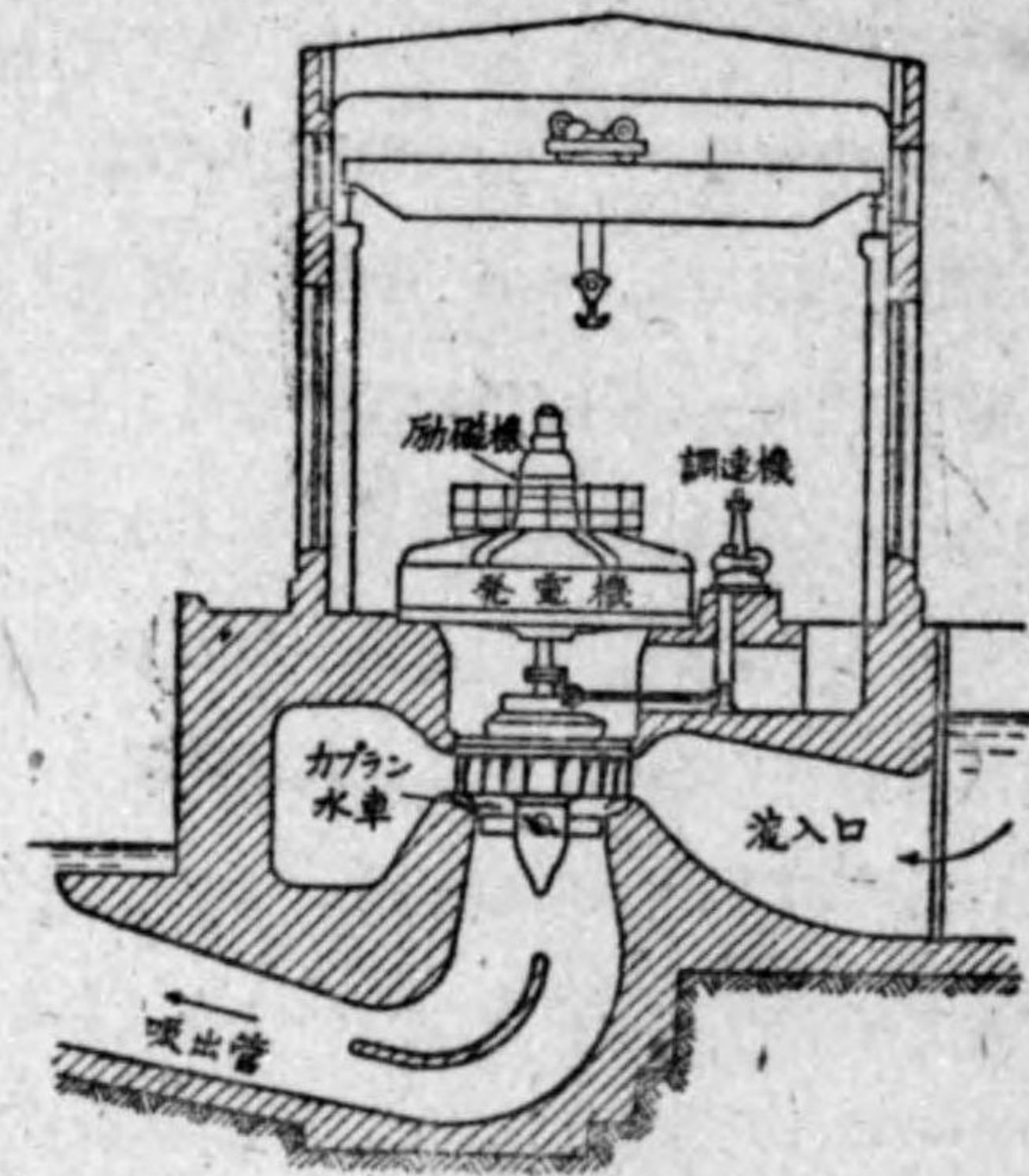
落差が 15 m 以下になると、普通は水圧管を使用せずして、第 1・12 圖の様にコンクリートの渦巻胴を用ひる。プロペラ水

車は低落差用水車で、多くは 15 m 以下の落差で流量の豊富な場合に採用せられる型式のものであるから、一般にこの型のもが多い。第 1・12 圖は松留發電所のカプラン水車の例でこの發電所は上流の八ッ澤發電所(山梨縣)の放水が桂川に流入

する際に、僅々 4.81 m の落差(有効落差 4.24 m)、流量 42 m³/s を利用したもので、水車の出力は 1 530 kW、回轉數毎分 107 である。尙ほ容量の小さいもので 10 m 以下の落差のものには、前記の第 1・11 圖のやうな露出水車が用ひられる。

以上述べた落差と水車型式との関係は、最も普通の場合を示したもので、実際には水車一臺に對する流量の多少(云ひ換へればその水力地點に於ける水車の臺數)、従つて出力の大小、其他、地勢の関係、水車の價格、回轉數の選定等によつて、場合に應じて適當なる型式を採用しなければならない。之等につ

第 1・12 圖



カプラン水車(松留發電所)

いては後章で詳しく述べる。

10. 天然落差と有効落差 落差には天然落差と有効落差とあることは前に一寸述べたが、一般に水車又は發電所等で、落差と云ふ時には有効落差の意味の場合が多い。天然落差と云ふのは河川の取水口と放水路が河川に合流する點(即ち第 1・5 圖で云ふと A 點と H 點)との間の垂直距離 (H_0) を云ふ。水車に働く實際の有効の落差はこれよりも小さい。即ち第一に C なる水路の勾配の爲に水槽 D 點の水位は A 點の水位よりも低くなつてゐる。例へば水路の延長が 3 000 m で、水路の勾配が $\frac{1}{1500}$ と假定すれば大體 2 m だけ低いことになる。次に水が水壓管内を流下する間に損失が起る。これは簡単に云ふと鐵管の太いほど損失は少くなるが費用の関係で餘り太くも出来ない。第三は放水路に於ける水位の損失がある。これ等の損失の合計を天然落差から差し引いた残りが有効に水車に作用するから、これを有効落差と云ふ。

第 1・12 圖の様に水路も鐵管も無い型式の場合には水槽水位と放水路水位との垂直高さを有効落差と見做してもよく又ペルトン水車の場合には噴射管端以下の高さは全部損失に歸するからこの點を注意しなければならない。第 1・5 圖は有効落差の説明圖で H_0 を取水口及び放水路間の高低差即ち天然落差とし、

第二章 水力學一般 (其一) (2024)

1. 水の性質 水力學 (hydraulics) と云ふのは、水の力の釣合や運動に関する事柄を研究する學問であつて、靜水力學と動水力學とに區別してゐる。靜水力學に於ては靜止状態にある水に關して研究をする。動水力學の方では運動状態にある水の問題を取扱ふ。

ガス體に壓力を加へると、その體積は著しく變化することは一般に知られてゐる。水の場合も之と同様で、壓力を加へると體積は縮少する。しかしその程度が極めて僅であるから、實際問題としては殆ど考へに入れる必要が無い。次に水は飴や油の様な粘り氣を持つてゐる。これを粘性と云ふ。水の粘性は飴や油ほどに強いものではないが、水が運動してゐる時には、この粘性のために相當に大きな影響をうける。従つて實際問題としては考へに入れたいわけには行かない。所が粘性の計算は非常にむづかしいので多くは實驗の結果によつて調べる。

2. 水の目方 水は 4°C の時が一番に重く、之よりも温度が昇つても降つても軽くなる。しかしその程度は極く僅であるから、普通は考へに入れたい。 4°C の時の純粹の清水の目方を

1 cm^3 に付き 1 g と定めてある。従つて

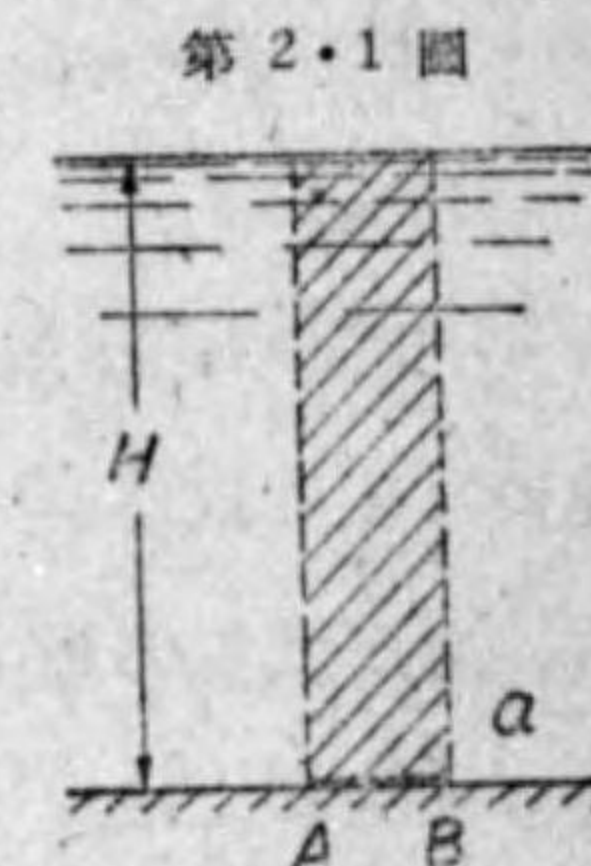
$$1\text{ l の目方} = 1000\text{ g} = 1\text{ kg}$$

$$1\text{ m}^3 \text{ の目方} = 1000\text{ kg} = 1\text{ t (噸)}$$

汚水や泥水は混有物のために清水よりも重い。海水も亦鹽分のために清水よりも重い。海水は場所によつて違ふが普通には清水の約 1.025 倍と考へてよい。

3. 水の目方による壓力 水面から H の深さの點で、水面に平行な平面 AB を考へる。この面積を a とすれば、この面は體積 aH なる水の柱を支へてゐる。水の單位體積の目方を w とすれば、水柱の目方は waH となる。之を AB 面に及ぼす全壓力 (P) と云ふ。即ち

$$P = waH \quad (2.1)$$



水の目方による壓力

4. 壓力の強さ 壓力の大きさを單位面積に付て云ひ表したものを壓力の強さと云ふ。之を p とすれば

$$p = \frac{P}{a} = \frac{waH}{a} = wH \quad (2.2)$$

工業上に普通に用ひられる壓力の強さの單位は

kg/cm^2 (瓦/平方糎); t/m^2 (噸/平方米)

等である。 H の単位を m に取れば w は $1 t/m^3$ であるから p は t/m^2 で示される。次に底面積 $1 cm^2$ 、高さ $1 m$ の水柱の目方は $\frac{1}{10} kg$ であるから、深さ $1 m$ の底に及ぼす水の圧力の強さは $\frac{1}{10} kg/cm^2$ となる。之を一般的に云へば、深さ $H m$ の水底に及ぼす圧力の強さは $\frac{H}{10} kg/cm^2$ である。即ち

$$\text{圧力の強さ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{1}{10} \times (\text{水の深さ } m) \quad (2 \cdot 3)$$

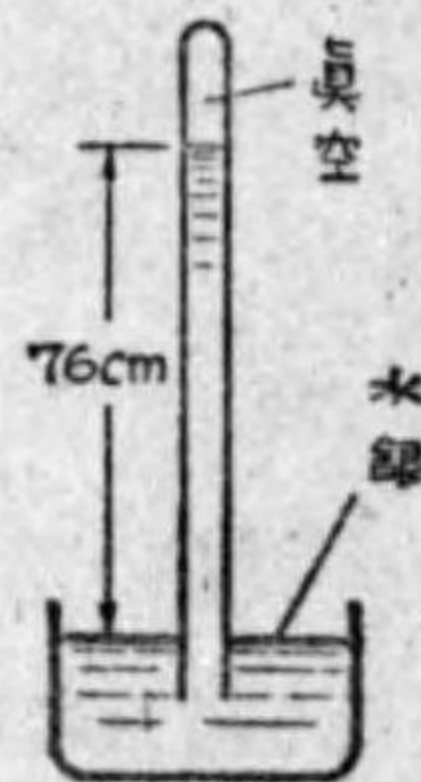
例へば深さ $25 m$ の淡水湖底に於ける圧力の強さは $\frac{25}{10} = 2.5 kg/cm^2$ となる。

5. 大氣の壓力

地球の表面は空氣の層で覆はれてゐる。従つて我々は空氣の目方による壓力を受けてゐる。之を大氣の壓力と云ふ。實驗によつてこの大きさを知るには、第 2・2 圖の様に一方を閉じた長いガラス管に水銀を入れて、水銀槽中に逆さに立てる。すると水銀は約 $76 cm$ の高さに逆上昇し、上部は眞空となる。この $76 cm$ の高さの水銀柱が大氣の壓力に釣合つた丈けの高さを示す。水銀の目方は $13.596 g/cm^3$ であるから、面積 $1 cm^2$ に及ぼす大氣の壓力は $76 \times 13.596 = 1033 g$ 即ち

$$\text{一氣壓} = 1.033 kg/cm^2$$

第 2・2 圖



大氣の壓力

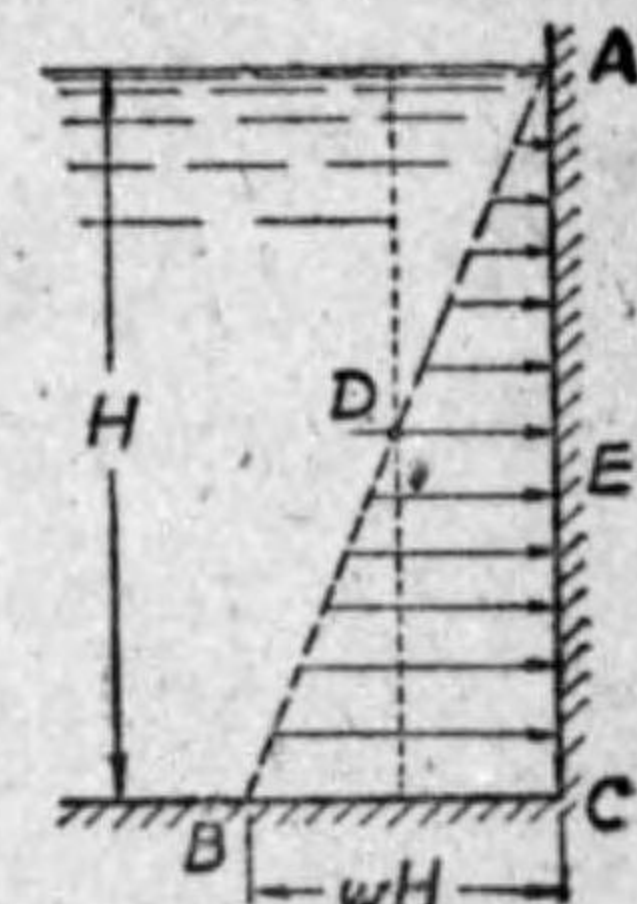
となり、これが標準大氣壓である。工學では便宜上 $1 kg/cm^2$ を一氣壓と定め、これを一工學氣壓と稱する。

今、水銀の代りに清水を用ひて同様の實驗をすると、水銀は水の 13.596 倍の重さであるから、高さは $76 cm$ の 13.596 倍、即ち $10.33 m$ の高さ迄に上昇することになる。之が大氣の壓力に釣合つてゐる水柱の高さであつて、水車の吸出管又はポンプの吸込管の場合等に於ては屢必要とされる數値である。

6. 平面に働く壓力の大きさ

水中の任意の一點の壓力の強さは (2・2) 式に示す通り深さ H に正比例する。今第 2・3 圖に於て水槽の水深を H とすれば、鉛垂なる側壁 AC に及ぼす壓力の大きさは水面に於て零であり、底に於ては wH である。而して途中は深さに正比例して變化するのであるから、今適當な縮尺を以て、底に wH なる壓力に相當する長さ BC をとり、この端 B を水面 A に結べば、途中の任意の點に働く壓力の大きさは、各點の矢印の長さを以て示される。

第 2・3 圖



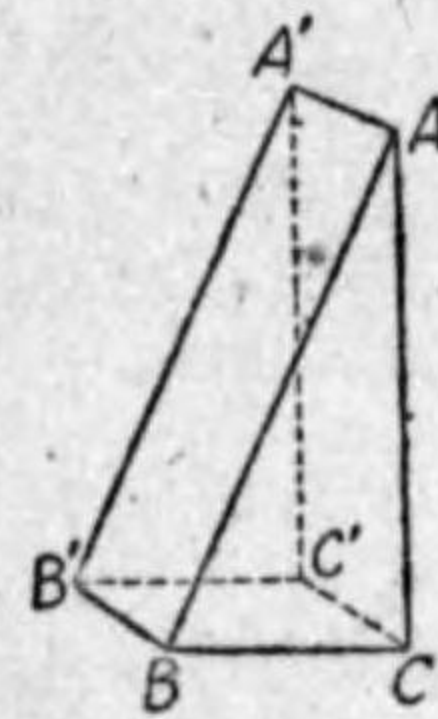
深さと壓力の強さとの關係

7. 矩形の平面に働く全壓力

第 2・4 圖の矩形の側壁

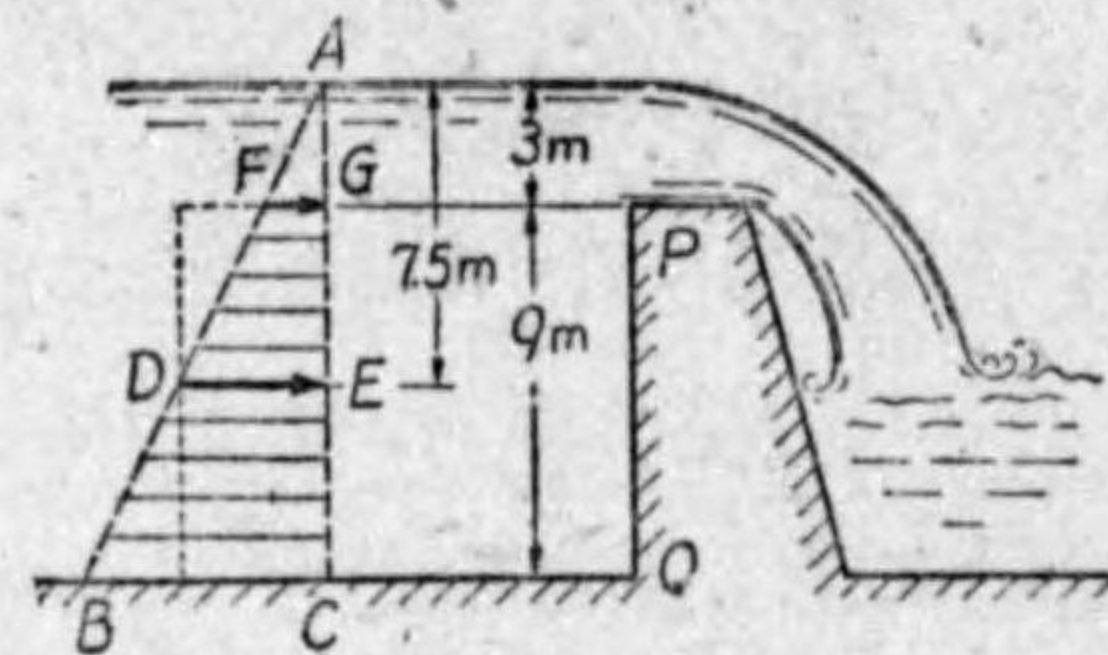
$ACC'A'$ に作用する全壓力は、各點の壓力の大きさの合計であるから、この全壓力は立方體 $ABCA'B'C'$ の體積で代表され得る。これを壓力の體積圖と云ふ。従つて第 2・3 圖で AC の中點 E

第 2・4 圖



壓力の體積圖

第 2・5 圖



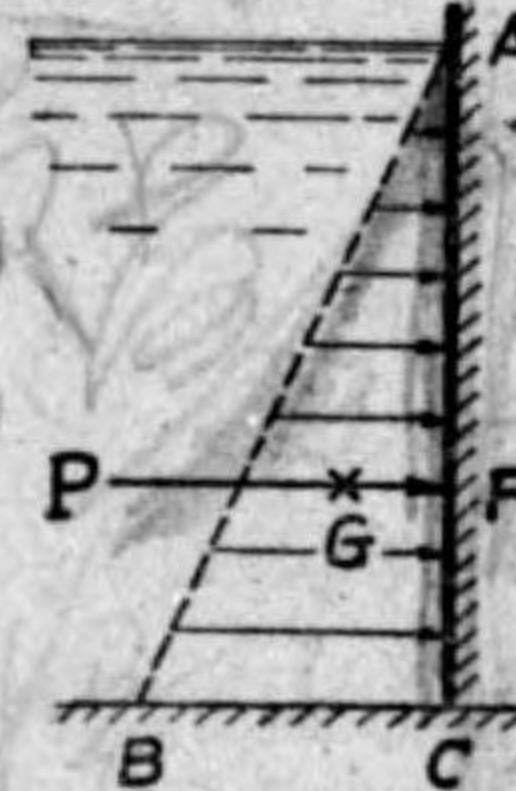
側壁に作用する全壓力

に働く壓力 DE が $ACC'A'$ 全面に作用した場合と同じ事になる。壓力をうける部分が水中の一部として存在する際にはその部分に相當する壓力の體積圖を求めて計算する。

例へば第 2・5 圖の様に高さ 9m なる側壁 PQ がある。流水は之よりも 3m を越えて流れてゐるものとする時に、側壁 PQ に働く全壓力を計算して見る。壓力の三角柱は左方に示す様に ABC となるが、このうちで側壁 PQ に及ぼす全壓力は面積 $FGCB$ で示される。之は GC の中點 E に及ぼす壓力 DE が PQ 壁に一樣に作用したと同じ事である。 E 點の水深は 7.5m であるから壓力の強さは 7.5 t/m^2 となる。故に PQ 壁に及ぼす全壓力は、壁の幅 1m に付き $7.5 \times 9 \times 1 = 67.5 \text{ t}$ である。

8. 側壁に對する壓力の中心 前述の様に第 2・6 圖に於

第 2・6 圖



水の壓力の中心

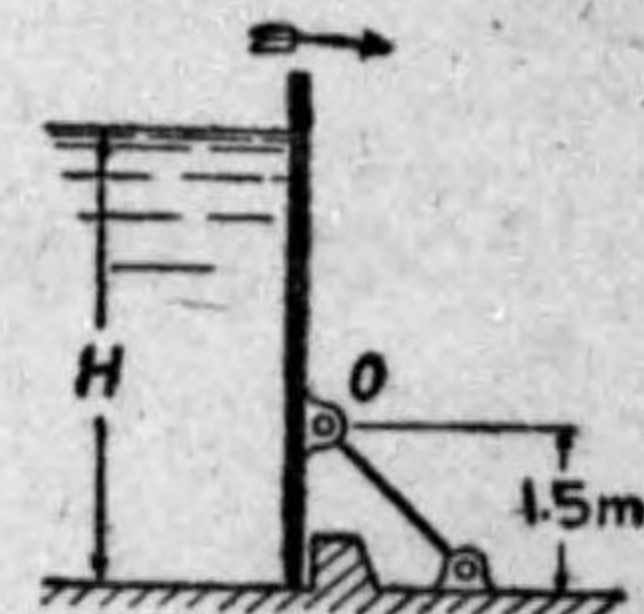
て幅の一樣なる側壁 AC に作用する全壓力は三角形 ABC の面積にて代表される。今この全壓力が一個の合成力 P に置き替へられて一點 F に作用したと考へた時、この F 點を壓力の中心と云ふ。逆に F 點にて全壓力 P に等しい力を反對方向から働かせれば、之は壓力の三角形 ABC と釣合ふ。

この作用點 F は幾何學上より三角形 ABC の重心 G を通る水平線上に在る。即ち F 點の位置は次の關係となる。

$$\overline{FC} = \frac{1}{3} \overline{AC} \quad \text{又は} \quad \overline{AF} = \frac{2}{3} \overline{AC}$$

第 2・7 圖は水を堰止める装置で、底から 1.5m の點を支點として居る。今 H が 1.5m の三倍、即ち 4.5m になると前述の理によつて壓力の中心點が O 點になるから、この深さ迄は釣合を保つて居るが、これ以上に少しでも増水すると

第 2・7 圖



水の壓力の中心と堰との釣合

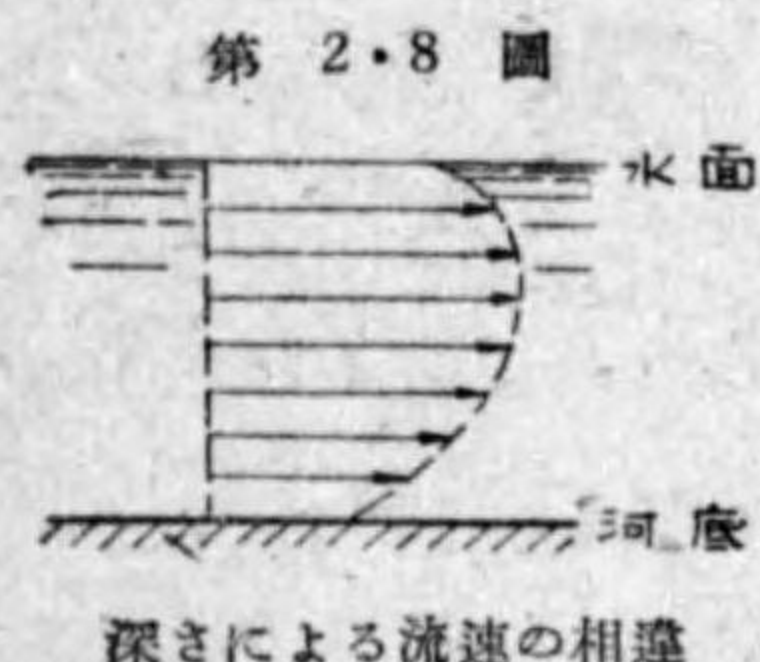
(壓力の中心が支點 O より上方に移るから) 堰止め板は矢の方向に動き始める。但し、この場合に板の奥行は一樣のものとし、板の目方や O 點の摩擦等は考へに入れないものとする。

2 - 3 - 4 - 5
(21)

9. 流量と流速 河川又は管の中を水が流れてゐる時、その任意の断面を単位時間に流過する水の量を流量と云ふ。今、断面積を $a \text{ m}^2$ 、水の速度を $v \text{ m/s}$ とすると、毎秒の流量 $Q \text{ m}^3$ は次の様になる。

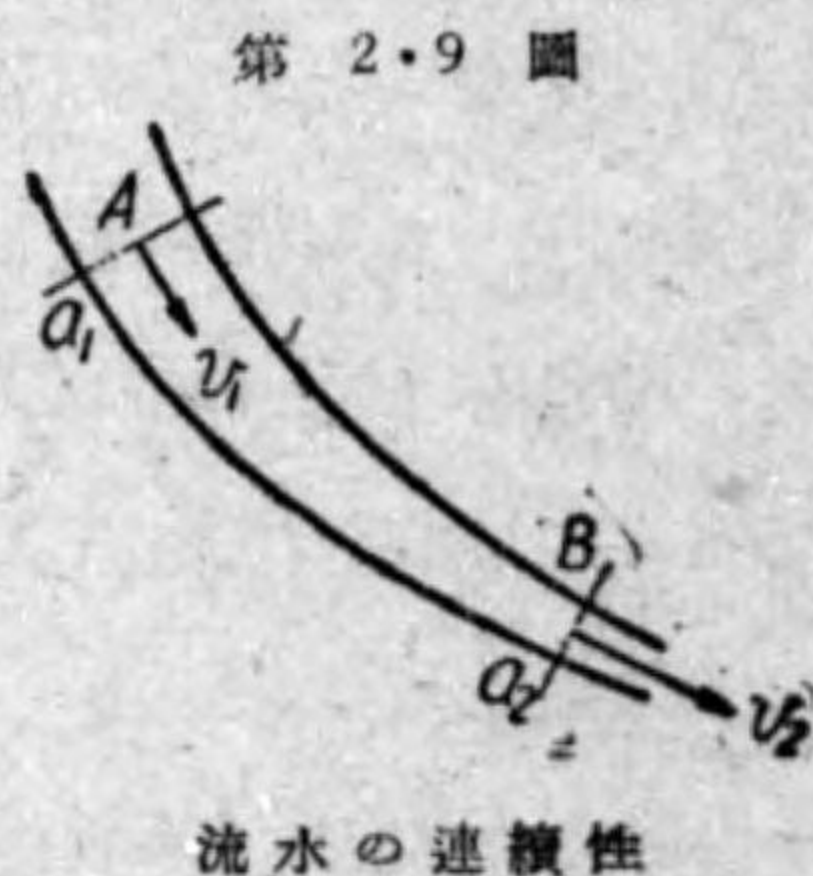
$$Q = av \quad (2.4)$$

或る断面の各點に於ける流れの速度は決して一樣ではない。



第 2.8 圖 例へば河川等に於ては第 2.8 圖に示す様に河底の水速が最小で、水面よりやや下位の點の水速が最大である。又圓形断面の管では管壁附近の水速が最小で、管の中央部に行くに従つて水速が大となる。前記の (2.4) 式に於ける速度 v は之等の速度の平均値の意味である。

10. 流水の連続性 第 2.9 圖の様に断面積の種々異なる管中を水が流れてゐるとき、任意の二點 AB の途中に於て他より水が流入し又は他に水が流出しない限り、 A に流入する流量と B より流出する流量とは常に同一でなくてはならない。斯様に任意の断面を一定時間に



相等しい流量が流動してゐる有様を流水の連続性と云ふ。今 A 、 B 二點の断面積を各 a_1, a_2 とし、水速を各 v_1, v_2 とすれば、各點を単位時間に流過する流量 Q は、各 $a_1 v_1, a_2 v_2$ であつて、之等は何れも相等しいのであるから、

$$Q = a_1 v_1 = a_2 v_2 \quad (2.5)$$

この式にてわかる通り、面積の小さい場所は流速は大に、面積の大なる場所は流速は小になる。

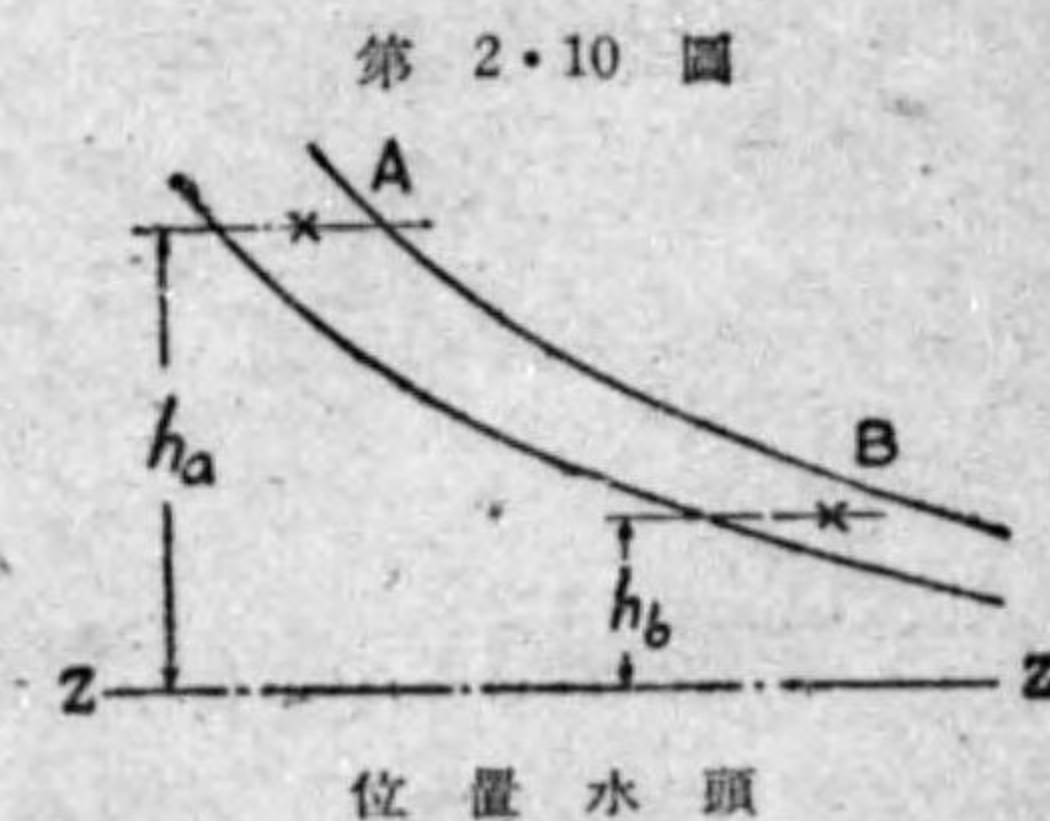
例 第 2.9 圖に於て AB 各點の断面積を各 1.2 m^2 及び 0.4 m^2 とし、 A 點の水速を 0.3 m/s とする時、 B 點の水速及び流量を求めよ。

解 (2.5) 式より

$$B \text{ 點の水速 } v_2 = \frac{a_1}{a_2} v_1 = \frac{1.2}{0.4} \times 0.3 = 0.9 \text{ m/s}$$

$$\text{流量 } Q = a_1 v_1 = a_2 v_2 = 1.2 \times 0.3 = 0.4 \times 0.9 = 0.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

11. 位置水頭 高所に在る水は或る高さ落下すると仕事を
する。即ちエネルギーを持つて
ゐる。物理学ではこれを位置
エネルギーと云ふが、水力学で
は位置水頭と云ふ言葉を使ふ。
第 2.10 圖に於て任意の基準
面 ZZ を考へ、この線から h_a
の高さに在る A 點の水は ZZ に對して h_a の位置水頭を有すと



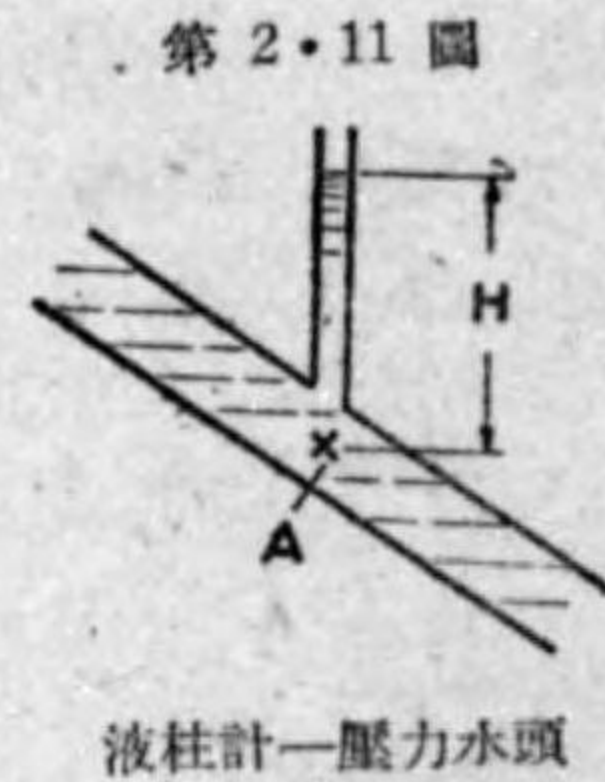
云ふ。同様に B 點の位置水頭は h_b である。 AB 兩點の位置水頭の差は $(h_a - h_b)$, 即ち鉛直距離を以て示され, A より B に至る通路の長さには関係しない。河川の流水等のエネルギーを利用する場合には, この位置水頭の差を特に**落差**と呼ぶ。

12. 壓力水頭 第 2・11 圖の様流水管中の一點 A にガラス管を立てると, 水は或る高さ H まで上昇する。水が流れてゐると否とに拘はらず, この高さが A 點の壓力を示す。このガラス管を**液柱計**と云ふ。

この壓力の大きさは第 4 節に述べた通りであり, $p = wH$ であるから逆に水柱の高さは $H = \frac{p}{w}$ となる。水力學では斯様に壓力の大きさを水柱の高さで言ひ表す場合が多く, 水力學上この高さを**壓力水頭** (pressure head) と云ふ。今水柱の高さを H m, 壓力の大きさを p kg/cm² とすれば, 次の様な關係がある。

$$H = 10 p \quad (2 \cdot 6)$$

13. 速度水頭 大なる水槽の側壁に於て, 水面より H m なる深さに中心を有する小孔を考へ, 之より噴出する水の速度を v m/s とすれば, H と v との間には次の關係がある (第 2・12

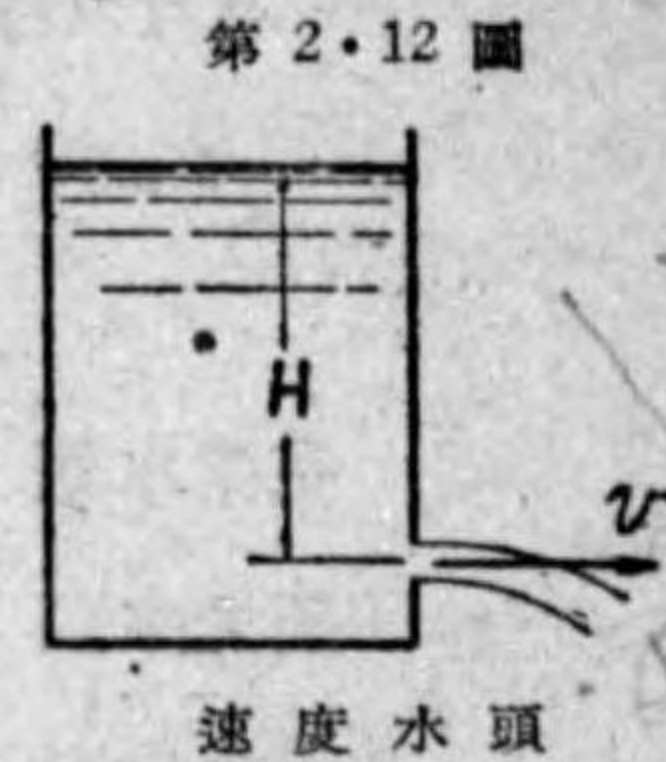


Handwritten notes:
 $H = \frac{v^2}{2g}$
 $v = \sqrt{2gH}$
 $H = \frac{v^2}{2g}$
 $v = \sqrt{2gH}$

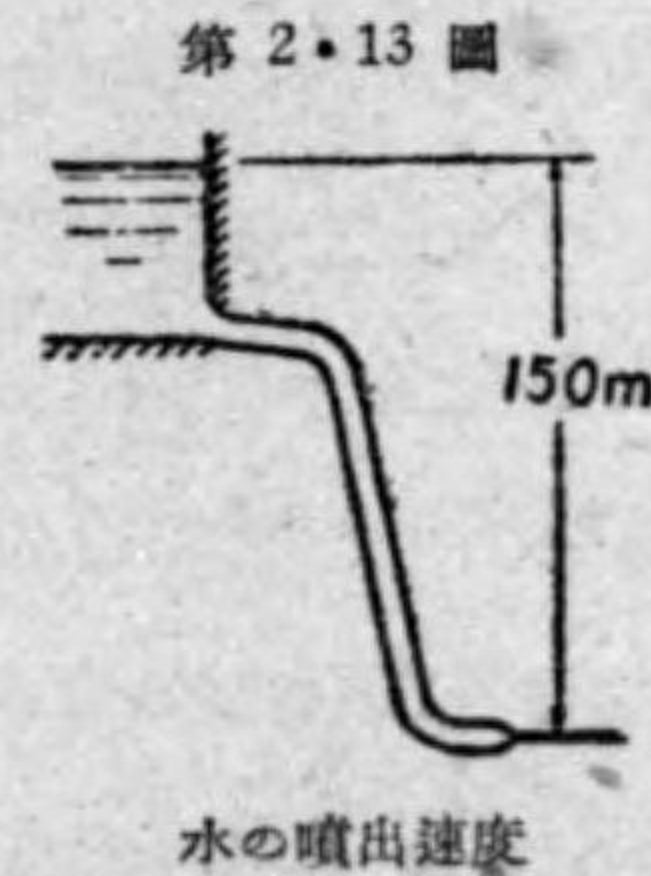
圖)。

$$\left. \begin{aligned} v &= \sqrt{2gH} \\ \text{又は } H &= \frac{v^2}{2g} \end{aligned} \right\} (2 \cdot 7)$$

但し g は地球の重力による落體の加速度で, 9.8 m/s/s にとる。この式は水の深さと其の點から噴出する水の速度



との關係を示したものであるが, 逆に v なる速度を以て垂直に噴出する水は空氣の抵抗其の他を無視すれば理論上 H の高さ



迄上昇する筈である。即ち $\frac{v^2}{2g}$ は水の速度による水頭であるから, 之を**速度水頭**と云ふ。(2・7) 式の噴出速度は, 摩擦其の他の損失が無いものとした時の速度であつて, 之を普通は理論速度と云ふ。實際の場合には之よりも幾分か減する。

例 第 2・13 圖の様, 水槽から太い水管を以て水を下方に導き, 先端にある小孔から水を噴出せしめる時, 水の噴出速度を計算せよ。但し水槽水面より噴出口までの鉛直距離を 150 m とし, 摩擦其の他の損失は考へないものとする。

解 (2・7) 式より

$$v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 150} = 4.43 \times \sqrt{150} = 54.2 \text{ m/s}$$

この例に示す様に, 噴出速度は水面からの鉛直距離に關係し, 管の傾斜又は長さ等には關係しない。

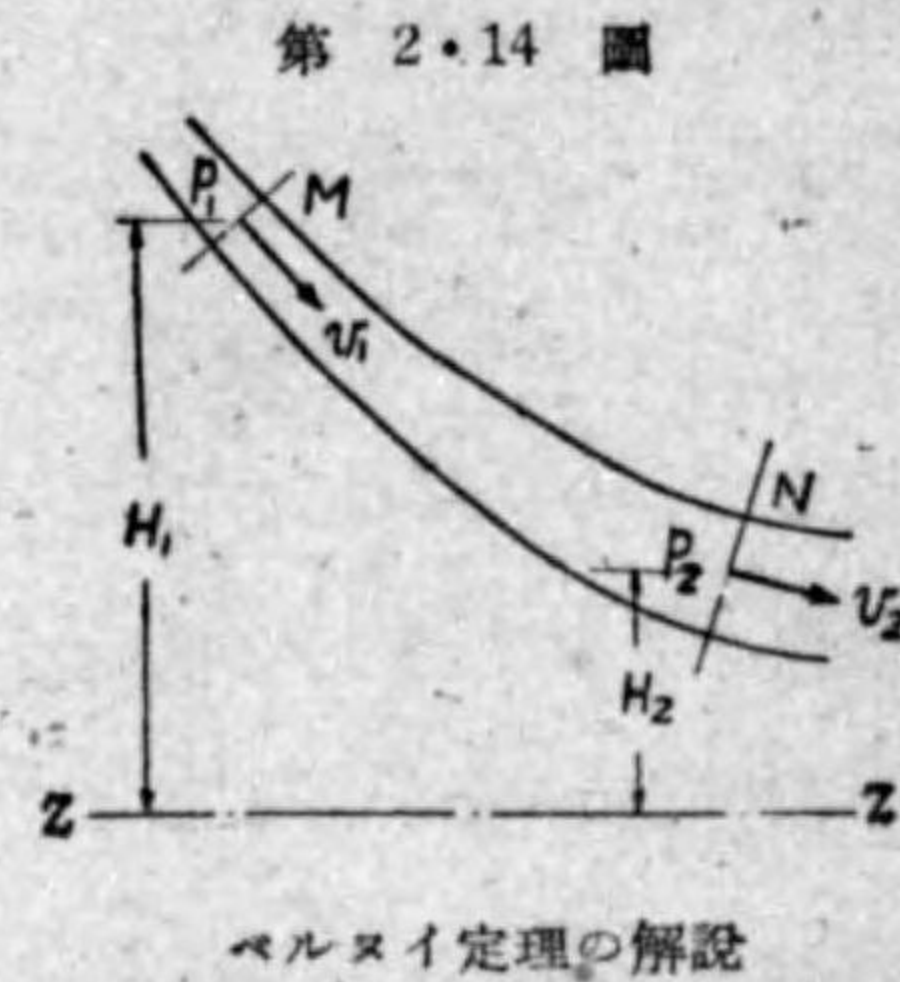
14. ベルヌイの定理 前に述べた通り、流水は次の三種の異なるエネルギーを持つてゐる (第 2・14 圖)。

- (a) 位置水頭
- (b) 壓力水頭
- (c) 速度水頭

而してこれ以外のエネルギーは持つてゐない。

今第 2・14 圖の様な管中の流れに於て、摩擦其の他の損失は一切考へないものとする。任意の二點を M , N とし、任意の基準面 ZZ からの高さを各 H_1 , H_2 , 壓力の大きさを各 p_1 , p_2 , 流速を各 v_1 , v_2 とする。然らば M 點の有する全エネルギーは H_1 , $\frac{p_1}{w}$, $\frac{v_1^2}{2g}$ なる三つの水頭の和であつて、之は N 點に流れて行くに従つて各の大きさは變るけれども、他からエネルギーの供給を受けず又他にエネルギーを供給しないのであるから、結局 M 點で持つてゐる水の全エネルギーは、 N 點で持つてゐる水の全エネルギーに等しい筈である。この三種の水頭の總和は N 點以外の任意の點でも同様に等しい値を有し、之を全水頭 (H_0) と云ふ。式にて示せば

$$H_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} = \dots = H_0 \quad (\text{一定}) \quad (2 \cdot 8)$$



ベルヌイ定理の解説

之をベルヌイの定理と云ふ。

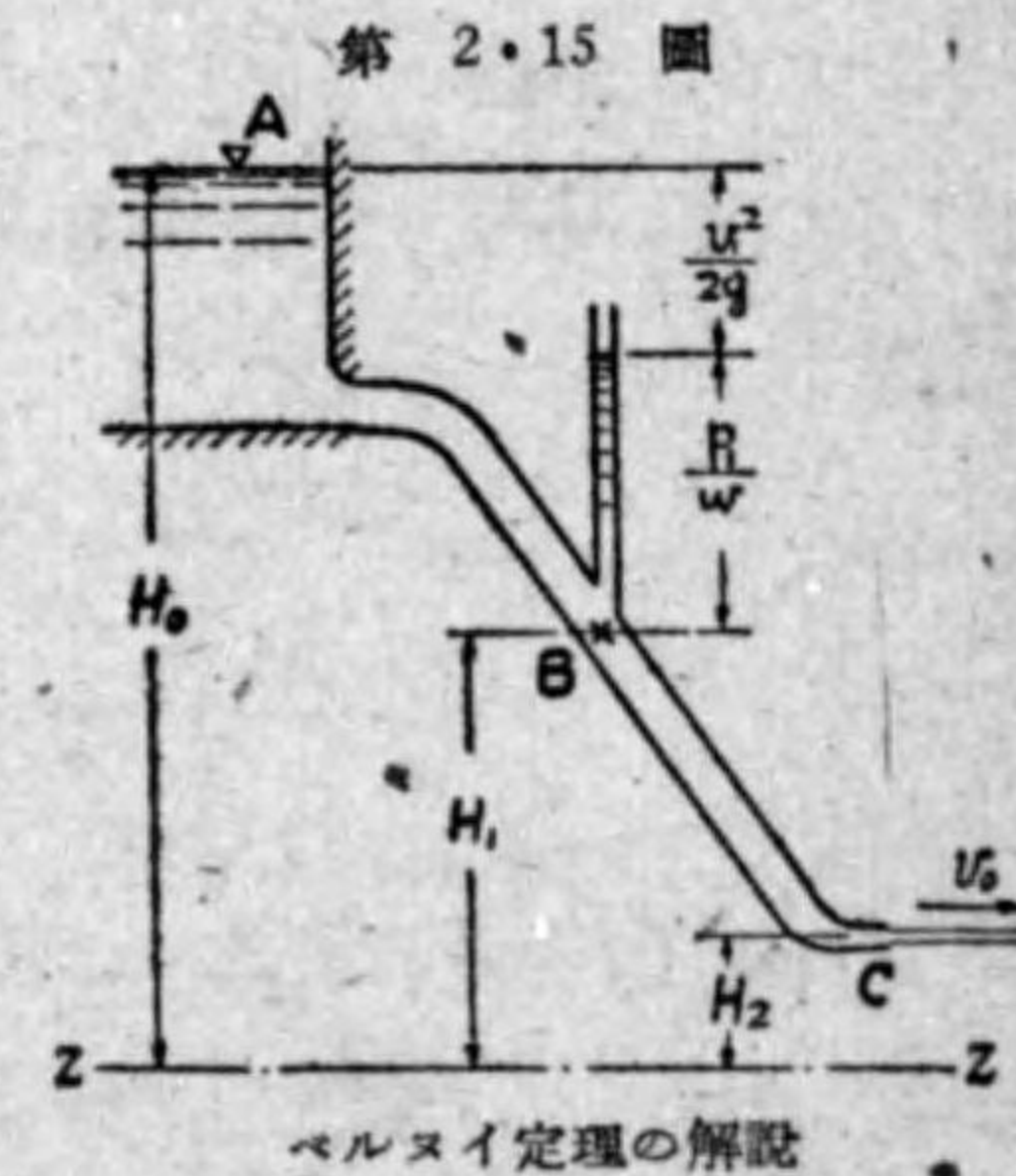
今、位置水頭を m , 壓力の強さを kg/cm^2 , 速度を m/s なる単位を用ふれば、(2・8) 式は次の様になる。

$$H_1 + 10p_1 + \frac{v_1^2}{19.6} = H_2 + 10p_2 + \frac{v_2^2}{19.6} = H_0 \quad (2 \cdot 9)$$

更に之を第 2・15 圖の様な水流に就て説明しよう。但し水槽の面積は非常に大であるとし、管中の摩擦其の他の損失は考へないものとする。

水槽水面 A に於ては任意の基準面 ZZ から高さ H_0 なる位置水頭のみを有し、壓力水頭及び速度水頭は零である。之が管中を流下して B 點に達すると、位置水頭は H_1 に減じ、壓力水頭は $\frac{p_1}{w}$ に、速度水頭は $\frac{v_1^2}{2g}$ になる。そしてこの三水頭の和は H_0 に等しい。更に C 點に達して大氣中に噴出する時は、位置水頭は H_2 となり、壓力水頭は零であり、残りの $(H_0 - H_2)$ のエネルギーは全部が速度水頭となつて表れる。即ち $\frac{v_2^2}{2g} = H_0 - H_2$ の關係となり前式 (2・7) が得られる。

例 第 2・16 圖の様に傾斜した管に流水して居る。 AB 二點の鉛直高さ



ベルヌイ定理の解説

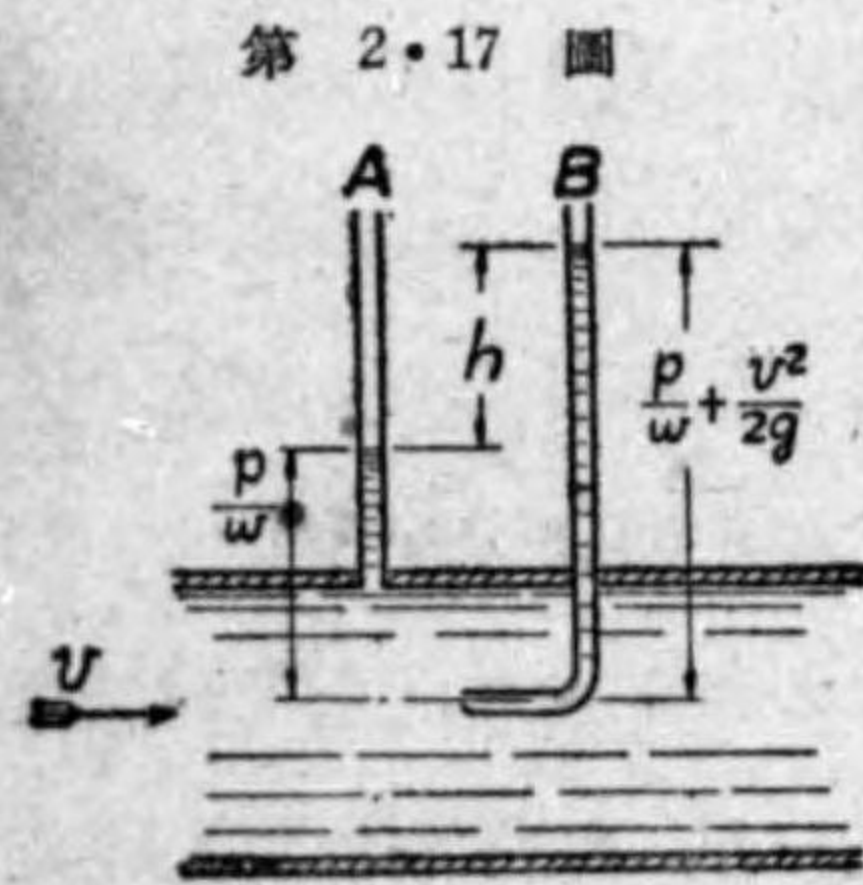
は 6 m で、A 點の水速毎秒 1 m、水
 壓 1.3 kg/cm² なる時、B 點の水壓は
 何程か。但し A、B 兩點の管の斷面積
 は各 0.28 m² 及び 0.14 m² とし、管中
 の摩擦其の他の損失は考へ無いものと
 する。

解 B 點の水速 = $1 \times \frac{0.28}{0.14} = 2 \text{ m/s}$
 ベルヌイの定理によりて基準面を A 點
 に取れば、(2・9) 式より

$$0 + (10 \times 1.3) + \frac{1^2}{19.6} = 6 + (10 \times p_2) + \frac{2^2}{19.6}$$

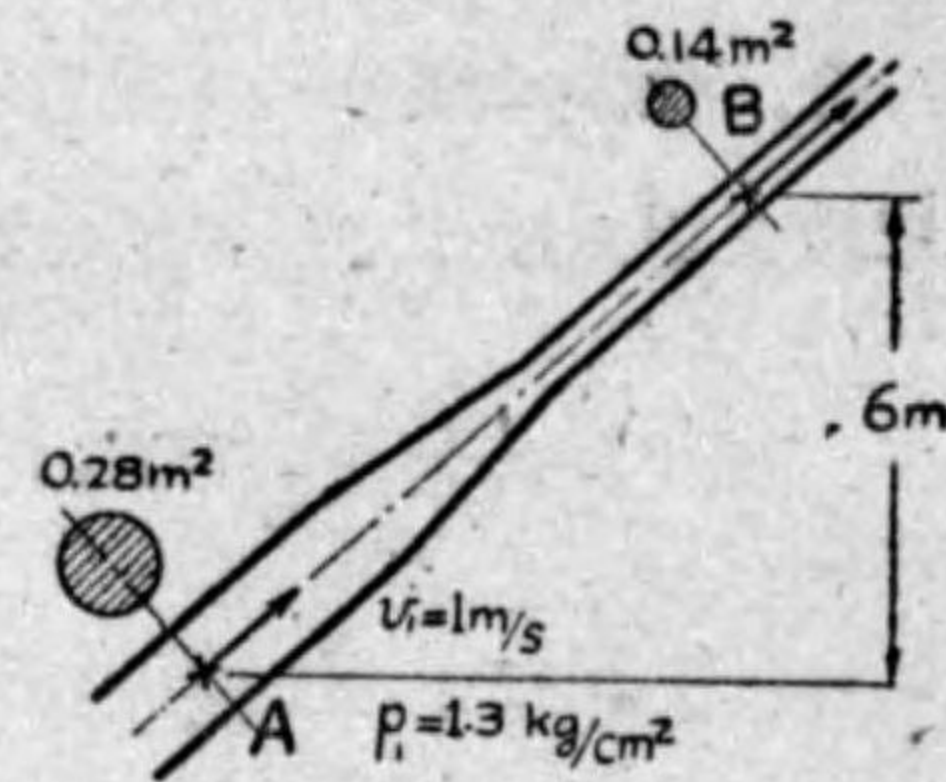
$$p_2 = \frac{1}{10} \times \left(13 + \frac{1^2 - 2^2}{19.6} - 6 \right) \div 0.685 \text{ kg/cm}^2$$

15. ピトー管 第 2・17 圖の様に水平に置かれた管中を、
 一様な速度 v を以て水が流れる時、管壁に取付けた細管 A に



は管の中心から $\frac{p}{w}$ なる高さ迄水
 が昇る。之を静壓力と云ふ。然る
 に B の様に先端が流れの方向に
 曲つてゐる細管を立てると、水は
 $\frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g}$ に相當する高さ迄上昇
 する。之を動壓力と云ふ。この
 A、B 兩管の水面の差 h は $\frac{v^2}{2g}$
 に等しい。即ち $v = \sqrt{2gh}$ の關係となるから h から v を求め

第 2・16 圖

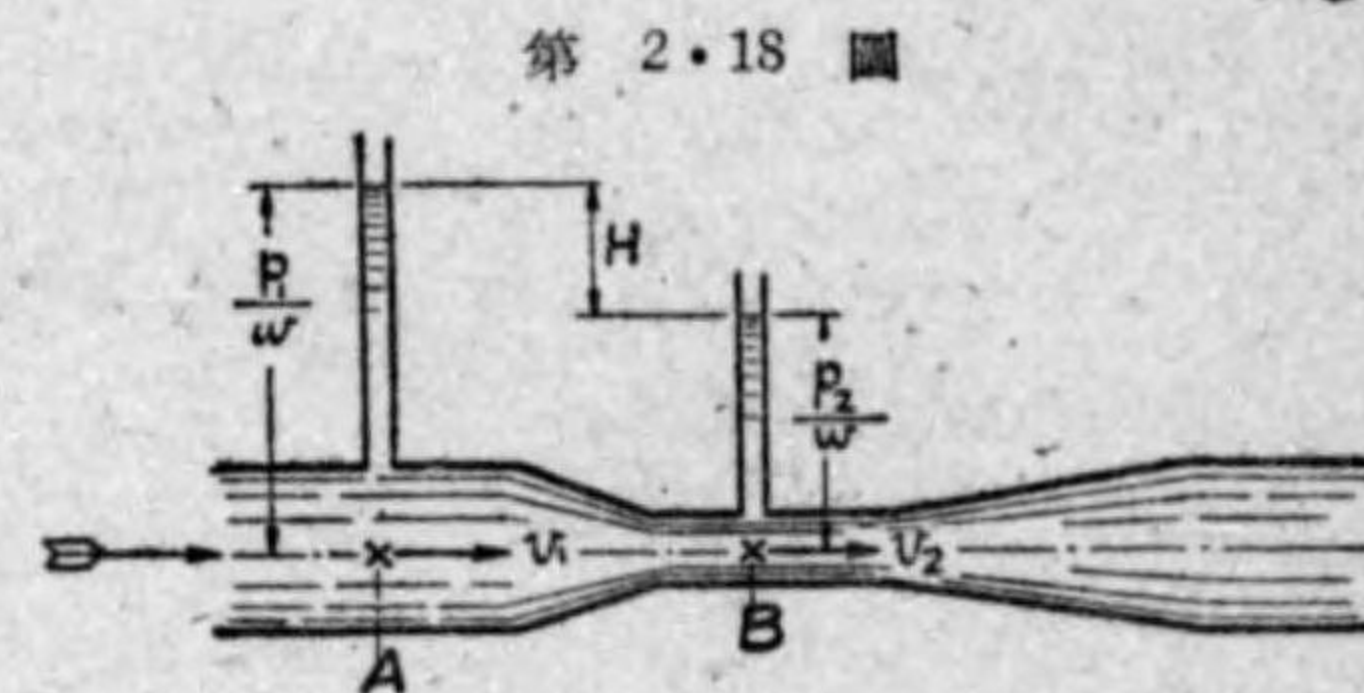


水管内の壓力

ることが出来る。この B 管をピトー管と稱し、管中の流速の
 測定に利用せられる。實際のピトー管の構造には種々あるから、
 流速 v と水面差 h との關係は $v = C\sqrt{2gh}$ で示される。C は
 ピトー管の形狀によつて異なる係數で、實驗から定める。普通
 には殆ど 1 に近い數値である。

16. ベンチュリ・メータ 第 2・18 圖の様に水平に置い

た直管の途中を一
 部細くして置くと、
 前述のベルヌイの
 定理によつてその
 細部の水速は早く
 なり、従つて壓力



ベンチュリ・メータ

は降る。ベンチュリ・メータと云ふのは、この原理によつて、
 管の太い所と細い所との水壓の差 H を測り、之より流量を計
 算から求めることの出来る装置である。

今、第 2・18 圖に於て

$$a_1, a_2 = A, B \text{ 兩點の斷面積 (m}^2\text{)}$$

とすれば流量 Q (m³/s) は次式にて示される。

$$Q = K \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2gH} \quad (2 \cdot 10)$$

但し $H = \frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w}$ である。即ち A, B 兩點の斷面積と、兩點の水壓の差とを知れば、この式より流量を算出し得られる。

K の値は管の構造、形状等によつて異なる係數で、實驗から定めるものであるが、一般には殆ど 1 に近い。

例 第 2・18 圖の様なベンチュリ・メータに於て、 A, B 兩點の面積を各 0.09 m^2 及び 0.01 m^2 とし、水壓の差を 6 kg/cm^2 とすれば流量如何。但し K の値を 0.97 とする。

解 6 kg/cm^2 は水柱に直すと 60 m であるから (2・10) 式より

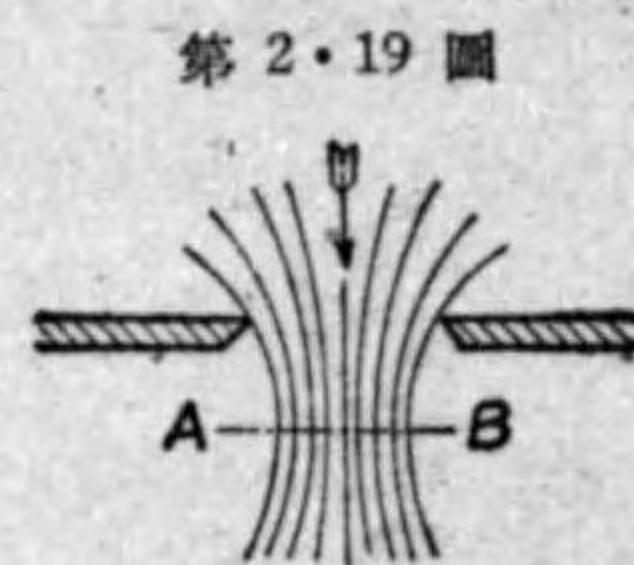
$$Q = K \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2gH} = 0.97 \frac{0.09 \times 0.01}{\sqrt{0.09^2 - 0.01^2}} \sqrt{2 \times 9.8 \times 60} \approx 0.332 \text{ m}^3/\text{s}$$

ベンチュリ・メータはこの例に示す様に、細部の直径を太い部分の直径の $\frac{1}{3}$ に取るのが普通である。

17. 噴水の収縮, 速度並に流量 第 2・19 圖の様に尖つ

た縁を持つてゐる噴出口から水が噴出する有様を見ると、水流は各方向から孔に向つて集中して来るために、流出端に於て急に流れの方向を變へることが出来ず、

その結果として噴水の面積は孔の面積よりも一旦小さくなる。この現象を噴水の収縮と云ひ、最大の収縮を起す部分 AB を収縮部と云ふ。第 2・20 圖の様に噴出口が流線形をしてゐる時は、収縮は起らない。

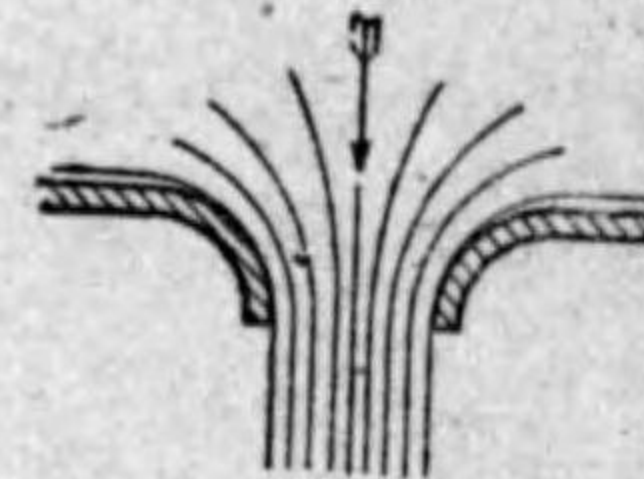


第 2・19 圖

噴水の収縮

今、孔の面積を A とし噴水の最大収縮部 AB における斷面積を a とすれば $\frac{a}{A}$ の比を収縮係數と稱し C_c なる符號を用ひる。又 AB 部の水の速度は種の抵抗のために理論上の水速 $\sqrt{2gH}$

第 2・20 圖



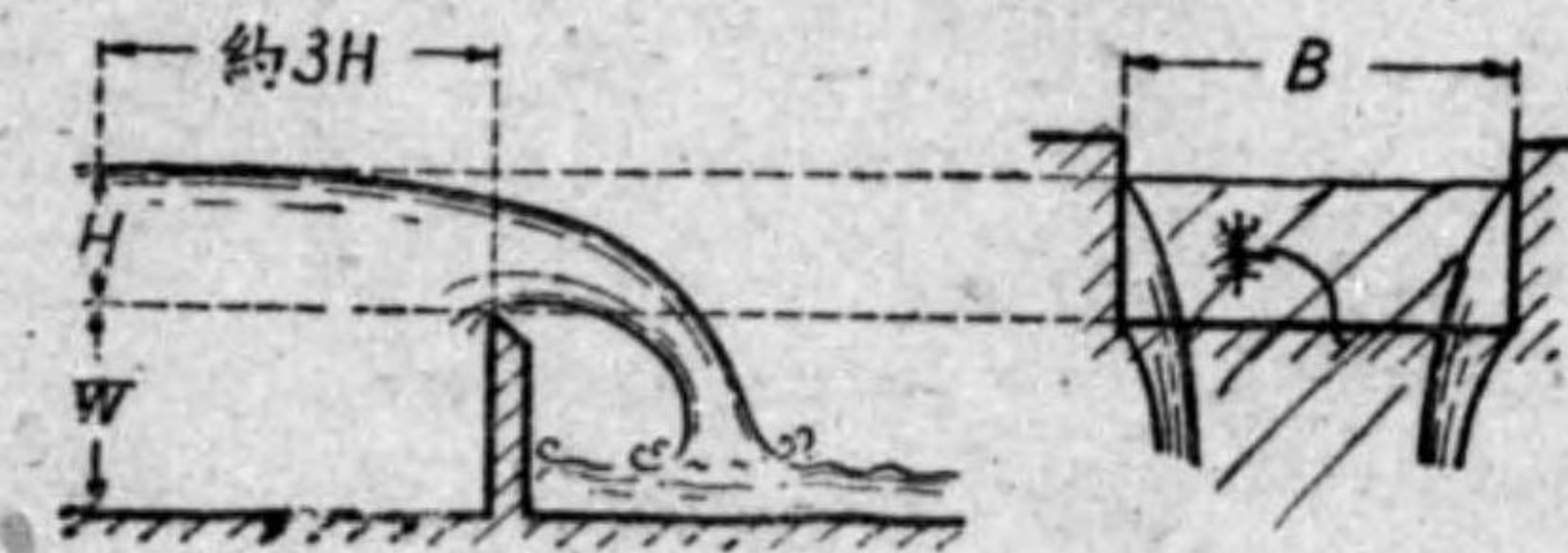
収縮を起さぬ噴出口

よりも幾分か小さい。假りに實際の速度が $C_v \sqrt{2gH}$ であつたとすれば C_v を速度係數と稱する。従つてこれより實際の流量は $C_c A \times C_v \sqrt{2gH}$ にて示される。然るに $A \sqrt{2gH}$ は理論上の流量であるから $C_c C_v$ の値は流量に關する一種の係數であつて $C_c C_v = C_d$ とおけば C_d を流量係數と稱し、噴出口の形状によつて變る値である。第 2・19 圖の様な形状のものでは $C_d = 0.62 \sim 0.64$ にも達することがある。

18. 矩形堰 矩形堰と云ふのは第 2・21 圖の様に、流水の

途中に垂直の板を置き、之に矩形の切り欠きを作り、之より水

第 2・21 圖



。 矩 形 堰

を流下せしめるもので、小さな河川又は發電所の放水路等に於ける流量を測定する場合に用ひられる。切り欠きの上縁を峯と云ふ。峯の幅を B とし、峯を越す水の高さを H とすれば、

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} B H^{\frac{3}{2}} \quad (2 \cdot 11)$$

で示され、之が矩形堰の流量計算の基本式である。 C_d の値は堰の構造や H の大小によつて異なるばかりでなく、峯から底までの深さ W や河幅と B との割合などによつても多少變る。實驗の結果によると大略 $0.6 \sim 0.7$ 程度である。峯を越す水の流れは重力の影響をうけて峯の眞上では多少の傾斜をして來るから H を測定するには峯から大凡 $3H$ 程上流の所で測る。

19. 堰 堰とは一般に主とし

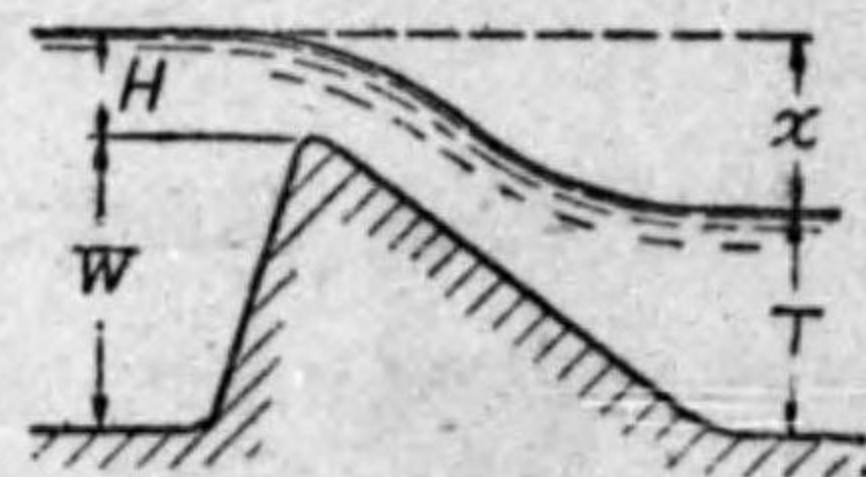
て流水を堰止めて水面を高くする目的に使はれる。

堰の幅を B とすれば、第 2・22 圖のやうな堰に於ては、流量 Q は (2・11) 式と同じく

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

で示されるが、 C_d の値は、堰の形状によつて著しく變る。今 $\frac{2}{3} C_d$ の値を 0.46 と假定し、メートル單位で算式を作ると

第 2・22 圖



堰による水面の上昇

$$Q = 2.04 B H^{\frac{3}{2}} \quad \text{又は} \quad H = \left(\frac{Q}{2.04 B} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2 \cdot 12)$$

の関係が得られるから、深さ T なる水面を x だけ高めるに要する堰の高さ W は次の様になる。

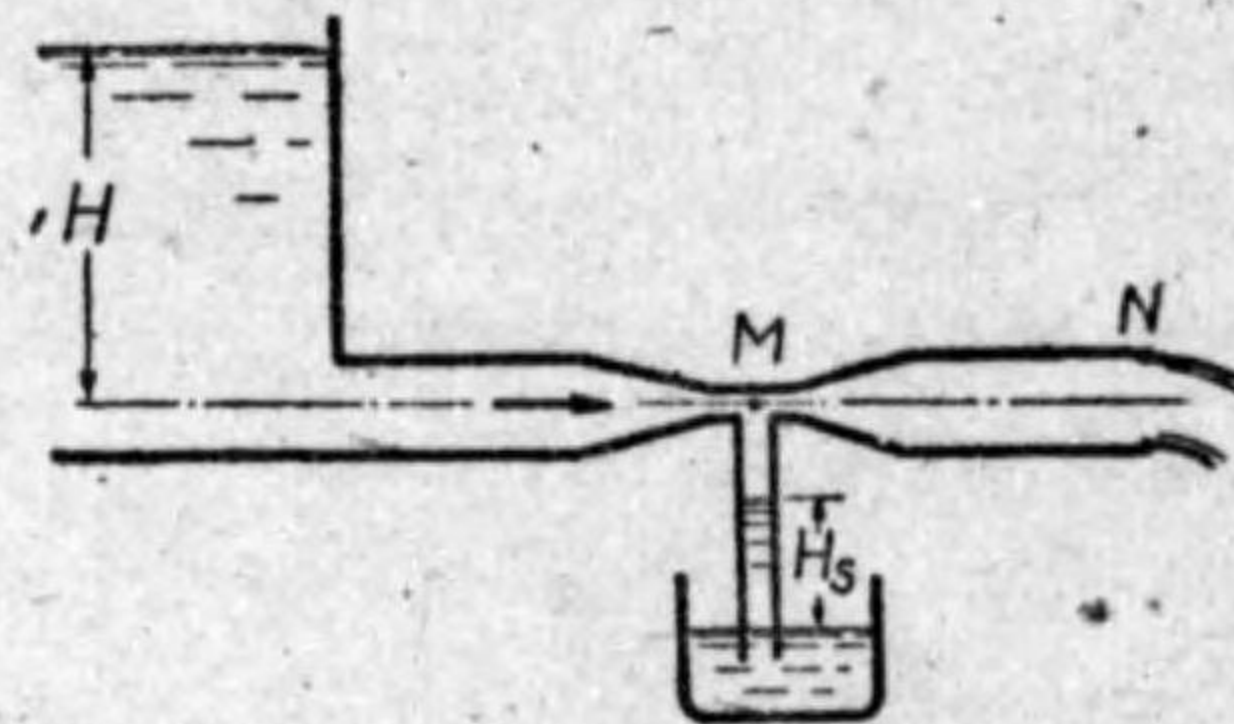
$$W = T + x - H = T + x - \left(\frac{Q}{2.04 B} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2 \cdot 13)$$

復習問題 II

1. 水力發電所の水槽から水圧管で水車に水を導いて居る。今、水車入口の弁を閉じて水圧管内の流れを止め、水車入口の點に壓力計を取附けたところ、壓力計に 8.5 kg/cm^2 と指示された。壓力計の位置から水槽の水面迄の鉛直の高さは何程か。 答 85 m
2. 水深 26 m の水壓を鉛直壁の堰堤で堰き止める時、幅を 35 m とすれば堰堤に及ぼす全壓力は何程か。 答 1183 ton
3. 壓力の中心點の意義を問ふ。又實用上に於て如何なるところに應用されてゐるか。
4. 問題(1)に於て水圧管端に小孔をあけて水を噴出せしめれば水の噴出速度は理論上何程となるか。 答 毎秒 40.7 m
5. ベルヌイの定理を述べ、これが應用せられ居る種々の現象を擧げて説明せよ (次の二問題はその例である)。
6. 幅の狭い水路を大型の船が航行する際に、船が一方の岸に近づけば益々船はその岸の方に押される理由を述べよ。
7. 流れてゐる流體の中で圓筒を回轉すると圓筒には流れに直角の方向に移動せんとする力が起る。この理由を述べよ。この際、移動せんとする方向は流れの方向に對して右か左か。

8. 管内に充滿して流れる水の速度を測定するために、管の中心部にピトー管を挿入したところ、ピトー管中の水の上昇高さが管の中心から 2.22 m であつたと云ふ。管内の流速を問ふ。但し管の静圧力は 0.2 kg/cm^2 と假定する。 答 毎秒 2.08 m
9. ベンチュリ・メータとは如何なるものか。これは如何なる原理が應用せられたものか。如何なる所に使用せられるか。又公式 (2・10) は如何にして誘導されるか。
10. 第 2・23 圖の様に水槽から管路で送水する時、途中 M 點で管が細

第 2・23 圖



くなつて居り N 點で大氣に放水してゐる。 M 點の面積を 80 cm^2 、 N 點の面積を 700 cm^2 とすれば M 點で水を吸ひ上げる高さ H_s は何程か。但し流量は毎秒 35 l とする。 答 96.3 cm

11. 水頭 20 m の下に於て鉛直に噴射する水は理論上何程の高さに上昇する管か。但し速度係数を 0.98 と假定する。 答 19.2 m
12. H を利用し得る全水頭、 h を損失水頭とし、前問題を h/H の比で示せば如何。 答 4%
13. 矩形堰に於て峯を越す水面迄の高さを 23 cm 、堰の幅を 3 m とすれば流量は何程か。但し流量係数を 0.625 として一般基礎式にて計算せよ。 答 610 l/s

第三章 水力学一般 (其二)

1. 流體摩擦 流體に粘性が無いと假定すればこの様な流體の流れにはエネルギーの損失が起らないと考へられる。しかし實際の流體には幾分かの粘性があるから流れに際して或る程度の抵抗を興へる。流れはこの抵抗に打ち勝つて流體を流動せしめるために幾分かのエネルギーを消費しなければならない。このエネルギーは結局は熱の形に變り流れのエネルギーとしてはもはや回収することが困難であるから、之を摩擦損失と稱する。この損失は他の條件が同一ならば粘性の大きい流體ほど大である。

實際の流れは多くの場合、固体の導壁に沿うて流れる。この際、壁面に接した流體の微粒子は壁に附着して流れないものと考へられる。然るに壁から少し離れた點の微粒子は或る速度を持つてゐるからこの兩者の間に當然速度の差が生じて流體の層と層との間に滑りが起る。これが抵抗となつてエネルギーの損失を伴ふ。

要するに流體摩擦なるものは流體微粒子間の相對運動のために起るもので、これを固体と固体との間に起る摩擦即ち固体摩擦と區別するために特に流體摩擦と云ふ。即ち流體摩擦とは流體と固体との接觸面にのみ起るものではなく流體自身の中で起

るから、これを内部摩擦とも云はれる。この様な理由から固体摩擦と流體摩擦とは全然種類の違つたものであつて、これを直接に比較することは何等の意味も爲さない。

流體摩擦の持つ性質を取り擧げて見ると

- (1) 流體と固体との接觸してゐる表面積の廣さに略正比例する。
- (2) 流體と固体との相對速度の自乗に略正比例する。
- (3) 接觸する固体表面の粗滑の度合によつて變る。
- (4) 流體の壓力の大小には關係しない。例へば管内を流れる水の壓力が増大しても、抵抗は増減せず、従つて流れの難易には殆ど變りはない。

今 S = 接觸面の大きさ v = 流れの相對速度

f = 接觸面の粗滑に關する係數 (一種の流體摩擦係數)

とすれば、摩擦力 R は前の四つの條件から次式にて示される。

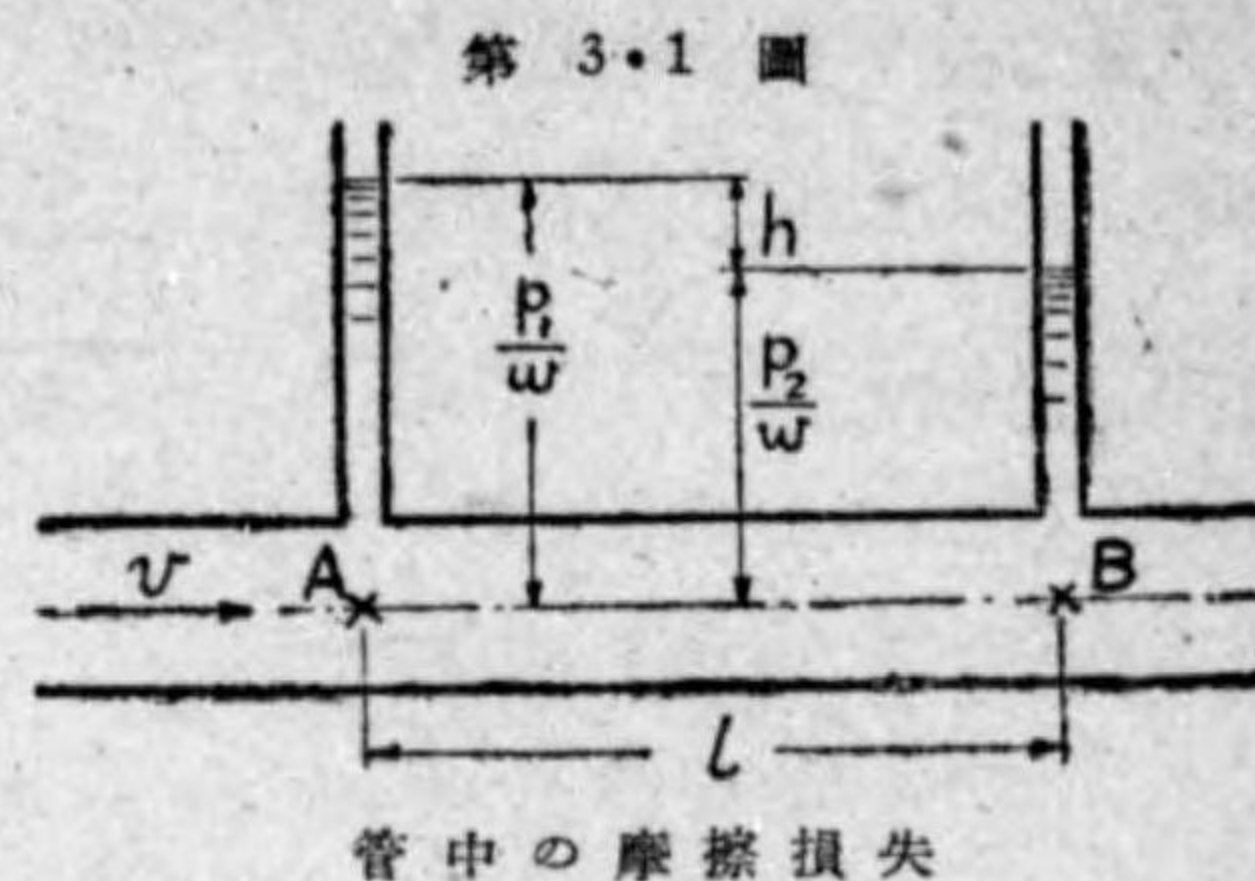
$$R = f S v^2 \quad (3 \cdot 1)$$

之は流體摩擦の一般式で、多くの實驗式の基礎となるものである。

2. 圓形管中の摩擦損失 第3・1圖の様に斷面積の一樣な管を水平に置き之に流體を流過せしめた時、任意の二點 AB に就てベルヌイの定理を適用して見ると、この兩點に於ける位

置水頭及び速度水頭

は何れも相等しいのであるから、兩點の壓力水頭も亦相等しくなくてはならぬ筈である。然るに實際



に AB 兩點の壓力を液柱計によつて驗すると、圖の様に上流よりも下流の方が壓力が低く現れる。そこで液柱計の水面の差 h 、即ち AB 兩點の壓力の差 h は AB 間の流體摩擦による損失水頭、云ひ換へれば A から B に流れる間に摩擦抵抗に打ち勝つために費されたエネルギーと考へられる。従つて摩擦損失水頭を考慮に入れたベルヌイの定理は一般に

$$H + \frac{p}{w} + \frac{v^2}{2g} + h(\text{損失水頭}) = (\text{一定})$$

にて示され、第3・1圖の場合は流速 v 及び位置水頭 H が何れも相等しいのであるから、

$$\frac{p_1}{w} = \frac{p_2}{w} + h \quad \text{又は} \quad h = \frac{1}{w} (p_1 - p_2) \quad (3 \cdot 2)$$

となる。この様に管中の摩擦による損失水頭は、壓力の差によつて示される。

3. 摩擦損失の計算式 第3・2圖の様に直径が一樣で、

一直線をなす管中を水が流れる時、 AB 二点間に生ずる摩擦損失水頭は次式にて計算される。

$$h = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (3 \cdot 3)$$

但し h = 摩擦損失水頭 (m) l = AB 二点間の距離 (m)

d = 管の内径 (m) v = 管内の流速 (m/s) λ = 係数

係数 λ の値は、管の内面の粗滑の度合によつて變る單位の無い唯の數値で、實驗の結果から得られる。この値は粗滑の度合ばかりでなく、詳しく云ふと管徑、水速等の異なるにつれても多少變る。従つて明確には云ひ表せないが、大凡次の様な數値である。

比較的新しい滑かな鑄鐵管に對し $\lambda = 0.024$

比較的古い錆びたる鑄鐵管に對し $\lambda = 0.030$

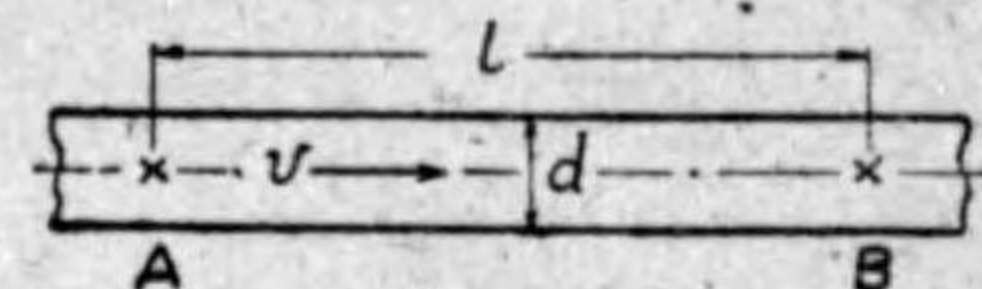
例 内徑 60 cm の鐵管にて一晝夜に $24,000 \text{ m}^3$ の水を流過せしめんとする。鐵管の長さを 1500 m とすれば、損失水頭は何程か。但し $\lambda = 0.02$ とし計算せよ。

解 管の斷面積 = $\frac{\pi}{4} \times 0.6^2 \text{ m}^2$

毎秒の流量 = $\frac{24,000}{24 \times 60 \times 60} \text{ m}^3$

流速 = $\frac{24,000 \times 4}{24 \times 60 \times 60 \times \pi \times 0.6 \times 0.6} = 0.985 \text{ m/s}$

第 3.2 圖



直 線 管

(3.3) 式より

$$h = 0.02 \times \frac{1500}{0.6} \times \frac{0.985^2}{2 \times 9.8} = 2.44 \text{ m}$$

備考 (3.3) 式は次の様にして誘導する。今、管の斷面積を a とすれば $a(p_1 - p_2)$ なる力は AB 間の距離 l を流れる間に生じた摩擦抵抗と考へられるから $a(p_1 - p_2) = awh = fSv^2$ と置くことが出来る。これより $h = \frac{fSv^2}{wa}$ を得る。然るに a は $\frac{\pi}{4}d^2$, S は πdl であるから夫々を代入すると

$$h = \frac{4f}{w} \frac{lv^2}{d}$$

となる。 $\frac{4f}{w}$ は與へられた管については常數であるから w を水頭の形にする爲に $2g \times \frac{4f}{w}$ を λ と置くことが出来る。故に

$$h = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

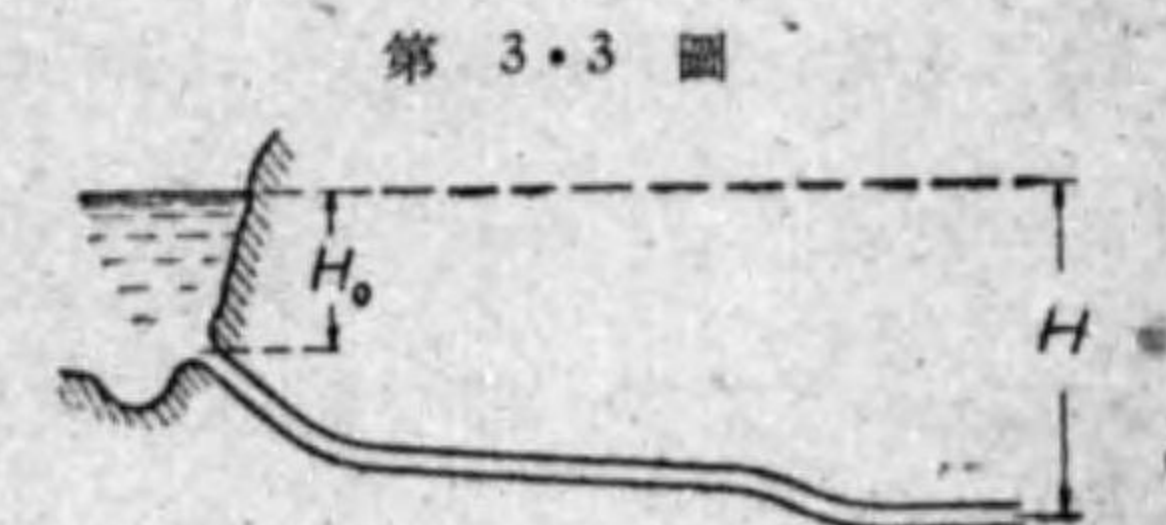
となる。

4. 管中の水速 摩擦による水頭の損失は前述の通り、壓力の大小には關係無いのは勿論、管の傾斜の度合にも無關係である。唯管材、管徑、管長及び水速によつてのみ變る。管内の水速も管先端の水の出口の

大きさによつて變るのであつて、管の傾斜の度合には關係が無い。今管の出口の面積を大きくすれば管中の水

速は大となり、従つて流量は増加する。(3.3) 式は摩擦による損失水頭を算出する式で、逆に水速を算出する式では無いが、

深い貯水池よりの緩勾配の水路



第 3.3 圖

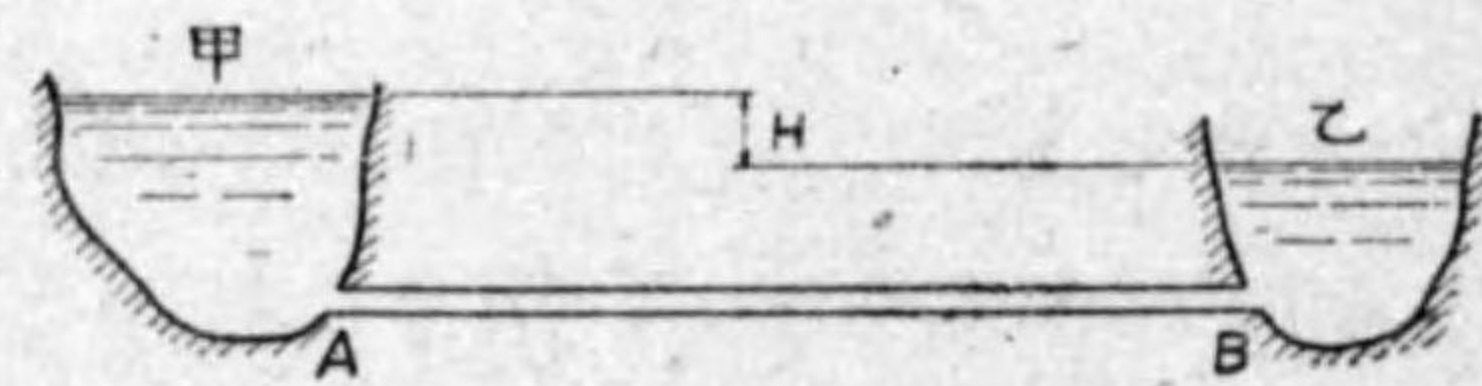
深い貯水池よりの緩勾配の水路

第 3・3 圖の様に相当深い貯水池の底から長い緩勾配の同一直径の管で自由に水を放出するやうな場合には、(3・3) 式を應用して管内の水速を算出することが出来る。即ちこの場合には貯水池の水の有する全水頭 H と、管の出口に於ける水の速度水頭との差が、管内の摩擦水頭として失はれ、且つ管内と管出口に於ける流速は等しいのであるから、次の關係となる。

$$\left. \begin{aligned} H - \frac{v^2}{2g} &= (\text{管内の摩擦水頭}) = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \\ \text{即ち } H &= \left(1 + \lambda \frac{l}{d}\right) \frac{v^2}{2g} \end{aligned} \right\} (3 \cdot 4)$$

第 3・4 圖の様に甲乙二個の貯水池を管路で連結する時は兩

第 3・4 圖



二個の貯水池を連結する場合

貯水池の水面の高さの差 H が摩擦損失水頭 $h = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$ であるから見られるから、この際の管中の平均水速は $v = \sqrt{\frac{2gHd}{\lambda l}}$ で示される。例へば管路の全長を 500 m、管径を 15 cm、水面の差 H を 4 m、 λ を 0.04 と假定すれば、管内の水速は

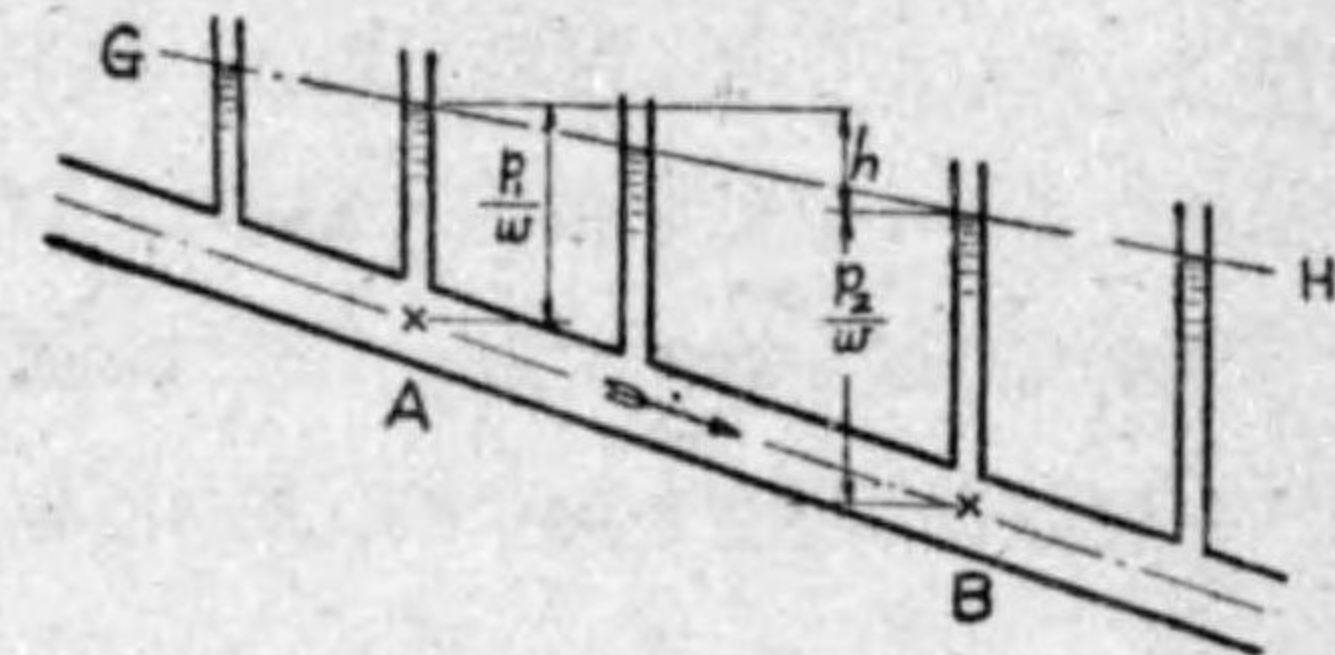
$$v = \sqrt{\frac{2gHd}{\lambda l}} = \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 4 \times 0.15}{0.04 \times 500}} = 0.766 \text{ m/s}$$

となる。従つて流量 Q は次の様になる。

$$Q = Av = \frac{\pi}{4} d^2 v = \frac{\pi}{4} \times 0.15^2 \times 0.766 = 0.0136 \text{ m}^3/\text{s}$$

5. 水力勾配線 第 3・5 圖の様に直径が一様で直線に傾斜する管に水を流過せしめた時に、任意の二點 AB の壓力を各 $\frac{p_1}{w}$ 及び $\frac{p_2}{w}$ とすれば、 A より B に至る間の摩擦損失水頭は液柱計の水面の差 h に

第 3・5 圖



て示される。この際、水速と管径とを一定とすれば、損失は管の長さのみに正比例して増減する。従つ

水力勾配線

て管の全長に亙つて多數の液柱計を立てると、液柱計の水面を結ぶ線 GH は直線となる。この線を水力勾配線と云ふ。斯様に水力勾配線は管内の損失の度合を示す線であると同時に、管中の各點の壓力の大きさを示す線である。従つて傾斜の度合は一定では無い。例へば管中の水速が増加すると損失水頭も増加するから、水力勾配線の傾斜も急になるのである。

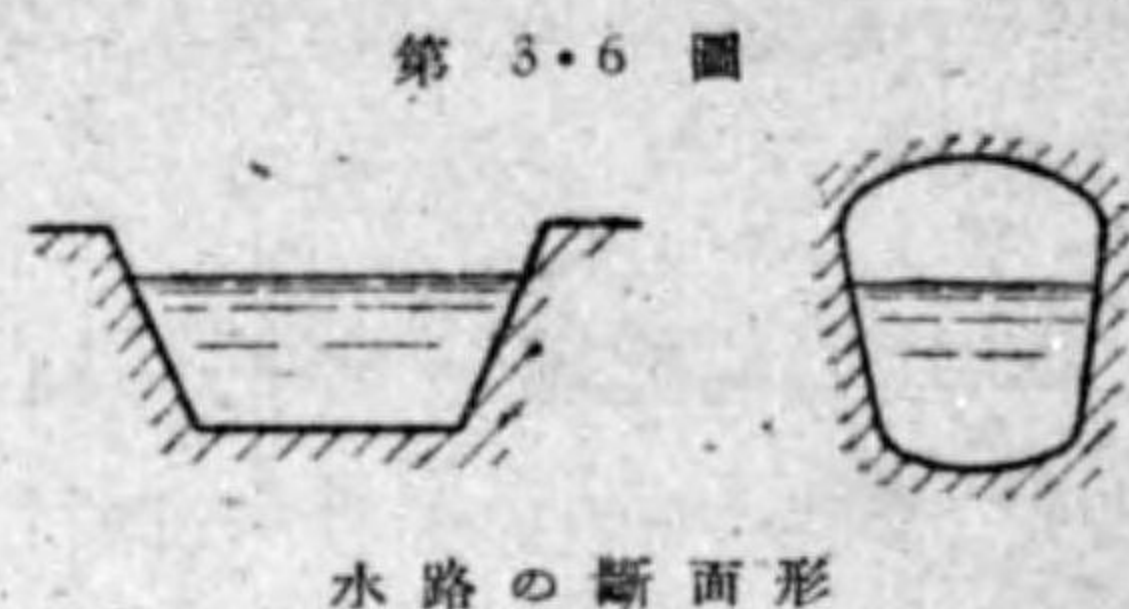
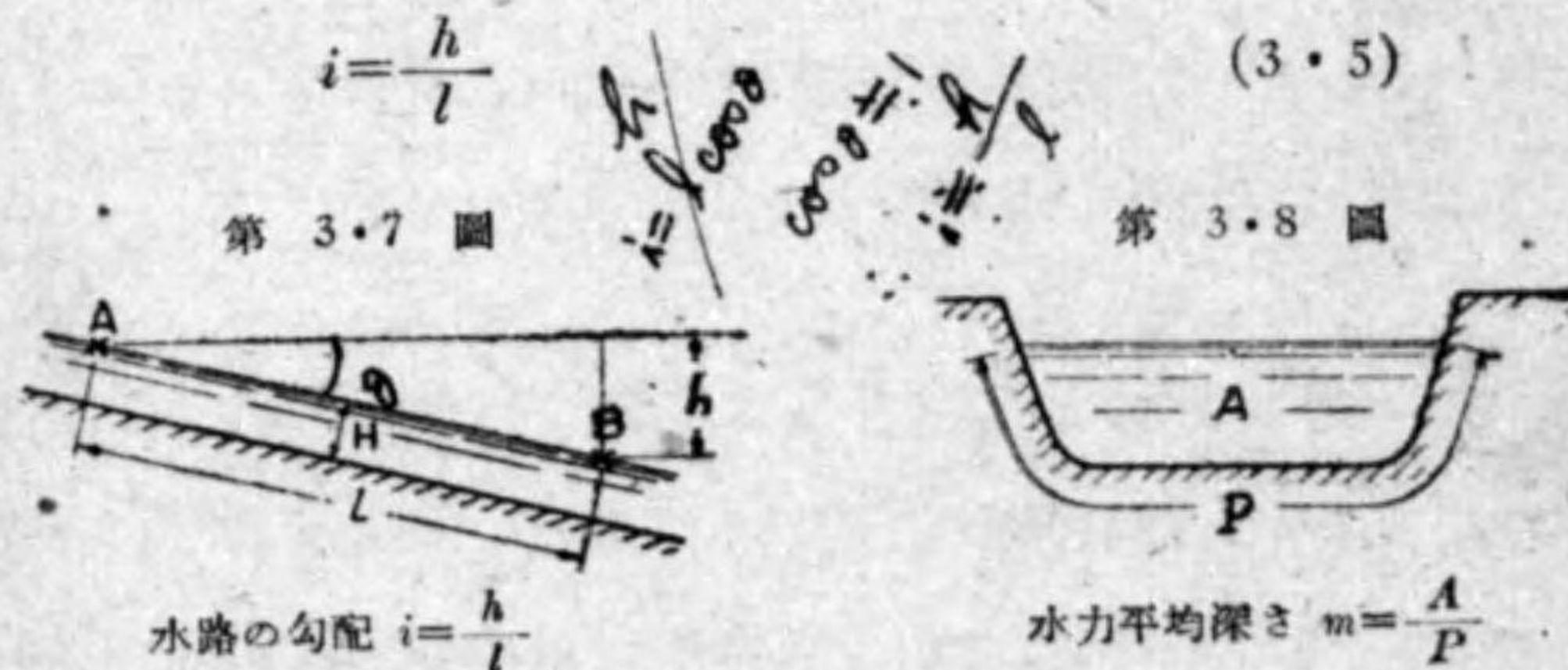
6. 水路 水路とは第 3・6 圖の様に水を通す爲に人工的に作ったもので、断面形状は圓形又は梯形の様に規則正しい幾何學的のものばかりではない。又水の表面は必ず大氣に接して

ある。従つて管中の流れとは非常に異なる。管の場合には管の入口と出口との位置の差又は壓力の差によつて流動を起すのであるから、

管中の流速は管の出口に於ける弁の絞り加減によつて變り、管の傾斜の度合には全く關係が無い。然るに水路の場合には水路の傾斜によつて流動を起し、これによつて流速が定まる。管に比べて断面形状が様々であり、且つ壁面の材質も種類が多いから、一般に管の場合と比べて取扱が複雑である。

7. 水路中の流れの一般式 第3・7圖の様な水路で、深さ H は至る所一定と見做し、水面は河底と並行と考へる。任意の二點 AB 間の距離を l とし、 AB 間の鉛直高さを h とすれば、水路の勾配 i は次式で示される。

$$i = \frac{h}{l} \quad (3.5)$$



第 3・6 圖

次に水路の断面形を第3・8圖の様に任意に考へ、水路の壁と水との接觸する長さを P とすれば、 P は濡れふち又は潤邊と云ふ。又、水路の断面積を A とすれば $\frac{A}{P}$ の値を水力平均深さ又は徑深と云ふ。之を m にて示せば

$$m = \frac{A}{P} \quad (3.6)$$

然る時、斯様な水路を流れる水の速度 v は次式にて示される。

$$v = C\sqrt{mi} \quad (3.7)$$

これは水路の流速を算出する一般式である。 C は係數で、水路の材質、勾配、水力平均深さ等で異なる數値で、實驗の結果から求める。

8. 係數の値 (3.7) 式の C の値は以前には普通の水路で凡そ $C=50$ と假定してゐたが、其の後流れの測定が次第に精密になつた結果、兩側の壁や河床の性質が流れに對して重大な影響を與へると云ふことがわかり、 C の値を定める種々の實驗式が發表された。例へばバザン (Bazin) 氏は種々實驗の結果、(3.7) 式に於ける C の値に關して次の式を發表してゐる。

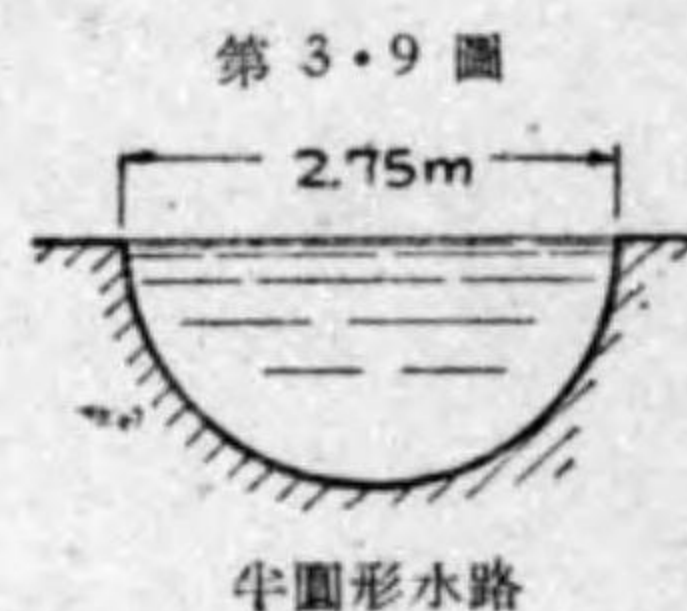
$$C = \frac{87}{1 + \frac{a}{\sqrt{m}}} \quad (3.8)$$

但しこの式の單位はメートル、秒であつて、 a の値は接觸面

の材質の種類によつて次の様な數値である。

極めて平滑なるコンクリート面又は木板面	0.06
平滑なるコンクリート面又は切石煉瓦面	0.16
積まれたる石塊又は碎石の面	0.46
敷石及び平坦なる土壤面	0.85
普通の土壤面	1.30
石又は雜草等を有する不規則なる土壤面	1.75

例 1. 直徑 2.75 m の半圓形水路に於ける流量を求めよ。但し水路の勾配を $\frac{1}{2000}$ とし、内面は平滑なるコンクリート面とする (第 3・9 圖)。



解 水路の斷面積 = $\frac{1}{2} \times \frac{\pi}{4} \times 2.75^2 \text{ m}^2$

接觸長さ = $\frac{1}{2} \times \pi \times 2.75 \text{ m}$

水力平均深さ $m = \frac{\frac{\pi}{8} \times 2.75^2}{\frac{\pi}{2} \times 2.75} = \frac{1}{4} \times 2.75 = 0.69 \text{ m}$

表より $a = 0.16$ を取り

(3・8) 式より

$$C = \frac{87}{1 + \frac{a}{\sqrt{m}}} = \frac{87}{1 + \frac{0.16}{\sqrt{0.69}}} = 73$$

水速 $v = C\sqrt{mi} = 73 \times \sqrt{0.69 \times \frac{1}{2000}} = 1.36 \text{ m/s}$

流量 $Q = \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{4} \times 2.75^2 \times 1.36 = 4.05 \text{ m}^3/\text{s}$

例 2. 第 3・10 圖の様な梯形水路に於て、毎秒 500 m^3 の流量を流過せしめんとす。水路の勾配を求む。但し水路は普通の土質とす。



解 水路の斷面積 = $\frac{87.8 + 61}{2} \times 6.7 = 500 \text{ m}^2$

水路内の流速 = $500/500 = 1 \text{ m/s}$

接觸長さ = $15 + 61 + 15 = 91 \text{ m}$

水力平均深さ = $500/91 = 5.5 \text{ m}$

表より $a = 1.3$

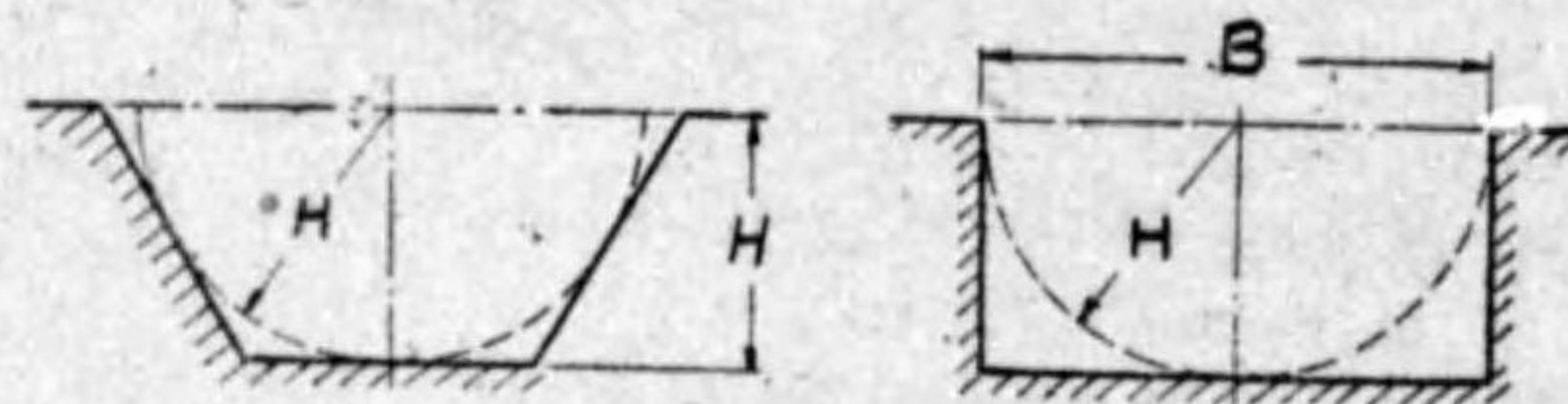
(3・8) 式より $C = \frac{87}{1 + \frac{1.3}{\sqrt{5.5}}} = 56$

(3・7) 式より $i = \frac{v^2}{C^2 m} = \frac{1^2}{56^2 \times 5.5} = \frac{1}{1720}$

9. 水路の經濟的形狀 水路の斷面積が一定の時、流量を最大にするためには、流速を最大にすればよい。(3・7) 式によると $v = C\sqrt{mi}$ であるから、勾配と材質とを一定とすれば、 m が大きい程 v は大となる。然るに $m = \frac{A}{P}$ であるから、一定の面積に對して接觸線の長さ P を最小にすればよい。前述の例題に示した半圓形的水路は幾何學的にこの條件に合ふ所の最も經

濟的形狀である。一般には工作の都合上から梯形又は矩形の水
路が多い。この時は深さ H を半径とする半圓に接する梯形又
は矩形が經濟的形狀となる。即ち矩形水路では幅が水深の二倍
の時に最大水速となる (第 3・11 圖)。

第 3・11 圖



水路の經濟的断面

例 毎秒 13.5 m^3 の流量を有する矩形水路に於て、最も經濟的なる幅と
深さを決定せよ。但し流速を毎秒 3 m とする。

解 所要の断面積 $= 13.5 \div 3 = 4.5 \text{ m}^2$

$$\text{幅} = \sqrt{2 \times (\text{面積})} = \sqrt{2 \times 4.5} = 3 \text{ m}$$

$$\text{深さ} = 3 \div 2 = 1.5 \text{ m}$$

10. 背水曲線 第 3・12 圖の様に河川又は水路の流れの

途中に堰堤などがある

と、この障害物のため

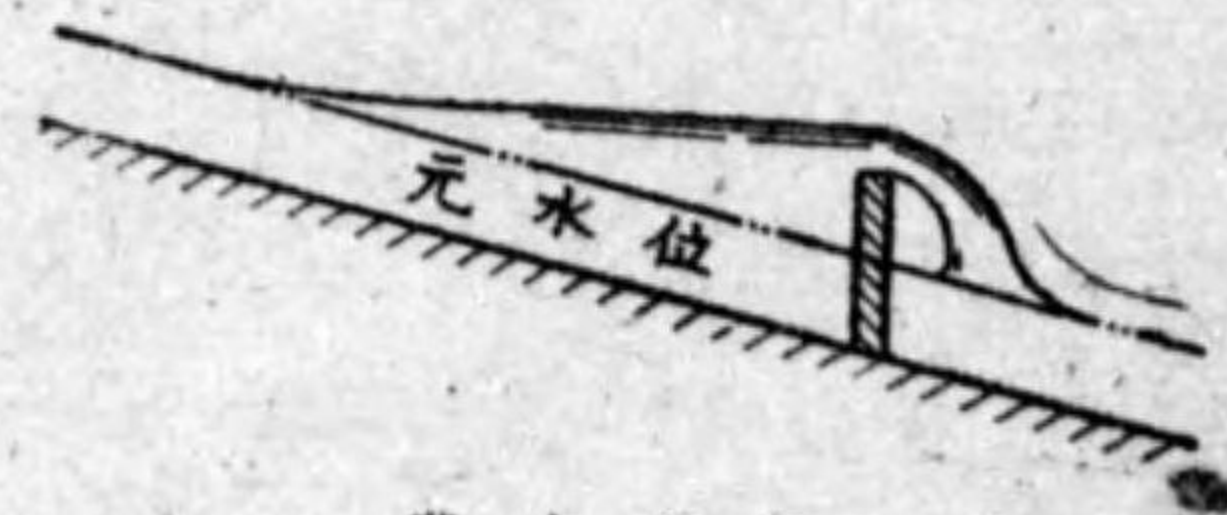
に上流では水面が必ず

幾分か高くなる。勾配

が小さい時にはこの水

面の高まり即ち障害物のための水位の影響が遙かに上流にまで

第 3・12 圖



背水曲線

及ぶ。このやうに水面が高まつた場合の水面の曲線を背水曲線
と云ふ。上流に水力發電所があるとその背水のために放水路の
水面が高まつて發電所の有効落差に影響を與へることがある。

次に河川又は水路の下流に瀧又は湖海等の様な廣い水域があ
ると、その點で水面が反

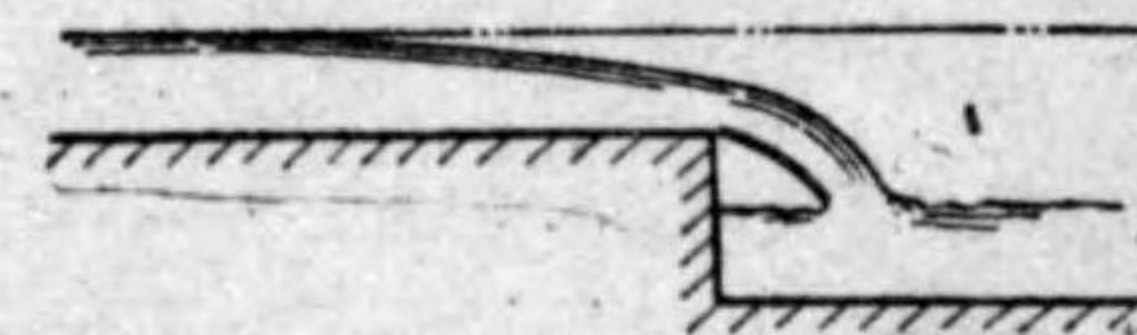
對に低下してその影響が

上流に及び、第 3・13 圖

の様になりに水位の低下

を生ずることがある。この場合の水面の曲線を低下背水曲線と
云ふ。

第 3・13 圖



低下背水曲線

11. 河川及び管路に於ける流量の測定 流量測定装置

として今迄に述べた所は

(a) ベンチュリ・メータ (b) 矩形堰

の二つである。このうちベンチュリ・メータは一般に壓力を
有する管中の流量を測定するのに廣く用ひられてゐるが、發電
所としては餘り應用されてゐない。矩形堰はポンプの排水量の
測定などに使はれるが流量の少い河川にも適當である。河幅が
相當廣く且つ流量の相當に多い場合には、次の様な方法を用ひ
る。即ち第 3・14 圖の様に河川の或る断面を數區に分け各區毎
に面積及び流速を測定し、これより各區分の流量を求め、最後

第 3・14 圖



河川の流量測定

に、この總和を求める。即ち、各區分の面積を各 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ とし、各區分の流速を各 $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ とすれば、總流量 Q は

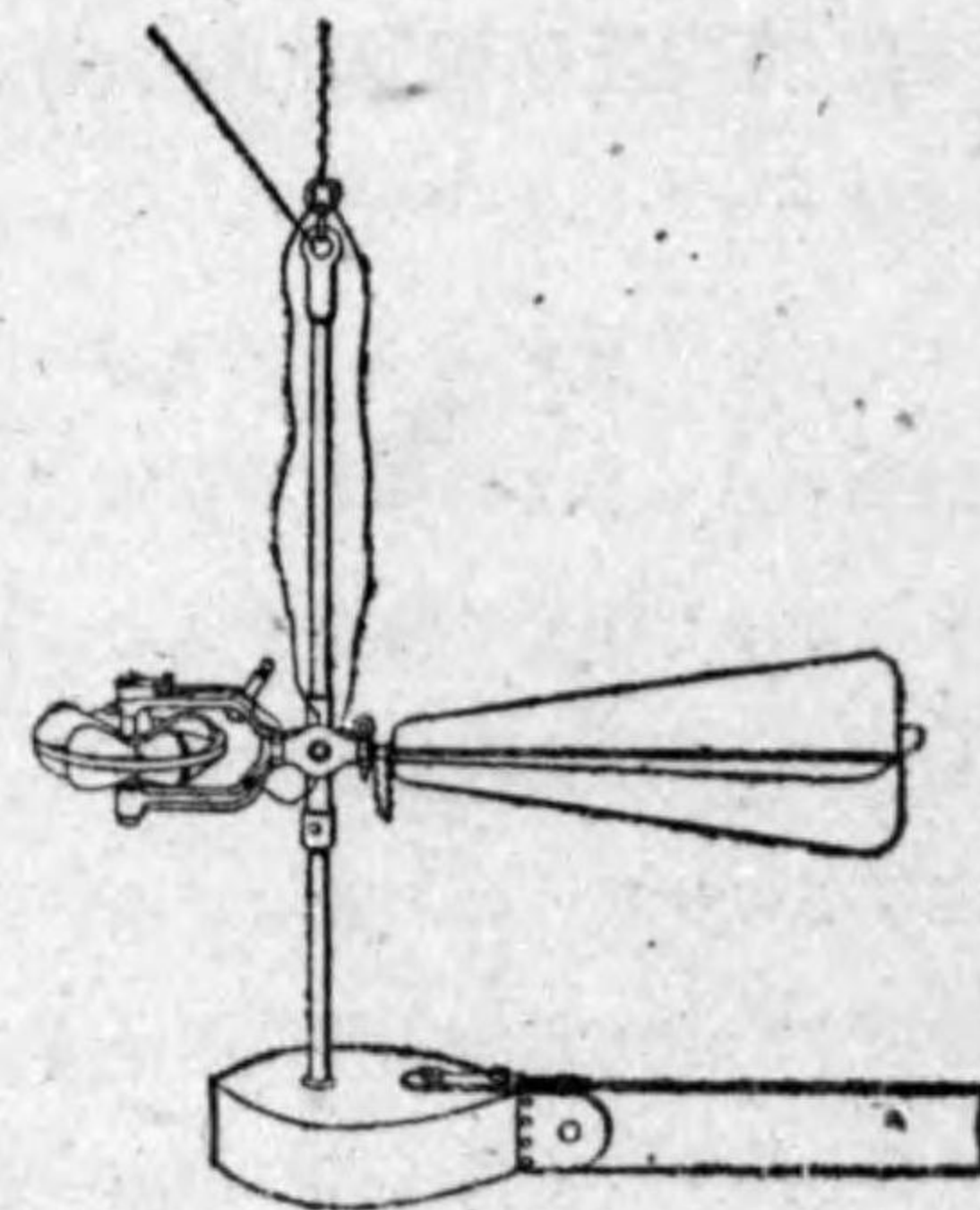
$$Q = A_1 v_1 + A_2 v_2 + A_3 v_3 + \dots + A_n v_n \quad (3 \cdot 9)$$

但し流速は既に述べた通り表面と河底とでは相當に異なるから、數箇所の流速を測定して之等の平均値を取らなければならぬ。大略には水の表面から水深の六割だけ下つた點の流速を以て平均流速とすることもある。

流速を測定するために用ひられるものは

- (1) 流速計 (current meter)
- (2) 表面浮子 (surface float)
- (3) 竿浮子 (rod float)

第 3・15 圖

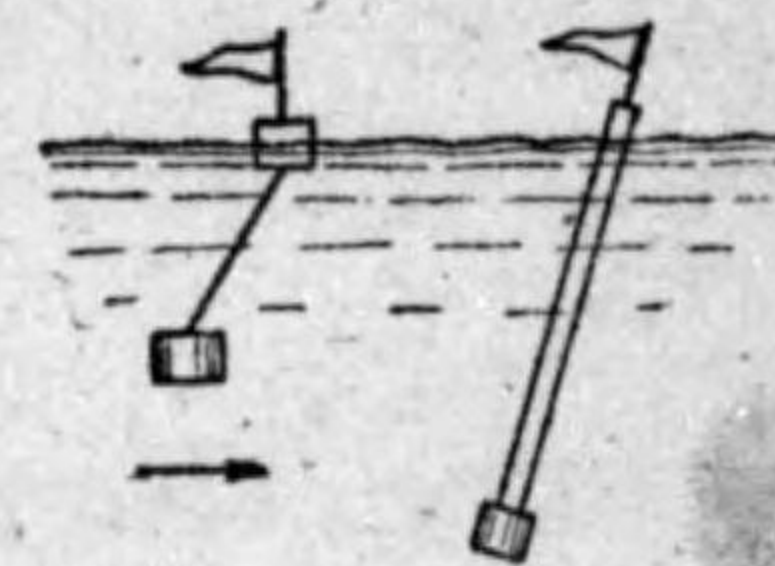


流 速 計

等である。流速計と云ふのは第 3・15 圖に示した様なもので、之を水中に吊せば、流水のために羽根車が回轉をなし、一定回轉數毎に打音を發する。この打音數と流速との關係は豫めわかつてゐるから、之を水上にて聞取り、その點の流速を知る。

浮子とは古樽、空罐又はコルク球の様なもの、竿浮子とは細長い圓筒狀の竿に重量を附加したもので、何れもこれらを水に浮べ、一定の間隔を流過する時間を測つて流速を定める(第 3・16 圖参照)。この時は河川

第 3・16 圖



浮子の圖

の流れが相當の長さの間眞直な所を選ぶ。浮子は風の影響を受けるから無風の日を選ぶが良い。又浮子で測つた流速は水の表面の速度であるから、これの約 8割の値を以て深さの平均速度とする。竿浮子の場合には下端が水深の 0.94 程迄あるものならば、竿浮子の速度を以て直ちに平均速度とするも大なる誤りは無い。

其の他の流量測定の方法としては化學的方法及び電氣的方法等がある。

化學的方法とは水に容易に溶解する鹽類の濃溶液の一定量を水流に混入し、その稀薄の程度によつて流量を知るもので、狭い水路、管路、暗渠等に用ひられ、可成り正確な値が得られる。

普通の水路又は河川等では餘り行はれない。

電氣的方法と云ふのは、流水中に食鹽水を注入すると、之が鹽水の膜となつて水と同一の速度で流れるから、任意の二點に各電極を置き、鹽水膜の通過によつて起る電流の變化を記録せしめて、二點間の流過時間を測る方法である。この方法は管中の水流の様に、近寄り難い場所に便宜で、水壓管内の流量を測定するのに専ら用ひられる。

12. 固定せる板に當る噴水

第3・17圖の様な曲れる板に噴水が衝突した時、噴水の速度を V とすれば、噴水に対する反動力 R は一般に次式にて示される。

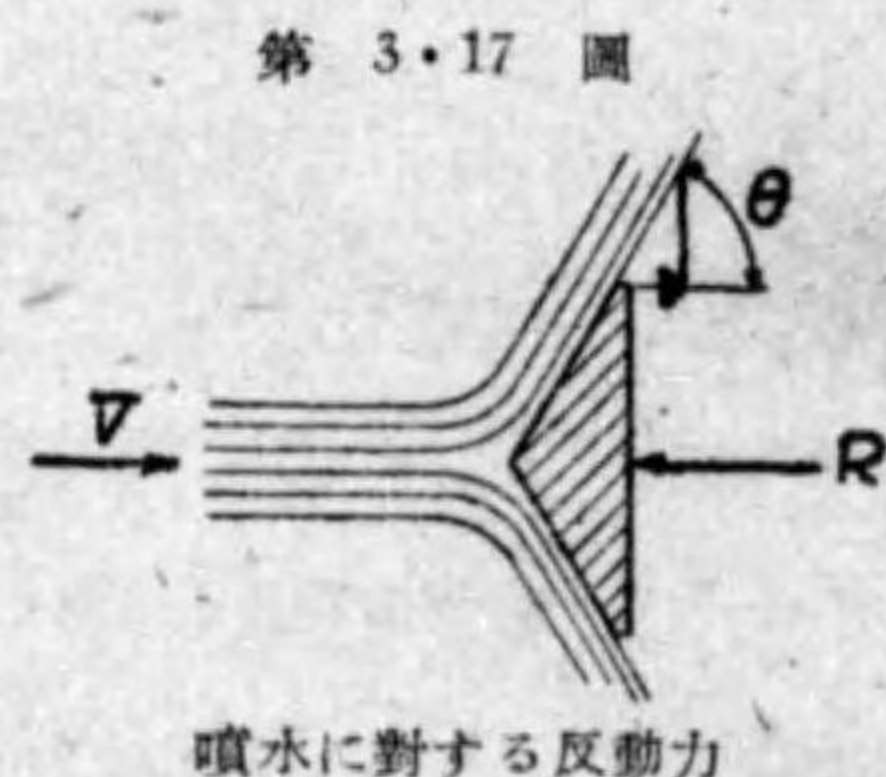
$$R = \frac{w}{g} QV(1 - \cos \theta) \quad (3 \cdot 10)$$

- 但し w = 単位體積の水の目方 Q = 毎秒の噴水の流量
 θ = 流出方向の角度

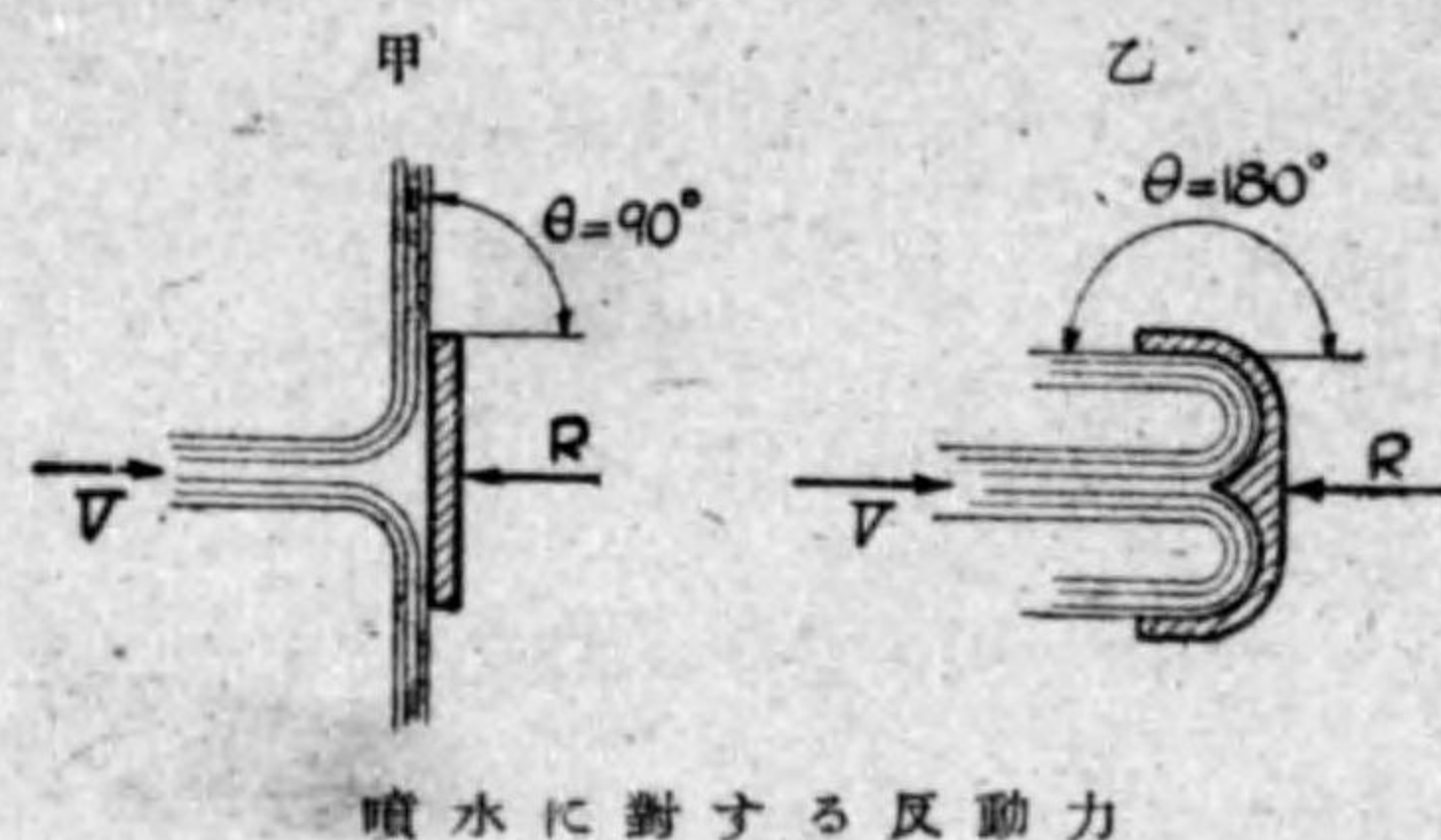
今、第3・18圖甲の様に、 $\theta = 90^\circ$ の場合は $\cos 90^\circ = 0$ であるから、前式は

$$R = \frac{w}{g} QV \quad (3 \cdot 11)$$

又、乙圖の様に、 $\theta = 180^\circ$ の時は $\cos 180^\circ = -1$ であるから前



第 3・18 圖



式は

$$R = \frac{2w}{g} QV \quad (3 \cdot 12)$$

即ち兩式を比較して明かな通り、乙の場合は甲の場合の二倍の反動力を有することになる。

例 噴水の直径 2.5 cm にして毎秒の流量 0.014 m³ なる時、第3・18圖の甲及び乙の各場合に就て板の受ける反動力を求む。

解 噴水の斷面積 = $\frac{\pi}{4} \times 0.025^2 = 0.00049 \text{ m}^2$

噴水の速度 = $0.014 \div 0.00049 = 28.6 \text{ m/s}$

(3・11) 式より甲の場合は

$$R = \frac{w}{g} QV = \frac{1000}{9.8} \times 0.014 \times 28.6 = 41 \text{ kg}$$

乙の場合は (3・12) 式より $41 \times 2 = 82 \text{ kg}$ となる。

13. 噴水の爲す仕事 第3・17圖に示した板が噴水を受

けつつ U の速度を以て噴水方向に後退する時は、噴水と板との

關係速度が $(V-U)$ となる。又噴水の面積を a とすれば、板の受ける流量は $a(V-U)$ であるから、(3・10) 式は次の様になる。

$$R = \frac{w}{g} a (V-U)^2 (1 - \cos \theta) \quad (3 \cdot 13)$$

これが動きつつある板の受ける反動力である。所が斯様に一枚の板のみが一直線上に移動して噴水を受取る場合は殆ど無く、實際は水車の様に圓周上に數個の板を取りつけて、順次に引き續いて噴水のエネルギーを受けとるから、この時の流量 Q は aV となる。従つてこの時は (3・13) 式は次の様に書き改められる。

$$R = \frac{w a}{g} V (V-U) (1 - \cos \theta) \quad (3 \cdot 14)$$

單位時間に板の爲した仕事量は反動力 R に板の後退速度 U を乗じたものであるから、

$$\text{單位時間の仕事量} = RU = \frac{w a}{g} V U (V-U) (1 - \cos \theta) \quad (3 \cdot 15)$$

第3・18 圖甲の場合は

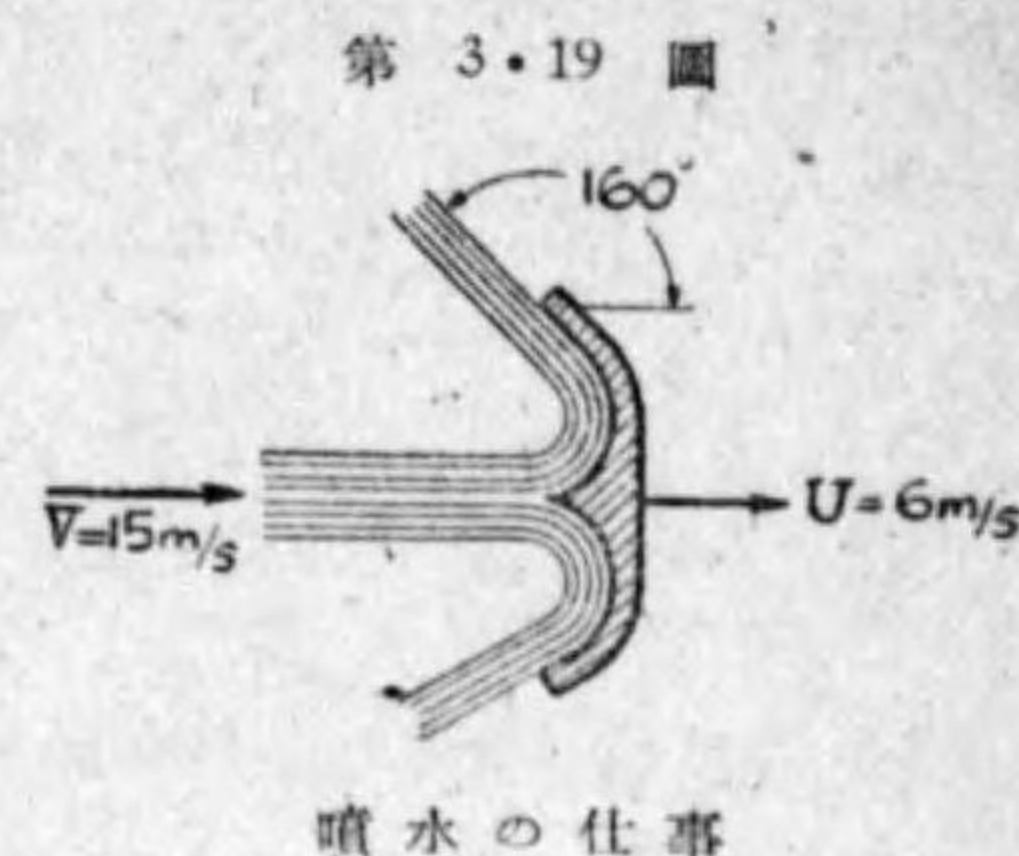
$$\text{單位時間の仕事量} = \frac{w a}{g} V U (V-U) \quad (3 \cdot 16)$$

又、第3・18 圖乙の場合は

$$\text{單位時間の仕事量} = \frac{2 w a}{g} V U (V-U) \quad (3 \cdot 17)$$

となり θ が 180° の時に最大の仕事量が得られる。

例 噴水直径 38 mm, 噴水速度 15 m/s なる時, 噴水方向に對して 6 m/s の速度を以て後退しつゝある板の爲す仕事を求む。但し噴水の折れ反る角度を 160° とし, 板は連續して噴水を受けとるものとする (第3・19 圖)。



解 噴水の斷面積 $= \frac{\pi}{4} \times 0.038^2 = 0.00113 \text{ m}^2$

$\cos 160^\circ = -0.9397$ であるから、

板の受ける反動力 R は

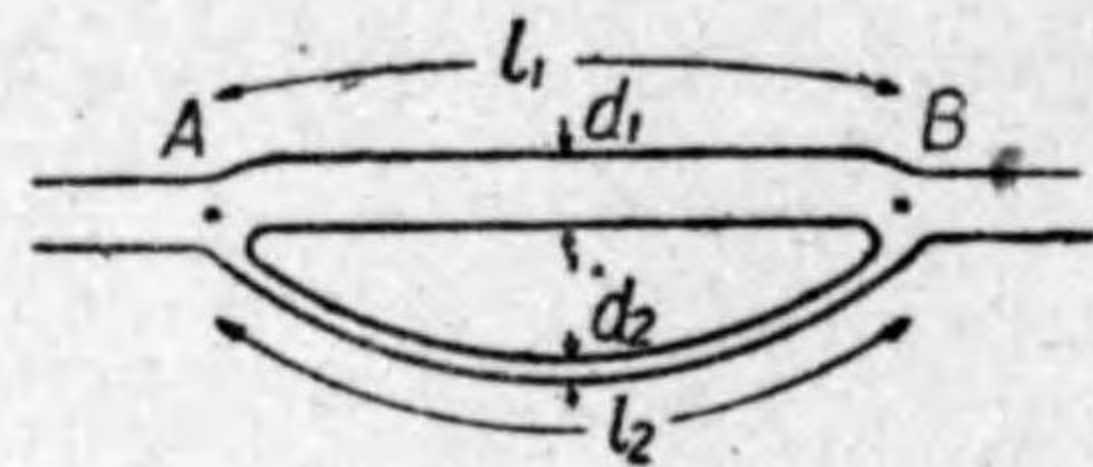
$$\begin{aligned} R &= \frac{w a}{g} V (V-U) (1 - \cos \theta) \\ &= \frac{1000 \times 0.00113}{9.8} \times 15 \times (15-6) (1+0.9397) \\ &= 30.2 \text{ kg} \end{aligned}$$

仕事 $= RU = 30.2 \times 6 = 181 \text{ kg-m/s}$

復習問題 III

- 長さ 3000 m の直管に毎秒 0.25 m^3 の水が流過した場合、壓力水頭の降下を 15 m ならしめるためには管の直径は何程となす可きか。但し摩擦係数を 0.022 とせよ。 答 0.4694 m
- 管内を流れる水の摩擦損失水頭は管の内径の 5 乗に逆比例することを證明せよ。
- 第3・20 圖のやうに AB 二點で管路が二本に別れ、太い方の内径が d_1 、長さが l_1 、細い方の内径が d_2 、長さが l_2 ならば太い方を流れ

第 3・20 圖



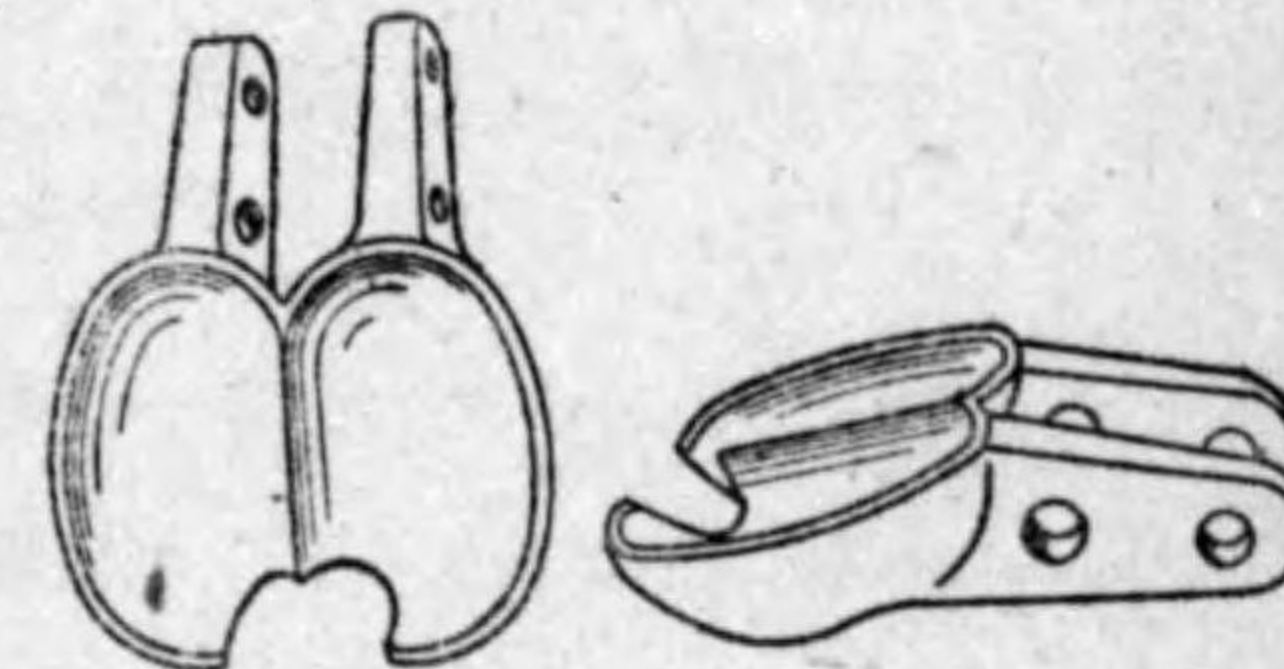
る水量 Q_1 と細い方を流れる水量 Q_2 との比は $\frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{l_1}{l_2} \times \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^5}$ の関係にあることを證明せよ。

4. 水深 3 m の梯形水路で側壁の傾斜を 45° とし断面形状を最も經濟的ならしめれば流量は如何。但し材質は普通の土質とし水路の勾配を $\frac{1}{3000}$ とする。 答 毎秒 15.6 m^3
5. 平均流速 $v=1 \text{ m/s}$ で、流量 $Q=17 \text{ m}^3/\text{s}$ の水を運ぶ矩形の水路を作らんとする。壁面は滑らかなコンクリートとし、公式 (3・7) に於ける係数 C の値を 67 と假定すれば勾配は何程となす可きか。 答 $\frac{1}{6560}$
6. 河川及び管路に於ける流量測定の種類及びその方法を説明せよ。
7. 公式 (3・7) を誘導せよ。
8. 矩形の水路では幅が深さの二倍の時に最大流速を得られる理由を述べよ。

第四章 ベルトン水車

1. ベルトン水車の構造 ベルトン水車の主要部分はバケツ (bucket) を取り

つけた車、即ちバケツ車、ノズル又は嘴管 (nozzle) 及びニードル弁又は針弁 (needle-valve) の三つである。



ベルトン水車に用ふるバケツ

バケツは第 4・1 圖のような形のもので、中央に水切りがあ

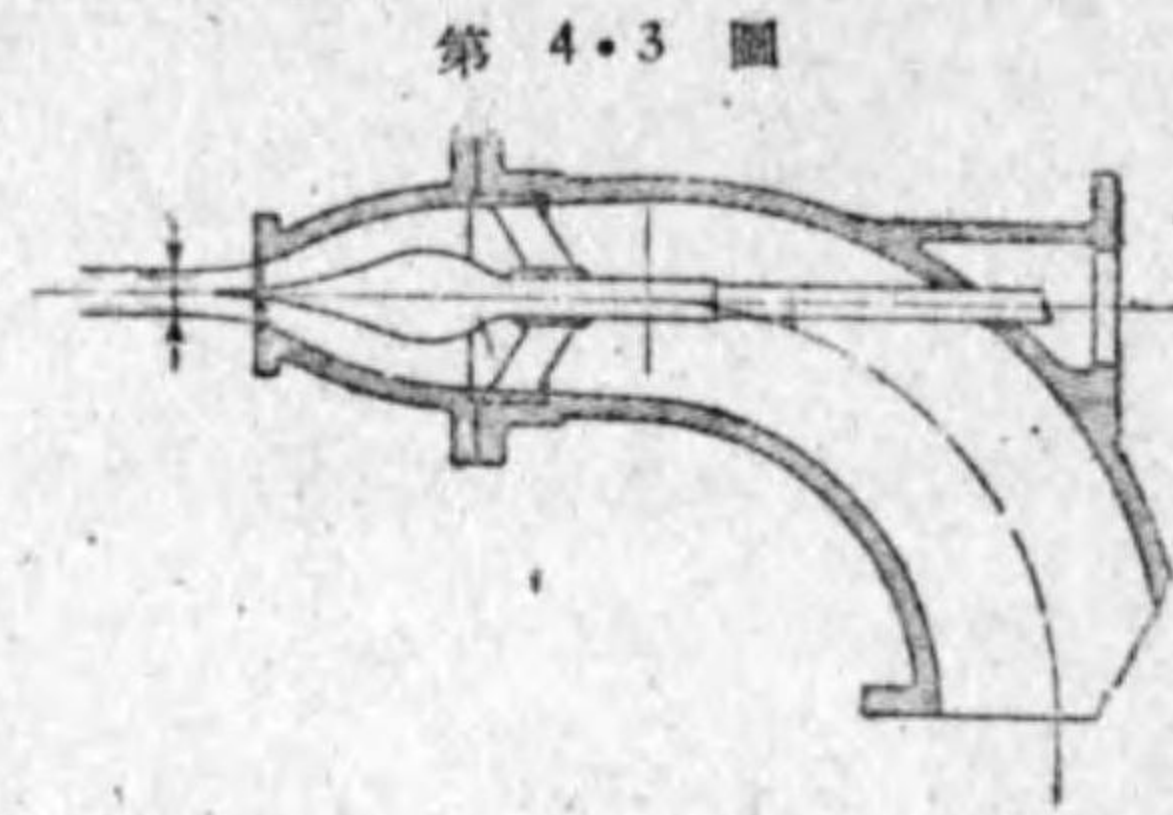
第 4・2 圖



バケツ車

り、噴射水 (jet) はこの水切りに衝突して左右に分れて流れ去る。材質は主として鱗青銅又は鑄鋼であるが、比較的低落差で小馬力の場合は鑄鐵で作られる。摩擦等に對する損失を成る可く少くする爲に、内部は丁寧に磨く。バケツは普通第 4・2 圖の様にボルトで車盤に取付ける。その數

は車の直径の大小に應じて 15~25 個である。ノズルとニードル弁とは第 4・3 圖のように一組になつて居る。ニードル弁は磷青銅又は鋼で作られ、毛筆のやうな形状をして



ペルトン水車のノズルとニードル弁

居り、ノズルの内部で前後に動きつゝ噴射水の量を加減する。ノズルは鑄鐵又は鑄鋼の噴射管で水壓鐵管に連結されて居り、尖端は磨滅したとき取替へ得る様に別に構造し、材質も特に鑄鋼製とする事が多い。次頁の第 4・4 圖は有效落差 518 m の下に 18 650 馬力を出すペルトン水車の一般圖であつて、水壓鐵管は二個のノズルに分岐し、一個のバケット車に作用させる形式のものである。

備考 噴射水の中心線に接するバケット車の圓周を、普通にバケット車の直径と云つてゐる。バケット車に取付けるバケットの數 z は、餘り少くすると、水がバケットに當らずに棄て去られることが起り効率を悪くする。又多すぎても製作費が高くなるばかりで、効率も却つて悪い。故に適當な數は各の場合に應じて設計するのであるが、大體は右表によつて見當をつけて良い。表中の n はバケット車の直径 D と噴射水の直径 d との比である。(第 4・7 圖参照)

n	z
6	17~21
8	18~22
10	19~23
12	20~24
16	21~26
20	23~29

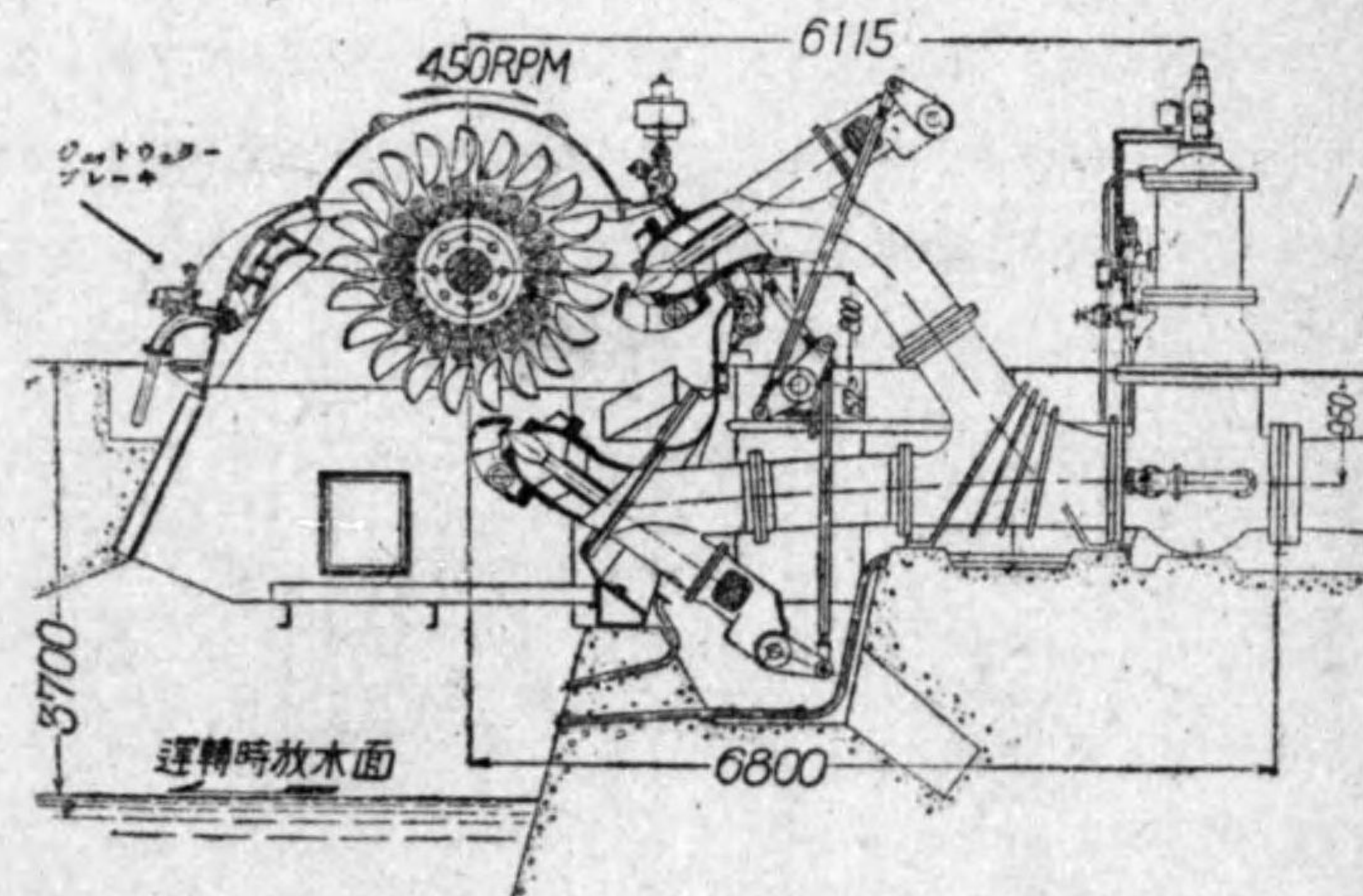
2. ペルトン水車の型式 現今最も普通に用ひられてゐるペルトン水車には次の四型式がある。

- (A) 單輪單嘴管 (single wheel single jet)
- (B) 單輪複嘴管 (single wheel double jet)
- (C) 雙輪單嘴管 (twin wheel with each single jet)
- (D) 雙輪複嘴管 (twin wheel with each double jet)

尙ほ軸方向は全部横軸である。

(A) は一個のバケット車に一個の噴射管を作用させたもので、一般に流量が少く容量が小さいものに採用せられる。流量が増加すると第 4・4 圖の様に嘴管を二本に分岐して一個のバケッ

第 4・4 圖

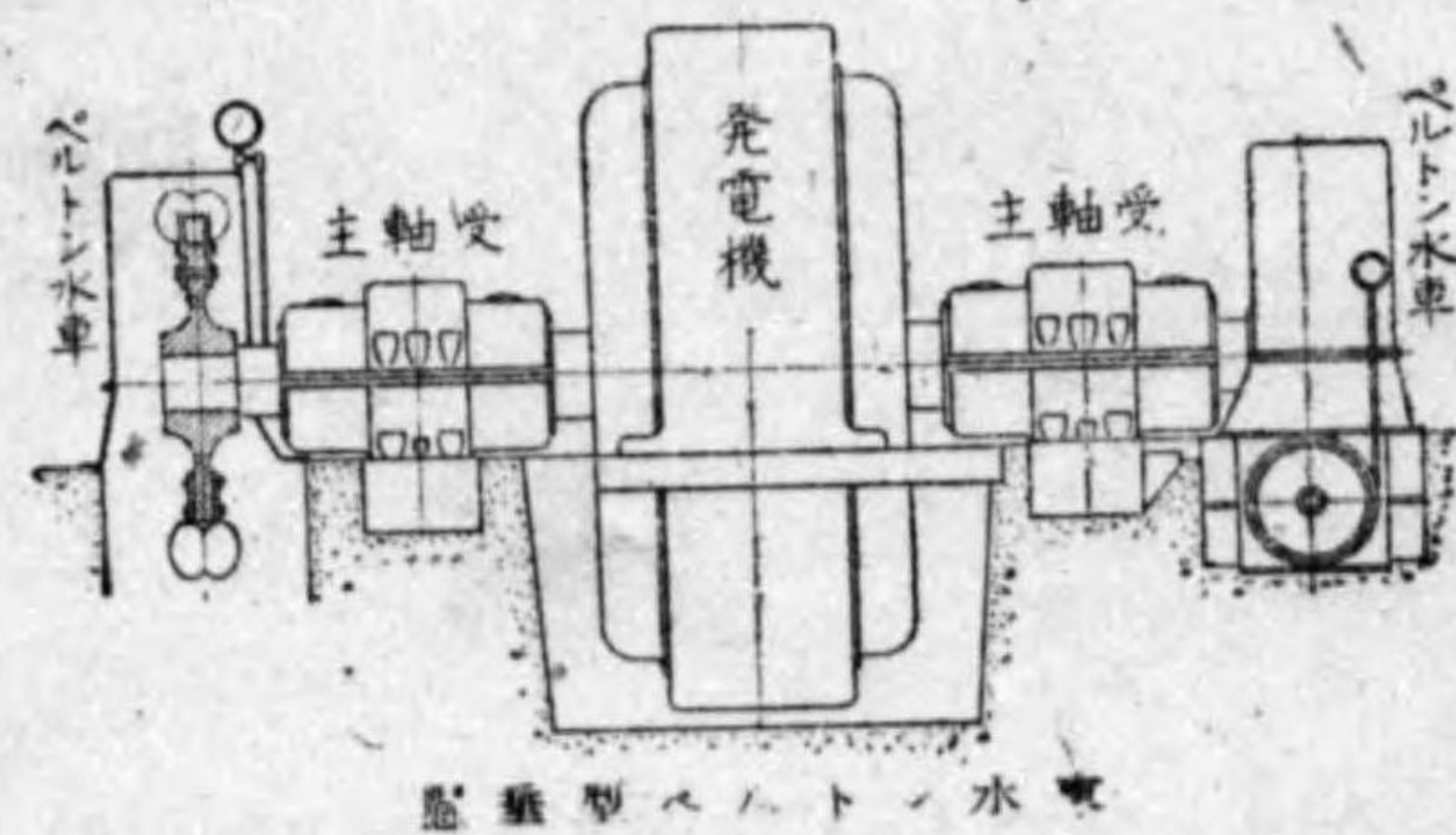


ペルトン水車 (一個のバケット車に二個の噴射管を有するもの)

ト車に作用させる。之を單輪複嘴管式と云ふ。この場合にバケツト車を二個として、各一個宛に一個の噴射水を作用させた構造のものがある。之を双輪單嘴管式と云ふ。最後の双輪複嘴管式と云ふのは、バケツト車二個を有し、各の車に二個宛の噴射水を作用させたもの即ち (B) 式を二列に並べたもので、これは流量が豊富で容量の大きなものに採用される。

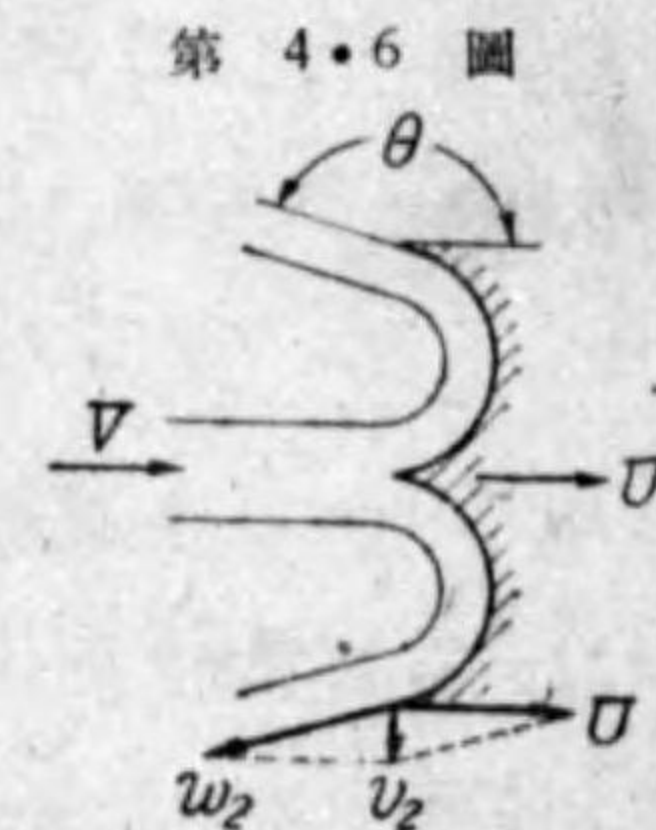
斯様に流量の多少によつて嘴管の数も増加して來るのであるが、こゝに問題となるのは (B) と (C) との比較である。この兩型式は何れも (A) 型の二臺分と同じで、落差と流量とが一定のものに對しては、バケツト車の直徑も回轉數も全く同じ事になる。従つて經濟上から云へば (B) の方が廉價であり、水車全體の大きさも小さくなるから、敷地や建物の費用も少なくて済む。その代りに一個のバケツト車に二個の噴射水が作用する關係上、設計がやゝ面倒で能率低下の恐れがある。従つて大容量のもの

第 4.5 圖



には多く (C) 型が採用される。最近 (C) 型又は (D) 型のものは發電機を中央に置き、その兩側にバケツト車を附けたものが多い。第 4.5 圖はその一例で、軸受は發電機と共通に用ひ、バケツト車の反對側の軸受は省略する。バケツト車が全く懸垂されてゐるので、之を懸垂型とも云はれて居る。

3. バケツトに及ぼす水の作用 既に水力學で述べた通り曲つた板に噴射水を衝突させた時は、噴射水の折れ曲る角度 θ が 180° の時に最大の仕事量を得られる。ペルトン水車のバケツトもこの意味で θ を 180° に設計するのが理論的には最大仕事量を得る筈であるが、次に來るバケツトの働らきを妨害しないために實際には $\theta=170^\circ$ 前後とする。又、バケツトは U の速度で後退してゐるから水の噴射速度を V とすれば

第 4.6 圖
バケツトに及ぼす水の作用

水がバケツトに入る時の相對速度は $(V - U)$ であつて、水はこの速度を保ち乍らバケツトから出る筈であるが、實際にバケツトから出る速度はバケツトの内面を流れる間に摩擦其他の損失を受けて $(V - U)$ よりも幾分か小さくなる。これを w_2 としよう。従つてバケツトから水が出る時の速度の關係を圖示すると第 4.6 圖のやうになる。即ちバケ

ットの後退速度 U とバケットの出口に於て θ の角度に引いた相対流出速度 w_2 とで平行四邊形を作ると、その對角線の w_2 がバケットから流出する水の方向と大きさを示す。これを速度線圖と云ふ。

次に水の噴射速度 V は落差によつて一定の値を持つが、バケットの回轉速さ U は人爲的に早くも遅くも出来る。 U の値を變へると (2.34) 式でわかる通り仕事量も亦變る。 U の値を何程にした時に最大の仕事量が得られるかと云ふことは、同式を微分して數學上から求める。その結果によると理論上は $U = \frac{1}{2}V$ となる。しかし実際には經驗上から大凡 $U = (0.44 \sim 0.48)V$ の範圍に定める。

4. バケット車の直徑の定め方 今

H = 有效落差 (m) Q = 一噴管當りの流量 (m^3/s)

g = 地球重力の加速度 = 9.8 m/s^2 V = 水の噴射速度 (m/s)

D = バケット車の直徑 (m) } (第 4.7 圖参照)
 d = 噴射水の直徑 (m) }

$$n = \frac{D}{d}$$

として設計上の係数を次の様に假定する。

(a) 噴射水の速度は理論上の 97% とする。即ち $V = 0.97\sqrt{2gH}$



(b) バケット車の周速度は理論上は水の噴射速度の半分であるが、前述により $U = 0.45\sqrt{2gH}$ とする。

次にバケット車の直徑と噴射水の直徑との割合 n の値は 12 ~ 15 程度にする時に相當の效率が得られるけれども、斯うする時はバケット車の直徑が大となり高價となる。反對に n を小さく採ると直徑は小さくなるが一般に設計が困難となり、效率も悪くなる。従つて普通には $n = 9 \sim 15$ 程度とする。

以上の事から、流量は噴射水の斷面積に水の速度を乗じたものであるから、

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 V = \frac{\pi}{4} d^2 \times 0.97\sqrt{2gH}$$

この式に $d = \frac{D}{n}$ を代入すれば

$$Q = \frac{\pi D^2}{4n^2} \times 0.97\sqrt{2gH}$$

$$D = \sqrt{\frac{4n^2 Q}{0.97 \times \pi \times \sqrt{2gH}}} = 0.545 \frac{n \sqrt{Q}}{H^{\frac{1}{4}}} \quad (4.1)$$

即ち落差と流量とが與へられた時には、 n の値を適當に假定すれば、この式から直ちに直徑を算出し得られる。但しこの式の Q は噴管一本に對する流量の意味、即ち水車の型式を (A) とした時の算式である。流量の多い時にこの式で計算すると、直徑が大きくなり過ぎて、經濟的でなくなるから、(B) 又は (C) の型式を採用し、 Q の代りに $Q/2$ と置いて直徑を算出する。

従つて、この場合に直径は前者の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ の大きさとなる。更に型式を (D) とする時は流量が嘴管一本に付 $\frac{1}{4}$ となるから、バケット車の直径は $\frac{1}{\sqrt{4}}$ 即ち $\frac{1}{2}$ となる。

5. 回轉數の定め方

U = バケット車の周速度 (m/s), N = 毎分の回轉數

とすれば $U = \frac{\pi DN}{60}$ であり、 $U = 0.45\sqrt{2gH}$ であるから、この兩式より次の式を得る。

$$\pi DN = 60 \times 0.45\sqrt{2gH} \quad \text{即ち} \quad N = \frac{38\sqrt{H}}{D} \quad (4 \cdot 2)$$

この式は落差と直径とから回轉數を求める式である。又回轉數が既知の時には直径を算出する式ともなる。この式に (4.1) 式を代入すると次の式を得る。

$$N = \frac{70H^{\frac{3}{4}}}{n\sqrt{Q}} \quad (4 \cdot 3)$$

この式は落差と流量が與へられた時に、 n の値を適當に假定して回轉數を求める式である。

こゝに注意すべきことは、水車が交流發電機と直結される場合には、水車の回轉數を交流發電機の規定の回轉數に合はせねばならぬ事である。第 4.1 表は周波數と極數とに對する交流發電機の回轉數を示したもので日本電氣工藝委員會に於てはこのうちから採用する事を標準として居る。尙ほ此の内特に 14 極

及び 18 極の二つは可及的之を避けることゝ成つて居る。

第 4.1 表 磁極數と周波數と回轉數との關係を示す表

磁極數	周波數		磁極數	周波數	
	60	50		60	50
6	1200	1000	32	225	187.5
8	900	750	36	200	166.7
10	720	600	40	180	150
12	600	500	48	150	125
(14)	514.3	428.6	56	128.5	107
16	450	375	64	112.5	93.8
(18)	400	333.3	72	100	83.3
20	360	300	80	90	75
24	300	250	88	82	68.2
28	257.1	214.3			

例へば有效落差 330 m なる水力地點に於て、水車一臺の流量が $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ なる時のペルトン水車の回轉數と直径とを求めんとすれば、先づ假りに $n=15$ として型式 (A) を採用すれば、(4.3) 式より

$$N = \frac{70 H^{\frac{3}{4}}}{n\sqrt{Q}} = \frac{70 \times 330^{\frac{3}{4}}}{15 \times \sqrt{0.5}} \approx 510 \text{ (回轉毎分)}$$

となるから、之を 50 極の交流發電機に直結するものとすれば、第 4.1 表から成る可く之に近い數値を選定して、磁極數 12 で 500 回轉のものと定める。そこで直径は (3.2) 式から

$$D = \frac{38\sqrt{H}}{N} = \frac{38\sqrt{330}}{500} = 1.38 \text{ m}$$

この様にして求め得た回轉數が餘りに低過ぎる場合には、直径も従つて大き過ぎることゝなり、經濟的の見地より實用的で

ない。その時には更に回転数を高め、車の直徑も小さくする爲に、型式 (B) 又は (C) を採用するか、或は水車の臺數を変更するか、何等かの方法によつて最も適當な回転數と大きさのものに設計するのである。

6. 効 率 ベルトン水車に起る損失をこゝに表示すれば次の六つとすることが出来る。

- (1) バケットの水切りに水が衝突するための損失
- (2) バケットの内面を水が流れる時の摩擦のための損失
- (3) 同上的場合に起る渦流のための損失
- (4) バケットから流出する水の有する速度エネルギーに依る損失
- (5) 嘴管の出口に於ける水の速度の損失
- (6) 軸受其他の機械的摩擦の損失、又は回転部分の空氣抵抗による損失

之等の諸損失は何れも効率を低下せしめる原因となるものであるから、水車の設計に當つては極力之等の損失を最小ならしめる様に注意する。

以上の諸損失のうちで (1) - (4) はバケットのみに關する損失であるから、之をバケットの水力損失と稱し、(5) は之をノズルの水力損失と云ふ。而して、兩者の和即ち (1) - (5) 迄

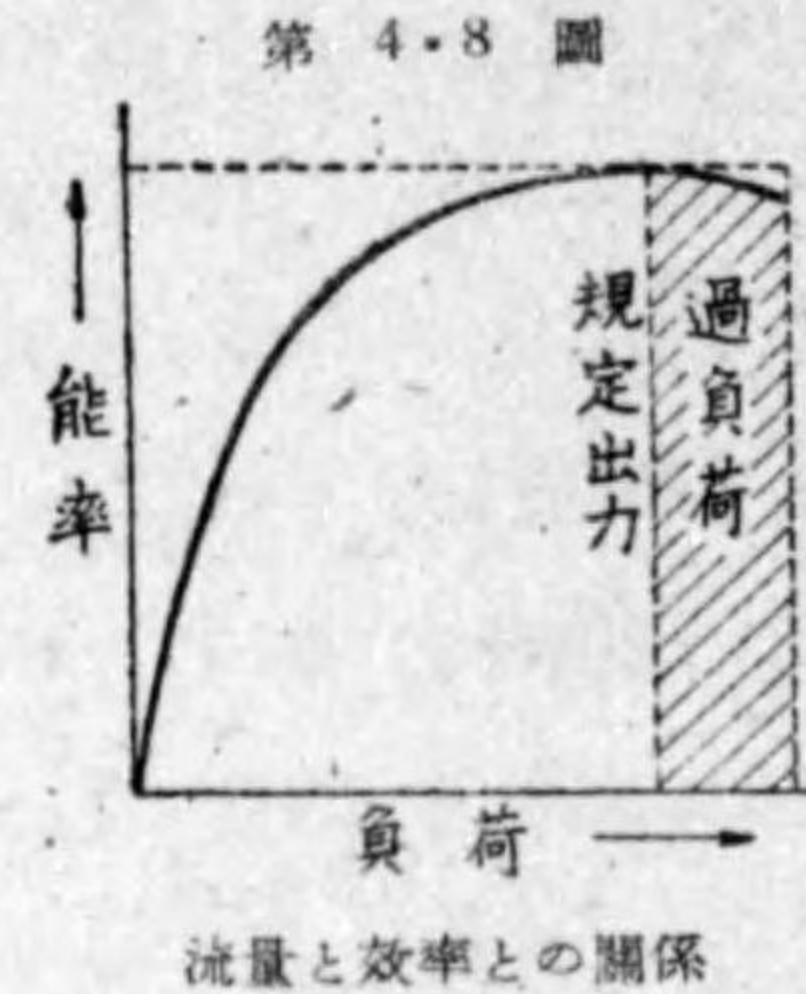
の和が損失の主要な部分となる。更に (6) の機械的損失 (2~4%) を含めた總損失が結局水車の全體の損失であつて、これは利用落差の 10~20% に當るから水車の效率は 80~90% と云ふことになる。これ等の總損失を水車の理論馬力から差引いた残りが、水車の軸に發生する正味の馬力となる。この馬力のことを**正味馬力** (brake horse power) (B. H. P.) と云ふ。故に今、**理論馬力** を (T. H. P.) とすれば、水車の**全效率** (total efficiency) η は次の様になる。

$$\eta = \frac{\text{B.H.P.}}{\text{T.H.P.}}$$

7. 效率と出力との關係 嘴管に於てニードル弁を動かせば水の通路の面積が變り、同時に流量も變る。この際落差は殆ど變化しないから、水車の出力も亦變る。水車に於ては水車に働らく最大流量の $\frac{3}{4}$ 又は $\frac{7}{8}$ の流量を定格流量と稱し、この時の出力を定格出力 (rated out-put) と云ふ。水車は平時この定格出力で運轉するものであつて、水車内に起る諸損失の割合は、この定格流量の時に最小になる様に設計されて居る。云ひ換へれば、水車は定格出力の時に最大の効率を發揮するものである。併し乍ら水車は場合によつては定格以上の流量を流過せしめて定格以上の出力を出さなければならない事がある。斯様な状態を過負荷 (overload) と云ふ。又反對に流量を減じて定格より

も小さな出力で運転することもある。この時を部分負荷 (partial load) と云ふ。水車を過負荷又は部分負荷にすると、水の流入状態が定格の時よりも多少變るのでこの爲に諸損失の割合が増加して

効率も低下して来る。従つて流量と効率との關係を圖示すると第 4・8 圖の様になる。ペルトン水車では流量が變化しても前記の諸損失の増加は左程でもないが、次に述べるフ



ラシス水車では水の流入方向が變る爲に部分負荷に於ける諸損失の増加が殊に甚しい。即ちペルトン水車では部分負荷では効率も餘り低下しないと云ふのが重要な特徴の一つである。尙ほ嘴管の $\frac{3}{4}$ 開きに於て定格出力が得られる様にする理由は、(a) 過負荷を可能ならしめること、(b) 水車を永年使用して行く間に次第に効率が悪くなつて $\frac{3}{4}$ 開きでは定格出力が出なくなつた場合にこれを補償するため等である。

8. 無拘束速度 ペルトン水車ではノズルの開きが一定であれば、回転速度が變つても流量は變らない。之は次に述べる反動水車の場合と異なる特性である。(反動水車の場合には案内羽根の開きが一定でも、回転速度が變れば流量もこれに従つて變

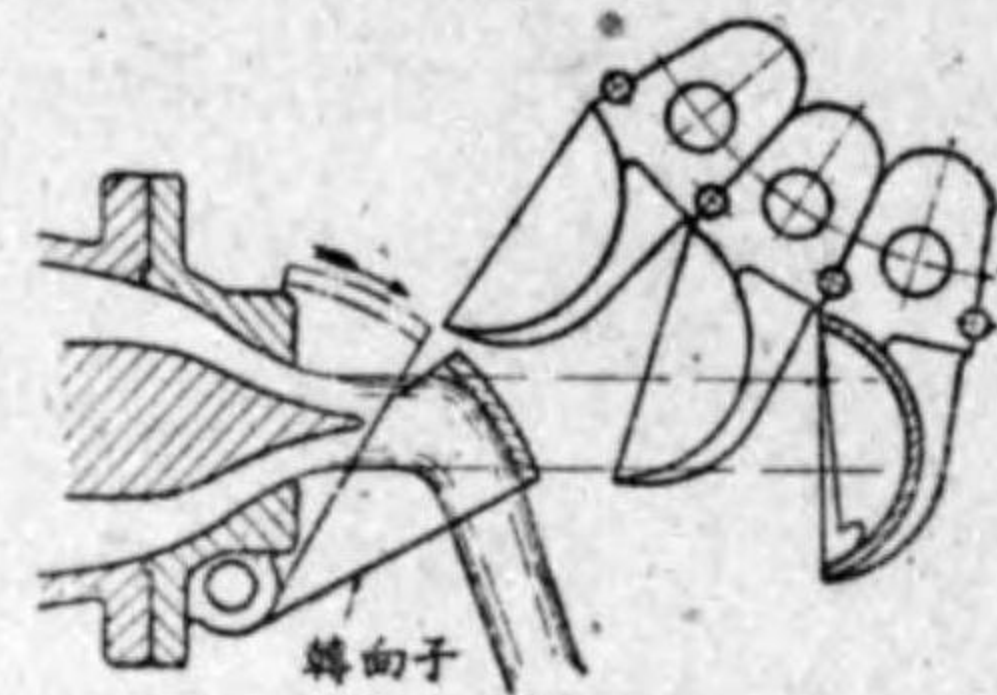
る)。故にペルトン水車では最大馬力を出す回転速度の時に最高効率であつて、この時のバケット車の回転速度は前述の通り水の噴射速度の $\frac{1}{2}$ の時である。常時水車はこの状態で運転を續けて居るのであつて、この回転数を定格速度 (rated speed) と云つてゐる。今、若しノズルの開きを一定のままとして水車の負荷だけを取去つたものとする、理論上バケット車の周速度は噴射水の速度と等しい速度になり、水車として出し得る最大の回転数となる。實際の結果では軸受其他の機械的摩擦抵抗のために、定格速度の 1.8~2.0 倍程度である。この速度のことを**無拘束速度** (run-away speed) と云ふ。水力發電所で發電機の負荷が急に零になつた時は、直に調速機が働いて噴射水を斷つ様な構造にはなつて居るが、調速機が働く迄の時間内に無拘束速度に達する事もあるし、又若し不幸にして調速機の故障等の爲に調速機が全然作用せぬ場合が無いとも限らない。斯様な時には水車は無拘束速度を繼續し、遠心力によつて發電機の磁極又は水車のバケット等を飛散させる現象が起り得るから、設計に際してはこの事を充分考慮しなければならない。日本電氣工藝委員會の規定に従へば水車、調速機及び附屬機械は其の無拘束速度で一分間安全に運転し得べきものたるを要することに成つて居る。

ペルトン水車では普通には第 4・9 圖の様な轉向子又はそら

せ板 (deflector) なるものを設置し、負荷の減少に際して直ちに调速機より作用して、噴射水を一時バケットからそらせて車に當らぬ様にする構造になつてゐる。次で静かにニードル弁を閉鎖するのであるが、之は水壓

管内の水槌作用による壓力上昇を防止する爲に有効な方法として今日広く一般に設備されて居る。詳しくは後に述べる。

第 4.9 圖



轉向子

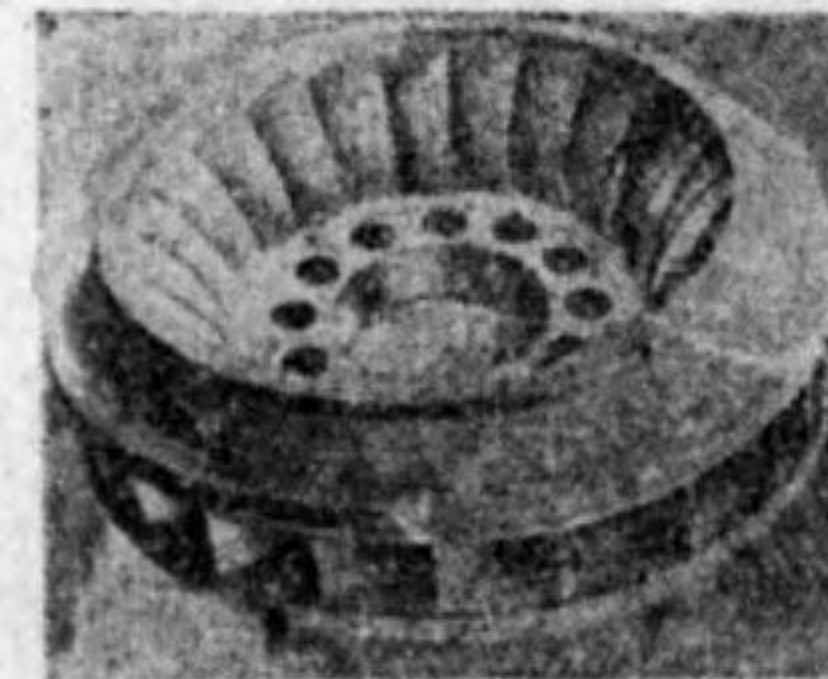
復習問題 IV

1. ベルトン水車の構造を圖解せよ。又バケット車に取付けられるバケットの数は凡そ幾個ぐらいか、概数を擧げよ。この数はバケット車の直径と噴射水の直径との割合に對して如何なる關係があるか。
2. ベルトン水車の型式を擧げ、各型式の特徴を比較せよ。
3. 有效落差が 250 m で流量毎秒 1 m^3 の水力に使用するベルトン水車を設計せよ、但し水車は 50 サイクルの交流發電機に直結するものとする。(噴射水の直径、噴射管の數、バケット車の直径、その個數、回轉數、出力、バケットの數などを決定せよ)
4. ベルトン水車の負荷と效率との關係を説明せよ。部分負荷に於ける效率低下につきフランシス水車と比較せよ。尙ほ效率を低下せしめる様な諸損失は水車の如何なる部分に發生するかを述べよ。
5. ベルトン水車の無拘束速度とは如何なる意味か、又その概数は如何。
6. ベルトン水車の轉向子の作用と目的を述べよ。

第五章、フランシス水車

1. 構造 フランシス水車の主要部分は羽根車 (ランナ, runner) と案内羽根 (ガイドヴェーン, guide vane) とで外殼 (casing) と吸出管 (draft tube) とが之に附屬する。羽根車とは第 5.1 圖の様なものであつて、水は外周から各の羽根の間に

第 5.1 圖



羽根車

第 5.2 圖



羽根車

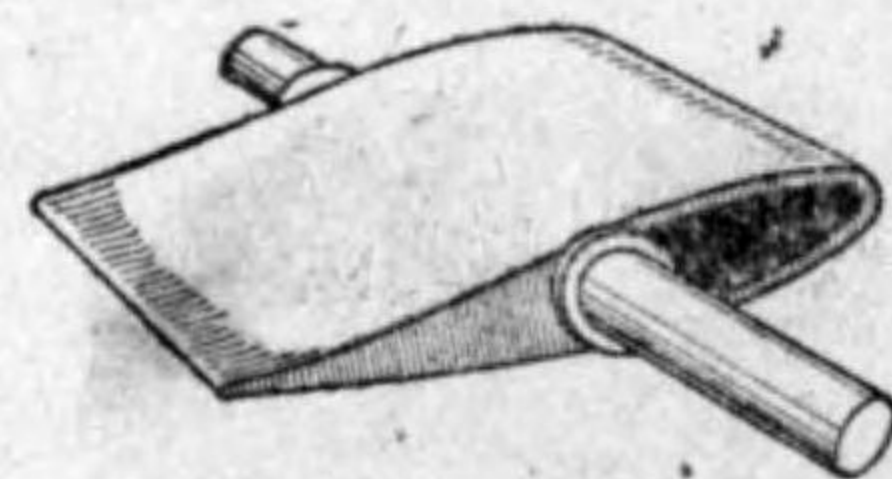
流入して車軸に動力を與へ、中心部に集り、然る

後に車軸の方向に流出する。材質は高落差用の大型のものは多く磷青銅又は鑄鋼で作られるが、小型のものは鑄鐵である。低落差用で大型のものは羽根のみを銅板で作り、之を鑄鐵のボス (boss) に鑄込んだものがある。第 5.1 圖は落差 203 m. で、

13700馬力（回轉數毎分600）の羽根車の寫眞である。第5・2圖は16000馬力を出す羽根車の寫眞で、鋼板を鑄込んだものである。この兩者を比較すると、同じ羽根車でも非常に形が異ふことに氣が附くであらう。之は後に説明するが、第5・1圖の方は高落差で流量が比較的少ない時に使ふもの、第5・2圖の方は反對に低落差で比較的流量の多い所に使ふものである。

次に案内羽根と云ふのは、第5・3圖に示す様な魚の断面形状をした平板で、中央に軸を有し、回轉し得る構造になつて居る。之が第5・4圖の様

第5・3圖



案内羽根

根車の外周に一様に配列されて居り、流水に適當な方向を與へる役目をして居る。又、全體が同時に各の軸の周りを回轉して、

第5・4圖



案内羽根

第5・4圖(乙)(丙)の様な開閉をなし、流量の調整の役目も司る。材質は小型のものは鑄鐵製であるが、一般に鋼を鍛造したものが多い。

羽根車の羽根數と案内羽根の數とは普通は同數にせず、一般には案内羽根の方が數が多い。數は羽根車の直径の大小によつて各異なるが、十數枚から二

十數枚迄あり、案内羽根の方は工作の都合で殆ど偶數とする。以上に述べた羽根車と案内羽根とを一組にしたものが、フランス水車の主體であつて、之をつゝむ外形の構造によつて種々の型式が生れて來るのである。

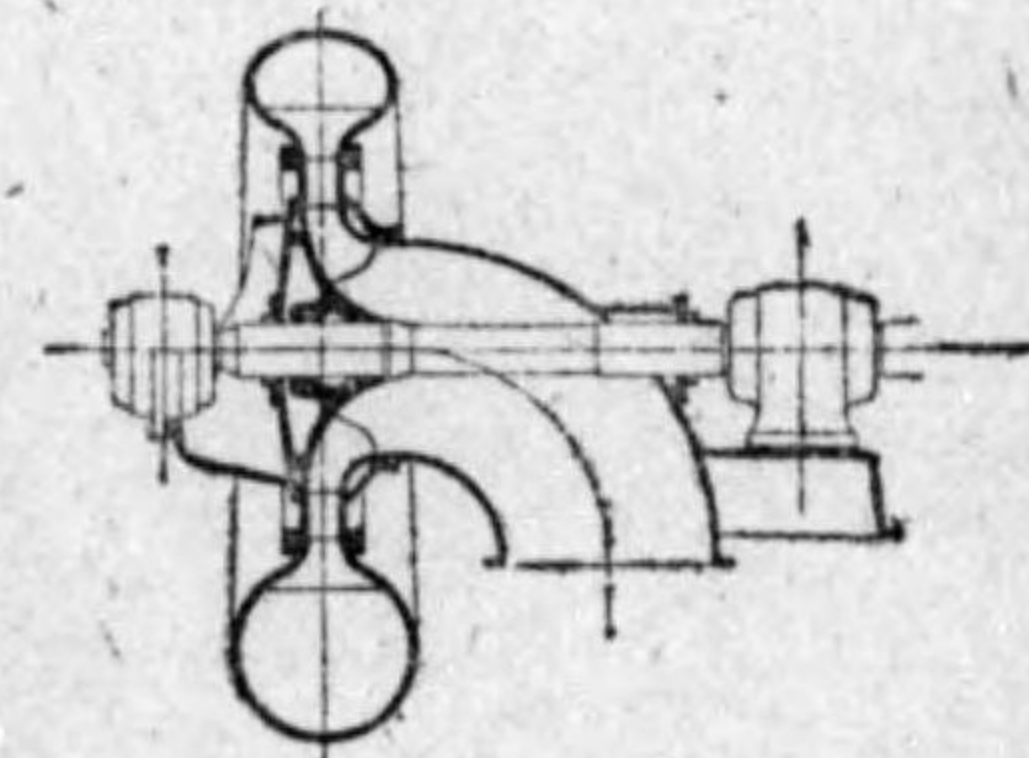
2. 横軸渦巻水車 この型は前述の羽根車を横軸に取付け、之と案内羽根とを一組にしたものを渦巻型の胴で包んだもので、我國の水力發祥時代には盛んに採用された型式である。最近は

第5・5圖



渦 型 室

第5・6圖



單吐出渦卷型

この型式の豎軸のものが全盛となり、新設のもので横軸にする例は小型以外は殆んどなくなつた。渦型室（渦卷胴, spiral casing）の材質は多く鑄鐵であるが、高落差のものになると鑄鋼製とする。又形の大きなものは二個、三個、四個等に分割してボルトにて締付け、組立てゝ一個の渦型室とする。第5・5

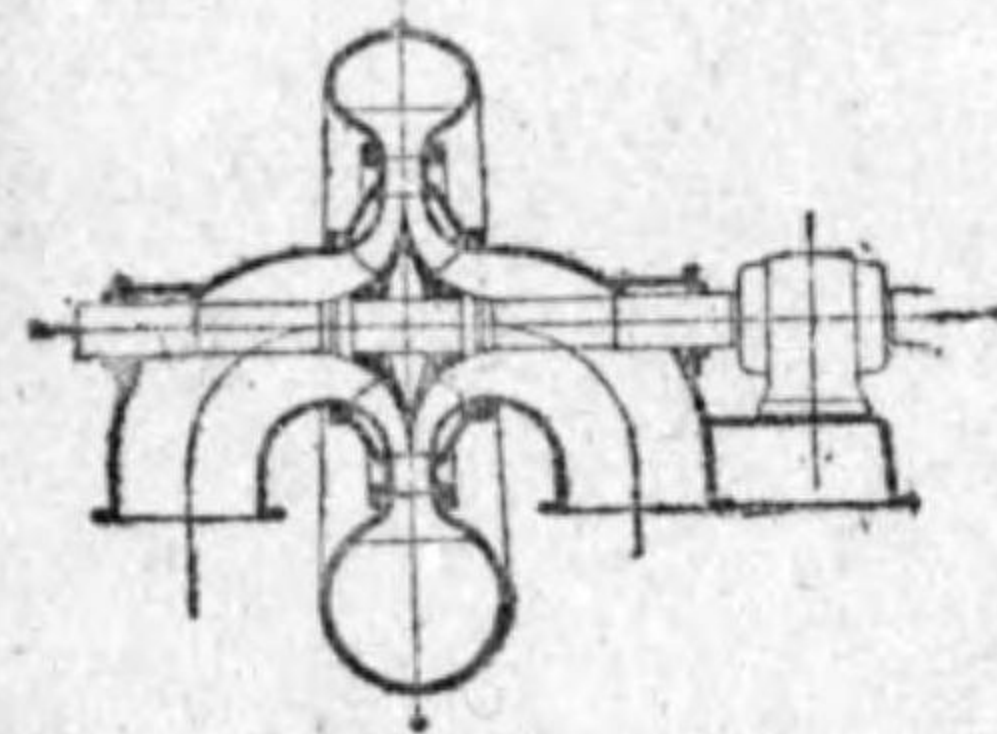
圖は鑄鐵製の渦型室で、四部分から成つたものである。横軸渦卷水車には次の三種がある。

- (1) 單吐出渦卷型 (single spiral type)
- (2) 兩吐出渦卷型 (double spiral type)
- (3) 双子渦卷型 (twin spiral type)

(1) は第 5・6 圖の様に、軸に一個の羽根車を取付けたもの、(2) は二個の羽根車を背中合せにしたもの (第 5・7 圖)、(3) は二個の羽根車を向ひ合せにしたもの (第 5・8 圖) である。

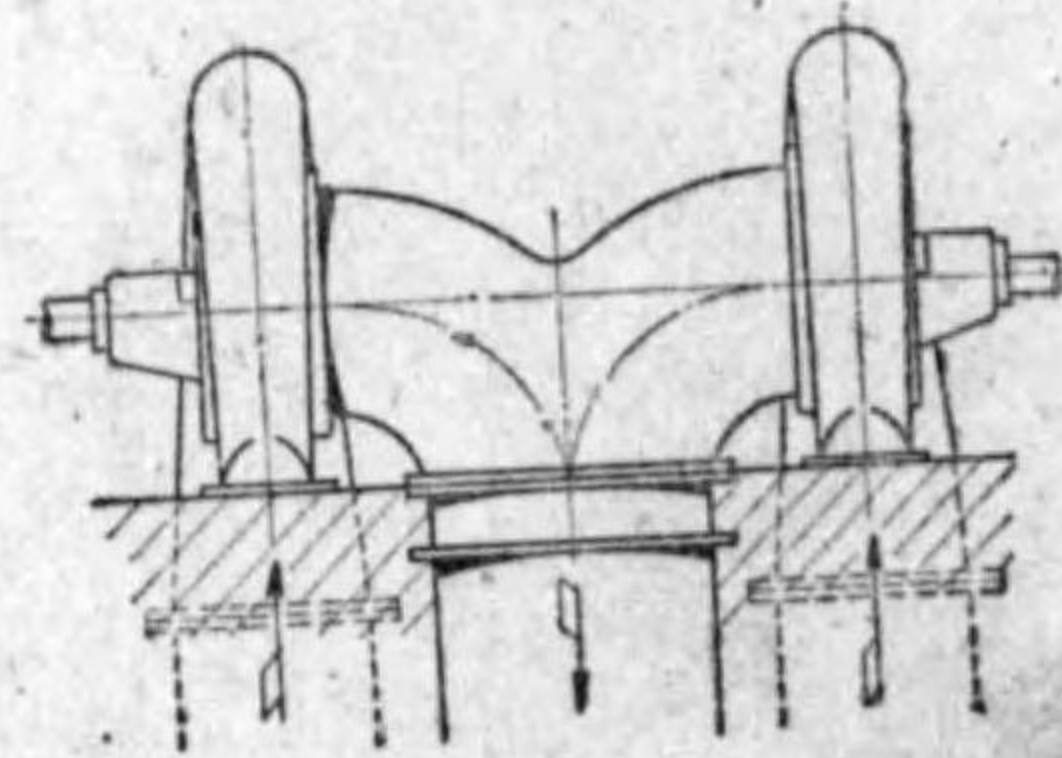
圖に見る様に、(1) は最も簡單であつて、比較的小馬力のも

第 5・7 圖



兩吐出渦卷型

第 5・8 圖



双子渦卷型

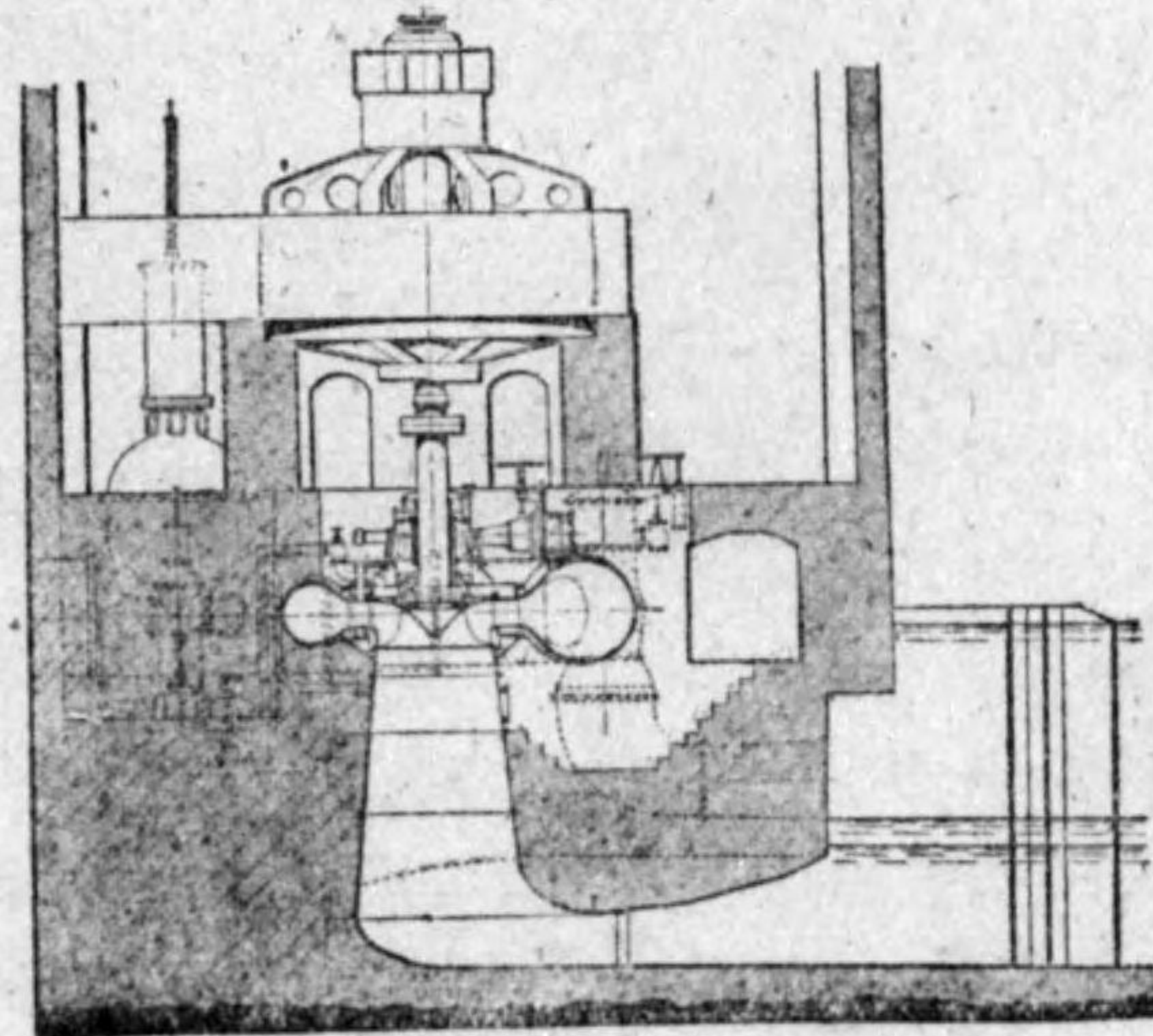
のに用ひる。(2) は渦型室を一個にて兼用し、各の羽根車から流出する水は、軸に沿つて左右に分岐する。(1) に比して流量の多い場合に適する。(3) は各の羽根車に各渦卷胴が付いて居り、各の羽根車から流出した水は中央に集つて一本の吸出管に流れて行く。この型の水車は經濟的見地から最近殆んど無く

なつてしまつた。(1) を (2) 又は (3) に比較して見ると、水の流れ出る方向が一方的である爲に羽根車の右左に於ける水壓の差を生ずる。このために軸を一方に押す力が作用する。この力を軸壓力 (スラスト) と云ふ。このことに就いては後に詳しく述べる。

3. 豎軸渦卷水車 豎軸の渦卷水車は横軸のものに比して一般に大容量、大形のものが多く、次の三種に區別する。

- (1) 鑄鐵又は鑄鋼製の渦型室を有するもの

第 5・9 圖



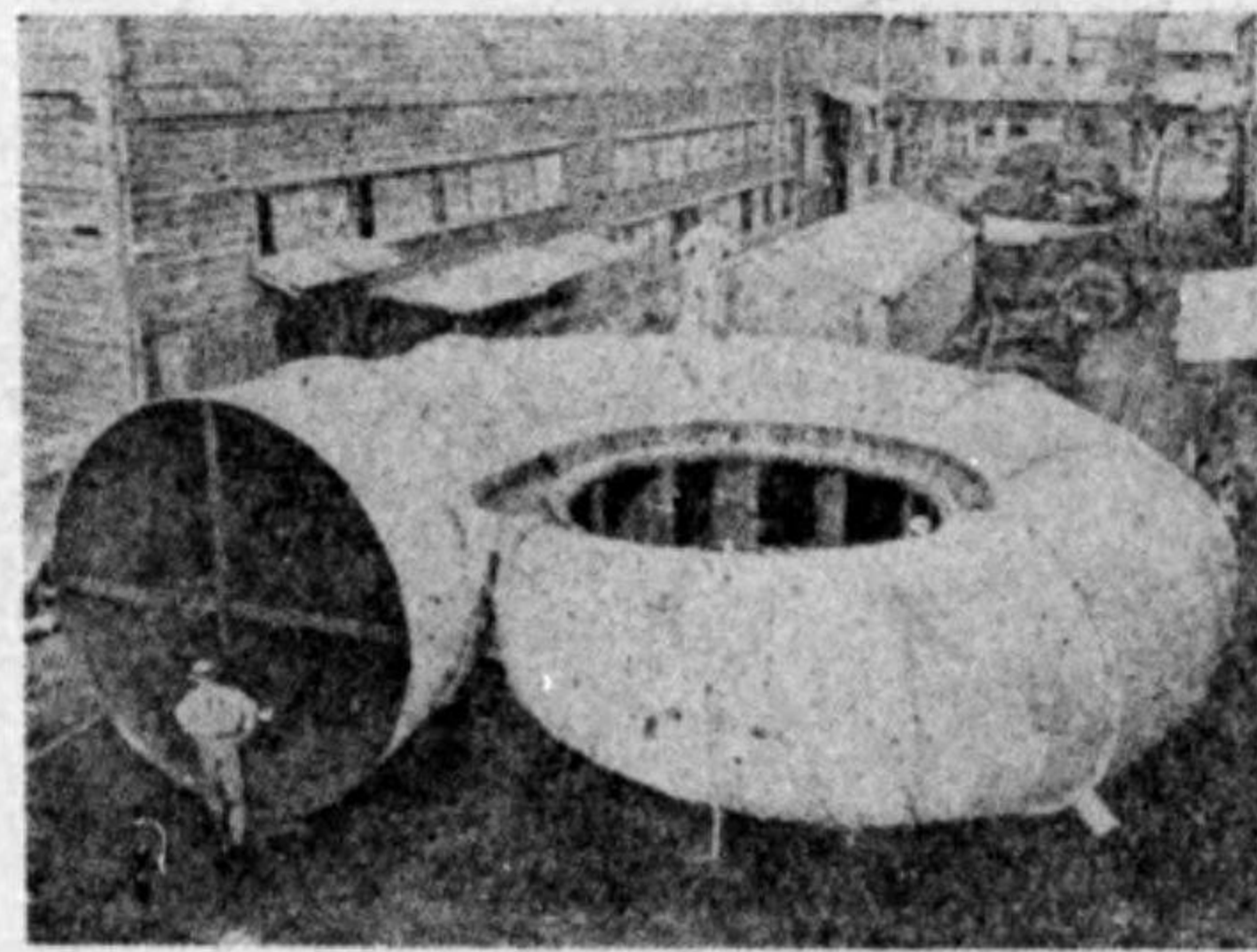
某發電所水車据付圖

(2) 鋼板製の渦型室を有するもの

(3) コンクリートの渦型室を有するもの

(1) は比較的流量の少い時に使はれる型式で、落差が餘り高くない時には鑄鐵製とし、高落差又は大容量のものになると鑄鋼製のものが使はれる。第 5・9 圖は某發電所の水車の据付圖である。流量が豊富になるとこれに従つて渦型室も大きくなるから、鋼板で順次に巻いた渦型室にする。第 5・10 圖はその一例で、この渦型

室は据付けた後に外部を全部コンクリートで覆ふことが多い。こうした方が水圧がかつた時に胴の歪みが防止せられて都合がよい。



第 5・10 圖

鋼板渦型室

低落差で流量が極めて豊富な場合には、渦型室を鋼板で作る必要がなくなり、コンクリートの打ち放しで作る。断面の形も必ずしも圓形にするを要せず、矩形で角に丸味をつけたものにする。第 1・12 圖の例なども水車はカプラン水車であるが、矢張り堅軸渦巻水車

の(3)の型式である。

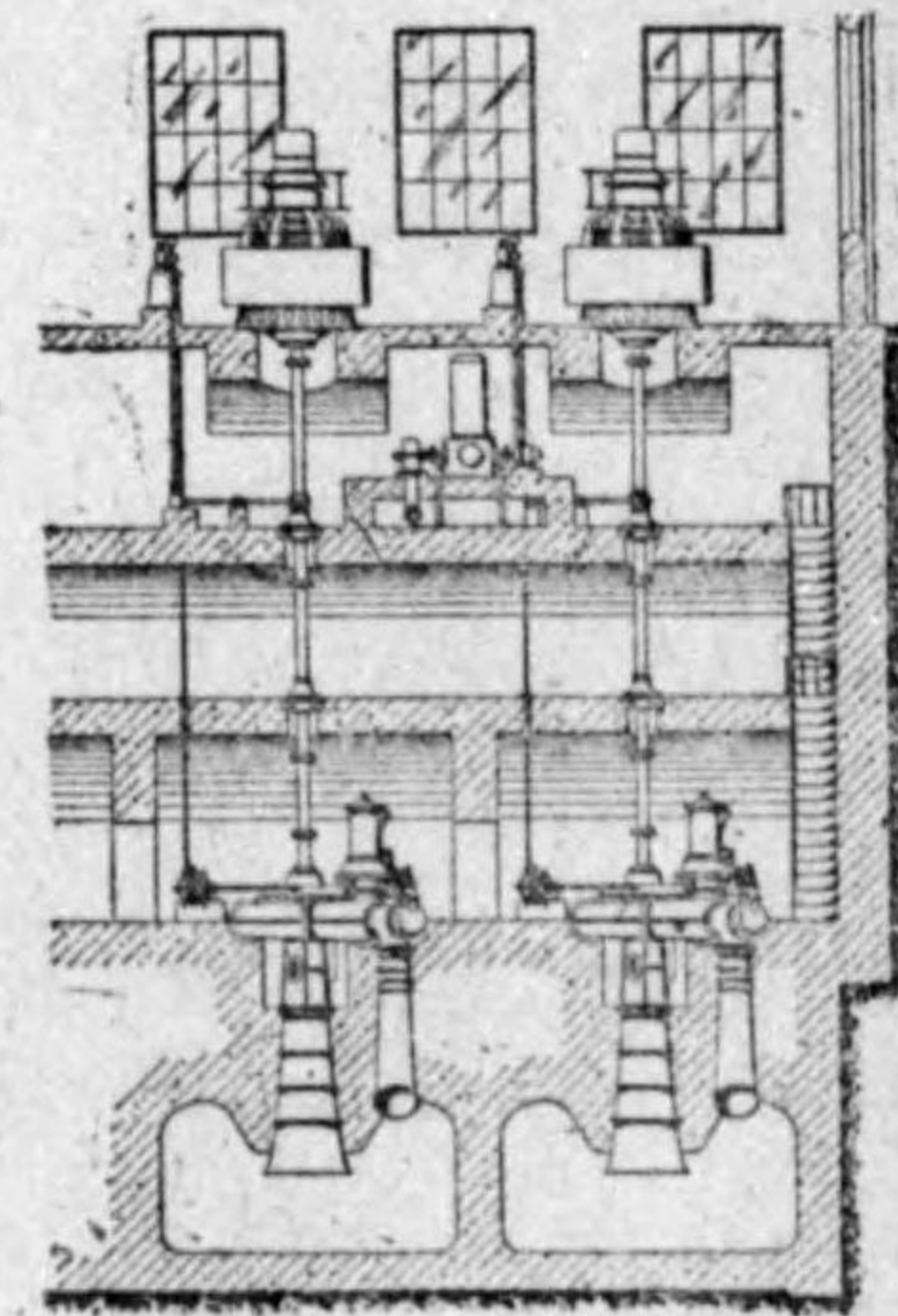
一般に水車は、發電機主軸に直結せられるが、土地の状況又は洪水位の關係等によつては、

第 5・11 圖の様に中間室を設けて非常に長い堅軸としなければならないことがある。この例は落差 54 m で 7 000 馬力を發生する水車の例であるが、軸の全長が約 20 m もある。

最近堅軸水車の發達は實に目覺しいもので、大容量水車は殆ど總て堅軸渦巻水車である。その理由とするところは種々ある

が、第一に水車を横軸にすると其の構造上、軸受間の距離が長くなるので相當に太い軸としなければならず、振動等も起り易いが、これを堅軸とすればその心配が餘程少い。第二に洪水の起る危険のある場所では、堅軸にすることによつて發電機が水に濡れる心配が無くなる。第三に發電室が小さくて済むから敷地も狭くて済み、建築費、土木費並に之に附屬する起重機其他の設備費が全般に低廉となる。尙ほ羽根車から流出する水は眞直々に吸出管に入るから、吸出管の構造並に効率の上に良い結

第 5・11 圖

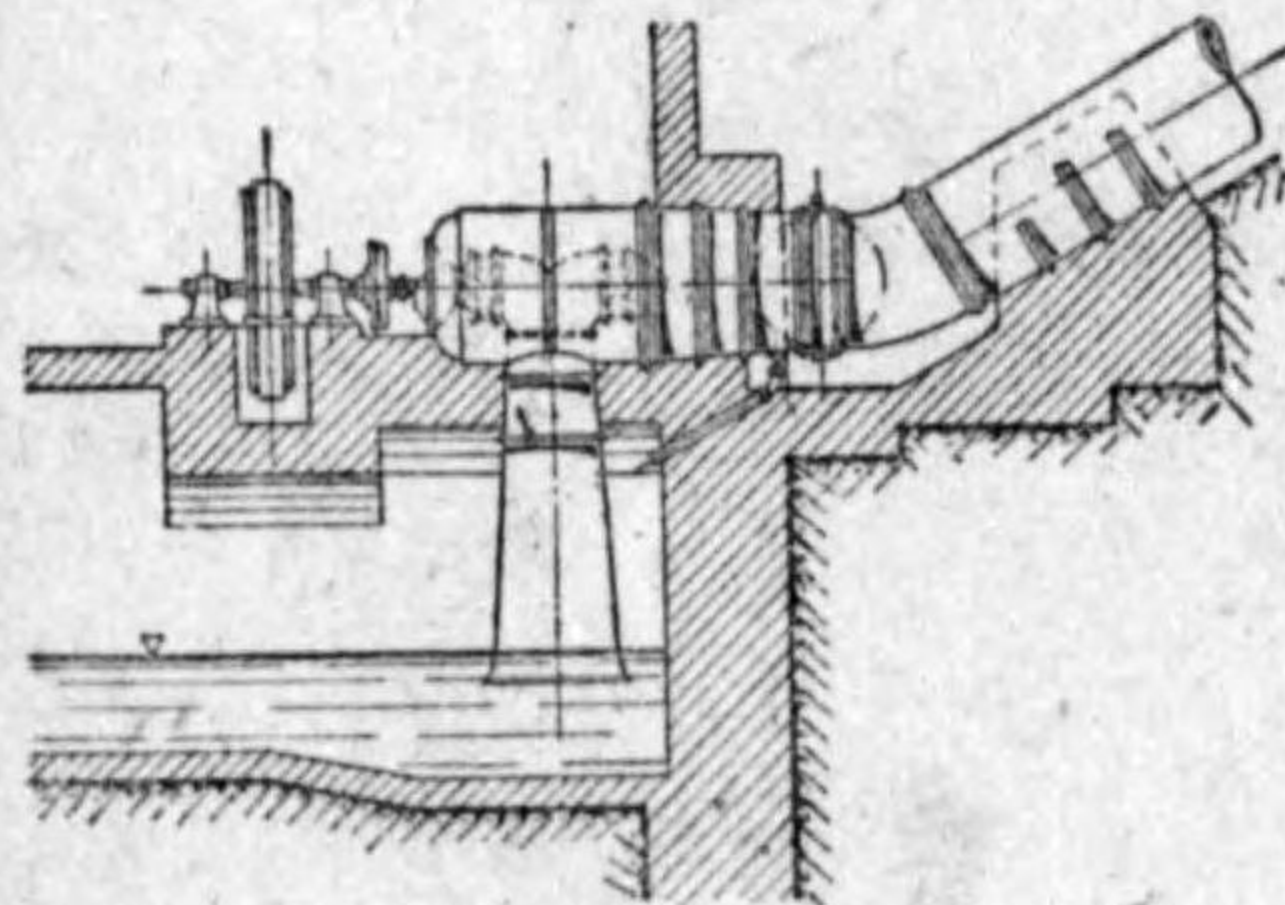


長軸の堅軸水車

果を來す。唯、豎軸の水車では發電機の回轉部分、主軸、羽根車等の回轉部分、並に羽根車の軸壓力を支持す可き特殊の軸受を必要とするのであつて、これが從來迄は設計が困難とされて居つた。しかし現在では優秀な構造のものが製作される様になり一躍、豎軸水車の發達を促したのである。(軸受の構造に就ては後に述べる)。尙ほ水車室が地下室である爲に作業者の不便と衛生上の問題が考慮されて居るが、之等も次第に改善せられて殆ど問題とはならぬ様である。

4. 前口水車及び横口水車 前口水車と云ふのは第5・12

第5・12圖



前 口 水 車

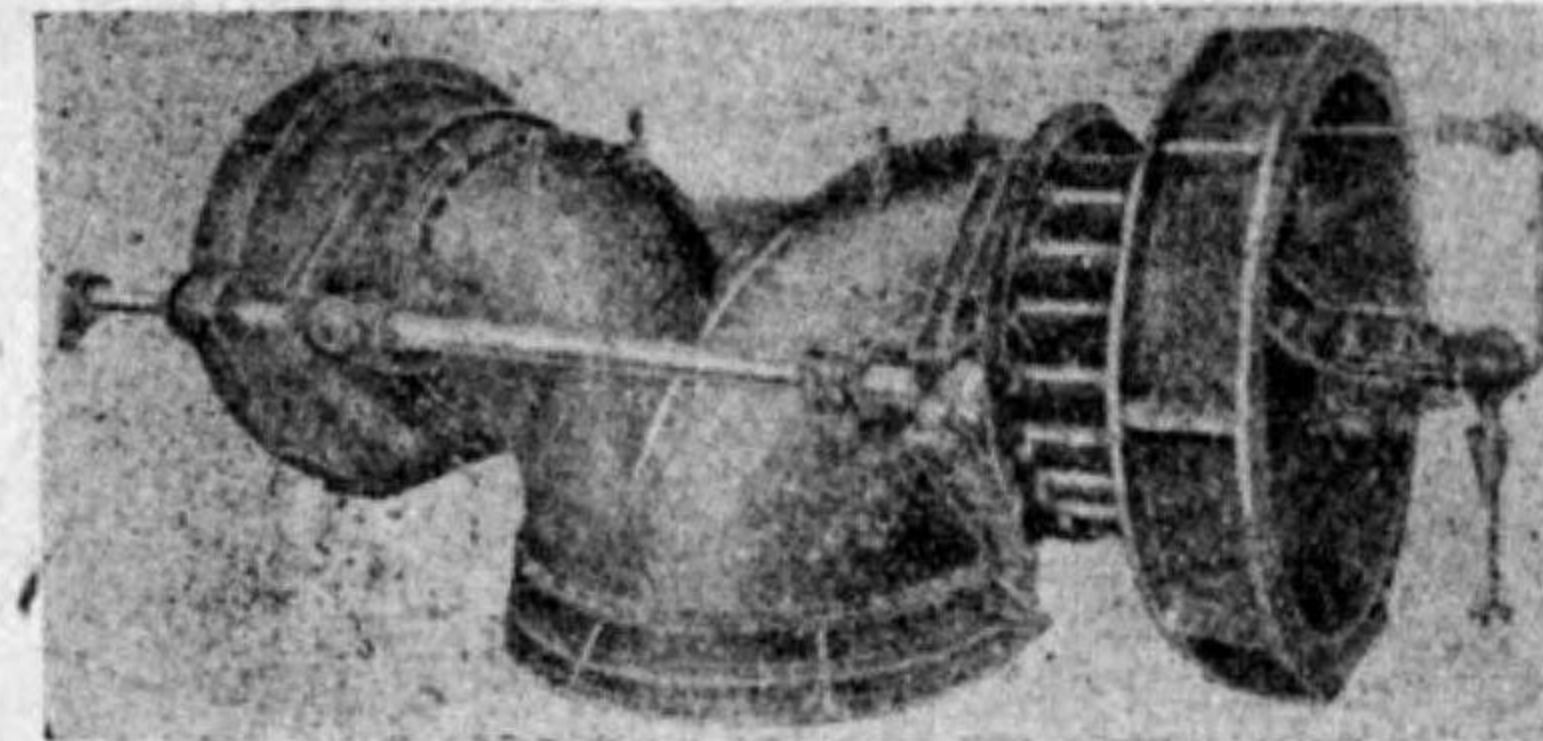
圖の様に水壓管の先端を擴大して箱型となし、この内に羽根車と案内羽根との一組を装置したもので、落差10~30m程度の範圍に使はれる。この水車は昔時は中落差用として相當に

廣く採用された事もあつたが、近來は豎軸水車の發達につれて全くその影を没するに至つた。横口水車とは水壓管の方向が水車軸に直角に接續されたものでその他の構造は前口水車と全く

同様である。これ等の水車は胴の形が蒸氣罐に似てゐるから罐胴水車又は胴形水車とも云はれる。

5. 露出水車 落差が20m以下の水車では、水槽と水車との間を鐵管で連結する餘裕が無いから、第5・13圖の様に水

第5・13圖



露 出 水 車

槽の下部に羽根車と案内羽根との一組を露出したまゝ装置する型式が便利である。之を露出水車と云ふ。

一軸に取付ける羽根車の數は、流量の多少に応じて一個から四個ぐらゐ迄のものがあり、各、單輪、二輪、三輪と云ふ名稱が附いてゐる。第5・13圖は二輪型の水車の寫眞である。

斯様に一軸に多數の羽根車を取付ける理由は、一個の羽根車に流入する流量を分割減少せしめることによつて、羽根車の直徑を小さくし、従つて回轉數を高めると云ふのが目的であるが、最近は次に述べるプロペラ型の水車が發達して、この缺點を補

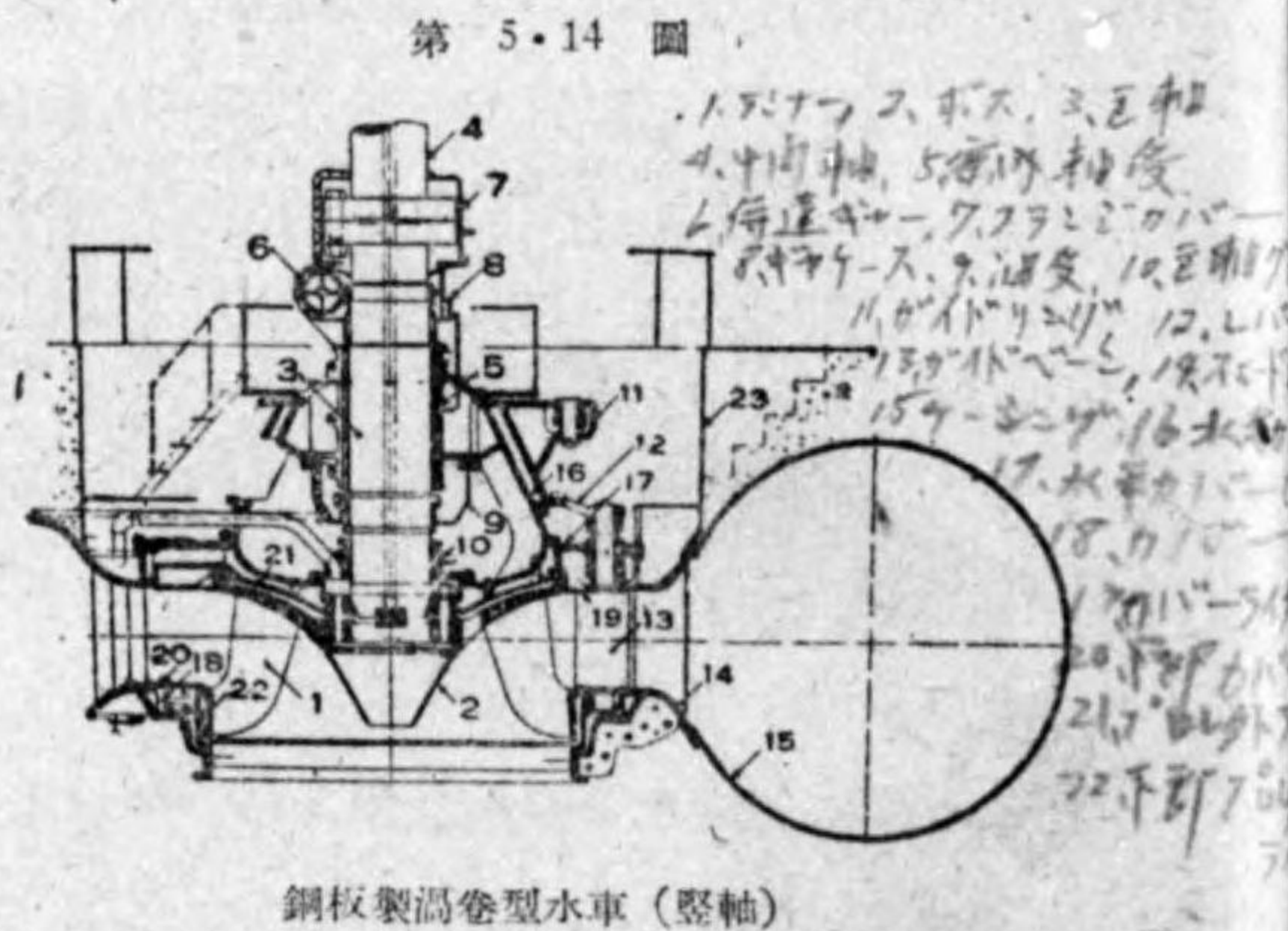
ふ様になつたので、羽根車の数の多い露出水車は殆んど無くなつた。尙ほ露出水車にも堅軸のものがある。

6. フランス水車の構造例 水車はその種類、型式によつて様々の構造を持つてゐるが、こゝには堅軸の鋼板製渦巻型水車の一例につ

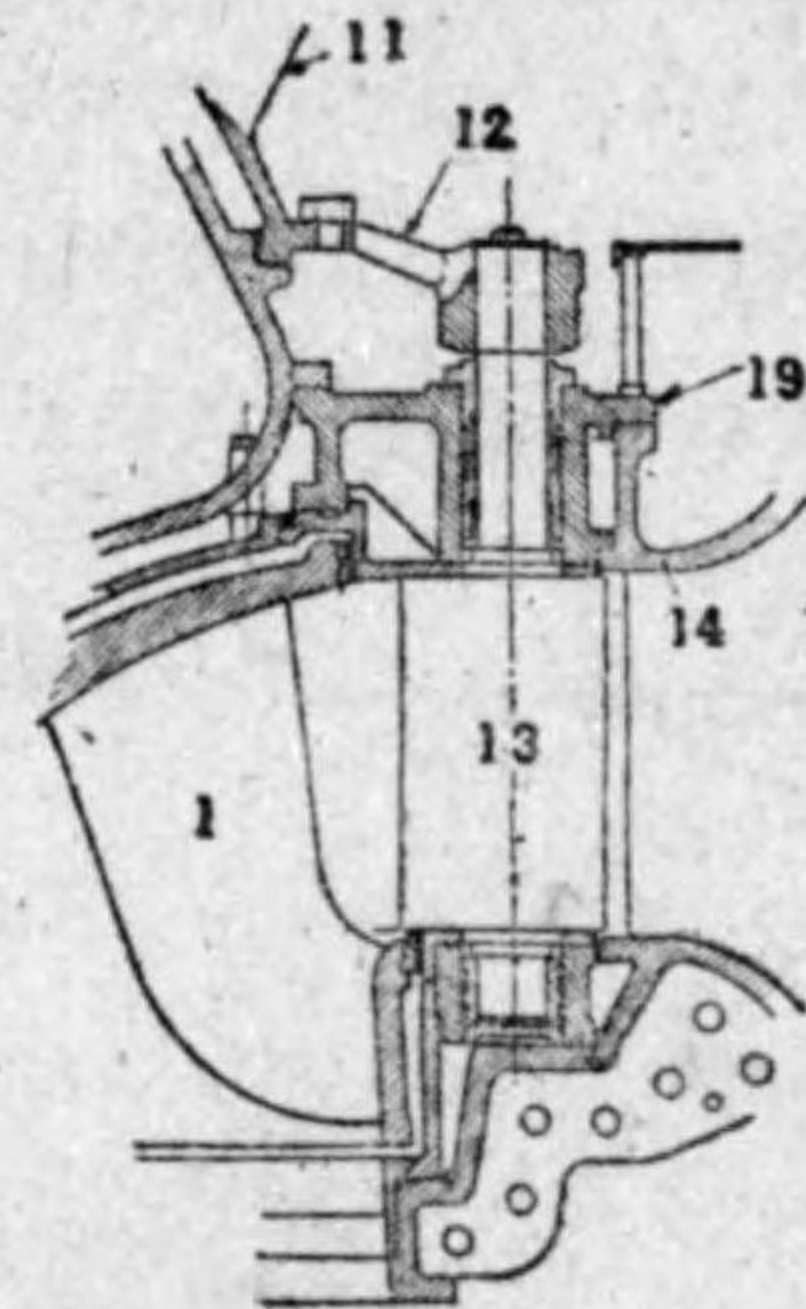
きその構造の大略を示す。第5・14圖はその断面圖で第5・15圖は案内羽根と羽根車附近の詳細圖である。

(1)が羽根車でこれが主軸(3)の下

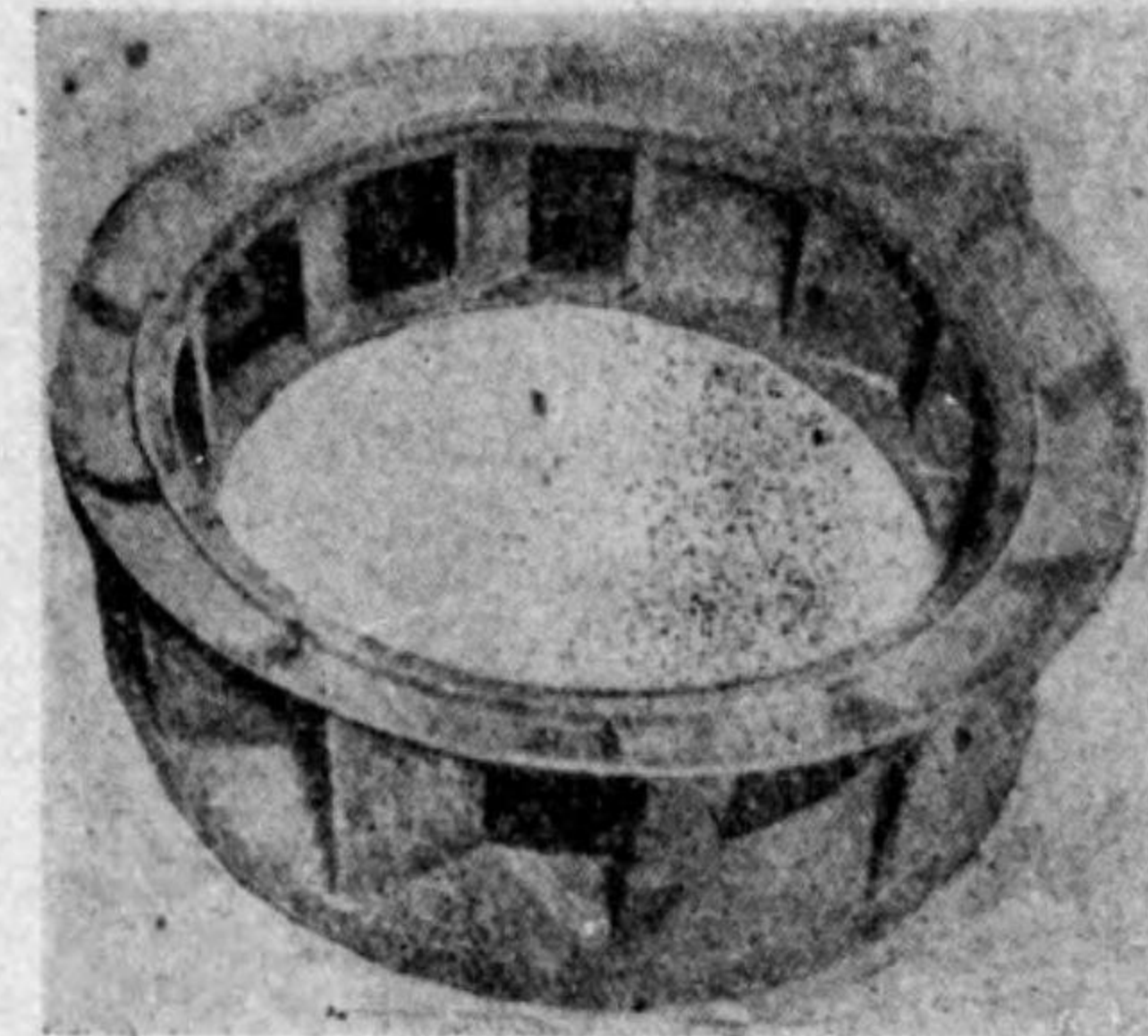
方にボルトで取りつけられる。案内羽根(13)はその外周に配列せられ、更にその外方には速度環(speed ring)(14)と稱する枠が置かれる。これは第5・16圖の寫眞に示す様に上下兩板の間に案内羽根型の數個の支柱を持つたもので、この支柱は固定してゐるが矢張り水の流る方向を調整するのに役立つ。速度環は水車の組立据付に際しては基本となる大切な外枠である。渦巻型の鋼板(15)はこの速度環を基準としてこれに順次



第 5・15 圖



第 5・16 圖



に鉋止めして形成する。(19)は上方の蓋(cover)で主軸(3)の貫く所に填座装置(15)を有しパッキンによつて水の漏洩を防止する。案内羽根(13)には上下に小径の軸を有しこれが蓋(19)を貫いて外方に出て居る。こゝにも又革製パッキンを装置して水の漏洩を防ぐ。案内羽根軸には腕(12)を夫々付けてあつて、その端はリンクによつてゲート・リング(gate ring)(11)に連結する。调速機からの連桿が(11)に連結せられて居り、ゲート・リングを或る角度だけ廻轉させるのでリンク装置によつて案内羽根軸を廻轉せしめ、それより案内羽根の開閉運動が爲される。(5)は主軸の軸受で内部はバビット・メタルを内張りしてありその周圍に潤滑油を循環させる。(9)が油受け

である。(4)は発電機の主軸で(7)は鑄型軸接手である。

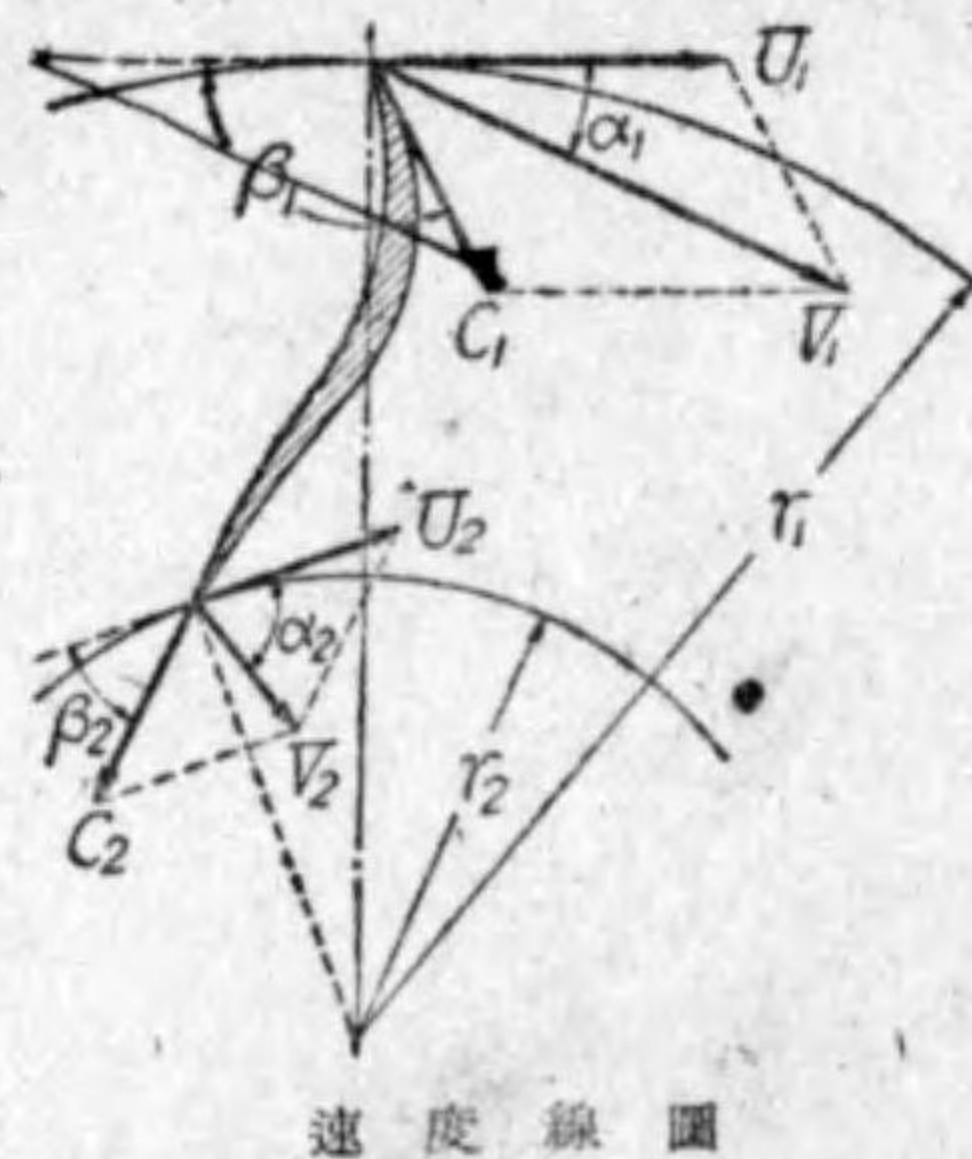
7. 羽根車の羽根に及ぼす水の作用 今、羽根車の羽根の形を第5・17圖の様にし、入口及び出口に於ける水と羽根との速度の関係を説明しよう。

入口に於ける羽根の周速度を U_1 とし、水の絶対流入速度を V_1 とすれば、羽根車から見た水の流入速度は力學上の平行四邊形の原理によつて C_1 の方向及び大ききで示される。この C_1 を水の相對速度と云ひ、羽根の入口の傾斜は

この C_1 の方向に沿ふて作られて居らなければならない。即ち C_1 は羽根に沿ふて流れる水の關係的速度である。羽根の出口に於ても之と同様で、周速度を U_2 、水の絶対流出速度を V_2 とすれば、羽根に沿ふて流出する相對速度は C_2 となり、羽根の出口の傾斜は C_2 の方向となす可きである。この様に羽根の入口及び出口に於て畫かせた速度の關係圖を **速度線圖** (velocity diagram) と云ふ。

次に水が羽根に出入する時、羽根の速度、水の速度、及び羽

第 5・17 圖



速度線圖

根に作用する落差との關係は次の様にして求め得られる。今、羽根の入口及び出口の半徑を各 r_1 及び r_2 、水の絶対流入及び流出速度の方向が周速度の方向と爲す角を各 α_1 及び α_2 、羽根の入口及び出口の角度を各 β_1 及び β_2 とすれば、水が羽根車に及ぼすモーメント M は力學上次式で示される (水力學參照)

$$M = \frac{w}{g} Q (r_1 V_1 \cos \alpha_1 - r_2 V_2 \cos \alpha_2) \quad (5 \cdot 1)$$

但し w は單位體積の水の目方で、 Q は一秒間に羽根を流れる流量である。従つて一秒間に爲す仕事 E は M に羽根車の角速度 ($\omega = \frac{U_1}{r_1} = \frac{U_2}{r_2}$) を乗じたものであるから、 $\frac{U_1}{r_1}$ 及び $\frac{U_2}{r_2}$ を夫々に乗じて

$$E = \frac{w}{g} Q (U_1 V_1 \cos \alpha_1 - U_2 V_2 \cos \alpha_2) \quad (5 \cdot 2)$$

然るに有效落差 H 、流量 Q 、水力效率 η_h なる時の一秒間の仕事量は $wHQ\eta_h$ であり、之が E に等しい筈であるから、

$$wHQ\eta_h = \frac{w}{g} Q (U_1 V_1 \cos \alpha_1 - U_2 V_2 \cos \alpha_2)$$

$$\text{故に } gH\eta_h = U_1 V_1 \cos \alpha_1 - U_2 V_2 \cos \alpha_2 \quad (5 \cdot 3)$$

となる。この式は羽根に及ぼす水の作用の基本公式と云はれ、この式から種々の設計上の重要な公式が誘導される。實際の羽根車の羽根の設計に際しては、最大の效率を得るために水の流出速度 V_2 が軸心 O に向ふ様にするから、 $\alpha_2 = 90^\circ$ 即ち $\cos \alpha_2 = 0$ となり、(5・3)式は次の様になる。

$$gH\eta_h = U_1 V_1 \cos \alpha_1 \quad (5 \cdot 4)$$

8. 回轉數の定め方 フランシス水車は落差が最低 20 m 程度から最高 200 m (特殊な例では 300 m) 附近迄の広い範囲に亘つて採用されるから、水車一臺の使用流量との関係で回轉數は極めて廣範囲に選擇が出来る。従つて最も適當な回轉數を理論的に決定することは困難で、多くは從來の經驗から決定してゐる。その方法としては、先づ與へられた落差に對する適當なる特有速度 (specific speed) の數値を選定し、之より計算から求めるのであつて、この事に就ては特有速度の説明を必要とするから、その項で述べることにする。

一般的に云ふならば、水車としては出來得るだけ高い回轉數にする事が望ましい。その理由は、回轉數を高くする程水車の形が小さくなり、従つて價格も低廉で運搬にも便利であり据付に際しては敷地や建物も小さくて済むからである。しかし相當の容量の水車で回轉數を毎分 1000 回轉以上にすると、軸受の給油等に特別の注意を要する外に、水車の震動其他の故障が起りやすく運轉上に種々の不便を來すから、特別の場合を除く外は普通は毎分 800 回轉程度を限度としてゐる。實際には高落差水車では 500~600 回轉のものが多く、中落差で 300~400、低落差で 120~150 程度である。これは落差が低い場合にはこれ

以上の高い回轉數に水車を設計することが困難なので已を得ない結果である。尙ほ同一落差の水車に就て云へば容量の大きなものほど回轉數は低くなるのが普通である。

尙ほ水車が交流發電機と直結されてゐる時には交流發電機の磁極數と周波數とから定まる回轉數に一致させねばならぬ。この事に就ては、ペルトン水車の回轉數の決定の項で述べた事と全く同じであるから、その項及び第 4・1 表を参照されたい。

9. 水車内に於ける諸損失 フランシス水車の効率を低くする原因となる諸損失は略ぼ次の様に分類することが出来る。

- (1) 渦型室又は案内羽根に於ける摩擦又は渦流等による水力損失
- (2) 羽根車に水が入る時の衝撃の損失及び羽根車内の摩擦又は渦流による水力損失
- (3) 吸出管内の水力損失
- (4) 吸出管から水が放出される時の水の有する速度エネルギーに依る損失 (之を排棄損失と云ふ)
- (5) 案内羽根と羽根車との間隙から漏れる水は羽根車に入らないから仕事をしない。この漏洩による損失
- (6) 軸受其他の摩擦損失又は回轉部分の空氣抵抗等による損失

以上のうちで (1)―(4) 迄を**水力損失** (hydraulic loss) と云ひ、水車として最も大きな損失となつてゐる。(5) は漏洩損失、(6) は機械的損失で、この兩者は極く僅かである。3~5%程度と考へてよい。以上の總損失を水車の理論馬力から差引いた残りが水車の軸に發生する正味の馬力で、之が理論馬力との割合を水車の全効率と稱することはペルトン水車の項に述べた通りである。

フランシス水車の水力損失はペルトン水車に比較するとやゝ大きい様である。又、羽根車の型式や出力の大小によつて非常に差があるが、大體は 10~25% の範圍と見てよい。従つて水車全體の效率は 75~90% と云ふ事になる。

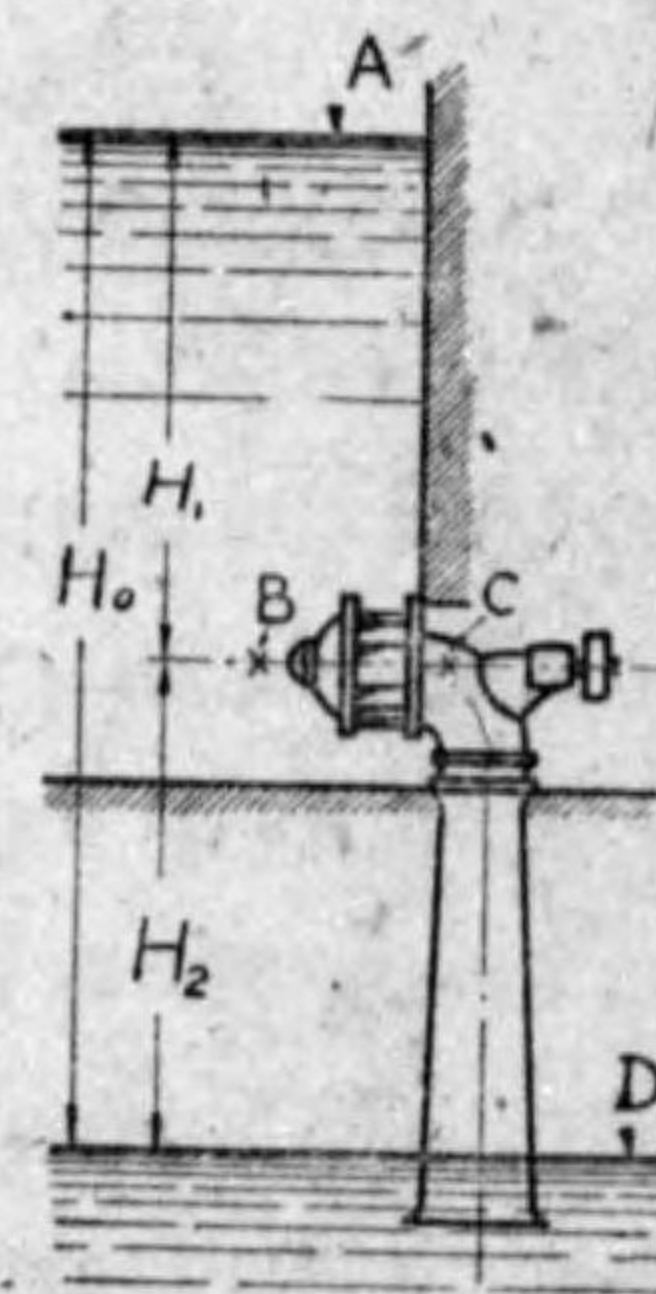
10. 効率と出力との關係 フランシス水車に於ては案内羽根の開度を變へることによつて流量を調節する事は前に述べた通りである。而して最大流量の $\frac{3}{4}$ 又は $\frac{7}{8}$ の流量を定格流量と定め、この時の出力を定格出力と云ひ、定格出力の時に最大効率である事はペルトン水車の所で述べた事と同様である。唯こゝに注意すべきはフランシス水車では案内羽根の開度を變へると、流量が變るばかりで無く流入方向も變る。そのために部分負荷に於ける効率低下の度合ひはペルトン水車よりも大きい。

11. 無拘束速度 フランシス水車に於ける無拘束速度の有様もペルトン水車の場合と同様に起る。即ち負荷が零になつた時に羽根車は最大回轉數に達するのであるが、羽根車が規定以上の速度で回轉すれば水力損失が次第に増加し、又軸摩擦等も増すから、フランシス水車に於てはこの無拘束速度は大凡定格速度の 1.8 倍内外である。

12. 吸出管 フランシス水車に於ては羽根車の出口と放水面との間を**吸出管** (draft tube) にて結び、羽根車から流出された水はこの吸出管に充滿して下水槽に流下することによつて、この間の落差を有効に利用し得られる。

即ち第 4・18 圖で A, D を上下の兩水面、 B, C を水車の入口及び出口とすれば、吸出管 CD の内部には水流が充滿し、管内の水柱は自己の重さによつて降下しようとする爲に、羽根車の出口に於ては水柱 H_2 の高さに相當する吸出壓力が働く。然るに水車の入口に於ては上方から H_1 に相當する水壓が働いて居るから、水車全體に加はる水壓は $H_1 - (-H_2) = H_1 + H_2 = H_0$ となり、 AD 間の落差を少

第 5・18 圖



吸 出 管

しも損失することなく、利用し得られる。斯様に C 部は吸出圧力、云へ換へれば大気圧以下であるから、管の接目等が不完全であると、空気を吸込む恐れがある。空気が吸込まれると管内の真空が破壊されて吸出作用を呈しなくなる。

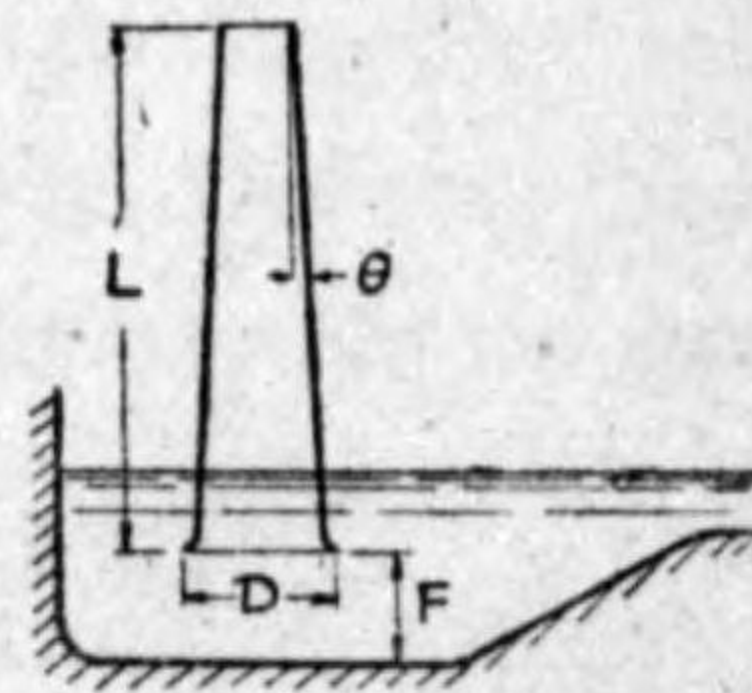
以上は吸出管の第一の目的であるが第二の目的は羽根車から流出する水の速度を減少して放水面に流し、前述の排棄損失を減少せしめる事に在る。これが爲には吸出管を喇叭型に作り、下部に行くに従つて断面積を大ならしめることが必要である。管の出口面積を十分に大きくすれば流出速度が小さくなり、従つて排棄損失は小となるが、管を餘り急に擴大すると管内に渦流が起つて却つて効率を害する。

13. 吸出高さの限度 上述の様に水車の位置は上下兩水面間の何處に置いても、水車に働く總落差は H_0 である。然し乍ら水車の中心から下水面迄の垂直高さ（この高さを吸出高さと呼ぶ）は無制限に高く取ることには出来ない。それは吸出管内の水の流れが途中で切れではならないからである。即ち C 點の壓力が絶対真空となる時が理論上の限度で、この時の H_2 の高さは大気壓に釣合ふ水柱の高さ即ち凡そ 10 m である（第二章第 5 節参照）。實際の水車で吸出高さを 10 m 近くにすると、高度の真空のために水の中に含有してあるガス體の發散又は水

蒸氣の發生が起りこれが吸出管中の真空を破壊するばかりでなく、激しい騒音を發生し、管は振動を起し、又はその部分の腐蝕を迅速ならしめる。このやうな現象を空所發生又は空洞現象（キャビテーション）と云ふ。斯の理由で、成る可くは吸出高さを小さく取り、吸出管頂部の真空度を大きくしない方が望ましい。實際の水車では 6~7 m を限度としてゐるが、最近の低落差大型水車では 3~4 m 以下としてゐる。

14. 吸出管の構造 吸出管の構造形には種々あるが、簡単なものは第 5・19 圖の様に、鐵板を鋸綴り又は熔接によつて圓錐形に作つたものである。實驗の結果

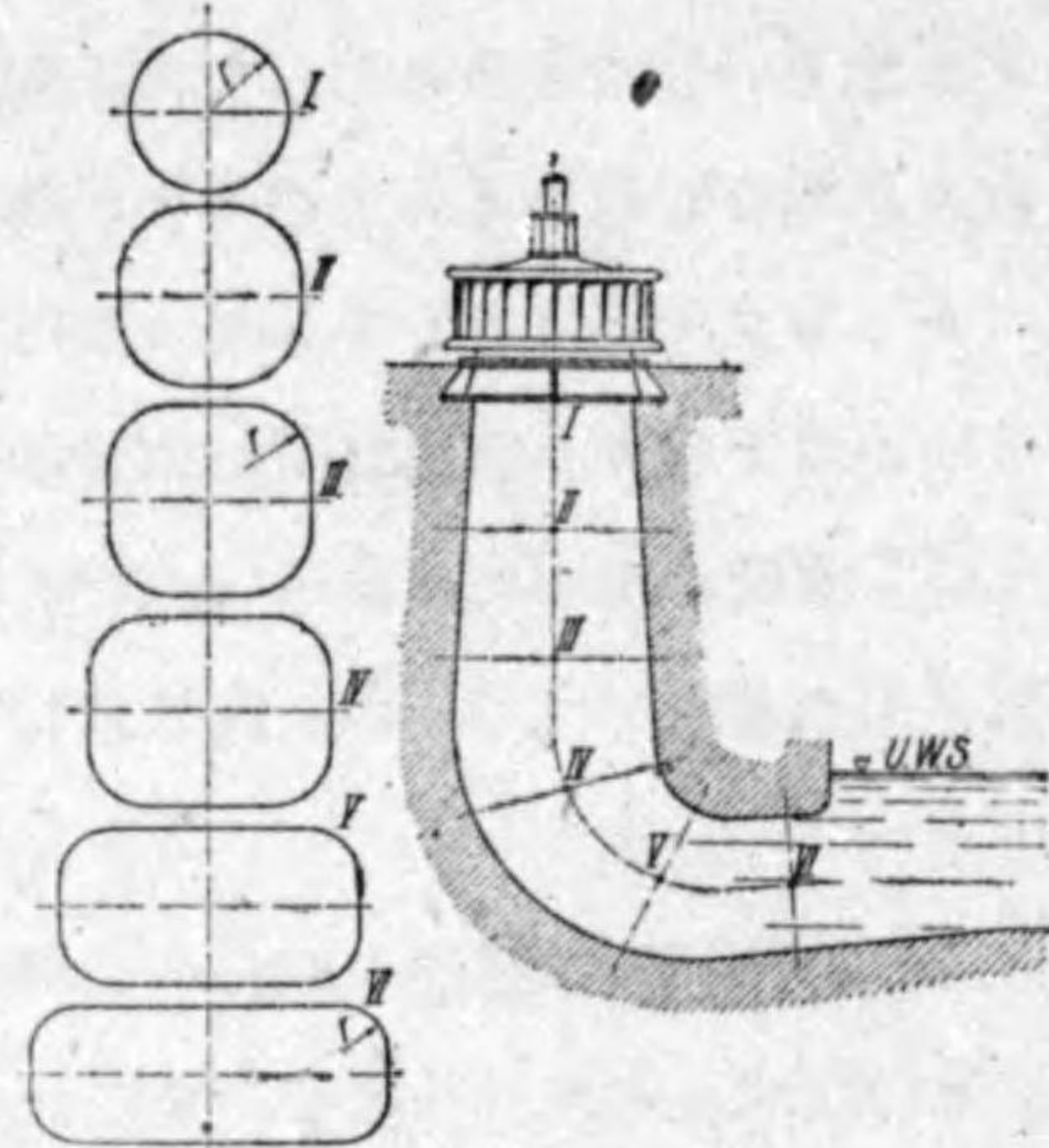
第 5・19 圖



によると管の廣がる角度 θ は大凡 6° 前後を良しとされて居る。管の先端は放水面中に約 0.5 m 程沈めて置き、管の末端から放水路底迄の深さ F は管の出口の直径 D の 1.5 倍程にとる。排棄損失を成る可く小さくする爲には、出口の直径 D を大きくしなければならないが、この時 θ を一定とすれば管長 L が長くなり、吸出高さが増す爲に種々の不都合を來す。この型は構造が簡單で製作費が低廉であるから、一般に小形の水車に用ひられる。

管の直径が1mを越すものでは第5・20圖の様にコンクリート製としてL字型の曲り吸出管を使う。之は断面形状を任意に欲する形にし易い便利がある。例へば第1・12圖の様に上下に低く、左右に長い形となし、断面形状も圓より次第に扁平形とし、掘鑿の深さを減

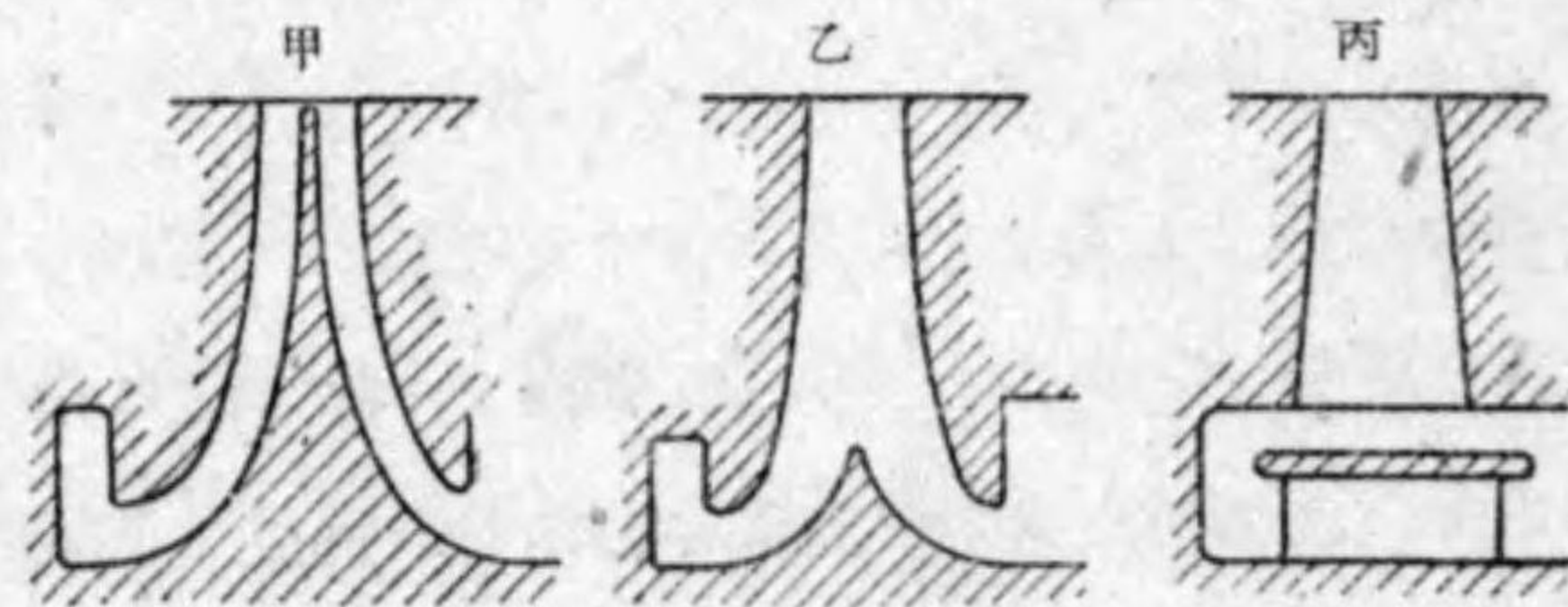
第 5・20 圖



コンクリート製吸出管

じて比較的浅い下水溝で間に合せ得る。管の頂部は水速も早いし低壓になつてゐるから、コンクリートの表面を傷めぬ様に又空氣泡などの入らぬ様に普通は鐵板等で内張りをする。構造上から寸法も充分に大きく作れるので、吸出高さが低くても出口

第 5・21 圖

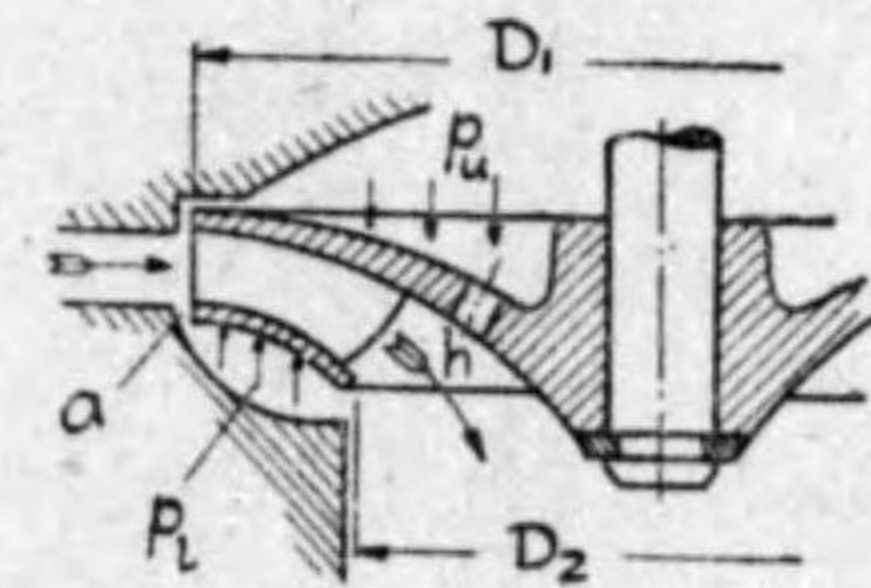


各 種 の 吸 出 管

面積を大きくして排棄損失を軽減し得られる。一般に低落差水車ほど吸出管の働きが水車全體の效率に及ぼす影響が大きく、吸出管の形状は水車效率の良否に頗る大きな關係を持つ。従つて吸出管形状の研究は低落差水車に就ては特に重要である。最近の大容量水車は殆んど總てこの種のL字型コンクリート吸出管を用ひる。この外に吸出管には種々の形状のものがある。第5・21圖(甲)はMoody氏の考案した擴散型吸出管と云ふもので、中央にコンクリートの塔を設けてある。中央の塔は羽根車の出口迄高いものと、第5・21圖(乙)のやうに下部にだけ在るものとある。尙ほ(丙)のやうな構造もあるが今日是用ひられない。

15. 軸壓力 羽根車に流入する水は第5・22圖の様に蓋と

第 5・22 圖



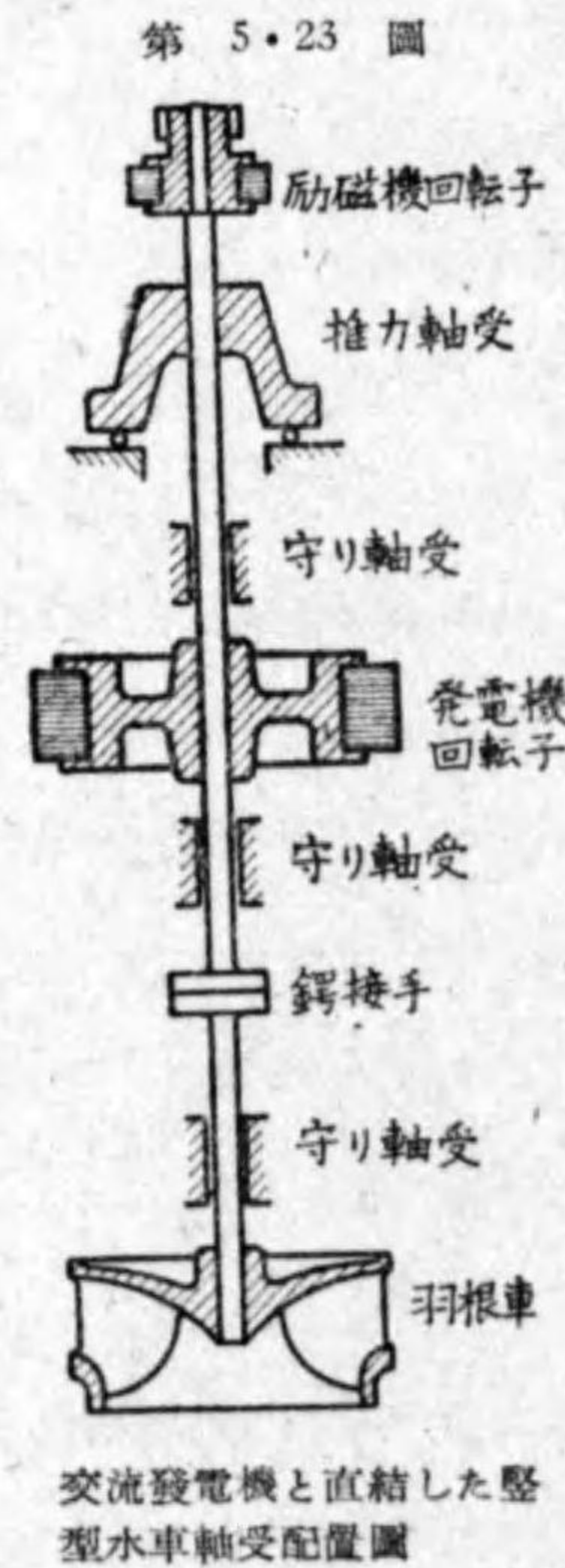
軸 壓 力

の間隙 a から漏水して上下兩側に充滿する。この壓力を各 p_u, p_l とすれば、羽根車の上部の全壓力は、 $\frac{\pi}{4} D_1^2 p_u$ であり、下部の全壓力は $\frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) p_l$ となる。この時 p_u と p_l とは大體に於て相等しい

から上下の水壓の差によつて、羽根車は下方に押す力を受ける。この力を軸壓力 (axial thrust) と云ふ。軸壓力は横軸の水車に

於ても同様に起る。堅軸水車に於ては、この水壓差に起因する軸壓力の外に、羽根車、主軸、主軸に附屬する種々の回轉部分發電機の回轉部分等の重量を全部加算したものが下方に向つて働く。發電機では、これらの總重量を支持するために特殊の軸受装置を必要とする。軸壓力を少しでも軽減する目的で、羽根車の背面に數個の小孔 h をあけ、壓力 p_u を吸出管頂部に連絡させて壓力を釣合はせる構造のものが多い。尙ほ嚴密に云ふと p_u 又は p_i は作用面に對して一樣の強さではない。水は羽根車の回轉に引きづられて一緒に回轉するから遠心力によつて水壓が増加し中心から遠いほど高い壓力を呈することになる。

16. 軸 受 第 5・23 圖は交流發電機と直結された堅軸水車の一組について、主要回轉部分と軸受との配置の一例を示したものである。即ち回轉部分の荷重と軸壓力とを支持する**推力軸受** (thrust bearing) は發電機の内部に装置せられ、外に主軸の横の振動を防ぐ爲に**守り軸受** (又は補助軸受とも云



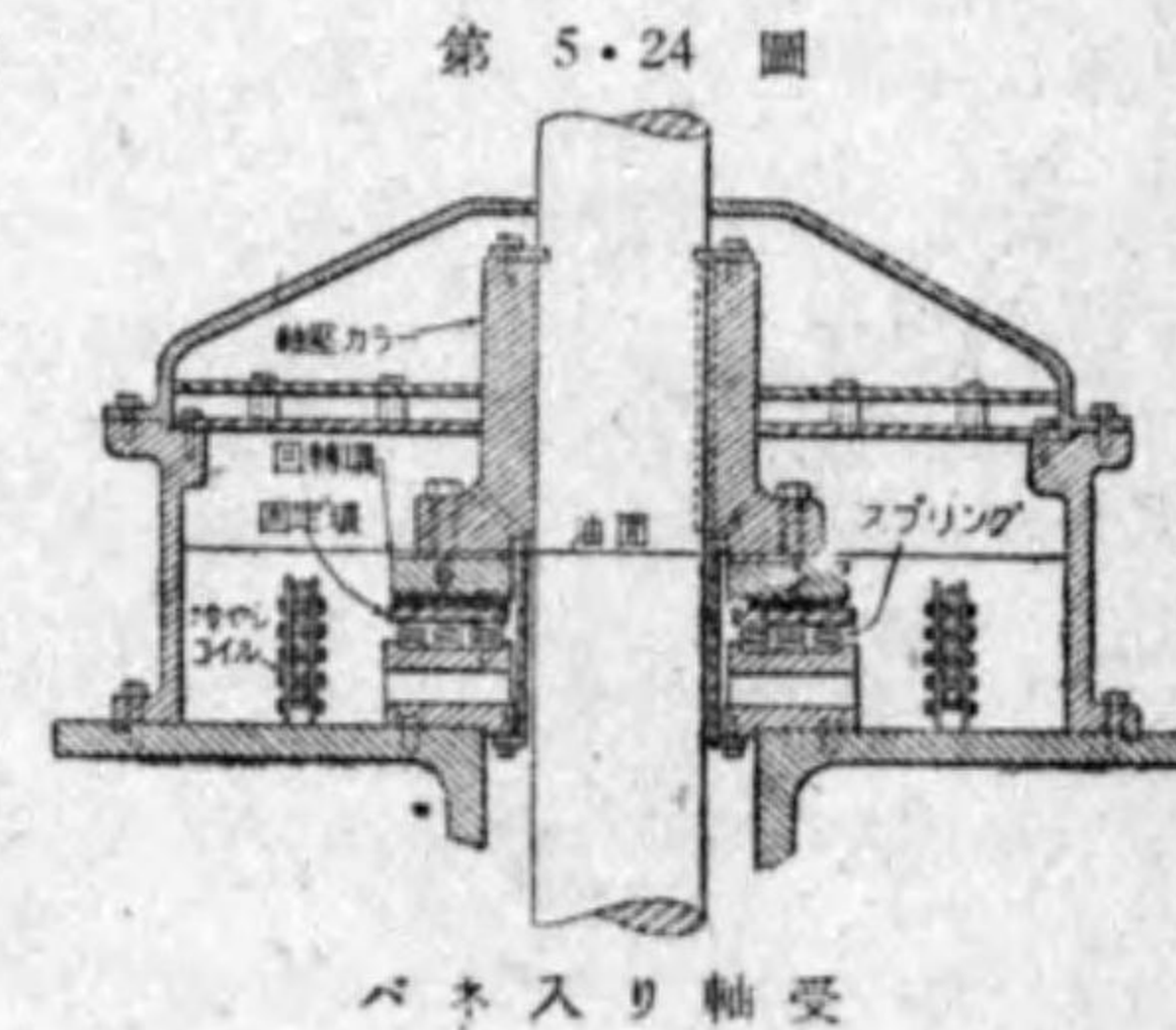
ふ、guide bearing) がある。發電機と水車との距離の長い場合には中間軸を用ひるから、中間軸一本に付て更に一個宛の守り軸受がある (第 5・11 圖参照)。

守り軸受は水で潤滑するものと油で潤滑するものとある。前者はリグナム・ヴァイタ (lignum-vitæ) と云ふ木片を使ひ、多くは露出水車に使はれるが、潤滑水が汚れてゐる所では、傷みが早いので使用出来ない。後者はバビット合金 (Babbitt metal) の内張りとしたものが多く、一般の堅軸水車では殆ど之を使つて居る。油は油ポンプによつて一旦油タンクに送り、之から各軸受に供給せられる。軸受から出た油は之を冷却して又油タンクに送り、循環して使用する。

現今使用されて居る推力軸受には次の二種類がある。

- (a) バネ入り軸受 (spring thrust bearing)
- (b) キングスベリ軸受 (Kingsbury thrust bearing)

(a) は第 5・24 圖の様に、主軸に軸壓カラ (鈔) をキー止めとなし、これに回轉環をボルト締めとする。回轉環の下部はバビット合金張りである。これが固定環の上に乗つて回轉する。

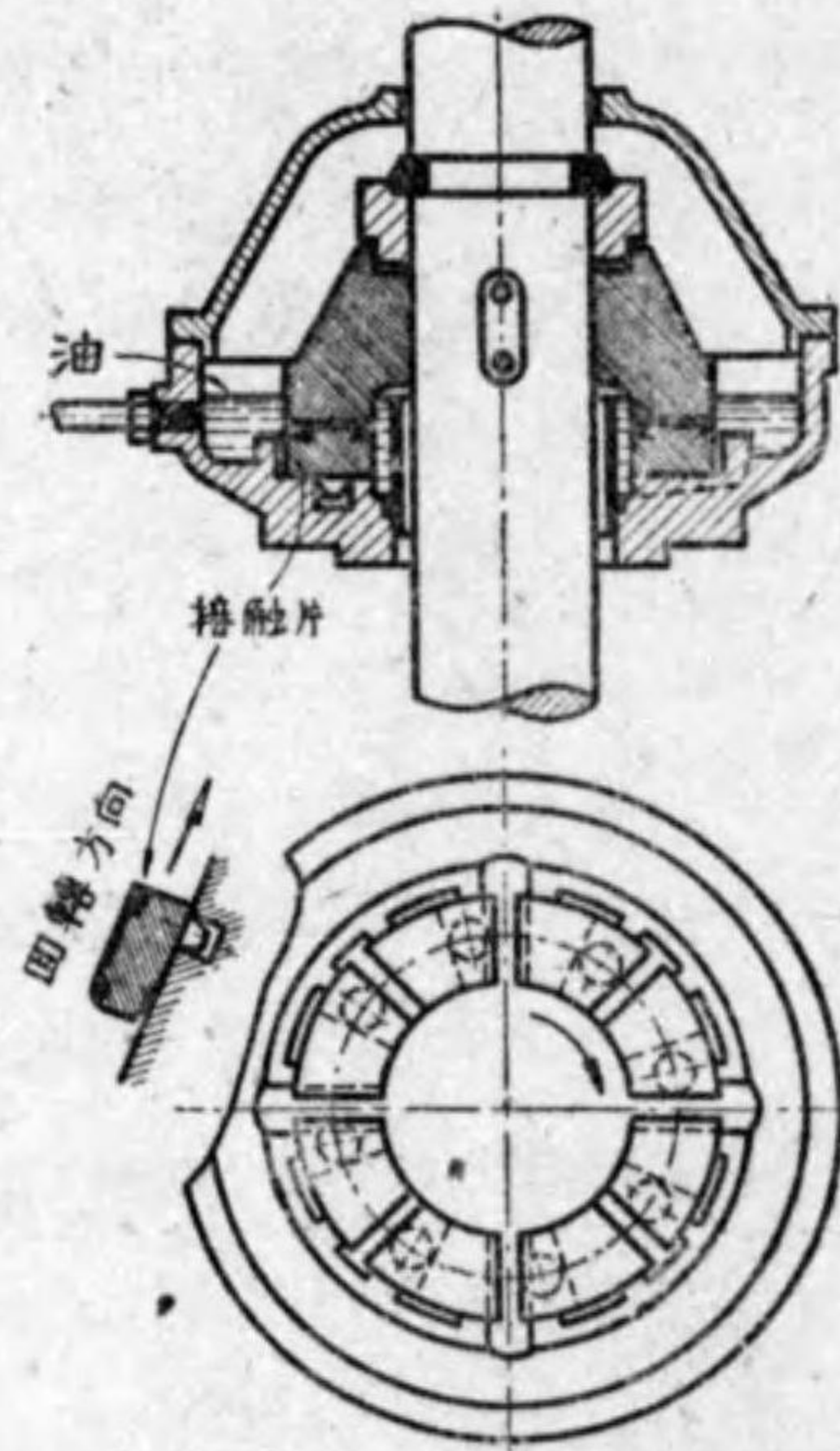


固定環の下部には多數の渦巻バネを置いて全荷重を支持して居る。油は周圍に充滿循環せしめ、尙ほ數條の冷却コイルを以て油を冷却する。

(b) は第 5・25 圖に示す様に、軸受の下側の接觸面は數多の扇形片から成立ち、之等が一ツツの心棒に支へられ、或る範圍内で多少傾き得る様になつて居る。上部の軸に取付けてある圓盤の回轉に伴つて、是等の扇形片が適當の傾きをなし、その間に生ずる楔形の間隙へ油が自然に供給せられて、上の圓盤は常に油膜上に乗つて居る。この種の軸受は大きい軸壓に耐へる事が出来、好成績を示して居るので、廣く一般に用ひられる。扇形片は鑄鐵製で表面に厚くバビット合金を張る。

横軸水車の軸受給油方法は主として油環 (oil ring) 式であるが、大型のもので主軸の表面速度の大きな場合には油ポンプを

第 5・25 圖

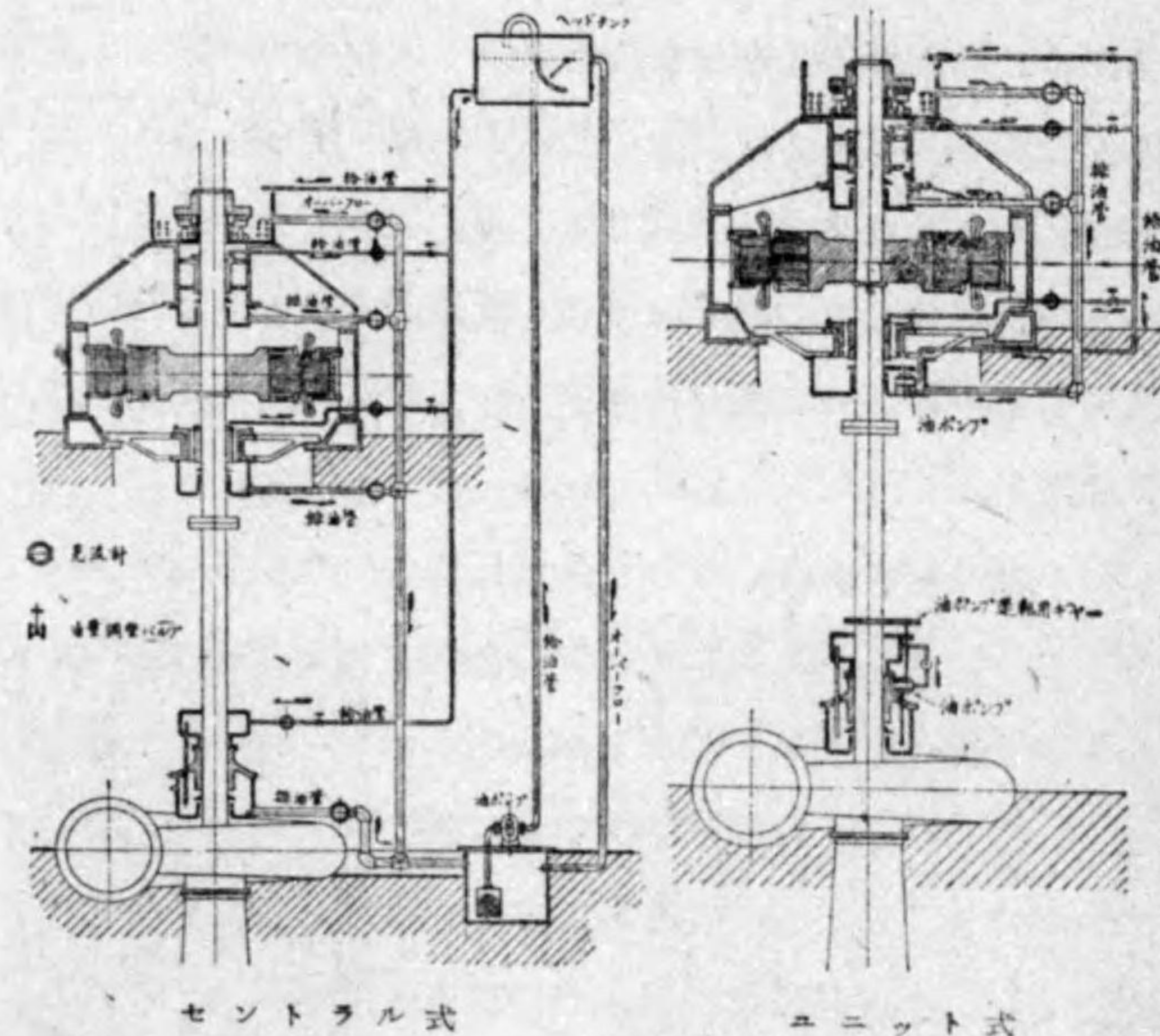


キングスベリ軸受

運轉し、蛇管を通して冷却せられた油を軸の上から注ぎかける構造とする。堅軸水車の場合の給油方式にはセントラル式 (central system) (第 5・26 圖) とユニット式 (unit system) (第

第 5・26 圖

第 5・27 圖



5・27 圖) とがある。前者は一個の油ポンプを設備し、發電機並に水車の數個の軸受に共通に給油する方式で、通常は油ポンプの豫備を置く。後者は發電機と水車とに各獨立した油ポンプを備へて給油する方式である。この兩者は各一長一短があり、その採用の適否に關しては各の場合に付て考慮せねばならぬ。

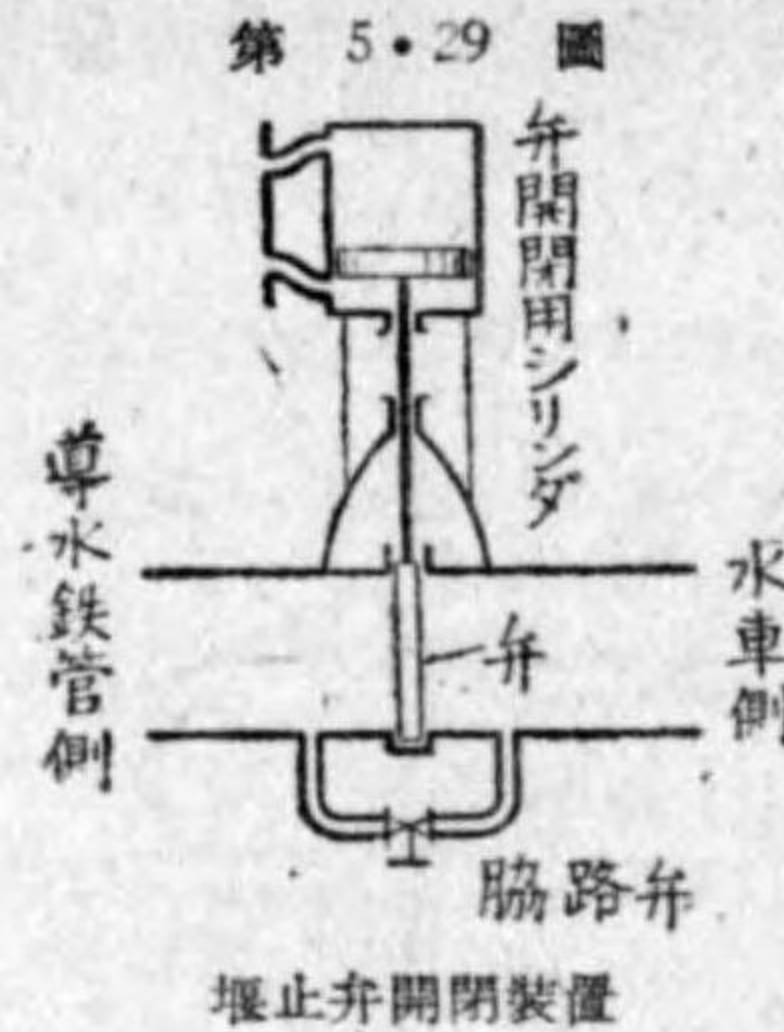
17. 水車の主弁 水車の主弁は水圧管の下端に於て水車と連結する所に装置する。之をゲート弁 (gate valve) と云ふ。一時的に水車の運轉を中止して内部の點檢又は修理等をなす時、この弁を閉鎖し、水圧管内の水を充滿させたまゝで水車内の水を抜去る。水圧管内の水を全部抜去ると運轉開始に際して満水に時間を要するばかりでなく、管内の水壓に變動を與へる爲に、接合部にゆるみを生ずる原因ともなる。従つて長い水圧管を有する水車には殆どこの弁を附ける。低落差のもので水圧管の短いものには省略する。現今使用せられて居る弁の種類は大凡次の四種である。

(a) 堰止弁 (sluice valve) 之は仕切弁とも云ひ、第 5・28 圖の様に管の上部から平板を降下せしめて流水を阻止する構造で、弁を全開した際には流水部に對して何等障害となるものが存在しないから都合よい。又閉鎖時に於ても水の漏りは僅少である。比較的高落差の場合に使用せられる。小型のものは手動によつて開閉するが、大型になると水壓又は油壓で動作する。即ち第 5・29 圖の様に弁の上部にシリンダとピストンとを装置し、

第 5・28 圖



堰 止 弁

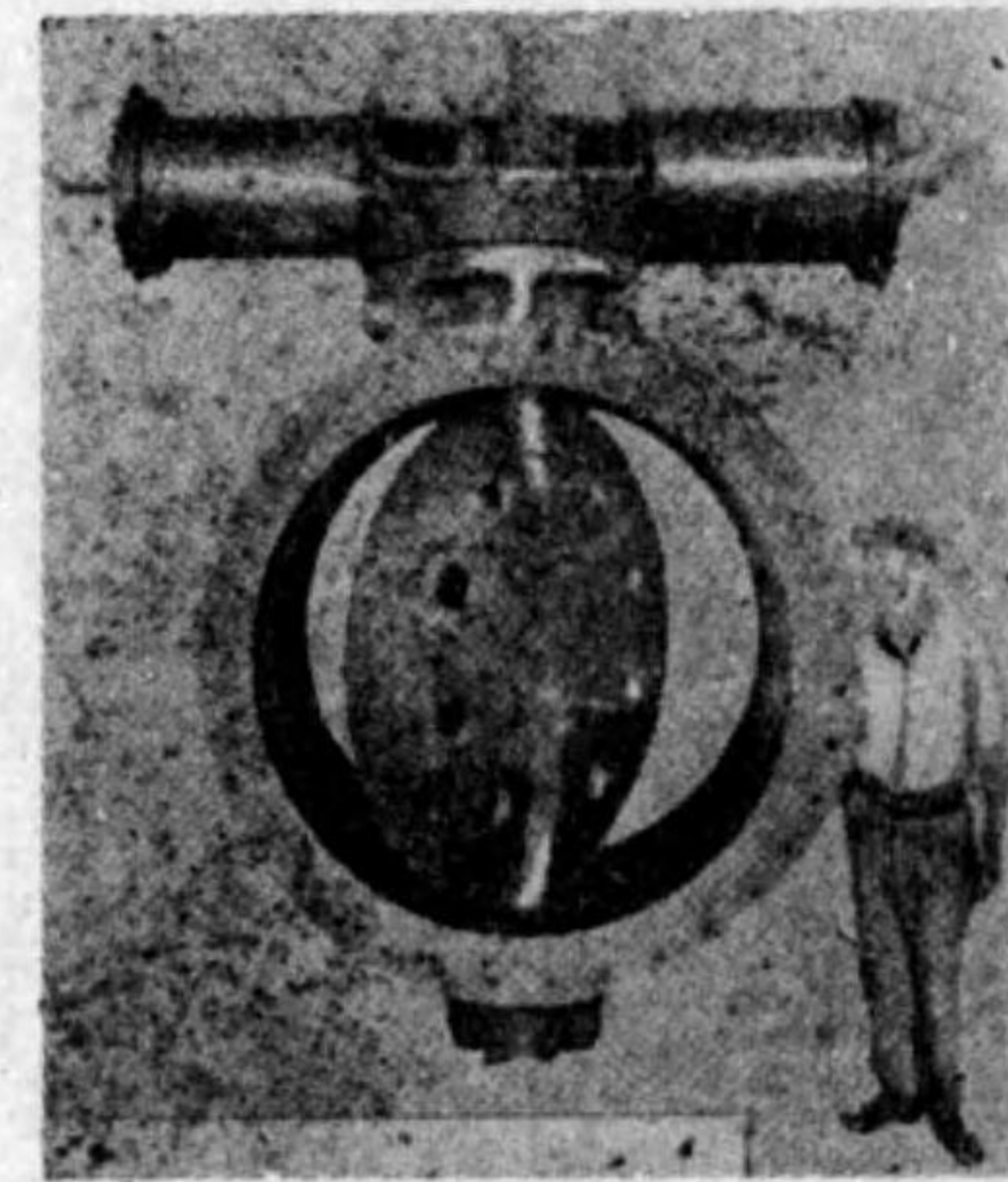


第 5・29 圖 第 5・29 圖 弁開閉用シリンダ 水車側 脇路弁 堰止弁開閉装置

ピストン桿を弁棒に連結させ、水壓又は油壓をピストンの上下に送る事によつて弁を動かす。弁の閉鎖中は水圧管内の水壓が弁の一方の側にのみ作用して居る爲にこのまゝの状態から開かうとすると摩擦のために非常に大きな力を要する。そこで脇路弁 (bye-path valve) なるものを置き主弁を開くに先立つて先づ脇路弁を開き、水を水車胴の中に送り込み、主弁の前後の壓力を平均させてから後に開く方法が行はれて居る。

(b) 蝶形弁 (butterfly valve) 之は第 5・30 圖の様に管の内部に圓板を置き、之が管に對して直角の位置になつた時に流水を阻止する構造のものである。開閉には左程大きな力を要せず、又構造も比較的簡單であるから、かなり廣く使はれて居る。しかし堰止弁に比較して全閉した時に水は漏りやすく、又弁の全開時に於て弁及び弁軸が流水の通路

第 5・30 圖



蝶 形 弁

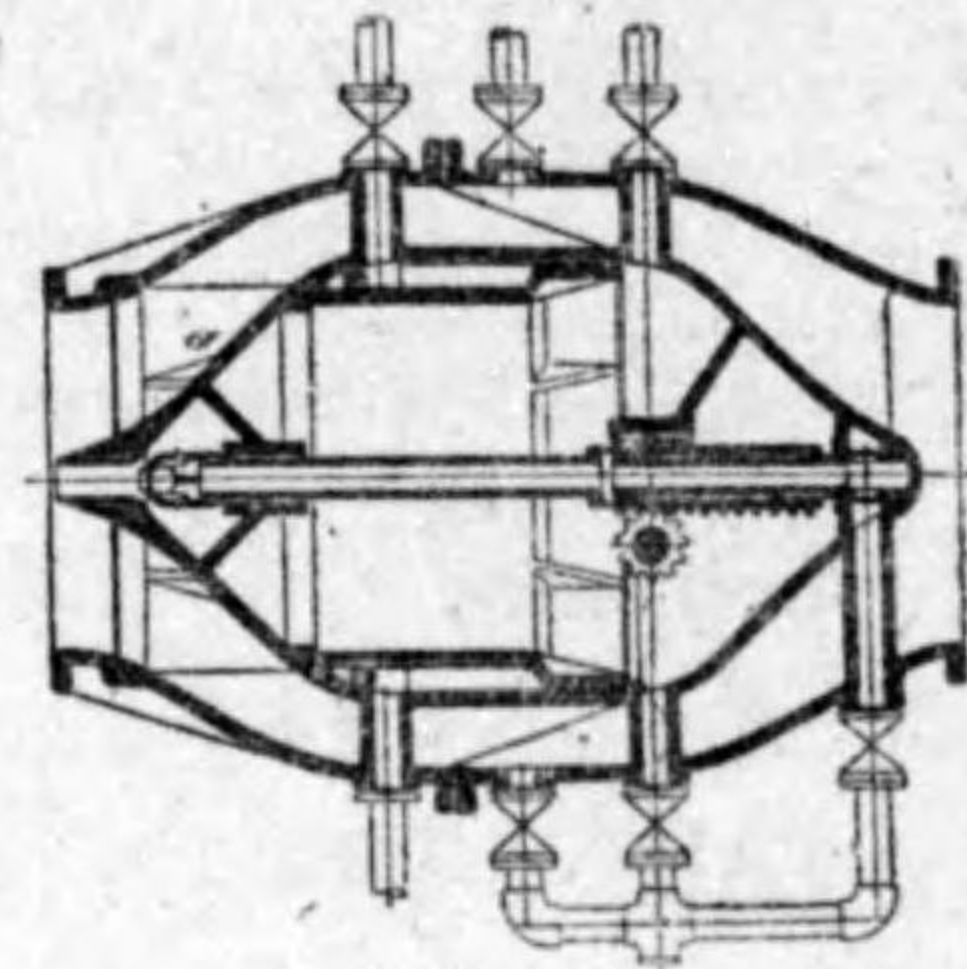
butterfly valve.

時間と無駄の浪費

に在つて流水の邪魔をする缺點がある爲に、餘り高落差の水車には使はれない。

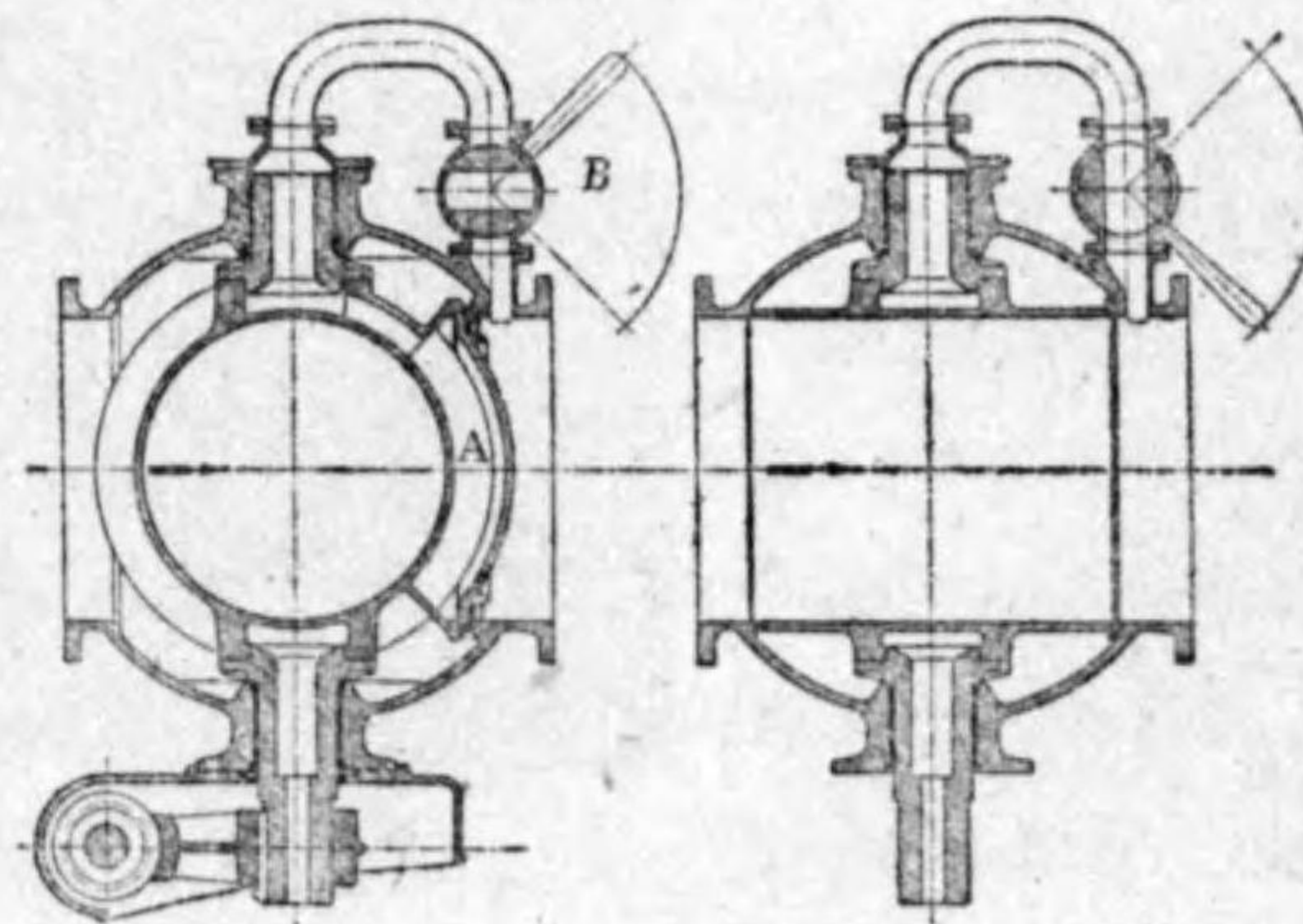
(c) ニードル弁 (needle valve) 之は第 5・31 圖の様に、ペルトン水車のニードル弁と同様の構造で、代表的のものではジョンソン弁 (Johnson valve) なる名稱の下に知られて居る。即ち水壓管の一部を擴大し、この部にニードル弁を置き、之を前後に移動する事によつて開閉を司らしめる。弁の開閉は水壓管内の水壓を直接利用して行ふ。形が圓形であるために今日普

第 5・31 圖



ニードル弁

第 5・32 圖



回 轉 弁

通にある水力発電所の壓力に對しては實際上如何なる大きさにも作り得る。流水に無理が無いから損失も少く、開閉の動作も圓滑で、漏水の心配も少く、脇路弁の必要も無く、構造が頑丈で製作も比較的容易であるから、現今の大容量の水車には之を用ひたものが多い。

(d) 回轉弁 (rotary valve) 之は球形弁とも云はれ比較的最近に出來た弁であつて、未だ一般に廣くは採用されて居ない。構造は第 5・32 圖の様に、弁の殼は球形をなし、耳軸 (trunnion) に對する軸受が上下に在る。之によつて弁は 90° 回轉する。弁の回轉部は水壓管と同じ直径であるから、全開した時は水の通路は眞直で何等の障害もない。之にも脇路弁 B が附いてゐて、A の部分は盤の裏面と連絡される様になつてゐるから、弁を開く時は B を先づ開いて水壓を前後平均せしめて置き、然る後に回轉を始める。この弁は如何なる壓力にも用ひられ、最低 30 m から最高 900 m の落差に對して設計せられ、直径も 25 cm から 2 m 迄のものが製造されてゐる。

復 習 問 題 V

1. フランス水車を構成する主要部分の名稱を擧げてその構造を圖解し、且つ各部は如何なる材料にて製作せられるかも述べよ。
2. 豎軸渦巻水車及び横軸渦巻水車の夫々につきその型式を述べ且つ、

堅軸水車と横軸水車との優劣を比較せよ。

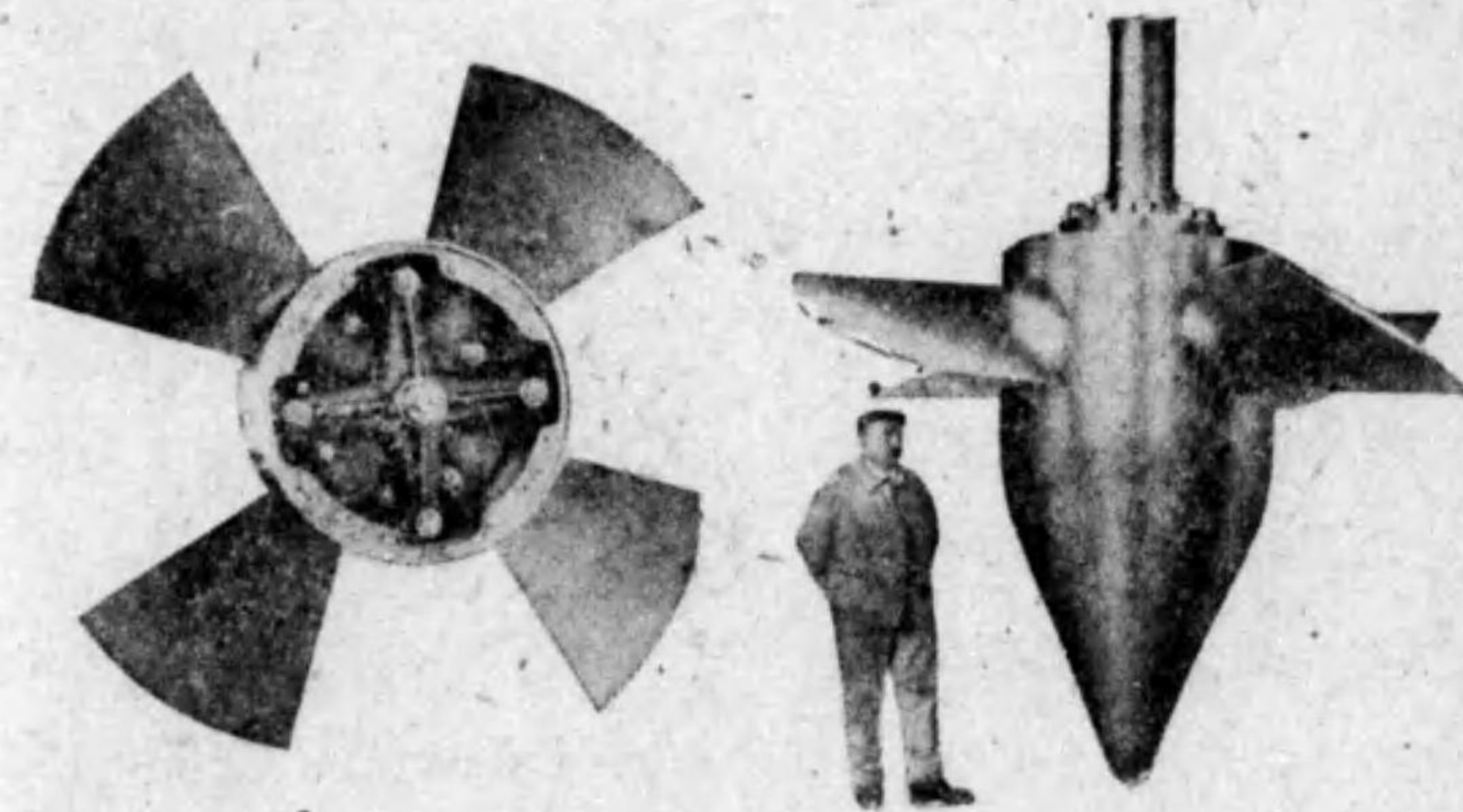
3. フランス水車のスピードリングとは如何なるものを云ふか、その構造形と目的とを述べよ。
4. フランス水車の羽根に及ぼす水の作用を速度線圖によつて説明せよ。尙ほ羽根の出口に於ける水の流出方向を軸心に向ふ様に設計する理由を述べよ。
5. 水車の回轉數は如何にして定めるか。今日の水車の回轉數の概數は作用落差に對して如何、水車が交流發電機と直結せられたる時は如何。
6. フランス水車の羽根車を見て、これが高落差用か低落差用かを凡そ見わけるのはどうすればよいか。
7. 高落差用水車を低速車と云ひ、低落差用水車を高速車と云ふ理由は如何。
8. 有效落差 80 m, 規定出力 2400 kW, 回轉數毎分 600 なるフランス水車の羽根車の主要寸法を概算せよ。
9. フランス水車の効率を低下せしめる原因となる諸損失は如何なる場所に如何なる形で發生するか。そのうち最も大きい影響を與へる原因は何所か。又水車の能率の概數は凡そ何程か。
10. フランス水車に於て部分負荷にて運轉すると効率を低下せしめる理由を速度線圖によりて説明せよ、且つ効率低下の度合ひはベルトン水車の場合よりも甚しい理由も述べよ。
11. フランス水車の無拘束速度とは如何なる意味か。又その概數は如何。
12. フランス水車に於ける吸出管の效用(目的)を述べよ。
13. 吸出管の吸出高さとは如何なる意味か、又吸出高さに限度のある理由とその限度の概數とを述べよ。

14. 最近吸出高さを成る可く低く採る傾向にある理由は如何。
15. 落差 40 m にて運轉する水車の吸出高さを決定せよ。(必要なる諸數値を適當に假定して計算せよ)
16. 吸出管内に發生する空洞現象(キャビテーション)とは何か。これは水車の運轉に對して如何なる影響を與へるか。
17. 吸出管の効率を低下すること無くして吸出管の振動に對して安全なる構造とする爲に今日考へられてゐる方法は何か。
18. フランス水車の軸壓力の意味並にこれを防止する方法は如何。
19. 堅軸フランス水車の給油方式の種類を擧げて説明せよ。
20. 水車に用ひる主弁の種類を列擧しその構造と特徴とを比較せよ。

第六章 プロペラ水車

1. プロペラ水車の發達 落差が極めて低く、然も水車一臺に對する水量が相當に豊富な場合には、之を從來のフランシス水車として設計すると直徑が非常に大きくなり回轉數は小さくなつて、實用上に甚だ好ましくないものとなる。そこで從來では一軸に多數の羽根車を附し、一個の羽根車に吸収させる流量をば減少する事によつて羽根車の直徑も小さくし、回轉數も或る程度まで高める方法を採用して居つた。四輪露出水車などは正にこの適切な一例で、斯様な水車は構造の煩雜、据付の

第 6・1 圖



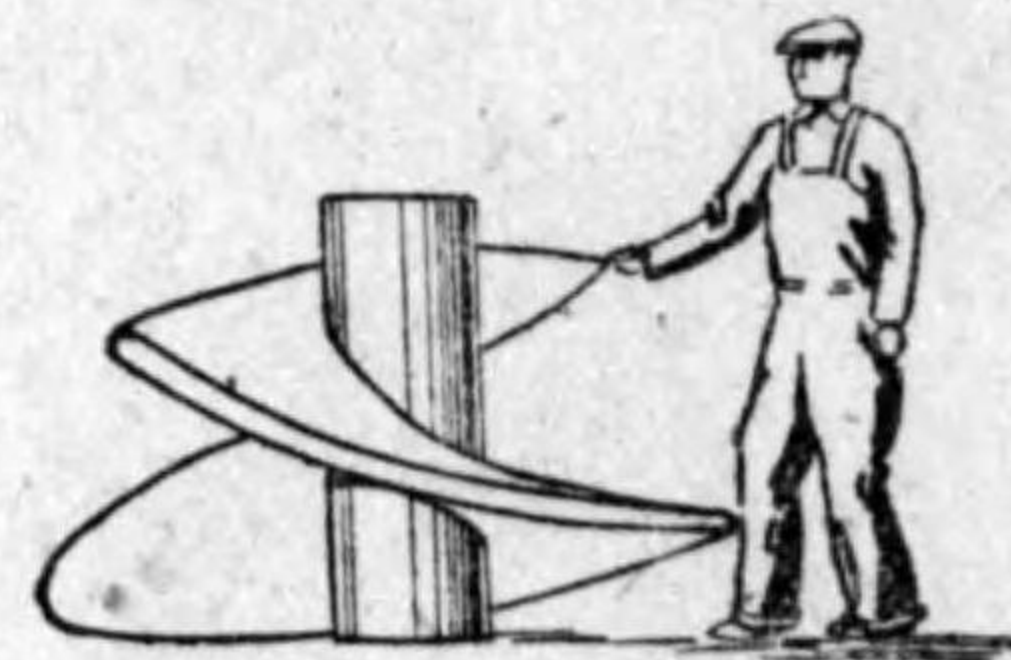
プロペラ水車

困難、價格の高騰を來すのみであつて、低落差水力地點の利用の上には大きな一つの悩みであつた。所が近來は之に代へるに、小型で然も構造、据付に簡單で、效率のよい一個のプロペラ水車の出現を見るに至つて、たちまち見捨てられて居た低落差水力地點は非常な勢で利用される有様となつたのである。第6・1圖はプロペラ水車羽根車の寫眞を示す。

このプロペラ水車を初めて考案したのは舊奧國のカプラン (Kaplan) 氏である。氏は西歴 1911 年に綿密な實驗研究を爲し 1920 年に之を實用的のものとした。其の後之に續いて多くの人達が類似の水車を考案製作したけれども、何れも類似のプロペラ型であつて、カプラン水車の變形に過ぎなかつた。其の後カプランはプロペラの翼を水車の負荷に應じて動き得る様に改造し、一層高效率のものを製作した。現今カプラン水車と稱せられるものはこの可動翼を

有するものを云ひ、單にプロペラ水車と言へば何れも固定翼のものを意味して居る。我國では大正十四年に當時の静岡電力のカブキジマ 脚島發電所に据付

けられたのが最初であつて、之は第 6・2 圖の様に、丁度コルク抜きカブキジマの形をして居る二枚羽根の固定翼型でベル水車と云は

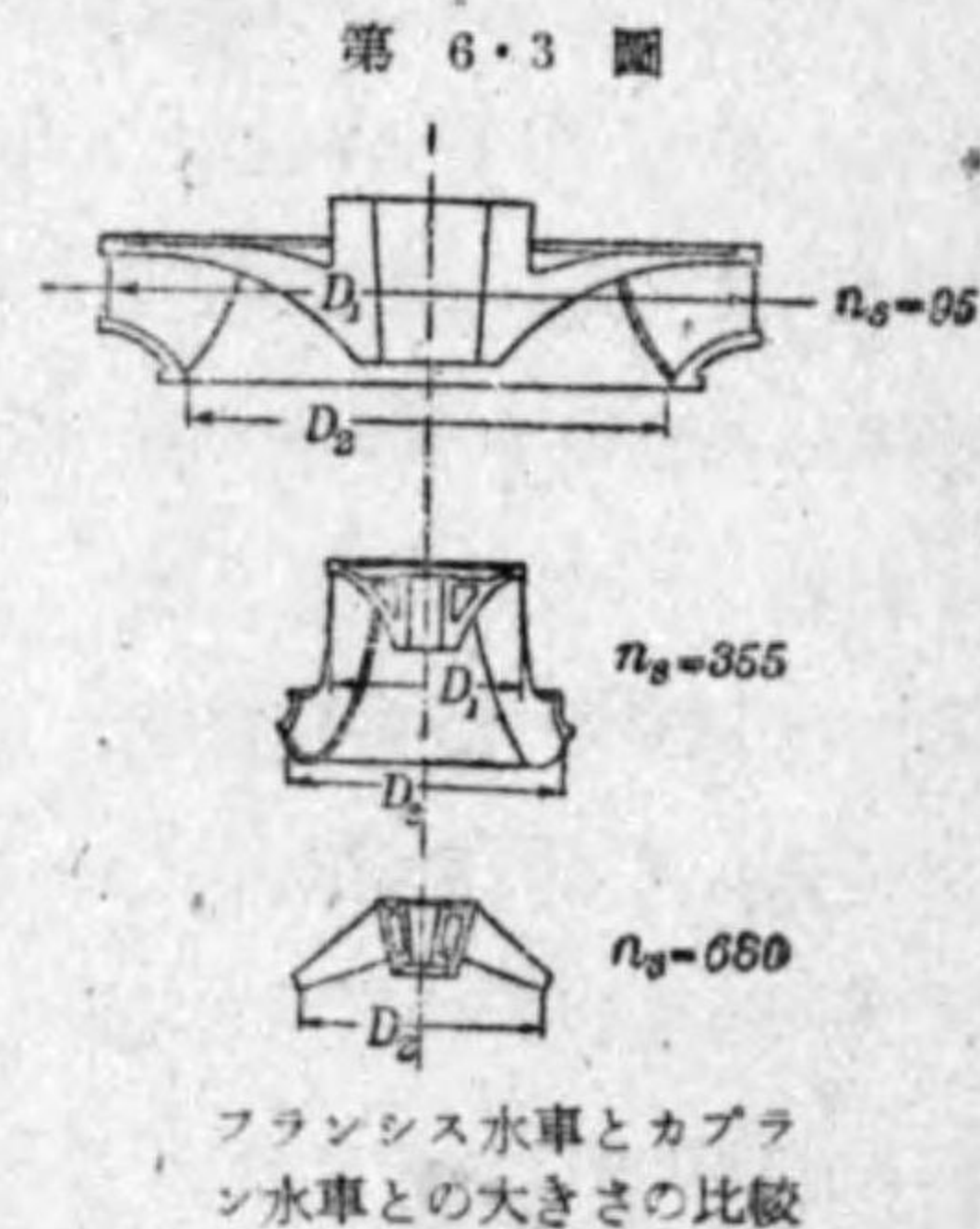


第 6・3 圖
プロペラ水車

る。落差 7.6 m, 1250 馬力で、同轉數毎分 300, 效率は 84 % であつたと云ふ。其の後國産のプロペラ水車も製作せられ、益々低落差水力の開発に注意が向けられて、現今では相當の數に達して居る有様となつた。

2. カプラン水車の特徴 カプラン水車をフランス水車と比較して見ると、大體次の様な特徴を有する。

(1) 同一落差に對して約二倍の速度が得られる。即ち同轉數の高い水車となるから、水車並に發電機共に小型となり、機械費、發電所建物費並に附屬品類の一般費用を低減し得られる。第 6・3 圖は同一落差及び流量に對してフランス水車の低速車、高速車及びカプラン水車の三通りに設計したもので、この圖で如何にカプラン水車が小型となるか知られる。



(2) 部分負荷に對する效率が良い。固定翼のものは部分負荷に對する效率は非常に悪いが、カプラン車は可動翼を有する爲に負荷の變動、換言すれば流量の變化につれて水の流入方向

の變るのに應じて、翼が自動的に傾斜して理論的の流入方向に適應してくるから、部分負荷に對する效率はフランス水車よりも良い。然し固定翼型では却つて惡い(後章で述べる)。

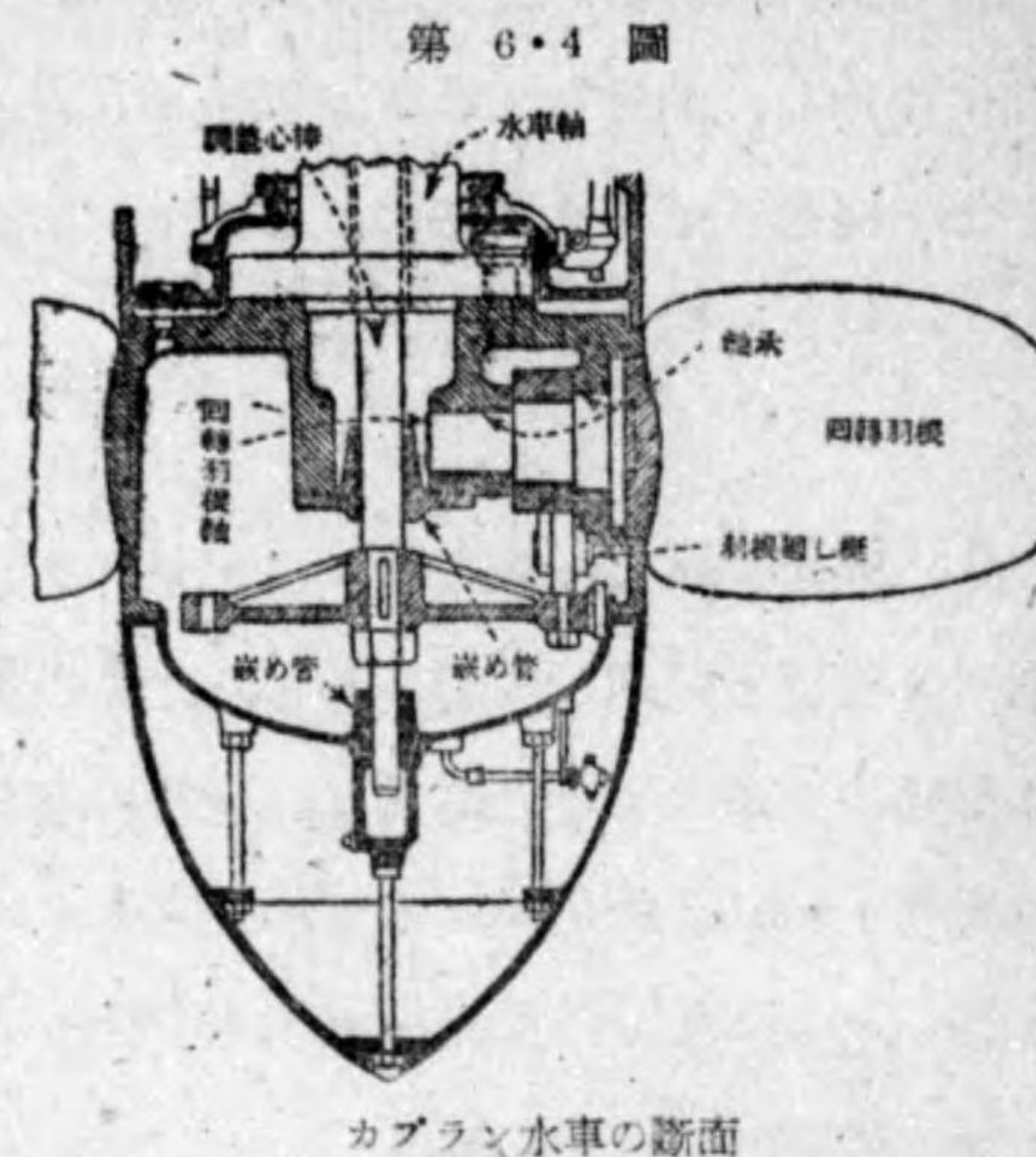
(3) 落差の變動に對して出力並に效率の低減する割合が比較的少い。低落差發電所では洪水の時に放水面の上昇によつて落差が相當に廣い範圍に變動する例が少くない。この際に出力並に效率が低減する割合はフランス水車に比較すると少いから都合がよい。

(4) 翼が一枚毎に取り外し得られるから、運搬並に修理に對して便利である。之が大型カプラン水車の設計製作の可能な理由で、直徑 7~8 m 程度のカプラン水車は珍らしくない。

(5) 翼と翼との間隔が廣いから、水車に流入した土砂、瓦礫、木片其の他の異物が引掛る心配が無い。

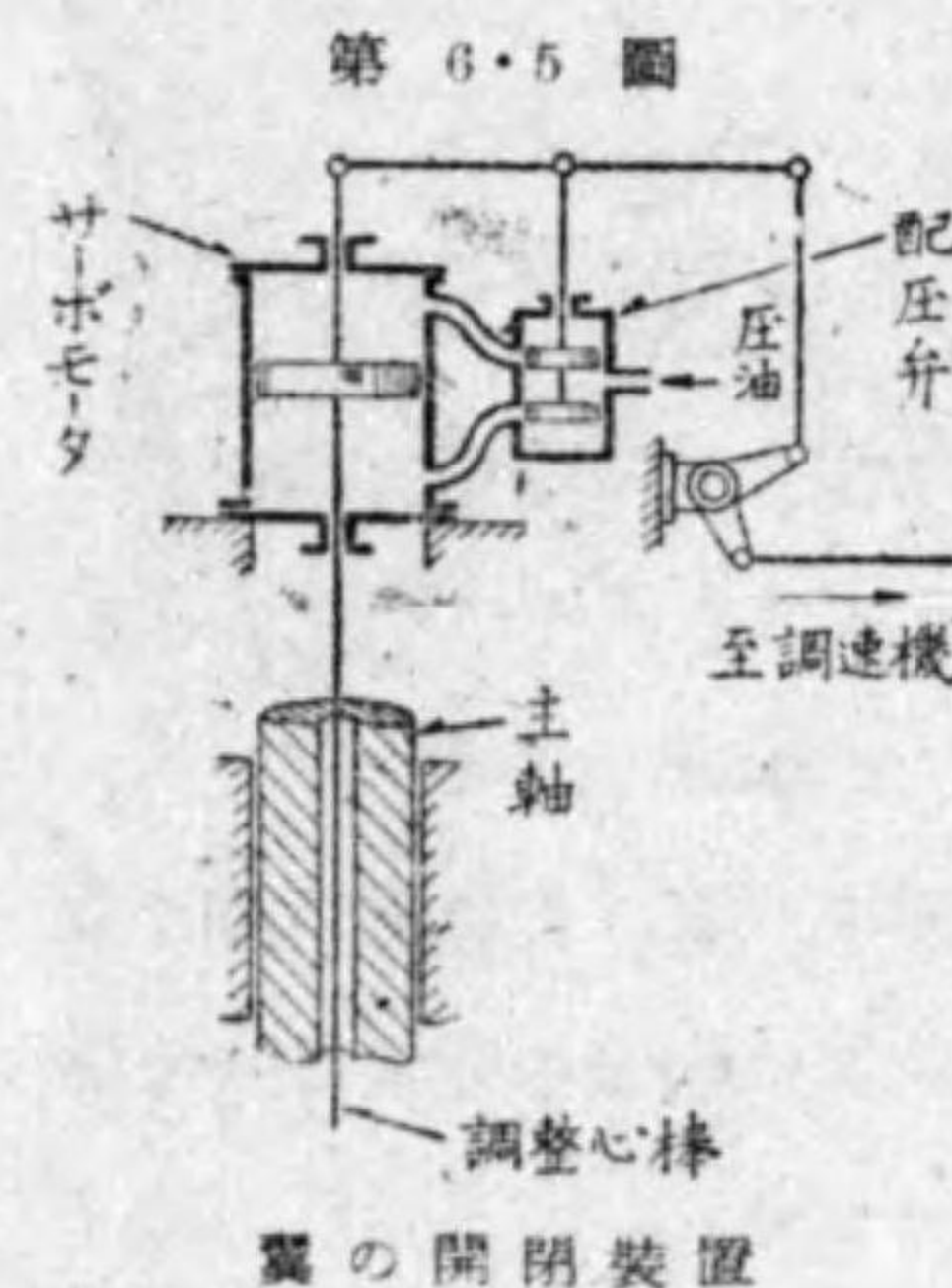
3. カプラン水車の構造 カプラン水車の全體は第 1・12 圖に示した様に、普通のフランス水車の据付と全く同様であつて、羽根車の形がプロペラ型をして居ると云ふ丈けである。そしてカプラン水車が他のプロペラ水車と特に異なる點は、前述の通り水車の運轉中と雖も、流量の變化に應じて翼の傾斜の度合ひを變更し得る事である。翼の傾斜は案内羽根の開度と聯動的に動く様に機構が出来て居るから、従つて流量の變化に對す

る效率の下り方が非常に少ないのである。第 6・4 圖は翼の回轉する機構を示したものである。水車主軸を中空としてこゝに長い調整心棒を通し、その下部に金具を取付ける。調整心棒の上下運動



によつて羽根廻し挺を動かす。挺は回轉羽根軸に取りつけた腕

に接續してゐるから羽根軸が回轉して翼の傾きを變へる。翼軸は内部の軸受に支持せられる。調整心棒は上下運動と同時に主軸と同じく回轉運動を爲すこと勿論である。而して調整心棒は發電機の最頂部迄延びて居り、この部に於てピストンを取付けサーボモータと稱する圓筒中に入つて居る(第 6・



5 圖參照)。調速機よりの機構はサーボモータに附屬する配壓弁で作用し、油壓をピストンの上下に送る事によつて調整心棒を上下運動させると同時に、ピストンはサーボ・モータ内で主軸と一緒に回轉をするのである。

4. 翼の形狀及び大さ

フロベラ水車の翼の形狀は船舶用フロベラと類似して居るから、之等の翼の間を通る水の流れは普通の水車の場合とは異り、むしろ飛行機の翼に対する空氣の流れ、又は船舶用フロベラに対する水の流れの有様に近い。

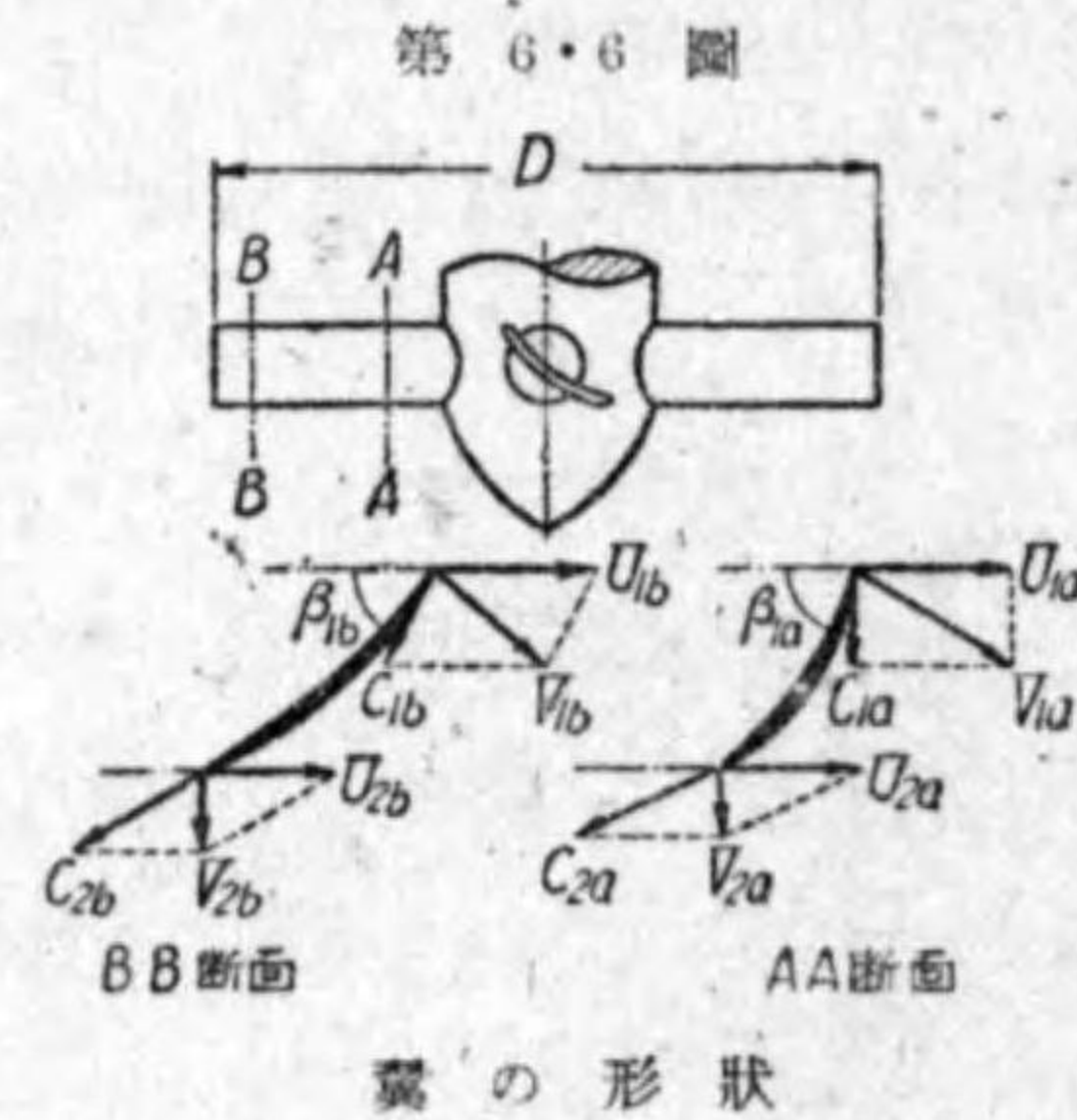
今第 6・6 圖で翼の根元（即ち殼に近い部分）の斷面を AA

とし、翼の先端（即ち殼に遠い部分）の斷面を BB

とする。而して水の絶対流入速度 V_1 は翼の根元も先端も大體に同じ方向及び大

さとするれば、周速度 U_1 は翼の根元で小さく翼の端で

大であるから、その結果として翼の角度 β_{1a} は β_{1b} よりも大となり、翼は殼に近い方で立ち、先端の方で寝て来る。従つて水は翼の根元の方では強く曲げられる。



次にフロベラ水車の最大直徑 D は大略次の式で求められる。

$$D = 4.4 \sqrt[3]{\frac{Q}{N}} \quad (6 \cdot 1)$$

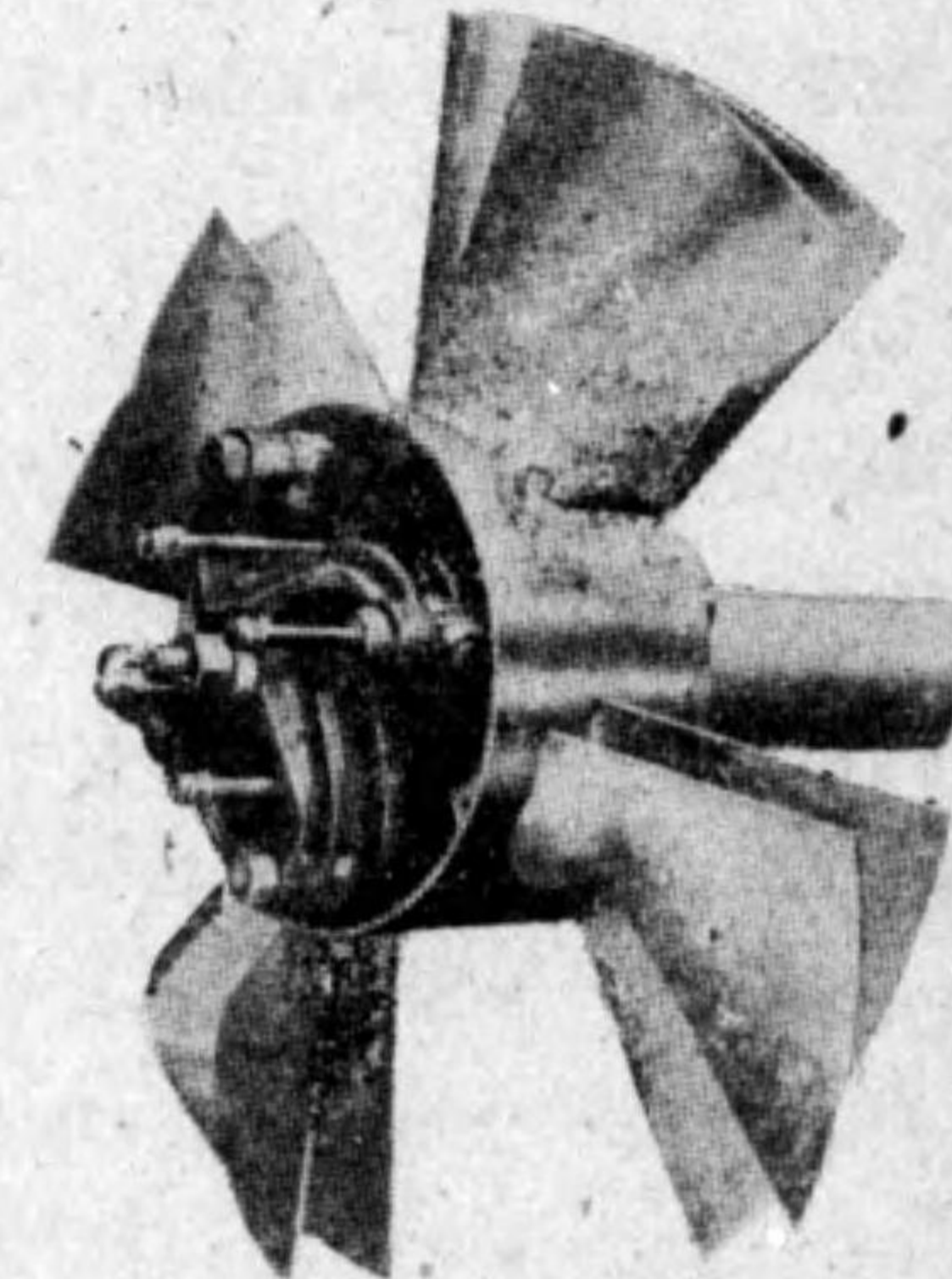
但し Q は流量 (m^3/s), N は毎分の回轉數である。例へば第 1・12 圖に示した發電所の例を取ると、流量は $42 m^3/s$ で 107 回轉毎分であるから、直徑は前式より

$$D = 4.4 \sqrt[3]{\frac{42}{107}} = 3.2 \text{ m}$$

となる。實際の水車の直徑は 3 m となつてゐる。

第 6・7 圖はカプラン水車の寫眞で、翼が動いた所を二重寫しにした珍しい寫眞である。

第 6・7 圖



カプラン水車の翼の動きを示す

翼の周速度も普通の水車に比べると餘程高い。フランシス水車では既に述べた通り $\sqrt{2gH}$ の 0.6~0.9 程度であるが、フロベラ水車

では 1.3~2.0 の範圍にと

る。出口に於ける水の速度

も非常に大きく、 $V_2 = (0.5$

$\sim 0.8) \sqrt{2gH}$ である。従つて吸出管の良否が水車の効率に及

び、

ぼす影響が大きくなるので、特に吸出管の設計に注意を必要とする。

5. 無拘束速度 プロペラ水車の無拘束速度は一般に定格速度の 2.2 倍内外と考へられてゐる。然し場合によつては 3 倍程度迄を考慮する必要がある様である。一般に無拘束速度はペルトン水車では噴射管のニードル弁の開度、フランシス水車では案内羽根の開度によつて左右されるが、プロペラ水車では可動翼の場合には更に翼の傾斜角によつて左右されるために之等の關係を求めることは實驗的にも相當に困難である。

6. 軸壓力 水車軸は水の作用によつてトルクを受ける外に軸方向にも力を受ける。これを軸壓力（スラスト）と云ふ。堅軸水車の軸壓力は次の三つのものから起る。（軸壓力はフランシス水車に就ても同様であるから、便宜上、こゝに一括して説明する。）（i）羽根車及び軸、並に軸に取付けられた其他の部分の重量（ii）羽根車に働く静水壓力（iii）羽根車を流れる水の動的壓力。以上の外に齒車を使つて動力を傳達する場合には齒車に働く壓力の一部が軸壓力となつて作用するが、これは通常極めて小さい。フランシス水車の場合では以上三つのうちで最も重要なものは（ii）である。これは羽根車の車盤

の上部に働く水壓が主なものであるから、これを成る可く小さくする目的のために、車盤の一部に數個の孔をあけて吸出管の上部と連絡し車盤の上部の壓力を吸出管側に逃がす様にする。又は羽根車の上側を吸出管に連絡して水壓の一部を逃がすやうな構造にする。次に（iii）の問題は水が羽根車に入つてから出る迄に受ける軸方向の速度變化と、單位時間に羽根車を流れる水の質量とから定めることが出来る。従つてこれも亦主としてフランシス水車の場合に特に考慮されるもので堅軸車の場合はこの壓力は上方に向つて作用するから却つて軸壓力を輕減するやうに働らく。フランシス水車の場合の軸壓力の大きさは水車の型式によつて非常に違ふ。それは次の章で述べる水車の特有速度の値で定まるもので、こゝには省略する。次に（i）の羽根車及び軸の重量は場合によつて勿論異なるが、普通の状態では總軸壓力の 25%~40% の範圍に當る。

水車が横軸の場合には前記（i）（ii）（iii）の中、（i）は軸に直角の方向に働くが、堅軸の場合には全部軸方向に働くもので、その力を通常發電機の上枠に取付けられ縦軸受で受ける。尙ほ兩側に水を排水するフランシス水車の場合又は一軸に偶數の羽根車を二個宛背合せに組合せたもの等では軸壓力を平均させることが出来る。

復 習 問 題 VI

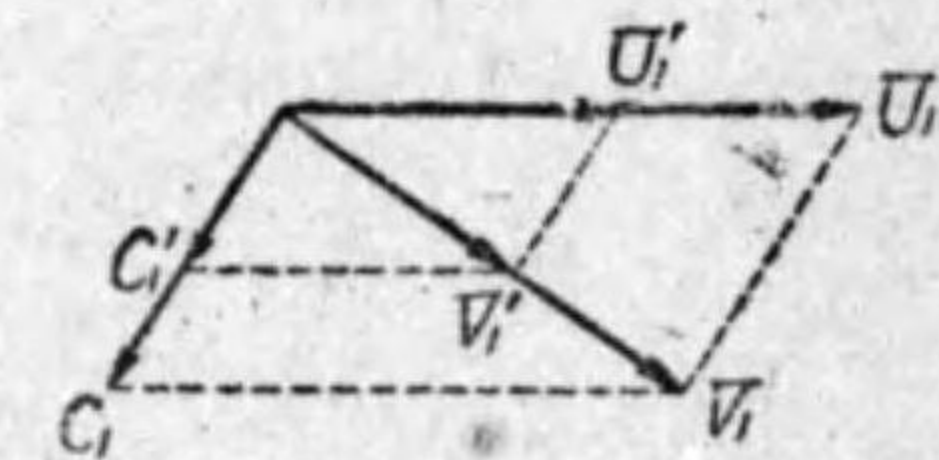
1. プロペラ型の水車が何故出現するようになったか。従来のどんな缺陷を補ふためにプロペラ型の水車が考案されたか、我國に於けるプロペラ水車の發展過程は如何。
2. カブラン水車とフランシス水車との特徴を比較せよ。
3. カブラン水車（可動翼）の翼を動かす機構を圖解し且つ翼の形狀につき説明せよ。
4. 獨逸の Ryburg 發電所にあるプロペラ水車はその大きさに於て世界第一級のものに屬するが落差が 11 m で流量毎秒 312 m^3 、回轉數毎分 75 である。直徑を概算せよ。答. 實際の寸法は直徑 7 m である。
5. プロペラ水車の無拘束速度につき述べよ。特にフランシス水車と異なる點を説明せよ。

第 七 章 水車の特有速度と
水車の選定

1. 落差の變化に對する回轉數、流量及び出力の關係

今、落差 H の下に流量 Q を使用し出力 P を發生する水車があり、回轉數が毎分 N に設計せられたものとする。この水車を落差 H' の所に使用して前と同じ運轉狀態、云ひ換へれば羽根に對する速度線圖が相似形のまゝに變化した狀態で運轉される爲には回轉數や流量を如何様に變へなくてはならぬかを考へて見る。第 7・1 圖は羽根の入口速度線圖が相似形的に變化する有様を示してある（この問題は總ての水車について共通の理論であるが、第 7・1 圖はフランシス水車について説明する）。これによれば周速度 U は流入速度 V に比例して變化することを知る。然るに流入速度は $\sqrt{2gH}$ に比例し、周速度は回轉數に正比例するから、結局

第 7・1 圖



羽根入口の速度線圖

(a) 回轉數は落差の平方根に正比例すると云ふことになる。

又流量は案内羽根（ペルトン水車ではノードル弁）の開度が

同一ならば流入速度に比例するから、従つて $\sqrt{2gH}$ に比例し
これより

(b) 流量は落差の平方根に正比例する

と云ふことになる。

次に出力は落差と流量との積で定まる。即ち P は H と Q と
の積に比例する。然るに Q は \sqrt{H} に比例するから結局、出
力は $H\sqrt{H}$ に比例することゝなり、これより

(c) 出力は落差の $\frac{3}{2}$ 乗に正比例する

と云ひ得る。

即ち H' の所に使用せる時の回轉數、流量、出力を夫々
 N' 、 Q' 、 P' とすれば次の關係が得られる。

$$\left. \begin{array}{l} (a) \quad N' : N = \sqrt{H'} : \sqrt{H} \\ (b) \quad Q' : Q = \sqrt{H'} : \sqrt{H} \\ (c) \quad P' : P = H'^{\frac{3}{2}} : H^{\frac{3}{2}} \end{array} \right\} \quad (7 \cdot 1)$$

又は

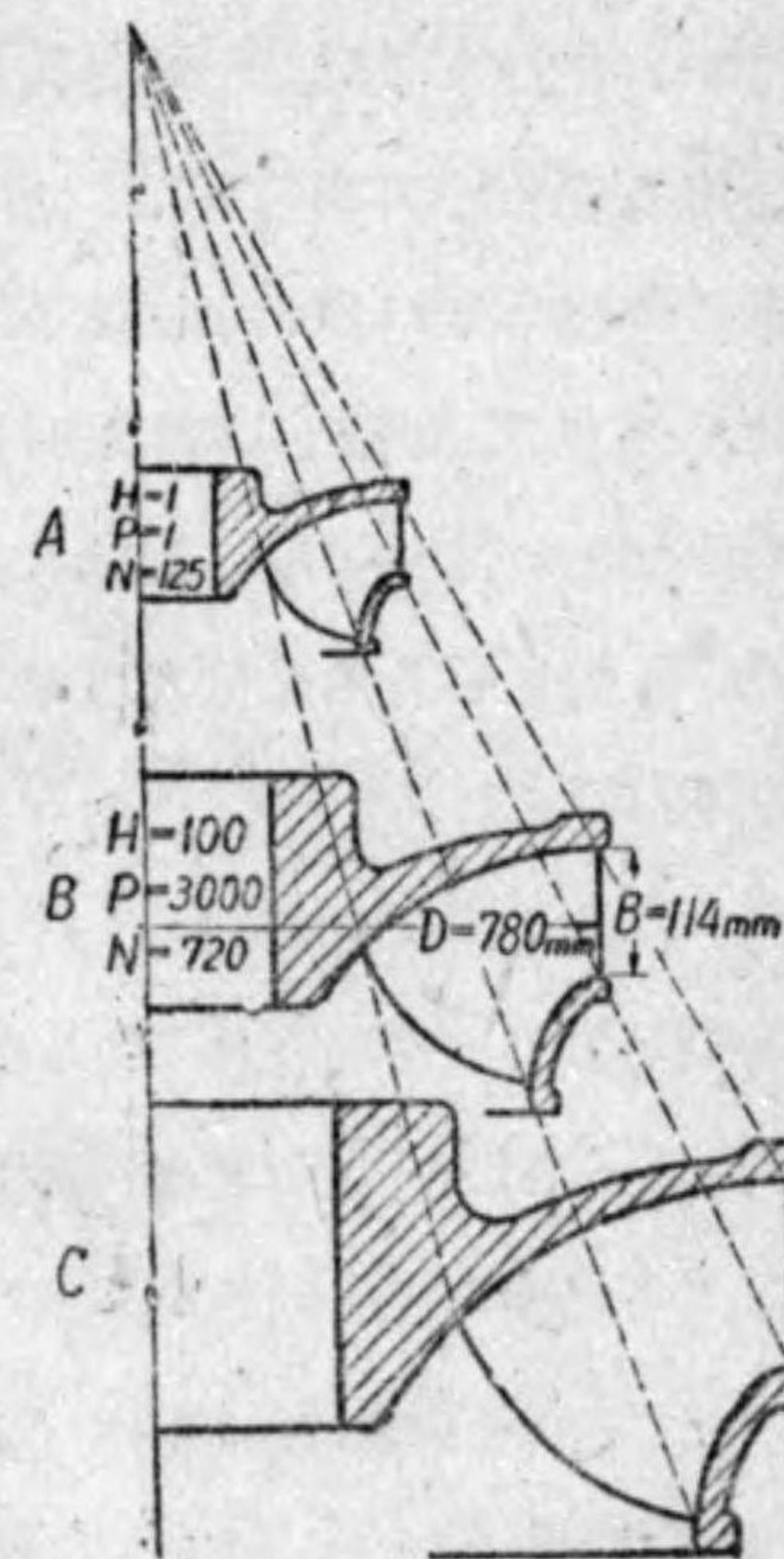
$$N' = N \sqrt{\frac{H'}{H}}, \quad Q' = Q \sqrt{\frac{H'}{H}}, \quad P' = P \left(\frac{H'}{H}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (7 \cdot 1)'$$

今、 $H'=1$ と考へると、即ち前記の水車を單位落差の地點で
作用せしめて羽根に働く水の作用状態を同一ならしめつゝ運轉
する爲に必要な N' 、 Q' 、 P' を求めると次の様になる。

$$N' = \frac{N}{\sqrt{H}}, \quad Q' = \frac{Q}{\sqrt{H}}, \quad P' = \frac{P}{H^{\frac{3}{2}}} \quad (7 \cdot 1)''$$

2. 特有速度 前節では一つの水車を單位落差で運轉した
場合の關係について考へたが、今度は第 7・2 圖の様に相似形
的に大きさを異にする水車を一定
落差の下に於て同一の速度線圖
の關係を保たせ乍ら働く場合に
つき考へて見る(この場合も亦
フランシス水車について説明す
る)。出力は H と Q との相乗
積に比例するから、落差が一定
の時は出力は流量に比例する。
然るに羽根車の直径を D 、幅を
 B とすれば水の流入する面積は
 πDB である。故に例へば相似
形的に直径が二倍になると流入
面積は四倍となり、この場合に
流入速度は變らないのであるか
ら、流量も四倍を通すことにな

第 7・2 圖



相似的水車

り従つて出力も亦四倍となる(ペルトン水車の場合でも同様に
直径を二倍にすれば相似形的に噴射水の直径も二倍となり、従
つて面積は四倍となり流量も亦四倍となる)。云ひ換へれば出

力は直径の二乗に比例するから、これを逆に考へれば直径は出力の平方根に比例して變る。

次に相似形の羽根車を同一の速度線圖の状態で運轉する爲には流入速度が一定であるから周速度も亦一定に保たなければならない。従つてこの際、回轉數は直径に逆比例することになり、この兩者の考へ方から結局、回轉數は出力の平方根に逆比例する様に變化させれば良いことを知る。即ち前節で述べた $H'=1$ に於て出力 P' を出し回轉數が N' であつた羽根車を、その形態を相似形的に變化させて同一の速度線圖の關係を保ち乍ら出力を P_0 發生させる爲に回轉させる可き回轉數を N_0 とすれば次の關係が得られる。

$$N' : N_0 = \sqrt{P_0} : \sqrt{P'} \quad (7 \cdot 2)$$

そこで假りにこの場合に $P_0=1$ とした時の羽根車の回轉數を考へ、これを N_s なる符號を用ふれば

$$N_s = N' \sqrt{P'}$$

となり、これを前節の原水車（落差 H 、出力 P 、回轉數 N ）の場合に換算すると、(7・1)式から

$$N_s = \frac{N}{\sqrt{H}} \sqrt{\frac{P}{H^2}} = \frac{N}{H} \sqrt{\frac{P}{H}} = \frac{NP^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \quad (7 \cdot 3)$$

となる。この N_s なる回轉數の意味を更めて説明すると「落差 H の下で出力 P を發生し回轉數 N に設計された水車の羽根車

を相似形的にその大きさを變へ且つ速度線圖も亦相似の状態に保たせて（即ち羽根に及ぼす水の作用状態を同一に保ち）單位落差に作用させて單位出力を發生させる爲に回轉させる可き回轉數」と云ふ事になる。

例へば落差 100 m で 720 回轉毎分の下に 3000 kW を發生する水車があるとし、これを前記の様な條件の下に 1 m の落差に作用させて 1 kW の出力を發生させる場合、その水車の回轉數は次の様になる。

$$N_s = \frac{N}{H} \sqrt{\frac{P}{H}} = \frac{720}{100} \sqrt{\frac{3000}{100}} = 125$$

この N_s のことを水車の**特有速度** (specific speed) と云ふ。

3. 特有速度と水車の型式 低落差を利用する水車では水の噴射の速度が小さいからこの際の水車の回轉數は出来るだけ高くする目的の爲にフランシス水車では羽根車の周速度を水の噴射速度の 80~90% に定める。然るに高落差の場合には 60~70% にとつても相當の回轉數が得られることは既に述べた通りである。即ち低落差用水車は $\sqrt{2gH}$ に對して比較的高い割合の周速度を有するに反して高落差用では低い周速度で回轉してゐることになる（ペルトン水車の場合は最大效率を得る爲に理論上から $\sqrt{2gH}$ の凡そ 50% の周速度であることも既に

$$\frac{N}{H} \sqrt{\frac{P}{H}}$$

述べた通りである)。従つて水車を単位落差に作用させて単位出力を発生させた時の回転数即ち特有速度 N_s の値は低落差水車では大であり高落差水車では小となる筈である。これが第五章第9節の備考に述べた高速車、中速車、低速車の意味を示す。この様なことから落差と特有速度（或は水車の型式と特有速度）との関係が定まる譯で、今、単位落差を m、出力を kW、回転数を毎分にとると現今の水車ではその型式と落差とに對して凡そ次表の様な N_s の數値が得られる。

第 7・1 表 水車の型と落差と特有速度との關係

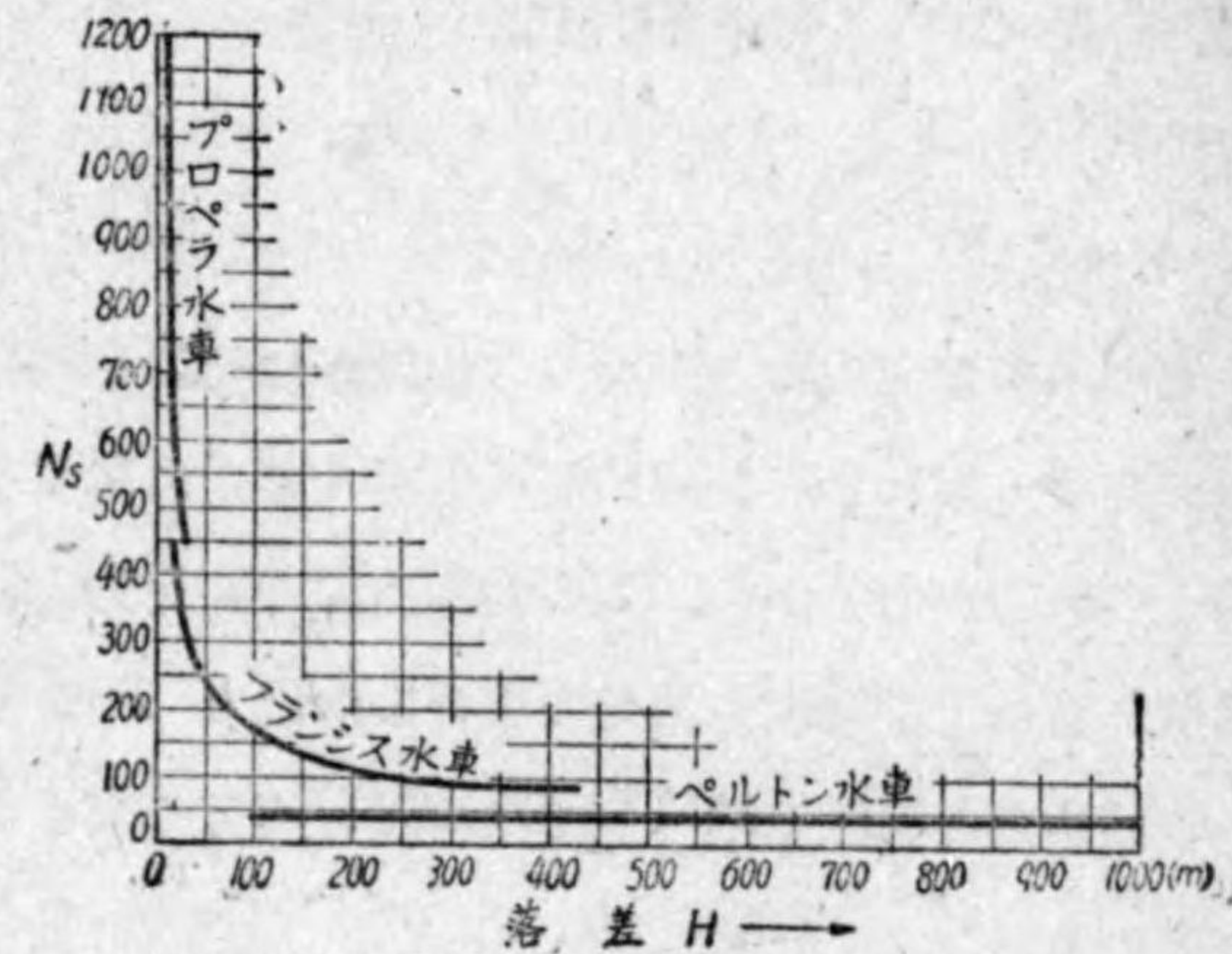
水の作用 水 車	衝動 ベル トン	反 動								
		渦 卷 型		前口型	横口型	開放型	渦 卷 型			
型		鑄鋼	鑄鐵	鋼板	コンク リート	鋼 板	ナシ	鋼板	コンク リート	
落差 (m)	1000 ~70	300 ~80	150 ~15	100 ~15	15以下	30~5	30~10	10以下	30~10	15以下
特有速度 N_s	10~30	45~120 (低速車)				170~350	220 ~350	400~800 (固定翼)		400~1000 (可動翼)
		120~170 (中速車)								
		170~350 (高速車)								

又この落差と特有速度との關係を線圖で示すと第 7・3 圖の様になる。この關係は與へられたる落差に對して選定し得る特有速度の數値の最大安全限度を從來の經驗による實例上から定めたものであつて、その落差に對してこの曲線の範圍を越えた大さう特有速度の羽根車を用ひると腐蝕が甚しく起るものと考

へられてゐる。一般に特有速度の大きな羽根車では羽根と水との相對速度が落差に對して大きい割合になつてゐるから、この様な水車を

高落差に用ひると相對速度が益々大きくなり羽根の表面に真空を生じ易く従つて腐蝕が甚しく起り勝ちである。

第 7・3 圖



落差と特有速度との關係

(備考(1)) 第 7・3 圖の曲線は多くの實例を基として落差と特有速度との關係を求めたものであるから、これが大體に於て最大安全特有速度の限度を示すものと考へられる。この場合、 H と N との關係曲線を數式で示したものがあつた。然しこの關係は理論的のものでは無く全く經驗上の實例から作られたものであるから、將來、材料又は設計の進歩向上によつては次第に變り得る筈である。筆者は最近の内外國製大容量水車の實例を基礎として第 7・3 圖のうちのフランス水車に對する曲線を作成しこの曲線を次の様な簡單な式で示すことにした。

$$N_s = \frac{1500}{\sqrt{H}} \quad (7.4)$$

例へば落差が 200 m の場合には $N_s = \frac{1500}{\sqrt{200}} = 106$ 即ち凡そ 100 程度の特有速度がこの際の限度と考へられる。

4. 回轉數と特有速度との關係 落差に對する特有速度の選定はその水車の回轉數の決定に役立つ。即ち前述の特有速度の公式 $N_s = \frac{N P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$ を書き替えると

$$N = \frac{N_s H^{\frac{5}{4}}}{P^{\frac{1}{2}}} = \frac{N_s H \sqrt{\sqrt{H}}}{\sqrt{P}} \quad (7.3)'$$

となり、落差と出力とが與へられた際に N_s を假定すれば回轉數が定まる事になる。所が前述の通り落差に對する N_s には經驗上の限度があるから、この範圍内に N_s を選定して求めた回轉數が實用上の範圍を越えた場合には出力 P を變へ（云ひ換へれば水車の臺數を變へ）て回轉數を適當の値となる様にするのである。

例へば或る水力地點があつてこの落差 117 m で 81 000 kW を發生し得るだけの流量を持つてゐるものと假定する。この際水車を 3 臺にすれば 1 臺の容量は

$$\frac{81\,000}{3} = 27\,000 \text{ kW}$$

となる。落差 117 m に對して選定し得可き特有速度の限度は (7.4) 式から

$$N_s = \frac{1\,500}{\sqrt{H}} = \frac{1\,500}{\sqrt{117}} = 139$$

となるが安全を見て 130 を適當と定め、この時の水車の回轉數

を前式から求めると

$$N = \frac{N_s H \sqrt{\sqrt{H}}}{\sqrt{P}} = \frac{130 \times 117 \times \sqrt{\sqrt{117}}}{\sqrt{27\,000}} = \frac{130 \times 380}{164} = 304$$

となり假りに 50 極の發電機を直結するとすれば第 4 章第 4.1 表から 20 極 300 回轉が適する事がわかる。従つてこの水車では N_s の値を多少修正して 300 回轉と決定する。若し水車の臺數を 2 臺とすれば 1 臺の容量は $\frac{81\,000}{2} = 40\,500 \text{ kW}$ となり、回轉數は

$$N = \frac{130 \times 380}{\sqrt{40\,500}} = 248$$

となる。従つて 50 極發電機では 24 極 250 回轉と定める。

5. 水車の臺數の決定 或る水力地點で利用し得る落差と流量とが略ぼ決定すれば、これを水車何臺に分けて利用するかの問題が起る。これには種々の條件を考慮しなければならないので、非常にむづかしいことである。一般に近來は水車一臺の容量を大きくし臺數を少くする傾向がある。一臺當りの容量が大きいほど單位 kW 當りの水車の價格は低廉となるから、その點だけで考へると成る可く大出力の水車を用ひる方が得策である。然し前の例で落差 117 m で 81 000 kW の總出力が得られる場合、27 000 kW 水車を 3 臺にするか 40 500 kW 水車を

2 臺にするかの問題では、後者の方では回轉數が低いために水車並に發電機の直徑が大となるから價格が案外に廉價になり得ない場合もあり得る。この際に後者の N_s の値を高く採つて回轉數を或る程度まで高め得れば價格に於て勿論低廉となるであらう。又その水力地點の發電所の受け持つ負荷の種類、同一系統内に在る發電所の數等も考慮しなければならない。その系統が大動力系であれば極端に水車臺數を制限してもよいが、その發電所だけで動力を供給してゐる時には豫備の水車を設ける必要があるので、大容量水車の場合に同大の水車を豫備とすれば全體の設備に對する豫備水車の割合が大きくなり、そのために全體の價格は必ずしも減少しない場合がある。即ち水車の臺數を増せば一臺當りの價格が増すから豫備容量を減じても必ずしも經濟的とは限らない。

次に水車臺數の決定に就て考慮すべき重大な點は負荷曲線の性質である。輕負荷で長時間に亙つて動力を供給しなければならない様な發電所では一臺の水車でこれを供給すれば常に効率の悪い部分で運轉を繼續しなければならない。この際に2臺又は3臺を用ひればそのうちの必要なだけの臺數のものが略全負荷即ち効率の良い點で供給が出来るから全體としての能率も亦良くなる。

以上の外に特別の事情で水車一臺の容量を制限される場合が

ある。例へば低落差の發電所では一般に回轉數が低く従つて水車の直徑が大きくなるので水車の運搬上の關係で臺數を制限されることがある。高落差の發電所では水壓管一本で送り得る流量に限度があるから、そのために又一臺の容量が制限される。

6. 水車の選定

水車の型式は一般に高落差にはベルトン水車、中落差にはフランス水車、低落差にはプロペラ水車を用ひることは既に述べた通りであるが、更に詳しく云ふと水車一臺の容量の大小によつて同じ落差に對しても型式は違つて來る。例へば落差 150~300 m の範圍では水車一臺の容量が小さい時にはベルトン水車が適するが容量が或る程度増大するとフランス水車が適する様な場合が起る。それは同一落差に對して容量の増大は水量の増大を意味するからである。特有速度の公式 (7.3) $N_s = \frac{NP^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$ に就て見ても N と H とを假りに一定と見做せば P の増加は N_s の増加を意味し、ベルトン水車の型式からフランス水車の型式に移る事が知られる。

更に容量が増加すれば (即ち水車一臺の流量を増せば) プロペラ水車が適することになる。例へば落差 20 m で 15 000 kW を發生する様な水力地點で之を二臺の水車で分擔し、回轉數を毎分 150 に設計すれば、水車一臺の出力は $\frac{15.000}{2} = 7 500$ kW であるから特有速度は

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H \sqrt{\sqrt{H}}} = \frac{150 \times \sqrt{7500}}{20 \sqrt{\sqrt{20}}} = 306$$

となり、フランシス水車が適することがわかる。然るに之を一臺の水車とすれば特有速度は

$$N_s = \frac{150 \times \sqrt{15000}}{20 \sqrt{\sqrt{20}}} = 435$$

となり、この場合フランシス水車を使へば前に示した特有速度の限度を越えて居るからキャピテーションの発生の恐れがあり、従つてプロペラ水車が適することがわかる。又落差 40 m で 430 kW を発電する場合、これを二臺に分けて回轉數を毎分 120 とすれば特有速度は

$$N_s = \frac{120 \times \sqrt{\frac{430}{2}}}{40 \sqrt{\sqrt{40}}} = 17.6$$

となつてペルトン水車を用ふ可きであるが、若しこれを一臺として回轉數を 600 回轉毎分に設計すれば特有速度は

$$N_s = \frac{600 \times \sqrt{430}}{40 \sqrt{\sqrt{40}}} = 125$$

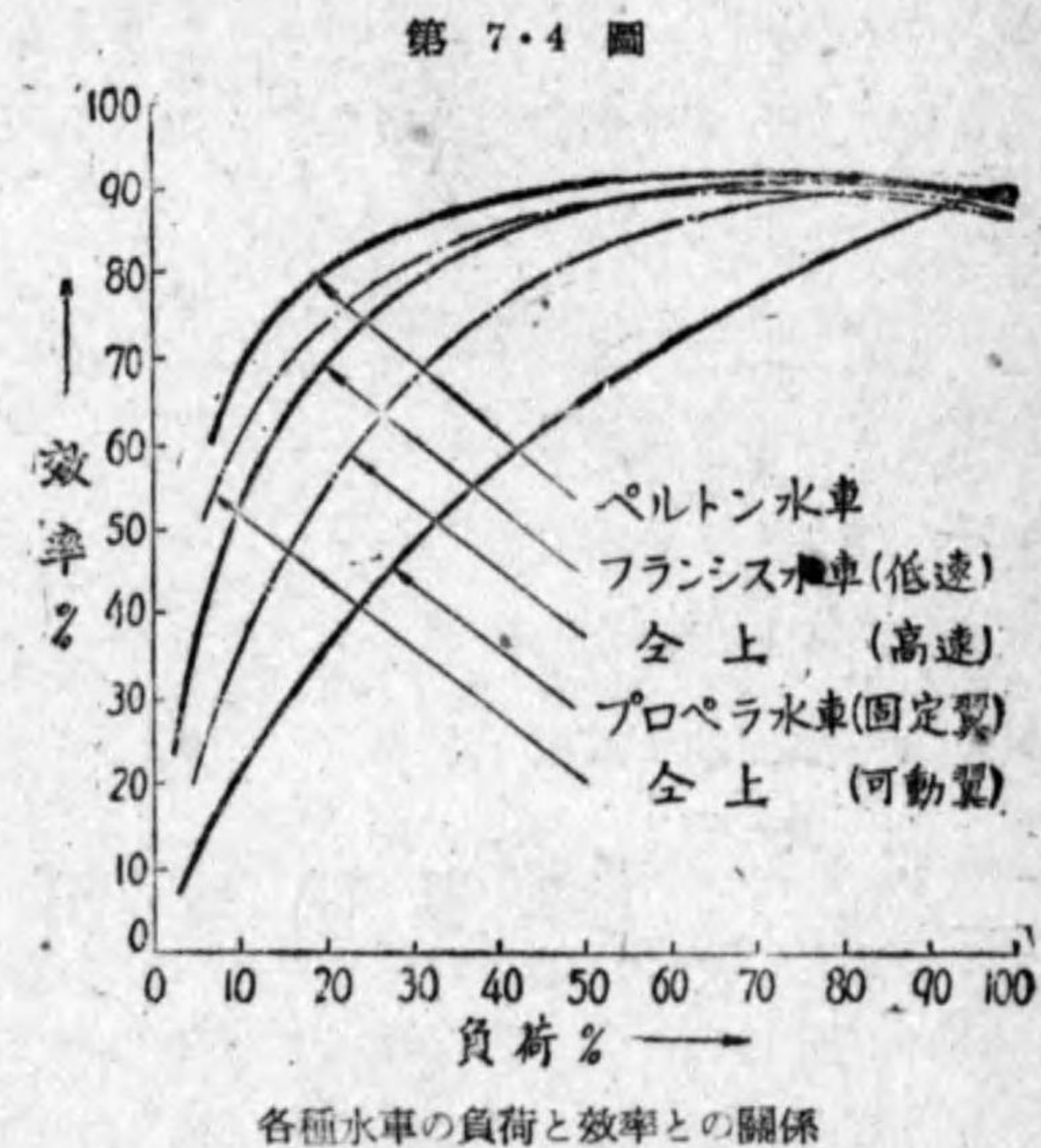
となつてフランシス水車が適當となる。

この様な次第であるから水車の選定は臺數の決定と関連して考慮する可き問題となす。

次には水車の各型式について負荷と効率との關係、即ち効率曲線を考へて水車の型式を選定する要がある。第 7・4 圖は各種の水車についてその關係を示したもので、これによつて見ると部分負荷での効率低下の度合はペルトン水車が最も少く固定翼プロペラ水車が最も甚しい。又フランシス水車でも特有速度の大小によつて違ひ凡そ 100~150 程度のものが最も効率が良い。この様な事

から例へばフランシス水車とペルトン水車との何れの型式でも採用し得る様な水力地點で、何れの型を採用す可きかと云ふ様な場合には、その發電所の負荷の性質を考慮

し、若し部分負荷で長時間運轉する事を要求される様な場合にはペルトン水車の方が適する事がわかる。然し洪水等の關係で發電機を床上に高く据付ける必要があれば堅軸の渦巻型フラン



シス水車の方が便利である。この際に價格の高低、取扱の便不便等も同時に考へる。例へばペルトン水車は破損の恐れも少く又修繕が容易であるから交通運搬の不便な所には特に重要な事柄である。然し噴射管端から下水面迄の高さを落差の一部として失ふことも考へる可きであらう。

次に低落差の場合にプロペラ水車を用ひる時には固定翼と可動翼とを併用し、部分負荷に對しては能率の良い可動翼を用ひ全負荷に對しては價格の低廉な固定翼を共用する方法も考へられる。

利用落差の最高は特別の例を除いて凡そ 900 m を現在その限度と考へられてゐる。それ以上の落差では相當の流量を運ぶ水壓管を作る事が面倒であるからペルトン水車を用ひても經濟的では無い。此の場合には落差を二段又は三段に分けて水力を利用する方が一般に得策である。

練習問題 VII

1. 落差 100 m で 720 回轉毎分の下に 3000 kW を發生する水車がある。この水車を落差 150 m の地點に使用して前と同一の運轉状態（速度線圖の關係が變らぬやうな有様）で使用せんとすれば回轉數は如何程になす可きか。又その時の出力は如何。

$$\text{答} \begin{cases} \text{回轉數} & 880 \text{ 毎分} \\ \text{出力} & 5500 \text{ kW} \end{cases}$$

2. 前記の水車を同様にして落差を 1 m とすれば如何。

$$\text{答} \begin{cases} \text{回轉數} & 70 \text{ 毎分} \\ \text{出力} & 3 \text{ kW} \end{cases}$$

3. 前記の水車の直徑を 780 mm と假定し、同様の條件で羽根車を相似形的に縮小して落差 1 m の下に 1 kW の出力を發生させるためには羽根車の直徑を如何程となす可きか。

$$\text{答} \quad 450 \text{ mm}$$

4. 前記の水車を問題(3)の様な状態とした時の水車の回轉數は如何程となす可きか。

$$\text{答} \quad \overset{125}{450} \text{ 回轉毎分}$$

5. 問題(1)より(4)迄の様な變化をさせた時の回轉數の數値 125 に如何なる名稱が特に附けられてあるか。又、最初の状態から直ちにこの回轉數を求める算式を作れ。

6. 特有速度と水車型式との關係を述べよ。

7. 問題(1)に示す様な水車は如何なる型式に屬す可きものか、特有速度から判定せよ。

8. 前記の水車は經驗上から特有速度の値を最大如何程まで取り得るか。又計算から求めた特有速度の値はその最大値以内の安全範圍内にあるか、否か。

9. 特有速度によつて水車の回轉數を定める方針につき述べよ。

10. 水力地點に於て落差と全使用流量とが與へられた時に水車の臺數を何臺とす可きかの決定に關して考慮す可き事項を問ふ。

11. 水車の型式選定に關して考慮す可き事項を問ふ。

12. 各種型式の水車につき夫々負荷と効率との關係を圖示し、水車の

型式選定に際してこの問題を如何に考慮に置く可きかを記せ。

13. フランシス水車とペルトン水車との何れの型式にても採用し得る様な水力地點で、何れを採用す可きかを決定するに際して考慮す可き項目を説明せよ。

第 八 章 調 速 機

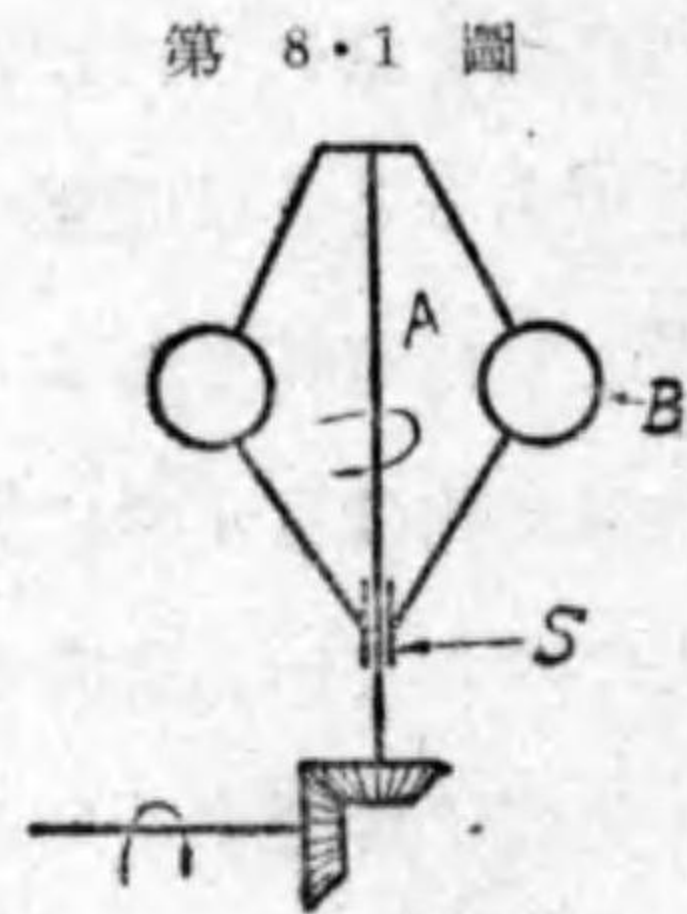
1. **回轉の調整** 水車が規定の回轉數で運轉してゐる時に急に負荷の一部又は全部を取り去ると、水車は過剰の流量を受けることになるから、回轉數は増加して危険である。又、反對に負荷を急に増せば回轉數は減る。このやうに回轉速度が不安定であることは電壓の不調、周波數の不整を生じ水車が他の水車と並行運轉を行ふことも不可能になる。従つて水車は負荷の如何に拘はらず常に規定の回轉數を保つやうな装置を施さなくてはならない。負荷の變動に對して回轉數を一定に保つためには負荷に對應するやうに水車の出力を變へればよい。出力の變化は流量によつて調節する。この流量の調節を人爲的に手動によつて行ふことは種々の點で不便でもあり不正確でもあるから、今日の水車では全く機械的方法によつて自動的に行ふ装置になつてゐる。これを調速機と云ふ。

水車の案内羽根又はニードル弁を動作させるのには相當に大きな力を必要とする。従つて普通の往復動蒸汽機關などに附屬してゐる様な回轉振子の遠心錘に作用する遠心力の程度の力では足りない。そこで補助水車又は電動機を使つて油ポンプを運轉し、これで油壓を作り、油壓をピストンに作用させて案内羽

根又はニードル弁の開閉を司らしめる。このやうな方式の調速機を油壓式調速機と云ひ、現今の調速機は總てこの方式である。油壓の代りに水壓を使ふものもあつたが今日では全く用ひられて居ない。

2. 油壓式調速機の構造 調速機を構成する主要な部分
は次のやうなものである。

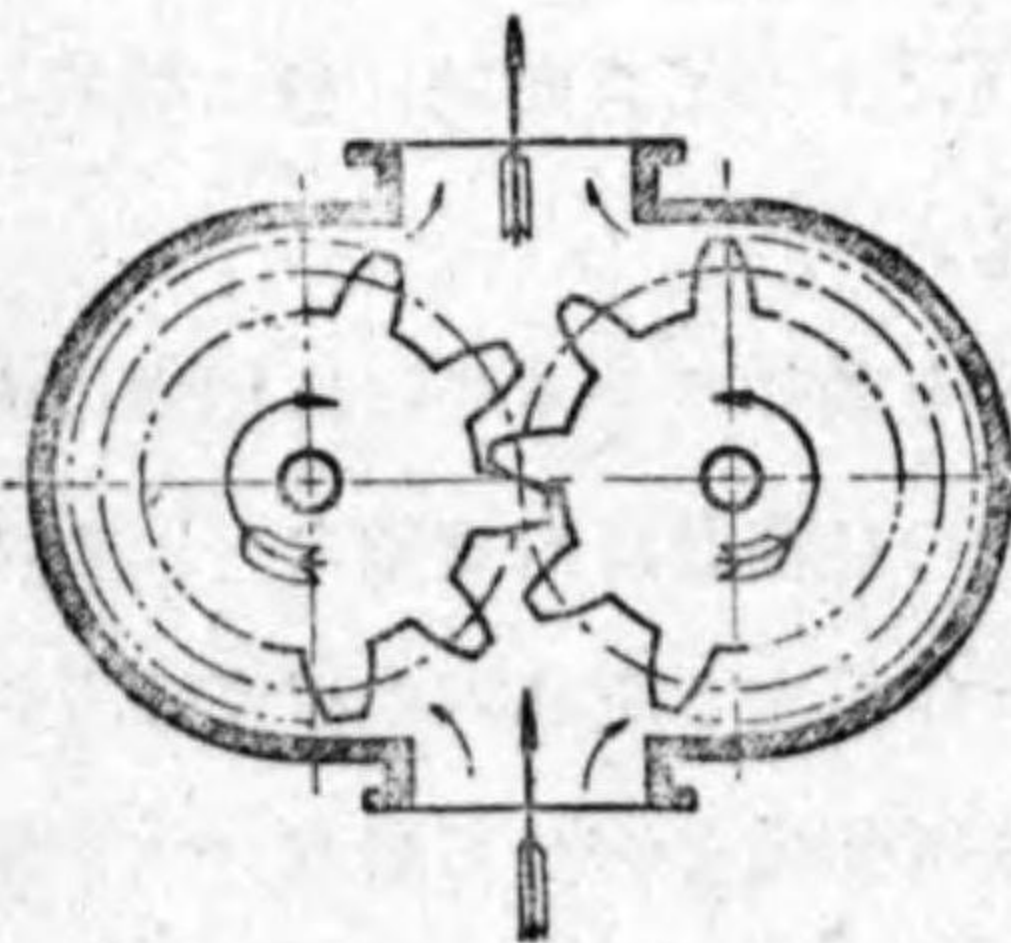
(a) **回轉振子** これは平速器とも云ふ。水車の主軸から回轉をとり第8・1圖のやうに遠心錘Bが遠心力によつて開閉する運動を摺動環Sの上下運動に變へる装置である。



第 8・1 圖

平 速 器

(b) **油ポンプ** 油壓を作るポンプ



齒 車 ポ ン プ

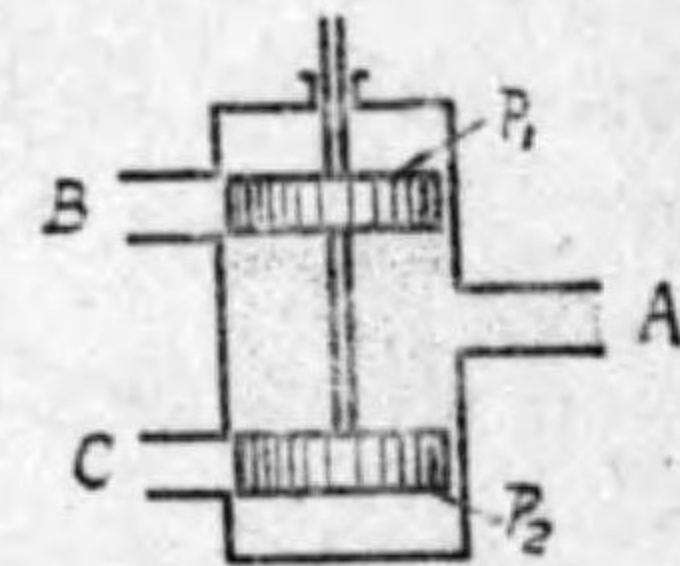
である。普通は第8・2圖の様な二個の齒車を噛み合せた齒車式のポンプが使はれる。このポンプは補助水車又は電動機で運轉するが、小型のものは主水車からベルト又は齒車で動力をとることもある。油壓は凡そ $15 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ で

ある。

(c) **壓油タンク** 前記の油ポンプで作られた壓油を貯蔵するタンクで、上部には空氣が入つて居り、空氣室の作用をする。壓力計や油面計が附いてゐる。

(d) **配壓弁** 第8・3圖の様に一本の軸に二個のピストン P_1 及び P_2 を附けたもので、之を浮游弁と云ひ、之がシリンダの中に入つて居る。シリンダには A, B, C 三個の管が

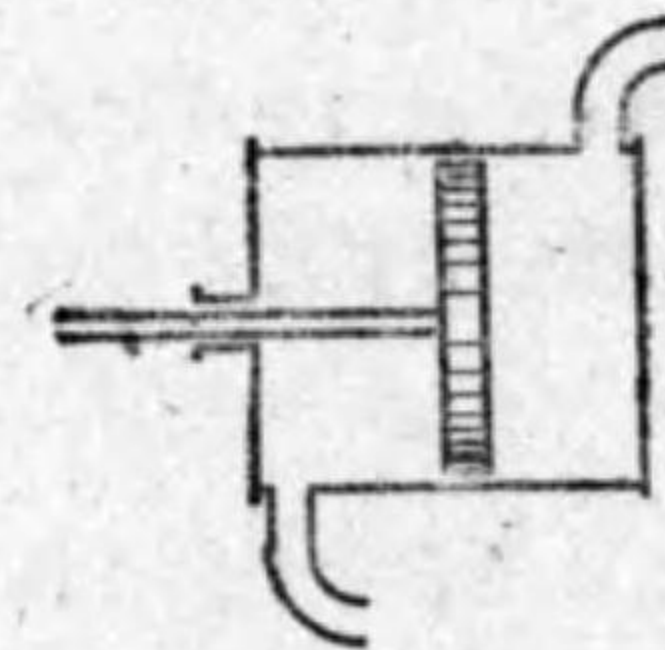
第 8・3 圖



配 壓 弁

接続されて居り、このうちA管は前記の壓油タンクに連り、B管とC管は丁度ピストン P_1 及び P_2 の位置に在る。従つてA管の壓油はシリンダの内部では止められてゐるが、ピストンが上方に動けば壓油はB管に、下方に動けばC管に連絡するやうに出来てゐる。

第 8・4 圖



サーボモータ

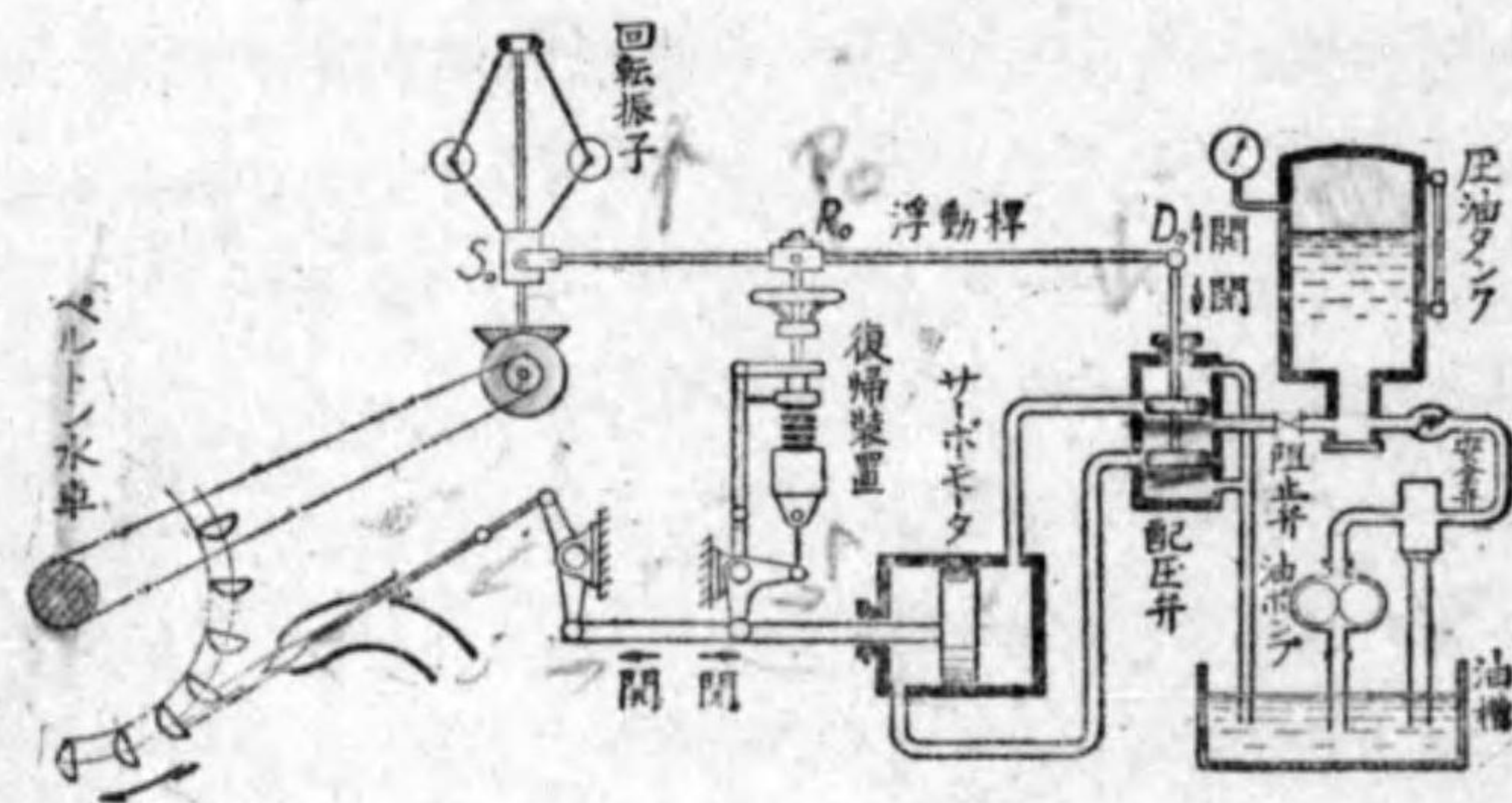
(e) **サーボモータ** 第8・4圖の様にシリンダの中に一個のピストンを持つたもので、前記の配壓弁からの油壓をうけて左右に移動する装置である。ピストン桿の先は水車の案内羽根開閉装置又はニードル弁の桿に接続されてゐる。

(f) **浮動桿** 回轉振子の摺動環と配壓弁内の浮游弁とを連

絡する桿である(第8・5圖参照)。

(g) 復歸装置 浮動桿とサーボモータのピストン桿との中間にあつて相互の関係運動を司る装置である。詳しくは後で述べる。

第 8・5 圖



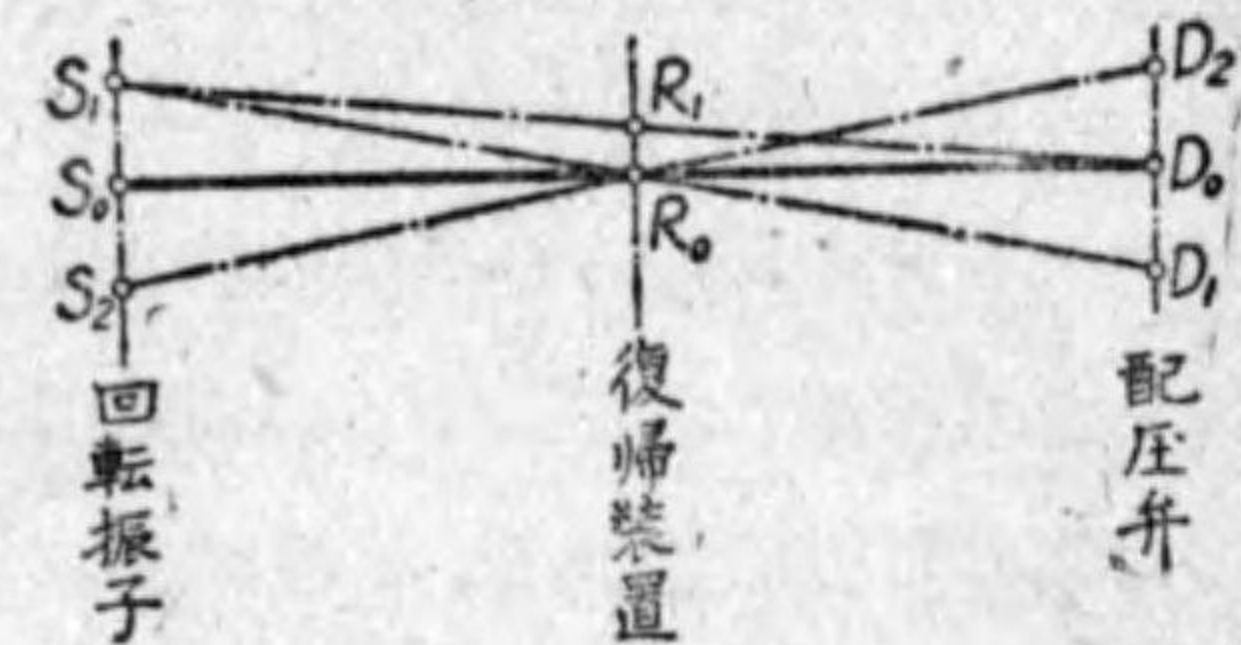
調 速 機 組 立 圖

3. 調速作用 前記の調速機各部は第8・5圖のやうに組立てられる(本圖はベルト水車に連結した例を示す)。その作用の順序は次のやうになる。

圖は水車が規定の回転の有様で運転してゐる所を示す。これを中正の位置と云ふ。即ち油ポンプで作られた壓油は安全弁と逆止弁とを通つて壓油タンクに入り配壓弁内まで行つて止まつてゐる。従つてサーボモータ内のピストンは動かない。

今急に水車の負荷の一部或は全部が取り去られたと考へる。この時、水車は一時餘分の流量をうけて回転が高まる。そこで回転振子が開いて摺動環 S_0 は S_1 の位置に上る(第8・6圖参照)。この時、浮動桿は R_0 を支點として傾き配壓弁は D_0 から D_1 に降る。そこで壓油はサーボモータ内のピストンの左側に作用して「閉」の方向に動き水車のニードル弁を閉ぢる。しかし、これだけでは調速作用が満足ではない。この時流量は減じ回転數も亦減ずるけれども、 D_2 が D_0 に歸復しない限りサーボモータ内のピストンは運動を繼續してニードル弁を閉ぢてゐる。而して流量の變化に對して回転數は直ちには適應しないで僅かの時間の遅れがあるために、水車の回転數が規定の値になつた時にはニードル弁は進み過ぎた有様になる。そこで水車の回転は次第に落ち、浮動桿は S_2 R_0 D_2 の傾きとなり調速機は再び反對に「開」の方向に動き回転を高めるやうに働く。斯くて調速機はこのやうな開閉運動を繰返へして靜止する時が無く、水車は結局安定の回転數には落ちつき得ないことになる。このやうな現象を亂調(ハンティング)と云ふ。これを防止するには次に述べる復歸装置

第 8・6 圖

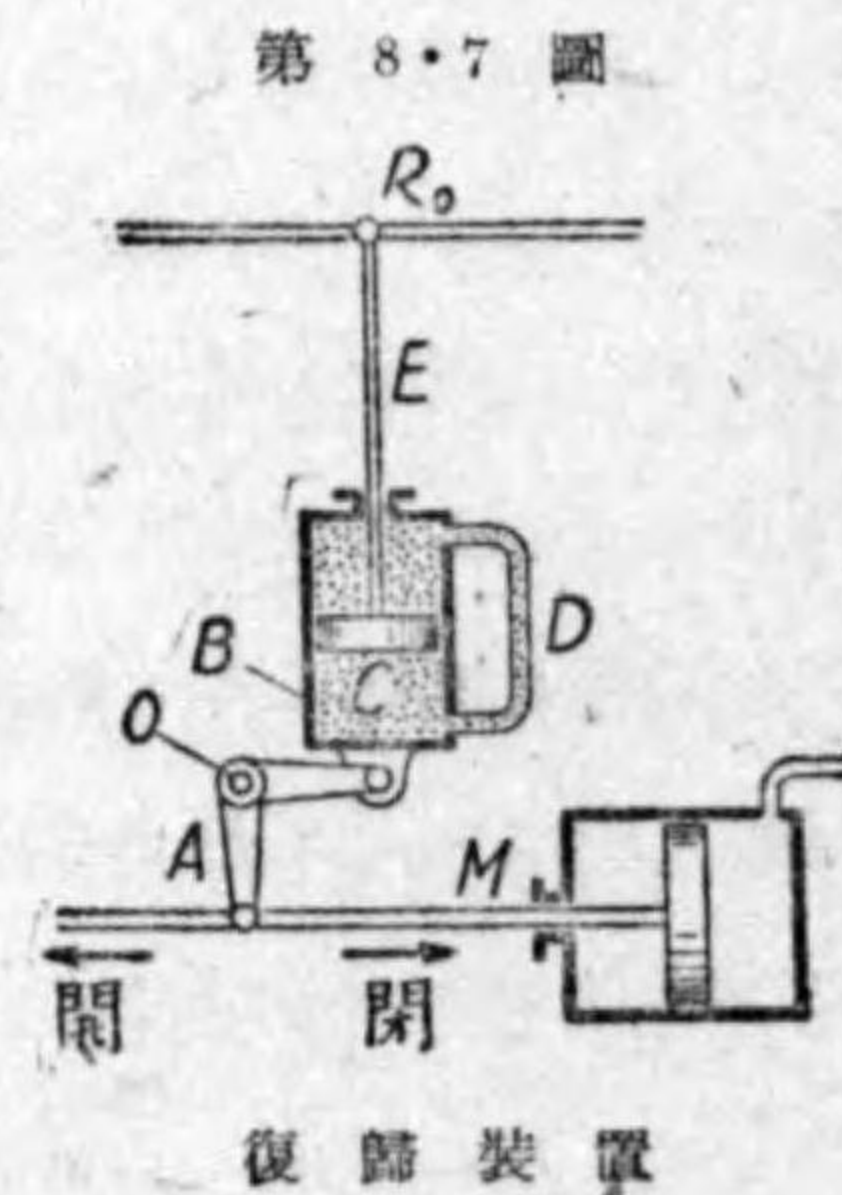


浮 動 桿 の 作 用

が必要である。

4. 復歸装置の機能と作用 前記の亂調を防止するには水車の速度變動に際して生ずる浮游弁の行き過ぎを防ぎ速かに中正の位置に復歸せしめることが必要である。即ち浮動桿が $S_1 R_0 D_1$ の位置になつたら直ちに R_0 の點を R_1 まで持ち上げて D_1 を D_0 迄移し傾きを $S_1 R_1 D_0$ にすればよい。さうすればサーボ・モータに送られる壓油は止まりニードル弁は或る程度閉鎖した形で運動が靜止する。而して S_1 が徐々に S_0 に復歸するのに応じて R_1 も亦 R_0 に復歸すればよい。このやうな動作をさせる装置を復歸装置と云ふ。これがあつて初めて水車の亂調を完全に防止することが出来る。

復歸装置の實際の構造は極めて複雑であり且つその機能も精巧なものであるが、こゝには簡単にその概念だけを述べる。第 8・7 圖は復歸装置の主要部分の骨組圖である。サーボモータのピストン桿 M に直角腕 A を取付け、一方の端をシリンダ B の下端に連結する圓筒内にはピストン C が入つて居て、 C の上下の兩室は細管 D で連絡し且つシリ



ンダ内には油を入れて置く。これを制動壺と云ふ。ピストン桿 E は浮動桿に R_0 で接續する。

扱て水車の負荷に急激な變動があつて、例へばサーボモータのピストン桿 M が「閉」の方向に動くとき直角腕 A は O を支點としてシリンダ B を上方に押し上げる。この時の運動は急激であるから B 内の油はその粘性のために細管 D を通つて上下に移動してゐる暇がないのでピストン C も共に動かされて R_0 を R_1 まで押し上げる。(第 8・6 圖参照) この位置は D_1 が D_0 に達する位置であるから、配壓弁は中正の位置を採り、サーボモータの運動は止む。やがて水車の同轉數が徐々に降つて同轉振子の摺動環が S_1 から S_0 にもどると D_0 の位置はそのまゝとして R_1 が R_0 にもどらなくてはならぬ。即ちこの時、制動壺内の油は細管 D を經て徐々に下室から上室に移動しピストン C は降下し始めるが、シリンダ B (云ひ換へればサーボモータのピストン) は靜止のまゝで宜しいから前記の目的を達する譯になる。

要するに制動壺のピストンは急激な運動に對しては動作するけれど、緩慢な動作に對しては動かないと云ふ性能を利用したものである。

5. 調速機の附屬装置 調速機には前述の外に次のやう

な種々の附屬装置がある。

(a) **コンベンセータ** 二臺以上の水車發電機が並行運轉をする場合には、原動機の間轉數は輕負荷に於ては定規の間轉數よりもやゝ高く、過負荷ではやゝ低くと云ふ性能を持つてゐなくてはならない。このやうな特性を速度漸減の特性と云ふ。この特性を持たせるためには前記の復歸装置に附屬するコンベンセータを調節して行ふ。

(b) **速度變更装置** 制動壺と内部のピストンとの關係位置をそのまゝとつてピストン桿と浮動桿の接續點 R_0 の位置だけを動かすと水車の規定の間轉數を變へることが出来る。これを速度變更装置と云ふ。

(c) **手動装置** 油壓の力を用ひないで人爲的にサーボモータのピストンを動かす装置である。これはサーボモータに送られる壓油管を閉めて齒車装置でハンドルでピストン桿を動かす。調速機が事故の場合は勿論水車の始動又は停止の際には屢々手動で行ふことがある。

(d) **不慮停止装置** 不慮の危険時、例へば回轉振子のベルトが外れるとか切れるとかした場合には水車の回轉數が非常に上昇する。このやうに水車を直ちに「閉」の方向に動かすやうに動作する装置である。

第 8・8 圖は調速機の断面の一例を示す。圖に於て (1) 回

轉振子を回轉させる調車 (2)

回轉振子 (3) 摺動環 (6)

配壓弁 (8) 油ポンプ運轉用

調車(9)サーボモータ (12) 復

歸装置 (14) 油溜 (15) 壓油

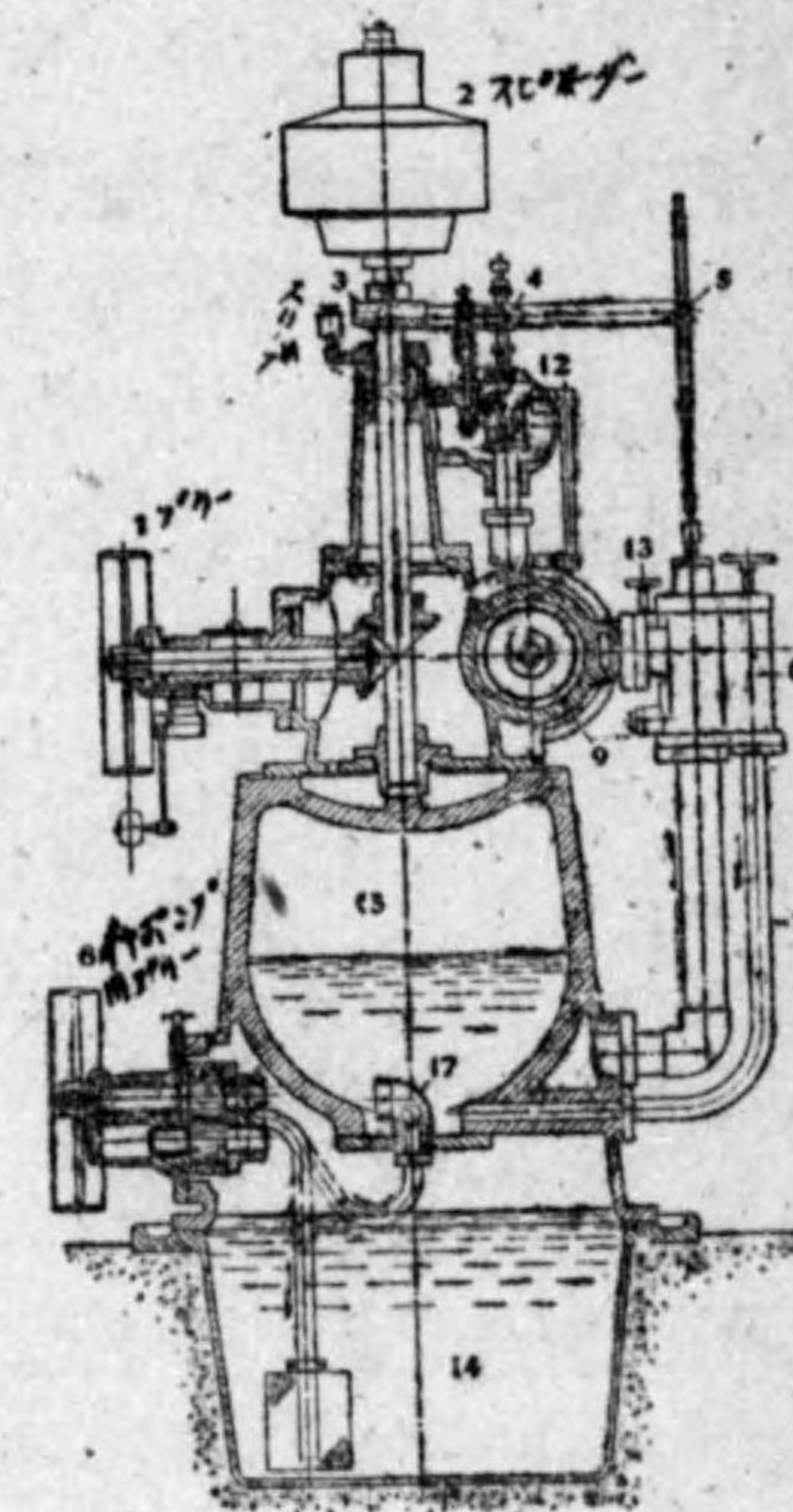
タンク (17) 逆止弁である。

6. 調速機と水車との

連結 豎軸の水車では水車が地下室に在り、發電機が地上に在るために前記の調速機の各部を別々に作つて夫々都合のよい場所に配置することが多い。第 8・9 圖はその一例で、調速機を (a) 壓油ポン

プ系 (b) アクチュエータ (c) サーボモータの三部分に分割し、(a)、(b) は發電機の床上に置き (c) のみは地下の水車室に設ける。(a) は壓油ポンプ、ポンプ原動機、壓油タンク、油溜等の一團を云ひ、數臺の水車に對して一組だけを設備することもある。(b) は回轉振子、配壓弁、浮動桿、復歸装置等の一組を云ひ、水車一臺につき一組宛を設備する。(c) はサーボモータに

第 8・8 圖



調速機断面圖

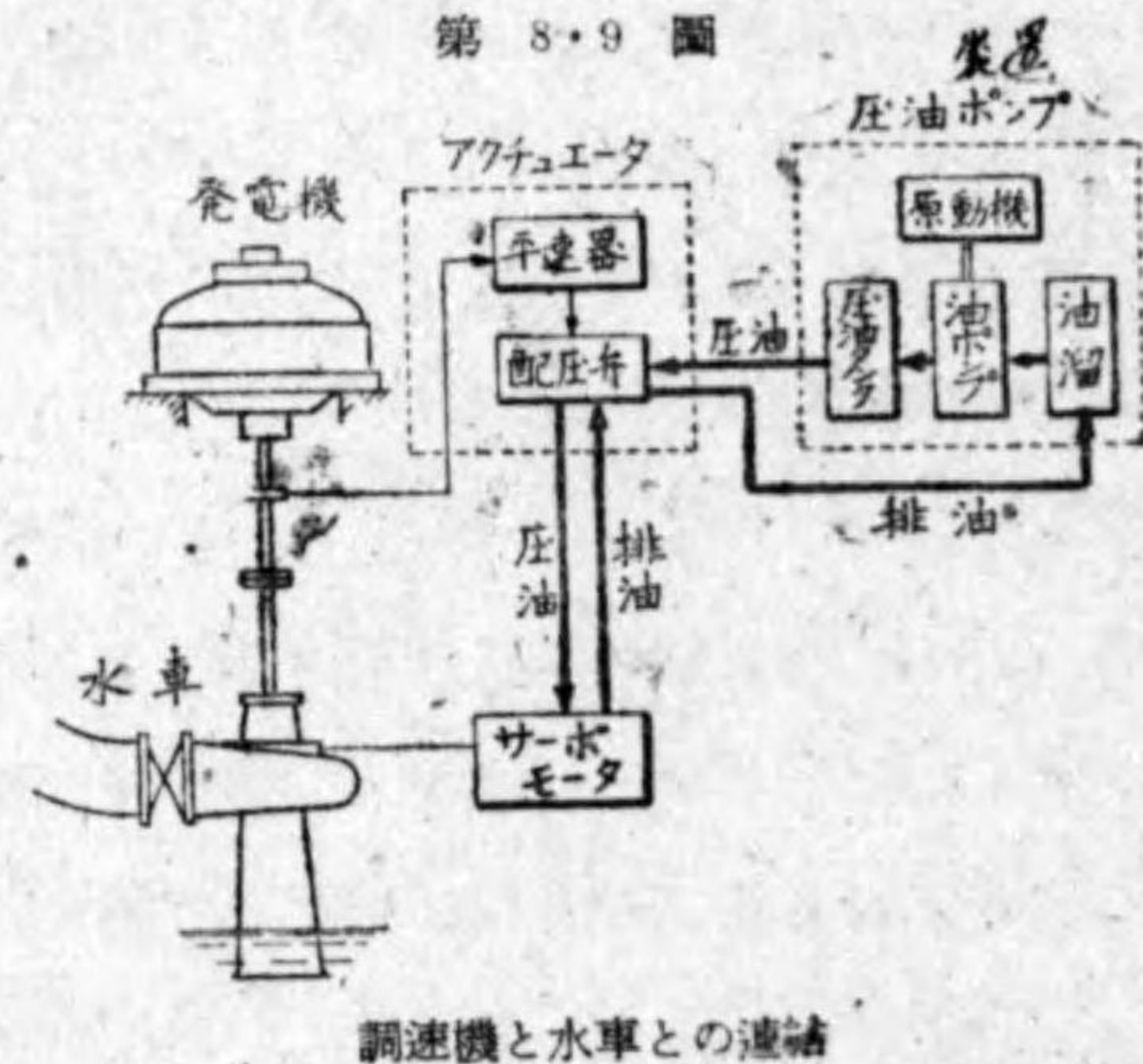
て水車一臺について一個又は二個取りつける。

7. 速度昇降率 水車の負荷を急激に切りとつた爲に一時的に回轉數が上昇した時の最大回轉數を N_m 、水車の規定の回轉數を N とすれば $(N_m - N)/N$ を瞬間最大速度昇降率と云ひ、普通は%で示す。この値は切り取る負荷の大小によつて異り、現今の水車では凡そ次の範圍になるやうに設計する。

規定負荷の $\frac{1}{4}$ を取つた時	3~4 %
" $\frac{1}{2}$ "	6~7 %
" 全部 "	10~15 %

速度昇降率が大
きいと運轉上に種
々の面倒が起り不
測の災害を招くこ
とがあるから、實
際の水車では前記
の範圍に止まるや
うに定めてあるが
速度昇降率を小さ

くしやうと思へば成る可く大きなハズミ車を附ければ宜しい。



8. 調速機の取扱法 調速機に用ひる油は比重 0.87 (15°C の溫度に於て)、引火點 200°C 以上、濃度 (セーボルト濃度計にて) 38°C の時に 150 秒のやうな規格の礦油が宜しい。水車の軸受又は制動壺にもこの種のものでよい。油は最初組立後は三ヶ月に、其後は毎年一回宛ぐらい取り替へるか又は濾して使ふ方がよい。尙ほ運轉中は壓油タンク附屬の油壓計、油面計に常に注意し、適當の指針にあるやうに調節する。

取扱は殊に鄭重にして主要な摩擦部分には毎日注油を要する。特に摺動環及び回轉振子の堅軸には常に潤油せしめる。復歸装置は毎年一回以上分解し且つ清拭して彈壺には新らしい油を注入して復歸時間の調整を行ふ。又、時々配壓弁内の弁を取り出して油滓を清拭する。彈壺内の油の粘度は著しく復歸時間に影響を及ぼすから嚴寒及び極暑の時期には特に注意して調整することを怠らぬやうに心掛ける。

調速機に使ふ油の量は調速機の大小によつて違ふが小型のものでは 50~60 リットル、大型ならば 300~400 リットル程度である。運轉に先立つては仕様書に記載された油量の約二倍以上の油量を購入準備する方がよい。又、回轉振子の運轉にベルトを使つてゐるものではベルトの緊度に注意する。ベルトが緩んでゐると水車の運轉に亂調を起し易いし締めすぎると切れ易

いからである。

練習問題 VII

1. 调速機の意義並に目的を述べよ。
2. 油壓式の调速機の構造の略圖を畫きて説明し、その機能と作用とを記せ。
3. 调速機のサーボモータとは何か、その機能を問ふ。
4. 调速機の復歸装置の構造と機能とを述べよ。
5. 调速機に附屬する各種の装置を挙げよ。
6. 水車と调速機との連結方式を問ふ。
7. 调速機のコンペンセータとは何か。
8. 调速機のアクチュエータとは何か。
9. 瞬間最大速度昇降率の意味を問ふ。この値は負荷の變動率に對して如何なる値にするか。現今の水車についてその概數は如何。
10. 水車にハズミ車を附する理由を問ふ。

第九章 水壓調整装置

1. 水壓管内の壓力上昇 调速機が作用して水車の案内羽根又はニードル弁を極く短かい時間、例へば2~3秒で閉鎖すると、管内に充滿した水柱は速度に急激な變化を受け、一時に流動を阻止される結果、流動水柱の衝擊によつて管内には高度の上昇水壓を起す。この現象を水槌作用又は水撃作用と云ふ。水槌作用に基因する水壓の上昇高は閉鎖時間の大小によつて非常に相違がある。上昇壓力は管端の瞬間閉鎖と同時に最初に管の下底に發生し、直ちに管に沿うて下底から上部に向つて傳播する。上端に達すると貯水池の水頭は管内の上昇壓力よりも小さいから、このまゝの状態では釣合を保つことは出來ない。従つて水は貯水池に向つて逆流し始め壓力が元の状態に降り、この逆流運動の慣性のために管内の水壓は靜止水頭以下となる。この様な管内の壓力の降昇が一種の振動状態となつて管内を往復傳播する間に水壓の勢が弱まつて自然に消滅する。水壓の波が管内を傳播する速さは管の材質、管徑、管壁厚等によつて非常に差異があるが、鋼管の場合では管徑が大きくて管壁厚の薄い時に700 m/s ぐらい、管徑が小さくて管壁厚の厚い時には1300 m/s ぐらいである。

現今の水車に於ては水壓變動率の許容限度は實例によると大凡次の様な値となつて居る。

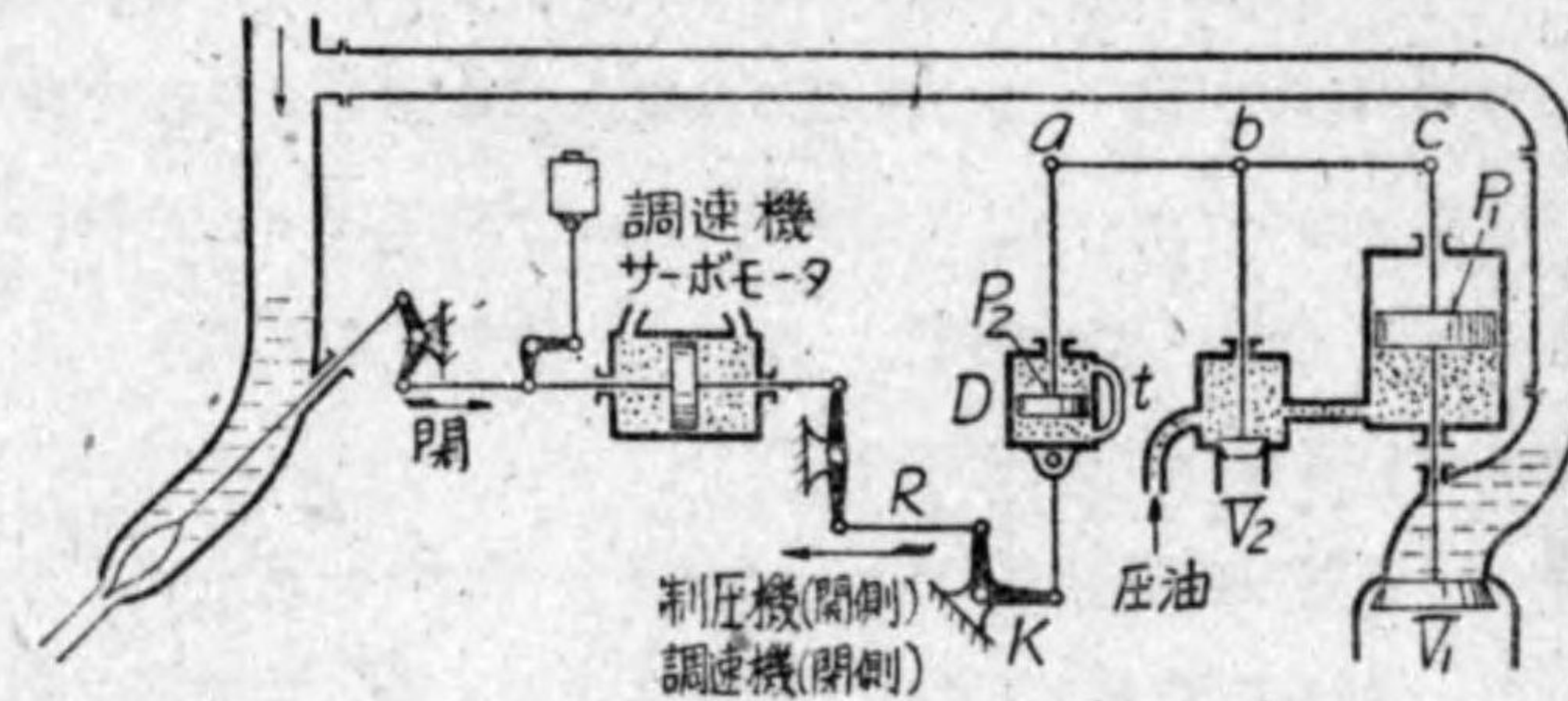
低落差 (45m以下)	60%
中落差 (45m~180m)	35%
高落差 (180m以上)	20%

2. 水壓調整装置の機能及び種類 水車の負荷の急激な減少に際して、水車の水口の急激な閉鎖に伴ふて起る水槌作用による水壓の上昇を防止する爲には、水壓調整装置を設備し、水壓管内の流水を一時他方に排除させれば宜しい。然しいつ迄もこの状態を續けることは、貴重な水を徒に放流することになるから、水壓調整装置では直ちに過度の水壓上昇を起さない程度で、徐々に然も成可く早く放流水を閉鎖する機能を有することが必要となる。又急激な負荷の増加時及び徐々に負荷の變動時に際しては、別段に極度の水壓上昇は起らないから、この時にはこの装置は全然作用しない様に構造されて居なくてはならない。この目的に對してフランス水車では制壓機を、ペルトン水車に於ては、轉向子（デフレクタ）を用ひて居る。但し低落差用の水車にて水壓鐵管の無いもの又は短きものは水壓上昇に對する危険が無いから、この装置を設備しない。尙ほこの外に調壓水槽なるものも同一の目的に對して構造されて居

る。詳細は次に述べる。

3. 自動水壓調整機の構造及び作用 第9・1圖は油壓によつて働く、自動式水壓調整機の構造を示す。桿 R は調速機のサーボモータのピストン桿から連絡されて運動を受け

第9・1圖



自動水壓調整機

る。この運動は直角腕 K を經て制動壺 D の上下運動を生ぜしめる。この制動壺は調速機の制動壺と同じく内部にピストン P_2 を嵌入し、ピストンの上下には油を充満し、別に細管 t によつて兩側を連絡せしめる。別に配壓弁 V_2 を有し、此處には絶えず壓油を送つてある。 V_2 が排油管を閉鎖した状態では、壓油は主ピストン P_1 の下方に送られ、 P_1 を支持する。 P_1 のピストン桿の下部は水壓調整機の主弁 V_1 に連絡せられて居るが、 V_1 に働く總壓力よりも P_1 に働く總壓力の方が大きくなるやうに作つてあるか

ら、この状態に於ては V_1 は水壓管の壓力に抗して充分に閉鎖の役目を果して居る。

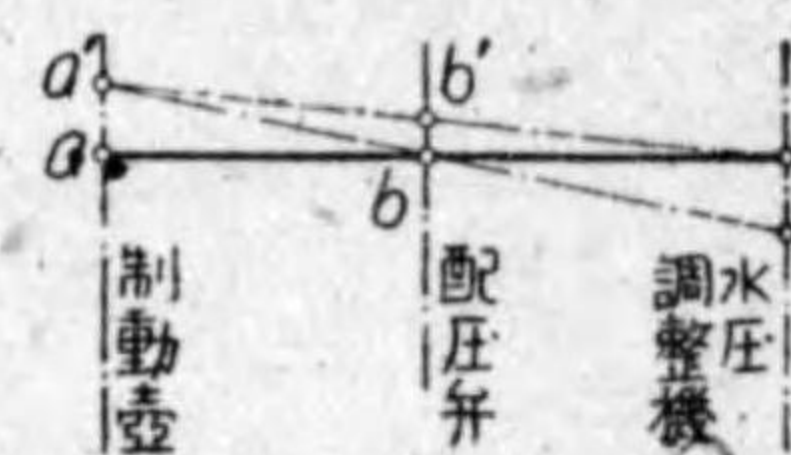
扱、水車の負荷が急激なる減少を來すと、直ちに調速機が働いて水車の水口を閉鎖する事は前に述べた通りであるが、この際サーボ・モータ内のピストンの運動は、水壓調整機の小桿 R と直角腕 K とを経て直ちに制動壺 D を急激に上方に押し上げる。従つて P_2 の上下の油は、この粘性の爲に細管 t を経て移動する餘裕の無いため、 P_2 も共に押されて浮動桿 abc は $a'b'c'$ の傾きを取る(第9・2圖参照)。

その結果として弁 V_2 が開きピストン P_1 の下方の壓油を排除するから、主制壓弁 V_1 は水壓管内の水の壓力で押し開かれて排水作用を行ふ。この時 V_1 即

ち P_1 の降下と共に浮動桿は $a'b'c'$ の傾斜となり、 V_2 は排油管を閉鎖するから、 V_1 はその位置に止り排水作用を繼續する。然し同時に壓油は P_1 の下方に作用する結果として、制動壺内の油を次第に細管 t を経て下部より上部に移動し、 a' 點は a 點に近づいて行く。 a 點に達して始めて V_1 も排水管を密閉し此處に動作は完了する。

調速機が極めて徐々に閉鎖方向に働いた時は、制動壺も亦上

第9・2圖

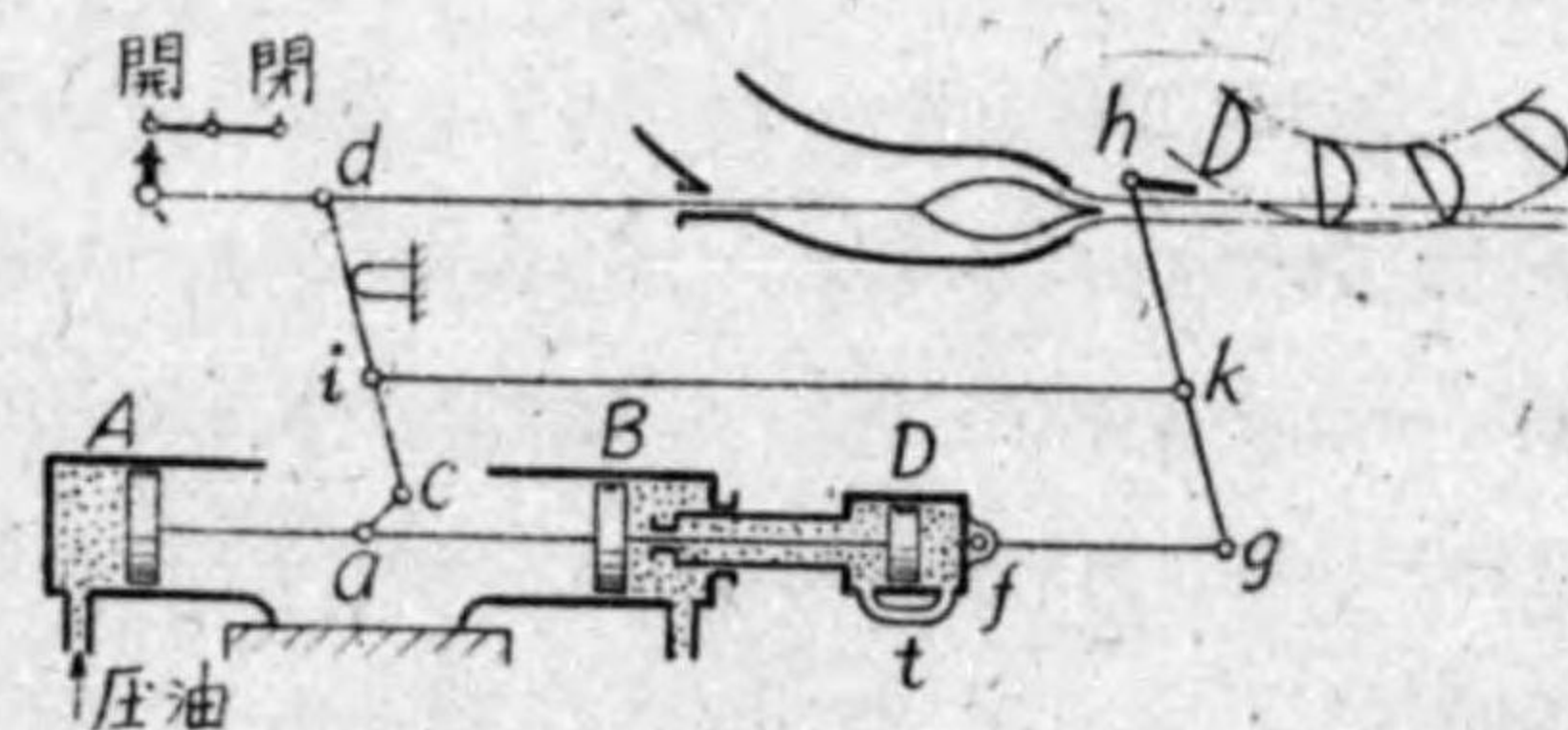


水壓調整機的作用を示す

昇運動を受けるけれども、動作が緩慢である爲に油は上下に移動する餘裕を有し、水壓調整機は全く動作しない。又調速機が水口を開く方に働いた時は、その動作の急激なると緩慢なるとを問はず、制動壺は下方に引下げられる結果、弁 V_2 を益々強く押すのみで水壓調整機は全く動作せず、こゝに前述の水壓調整機として有すべき機能を完全に果すこととなる。

4. 轉向子の構造及び作用 ベルトン水車の場合には轉向子(デフレクタ)を附して水壓の調整を爲し、水壓調整機を省略する事が多い。第9・3圖はその作用を示す。即ち圓筒 A B を相對せしめて各同一ピストン桿にピストンを固定す。更に

第9・3圖



轉向子の作用を示す

B には制動壺 D を嵌入し、ピストン桿が延びて制動壺内のピストンに接續する。制動壺よりは gkh 桿を接續して轉向子を動かす。第9・3圖は針弁を全開して水車が平常の有様にて運

轉する時を示す。この時には壓油は圓筒 A にのみ送られて轉向子は上方に上つて居る。今、負荷の急激なる減少が起ると直ちに圓筒 A の壓油を抜き、圓筒 B に壓油が送られる。従つてピストン桿は全體として左方に移動するが、この際制動壺も共に左に動き、轉向子を傾斜せしめ、一時、噴射水を水車より外す。然るに壓油は制動壺の左端面に働いて居るから、次第に制動壺内の油は、左室より右室に移動して制動壺のみ右方に動く。その結果として針弁を徐々に閉鎖方向に送ると同時に、轉向子も舊位置に復する。こゝに全く閉鎖状態となり流水を阻止する。急激なる負荷の増加時、又は徐々なる負荷の變動時に於ては何等轉向子に影響無く針弁のみの運動を行ふことは、普通の水壓調整機と同様で、こゝにその説明は省略する。

圓筒 A 又は B への壓力油の送り方を加減する装置は調速機に附屬せる制御弁で行ふ。斯様に調速機より間接に制御する水壓調整機を調速機制御型と云ひ、前述の油壓式水壓調整機のように、調速機の機構に直接に連結されて制御するものを調速機動作型と云はれる。

5. 調壓水槽 水車に連絡する水壓管内で、水車入口を急に閉じた場合に發生する水槌作用に依る水壓上昇の度合は管路の長さが大きな程大きく、従つて管も強いものを必要とし、

管路の費用も増大する。然るに斯る場合その途中適當なる場所を選んで水槽を設けると、使用水量の變動に應じて水量の調整を行ふ所謂普通水槽の働きをなすと同時に、この水槽を境として管路は二分された事となり、水壓上昇は大いに輕減されるのであつて、これを調壓水槽 (surge tank) と云ふ。

調壓水槽内の水位は貯水池又は調整池の利用最高水深の場合に、全負荷より急に無負荷にした場合の波動水位を最高水位とし、貯水池又は調整池の水深が最低の利用水深の場合に、急に負荷増大する場合の波動最低水位を最低として相當範圍に水位が變動する。従つて調壓水槽は普通水槽に比較して遙に深さの深いものになる、調壓水槽の位置は出来る限り水車に接近して設ける方が効果が大きい、斯くする時は、高さが大となり建設費が増大する。そこで第 9・4 圖の場合の様に、A B 部分が比較的長くて傾斜がゆるやかであり、B C 部が急勾配を以て降下して居る様な時には、調壓水槽を B 點の屈折部に設けるのが普通である。

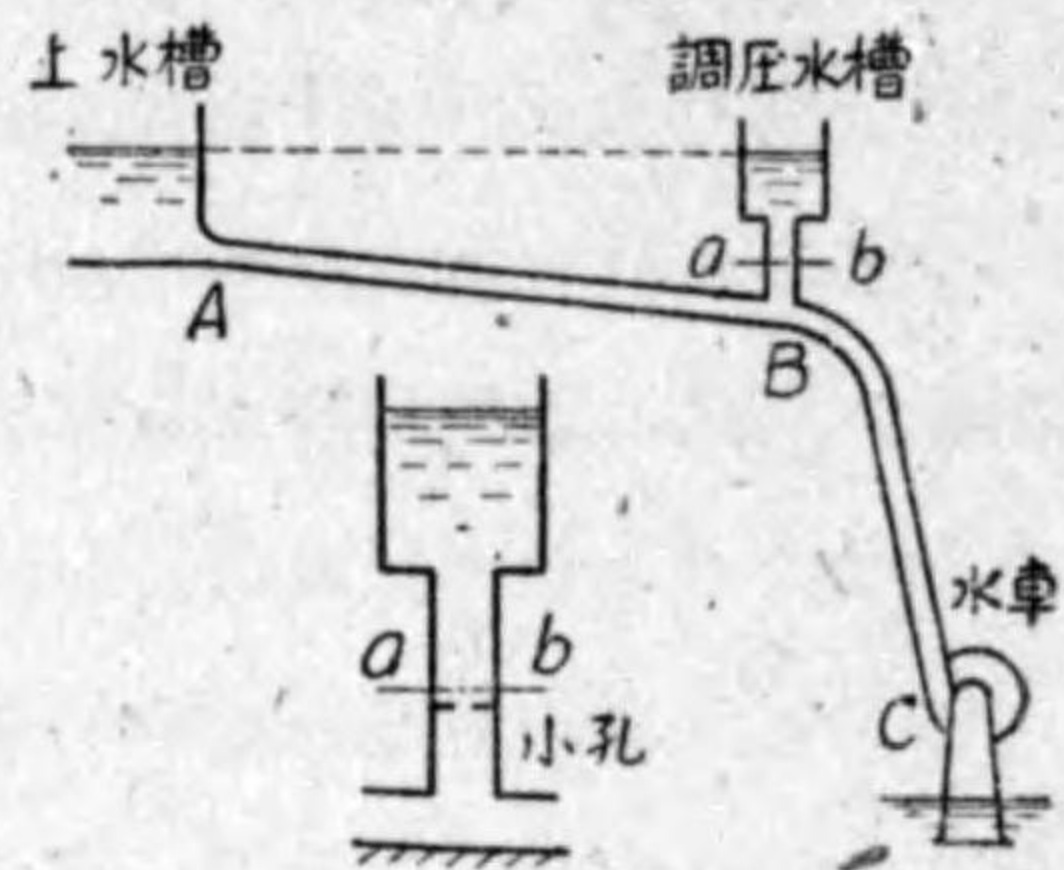
調壓水槽には各種の形式のものが用ひられて居る。その主なるものを挙げると

- (1) 單式調壓水槽
- (2) 差動調壓水槽

等がある。

單式調壓水槽は第 9・4 圖の様なもの、負荷の變化に依る水槽水位變動に對して特殊の工夫を用ひないものである。従つてこの水槽は容積が大なる事を必要とし、工費を増大する缺點がある。これは普通水槽と同様餘水吐、土砂吐等を有するものが多い。

第 9・4 圖

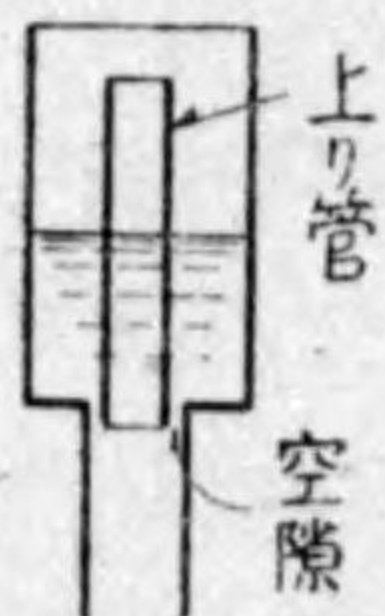


調壓水槽の容積を小さくして費用を節約するために(2)の差動調壓水槽なるものがある。之は第 9・4 圖の a b の部分に窮屈なる小孔を設けてある。このやうにすると水が調壓水槽に出入りする時に抵抗をうけるので、水槽に貯ふ可き水量も少なくて済むから、水槽の形も小型となる。しかし速度の調整を精細にしようとする時は、差動式は不利である。

單式調壓水槽

第 9・5 圖

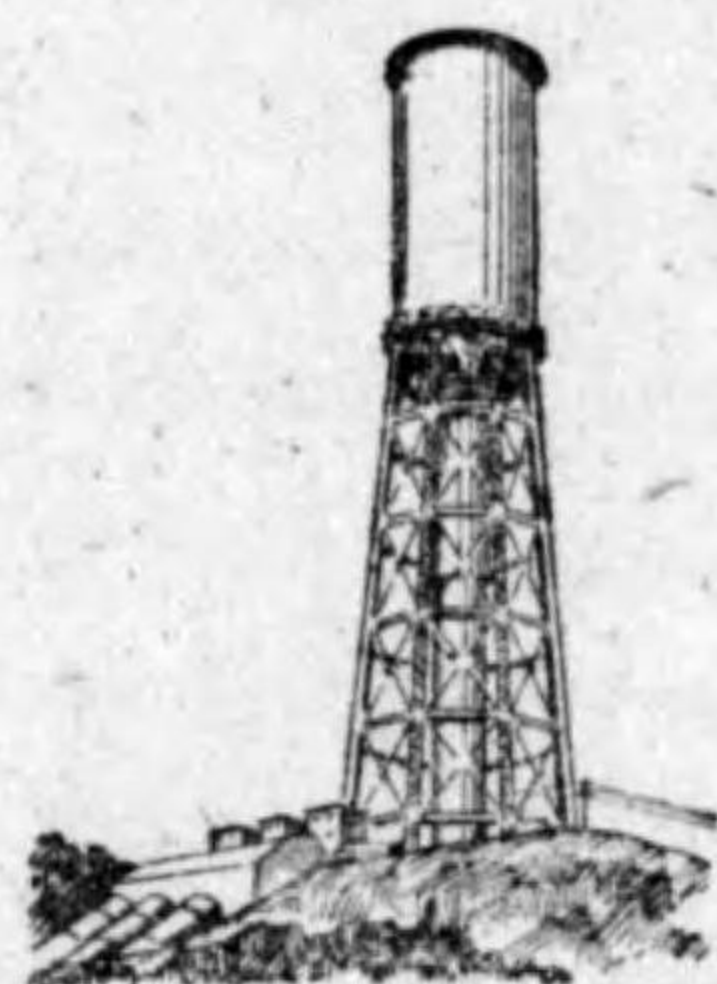
第 9・5 圖も同じく差動式と稱せられるもので、水槽の内部に上り管と稱する小徑の管を装置し水槽との間に間隙を設けたものである。水の運動は上り管と間隙とによつて行はれ、水口を開いた時は先づ内部の上り管の水面が降り、



差動調壓水槽

之を追ふて水槽水面が降下して流量の増加を計る。水口を閉鎖した時は反對に上り管内の水面が先づ上昇し、次に水槽水面が上る。即ち前述の小孔を設けた差動式をやゝ緩和した形のものである。第 9・6 圖は關東水力佐久發電所の水車 3 臺分に装置せる差動調壓水槽を示す。水槽の直徑が 12.5m, 下部の直立管直徑 4.5 m, 總高さ 80 m で世界に於ても稀に見る大きなものと稱せられて居る。

第 9・6 圖



佐久發電所の差動調壓水槽

復 習 問 題 IX

1. 水壓管内を流下する水を、極く短時間(數秒)で閉鎖すると、管内の水壓には如何なる現象が現れるか。
2. 水槌作用(水撃作用)とは如何なる現象を云ふか。

3. 水車の水壓變動率とは如何。今日の水車に於てはその許容限度は大凡何程となつてゐるか、概數を擧げよ。
4. 水壓調整装置の機能を示せ。
5. 自動水壓調整機の構造と作用とを問ふ。
6. ベルトン水車に用ひる轉向子（デフレクタ）とは何か。又その構造と作用を問ふ。
7. 調壓水槽の意義及び目的を述べよ。又、如何なる形式のものがあるか。
構造並びに作用上の差異を擧げて各々その特徴を記せ。

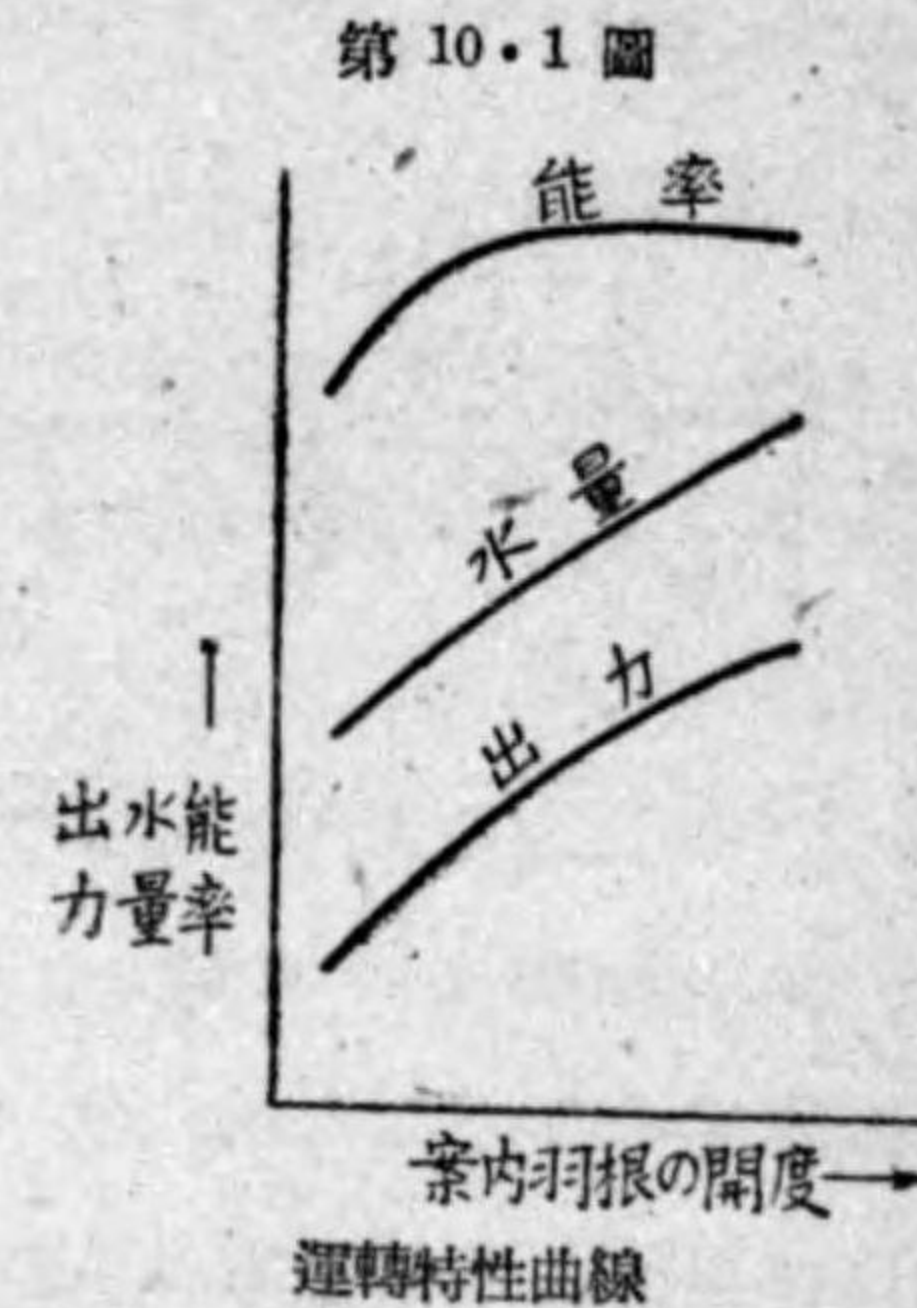
第十章 運轉試験及び腐蝕

1. 水車の運轉 水車、調速機其の他發電所の全設備が完了したならば、いよいよ水車の運轉に取りかゝる。先づ第一に通水試験をする。之はベルトン水車ならば針弁を、フランシス水車ならば案内羽根を全閉鎖の状態に置き、水槽の水門を開いて徐々に水壓管内に水を充滿させる。而して漏水部の有無を確かめる。水車の主水壓管弁を有するものは、これも閉ぢて置く。水壓管に別段の故障が無い事を確かめた時に水車内に通水するのであるが、その以前に水壓管に満水する時、管底の排水弁を開いて管内の土砂を掃除して置く方がよい。革製のパッキンは通水試験に際して漏る事もあるが、之は一晝夜もたてば止まるのが普通であるから、その結果を見る方がよい。この際、軸受其の他の摩擦部分には總て注油する事を忘れてはならない。完全に注油も終つたならば、而して漏水個所も無く又水壓に對しても耐へ得る事を認めたらば、こゝで初めて靜かに調速機の手動ハンドルを廻して針弁又は案内羽根を開き始める。そこで水車は回轉を始めて無負荷運轉の状態に入る。この際多くは手动ハンドルを廻しすぎるのが普通であるから、水車が回轉を始めたならば直ちにハンドルを逆に廻して無負荷運轉に必要な丈け

の水量を通し、規定の回転数を保たしめる。而して軸受が焼ける様なことは無いか、回転が不均一になつて來ないかを良く調査する。數時間この有様を續ける。この間に调速機の方の状態も調整する。即ち油壓が規定の壓力を示して居るか、油面が適當の高さに達して居るか、接續部其の他から油の漏出して居る所は無いか等を嚴密に調べる。壓油タンク内の油面が低すぎる時は空氣を抜いて油面を高める。高すぎる時は油ポンプ附屬の空氣弁を開いて空氣を入れる。油壓の調整は安全弁のバネを加減して調節する。又水壓調整機の附屬して居る水車では、手動によつてこの働き工合も調べる。

之等の運轉は少くとも一晝夜は連續して行ふ。之が済んだら次には發電機に荷をかける。この時、调速機は手動から自動に移す。斯くて次第に水車の負荷を増して行く。負荷を増すと同時に使用水量、出力等を測定し水車の能率を計算する。同時に调速機、水壓調整機の試験もする。即ち全負荷の $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 等の變動に對して瞬時速度の變動の有様、及び壓力の上昇の度合等を調べる。斯くて全負荷迄續けて、尙ほ過負荷に對しても一通り試験をなし、之で大體の試験を完了する。水車を停止する時は调速機を自動から手動に移す。而して靜かに弁を閉鎖する。调速機を自動運轉のまま水車を停止する場合には、调速機附屬の速度調整用のハンドルを閉鎖の方向に廻して行ふ。

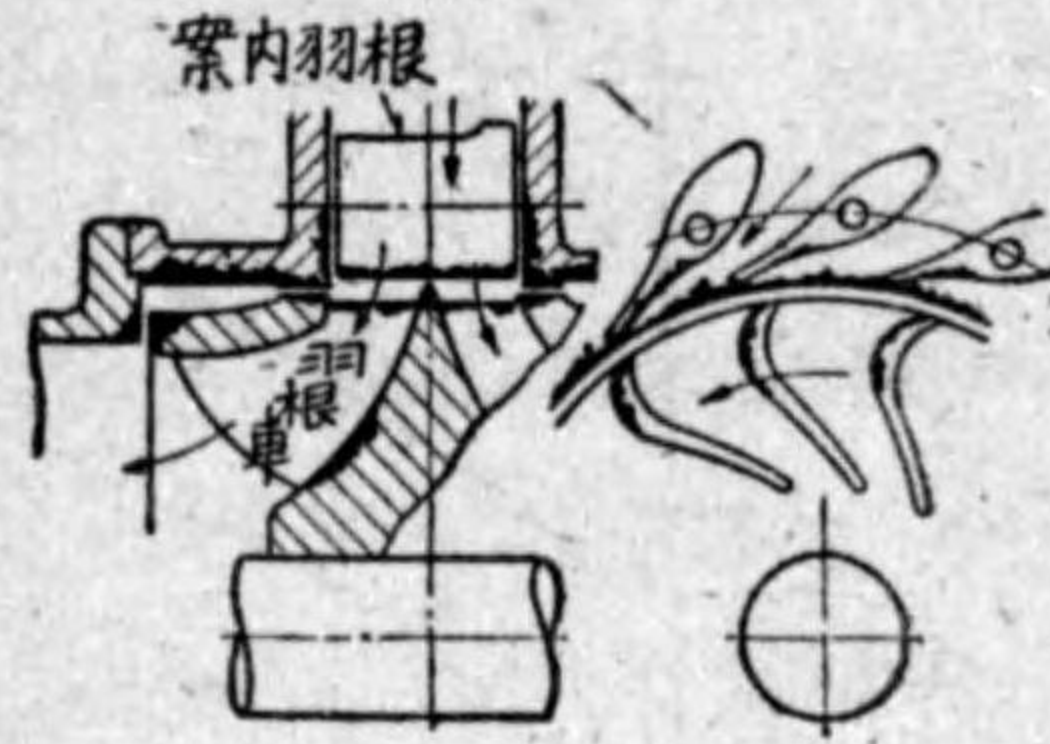
これは始動の時も同様に逆に廻して行ふことが出来る。第10・1圖はフランス水車の試運轉の結果を示したもので、横軸に案内羽根の開度を採り、縦軸には水量、出力及び能率を示してある。これを運轉特性曲線と云ふ。



2. 水車の磨滅、腐蝕及び故障 新設の發電所で試運轉の時には好成績を収めたものが、數ヶ月足らずして驚く程の能率低下を來し、發電力の不足を告げたと云ふ例がある。斯様な事故の原因の多くは水車の磨滅或は腐蝕であるから、直ちに水車の内部を調査して原因の發見に努めなくてはならない。

磨滅と云ふのは物理的の原因から來るものを云ふ。その根原は水中に含まれてゐる細砂で、湖水を利用してゐる所では比較的その害が少いが、急流を利用してゐる所には殊に細砂が混在しやすい。之が羽根車又は案内羽根に當ると丁度砥石をかけた様に表面を磨滅してしまふ。殊に石英岩の細砂が危険である。之は到底完全に除去する事は出來ない。第10・2圖は八年間使用後のフランス水車の磨滅の有様を示したものである。圖に

第10・2圖



水車の磨滅の有様

的原因のみでなく次に述べる腐蝕も同時に作用するものと考へられる。

腐蝕といふのは化學的の原因によるものを云ふ。その根原は噴火山系の流域に在る河川等で水中に酸、硫黄類を含むことに因るものが多い。この爲に水車は晝夜絶えず腐蝕せられて行く。之は實に致命的で到底防止救済の餘地が無い。斯様な水車は材質も特殊鋼の様な腐蝕に對して抵抗の大なるもので作る。

この腐蝕は純粹の水の場合にも起る。之は翼の形狀が設計の拙劣なる爲に、流水に對して正しく作られて居ない時に、不自然な流れを起し、ここに渦流を生じて局部的の真空を作る。その真空部には水の分解作用を呈し、水中に含有されたる酸素又はガス體の析出現象を生じ、之が金屬を腐蝕するものと考へら

見られる通り、磨滅を受ける部分は案内羽根の先端、羽根車の入口、蓋との間隙である。ペルトン水車に於ては第10・3圖の様に主としてバケットの先端、針弁等である。之等は單に物理

第10・3圖

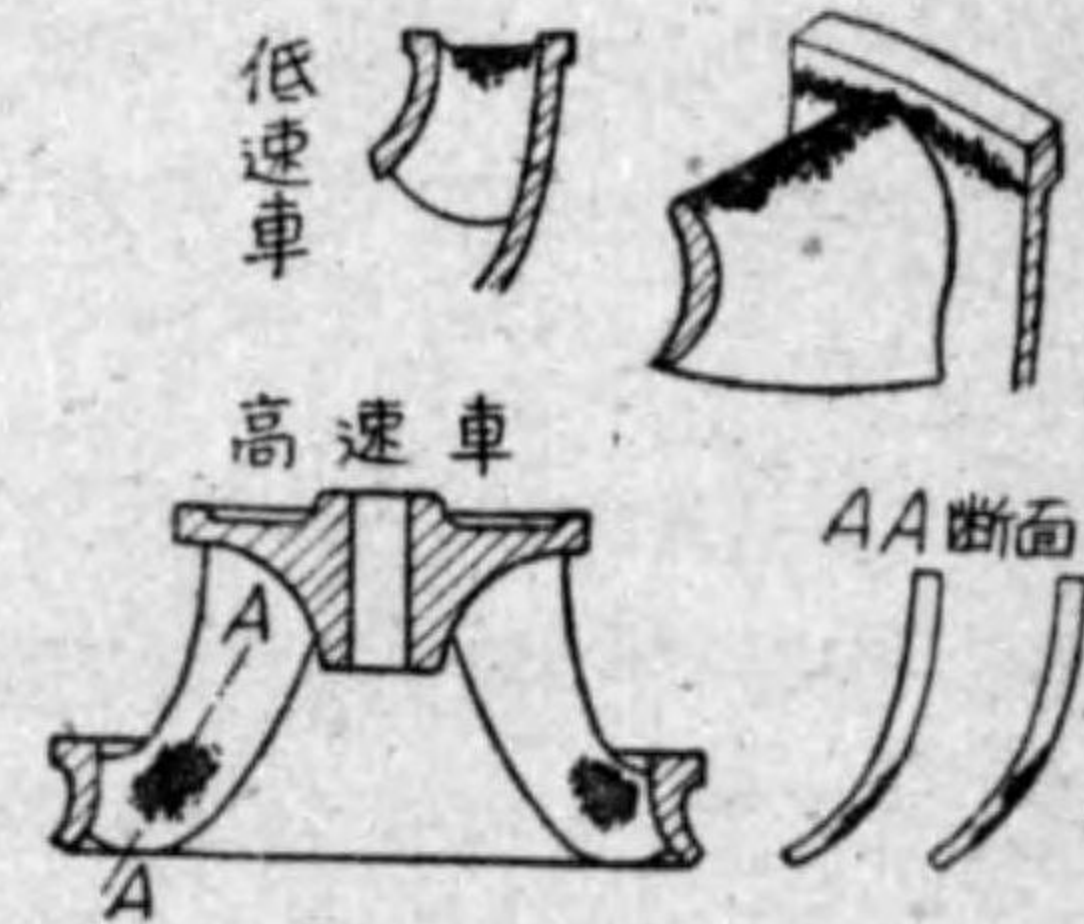


バケット腐蝕の有様

れてゐる。

近來水車の腐蝕の虞れが多くなつた原因としては、一定の落差に對し特有速度を從來よりも高く取る事と、水車一臺の容量が増した事とを擧げて居る。特に横軸のものでは羽根車の位置が高く置かれて吸出高さが高くなり、従つて水車翼の出口の壓力が以前よりも低下した事に在る。殊に壓力の低下が翼面の局部に發生するので恐ろしいのである。プロペラ水車に於ては一層この現象が起りやすい。即ちプロペラ水車に於ては翼數が少いために單位面積に働く壓力が大となり、同時に背部に働く負の壓力が増して中空流 (cavitation) を起しやすく、爲に腐蝕は増進する。

第10・4圖



ランナ腐蝕の有様

翼の腐蝕される個所は、低速車と高速車とで、その場所を異にする。第10・4圖はその例を示したもので、低速車に於ては主として入

口及び翼の背後が侵され易く、高速車では出口の所が多い。

破損の原因は水中に混入された小石、木片等である。羽根車を流過する水の速度は相當に大きいから、小石と雖も衝突する時は忽ち局部的に破損を起す。一度破損が起ると破片が次から

次に被害を及ぼす。木片は案内羽根又は羽根車の間に嵌り込んで制動（ブレーキ）の作用を爲して種々の被害を與へる。

以上の外に運轉中に起り得る故障としては、第一が軸受の過熱である。之は水車の回轉部分の不均一、据付當時の軸受の位置の不正確、運轉中の注油の怠慢等によつて起るものである。軸受に冷却水を送る管が木片等によつて閉鎖され、循環水が通らずして過熱する例もある。

反動水車に於て部分負荷の運轉を爲す時に、吸出管中に爆發的の音響を發する事がある。この原因は吸出管の所で述べた通り、中空流の發生のためと考へられるもので、斯様な時には、吸出管の頂部に空気を入れて真空を破る方法が行はれて居る。この時は勿論吸出管としての効果は減殺されてしまふ事は已を得ない。

其の他、調速機のベルトが切斷したり外れたりする様な事や、油ポンプの働きが弱つて油壓が低下したり、水壓によつて動かす各種のシリンダ内の水が氷結のために、内部のピストンを固着させたり等する事がある。何れも注意が必要である。

水車は毎月一回ぐらゐ局部的に分解して點檢する外、少くとも年一回は全部分解して、水車内部迄も立ち入つて點檢するを可とする。而して不良の個所は直ちに修理し、常に完全に近い状態で運轉を續く可きである。斯くする事は水車の壽命を長く

するばかりでなく、送電上にも満足が得られ、發電所全體としての能率の上にも却つて良いのである。

復 習 問 題 X

1. 水車の運轉の順序を述べよ（起動及び停止方法）。
2. 水車の運轉に於て案内羽根（フランス水車の場合）の開度に應じて水量、出力、能率等は一般に如何様に變化するか、線圖を用ひて説明せよ。
3. 水車の運轉特性曲線とは如何なるものか。
4. 水車に起る磨滅、腐蝕及び故障につきその發生機構と状態とを記せ。
5. フランス水車及びベルドン水車に於て最も磨滅又は腐蝕の起りやすい部分を圖面によつて示せ。
6. 水車に腐蝕の起る原因を挙げよ。
7. 水車に發生する機械的故障の主要なるものは何か。
8. 水車の保守に關して注意べき事項を述べよ。

第十一章 制 水 門

1. 制水門の使用個所及び種類 制水門 (gate) は堰堤の天端 (頂部) に設けて水位の調整を行つたり、土砂吐門、取水制水門、水槽水門等の各種目的に使用される。又洪水時に流石の激しい場所に、固定堰堤を設ける代りとして用ひることもある。

制水門の主要部分は開閉動作を行ふ扉と、それを両端に於て支持するための側壁又は堰柱 (pier) と巻上装置との三つより成立つ。側壁や堰柱は普通石工又はコンクリート工とする。これ等の相互間に橋を掛け點檢や修理を便利とした場合は堰柱の事を橋脚と稱することもある。

我國で主として使用する制水門の種類を挙げると

- (1) 角 落 (2) 堰板工 (3) 水 門
(4) 轉動堰 (5) テンタ水門 (6) 自動堰

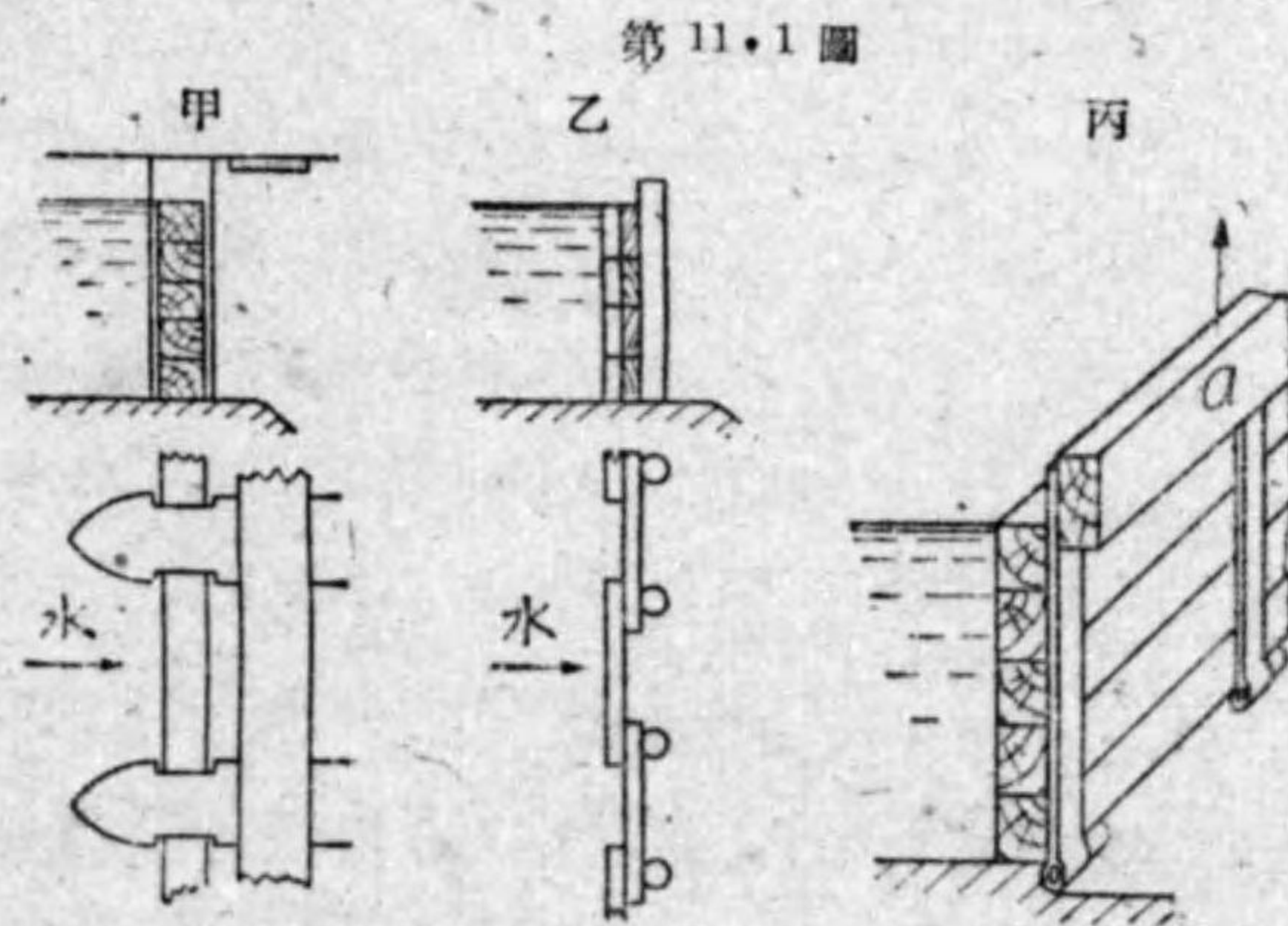
等がある。

2. 角落及び堰板工 角落 (stop log) は第 11.1 圖の様に堰柱の豎溝に角材 (木材又は工形鐵材) を嵌入れたもので、角材の數で堰高を加減する。角材の嵌込みは一つ一つ棒で押込

んで行ふが、取外しは巻上機 (ウインチ) を使用して行ふ事もある。角落は構造簡單で工費が廉いが、操作に時間が掛る欠點がある。従つて取外しに急を要する所には使用出來ない。

これを使用する場所は主として取水口で取入流量の調整、上水の取入等の目的、又は假水門などである。假水門と云ふのは次節に述べる普通門扉に對し豫めその上流面に角落用の豎溝を設けて置き、門扉の故障修理中のための一時的な水門として用ひるものである。

堰板工 (flash board) は決瀉板とも云はれ、第 11.1 圖乙の様に適當の間隔に設けた支柱の上流側に單に板を當てたものである。支柱は底部の承孔にパイプを挿込んだもの等が用ひられ

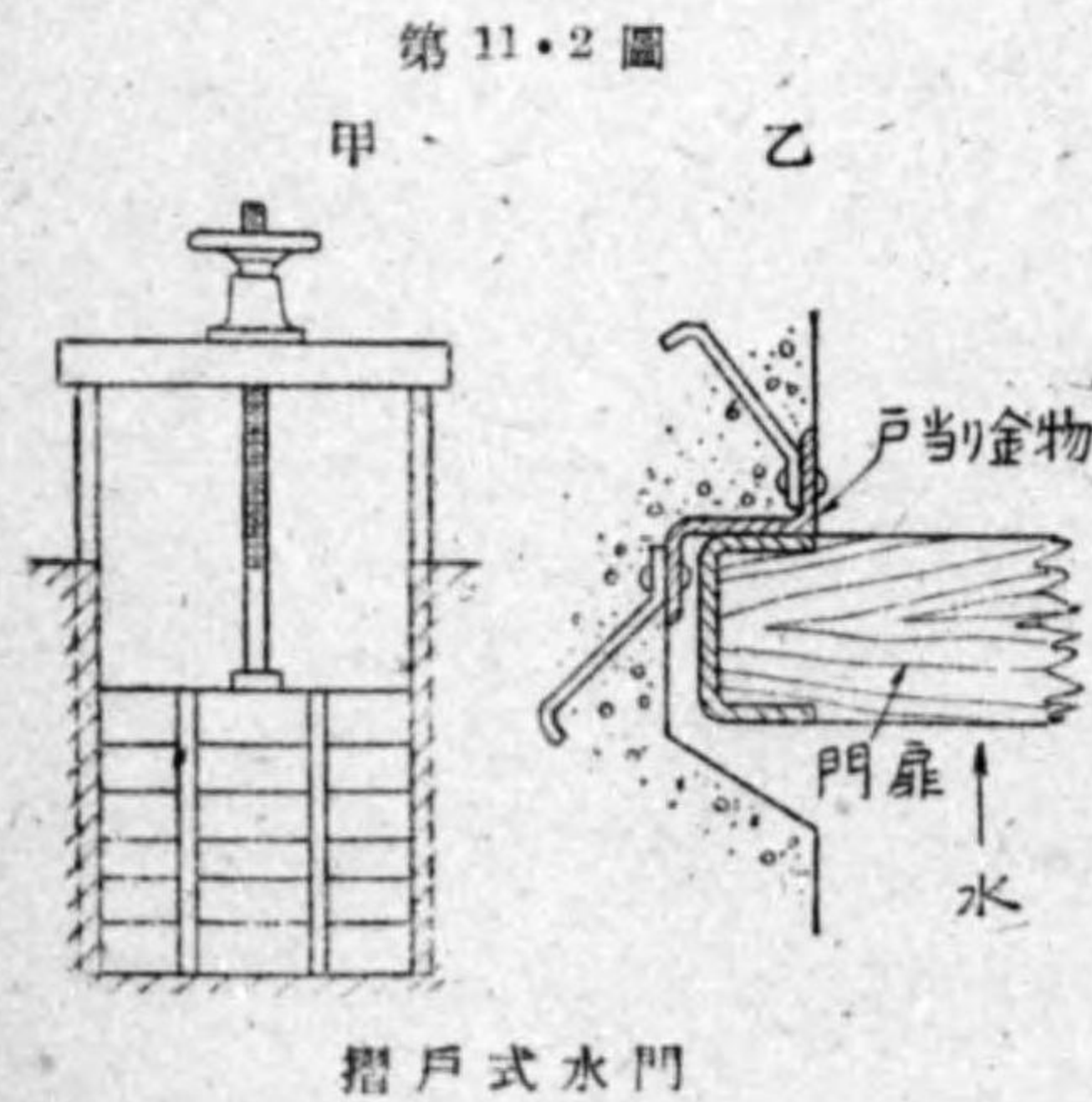


角落及び堰板工

る。水位が或る高さに達すると水壓のために支柱が折れ曲り又は板が彎曲して自然に開放される。従つて角落の様に取り外しの手数を要しないから、堰堤の頂部に河川を横断して設け、水位を調整する目的等に用ひる。

堰板工には支柱から外れた板を放流させない様に工夫したもの、又は第 11・1 圖の様に支柱の後方を横梁 α で支へて置き必要の際これを巻上げれば直ちに確實な開放動作が出来るやうにしたもの等がある。

3. 水 門 ここに云ふ水門とは矩形板状の扉を上下に動かして開閉する門扉で、引揚門扉とでも稱すべきものである。



水門の扉は小型のものは普通木製、大型のものは鉄製とする。又開閉の時の摩擦を少なくする爲ローラを用ひるものと然らざるものがある。

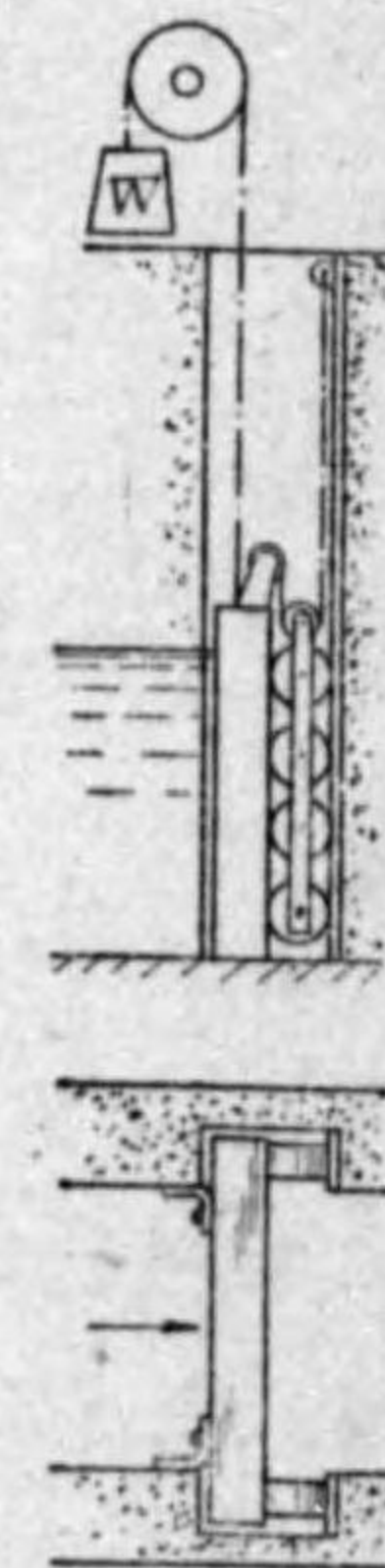
摺戸式水門は第 11・2 圖甲の様なもの、同乙

圖の様に扉及び堰柱の溝に砲金等の戸當り金物が張つてあつて、これと扉とが直接接触し、全く摺動に依つて上下するものである。従つてこの水門は開閉に大きな力を要するため、徑間 4m、高さ 3m 以下の小型のもので且つ水深が浅く水壓の餘り掛らぬ處に用ひる。特に水密（水止め）の装置を施さなくとも良い特長がある。

ローラ附水門は溝と扉との接觸にローラを仲介としたものであつて、開閉の摩擦抵抗が少いから、大型の水門とか位置が深くて大きな水壓を受ける處に用ひる。

第 11・3 圖

ストーン水門 (stoney gate) は第 11・3 圖の様に溝の戸當り金物と扉との間に、扉とは全然別個に成つた一連のローラ車を置いたものである。重錘 W は扉及びローラ車の重さと釣合つて居る。扉が上昇するとローラ車も滑車の理によつてその半分の高さだけ昇るから摩擦が非常に小さい特徴がある。

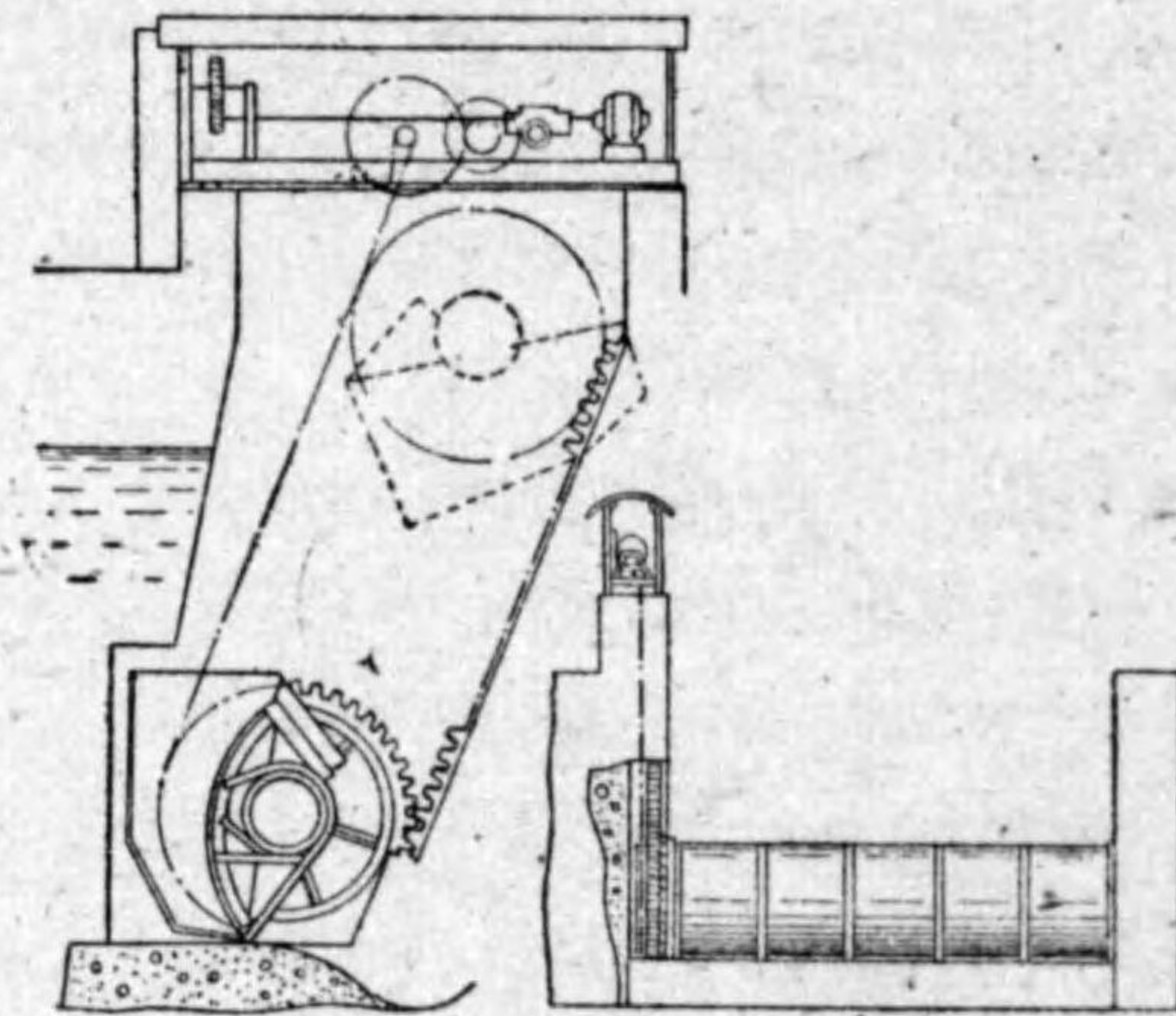


ストーン水門

4. 轉 動 堰 轉動堰 (rolling dam) は鋼の中空製圓筒を扉の主體としたもので、水壓で潰されない様内部に鐵骨が張つてある。第 10・4 圖の様に圓筒の兩端に巻上げ用の

鎖又はワイヤ・ロープが巻付けてあり、又それに並んで圓筒の周に齒車を有して居る。卷上機で鎖又はワイヤ・ロープを巻取ると側壁に傾斜して設けた軌條の齒とかみ合ひながら、扉が卷上げられるのである。

第 11・4 圖

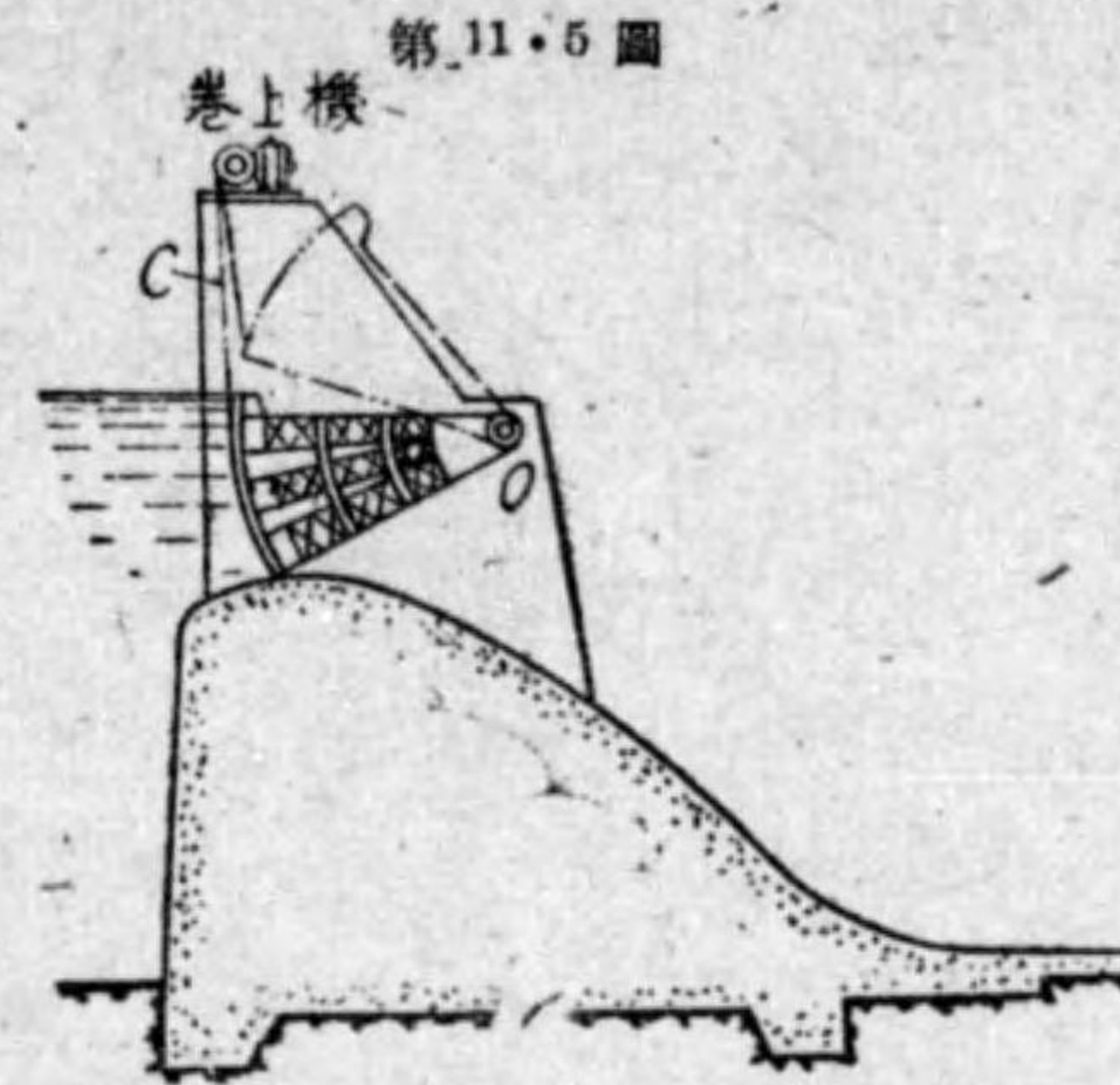


轉 動 堰

轉動堰の特徴は他の水門に比較して徑間の長いものを作ることが出来、橋脚の間隔が廣くなるため、洪水時に流木等が引掛つて水門を塞ぐ虞のない事である。最近我國に直徑7米、長さ40米に及ぶものが製作された。

5. テンタ水門

テンタ水門 (tainter gate) は堰堤式發電



テンタ水門取付圖

所の様な高堰堤の天端に設け、水位の調整を行ふものに多く用ひられる。第11・5圖の様に鐵板を圓弧状に作り丁度扇のかなめに相當する0點を支點として橋脚に取付け、Cのワイヤ・ロープで卷上げる

のである。

テンタ水門の特徴は扉の受ける水壓が總て0點に集中されるため卷上の際の摩擦が極めて小さいこと、徑間は短いが高さの點では他の門扉に比較して大きなものが出来ること及び、卷上速度が速いこと等である。

幅 10 米、高さ 10 米に及ぶものが少くない。

6. 水扉卷上装置

水扉の卷上はその動力關係から

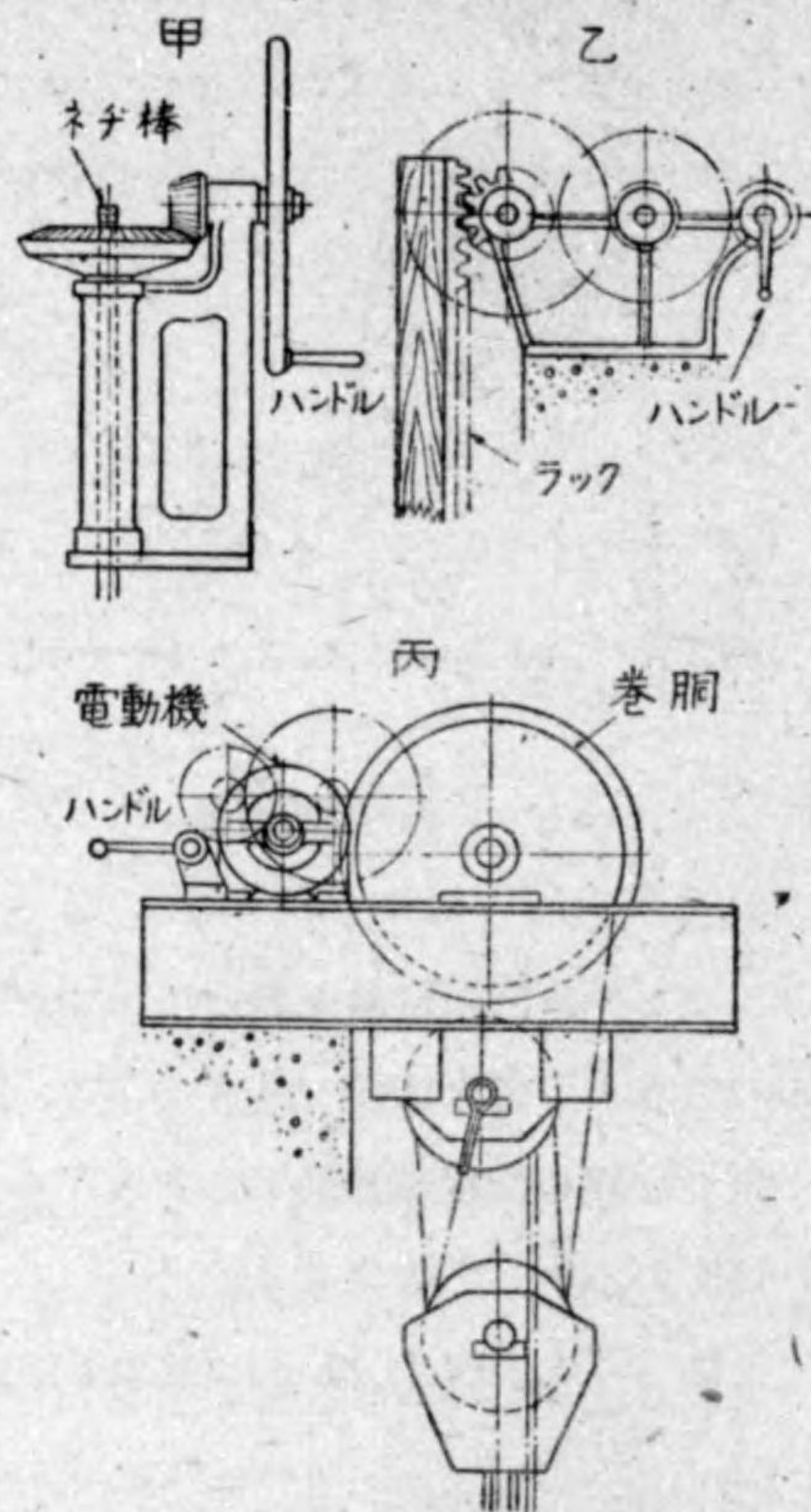
- (1) 手動式 (2) 電動式

の二つに分けられる。手動式は小型の水門に用ひ、電動式は大型の水門や轉動堰、テンタ水門等に用ひる。水門の卷上装置は

極めて重要であつて、
若し必要の際に水門が
開かない様な事がある
と非常な災害を惹起す
ることがある。故に電
動式の場合でも非常用
として一般に手動も出
来る様に成つて居る。
又重要な場所の水門に
は停電時のための豫備
発電設備を水門附近に
設ける事もある。運轉
員は充分に注意して保
守を怠らず、圓滑に動
作する様常に準備して
置かねばならぬ。

卷上装置は (a) ラ
ック (ruck) 又はネジ
棒 (screw rod) を門扉
に取付け、これに齒車を結合して開閉するものと (b) 鎖又は
ワイヤ・ロープを取付け、これを卷上機の圓筒形卷胴に卷取つ

第 11.6 圖



各種水扉卷上装置
甲ネジ棒式 乙ラック式 丙卷胴式

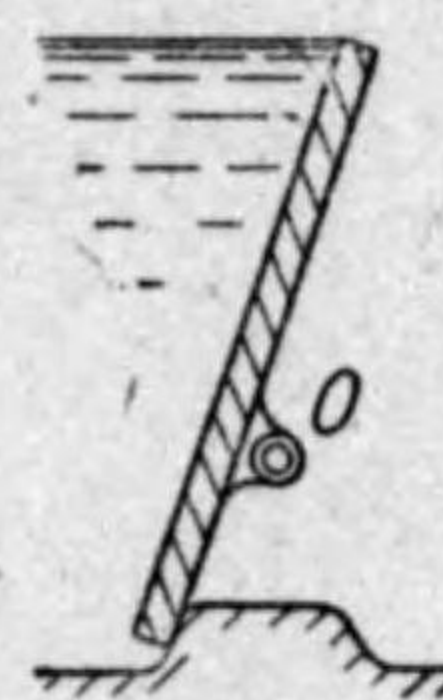
て開閉するものとある。

卷上速度は大體テンタ水門で1.3米(毎分)他の水門では0.6米
(毎分)程度にする。

7. 自動制水門 水位調整の安全を期すために、水位の
變動に應じて自動的に動作する様にした水門である。それにも
一定以上の水位になつた時に水扉を開くだけで、閉ぢるには人
力に依るものと、水位の高低に應じて水扉の開きを加減するも
のとある。又動作原理から分類すると次の三つとなる。

- (1) 扉に働く水壓を利用したもの
- (2) 浮を取付けてそれに働く浮力を利用するもの
- (3) 電氣的操作に依るもの

第 11.7 圖



自動橋堰

第 11.7 圖に示すものは自動橋堰と云ひ支點
Oを軸としたもので、扉に働く水壓の中心がO
・點を越すと扉は自動的に開くのである。
(2) は扉の面側に浮を取付けるもので水位が
増すと浮に働く浮力に依つて扉を倒すやうにす
る。
(3) の電氣的操作によるものは水位の變化に
依つて卷上用電動機の回路を自動的に開閉する様にしたもので
あつて、操作の安全且つ合理的なること、又普通の水門に其儘

取付け得る點で最も推賞されて居る。

復 習 問 題 XI

1. 制水門の種類を挙げよ。其のうち最も簡単なもの、最も長大なものはどれか。
2. 堰板工と角落との相違する點を示せ。
3. 水門を二種に區別し、其の優劣を比較せよ。
4. 轉動堰の特色を述べよ。
5. テンタ水門の主なる目的及び開閉動作を示せ。
6. 水扉卷上方法の三種を示し、夫々の特色を比較せよ。
7. 自動制水門とは何ぞや、操作原理に依り三種に分けよ。

第十二章 堰堤及び附屬設備

1. 堰堤の分類 堰堤式發電所は勿論、水路式發電所の取水口にも、河川を横切つて堰堤 (dam) を設けることが第一に必要である。又天然の地形を利用して貯水池や調整池を設ける場合も、その一部に堰堤を築造する。今堰堤を各種の方面から分類して見ると次の様に成る。

(1) 使用目的の分類

- (a) 取水を目的とするもの (例 水路式發電所取水口)
- (b) 落差の集中と取水を目的としたもの (例 堰堤式發電所の堰堤)
- (c) 貯水を目的とするもの (貯水池又は調整池用)

(2) 材料上の分類

- (a) 木造堰堤 (wooden dam)
- (b) 土堰堤 (earth dam)
- (c) 石詰堰堤 (rock fill dam)
- (d) 石造堰堤 (masonry dam)

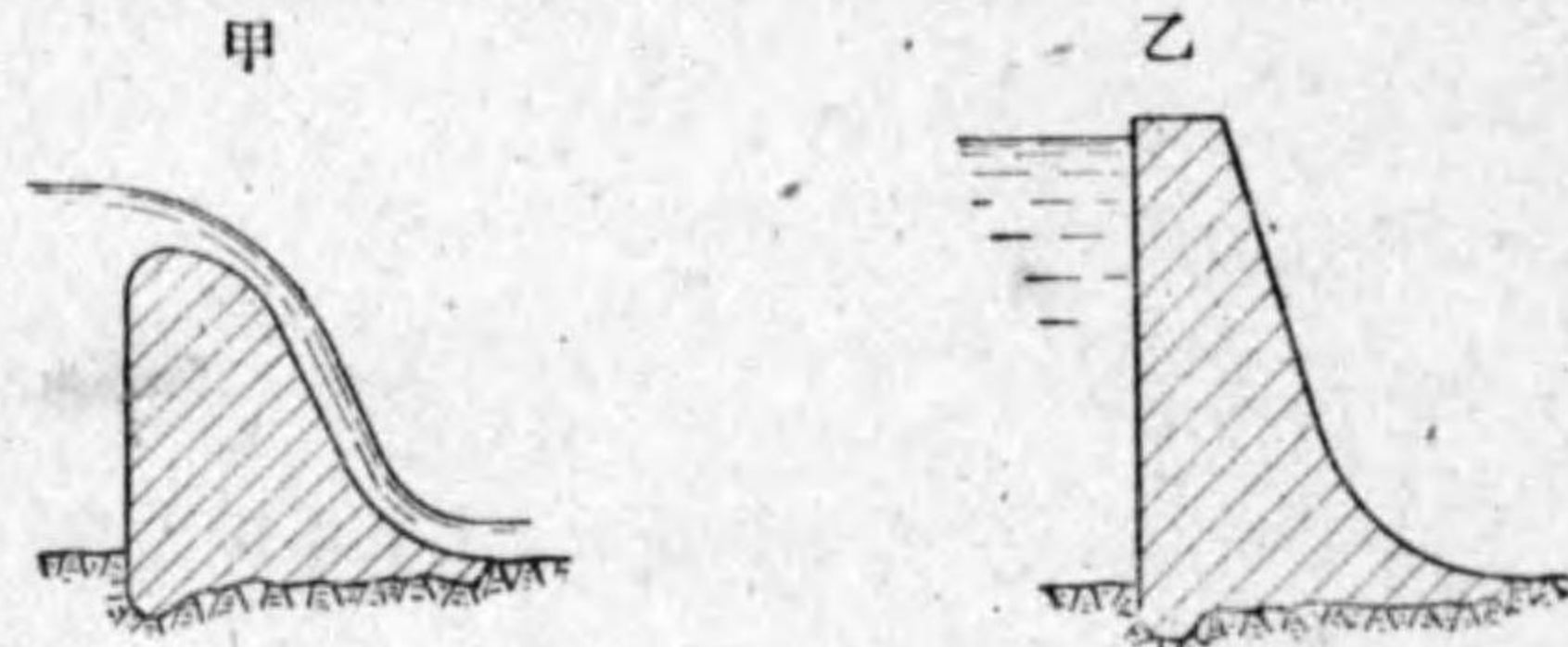
(3) 水の取扱ひ上の分類

- (a) 溢流堰堤 (overflow dam or spillway dam)
- (b) 非溢流堰堤 (non-overflow dam)

使用上の分類に於ける(a)は單に取水を支障なく行ひ得れば足りるから、その高さは普通10米以下の小規模のものである。然し(b)及び(c)の堰堤は一般に高堰堤で我國にも基礎岩盤上の高さ79.2米、天端に於ける長さ305米、天端の幅4.55米、底幅64米を有するものがある。

(3)の分類で(a)は第12.1圖甲の様に、餘剰水が堰堤の天

第12.1圖



溢流堰堤

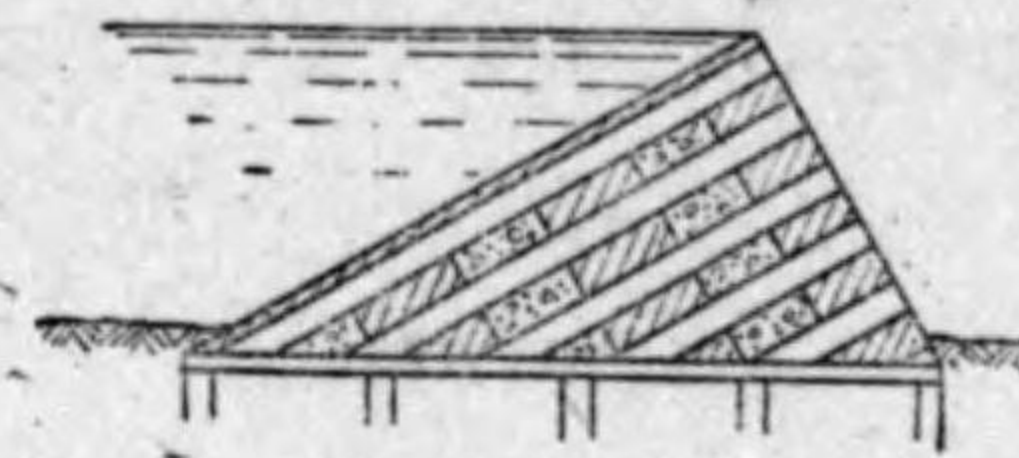
非溢流堰堤

端を溢流する様に作ったもの、(b)は同圖乙の様に全然溢流しないものである。一般に河川を横切つて設ける堰堤は、洪水時等に多量の餘剰水を放流しなければならないから、斯る堰堤はその一部又は全部を溢流堤の構造として築造する。

2. 木造堰堤

木材を適當に枠組して間隙に玉石、砂礫等を詰込み、その表面を板張りにして作る。建設費は安いが壽命が5~6年の短かさなので永久的のものには用ひられない。

第12.2圖



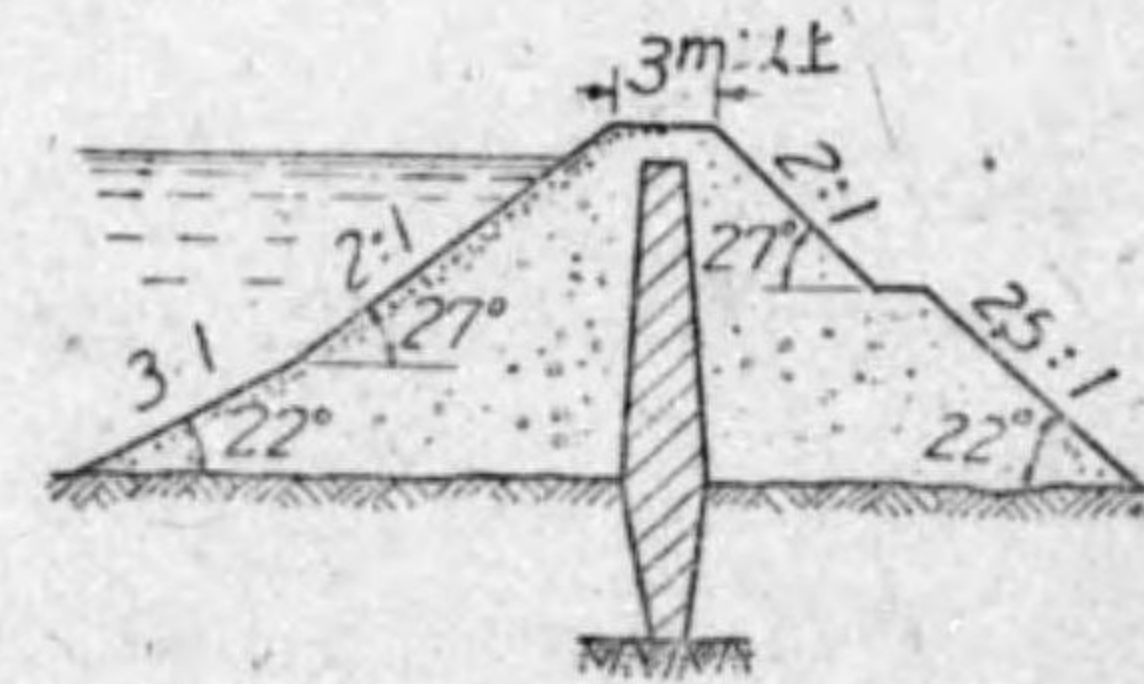
木造堰堤

従つて假取水口工事や極く小規模の堤堰に用ひ、又非常に荒れる河川に用ひる程度のものである。

3. 土堰堤

溢流には極めて弱いから非溢流堰堤の構造としてのみ用ひられる。使用場所は主に貯水池や調整池等の堰堤である。粘土又は砂等を混合したもので築造し、傾斜面の保護として上流面は張石又はモルタル等を施し、下流面は張芝を行ふ。上流面の傾斜は普通2割(水平距離2對垂直高さ1)乃至3.5割、下流面2割

第12.3圖



土堰堤

内外とする。

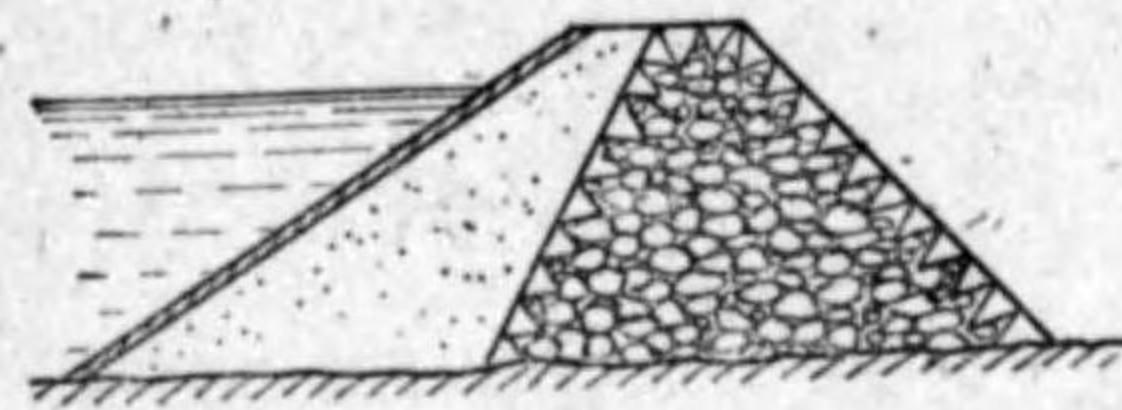
又土質に依り水が滲透する虞れある時は、中心に粘土又はコンクリートの心壁を用ひ、これを堰堤基礎の不滲透地盤まで達せしめる。

この堰堤は基礎地盤の強固な事を餘り必要とせず、又附近に適當な質の土があれば安價に築造出来る特徴がある。而し工事

期間が長く、大きな労力を要する事が缺點である。

土堰堤の高さは 50 米位が限度であらう。現在我國での最高のもものは 44.5 米である。

第 12・4 圖



石 詰 堰 堤

土堰堤の下流側半分を切石詰としたものを、石詰土堰堤と云ひ土壤部分で滲透を防ぎ、石詰の部分でこれを支持する。上流面は石又はモルタルを施し、必要に依つては心壁も入れる。この堰堤は石が近くに多量得られる所では有利であるが、石詰には相当手数が掛る。非溢流堰堤として用ひるのであるが、溢流を起す様な事があつても土堰堤より危険が少ないのが特徴である。

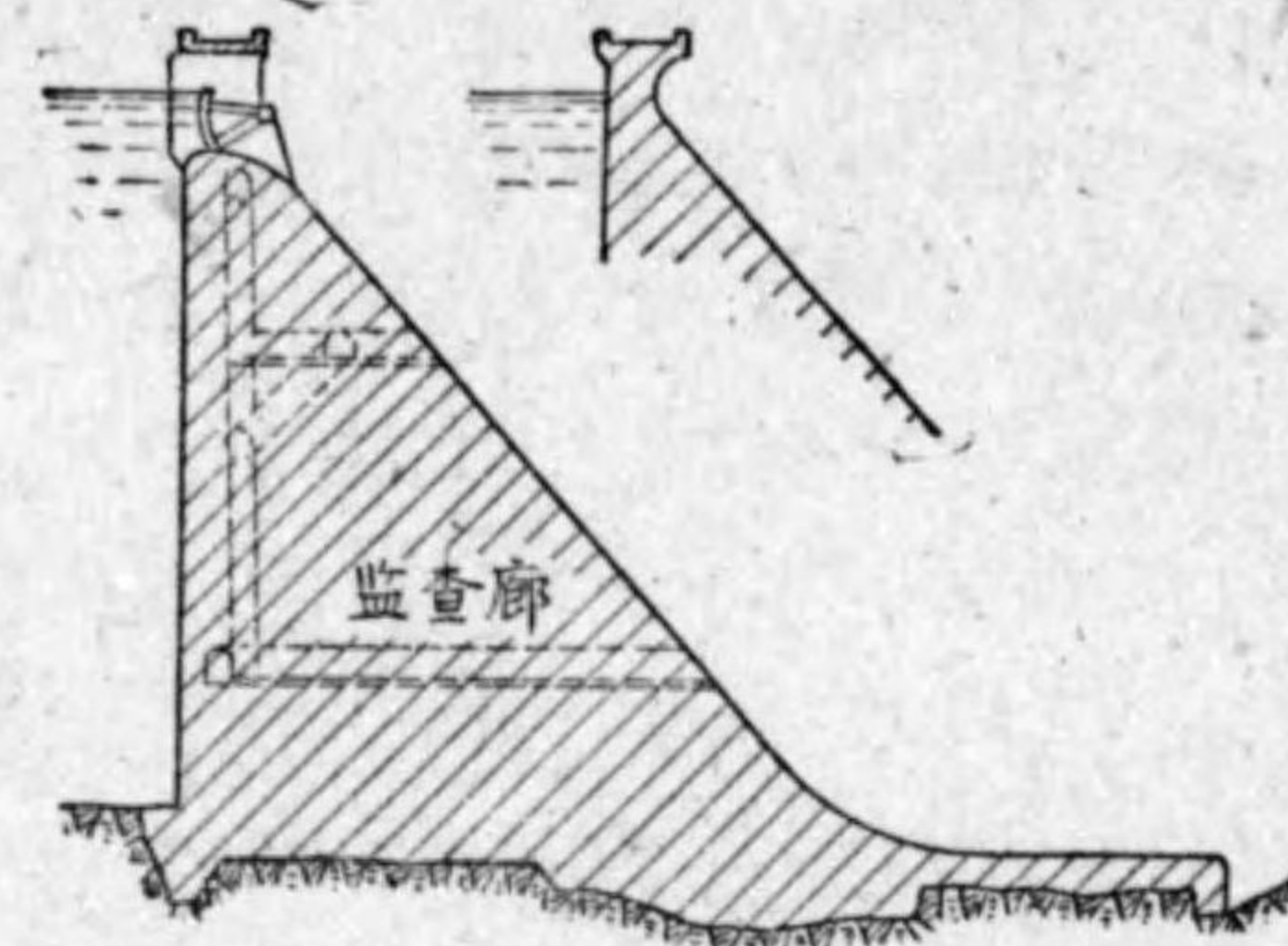
石が近くに多量得られる所では有利であるが、石詰には相当手数が掛る。非溢流堰堤として用ひるのであるが、溢流を起す様な事があつても土堰堤より危険が少ないのが特徴である。

4. 石造堰堤 設計上から (1) 重力堰堤 (gravity dam), (2) 中空堰堤 (hollow dam), (3) 拱堰堤 (arch dam) の三つに分類される。

(1) 重力堰堤 各種堰堤中最も多く用ひられて居る。現在世界の高堰堤は殆どこれである。その理由は堰堤自身の重さに依つて滑り及び轉倒に耐へるからである。材料は玉石入又は割栗入コンクリートを中埋とし、その表面に張石を行つたもの、上記の中埋に表面をコンクリートとしたもの (コンクリート重力

第 12・5 圖

溢流部 非溢流部



重 力 堰 堤

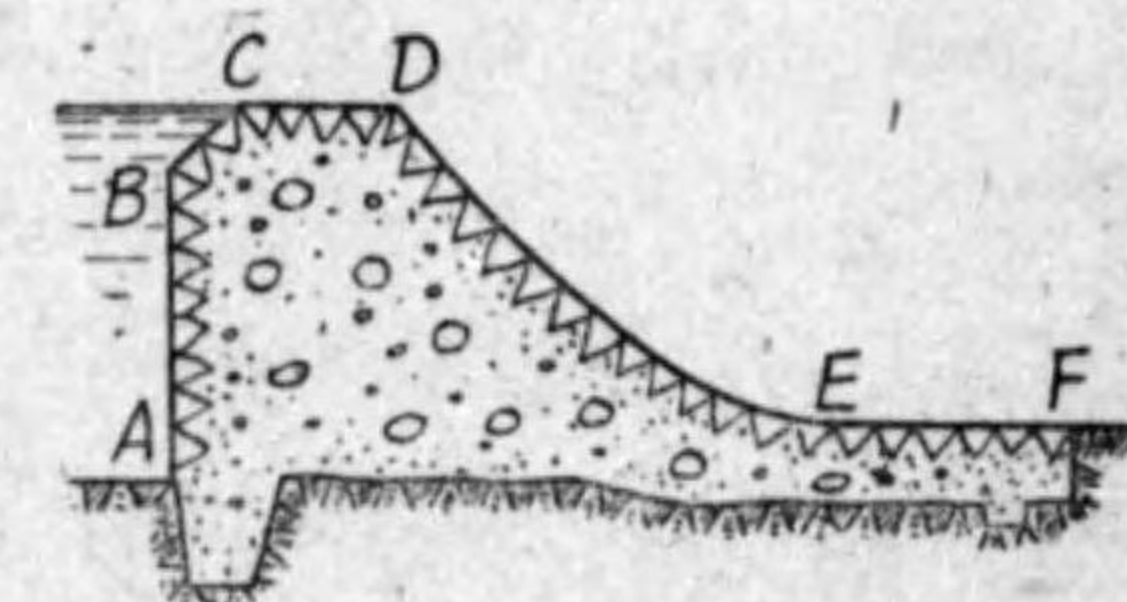
堰堤と云ふ)、
或は全部コンクリートで造つたものがある。

重力堰堤は原理上重量を重く作られなければならないから、材料を多量に要するため工費が

比較的高く、且つ基礎地盤としては岩盤を必要とするが、工法が簡単であつて、工事期間が短く且つ充分強固な堰堤が得られる特徴がある。第 12・5 圖

第 12・6 圖

は其の一例である。内部に監査廊を設けセメントの硬化熱及び外氣温度の變化に基ずく伸縮や滲透水の有無



水陸式發電所の取入口堰堤

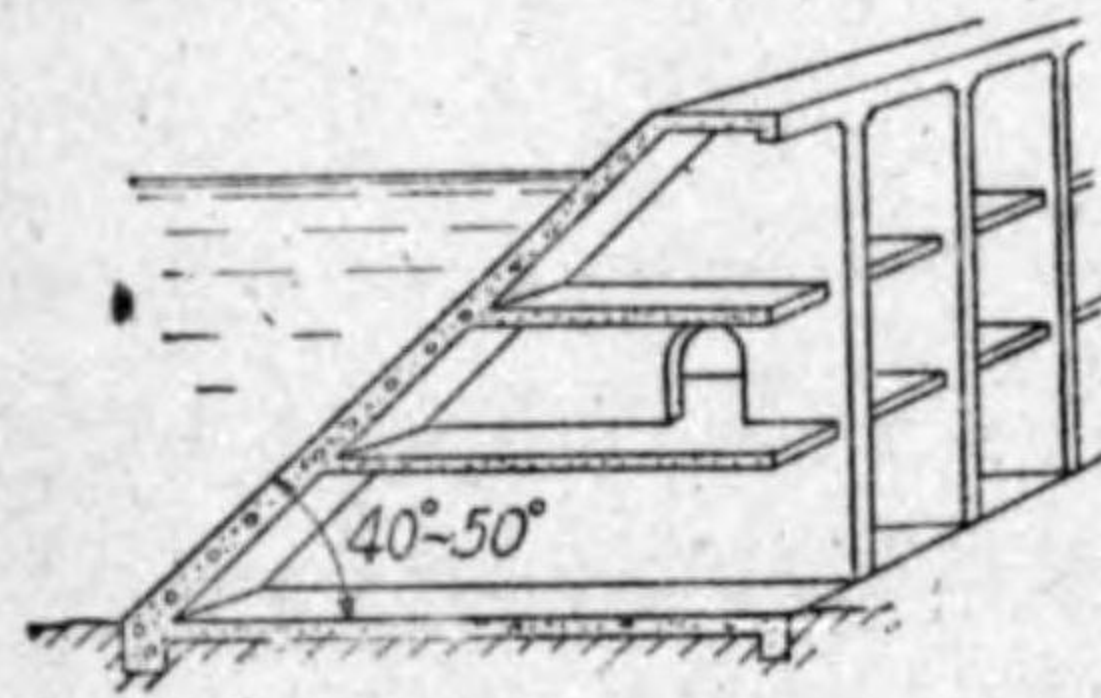
(之があると堰堤全體を上方に押上げる力が働く) 及び龜裂の發見に供してである。

水路式發電所の取水口堰堤として高さ 4 米以下のものには一種の溢流型重力堰堤と見做し得る第 12・6 圖の様な形の堰堤

が一般に用ひられる。即ち AB 面は殆ど垂直、 BC 面は 45° 、 DE 面は 3 割程度の傾斜とし、表面に張石を行ひ、内部は玉石又は割栗入コンクリートとして築造したものである。

重力堰堤が安全なるための条件 重力堰堤が安全なるためには ① 堰堤に張力が働かぬこと ② 滑りを起さぬこと ③ 轉倒せぬことの三条件を満足することが必要である。

第 12.7 圖



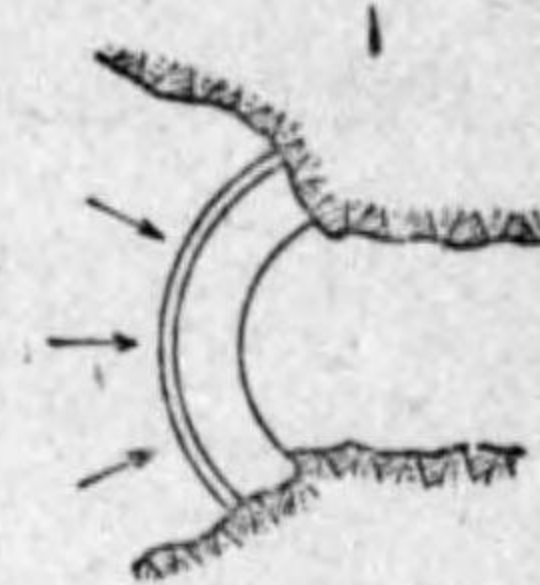
中空堰堤

(2) **中空堰堤** 之は第 12.7 圖のやうに $40^\circ \sim 50^\circ$ に傾斜した鉄筋コンクリートの壁を止水壁として水を堰止めこれを後方から適當の間隔に設けた鉄筋コンクリートの扶壁で支へたものである。

止水壁の傾斜は極く緩い傾斜に造るため、この壁に働く水壓の垂直分力が大きくなり堰堤自體の重さを低減することが出来る。従つて重力堰堤に比較して材料が半分以下で済み、且つ基礎地盤としても重力堰堤程良質のものを要しない特徴がある。しかし重力堰堤よりも工法が複雑であり、強度の點が劣つて居る。そのため流木、筏等の突當る虞れのある様な所には使用出来ない。調整池用の堰堤として最も廣く用ひられ、高さは現在我國では 35 米位までである。

(3) **拱堰堤** 兩岸に頑強な岩盤を有する様な場所に築造し得る堰堤である。堰堤全體を一つの拱形に作り、堰堤に働く水壓を拱作用によつて兩岸の岩盤で支へるものである。材料はコンクリート又は鉄筋コンクリートを用ひる。

第 12.8 圖



拱堰堤

特徴は重力型に比較して堰堤の厚みを薄くすることが出来て材料が節約されること、然も強度は中空堰堤よりも大きいこと等である。狭い所に効果がある。

我國の様な地震國では寧ろ重力堰堤の方が安全である。

5. 堰堤の附屬設備 堰堤の附屬設備としては

- (1) 土砂吐水門
- (2) 魚道
- (3) 流木路
- (4) 灌溉用水門

等であつて、必要に依りこれ等の全部又は二三が設けられる。

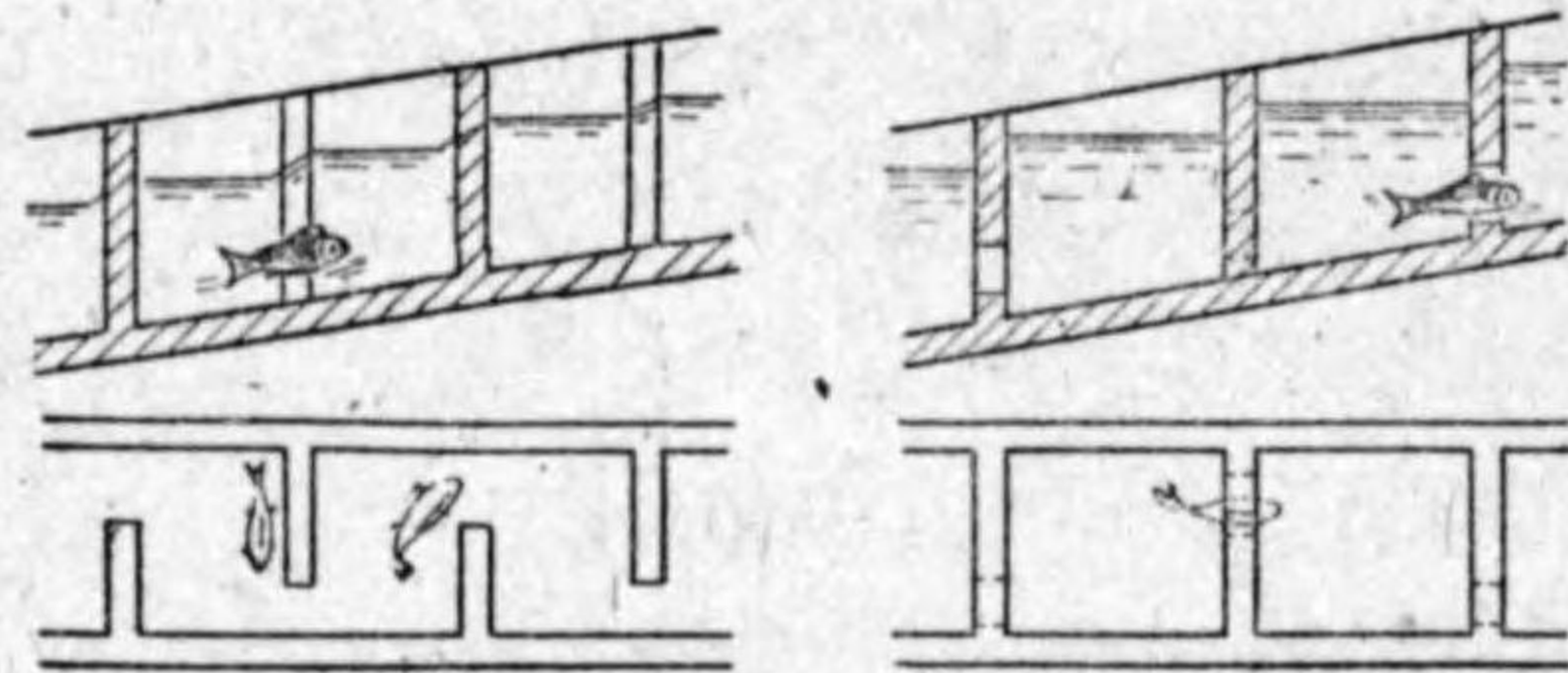
一般に堰堤の上流側には次第に玉石、砂礫等が堆積して來るものであつて、これを放置すれば取水に支障を來たし、又洪水時にこれが水路へ流れ込む虞れがある。

土砂吐水門はこの堆積物を時々下流に瀉流してやる爲に設けた水門であつて、その位置は取水口側に作る。又水門の敷の高さは大體原河川の河床高、若しくは稍高い位とし、敷全體に張

石を施して置く。堰堤式発電所の様な高堰堤には特に土砂吐水門を置かぬ事もある。

土砂吐水門を開く時は洪水時等の水の餘つて居る時であつて、餘剰水の放出と共に堆積物を瀉流せしめるのである。

第 12・9 圖



魚 道

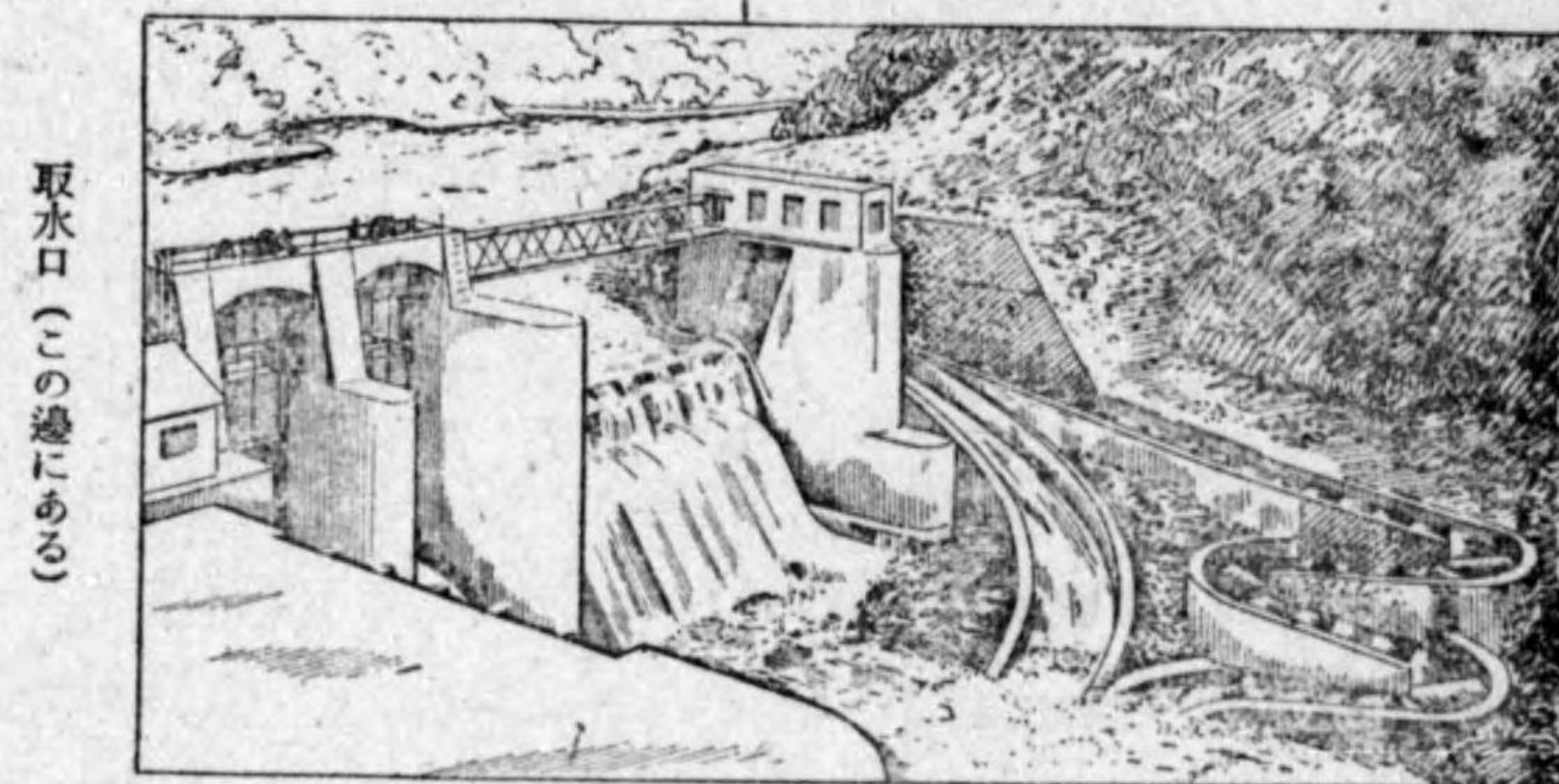
魚道は魚梯とも云ひ堰堤頂部に上流に向つて開口し、これから約 20 度の傾斜で下流側に下降させた一種の矩形開渠であつて、これに水勢を殺ぐための間仕切壁を適當に設けた第12・9圖の様なものである。魚の溯河期節に適度の水をこれに流下してやると、魚は巧みにこの内を溯るのである。

尙ほ高堰堤では魚道の代りにエレベータ式の魚掬上籠を用いたものがある。又これ等の施設をなさず季節々々に発電所で幼魚を上流に放流してやる所もある。

流木路は魚道より幾分急傾斜に作つた矢張り矩形の開渠で、此の場合は間仕切を置かない。平常は上流口に水門を有し、必

要に應じてこれに水を落して木を流してやるのである。大なる河川又は高堰堤で筏や船を通してやる設備即ち流筏路、船筏路、船筏軌道等を設ける場合がある。

第 12・10 圖



取水口 (この邊にある)

土砂吐水門 轉動堰 流木路 魚道
日本電力柳河原發電所取水口堰堤

灌漑用水の標準は大體 1 箇の水で 10 町歩の水田を灌漑し得ると云ふことに成つて居る。これは大約 1 立方米/秒で 25 平方畝に相當する。水田に水の必要なのは、6、7 月頃で所謂夏季の渇水期に及んで居るので、場合によると冬の渇水期より困ることがある。

尙ほ灌漑用水を水路の途中から分水してやる所もある。

6. 堰堤に對する注意 堰堤殊に高堰堤が若し決潰すれ

ば、その惨害の恐るべきことは云ふまでもない。斯る災厄の絶無を期し発電用高堰堤規則を制定、昭和10年6月15日より施行して居る。この規則は高さ15米以上の堰堤に適用されるのであつて、堰堤の工事及び保守に及んだものである。故に堰堤の工事及び保守に當つては充分この規則を守り萬全を期すべきである。以下堰堤に対する注意に就いて述べよう。

工事上の注意 先づ堰堤の位置及び型式の決定に就ては

- (1) 基礎地盤の性質
- (2) 貯水池設置の可能又は不可能
- (3) 材料の蒐集及び運搬の難易

等を主として考慮すべきである。

第12・11圖



堰堤溢流面の形

溢流堰堤で一般に注意すべき事は、溢流の際水が必ず堰堤の面に沿ふ様になることである。若し第12・11圖上の様に面に沿はないとそこが真空と成て堰堤が下流側に吸出される力を受け、又周期的に溢流水が堰堤に打着けられ、これが堰堤の固有振動數と一致すると、**堰堤の振動**を生ずる危険がある。

溢流堰堤で今一つ注意すべき事は堰堤下流の洗堀問題である。これは殊に高堰堤で甚だしいのであつて、若し設計が適切

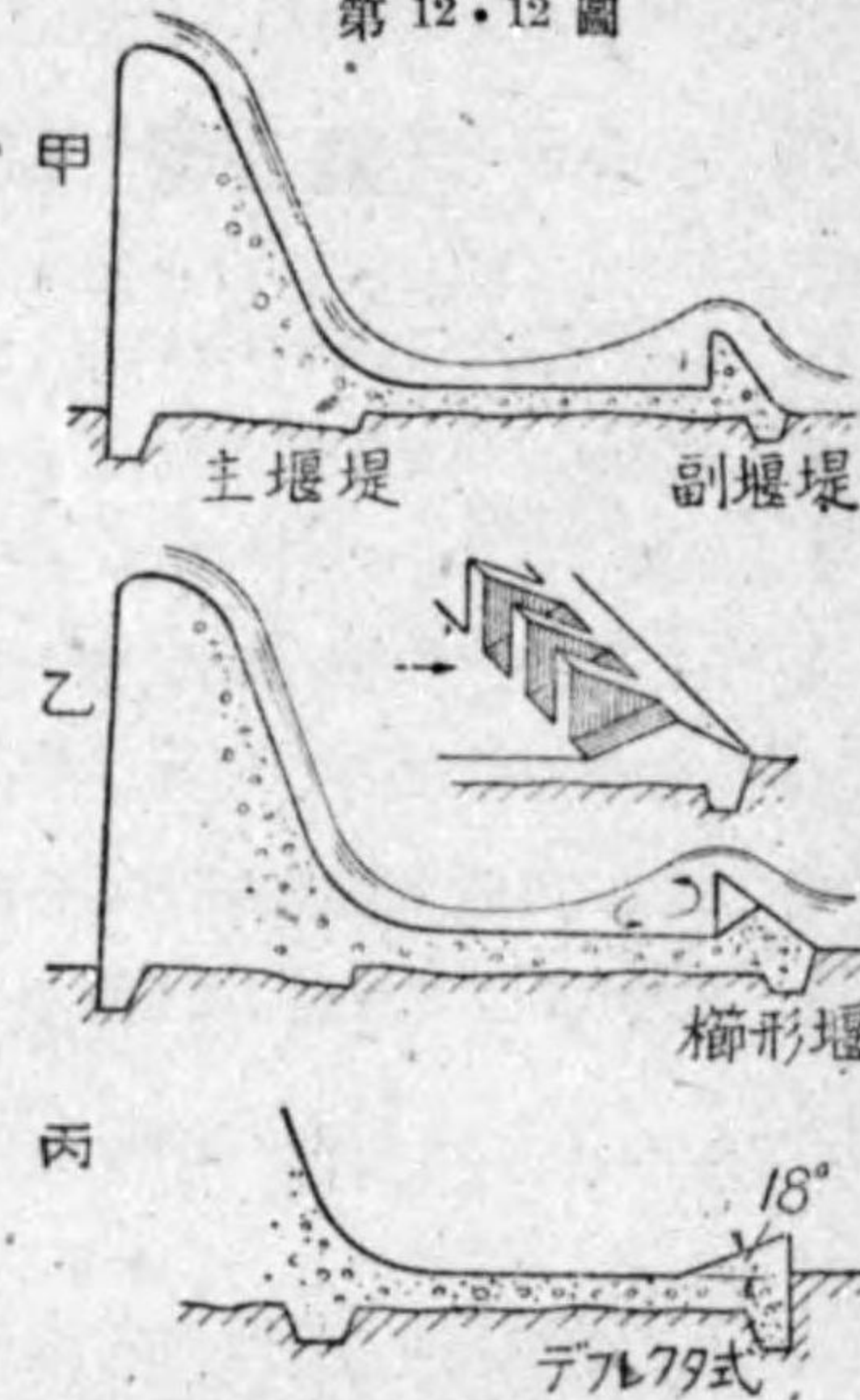
でないと洪水時に非常な勢で流下する溢流水のために堰堤下流が洗堀され、基礎岩盤を露出する様な危険を生ずるのである。

これに對し堰堤下流の水叩部に第12・12圖の副堰堤(甲)櫛形堰(乙)デフレクタ堤(丙)等を設け、溢流水の勢を殺いで洗堀を防止する様にしたものがある。

次に注意すべき事は水門の操作を誤らぬ事である。高堰堤の溢流部には天端に水門を設ける事は前に述べた。これがためには洪水を豫知することも必要であつて、常に水門の操作に支障なき様準備して置く事も必要である。若し操作に時を誤ると思はざる災害を惹起することがあるから大いに注意すべきである。

其の他の注意としては、冬期結氷を見る様な場所では、その氷壓のため堰堤頂部が破壊される事があるから堰堤附近殊に溢流部水門附近に適當の間隔に孔のある空気を設けて發電所の温氣を泡になつて上らせ、又は木材を置いて其の動搖で、或は

第12・12圖



備して置く事も必要である。若し操作に時を誤ると思はざる災害を惹起することがあるから大いに注意すべきである。

其の他の注意としては、冬期結氷を見る様な場所では、その氷壓のため堰堤頂部が破壊される事があるから堰堤附近殊に溢流部水門附近に適當の間隔に孔のある空気を設けて發電所の温氣を泡になつて上らせ、又は木材を置いて其の動搖で、或は

堰堤に電熱器を仕込んで結氷を防ぐ様にする事もある。又流木、流筏の多い河川では、これが堰堤に衝突したり取水に支障を來す様なことのない様注意しなければならない。

復 習 問 題 XII

1. 堰堤を使用目的及び材料上より分類せよ。
2. 木造堰堤の用途及び特色を示せ。
3. 土堰堤と石積堰堤と似て居る點と特に違つて居る點とを述べよ。
4. 石造堰堤の三種を挙げ、多く如何なる場所に使用せられるかを示せ。
5. 堰堤の附屬設備四を挙げ、各に就き效用を述べよ。
6. 堰堤に對する注意事項を挙げよ。

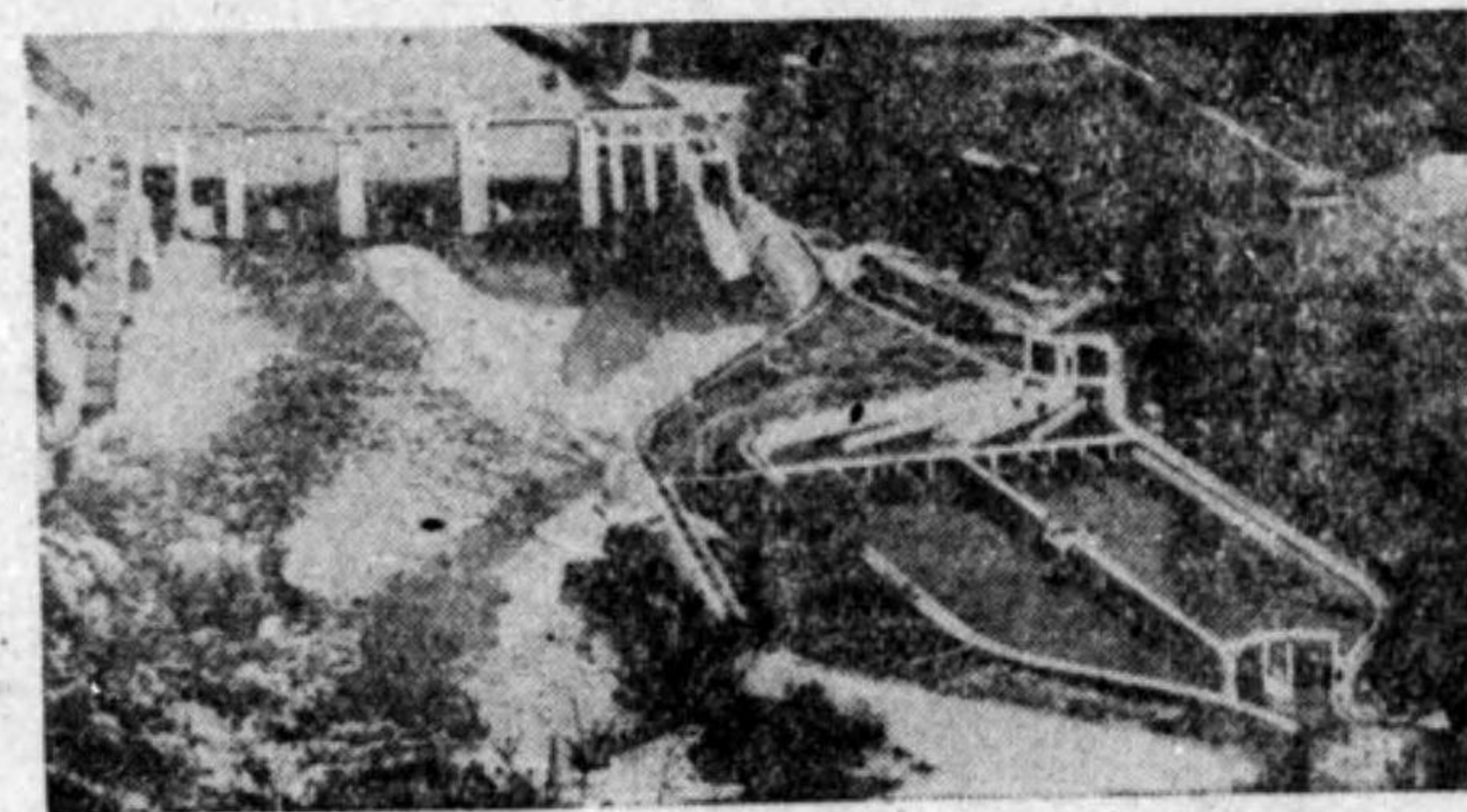
第十三章 取水口及び水路

1. 取水口一般 取水口 (intake) は堰堤で堰き止めた水を水路へ導入する口であつて、堰堤のすぐ上流で一方の岸に設ける。第 13・1 圖は水路式發電所の取水口全景寫眞、第 13・2 圖は同取水口の平面圖である。

取水口の工法は河川の狀況、地形等に依つて一様ではないが、一般的條件として水路に對し (1) 土砂、砂利、玉石等の流入を防止すること、(2) 流木、樹枝、流氷雪等の浮流物も入れないこと、(3) 發電所の要求に應じて取水量を調整出来ることの三つを行ひ得ることが必要である。

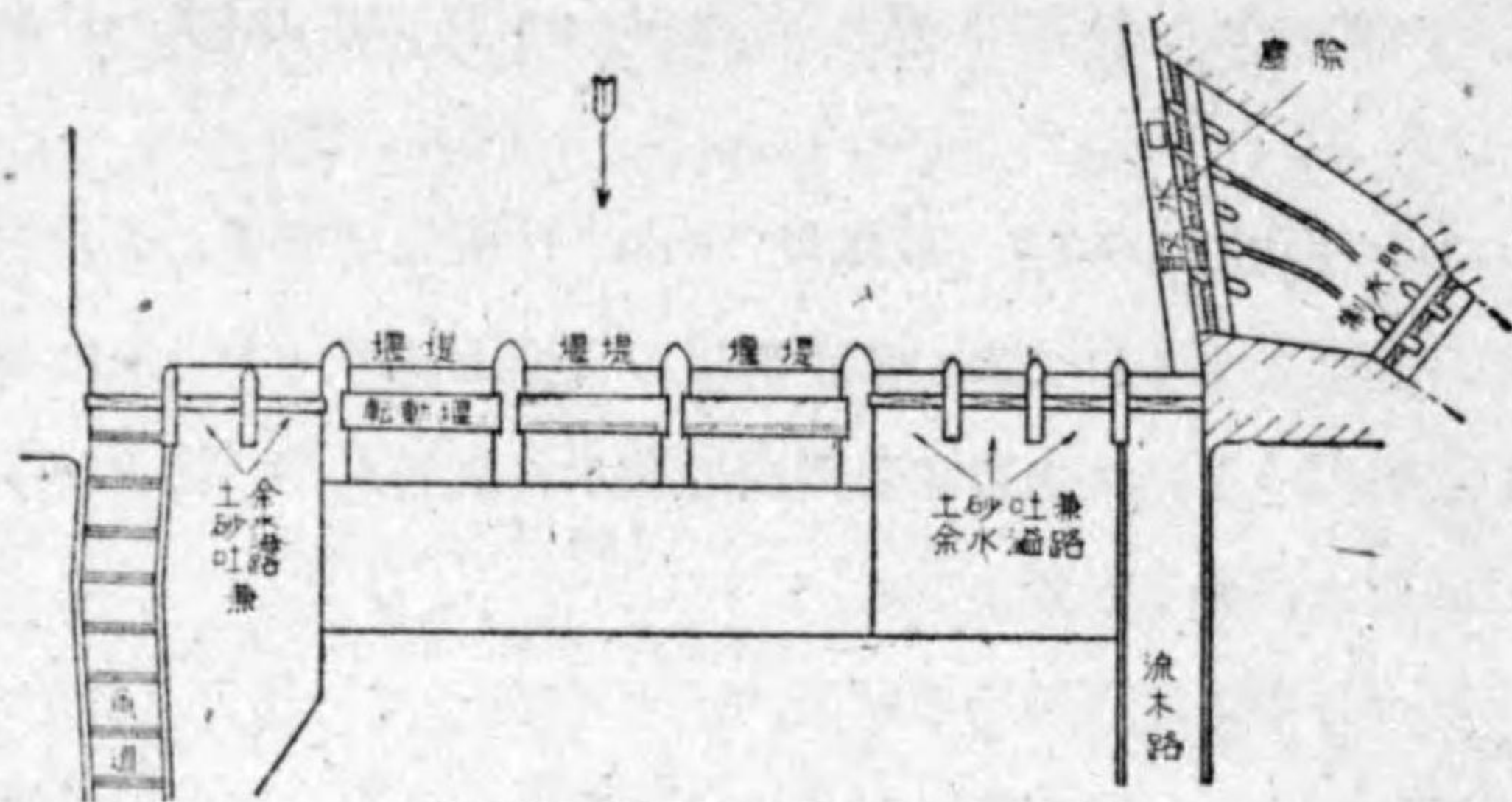
(1) に對しては土砂吐水門を堰堤の一端取水口側に設け、取

第 13・1 圖



取 水 口 全 景

第 13・2 圖



佐久發電所取水口平面圖の一例

水口の前に堆積する土砂、礫石等を洪水時等の餘水時に下流に向つて瀉流してやる。又一方取水口の敷を土砂吐水門の敷より1~2米高くするか、若しくは水中に沈んだ堤を設けて河底近くを流れる砂利、玉石類が流れて來て水路へ流入するのを防ぐ様にするのである。

(2)に對しては塵除を設け、流木等のある所では更にその前面に防材を並置する。又(3)に對しては取水口水門を設ける。

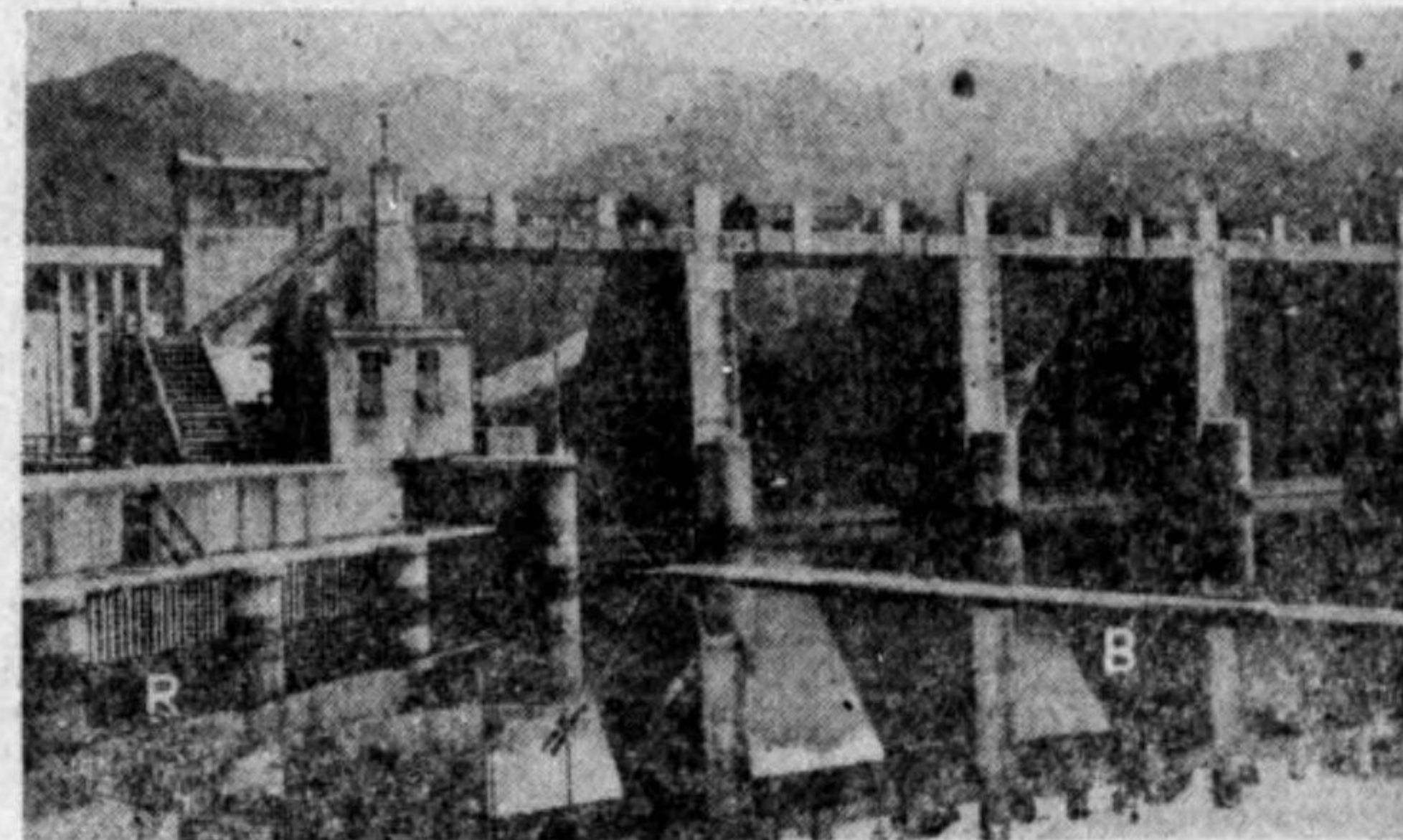
2. 塵除、防材及水門 塵除は厚さ0.5~1程、幅5~10程の鐵棒又は、10程角内外の材木を5~10程間隔に並べた格子状のもので、これを底面と約60度の傾斜で取水口前全體を

覆ふのである。従つて取水は總て塵除の間を通つて流入するから、浮流物は大概これに引掛つて仕舞ふ。而し塵除は相當水頭の損失を生ずるから、餘り間隔を狭める事は望ましくない。これに掛つた浮流物は時々熊手で搔上げてやる。落葉が多く水路に流入する所等では電動式自動搔上機械を装置した處もある。

流木、流筏等の多い河川ではこれが衝當つて取水口を破壊したり、取水口を塞いで取水に支障を來たす様な事がある。斯る場所では塵除の外に防材を設ける。防材の構造は木材を繋ぎ合せて作つた一種の浮棧橋の様なもので、これを取水口の前を遠巻きにして河中に浮かせる。第13・3圖に東信電力豊實發電所の取水口防材(B)及び塵除(R)を示した。

取水口水門は發電所の要求に應じ、又河の流量に従つて取水

第 13・3 圖

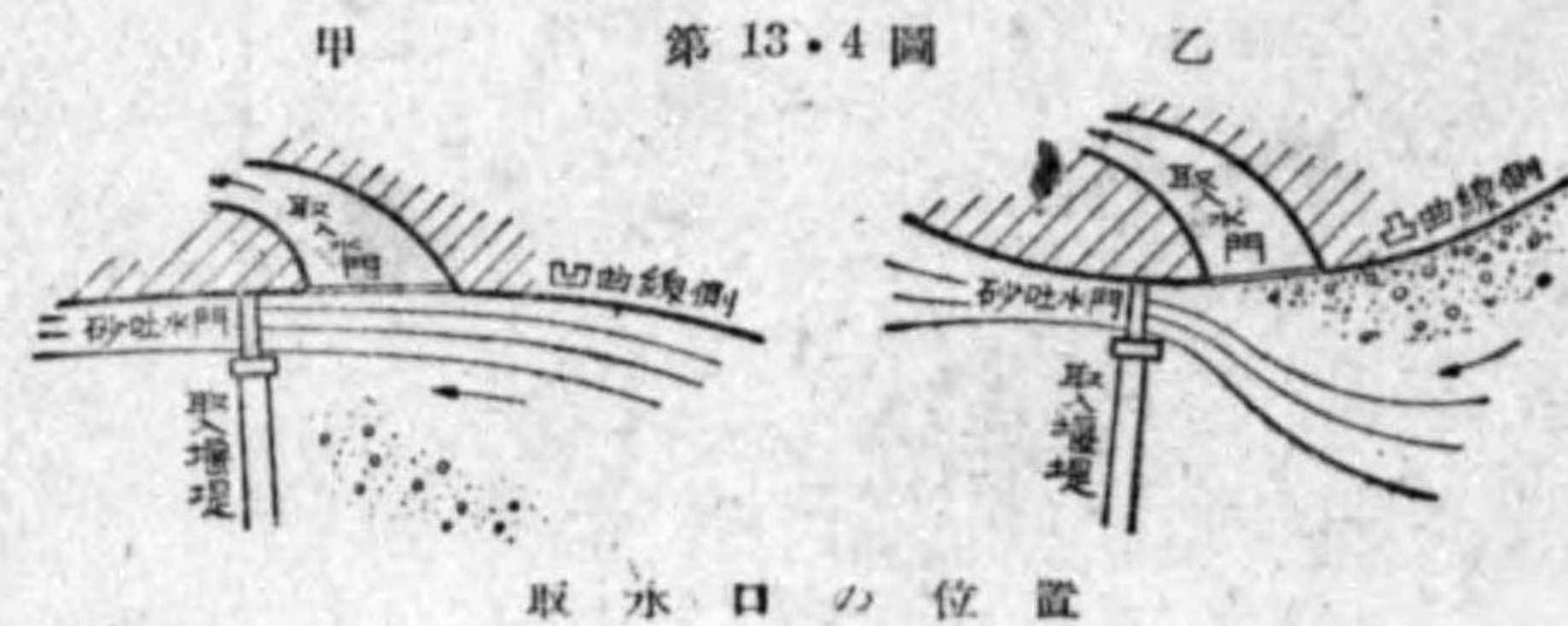


取水の塵除 (R) と防材 (B)

量を調整したり、洪水時には餘分の水が流入しない様にするための水門で、塵除に續いて設けられる。取水口水位と水門の開度に對して一定の關係があるから、豫め調査して置けば、其後は單にその時の水門の開度と取水口水位とを知つて取水量を推定することが出来る。さうして取水口の水位（水位標で讀む）と水門開度は一定時間毎に記録して置くが良い。

3. 取水口の位置 取水口の位置の選定は水力發電所設計の根本をなすもので、單位發電力當りの工事費を最小とする様にするのであるが、單に取水の便宜から言ふと通常發電所側の河岸に設け大體次の條件に従つて位置を選定する。即ち(1)河岸の幾分凹曲に成つた所か、又は直線に成つた所、(2)河床勾配の緩かな所、(3)地盤の成る可く良い所、(4)兩岸が丈夫で崩れない所等である。

若し取水口を凸曲部に設けると、たとへ土砂吐水門を開いても充分堆積物を瀉流する事が出来ず、第13・4圖乙の様に取水



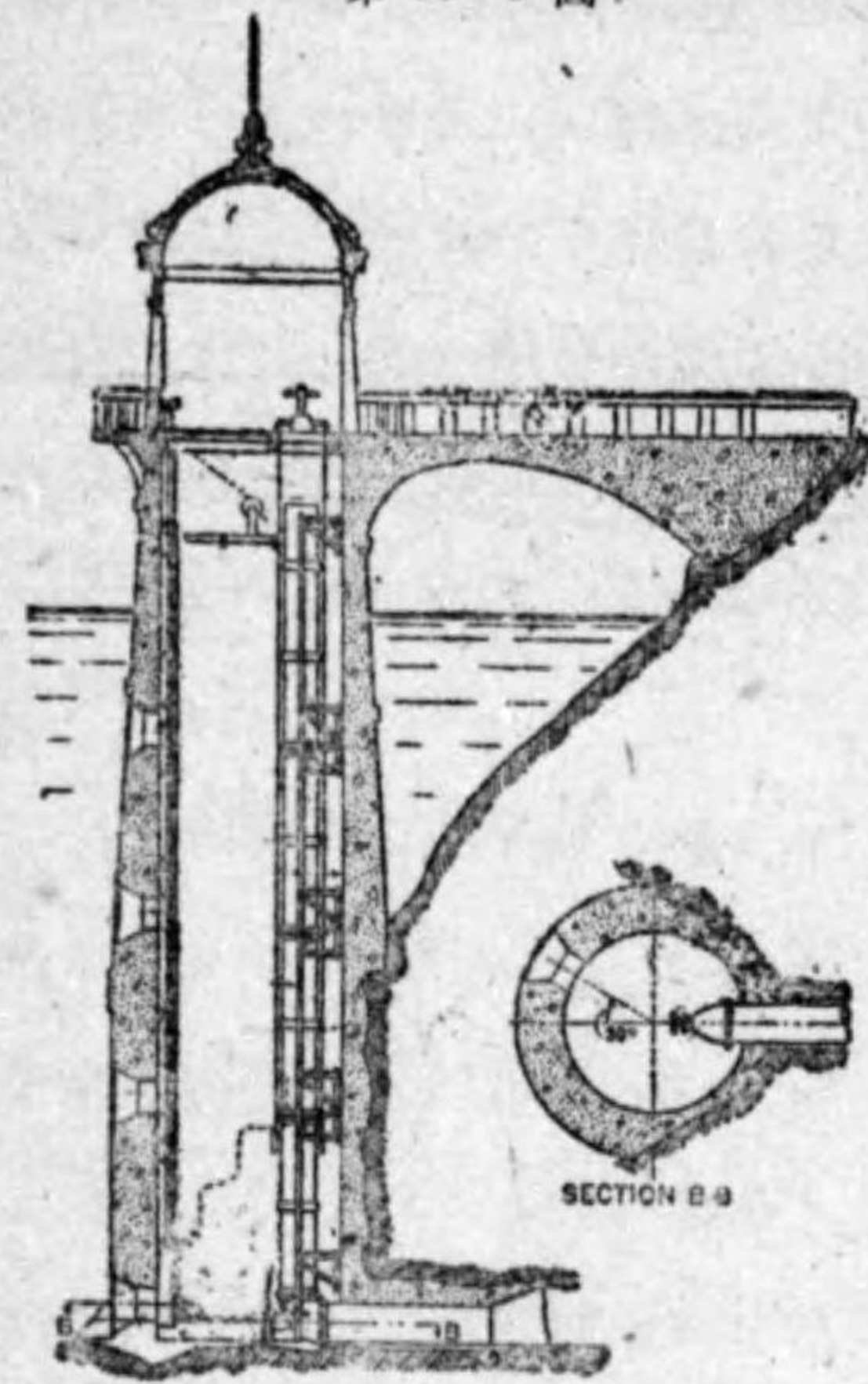
口前面に砂利玉石等が停滯して遂に取水に支障を來たす恐れがある。然し幾分凹曲になつた所又は直線部に設ければ、同圖甲の様に完全に瀉流出来るから、この憂がなく河底を常に深く保つことが出来る。(2)の河床勾配の緩かな所は同じ高さの堰堤を作つても湛水區域が大きく成つて安全な取水を行ひ得るためである。

4. 堰堤式發電所の取水口 第一章で堰堤式發電所には(イ)發電所を堰堤直下又は堰堤内部に設けるもの、(ロ)取水口兼水槽を有するもの、(ハ)取水口と發電所間を壓力水路で連絡するもの等の種類があることを述べた。

(イ)の場合は水壓管入口が即ち取水口である。その構造は第1・8圖の様に普通水壓管入口に水門を設け、更にその前面に塵除を置くのである。(ロ)の場合は取水口には單に塵除を設け、水門は置かない場合が多い。(ハ)の場合は水路の點檢を行つたりする時の必要上、水路式發電所の場合と同様塵除及び水門を設ける。この場合水路式發電所と異なる點は水路が壓力隧道であるから、この水門で取水量の調整を行ふ必要はなく、單に全閉又は全開して用ひるのである。

貯水池、調整池等から引水する場合は、一般に利用水深が大なる爲、水門の位置が深く非常に大きな水壓が働いて閉閉が困

第 13・5 圖。



取 水 塔

難に成る。斯る場合に取水塔が用ひられる。

その一例は第 13・5 圖の様で、4 つの水門を段階的に置き水位が低下するにつれて第 2, 第 3 と順次水門を卷上げて行く。

5. 沈砂地 我國の河川は一般に河床勾配が急であるため、取水口の構造を前述の様にして完全に作つても、洪水時等には大なり

小なり土砂礫が引水と一所に流入して来る。若しこれを放置すれば水路に沈澱して通水断面を減少し、又水壓管や水車を磨滅するのである。沈砂池はこの砂礫を除去するための施設であつて、その位置は取水口直後とすべきものである。第 10・1 圖で右下隅にあるのが沈砂池で、水路は直角から下方に向ふのである。

沈砂池の原理は、要するに断面の広い場所を作つて流速を遅くし、速い流速のため搬ばれた土砂礫を沈澱させる様にしたも

のである。沈砂池内の流速は大體 30 糎/秒以下にし、その長さは 30 米以上長いものは 350 米にも達するものがある。ペルトン水車を使用する発電所、調整池を有する水路式発電所等では、特に沈澱を完全にしておく必要がある。

沈砂池内の沈澱物を排出するには (1) 通水中に行ふ方法、(2) 通水を止めて行ふ方法とある。(1) は餘水期を選んで餘分の水を取入れ、沈砂池の土砂吐門を開いて水勢を利用して排出するのである。(2) は水がよく澄んだ、沈砂を必要としないやうな時期を選んで行ふ。この場合第 10・1 圖の様に二分された沈砂池ではその一方づつを、さうでなければ取入水を直接側水路を通して置いて行ふのである。尙洪水時は沈澱が激しいから (1) の方法も行ひ得る様設計して置くのが安全である。又停電日などを選んで大々的に掃除をする。

6. 水路の種類 水路は取水口で取入れた水を水槽まで疏通するための工作物である。水路は途中の地形に依つて色々構造の異つたものが用ひられる。今これを分類すると

(1) 開放したもの

a. 開渠 b. 樋

(2) 覆はれたもの

a. 隧道 b. 蓋渠