

第十一章 水 壓 鐵 管

1. 水壓鐵管 (penstock) の種類

水槽と水車とを連絡する壓力管であつて鐵管のみならず木管、鐵筋コンクリート管等があるが、木管は壽命短かく危険であり、鐵筋コンクリート管は戰時鐵材の價格が暴騰せる時二三其の實例を見たが大體不經濟であるから専ら鋼鐵管が用ゐられる。

管並に其の支持臺等を總稱して水壓管路と云ふ。

鋼鐵管には二種あつて、鉄綴管 (rivetted pipe) と 銲綴管 (welded pipe) とする。

鉄綴管が最通常のものである。然し高落差の水壓管で板の厚さが 25 耗以上になると鉄綴が困難となるから一般に銲接管が用ゐられる。

銲接は瓦斯又は電氣を用ゐるのであるが、元來鋼板の銲接は技術上中々の困難を伴ふものであるから止むを得ず銲接管を用ゐる場合でも外國の Mannesmann とか Kellogg とかの有名なる會社の製品を用ゐて居つたが、近來は我國に於ても銲接の技術大いに發達したから相當薄い管の時も銲接管を用ゐる様になつた。銲接管の長所は

(1) 鉄綴に於ては強度の能率 60~80% であるが銲接に

於ては 90% 位を保證し得るからそれ丈板の厚さを減少し得、且接合部に於ける板を節約し得る。

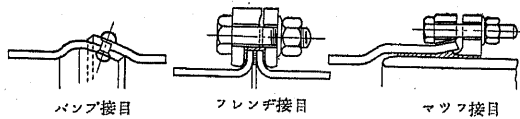
(2) リベットの頭に因る摩擦損失水頭を無くし得る。

(3) 壽命が長い

等である。銲接の成否に就ては必ず各管一々水壓試験を行つて採用すれば安心し得る。

銲接管の縦接合(管の軸の方向)は夫々水壓により適當に計算し、一列二列又は三列にリベットを配置する。板の厚さ 15 耗位迄はラップ・ジョイントで差支へ無いが、それ以上となるとバット・ジョイントを可とする。横接合(管軸に直角の方向)は一列又は二列に適宜配置する。尙運搬又は敷設の都合により相當の長さ毎にフレンジ繼とする。

銲接管に於ては縦横勿論銲接を行ふのであるが、運搬又



第 81 圖

は敷設の都合により相當の長さ毎に現場接手を設けるが、之はバンブ接手 (bump joint) フレンジ接手 (flange joint) マッフ接手 (muff joint) 等がある。之等の採用及細部の構造に於ては夫々製造會社に得意があるから設計者は大綱の設計に止め細部は製作者と相談した方が良い。

2. 水壓鐵管の條數及太さ

水壓鐵管は細きものを多く用ゐるよりも太きものを數少なく用ゐる方が價が安い。小水力にて水車數臺を用ゐる場合には分岐管を設けて各水車に配水する様にす。然し大水力に於ては水車一臺に一本宛配置するのが運轉上望ましい。

管中の流速は毎秒 1 乃至 3 米に取る。水路の項に於ても記載せる通り流速を小に取れば損失水頭を減じ出力に於て利益があるが、鐵管が太くなるのと厚さも同時に増大し工費が大となる此の兩者を比較し經濟的の計算が出来るわけである。

故に低落差に於ては小なる流速が取られ高落差に於ては流速は大に取るわけである。

尙鐵管は維持の都合上厚さ 5 耗以下のものは用ゐられず又太さも 4 米以上となると空虚の時釜み不都合であるから成る可く用ゐぬ様にする方がよい。

高落差になると管の厚さ増大し構造の困難が倍加するから流速を大にし出来る丈太さを小にする事が望ましくなる。然し水衝作用其の他の危険が増すわけであるからこれに對する特別の注意(後記)を必要とする。高落差に於ては上部は太くし水壓大になるに従ひ段々太さを減少する様にす。

3. 水壓鐵管の厚さ

鐵管の厚さは次式で計算し得る。

$$t = \frac{pD}{2f\theta} \dots \dots \dots (33)$$

t = 鐵管厚さ (糎) p = 水壓 (毎平方糎)
 D = 管の内徑 (糎) f = 鐵管の許容應張力強度
 θ = 鋸綴の効率

θ の價は鋸のピッチを P とし鋸の徑を d とすれば $\theta = (P-d)/P$ となる。銲接管に於ては 90%位を保證し得る。

f の價は鋼板(軟鋼)の破壊強度 4000 毎平方糎を取り安全率を 4 とし 1000 毎平方糎位を取るを普通として居る。 p は水槽水面迄の高さ即靜水頭に餘裕を見込んだものを取る。餘裕とは主として水衝作用による壓力の増加である。大體靜水頭の 30 乃至 50%を見込むのが普通である。近時水壓調整器(後記)の完全なものが出來て居るから水衝作用に因る増加壓力を或程度以上に上らぬ様完全に防止する様になつて居る。

水衝作用は大體水路の時のサージングと同様である。今水壓管中に相當速度の流水ある時水車の瓣が急に閉ぢれば水の慣性により水壓管の下部に大なる壓力を生ずる、而して其の壓力は瓣の閉ぢる時間、水及鐵管の彈性により相違するわけである。兎に角壓力により水は縮まり鐵管は膨れ其の反動により壓力は上方に向つて移動し、毎秒約 1000 米

位の速度を以つて管の最下部と水槽水面の間を往復する。

水衝作用に關する理論は本書には除外する。參考書として物部長穗氏著“水理學”を勧める。本書は初學者には抑か難解と思ふが水理全體に互り特に水力方面に關係多き事項を努めて平易に記述されてある。

Allievi は水衝作用の壓力計算に次式を出した、

$$Z_0 = \frac{NH_0}{2} + \frac{H_0}{2} \sqrt{N^2 + 4N} \quad N = \left(\frac{lv_0}{gTH_0} \right)^2 \dots \dots (34)$$

Z_0 = 水衝作用による最大増加壓力水頭 (米)

H_0 = 靜水頭, (33) 式の $p = w(Z_0 + H_0)$ w は水の單位重量

v_0 = 管内の最初の流速 (米毎秒)

T = 水車瓣の閉塞時間 (秒)

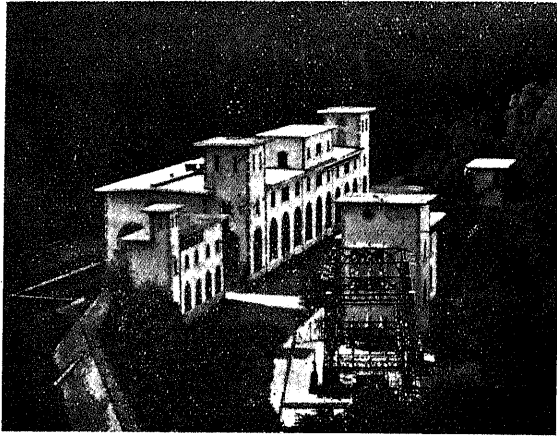
l = 管の全長 (最下部より水槽水面迄) (米)

4. 水壓管路

水壓管路は水槽及發電所の位置に依つて大體其の位置が定まるが尙次の諸點に就て考慮を拂ふ必要がある。

1. 出来る丈岩盤の露出せる所を選び管路の基礎工事を容易ならしめ且崩れに就て注意する。
2. 雪崩の害を受けぬ様注意する。之には山の脊を選ぶが良い。この方が一般に地質も良い。
3. 勾配は餘り緩なるは元より好ましくないが然し餘り急であると敷設に困難であるし支持の工事に多額の費用を要する。
4. 風景に對し顧慮する必要がある時は目立たぬ個所を選ぶ必要があり、樹木を植ゑて隠蔽する (宇治川の宇治發電所)。或は水槽と共に全部地表下の掘鑿とし、即水壓隧道として餘水は附近の山

の中腹より瀧として落下せしむれば反つて趣を添へる。斯くの如き場合は発電所の建築も僅かの考慮を加へる事により批難を免れる様に出来るわけである(第 82 圖参照)。



第 82 圖

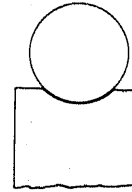
5. 排水に注意し水壓管路に集る水を安全に導き且豪雨の際にも発電所を水が襲はぬ様注意を必要とする。鐵管路の見通し中に発電所を設けぬ事に依つて崩落土砂又は雪塊の害を発電所が免れた實例も少なくない。

水壓鐵管支持の設備としては第 84 圖に示した如くアンカーブロック(固定臺)及支臺を用ゐる。

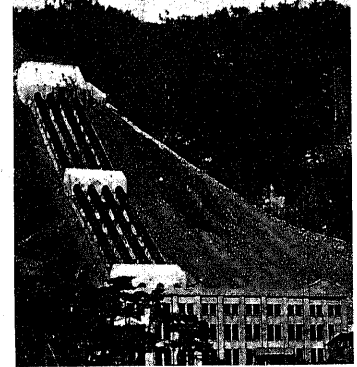
アンカーブロックは水壓鐵管の縦横の曲り個所並に直線部分に於ては 100 米に一個所位宛設けるコンクリートの大地で鐵管を包み完全に固定するものである。

支臺は 8~10 米位の間隔に配置し單に鐵管の重さを支へるもので、鐵管が温度變化により伸縮せしめる様支臺の上にアスファルト紙の如きものを敷いて滑らかならしめ、或は座金又はローラーを設けた例もある(第 83 圖)。

鐵管は
アンカー
ブロック
で固定さ
れるから
温度によ



第 83 圖



第 84 圖

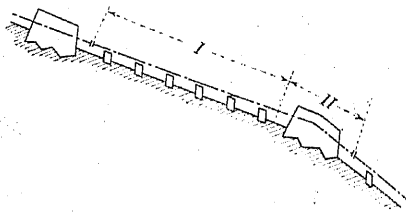
り伸縮し得る爲めアンカーブロックの直下の個所に必ず伸縮接合を設ける。

アンカーブロックは止むを得ない場合を除き岩盤に基礎を設け充分堅固に施設する必要がある。特に発電所に接近せる最後のものは大きく作り萬一管路が移動する如き時にもこれにて喰ひ止むる用意をする。

アンカーブロックの計算には次に示す如き種々の力を考慮し滑動、轉覆並に岩盤の支持力に對して安全なる様計算する。

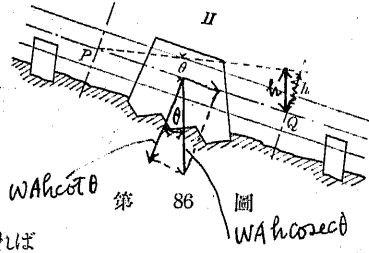
- 1. アンカーブロックの自重
- 2. 鐵管の重さ 一部は支臺により支へられる故 I と II の部分

に於て垂直力を鐵管の方向とそれに直角の方向とに分け、前者がアンカーブロックに働らき、後者は各支臺に働らく。尤も以上は支臺に摩擦力が無いと考へた場合である。



第 85 圖

- 3. 水の重さ II の部分に於て P 點と Q 點との高低差 h , 管の斷面積を A , 水の單位重量を w , 管の傾斜角 θ とすれば



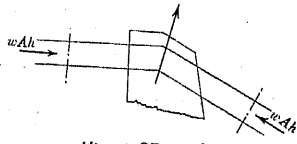
第 86 圖

水の重量..... $wAh \operatorname{cosec} \theta$
 P. Q 點壓力差..... wAh

より結局管と直角の方向に於て $wAh \cot \theta$ の力が働らく事となる。支臺の場合も同じ。

- 4. 水の摩擦力 水が管中を相當の速度を以つて流るゝ場合管壁に摩擦力を傳ふ。

今 I の部分の摩擦損失水頭を (12) 式により h_1 とすれば wAh_1 が摩擦力である。管の方向に於て働らくわけである。

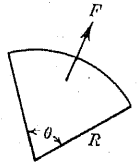


第 87 圖

- II の區間も同様である。
- 5. 管の屈曲に依るもの アンカーブロックの個所の水頭を H とすれば第 87 圖の如く前後より wAh の力が加はる故其の合力がアンカーブロックに加はるわけである。
- 6. 屈曲部の水の遠心力 水が管中を V なる速度で移動し半径 R , 夾角 θ とすれば遠心力 F は

$$F = \frac{2AV}{g} \sin \frac{\theta}{2} \dots \dots \dots (35)$$

- 7. 管徑の縮小に依る力 縮小の方法にも依るが管徑の差丈に對する環狀の面積に水壓が加はりアンカーブロックに傳はるわけである。
- 8. 止水瓣閉塞による力 鐵管の最下末端に在る止水瓣を閉ぢて水車への水を遮斷すれば全水頭がそれに加はるわけであるから鐵管の最下端を

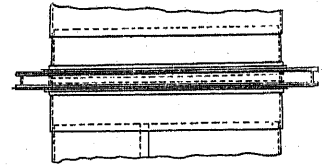


第 88 圖
發電所基礎コンクリートで充分固定せぬ限り其の力は全部發電所に接近せる最下端のアンローブロックに加はる。

5. 水 壓 管 附 屬 設 備

- a. 伸縮接合 (expansion joint) アンカーブロックの間隔が甚だ短かき場合を除きアンカーブロックの間には必ず一個鐵管に伸縮接合を設けて溫度の變化による管長の伸縮を自在ならしめる。

伸縮接合には最普通に第 81 圖のマッフ接合を用ゐる, 或は又第 89 圖の如き隔板接合を用ゐる。



第 89 圖

伸縮接合を設ける位置は第 85 圖の如くアンカーブロックの直下の鐵管とする。

b. **保安装置** 水衝作用其の他に因り鐵管内部に異常な水壓が生ぜざる様種々の装置がある。

先づ第一は**水壓調整器** (pressure regulator) であつて鐵管の末端に取付けてある。鐵管の水壓が異常に上昇すると水車の回轉が増し調速機のガバナーの回轉を早め油壓サーボモーターを動かし瓣を押し開け、鐵管内の水を排出して水壓を減少せしめる装置である。極めて低落差の鐵管の場合の外大抵此の装置が設けられる。

汽罐の安全瓣の如きスプリングを用ゐる**緩急瓣** (relief valve) は其の作用不確實なる爲め現今は殆用ゐられない。

高落差の場合にはペルトン水車を用ゐるが、第 95 圖のノZZルは非常な高落差に於ては **relief nozzle** を使用する。これは水車の荷が急に減じた場合急激に水の噴出口を閉さず、先づ nozzle 全體が回轉して水勢を水車から外らし、後徐々に水を停止せしめるのである。

非常に高落差になると上記の各装置を設けても萬一の場合の危険を慮り**破裂板** (bursting plate) と稱するものを用ゐた例がある (信濃川支流中津川第一發電所)。これは鐵管の最末端に枝管を設け、其の終端に穴を設けそれに鐵板を嵌め込み、水壓が通常の一倍半位になると鐵板が破裂して、

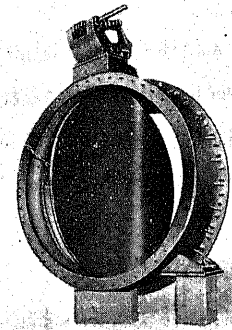
水を射出し水壓を減少せしめる。尙豫め瓣を設けおき一度破裂して修繕中は其の瓣を閉ぢ再び鐵管を使用し得る様になしておく。

鐵管路が緩斜面で鐵管路が甚だ長くなる時は水衝作用も大となるからサージタンクを設ける。一種の管であるからスタンドパイプ (stand pipe) とも稱する第 78 圖の佐久發電所のもも此の場合設けたものである。

c. **開閉瓣** 極めて低落差の場合の外常に水車に接して水壓鐵管の末端に必ず開閉瓣を設け水車への水を遮斷し得る様になす事が必要である。相當の高落差の場合には鐵管の故障の際水を遮斷し得る様鐵管の入口、即水槽の近くにも瓣を設ける。

開閉瓣としては落差が低い場合には**バタフライバルブ** (butterfly valve) を用ゐるのが普通である。即縦軸があつて板が回轉して管を開閉するのである。瓣を開く場合には一方に高壓の水が在つて困難であるから鐵管に by-pass を設けて水車側に水を通じて水壓を平均せしめてから瓣を開く。

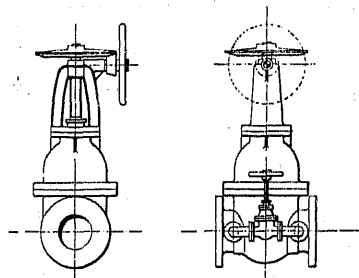
此の瓣是最簡單で價も安いから多く使用される。



第 90 圖

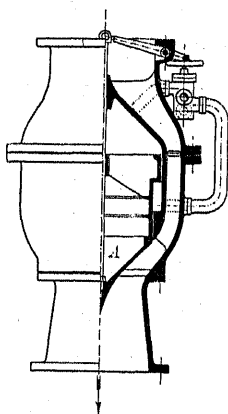
高水壓の場合水量小なるときはスルース瓣が用ゐられる
(第 91 圖)。

水量が多くなるとジョンソン瓣 (Johnson valve) が多く



第 91 圖

用ゐられる。この種のもはニードルの移動に依り開閉するから needle valve と稱せられる。第 92



第 92 圖

圖に於て A の個所に高壓の水を導けばニードルは下に移動して瓣を閉ぢ、A の水を排出し外側に高壓水を導けばニードルは上に動いて瓣を開くのである。

此の瓣は價は相當高價であるが、損失水頭少なき事、並に操作輕易なる事が長所である。尙又バタフライバルブに比し漏水も少ない。

d. 人孔其の他 瓣の附近並に鐵管 30 米に一個所位宛人孔を設け鐵管空虚なる時、それより人が入つて管内を點檢

するに便ならしめる。

通氣管は第 74 圖に於て示した通りであるが前記開閉瓣の直下には必ず通氣瓣 (air valve) を設けて開閉瓣を閉ぢた場合管中に空氣を入れ、鐵管中に一部眞空の生ずる事を防止しなければならない。

尙鐵管中に凹んだ低所がある様な時は土砂が沈積する虞れがあるから土砂吐瓣を設ける必要がある。尙又管中の殘水を排出する爲めには排水瓣を設ける必要がある。