

#44
31123]

M6
061
1

河渠工學

河渠工學

渠工編

第一章 概論

第一節 渠工之意義



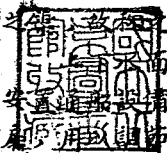
河川于低水時期流量甚小，水深不足以通航，或常水時期傾斜陡峻，水流湍急，舟船碍于上行。雖施以整治之功，仍不能得航行之便利者，則宜应用渠化之制，可增加適當之深度，而保持和緩之流勢也。

我國運河設閘，橫截河中猶蓄水流，漕艘往來啓關放行。其閘門僅容一舟，銜尾而進畢即閉之。此為渠化最舊之法，欲開通船之際耗費水量甚多，且經過閘門水流急速行船困難，故不可不改良也。

歐洲最初渠化之法，嘗用活動堵水堰(Stanches)，設于河川淺灘之上，構造簡單如第一畚。低水時期舟船擱淺，乃以多數阻水堰板，堵截河流。俟積蓄多量之水，急拔堰板，使所積之水一湧洩出，謂之放水(Flashing)，則被擱之船乃得隨流而下，暢行無阻。惟此放水之法，頗有危險之虞，且不適于舟船之上行，已成歷史上之過去陳迹，無復有应用之者矣。

現今渠化之制，於河道各段建築堰閘，節制水位，使成階級之狀，如第二畚。各級水面因堰阻隔上下分閘，兩水面間之垂直距離謂之水級。常水時期各級水面之斜度甚為平坦，無異于人造之管渠，曰渠化(Canalization)。

而既成階級，各段勢不能直接通航，故須于堰之一端裝置升降設備，名曰船閘(Lock)如第三畚。閘之上下端有門扉，用以調節水位，使船舶得由下級昇至上級，或由上級降至下



河渠工學

級，往來無阻。若在河之上游木材豐富之處，須附木道 (Logway) 以供木排之通路。若在河之下游漁業與盛之區，則魚道之設備，以供魚類之游行，亦不可少者也。

渠化之功用不僅增加深度，便利航行而已也，且可應用其蓄高之水位，藉以發生水力或供給灌溉，以獲兩舉兩得之利，固為極經濟之計畫也。大抵渠化之河川，其流量變遷差度甚大，不易得一律齊勻之水力，是為缺點耳。

亦有專為灌溉或發生水之目的，而于河中築堰蓄高水位，則航行因之梗阻，勢必設閘以利舟楫之通行。美國密西西比河開阿古克 (Keokuk) 水力廠所築之堰與閘，即其例最著者也。

第二節

通航之深度

渠化河川水深最小之限度，須超過航行船舶之最大吃水百分之二十為標準。若在人造之運河，祇須超過最大吃水百分之十五足矣。但無論何處，超過吃水之深度至少亦須有半公尺之餘地，以免船身因風浪動搖而與河底相抵觸之虞。

中國內地各河航行船舶之吃水，現無一定之標準，反詳確之統計，故各河渠化之深度，非實行調查各地船舶之大小不能預定也。茲將歐美現今渠化之深度列表於下，以資參攷而已。

第一表

國名	河名	渠化深度	
		公尺	英尺
英國	太晤士河 Thames	2.5	8'-3"
法國	賽因河上游 Seine	2.0	6'-6"

河渠工學

法國	賽因河下游 Seine	3.2	10'-6"
德國	梅因河 Maine	1.7	5'-6"
埃及	尼爾河 Nile	3.0	9'-10"
美國	密西西比上游 MISSISSIPPI R.	1.5	5'-0"
" "	阿孩阿河 Ohio R.	2.7	9'-0"
" "	黑特森河 Hudson R.	3.7	12'-0"
" "	摩霍克河 Mohawk R.	3.7	12'-0"
" "	大沙河 Big Sandy R.	1.8	6'-0"

渠化之深度不僅為適足目前航運之目的而已，更須預備將來運輸發達之需要者也。蓋水路之交通既便，則來日之航運則必日臻繁盛，或須較大之船舶，以供運輸之便利。若渠化之河川為大河之支流而與工商業發達之區相連絡者，則更須規畫較大之深度也。

第三節 水級之高度

水級為上下兩水面間之垂直距離。規畫之河川之渠化，關於水級之大小，而堰閘之高低，不可隨意酌定，須詳查各河之情形，顧慮各段被堰蓄高之水面，在大水時期，有無湮沒堰上河岸兩旁之田地以及人民之居所之虞。若河岸高固，泛濫無虞，則自宜規定較大之水級，以省堰閘之數目，而減少航行之阻滯。但水級既高，則建築閘堰之費用亦較大。若以全部經濟而論，必須酌定

河渠工學

各段適當水級之高度，方能得最低廉之工程。若以航行便利而言，則以減少阻碍之地所為最要耳。惟堰過高，水流由堰頂下冲之勢甚急，致有激冲堰基之虞；以及發生迴流与漩渦之弊，則亦有碍于航行者也。

法國渠化之制，多用活動堰，水級甚小，約4公尺為限。美國則多用固定堰，水級鮮有在3公尺以下者。茲將歐美各河渠化之最大水級列表于下以資參攷焉。

第二表

國名	河名 (原文見第一表)	水級高度	
		公尺	英尺
英國	泰晤士河	—	—
法國	賽因河上游	4.2	13'-9"
" "	" " " 下 "	2.7	8'-9"
德國	梅因河	3.6	11'-9"
埃及	尼爾河	4.0	13'-0"
美國	密西西比河	12.2	40'-0"
" "	阿孩阿河	3.4	11'-0"
" "	黑特森河	6.0	19'-6"
" "	摩霍克河	12.3	40'-6"
" "	大沙河	7.0	22'-6"

第四節

堰 閘 之 位 置

堰閘之位置及水段之長短，須視河川傾斜之大小與水級之高低而定之。無論堰閘之地点在于何處須有下列要件：—

- (1) 河岸高固不受大水泛濫者。
- (2) 基礎堅實易于施工建築者。
- (3) 河槽整直便于船舶出入者。

淺灘或急流所在之處不便航行，而又非濬治之功所能改善之者，則宜建築堰閘于淺灘及急流之下，即能維持水深和緩流勢，是為渠化之常例。至堰與閘之佈置，普通以同在一槽者居多，如第三畝。在河槽整直之處，則船閘可設于任何之一岸，無一定之規則，大抵以便于船舶之出入者為宜。船閘河隄上下之兩端均須附設導船隄各一行，（如第三畝）使船舶進出閘口時，不至受堰上急流與堰下漩渦之影響也。凡上下游皆有導船隄者，則堰宜于閘之中部。若船閘較長者，堰宜設于閘之下端，則可省上游之導船隄。

河中有島，水流分岐之處（如第四畝）多有堅實之基礎。堰宜設于主槽之中部，以免急流之影響，閘宜設于支流之下端，則可利用閘口放水以沖去閘下之淤澱。

河槽略有彎曲之處，亦可為建築堰閘之地点，因其河面較寬，則阻得大水之勢亦較小也。閘之位置或在凸岸，或在凹岸，各有利弊，須視各地之情形而定之，凸岸水緩船舶易于出入，惟有淤積之弊，故凡河流多淤者，凸岸築閘極不相宜。凹岸水深，航路寬暢，但有急流之險，須于閘之上端築較長之導船隄，則亦可以保持航行之安全也。

若河槽之彎曲甚大者，則堰與閘宜分築兩處（如第五畝）即

以幹河設閘堰而另開引河以置閘。堰之位置當在彎之上首或在有相當基礎之處，而閘之位置宜在引河之口，以免淤積之弊。如此佈置，既不侵佔有之河槽，又可縮短航行之路程，是其利也。惟開鑿引河所需工費甚大者，則殊不經濟耳。

第五節

泥沙之淤積

河流所挾之沙可分兩種，即推移質與漂浮質是也。推移質之最大者為石丸祇見于上游，其小者為石礫及沙粒上游以下亦多有之。此等物質被水流沖動，輾轉河底，至水力微弱之處乃即停積，成為水底之沙丘。漂浮質為極細小之泥沙，其來源為石礫之碎粉，及河岸之土壤被水流沖刷而入于水中者。作質輕微漂浮水中，隨流而動，中下游各段皆有之，至流緩力弱之處，而始沉澱焉。

今若河中築堰各段成為渠形，水流滯緩，難免積淤之弊，而其上游第一段沉澱之影響尤為顯著。因自上游隨水深下之沙礫，遇堰阻截，即行停止，愈積愈厚，及至深度不足，則須隨時濬淤以利航行，所幸停淤之處，僅限于堰之附近。故亦不難去除也。至以下各段，因推移質之來源既減，所有淤淺之處，反而深度漸增矣。

至細小之漂浮質雖受堰之阻礙，亦能隨堰漂浮而下，直至下游之尾閘而漸沉澱也。故渠化之各段均無沉澱及淤塞之可畏，而在設置活動堰之河段，每遇大水之時啟堰洩水，則更無阻流停淤之虞也。

若含沙較多之河流，其上游及河源應施護土固沙之工，以為整本清源之計。其淤積已成之處，可用浚挖以去之，或求水導流以整飭之，修治得宜，自無淺阻之虞矣。

第六節

渠化之利弊

凡河川有通航之需要，而不利于通航者，須先施以整治之工，整治之術乃以渠化之法以濟之。至荒廢之河川，不稍加以整治，則雖渠化亦難收成效也。故流之分岐者須統一之，彎之陡銳者須平直之，寬坦之河槽，須約束之，參攷之深度，須整飭之，而于裨益河流，免除淤澱諸工事尤不可忽，然後渠化之功奏矣。

大抵渠化之法，施于河之中游最為得宜，蓋下游河流深緩，易于整治，無庸渠化。而上游河流淺急，不宜通航，雖渠化亦难于行船也。

渠化之法，所以補助整治之不足，其利弊如何分述如下：

渠化之利：—

- (1) 渠化可使淺急之河流通航，整治之不能也。
- (2) 渠化之堰閘建築及修治費用，均可詳確估算，而整之工則難以確估也。
- (3) 渠化之款項常可徵收船捐以補給之，而整治之費用則無可索償也。
- (4) 渠化之功用，除便于航運以外，且利于灌溉或發生之水力。

渠化之弊：—

- (1) 行船過閘耗費時間。
- (2) 堰上河槽易于積淤。
- (3) 建築堰閘費用甚鉅，且需時較久有碍航運。

(4) 大水之時或水漸之期于汎濫。

第二章

堰 (Dam or weir)

第一節

堰之分類

堰為堵截河流，蓄高水位之建築物。其于渠化工程中之主要功用，所以使河川成為渠形之水段，增加低水之深度，以便通航者也。堰之分類不一，然可大別為固定固定堰 (Fixed dam) 與活動堰 (Movable Dam) 之兩種。

固定堰具有堅實耐久，毫不透水之性質，堵截水流之功效甚大，且其結構簡單，修治容易，皆其優點也。故欲規畫高大之堰非用固定者不可。惟有阻碍水漸與增高水位以致汎濫之弊，則為缺點耳，是以在河岸卑下之處不宜應用也。

固定堰以建築位置之不同則有正堰，斜堰，角堰，弧形堰，及曲折堰之別。

通常堰之位置多與河流成直角者謂之正堰，(如第三圖)。正堰堰頂之長與河槽之寬相等，故其堰頂以上之水頭，隨流量之大小與堰頂之長短為比例。若流量一定，則堰頂愈長水頭可較小，故固定堰之位置宜擇河槽寬闊之處，或開掘兩岸以增河槽之面積，蓋可使堰頂較長，減低蓄高之水頭，而免汎濫之虞也。

堰之位置與河流成斜角者謂之斜堰(如第六圖)。斜堰所需之長使無大水之汎濫，可由計算以確定之，大抵兩倍原有河面之寬為適足過長亦非所宜也。堰既斜築，則河岸可不必開掘，固為斜堰之優點也。惟其滾下之水流偏向一岸，故迎溜之岸，感受激沖之害，頗為吃重，不可無相當之岸工以保護之。

河渠工學

角堰弧形堰，與曲折堰（如第七番至第九番）皆為增加堰長，減低高水位之佈置，其功用與斜堰相同。惟淺淺之水流集于中泓，故堰下之河床，須有相當之保護。

固定堰以堰頂位置之不同，則分為滾水堰 (Overtball Dam) 與潛水堰 (Submerged Dam) 之兩種。（如第十番及第十一番）又有以建築材料之不同而分為木堰，堆石堰，砌石堰，混凝土堰，鋼筋混凝土堰，而鋼鐵堰之別，前四種為堅實之建築，後兩種為空心之建築。

活動堰之構造具有活動之裝置，既可堅立，又可拆卸。低水時期，用以蓄高水位其功用異于固定堰。高水時期，全部拆卸，往來船舶得以直接通行，而又無阻碍大水以致泛濫之弊，則更為適用也。為其結構輕薄不甚耐久，易于漏水，並須雇人看守以司其啟閉之職，管理手續不及固定堰之簡單，皆其缺點也。活動堰用于河岸卑下，水級依小之處極為合宜，又土質鬆柔之處，以活動堰之質量之質量較輕，無須重大之基礎工程，則亦甚為經濟也。現今規畫渠化工程多有應用活動堰之傾向者，蓋即此歟。

活動堰可分被動與自動之兩種。被動者須藉人力或其他機械力以司啟閉之工作，如閘版堰 (Flash Board and Gate Dam) 捲簾堰 (Curtain Dam) 針堰 (Needle Dam) 及圓筒堰 (Rolling Dam) 等屬之。自動者則藉水力之直接作用以啟閉之，如鼓堰 (Drum Dam) 旋板堰 (Revolving Shutters) 熊捕堰 (Bear-Trap Dam) 等屬之。

各種固定堰及活動堰之構造當于第三章及第四章各節分別說明之。

第二節 堰之流量

河渠工程

堰頂洩水之量，固隨水頭之大小而不同。然同一之水頭，其流量之大小，則視堰頂之形式及其粗滑之狀況而有區別。普通計其滾水堰流量之公式如下：

$$Q = k \frac{2}{3} \sqrt{2g} L H^{3/2} = C L H \dots \dots (1)$$

Q = 流量每秒立方公尺或立方英尺

k = 流量係數

$$C = k \frac{2}{3} \sqrt{2g} = \text{常數}$$

$$g = 9.80 \text{ (公尺制)} = 32.2 \text{ (英尺制)}$$

L = 堰長 公尺或英尺

H = 堰上水頭，公尺或英尺

杜法蘭西斯氏 (Francis) 之試驗凡尖頂堰之流量係數 $k = 0.622$ 故 (1) 式為

$$\begin{aligned} Q &= (0.622) \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{2(9.80)} L H^{3/2} \\ &= 1.84 L H^{3/2} \text{ (公尺制)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= (0.622) \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{2(32.2)} L H^{3/2} \\ &= 3.33 L H^{3/2} \text{ (英尺制)} \end{aligned}$$

又據其他專家之試驗，平頂堰堰頂之寬較水頭為大者，其流量係數隨堰頂之寬狹水頭之大小而不同，但其平均數約較尖頂堰之流量係數小 20%。三角堰，梯形堰，及弧頂堰等之流量係數亦不一律其平均數約較尖頂堰之流量係數大 10% 故平頂堰之 $k = 0.498$ ，而三角堰等之 $k = 0.685$ 由此得

$$\text{平頂堰之 } C = 1.47 \text{ (公尺制)} \quad C = 2.66 \text{ (英尺制)}$$

$$\text{三角堰等之 } C = 2.02 \text{ (公尺制)} \quad C = 3.66 \text{ (英尺制)}$$

若堰上河流頗急，則須兼顧流速之影響，而 (1) 式當改為

河渠工學

$$Q = CL \left(H + \frac{V^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (2)$$

式中 V = 河流之速度每秒公尺或英尺，餘字意義與(1)式相同
 凡堰頂在下游水面之下者則為潛水堰。此黑雪爾氏 (Herschel) 之試驗尖頂潛水堰之流量可以下式代表之。

$$Q = CL (nH)^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (3)$$

若兼顧流速之影響則

$$Q = CL \left[n \left(H + \frac{V^2}{2g} \right) \right]^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (4)$$

$$C = 0.622 \times 8.02 \times \frac{2}{3}$$

$$= 4.98 \times \frac{2}{3} = 3.33$$

H = 堰上流水頭。

(3) 與 (4) 兩式之流量係數 k 亦為 0.622 而 $C = 0.622 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2g}$ 。 n 為改正水頭之係數隨上下游水頭之大小而有變。大約如下表。

第三表

下游與上游水頭之比例	n 之數值
0.0	1.0
0.1	1.005
0.2	0.985
0.3	0.959
0.4	0.929

河渠工學

0.5	0.892
0.6	0.846
0.7	0.787
0.8	0.703
0.9	0.547
0.99	0.275

平頂式以及其他各式之潛水堰，試驗之根據甚少，故其流量係數殊難確定。若為約略之估計，即用上述平頂兩三角等式滾水堰之平均流量係數可也。

第三節

堰高與堰長之計算

河中築堰，其功用既為蓄高低水，而又不可阻碍大水。故無論固定堰或活動堰，其堰頂之高下當以適宜為度。

設 q = 低水流量，
 d = 低水蓄高深度，
 Q = 大水流量，
 D = 大水蓄高深度，
 G = 堰高，
 d_0 = 低水原有深度，
 h = 低水堰上水頭，
 D_0 = 大水原有深度，
 H = 大水堰上水頭，
 A = 河槽面積。

(1) 滾水堰。第十章假定為活動堰，低水之深度為 d 堰頂之

河渠工學

高為 $G = d - h$ ，若蓄高之深度頗大，堰上低水之流速緩弱其甚影响可以從略。(1)式得

$$h = \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3}$$

故
$$G = d - \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3} \text{------(5)}$$

若所築之堰為固定堰，則再當計其有無影响大水溢槽之虞。由第十畝（固定堰）大水蓄高之深度為 $D = G + H$ 。此處當兼在流速之影响，由(2)式得

$$H = \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3} - \frac{V^2}{2g}$$

故
$$D = G + \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3} - \frac{V^2}{2g} \text{------(6)}$$

如由(5)式計其堰之高度較大水原有之深度為小，則其堰在大水時期為潛水堰而其蓄高大水之深度須依下法計其之。

(2) 潛水堰。由第十一畝得 $D = G + H$ 及 $H' = D - G$ 。由(4)式得

$$H = \frac{1}{n} \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3} - \frac{V^2}{2g}$$

故
$$D = G + \frac{1}{n} \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3} - \frac{V^2}{2g} \text{------(7)}$$

第一步先以約略之估計令 $n = 1$ 及 $V = 0$

則
$$D' = G + \left(\frac{Q}{CL}\right)^{2/3} \text{------(7-A)}$$

於是求得 $V = \frac{Q}{A} H = D' - G$ 及 $\frac{H'}{H} = \frac{D - G}{H}$

乃查第三表可得 n 之數值。第二步，即用(7)式以計其較準確之 D 數。

河渠工學

由(6)式及(7)式所得之 D 數，若起滿槽之深度，或撮太高以致泛濫上游之弊，則可將堰之長度增大，以減低蓄高之水頭。例如規定堰高為 G ，大水流量為 Q ，原有之深度為 D ，蓄高之安全深度或最大之限度為 D ，蓄高之水頭為 $H = D - G$ 。試求固定堰之相當長度使無泛濫之虞。

$$L = \frac{Q}{C(H + \frac{V^2}{2g})^{3/2}}$$

$$= \frac{Q}{C(D - G + \frac{V^2}{2g})^{3/2}} \dots \dots (8)$$

(2) 潛水堰。 $G < D$ 。由(4)式得

$$L = \frac{Q}{C n^{3/2} (H + \frac{V^2}{2g})^{3/2}}$$

$$= \frac{Q}{C n^{3/2} (D - G + \frac{V^2}{2g})^{3/2}} \dots \dots (9)$$

堰長既定，如較原有河槽之寬相差甚幾者；則可向掘兩岸，仍築正堰；若相差甚巨者，則佈佈置之法，或用斜堰，弧形堰及曲折堰皆可，隨計畫者之決擇而已。但堰長之增加與水頭之減低其比例為如何，則亦不可不研究者也。

- 設
- Q = 大水之流量為一定，
 - G = 堰高為一定，
 - L_1 = 正堰之長即河槽原有之寬，
 - H_1 = 正堰上大水之水頭，
 - L_2 = 斜堰之長，
 - H_2 = 斜堰上大水之水頭。

今由(8)式不計流速之影响，則得正堰斜堰之長与水頭之比
例為

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (10)$$

今將水頭減低一半即 $H_2 = \frac{H_1}{2}$ 則 $\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}}$, $L_2 = L_1(2)^{\frac{3}{2}}$
 $= 2.83 L_1$

由上計算則知水頭之減低僅一半而堰長之增加幾三倍，是以
建築費之增加亦須三倍，此非經濟之道也。不如改固定堰為活動
堰或採下列各法以救補之。

- (1) 加築兩岸隄防
- (2) 減低堰頂高度
- (3) 堰頂設牆放水
- (4) 堰頂鑿孔洩水
- (5) 瀉洪堰

第四節

返水曲線

(Backwater curve)

河中築堰，自堰以上水因壅積，深度增加，其水面所成之曲
線謂之返水曲線(如第十二圖)。其增高之深度謂之返水深度，
其影响所及之距離謂之返水距離。返水壅積之深度以近堰之處為
最大，然因河床有傾斜之故，漸遠則漸減淺，至于原有之深度相
合之處為止。渠化工程中，返水最淺深度在低水時期，不得小於
通航之深度，而其蓄高最大之深度則以不致泛濫上游之河岸為限。

通常天然之河道，未經施以整治之功者，其各段河槽之寬狹
，水深之大小，皆不一律相同。故計其返水曲線祇能得約略之標

準，以規定計劃之方針而已。計算之法，先將堰上河道分若干段。各段之距離不可太長亦無須太短，務使每段中間以兩端之断面可以得一平均断面者為適宜。(如圖十二)

- 設
- L = 一段之長，
 - D_1 = 各段下端之深度，
 - D_2 = 各段上端之深度，
 - D = 各段之平均深度 $= \frac{1}{2}(D_1 + D_2)$
 - D_0 = 各段原有之深度，
 - H = 各段上下兩端返水水面之高低差或水頭，
 - H_f = 各段間因摩擦而消失之水頭，
 - S_0 = 各段河床之平均斜度，
 - S = 各段返水水面之平均斜度，
 - Q = 流量，
 - A_1 = 各段下端之面積，
 - A_2 = 各段上端之面積，
 - V_1 = 各段下端之流速 $= \frac{Q}{A_1}$ ，
 - V_2 = 各段上端之流速 $= \frac{Q}{A_2}$ ，
 - V = 各段之平均流速 $= \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$ ，
 - h_1 = 各段下端流速水頭 $= \frac{V_1^2}{2g}$ ，
 - h_2 = 各段上端流速水頭 $= \frac{V_2^2}{2g}$ ，
 - R = 各段之平均水半徑，
 - n = 粗糙係數。

批盤諾律氏 (Bernoulli) 理論 (參閱第十二圖)。

$$H + \frac{V_2^2}{2g} = H_f + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$H = H_f - \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) = H_f - (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (11)$$

但 $H + D_1 = D_2 + S_0 L$ 。

$$H = S_0 L - (D_1 - D_2) \text{ ----- (12)}$$

$$(11) = (12) \quad S_0 L - (D_1 - D_2) = H_f - (h_2 - h_1)$$

假定 $\frac{H_f}{L} = S$ 返水曲線之平均斜度

而 $S_0 L - SL = (D_1 - D_2) - (h_2 - h_1)$ 由是返水曲線之公式如下:

$$V = \frac{(D_1 - D_2 - (h_2 - h_1))}{S_0 - S} \text{ ----- (13)}$$

由流速公式 $V = CR^m S^{1/2}$ 則

$$S = \frac{V^2}{C^2 R^{2m}} \text{ ----- (14)}$$

上兩式中 R 之指數 m ，隨所用之公式而有區別。把端氏 (Chezy) 公式， $V = CR^{1/2} S^{1/2}$ ，則 $m = \frac{1}{2}$ ，而其流速係數則須用克脫氏 (Kutter) 公式以定之。

$$C = \frac{\frac{1}{n} + 23 + \frac{0.00155}{S}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \text{ (公尺制)}$$

$$C = \frac{\frac{1.481}{n} + 41.65 + \frac{0.00281}{S}}{1 + (41.65 + \frac{0.00281}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \text{ (英尺制)}$$

曼寧氏 (Manning) 公式 $V = CR^{2/3} S^{1/2}$ ，則 $m = \frac{2}{3}$ ，其流速係數；

$$C = \frac{1}{n} \text{ (公尺制)}, C = \frac{1.486}{n} \text{ (英尺制)}。$$

分解 (13) 式須用探試法。其已知之部份為 L (因各段之距離已規定)， S_0 ， D_1 ， $h_1 = \frac{V_1^2}{2g} = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2$ 。先假定上端之深度為 D_2 。由第十二章之橫断面得 A_2 ，次得 $V_2 = \frac{Q}{A_2}$ 再求得 $V = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$ ，及平均水半徑 R 由 (14) 式得 S 之數值，最後將各式代入 (13) 式求得該段之長為 L' 。若 L' 與規定 L 之數相符，或相差甚几，則假設之 D_2 數為對，否則須再假定一數以求相符方止。

低水時期流緩水小，堰上蓄高之水面甚平坦，即 $S = 0$ ，而

河渠工学

流速之影响亦甚微弱，故 $(h_2 - h_1)$ 亦可作为零。由 (13) 式得低水之返水曲线之公式如下：—

$$L = \frac{D_1 - D_2}{S_0} \dots \dots \dots (15)$$

此式中之 D_1 为下游堰上蓄高之深度， D_2 为上游堰下蓄高之通航深度， S_0 为两堰间河床之平均斜度，故 L 即为上下相邻两堰间之距离。

若各段之河槽均为同样之长方形，而其河面又甚宽阔者则水半径与平均深度甚为差矣。

故 $R = D$ 。设 $g = \frac{Q}{\text{河宽}}$ ，则 $V_1 = \frac{g}{D_1}$ ， $V_2 = \frac{g}{D_2}$ ， $V = \frac{g}{D}$ 。

$$(h_2 - h_1) = \frac{1}{2g} (V_2^2 - V_1^2) = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{D_2^2} - \frac{1}{D_1^2} \right) = \frac{g^2}{2g} \left(\frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2 D_2^2} \right)$$

(13) 式之 $S = \frac{V^2}{C^2 D^{2m}}$ ，若 $m = \frac{1}{2}$

则 $S_0 = \frac{V^2}{C^2 D} = \frac{g^2}{C^2 D^3}$

同理 $S_0 = \frac{V_0^2}{C^2 D_0} = \frac{g^2}{C^2 D_0^3}$ 以上各项代入 (13) 得

$$L = \frac{(D_1 - D_2) \frac{g^2}{2g} \left(\frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2 D_2^2} \right)}{\frac{g^2}{C^2 D_1^3} - \frac{g^2}{C^2 D_2^3}} = \frac{\frac{C^2 - C^2}{g^2} \frac{1}{2g} \left(\frac{D_1 + D_2}{D_1^2 D_2^2} \right)}{\frac{1}{D_1^3} - \frac{1}{D_2^3}} (D_1 - D_2) \dots \dots \dots (16)$$

今取两横断面极近，则其距离可作“ αL ”。 D_1 与 D_2 相差亦甚小皆可作为 D 而 $(D_1 - D_2) = \alpha D$ 。

$$\frac{D_1 + D_2}{D_1^2 D_2^2} = \frac{2D}{D^2} = \frac{2}{D^2} \text{。代入 (16) 式得}$$

$$\alpha L = \frac{\frac{C^2 - C^2}{g^2} \frac{1}{2g} \frac{1}{D^2}}{\frac{1}{D_1^3} - \frac{1}{D_2^3}} \alpha D = \frac{\frac{C^2 - C^2}{C^2 S_0} \frac{1}{g} \frac{1}{D^2}}{\frac{1}{D_1^3} - \frac{1}{D_2^3}} \alpha D$$

$$\alpha L = \frac{1}{S} \frac{\left(\frac{D_1}{D} \right)^3 - \frac{C^2 S_0}{g}}{\left(\frac{D_1}{D} \right)^3 - 1} \dots \dots \dots (17)$$

令 $\frac{D}{S_0} = \delta, D = \delta S_0$, $dD = S_0 d\delta$, 則上式可變為

$$dL = \frac{D_0}{S_0} \left(1 + \frac{1 - \frac{C^2 S_0}{g}}{\delta^3 - 1} \right) d\delta \dots \dots \dots (18)$$

此為返水曲線之微分式，其積分則為

$$L = \frac{D_0 \delta}{S_0} - D_0 \left(\frac{1}{S_0} - \frac{C^2}{g} \right) \left\{ \frac{1}{6} \log_e \frac{\delta^3 + \delta + 1}{(\delta - 1)^2} - \frac{1}{\sqrt{3}} C_0 + \frac{1}{\sqrt{3}} \right\} + K \dots (19)$$

令 D 代 $D_0 \delta$, $\phi\left(\frac{D}{D_0}\right)$ 代括弧中之對數及函數，則上式可改為簡式如下。

$$L = \frac{D}{S_0} - D_0 \left(\frac{1}{S_0} - \frac{C^2}{g} \right) \phi\left(\frac{D}{D_0}\right) + K \dots \dots \dots (20)$$

再令 D_1 為堰上蓄水高之深度， D_2 為在堰上 L 距離處之深度。未以 D_1 及 D_2 為上下限代入 (20) 式，則積分之常數 K 消去，而得返水曲線完全之公式如下：—

$$L = \frac{D_1 - D_2}{S_0} - D_0 \left[\left(\frac{1}{S_0} - \frac{C^2}{g} \right) \left[\phi\left(\frac{D_1}{D_0}\right) - \phi\left(\frac{D_2}{D_0}\right) \right] \right] \dots \dots \dots (21)$$

查第四表返水曲線之函數 $\phi\left(\frac{D}{D_0}\right)$ 即可得 (21) 式中之函數矣。

第三章

固定堰之構造

第一節

固定堰之計劃

固定堰之種類不一，故其構造之方途亦異。然無論堰之材料如何，形式如何，其建築之要旨，則各皆相同，故均須依此下列之要件，而定相當之計劃。

1. 穩固而耐久。
2. 堅實不透水。

3. 材料取經濟、

4. 形式尚簡單、

築堰攔水，則堰身必受水力之作用，其主要為

1. 靜水之壓力、

2. 流水之壓力、

3. 堰基潛水之作用、

今為計劃之便利，試取堰長為單位（1公尺），并假設水流過堰之情形如第十三圖。

設 G = 堰高

b = 堰底寬

t = 堰頂寬

H_1 = 上游水面至堰底之深度，公尺、

H_2 = 上游水面至堰頂之深度，公尺、

H_3 = 下游水面至堰底之深度，公尺、

P_1 = 堰身後坡靜水之正交壓力，公斤、

P'_1 = 堰身後坡靜水之水平壓力，公斤、

P''_1 = 堰身後坡靜水之垂直壓力，公斤、

P_2 = 堰頂靜水之垂直壓力，公斤、

P_3 = 堰身前坡靜水之正交壓力，公斤、

W = 堰身全部之重量 公斤、

w = 每立方公尺水之重量 = 1000 公斤、

ϕ = 堰身重量與水之比重。

欲謀堰身之穩固，以抵抗水力，故計劃之時，必須預防下列各項之情形。

1. 堰身全作之移動、

2. 堰身局部之損壞、

3. 堰身全作之傾倒、

4. 堰基吃重之過重、

5. 堰底漏水之影響。

1. 堰身全体之移動。——由第十三畝，上游靜水推移堰沿水平方向之移動力為

$$P_h = \frac{1}{2} W G (H_1 + H_2) \dots \dots \dots (22)$$

而反抗此水力推移之作用，全恃堰身之重量與堰基之摩擦力， f 為摩擦係數，則

$$F = fW = f \left[\frac{1}{2} \phi W G (b + t) \right] \dots \dots \dots (23)$$

堰頂之水壓力 P_2 (第十三畝) 及前坡之水力 P_3 ，雖皆有扶助堰身抵抗之作用，然為堰身安全之計，故 P_2 與 P_3 宜從略，不必計其在內。

若抵抗力與推移相平衡，則 $F = P_h$ 而

$$f \left[\frac{1}{2} \phi W G (b + t) \right] = \frac{1}{2} W G (H_1 + H_2)$$

$$b = \frac{H_1 + H_2}{f \phi} - t \dots \dots \dots (24)$$

欲求堰底之寬，當先定堰頂之寬。堰頂之寬狹，無一定標準，大抵以能抵抗冰澌與浮木之擊撞而不被其損壞，及易使水流之傾瀉為得宜。披白蘭氏 (Bligh) 之經驗，謂運河中堰頂之寬為

$$t = \sqrt{H_1 + H_2} \text{ (英尺制)}, \quad t = \sqrt{\frac{H_1 + H_2}{3.28}} \text{ (公尺制)} \dots \dots (25)$$

而天然河川中流速較大堰頂之寬當為

$$t = \sqrt{H_1} + \sqrt{H_2} \text{ (英尺制)}, \quad t = \sqrt{\frac{H_1}{3.28}} + \sqrt{\frac{H_2}{3.28}} \text{ (公尺制)} \dots \dots (26)$$

堰頂之寬即定，則抵抗水力推移所需堰底之寬，即可由 (24) 式算出矣。

上列 (24) 式中摩擦係數 f 隨建築堰之材料與各種基礎之性質

而異。茲將各專家試驗所得最可靠之平均係數，列表於下。取其相當者而用之可也。

第五表
摩擦係數表

接觸面之種類	摩擦係數
石灰石與石灰石	0.70
石灰石與花崗石	0.65
花崗石與花崗石	0.55
砌石混凝土與砌石混凝土	0.65
砌石混凝土與木材(沿木紋)	0.60
砌石混凝土與木材(橫木紋)	0.50
砌石混凝土與濕土	0.33
砌石混凝土與乾土	0.50
砌石混凝土與石礫或石丸	0.60
砌石混凝土與沙粒	0.40
鋼鉄與軟石	0.40
鋼鉄與硬石	0.30

按摩擦係數之大小，與接觸面之粗滑更有關係。故建築物之置于岩石之上者，可使基礎之表面做成錯亂之凸凹，或為有規則絞溝，蓋可增加其摩擦係數也。若堰之築于泥土或沙粒之上者，

可將堰底固着于樁端或防滲牆 (Cutoff wall) 之上，蓋亦所以增加堰身之抵抗力也。

堰身之重量為抵抗水力之要素，故築堰所用之材料愈重，則愈穩固。茲將各種材料之重量列表於下，以資參考焉。

第六表 材料重量表

材料種類	每立方英尺重磅數	每立方公尺重公斤數	比重
正砌灰泥膠合花崗石	153	2480	2.48
石灰石	150	2400	2.40
沙石	130	2080	2.08
堆砌非灰泥膠合花崗石	130	2080	2.08
石灰石	125	2000	2.00
沙石	110	1760	1.76
混凝土	150	2400	2.40
溼沙	115	1840	1.84
石丸	100	1600	1.60
碎石	95	1520	1.52
溼泥土	110	1760	1.76
軟木松杉等	50	800	0.80
硬木楓栗等	60	960	0.96
鋼鐵	480	7680	7.68
x x x x x	x x x	x x x x	x x x

2. 堰身全体之傾倒。—— 堰後所壓之水力 P 不但有推移堰身之作用，並有使之向前傾倒之勢。抵抗傾倒之勢力固亦全恃堰身之重量。若能使水壓力 P 與堰重 w 之合力 R (參閱第十三章) 經過堰底三分中部 (middle third) 之外邊 E 點，或在

此中部範圍之內者，則堰身自能安全，而無仆跌之虞矣。由第十三章求得堰身重心線與前趾D之距離為

$$d = \frac{b(n+x) + \frac{1}{3}(m^2 - n^2)}{b+x} \dots\dots\dots (27)$$

若以堰底三分中部之外邊E點為中心，則得水力傾倒之重距率 (Overturing moment) 為

$$m_o = P_h \cdot y - P_v \left(\frac{2b}{3} - x \right)$$

$$P_h = \frac{1}{2} W G (H_1 + H_2),$$

$$P_v = \frac{1}{2} W m (H_1 + H_2),$$

$$y = \frac{G}{3} \frac{H_1 + 2H_2}{H_1 + H_2}, \quad x = \frac{m}{3} \frac{H_1 + 2H_2}{H_1 + H_2},$$

$$\text{故 } M_o = \frac{1}{6} W \left[(G^2 + m^2) (H_1 + 2H_2) - \frac{W}{3} b m (H_1 + H_2) \right]$$

而堰身以E點為中心之抵抗重距率為

$$m_R = W \left(d - \frac{b}{3} \right)$$

$$= \frac{1}{2} W \phi G (b+x) \left[\frac{b(n+x) + \frac{1}{3}(m^2 - n^2)}{b+x} - \frac{1}{3} \right]$$

$$= \frac{1}{6} W \phi G \left[(m^2 - n^2) + b(3n + 2x) - b^2 \right]$$

欲求堰身之穩固，則須使 $M_o = M_R$ 是以

$$\left[(m^2 + G^2) (H_1 + 2H_2) - 2bm(H_1 + H_2) \right] = \phi G \left[(m^2 - n^2) + b(3n + 2x) - b^2 \right] \dots\dots (28)$$

欲分解(28)式須先用(26)式算定堰頂之寬 a ，及假定 m 之長或 n 之長為若干，然後方能計算堰底之寬 b 。(甲)假定 m 與 a 為已知， b 與 n 為未知。但因 $b = m + x + n$ ，則 $n = b - m - x$ ，代入(28)式得

$$b^2 + b \left[\frac{2m(H_1 + H_2)}{\phi G} - m + x \right] = \left[\frac{(G^2 + m^2)(H_1 + 2H_2)}{\phi G} + 2m x + x^2 \right] \dots\dots (29)$$

$$\text{令 } B = \frac{2m\lambda(H_1+H_2)}{\phi G} - m + \lambda$$

$$C = \frac{(G^2+m^2)(H_1+2H_2)}{\phi G} + 2m\lambda + \lambda^2$$

$$\text{則 } b^2 + Bb = C \dots\dots\dots(29-甲)$$

$$\text{由此得 } b = \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + C} - \frac{B}{2} \dots\dots\dots(30)$$

若 $m=0$, 則

$$b = \sqrt{\frac{2\lambda^2}{\phi} + \frac{G(H_1+2H_2)}{\phi}} - \frac{\lambda}{2} \dots\dots\dots(31)$$

又若 $\lambda=0$, $H_2=0$, $H_1=G$

$$\text{則 } b = \frac{G}{\sqrt{\phi}} \dots\dots\dots(32)$$

(乙) 假定 n 与 λ 為已知, b 与 m 為未知。同上理則 $m=b-n$, 代入(28)式得

$$b^2 + b \frac{\phi G n + 2(n+\lambda)H_2}{H_1} = \frac{H_1 + 2H_2}{H_1} \left\{ G^2 + (n+\lambda)^2 \right\} - \frac{\phi G \{ (n+\lambda)^2 - n^2 \}}{H_1} \dots\dots\dots(33)$$

$$\text{令 } D = \frac{\phi G n + 2(n+\lambda)H_2}{H_1}$$

$$E = \frac{H_1 + 2H_2}{H_1} \left\{ G^2 + (n+\lambda)^2 \right\} - \frac{\phi G \{ (n+\lambda)^2 - n^2 \}}{H_1}$$

$$\text{則 } b^2 + Db = E \dots\dots\dots(33-乙)$$

$$\text{由此得 } b = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + E} - \frac{D}{2} \dots\dots\dots(34)$$

若 $n=0$, 則

$$b = \sqrt{\left(\frac{\lambda H_2}{H_1}\right)^2 + \frac{H_1 + 2H_2}{H_1} (G^2 + \lambda^2)} - \sqrt{\frac{\phi G \lambda^2}{H_1} - \frac{\lambda H_2}{H_1}} \dots\dots\dots(35)$$

又若 $t=0$, $H_2=0$, $H_1=G$, 則

$$b=G \text{ ----- (36)}$$

以上各項情形，由(30)式至(36)式計算所得堰底之寬，須與(24)式同樣情形所得之寬比較之，取其較大者而用之，大水之時，如下游之水甚深者，則前坡之水壓力足以抵消後坡水壓力之一部分，理宜計算在內，蓋可縮短堰底之寬度減省堰身之材料，惟因結果之公式太為複雜，故通常計劃時之初，往往將下游之水壓力暫行略去，先用(24)式，(30)式，或(34)式算出所需堰底之寬，次將算出之寬酌減少許，末用奇解法以確定合力經過堰底之位置，則計算之手續既較簡易，而計劃之結果尤屬可靠也。第十四章。

第二節

堰底潛水之處置

(甲)堰底之基礎為堅實之岩石質。

築堰之河床有堅實之岩石，固為極良之基礎。然岩石恒有罅裂及孔隙等劣點，故堰底常患潛水之存在。又堰底與基礎表面結合之間不十分密接者，則亦難免潛水之滲入也。凡堰底有水滲入，苟無排洩之去路，即發生浮托力，使堰身上浮尚有碍于穩固，是以計劃之時，不可不留意者也。

據白賴氏之試驗及研究，謂浮托力之大小，隨堰底上下游水頭之深淺及基礎之性質與形狀而異。又潛水滲入堰底非能暢行直達，須循迂曲之路径，且基礎之內部須到處皆有罅隙，故堰底潛水之水頭因摩擦而漸消失，約等於實際水頭 $\frac{2}{3}$ 至 $\frac{1}{4}$ 。

設于第十五章中令

U = 堰底之總浮托力，

U_1 = 上游堰踵之單位面積浮托力，

U_2 = 下游堰趾之單位面積浮托力，

C = 浮托力係數。

餘字意義本章第一節相同則

$$U = \frac{1}{2} b (U_1 + U_2) = \frac{1}{2} C W b (H_1 + H_2) \dots \dots (37)$$

堰底既有潛水，則由前節計其所受之寬，能否抵抗浮托力之影響，可依第十五章之公式以試求之。若所得合力之位置落於三分中部之外，則原定堰底之寬須增加少許，再行試之而已。

減小潛水浮托力之方法，可設防滲牆 (Cut-off wall) 於堰踵之下如第十六章，以增滲漏之抵抗，而阻潛水之透入，亦有置排水管於堰底之中部，以洩透入之潛水，而減浮托之作用者，此兩法可再加寬底並用之，則所築之堰身更為穩固，而無傾跌之虞矣。

(乙) 堰底之基礎為鬆之沙礫質

堰之基礎為疏鬆之沙粒或石礫質，則潛水尤易滲漏，其影響於堰底不獨發生浮托力而已焉。蓋潛流之作用兼能侵蝕基礎之沙礫，遂使堰底空虛無所寄託，而臨全體于危險之狀況，故須預謀妥善之計劃，以求堰身之安全也。

凡堰之築于沙礫基礎之上者，在于堰底鋪于厚實混凝土底板 (Floor) 延長至下游若干距離。其功用為增加潛水滲漏之路径與摩擦之抵抗，以阻潛水之流動及其侵蝕之作用，并可為上部堰身適當之基礎及保護下游之河床所受河流冲刷之虞。故上部堰身之計劃可當築于堅實基礎之上者，而其断面之大小，即照前節之計算公式反查解之方法而定之。

潛水滲漏之路径——批白賴在印度之研究，謂以水压管之探測，乃知堰底沙礫間潛水滲漏之路径亦非為自進口之直接距離。凡堰底之防滲牆或片樁等之障礙部分，潛水滲漏之際必

須循其周界而進行，(參閱十六畝)蓋此障得部之功用與底板平置之直面相同。惟底板下游之末端亦有簽訂之片樁，為保護河床以免漩渦及迴流之冲刷者，則潛水遇之被阻，反有增加浮托力之弊，故各短片樁之間皆須開留裂縫，則可使下端之潛水得自由透出焉。(參攷第十六畝丁)。

底板防漏牆及片樁等，既為阻碍潛水之流動而設，其所需之長應為幾何不可妄相當確定之決則。批白賴氏之經驗；謂阻水路徑之長短，須視河床地質之性質而異，可由下列公式以計算之

$$L = CH \text{-----} (38)$$

式中 L = 阻碍潛水滲漏所需路徑之長，

H = 水頭即上下游水面差，

C = 潛水滲漏係數隨河床之地質而異。

第七表
潛水滲漏係數表

河床之地質	C之數值
細沙60%之沙粒能過第100號篩眼者-----	18
雲母沙80%之沙粒能過第75號篩眼者-----	15
沙粒之粗大者-----	12
石礫與沙粒之混合者-----	9
石塊與石片與石粒及沙粒混合者-----	6-4

底板長度之計算——阻碍潛水所需路徑之長既定，其次須定堰前應輔底板之長為全長之几何。若將所需潛水路徑全用底板置于堰前(如第十六畝甲)，則底板所需太厚殊不經濟。是以阻

河渠工學

水之路径長以堰底板之一部份与堰後之戩土或片樁等組成之，如第十六章之乙丙兩章。至堰前之底板，除為一部份阻水之路径外尚有保護堰前之河床以防河流冲刷之功用，故其需要之長度，亦不可太短，須照白賴氏之公式以定之。

$$L_1 = 4C \sqrt{\frac{Ga}{13 \times 3.28}} \quad (\text{公尺制})$$

$$L_1 = 4C \sqrt{\frac{Ga}{13}} \quad (\text{英尺制})$$

式中 L_1 = 堰前所需底之長。

G_a = 堰高

C = 潛水滲漏系数，詳見第七表。

已知堰前底板之長，及堰底之寬則由 $L - L_1 - b$ 所餘之數，即為堰後應鋪戩土之長度或片樁兩面之共長。

浮托力之計算—— 堰底之地質疎鬆水易滲漏，其浮托力之影响自較稍有孔隙之岩石基為大，應照實足之水頭以計算之。

設 H_1 = 上游水面至河床深度、

H_2 = 下 " " " " " " " "

L = 潛水滲漏路径自進口至出口之共長、

L_1 = 自進口至任何点滲漏路径之長、

$S = \frac{H_1 - H_2}{L}$ = 水压線斜度 (參閱十六章)

$n = SL$ ，自上游水面任何点水頭之降低、

H = 底板下面任何点之水頭、

U = 單位面積浮托力、

γ = 單位面積上壓浮托力与水压力之差、

w = 單位體積水之重量、

ϕ = 底板之比重量、

t = 底板任何点之厚度、

$$\text{則 } \mu = wH \text{----- (40)}$$

$$G = w(H_1 + H_2) \text{----- (41)}$$

由第十六章 $H+h = H_1+t$ 或即

$$H = H_1 - h + t \text{ 故}$$

$$\mu = w(H_1 - h + t) \text{----- (42)}$$

$$k = w(H_1 - H_2 - h + t) \text{----- (43)}$$

查最大之浮托力当在大水時期上下游水頭最深之際。而結果之上壓力則反是。因在大水時下游底板之上面有水深 H_2 ，足以消浮托力一部份之水頭。故最大之壓力应在上下游水頭相差最大之時。大抵水頭相差最大之數，多在河流最小之時，即上游水深与堰頂相平，而下游无水或水深与底板上面相平時。

底板厚度之計算——混凝土底板所需厚度之計算有下列二种之區別。

(1) 底板之下有木樁以抵抗浮托者，則其全部可分作許多平板，(S/k) 和計劃之。惟其厚度之計算頗為複雜，茲暫從略，当于船閘底面之計劃章再行詳論之也。

(2) 底板之下不用木樁者則全持其重量以抵抗浮托力由(43)式浮托力与水壓力抵銷後之上壓力為 $G = w(H_1 - H_2 - h + t)$ 而底所需之厚或其重量应以抵抗此上壓力 G 。若 W 為单位面積底板之重量。

$$\text{則 } W = G$$

$$\text{即 } W\phi t = w(H_1 - H_2 - h + t)$$

$$\text{由此得 } t = \frac{H_1 - H_2 - h}{\phi - 1}$$

但為安全起見，底板所需之厚照計算所得之數增加三分之一。

$$\text{故 } t = \frac{4}{3} \frac{H_1 - H_2 - h}{\phi - 1} \dots \dots \dots (44)$$

上式中 t 為底板任何點所需之安全厚度其所需最厚之處，則在堰趾之下，自此逐漸減薄至前緣，則等於零。然實際之構造底板前緣之最小厚度亦當以 5 公寸或 1 ½ 英尺為限，蓋所以保護河床，而防備河流之冲刷也。

第三節

堰基壓力之分佈

堰身斷面之計劃與堰底之佈置既定其次當研究堰基所受壓力分佈之情形。在渠化工程中所築之堰，均不甚高大，故無極大之壓力，但河中之基礎多為疏鬆之次極質或柔軟之泥土質，因其載重之力量皆甚微弱，故所受之壓力幾何不可不確定之也。

普通基礎上所受壓力之正交合力，在其中點者，則分佈於基礎各單位面積之壓力皆相等。若合力偏於中心之一邊，最小者則在其他一邊。按研究基礎壓力之分佈，實際上為一種弧線之形狀。茲為求計其便利起見，即假定為一直線之變化（如第十七畝）而所得之結果亦無大區別焉。

設 ΣV = 堰基所受正交之總壓力，即等於堰身之重量與所受垂直水壓力之和（浮托力不計在內）。

V_1 = 堰基單位面積之最大壓力。

V_2 = 堰基單位面積之最小壓力。

b = 堰底之寬。

e = 合力偏向中點之距離。

由第十七畝甲基礎之平均單位面積之壓力為 $\frac{1}{2}(V_1 + V_2)$ 而分佈於全面積之總壓力為 $\frac{1}{2}(V_1 + V_2)b$ 。此總壓力應與合力之 V 相等故

$$\frac{1}{2}(V_1 + V_2)b = \Sigma V \dots \dots \dots (45)$$

若以堰基中心為重距之中心，則分佈壓力之重距率與合力之重距亦相等故

$$\left[\frac{1}{2}(V_1 - V_2)b \right] \frac{b}{6} = (\Sigma V)e \dots\dots\dots (46)$$

由(45) 與(46) 兩式得

$$V_1 = \frac{\Sigma V}{b} \left(1 + \frac{6e}{b} \right) \dots\dots\dots (47)$$

$$V_2 = \frac{\Sigma V}{b} \left(1 - \frac{6e}{b} \right) \dots\dots\dots (48)$$

上兩式中之 e ，于堰身断面已經算定之後，即可求出合力經過堰底之位置而定之。河中有水之時合力偏于中心之下游，故單位面積最大壓力在堰之前趾 D ，而單位面積最小壓力在堰之後踵 C 。河中無水之時合力偏于中點之上游，則堰基單位面積所受之最大最小壓力之位置適相反。

第十七畝甲合力落於堰底三分中部之內， $e < \frac{b}{6}$ ，則 V_1 與 V_2 可由(47) 與(48) 兩式算出之。

第十七畝乙合力經過堰底之中點， $e = 0$ ，則 $V_1 = V_2 = \frac{\Sigma V}{b}$ ， $V_2 = 0$ 。

第十七畝丙合力經過三分中部上， $e = \frac{b}{6}$ ，則 $V_1 = \frac{2(\Sigma V)}{b}$ ，而 $V_2 = 0$ 。

第十七畝丁合力落於三分中部外， $e > \frac{b}{6}$ ，則 $V_1 > \frac{2(\Sigma V)}{b}$ ，而 V_2 為負壓力或引力。

第四節

流水動力之處置

擊撞力——堰上河流甚急，則堰背除受靜壓力外并受水流之擊撞力。此撞擊力大小隨上游流速之疾徐而異，約可以下

列之公式以表示之。

$$p = k w V^2 / 2g = k w h \dots \dots \dots (49)$$

p = 每單位面積所受之垂撞力，

V = 上游河流之平均速度，

$h = V^2 / 2g$ = 流速水頭，

w = 單位面積水之重量。

k = 垂撞力之系数，若堰背為垂直，則此數約等于 1.5。

但水面與河底之流速不同，故垂直面各點之垂撞力亦不同。其重心約在水面下半深之處。假定河流之平均速度 V 為每秒 1 公尺，則流速水頭 $h = \frac{1}{2(98)} = 0.05$ 公尺，而每平方公尺之垂撞力為 $k = 1.5 \times 1 \times 0.05 = 0.0750$ 公噸。即速度每秒為 2 公尺，則 $h = 0.20$ 公尺， $p = 0.3$ 公噸，亦覺微弱，甚大重要，可以從略。若流速較大者，垂撞力亦因之增加，則計劃堰身斷面時有宜計劃在內，即將堰上水深增加， $1.5 h$ 作為靜水之壓力可也。

又在大水時及冰澌之時，常有浮木及冰塊隨水漂流而下，垂撞堰頂，恆致損壞。故計劃堰頂時須特別寬厚，以增加抵抗之力，又宜去其稜角，以免垂撞而遽遭破壞焉。堰頂底須之寬隨堰上與堰頂水頭之深淺而異，可照 (26) 式以算出之。

、 **冲刷力** —— 水流過堰，滾洩而下，傾瀉急速，勢如瀑布。堰前之河床除岩石質以外，若無相當之保護，靡有不遭冲刷而臨為深潭者，及堰下之基礎亦被洗刷，則上部之堰身遂頻于傾覆之狀況矣。是以保護堰前之河床固為妥善之計，而免冲刷之作用尤屬重要之畝也。下列數條為抵抗冲刷，保護河床之各種辦法；或單獨實行，或混合互用皆可，各擇其宜，自無不善矣。

- (1) 構造曲線堰面以變更水流洩瀉之方向。
- (2) " " 傾斜 " " " 和緩 " " 下降之速度。
- (3) " " 階級 " " " 破壞 " " 冲刷之能力。
- (4) 堰下設備水墊 (Water Cushion) 以消受傾瀉之水勢。
- (5) 堰底佈置底板以抵抗冲刷之作用。
- (6) 下游鋪砌石塊以保護河床之淤土。

堰流断面之形狀—— 鮑澤氏 (Bajin) 之觀察，

水流由尖頂堰洩瀉時之断面為曲綫之形狀，如第十八圖。自堰頂以下其断面逐漸收縮，因水速度節々增加，故其面積節々減小焉。此曲綫之性質略與物體原有水平運動之速度，而落于空際所成之軌跡頗相似。故其平均流速曲綫之形狀，約可以下列之公式以表示之。

$$y = \frac{q}{2V_0^2} x^2 \dots \dots \dots (50)$$

式中 x = 曲綫任何點之橫軸。

y = " " " " " 縱 " "。

V_0 = 堰頂之平均水平速度每秒公尺數。

q = $CH^{3/2}$ 堰頂每公尺長之流量每秒立方公尺。

H = 水頭。

C = 常數。

b = 堰流過頂後下水面躍起最高處水流之厚度 = $\frac{2}{3}H$

(參閱第十八圖)。

$$\text{則 } V_0 = \frac{q}{P} = \frac{CH^{3/2}}{\frac{2}{3}H} = \frac{3}{2} CH^{1/2} \dots \dots \dots (51)$$

代入(50)式則得 $y = \frac{8}{9} \frac{x^2}{C^2 H}$ ----- (52)

上式為由已知之水頭 H 以定平均流速曲線之形狀者也。此平均流速曲線之位置與上下兩水面曲線之距離約為 $6/10$ 與 $4/10$ 之比例。今將堰流之平流速曲線之形狀及其位置先行算定，則其上下兩水面曲之形狀與位置，亦可依照各點水流之厚度，以距離平均曲線 $6/10$ 與 $4/10$ 厚之比例而定之，參閱第十九章。至水流各點之厚度 t 可由已知之流量 Q 及各該點之流速 V 以求得之，如

$$t = \frac{Q}{V} \text{ ----- (53)}$$

$$V = \sqrt{V_0^2 + 2gy} \text{ ----- (54)}$$

曲線堰面——曲線堰面之構造如第十九章。以堰身算定之梯形断面，自堰頂上角至堰面中部作成曲線，使與自然堰流（即下流由尖頂堰流下之形狀）下水面之形狀相符合，中部以下接以切線，切線以接以遠水曲線。其構造之曲面必須全部突入自然堰流之內，使水面與堰之間不發生真空，以免吸引堰向前傾倒之勢。

堰頂水流之收縮及其水面躍起之高度，視堰背或堰頂上角之坡度而有區別，堰背為垂直，則躍起之高点，按潘濤氏之觀察，約在距離堰角 $\frac{H}{9}$ 之處，而其高為 $\frac{H}{9}$ 。惟計劃之堰其頂高已經規定不便變動。今欲堰頂之曲線適合堰流下面之形狀，祇可將堰頂之上角降低，作一曲線使水流得漸收縮而至堰頂焉。如是則淺水之水頭較原已規定堰頂之水頭為大。

設 $H_2 =$ 堰頂上之水頭。

$H =$ 淺水之有效水頭（由降低堰角算起）

則 $H_2 = H - \frac{H}{9} = \frac{8}{9} H$ ----- (55)

$$\text{或 } H = \frac{9}{8} H_2 \dots \dots \dots (56)$$

凡構造曲線堰面，當適合最大水之情形，其流量之水頭，當由降低之堰角莫起，流量常數 $C = 1.84$ 與尖頂堰相同。而低水流量水頭宜由堰頂（即堰之最高點）莫起，流量常數約須增加 10%， $C = 2.02$ 。故大水流量。

$$Q = 1.84 \left(H + \frac{V^2}{2g} \right)^{3/2} \text{ 每秒立方公尺}$$

低水流量。

$$Q = 2.02 H_2^{3/2} \text{ 每秒立方公尺}$$

有時堰頂之構造，將其上角截成斜坡（如第十八圖），使水洩較易，則起躍亦較低。若其斜坡為直 1 橫 4 之比例，則堰流之水面由堰頂射出時，迨為水平之方向，而無躍起之現象，（參閱第十八圖乙），

據美國地質測量處之測驗，謂此等堰頂流量之常數，可以下式算之。

$$C = (3.78 - 0.16S) H^{1/40} \text{ (英尺制)} \dots \dots \dots (57)$$

$$C = \frac{1}{17} (3.78 - 0.16S) H^{1/40} \text{ (公尺制)} \dots \dots \dots (58)$$

式中 $C =$ 流量常數。

$H =$ 水頭。

$S = \frac{\text{橫}}{\text{直}} =$ 傾斜比例。

為求構造便利起見，堰面之曲線可用數段之圓弧以組成之如下：

- (1) 堰頂上角圓弧之半徑 $= \frac{1}{8}$ 堰高，或用垂 1 橫

之斜角亦可。

(2) 堰頂下角圆弧之半径，須視大水水頭而之，務使堰面与下水面相接触，而不發生真空為宜。

(3) 堰趾之逆水曲線之半径 = $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{2}{3}$ 堰高，

堰身断面既由梯形改為曲線形，且其面積增加，則堰身之重量与合力之位置，俱有更動。是以關於堰身之穩固狀況，及压力之分佈情形，均須經最後之考核，以完成計劃之手續也。

曲綫堰面之功用，所以變更水流傾瀉之方向，以免堰基激冲之危險。惟由反曲綫迴轉水流之速度，更為猛烈，其破坏力尤屬可畏，故下游之河岸及河床，皆須相當保護之工程。且水流過急，則于行船亦不便利，是又不可不注意也。

傾斜堰面——傾斜堰面之構造如第二十二畝，堰身之断面為偏平之三角形。後斜之斜度能使石塊安妥不動為宜，前坡極為平坦，其斜坡縱橫之比例常為 1:12 至 1:20，其主要目的在和緩下降之水勢，前坡堰面恆以粗大石塊砌成之，增加粗糙之抵抗，而減小水流之速度，以免下游河床冲刷之虞。

階級堰面——階級堰面之構造，如第十五畝，堰之前分成若干階級，每階之高寬須有相當之比例，可使水流落于各級之裡半段為宜。水流逐級下降速度漸減，迨至最低一級，更為緩弱，自無激烈之冲刷矣。

底板之構造——堰下之河床，除堅硬之岩石外，其餘如片岩，泥板岩，及由石礫團結所成之石層，皆不能抵抗激烈之冲击，均須鋪砌底板，以保其表面，至疏鬆之沙粒与石礫，則更無論矣。底板之構造，多用混凝土燒成之及硬石鋪砌之，或有用木框突石堆砌而成亦可，但不若前兩種之堅固耐久耳。底板之

長，約須堰高之兩倍至三倍，或可用(39)式以算之。若底板以混凝土做成，其厚約以 $\frac{1}{10}$ 上下兩水面之降度為標準，最薄以半公尺為限。若有潛水之影響，則底板尤為重要，更須增加厚度，得以重量或木樁抵抗浮托力。

水墊之構造——水墊 (water cushion) 或稱跌水床。其構造以堰下之河床掘槽蓄水，以承受曲堰頂直射下降之水流，殺其破壞之能力，以保下游河床之穩固者也。另一造法，亦有以在堰下相當距離之處築一低小潛水堰，蓄水使深，其功用與掘槽同，惟流過小堰之水，其勢雖不若大堰之猛，仍有激沖之性質，故下游仍須預而保護之也。

無論由掘槽或築堰所成之水墊，其底與四壁均須鋪設混凝土板，其厚度之計算與底板同。水墊即為消受降水之水勢而設，應須有適足之長度與深度。愛川佛萊氏 (Etcheverry) 增擬定下列兩式以估計其之用。(英尺制與公尺制通用)

$$L = 3\sqrt{(H_1 - H_2)H_2} \dots\dots\dots (39)$$

$$b = \frac{1}{2}\sqrt{(H_1 - H_2)H_2} \dots\dots\dots (60)$$

- L = 水墊之長。
- b = 水墊之深。
- H₁ = 上游水面至堰底之深。
- H₂ = " " " " "頂" "。
- H₃ = 下 " " " " "底" "。
- H₁ - H₂ = 上下兩水面之差。

石塊之堆鋪——堰流水急，由光滑之堰面及底板流至粗糙之疏鬆河床，如沙粒石礫等，常有發生迴流及漩渦之傾向，

以致激冲下端河床之物质，及洗掘底板或堰身之基礎之弊。故底板之末端及曲線堰之堰趾以下之河床，均須鋪砌或堆列石塊一段，以保河床之穩固。白賴氏曾擬定下列公式以計其河床保護段所需之長。

$$L' = 10c \sqrt{\frac{Ga^2}{10 \times 75}} = 0.365c \sqrt{Ga^2} \text{ (英尺制)} \dots\dots (61)$$

$$L' = 1.08c \sqrt{Ga^2} \text{ (公尺制)} \dots\dots (62)$$

式中 L' = 河床保護段之共長。

G_a = 堰高 (自下游河床算起)。

a = 堰頂單位長之流量。

L_1 = 堰頂所鋪混凝土板之長。(依 39 式計其之)

c = 常數，詳見第七章。

L_p = 堆石之長。

$$L_p = L' - L_1 \dots\dots (63)$$

第五節

固定堰之實例

混凝土堰——近來堵截河流，蓄高水位，所築之固定堰多以上等混凝土為之。其施工較易，結構堅固，鮮有洩水之弊，而工蓄水之功效尤為卓著者也。混凝土堰構造之断面，多為曲線式，如第二十畝。其所築之基礎莫喜于堅實之岩石。若在基礎疏鬆之處，則宜鋪設底板，以抵抗水流之冲剝，堰底并須簽訂片樁或築阻水牆 (cut off wall)，以阻潛水之滲漏，參閱第二十畝 b 及第十六畝中各種之佈置。堰身之計劃已詳以前各節，茲容再述焉。

砌石堰——在石料丰富，人工低廉之处，欲建固定堰者，可用砌石堰之構造断面如第二十一畲。堰面亦作曲線之形状。堰身内部以粗石堆成，和以上等混凝土膠合之。此等粗石無須磨平，祇要去其表面疏鬆之裂片，及尖銳之稜角而已。盖以粗石堆合之堰，較以平滑条石砌成者，不独工料便宜，即其結構以較堅固不易漏水也。至堰頂及前後兩坡面，則多用巨大整齊之条石，和上等灰漿色砌之，其目的在抵抗水流之冲刷，及減少接縫以免滲漏之弊。砌石堰与混凝土堰，同為重大之建築物，故皆須堅實之岩石以為基礎。若堅實之基礎不可得，則用混凝土底板及木椿以代之，亦無不可也。

堆石堰——堆石堰多築于疏鬆之基礎，以乱石堆成扁平之三角形，如二十二畲。後坡堆石之斜度為 $1:1\frac{1}{2}$ 至 $1:20$ ，因平坦之斜面可以和緩下降之水勢，故有以巨大粗石鋪砌堰面，盖欲增加摩擦之抵抗，而減水流之速度也。堆石空鬆，难免漏水之弊，故堰身内部，另須築阻水牆數道，以防滲漏。牆之構造以磚石，和上等灰漿膠砌，或用混凝土澆之亦可。河床疏濶之处，牆須深入河底，以能阻水止漏為唯一要件。牆身之厚為 $1\frac{1}{2}$ 至 2 公尺，牆之距離自 10 公尺至 15 公尺，皆無一定之規則，隨堰身之大小酌量分配之可也。河水濁渾之处，堆石孔隙蓄積淤土，沉澱既多，則亦可為止漏之用。

堆石堰在埃及，印度之灌溉工程中多用之。我國浙江山鄉農民有于溪中築蓄水，以資灌溉之用者，其構造亦多以堆石為之，惟其傾斜甚陡，每遇大水，輒被冲破，若能多用石料改建扁平三角式，必可保全穩固，而無毀壞之虞也。

木堰——構造木堰之方法約有四種，述之如下：

- (1) 所需材料最省，而構造最簡單者，為木樑堰，如第二十三畵，堰身輕巧為三角形之木架，在無論河處之基礎，皆可為之。堰背釘有木板，板上以戩土使之，既可止漏，又可以增加堰身之穩固也。木架之高度約以1公尺至3公尺為限。過高則靜水之推壓力大，而流水之沖刷力巨，堰身與疏鬆之堰基皆不能勝任矣。
- (2) 木堰之結構稍完備者，則為木橋堰，如第二十四畵。堰身以多數之木樁，及橫直大料兩斜料組成之。堰背傾斜密鋪厚料一皮，堰頂及前坡作曲面之形狀，密鋪橫厚料一皮，上面再鋪硬板一皮。堰踵及堰趾兩端皆簽訂片樁及堰身內部實石以固淤土，皆所以防止透漏也。
- (3) 疊木堰如第二十五畵，用於木材豐富價值低廉之處，極為便宜。疊木堰構造之工作極為簡單，祇須將木材之稍枝削去，選其料最長者，鋪放作底，底上第二第三兩層各退縮七八公尺。以保護下游之河床，自第四層起為堰之本身，每層鑲鋪柴梢泥土，使成堅實之不透水堰身。木料之安放，須以樹幹向下游，樹梢向上游，則疊成之堰背，可得以1:3之坡度。前坡幹端游安放整齊，使成壁立之勢或略帶傾斜亦可，參閱第二十五畵甲。同畵乙。先將河床挖掘淺槽數道，以便安放橫料作底，底料之上接放蓋料，第三層再放橫料數行與底層相對，第四層起退後若干距離，再放直料始為堰身，每層之間亦用柴土鑲鋪，而於橫料之交叉點更用長釘固住，則全柞聯絡更為穩固也。而兩畵疊木之法與甲畵相同，惟前面簽訂大樁一對，每對相距約為3公尺左右。木

橋之前安放橫料兩行，約距3.4公尺，上釘木板以護河床。大橋之間安放底料，次放橫料再放直料，疊層而上至橋端為止。

- (4) 木框堰為木堰之最大最穩固之構造，其断面如第二十六圖。築堰之前，先將河床之鬆土挖去，以平整堅實之下部為基礎。然後搭框架，框架之底須與基礎高低之形狀相符，否則不能接合框架完成，浮至堰基之位置，實石以沉之。堰之長者，須做框架多個，安置之後，可用茶釘結合，聯成爲一體。堰背或垂直或傾斜皆須密釘板片。板後戩土以止漏。堰頂有斜料，以便浮木冰塊之漂流。堰之前坡或垂直或傾斜或作階級皆可。凡堰高在5公尺以上者，水流暴急，宜用階面為妥。

鉄筋混凝土——鉄筋混凝土堰，堰身中空如第二十七圖。其優點以體質輕巧，可築於無論何種之基礎，而其構造之堅固殆與堅實之混凝土堰及砌石堰相等。蓄水不高，結構簡單者，如第二十七圖(A)及(B)，蓄水高者，堰之結構如(C)及(D)，其堰背，堰頂及堰面均以鉄筋混凝土板組成之，堰中有扶壁數道(Buttresses)以負靜水壓力及堰板之重量。扶壁有孔洞數個，有足橋可通，便于入內修治，第二十七圖(E)為複式之拱堰。(Multiple-Arch)堰身亦係中孔，堰背為拱形，利用混凝土以受靜水之壓力，則可免用大部份之鉄筋，蓋鉄筋看水易銹，一經朽腐則有碍堰身之穩固，是以鉄筋之外須用厚實之混凝土以包圍之。

第四章

活動堰之構造

第一節

活動堰之計劃

活動堰具有活動之裝置，其優點為蓄水之高度可隨流量之大小而調節之，即低水時期用以堵截河流，蓄高水位，以供通航之需要，高水時期可逐步拆卸，放水暢行，以免上游之氾濫，且此時往來之船舶以直接通行而無阻，且又較勝于固定堰也。

活動堰之種類頗多，然可大別為被動與自動之兩種，關於每論何之計劃皆須具備下列各項之要件：—

- (1) 堰身堅密漏水極微。
- (2) 裝置靈便啟閉容易。
- (3) 結構簡單修于修治。
- (4) 工程費用力求經濟。

活動堰之佈置視河流之情形而有區別。大抵河面狹者，除船閘外，則宜全部築以活動堰。河面寬者，則有一段築活動堰，河岸稍高者，則有下部以固定堰做基礎，而上部為活動堰。更有一段為某種之活動堰，而其他一段或數段則為其他一種兩種不同之活動堰。

凡活動堰之佈置為數段所組成者，各段隣接之處須築堰墩以分隔之，其與船閘接近水路較深之一段，于高水時期可以開放，使船舶得直接通行者，謂之通行段，或通路 (Passage)。以其餘各段為調節低水位及洩放大量水而設者，謂之堵水段 (Barrier)。以活動堰調節洩水之通路，其面積之大小，及堰之高低均須分配得宜，否則集化後之河流恒有發生太急或太緩之弊。河

流太急則上行船舶感覺困難，而流速太緩在河道澄清之處固屬有益而無損，若在水流渾濁含沙濃厚之處，往往難免沉澱淤積之患，是以不可不注意者也。通常在通行段堰跟之高，五與河床之平均面齊平，至堵水之段堰基恒較通行段為高，所以便于節制水位耳。

第二節

插 堰

插堰為活堰堰之策古者，我國水閘口門節制水位之裝置，或用插梁或用插門，由來蓋已久矣。歐美各國灌溉蓄水亦多用，以其結構簡單而易於設備也。

插梁堰 (*Flash Board Weir*)——插梁堰之構造極為簡單如第二十八畝。每個口門之兩側為堰墩 (*Peir*)，口門之高與寬以不礙大水，及易于啟閉工作行走之用。堰壁以橫疊之梁組成之，謂之插梁，插梁之長約2公尺至5公尺兩端插入兩側堰墩直槽之間。其兩端近墩之處有凸出之銹釘，用搖車及吊繩以舉起之或落放之。(參閱第二十八畝)。惟大水驟漲時，啓堰較為困難，失誤時機，水即暴漲氾濫兩岸為患堪虞。

插門堰 (*Gate Weir*)——插梁之接縫不密水漏極多，若將橫木以密筭拼合為門則成插門堰，如第二十九畝。插門之優點在漏水之量極省，插門重笨，啟閉手續不及插梁之輕易耳。插門之寬大者則用鐵板組成之，所以減輕重量也。啟閉插門之機械，約有下列之數種。

- (1) 提桿。
- (2) 吊索或吊鍊及絞轆。
- (3) 齒輪及齒杆。

(4) 手輪及螺旋桿。

(5) 滑車及重錘。

上述牆梁及牆門兩種之活動堰，固為最簡單最普通者，惟其洩水之口門狹窄，而堰墩又不能移動，是以不利于航行，其弊與固定堰相同，故祇宜築于堵水段而不適用於通行段也。

第三節

滑木堰

(Sliding panel weir)

滑板構造如第三十圖。阻水堰壁以木板組成之，謂之滑板。滑板之長約1公尺至1½公尺，寬約1公尺左右，以兩片或三片之木板拼合之，板之兩面釘以鉄以防碎裂及彎曲之弊，板之四邊剝削平滑，各各板互相接合成為密緊之堰壁以減漏水之量。板之上半部中間釘有凸起之鉄柄，以供推板之用。支板之物為鉄架；架之距離與板長相等。全段之架以鉄鍊聯絡為一氣，架脚有迴轉自由之鉄軸，與堰基相牢。架上架以強厚之木板足橋，以扶堰架之穩固。開堰之法，人立橋上，先將提杆拔起滑板，次拔足橋，然後拉牽架上之鉄鍊，使架一一倒卧于堰底，如是全部開放，高水時期往來船舶可得直接通行之便利矣。建堰之法，亦甚簡單，與閘堰之手續相反。

第四節

針 堰

(Needle weir)

針堰之構造，如第三十一圖。如堵水之堰壁，為堅立之方柱一排，方柱謂之針，故其堰名針堰。針之橫断面，多作正方形，針之上端有圓柄以便握手。每個針重以50公斤或100磅左右為

限，过重则不便启闭也，针堰支架之构造与前之滑板堰相似，亦有竖起放倒之装置。架上除活动足桥外，更有可以拆卸之横铁杆互相联结之。竖立针堰先将针柄搁于横格之上，下端拖入水中，俟其着底，仍渐移下端使靠于堰基凸起之支搁之上为止。闸拔堰针颇为困难，并须谨慎为之，盖拔起针端，脱离支搁之际，被水冲向下游，以致常有拖带工人落水之险。故为妥善起见，针之上端宜附钉铁钩一枚，以便挂于横杆之上，则拔起之针仍得暂为挂住，不被急流冲去矣。俟水势稍缓，方可移去挂住之堰针，自免危险之可虞。另有一法，以船定于堰之上游，用轻便起重机或吊杆递送绳索，交于架上之工人，以结于针柄或铁钩之上，乃于船上以绞车收绳索，则同时一次能拔去多数堰针，即为便利也。

拆卸或竖立堰架之方法，与前节同。

第五节

帘堰

(Curtain Weir)

帘堰之构造，如第三十二图。係由母来氏西历1876—1880年间所发明，堰壁係多数横木钉以铰链，成为帘形，可以自由展卷。支帘之架有立架与吊架两种；立架如第三十二图(甲)，可以放倒，与针堰及滑板堰之架相似；吊架如同图(丙)，可以吊起，为直立之铁梁，梁之上端有转轴，拴于铁桥之下，其下端支于堰基之支槛，帘之周围缠有铁索，启闭之际，用绞车收放铁索，则帘可得随意捲起之，或则落放之。

帘堰之优点为：

- (1) 帘木之接缝，较针堰为密，故漏水较少。
- (2) 帘木可以随意捲放至任何高度，故调节水位较易。

- (3) 簾之捲起，自下而上，故堰之基礎附進淤積之泥土可借水力以沖去之。

簾堰之缺點為：

- (1) 簾之構造纖弱，容易損壞。
- (2) 簾捲頗重，須用特別之機械，以起放之。
- (3) 簾初捲時，河床洩瀉之水流甚急，故下游河床須有相當之保護。

第六節

圓筒堰

(Rolling Weir)

圓筒堰之構造——如第三十三圖。德人措史登勒 (Cassstenjen) 所發明，為鉄板做成之圓筒，放于堰基曲面水槽之上，木槽之曲面，與筒之下面極相脗合，是以漏水甚微。筒之兩端圓周具有齒輪，與堰墩斜面之齒級相配，其一端齒輪之旁環以鉄鏈，另一機輪絞動鉄鏈，則筒可沿斜面上下滾動，是以啟閉極為便利也。此堰之優點約有下列之數種：

- (1) 結構簡單。
- (2) 筒體堅固。
- (3) 漏水極微。
- (4) 起放快速。
- (5) 滾動容易。

至其缺點，則為做工頗難，而價值亦昂貴也。

第七節

旋板堰

(Shutter Weir)

旋板堰為活動堰中之能自動開啟者。結構之簡單者，如第三十四畝，為印度式之旋板堰，旋板堰後面約在 $\frac{1}{3}$ 板厚之處，有一鐵軸，與鐵桿之一端相拴牢，可以自由迴轉，鐵桿之他端作環形，釘在堰基之上，亦能轉動。若堰上之水位增高，超過一定限度時，則水壓力之中心移鐵軸之上，而旋板即行倒落，奉行暢流，水位自亦減退矣。此种旋板之優點，以其結構之簡單，而易於建築也。但堰板之長不能過大，僅限于二公尺左右耳。豎立旋板則藉工人為之，豎立之手續宜和緩，不宜疾速，蓋恐水力裏冲旋板，以致毀壞鐵軸或鐵杆等弊也。

蓄水較高，宜用雪那恩氏旋板堰 (Chancine Shutter Weir)，其構造如第三十五畝，旋板之中部有凸出如耳狀之兩轂拴于支架之上軸，而支架之上軸之中間貫於支杆之上端，皆能迴轉，支架之下軸，拴于堰基之支檻。壁堰之汰，多在上游之架上或船上為之，拉動附于旋板之鐵鏈，使其全部立起，使支杆抵住支檻為止。啟堰之汰，先拉旋板，使之上浮，則水得瀉出，再拉之使支杆之下端脫離支檻，然後放鬆鐵鏈，倒全部倒臥，若上游有立架者，亦可放倒之，則全段開啟，可以通航矣。若在支檻之上首附裝拉机，拉机之節制机閘裝在堰墩之上以便運用，轉動拉机即能撥動支架之下端，使其與支檻脫離關係，則其全部因受上游之水壓力，亦能自倒焉，惟下游須相當之水深之可行，蓋恐倒落時旋板與堰基俱遭損壞也。

此种旋板堰板蓄水位頗高而兩岸頗低者，大水之時，開啟不及，難免沉檻之弊，若將其迴轉机閘裝于中部下稍低之處，則水位增高時亦能自動開啟焉。

唧筒旋板堰係勒拉特氏 (Girard) 所發明，其構造如第三十六畝。旋板之下唧筒，筒內有活塞，活塞之上有聯按杆，與旋板下面中部之附轂相拴牢，而可以迴動，故由活塞之推動，以司旋板之啟閉也。另於岸旁相當之處設置水力机，利用堰上蓄高之

水力，以轉動抽水機，運送河水預備儲于岸上擡高之水塔。至唧筒內之壓力，即由塔內所積之水，用直管輸送，以供給之，接通水塔與唧通之導管附有節制活門，可以開關，以調節筒內之壓力。唧筒之下端另有放水管，亦有節制之活門，以便放水者也。此堰具有最灵敏自動啟閉之機閘，為活動堰中之特点，惟其唧筒之裝置，頗為昂貴，且時常浸在水中，易遭銹壞，其結構固屬灵巧，惜乎不甚合于實用耳。

第八節 熊捕堰

(Bear Trap Weir)

熊捕堰始創于美國，其最前者，在西曆 1818 年築于美國利海河 (Lehigh River)，建築人為威脫氏與哈石特氏 (White and Hazard)，其構造如三十七畝，係兩葉木質旋板所組成，板之下端拴于堰基之軸上，而可以迴轉，板下有導管與上下游相接通，以活門節制之。堰身堰臥時，上游之旋板摺疊於下游旋板之上，若將上游之水由導管引入旋板之下，同時下游之導管閉住，則旋板因受浮力而俱起立矣。但下板有鏈結于堰底，故只能起至一定高度為止。開堰之法，將上游之導管開住，下游之導管開放，水得洩出，則旋板因受上游之水壓力，而自行倒落矣。

法人全勒特氏於西曆 1868 年，創造一種旋板活動堰，如三十八畝，其構造之原理，與上述之熊捕堰相似。其不同之處，在堰頂以不漏水之樞紐聯結之，又以另一樞紐置于下游旋板之中部，使旋板可以互相摺疊，則堰身可以倒臥矣。下游旋板亦有一鏈結于堰底，其功用與上同，灌水放水反啟閉之方法亦同。

美國人柏克氏 (Parker)，于西曆 1887 年，鑑于舊式之

熊捕堰于啟閉之際，其上下兩旋板有摩擦之弊，因而改良之，如三十九畝，其形式與三十八畝適相反，蓋下游之旋板為一葉而上游為兩葉也，堰頂及上葉之中部，亦各有樞紐聯結之。上游另有盖板一，蓋其上端以樞紐接于堰頂，其下端仍擱置于堰基，而能自由轉動，此葉之功用，所以保護摺疊葉以免淤土之堆積，而有碍于運用也。

來恩氏熊捕堰，係英人來恩氏 (Lany)，于西曆 1890 年所創造，為柏克氏熊捕堰之改良式，其構造如四十畝。其特點為上游之旋板較短，以鏈結于下游板之上端。另有盖板一葉，亦較短，其上端以樞紐結于堰頂下端附有不漏水之輻筒，所以能減少滑動時之摩擦者也。

第九節

鼓 堰

(Drum Weir)

鼓堰之首創者，為法人該方登氏 (Desfontaines)，在西曆 1857 年至 1867 年之間，始築于法國之馬爾內河 (Marne River)，其構造如四十一畝。其主要部份，係兩片旋板結合而成，迴轉於水平軸上，上旋板用以堵水，下旋板略作曲面之狀，迴轉於鼓室之內，所以司上旋板之啟閉也。鼓室形圓略如鼓之半面，故此堰曰鼓堰，鼓室與堰墩之涵洞通，其佈置如畝四十一 (乙)，所以灌水洩水者也，豎堰之法，先開堰墩上游之活門，放水入室，利用壓力推動下旋板，以豎起上旋板。開堰之法，先關上游之活門，而開下游之活門，鼓室之水則由涵洞放出，則上游之水壓力足以推動上旋板而堰自倒矣。

法人克文納脫氏 (Cuvnot)，改良該方登氏鼓堰，如四十二畝。其構造之特點，為分開上下兩旋板之裝置，下旋板轉軸之

上有支桿，以支撐上旋板使在任何位置皆得穩固，故可調節蓄水之高低，其下旋板較短，可以減少鼓室之作積，而省建築之費用。鼓室上側之涵洞與上游通，常開放而無活門，下側之涵洞與下游通，有活門以司水洩放，而調節下旋板兩面受之壓力。下旋板之下端及兩邊與鼓室之內室壁并非絕對密接，故上游之水得以透入，而充滿于鼓室。當活門閉時，鼓室內之壓力平衡，而上游之水壓力足以推動上旋板與支桿而堰倒。今若開放活門，則下旋板兩面所受之壓力不等，即向下游轉動，同時上旋板受支桿之推托，亦自起立矣，更以活門開放之大小，而調節下旋板兩面所受壓力差之大小，因此可以調節上旋板蓄水之高度也。

威登騰氏 (Chittenden) 之鼓堰亦為改良式之一種。其構造簡單，如四十二畝，下部為鼓室，上部之活動部份為扇形之旋門，啟閉靈便，與上述之兩種相同，但無泥沙貯泥之弊，為其優點也。旋門內部之構造極為堅密，既不漏水且去氣。鼓室之底有涵洞，與上下游通，有活門以司水之進出。若引上游之水放入鼓室，則旋門同受壓力而浮起，若放水出下游，則旋門即墜入鼓室矣。旋門之構造固不宜太重，但亦不宜太輕，輕則大水之時，下游水位亦高，鼓室之水，不得放出，而旋門常有伏起之弊。補救之法，可于旋門之底鑿多數之小孔，則水得透入，而門能下落矣。壅堰之法，即將空氣用導管打入門內，則水排出，而門自浮上矣。

第五章

船閘

第一節

船閘之意義及種類

河渠工學

河中築堰，則水面分成階級，必設閘節制水面，以通航運，是曰船閘。閘之發明，由來已久，有謂最早者，在1439年意人即有此種船閘之建築。亦有謂1300年荷國人早有船閘之建築。

船閘之結構，有如四十四畝。A為閘之上部，名曰上閘端；C為閘之中部，名曰閘箱；B為閘之下部，名曰下閘端；D為跌水牆，E為上閘門之門槽，F為下閘門之門槽，G為下閘門之門檻，H為上閘門之門檻。

船閘之種類可分之如下：—

(甲) 双向船箱，至少須有二對閘門，可向兩邊阻滯高水，多用於天然河道與運河相交之處，尋常時期，運河之中，須蓄水，故渠水恒高于河水，而当天然河道洪漲時期，則河水又高於渠水。須用方向相反之兩重閘門，應時以司啟閉，近水一邊之閘端，名曰外閘端，近渠一邊之閘端，名曰內閘端。參看四十五畝。

(乙) 攔洪閘，為箱閘之簡單者，僅攔阻一邊之高水，具有閘門一對，已足敷用。

(丙) 船塢閘，僅具閘門兩扉，為落潮保存閘箱內高水之用，故亦名曰落潮閘。

又依閘箱之形態，可分之如下：—

甲、單船閘，閘箱之中僅容一船，如四十六畝。

乙、雙船閘，閘箱之中可容兩船，其船并立者，如四十七畝。其二船，或多船前後相連者，如四十八畝。

丙、鍋閘，船進閘後，可在閘內旋轉，如四十九畝。

第二節

普通船閘之說明

普通船閘，最重要之部份為：

- (甲) 上閘端及上閘門。
- (乙) 閘箱。
- (丙) 下閘端及下閘門。

設有船須從下水駛入上水，應先閉上閘門，用調水設備，使閘箱之水與下水同高，再放下閘門，放船入閘。然後閉下閘門，應用調水設備，使閘箱之水與上水同高，乃啟上閘門，放船出閘，使入上水。設有船從上水駛入下水，其手續相似，而程序適相反。

閘箱之寬度，除船之寬度外，並留空隙，空隙之大小，則視河內之閘與渠內之閘各異。船閘並有之長度，即介於上閘階之跌水，及下閘門之端之距離，除船身全部之長度外，兩端亦須留有空隙。深度亦然，可參看第九表。

第九表
船閘之大小

閘之種類	寬 m.	深 m.	長 m.	附記
渠閘	$b+2 \times 0.5$	$t+1.25$	$l+2 \times 1.0$	用於單船(1)
“ ”	$b+2 \times 1.0$	$t+1.25$	$l+2 \times 2.5$	“ ” 隙(2)
河閘	$b+2 \times 1.0$	$t+1.25$	$l+2 \times 1.5$	(1)
“ ”	$b+2 \times 1.5$	$t+1.25$	$l+2 \times 4.5$	(2)
海閘	$b+2 \times 1.5$	$t+1.50$	$l+2 \times 5.0$	(1)

閘門之高度，須較最高之水加 0.15 至 0.3 公尺。(用於渠閘) 或 0.3 至 0.5 公尺。(用於海閘)。閘旁之牆垣，須較最高之位加 0.3 至 1.0 公尺。

第三節

船閘之構造

船閘之構造，關係非常複雜，茲將其有關諸事項，列述如下：一

1. 地質之優劣、
2. 船閘之位置、
3. 水級之高低、
4. 船閘之大小、
5. 船過閘時，所需水之量、
6. 現在船閘之用途，及將來之發展、
7. 附近出產之材料。

A. 閘底——閘底或可透水，或不透水，前者現頗通行，宜于閘廂較長，水級較小及地質堅實之閘，後者劣點，為上水寬入透水底層，于閘廂底下，發生上壓力，于閘中無水之際，足以危險閘身。此種上壓力，常以閘底之重為對抗力，然此在水級較高之閘，須有極大之土工，頗較費料，有似賽因河下游之 *Douglas* 船閘，廂寬 55 呎，而廂底之厚，達 $14\frac{1}{2}$ 呎，欲免此種消耗，故有用樁以牽曳船底者，有用平拱或反拱以對抗此上壓力者。近有用可透水閘底，于閘底穿孔，使水流入船廂，或于閘底安置縱向之排水管，使水流入下水。

閘底之用混凝土與木者——先于閘底打樁，樁頂齊平，連以基梁於諸樁之頂邊。于基梁之上，再鋪蓋 2 吋厚之木板二重，基梁與樁頂繫釘連結之，木板與基梁，則用大釘 (*Spike*) 連結之。此種閘底，最易漏水，且不經久，以木用為宜，鋪以 3" 至 6" 之混凝土，可免板面之侵蝕及漏水。此外有餘木樁之頂切孔，插入混凝土製成之閘底中，木樁發生伸力以對抗水之上壓力。木樁間之距離，約為 3 呎至 4 呎，閘底之厚，約為 18 吋至 3 呎，木樁須盡去表皮，否

則經水腐爛後，易於滑動，而生危險。

閘底之用反拱者——以同樣之材料，而作反拱之閘底，其強度可以增加。先於基地打樁，樁頂切孔，鋪以反拱混凝土。每樁所領面積，約 12 至 16 方呎，閘底厚約 3 呎至 5 呎。亦有反拱閘底而不用木樁者。在歐洲多用之。或以砌石之大石塊砌成，或以混凝土鋪成。其形式或為平拱，或為弧拱。在弧拱中，其每寬一呎，拱頂之總壓力，可由下式計算其約值：—

$$T = PR \dots \dots \dots (64)$$

式中 T 為拱頂每呎寬之總力， R 為拱之平均半徑，以呎計 P 為閘底每平方呎水之最大上壓力。 P 之值約取其平均值，且其力之一部份，可與閘底之重相對消。

閘底之用鋼筋混凝土者——為減少混凝土之厚度，以節省工料計，可用鉄筋混凝土，而其基仍須打木樁。

閘底之計劃，常不能完善，一經壞損，極難修理，故初建時，宜加倍強度，以免將來修治之艱難。

B. 閘牆——閘牆之重要部分有三：—

1. 閘廂之近河牆、
2. 閘廂之近岸牆、
3. 上閘端與下閘端之牆、

此外尚有翼牆，檻牆，越牆等。其計劃方法，與堰埧同，茲述之如次：—

1. 閘廂之近河牆

近河牆之頂寬至水頂 5 呎，普通皆用 6 呎。其所受之作用力，為牆本身之重，及上水與下水之壓力。其最特殊情形，為上水當大水時期，而下水乾涸。如在浸水基礎中，而堰位在於閘之下端，則近河牆

之外邊，及底部皆受壓力，故常頂極大之斷面。閘底之上壓力，有時應向于閘牆，但多忽而不計。惟在弧拱閘底，而不用木橋者，則其與閘牆之效應甚大，亦須加以計算也。當堰位在閘之上端，則其所受之作用力，如五十畝所示。當堰位在閘之下端，則其所受之作用力，如五十一畝所示。

2. 閘廂之近岸牆

近岸牆之頂寬，如其近岸之填土與其頂齊時，可用5呎或大於5呎，如用在塞西西北河者，多用3呎。而在歐洲者常用1公尺（3呎）。其所受之作用力，為牆本身之重力，上水之水壓力，底面之上壓力，以及岸之土壓力，如五十二畝所示。其最特殊情形，為廂內之水，盡行排去，而下水仍在通常水位。

3. 上閘端與下閘端之牆

閘端牆較閘廂牆為厚，因其頂抵抗閘門所作用之力，於其頂上須裝置啟門機閘。故在門位之後，須有9至15呎之寬度，設似第五十三畝所示。為上閘端牆與下閘端牆之平面圖，其A B C D一部份與F G H J一部分各抵抗閘門之壓力。而作用于A B C D一部份之外力，有本身重力 w ，上水之壓力 P ，（作用于A E面上，普通忽去不計），門之摠壓力 T 及底部之上壓力 V 。此中 T 之值可由下式計算之：—

$$T = \frac{Q}{2.5m\alpha} \text{-----}(65)$$

式中 Q 為門所受之摠壓力， α 為門檻與牆面之正交綫所成之角。 T 力之方向，與正交綫成 2α 之角，再可分之二其一為

$$S = T \cos 2\alpha, \quad \text{與閘之軸正交、其一為}$$

$$x = T \sin 2\alpha, \quad \text{與閘之軸平行。}$$

當計算疲力距時，則應分別考察之。

此外尚有上越牆，與上閘門修理時，用以支持針木，攔阻上

水之流入廟內。針木上端依于橫梁C，下端即依越牆，如五十四畝所示，針木每呎所受之壓力為：—

$$P = \frac{1}{2} h^2 w$$

牆身每呎所受之壓力為：—

$$Q = d \left(h + \frac{d}{2} \right) w \dots \dots \dots (67)$$

式中 d 為牆之高， h 為針之高， w 為水之單位量。再合牆本身重 W ，則可求得其合力之作用點矣。

C. 導船堤

船閘之上下端，皆須有導船堤，近岸導船堤，(guide wall) 應與近岸牆等高，而相連接，堤坡上備梯，鈎，緩沖木等，以備船之停泊，(Ladder) 等待開閘之用。近河導船堤，則應與近河牆分離，相距約在八呎與十二呎之間。蓋河中常有漂浮之物，停積於閘之上端，可由此空隙放至河之大流中。

在木石豐富之區，導船堤可以木框實石築成之。否則混凝土建築，其基礎深入石層，或打木樁，頂寬須三呎至五呎，面為垂直，或具微坡。如河底建實，可打木樁一列，各樁之面，連以相隔 10 吋之橫木，以代導船堤之用。

第四節

閘門

閘門之普通者，為二扇，依縱軸旋轉，中間二門互相依靠之邊，謂之門趾，其他二邊，各裝轉軸，謂之門踵，門踵依于閘端牆之處，謂之門柱。門之下邊，依于底板上之檻，謂之門檻。(參看五十五畝)，門趾之下，裝有滑輪，以便啟開。啟開之法，用鉄鏈或齒杆及絞盤機。

此外在特殊情形，有用單扇門者，如五十六畝；有用昇降門

者，如第五十七畝；有用直移門者，如第五十八畝。

閘門所受之力，有下述數種：—

1. 水壓力。
2. 門柱及門檻之抗力。
3. 門本身之重力。
4. 所受之上浮力。
5. 船之觸真力。

後三種力，或可互相對銷，或因微小可以不計，故設計者，常只算前二種力可矣。

水壓力之計算

當門面橫向結構時，可以計算之如下。設如五十九畝，門中 P 為任何深度，每單位長所受之水壓力； H 為其中心點所受之水頭， W 為門板之寬；則每單位長之門面所受之水壓力為：—

$$P = W \times 1' \times H \times 62.5 = HW \times 62.5^{\#}$$

其灣力距為：—

$$M = \left[\frac{P \times AB^2}{8} \times 12 \right]^{\#} = \left[\frac{3WH \times 62.5 (AB)^2}{2} \right]^{\#}$$

此須與門板之抗力距等，抗力距常由 $M' = \frac{SI}{C}$ 公式計算，而 $I = \frac{Wx^3}{12}$ ， $(I = \frac{bx^3}{12})$ ，使 M 與 M' 相等，可以求門板之必須之厚度矣。

門柱之抗力

門受水壓力外，尚受柱之抗力，及二門間相互之推力。設如六十畝， P' 為一門板所受之總水壓力， T 為門趾之抗力，則由力距定律得

$$P' \times \frac{AB}{2} = T \times AB \sin \alpha$$

$$\text{或 } T = \frac{P'}{2 \sin \alpha} \dots \dots \dots (68)$$

其門踵之抗力，R與T相等，且其門板AB所成之角亦相等。此T與R力沿門板方向之分力為：—

$$C = T \cos \alpha = \frac{P'}{2 \sin \alpha} \times \cos \alpha = \frac{P'}{2} \cot \alpha \dots \dots (69)$$

此力設均勻分佈於門板AB之全断面，其擠壓工作应力為：—

$$\text{应力} = \frac{P'}{2} \cot \alpha \div a$$

此中a為門板之橫斷面積。故与水壓所生之門板工作应力合併後，在上水方面，將增其其压应力，在下水方面，將減少其应力。當計劃時，須有充分断面，足以負載此項应力，惟其最大应力發出之範圍，只在門之中心部，至門之二端端，仍可安全也。

門框之樑，有時立放，下端靠放于門檻，上端靠于地平方向之大樑。其門中立樑之計算，可如下法行之。如六十一番設d為大樑至水面之距離W為立樑所受水壓之寬，R₁與R₂為立樑兩端之抗力。故得

$$P = WH \times \frac{H}{2} \times 62.5 = \frac{1}{2} WH^2 \times 62.5 \dots \dots (70)$$

以立樑下端為力距中心，則

$$R_1 = \frac{PH}{3(H+d)} = \frac{H^3 W \times 62.5}{6(H+d)} \dots \dots (71)$$

在水面以下任何點之弯力矩為

$$\left\{ R_1(d+x) - W \times \frac{x}{2} \times 62.5 \times \frac{x}{3} \right\} \times 12 = 62.5 W \frac{H^3(d+x) - x^3(H+d)}{6(H+d)} \times 12 \dots \dots (72)$$

由是可以決定立樑之大小矣。
門之重量。

除一部份負載于門踵之軸外，更用斜杆担荷之。有時裝滑輪于門趾之下，但多碍于積冰，啟閉反感不便，故頗少用之也。設如第六十二圖， W 為門重， P 為斜杆上端所連引杆之拉力，以 E 為力矩中心，則

$$P = \frac{W \times FE}{BE} \dots \dots \dots (73)$$

R 為 E 點之抵抗力，以 B 為力矩中心，則

$$R = \frac{W \times BD}{BH} \dots \dots \dots (74)$$

而斜杆 BG 之引拉力，為

$$T = \frac{W}{2} \times \frac{BG}{AG} \dots \dots \dots (75)$$

此中用 $\frac{W}{2}$ 者，因其 $\frac{W}{2}$ 乃直接由門踵 E 點担負也。若門之兩面皆有斜杆，則其每一斜杆之引力，當為 $\frac{T}{2}$ 或 $\frac{1}{4} W \times \frac{BG}{AG}$ 。

第五節

木門之構造

木門構造之普通者，為地平方向之木樑，上稠下稀，視水壓力而遞減，自門趾至門踵，全長為一木樑成，而不用標準。木梁之面鋪以3'之木板，梁之一端與門柱之形相符合，他端二扉接合，亦相互符合，不使漏水。如此構造，既省材料，又免大水時之浮力。但亦有全用橫木梁者，以此式結構耐久，不如面鋪木板者，易于損壞也。

橫向結構之門，普通所用木之厚，列述如下：—

在寬27呎之門廂，水頭高10呎，木樑厚為1呎。

“ 36 ” “ ” “ ” “ ” “ ” 16 ” “ ” “ ” 15 ”。

“ 45 ” “ ” “ ” “ ” “ ” “ ” 23½ ”，或最大至36呎，木樑厚為24吋。所用木材，皆為橡木，或長葉松木。

若門用全長之疊梁構成，則1½”或1½”之繫釘，自頂梁至

底樑，穿過中心而連結之。再用斜向鋼板條，自門趾之下端至門踵之上端，以為載門重之用。（參看六十三音）。

第六節

涵洞

閘廂內之水，盛滿或放出之法，常用活卷于閘門或涵洞中。有時上水盛進閘廂時，用涵洞，而放出時用下閘門中之活卷。

涵洞因安置之不同，可分為下列三種：—

1. 檻牆涵洞、
2. 縱軸涵洞、
3. 橫軸涵洞、
4. 底板涵洞、

檻牆涵洞，常用以盛上水。水由垂向之入口流入，建涵洞于檻牆內，橫過閘寬，而由數個分涵洞，流入廂內，垂向之入口，或建上閘門上方之檻牆中，或建於門位之後。如六十四音與六十五音所示。下閘門之檻牆較低，故不能為是構造，而改用如第六十六音之方法。

縱軸涵洞，多用較大之船閘，其入口在上閘門之門位，經過閘廂牆而至下閘端。在閘廂牆之下節，近地板之處，向多數出口，相離約 20 呎至 30 呎，而各出口之面積之總和，較涵洞之面積為大，以減出口之流速。此盛淺便利水流之妨害亦少，惟須較寬之閘廂牆，于建築實較為昂貴耳。參看六十七音。

橫軸涵洞，用者罕見，于 Ohio 河中有之。于閘廂之近岸牆，裝置橫向之涵洞，其在堰之上游者，通上水以盛滿閘廂，其在堰之下游，通下游以放出閘廂內之水。（參看六十八音）。

底板涵洞，水自閘門之上邊流入涵洞，經底板至下閘門之下邊流出。于涵洞之頂邊，開多數之孔，通水入閘廂。在 St. Marys Falls 所建之船閘，即用此法，閘底建六涵洞，廂內放孔二百一十四穴。

第七節

活 閘

活閘有裝于閘門之上者，因其結構簡易，而價值低廉也。在美國水級于十八尺以下者多用之，其閘孔之大小，視水級之高低為反比。在此種活閘，用于水級高之閘門，殊有不便，蓋當盛水之初，閘孔露出于下水之上，初開時，不能太大，否則其射出之水湧，有沖入閘沿之內者。又盛水過猛，閘內之水，發生倒流，有使船沖喜上閘門之虞。近年來新建船閘，盛水皆用涵洞，而放水則仍用閘門上之活閘。

活閘之形式頗多，有蝶形活閘，有扇形活閘，有圓柱活閘，有滾動活閘等。茲分述之。

蝶形活閘，如六十九圖。最適宜于水級較低之處。閘為一平板，旋轉于其中軸，中軸之方向，或為垂直，或為地平。結構簡單，啟閉亦易，啟閉之法，有槓杆與齒輪行之。閘門不宜太大，過大則一人之力，不能啟閉。故通常所用之閘門之大小，如下所述：—

水頭在八呎以下時，閘洞 $2'-5''$ 長 $4'-3''$ 。

水頭在16呎時，閘洞 $2'-3''$ 長 $2'-6''$ 。

閘為 $\frac{3}{8}$ 吋鋼板或鑄鐵構成，而鋼板閘因啟閉之振動過急，常使鉚釘折損，不能耐久，反不如鑄鐵閘之堅實耐久也。

扇形活閘，如七十圖，為一分圓形，其擋水之面為弧形，所有水壓力，均集中於軸，用此閘時，須有較大之涵洞孔，雖較簡單，但於啟閉動作上，不較其他活閘為敏捷也。

圓柱活閘如七十一圖，為一十呎至6呎之圓環，高8呎時此環可以昇降于第二圓環之外。圓形之涵洞入口，連結于此環之下，即可以啟閉水之流通。欲盛進水時則昇高外環，涵洞之口顯露，而水得流入洞內。其滑動之接準，係以橡皮圈，使不易漏水。外環昇高，至少須有直徑四分之一，其各面所受水均等，故為最易啟閉之活閘。惟構造艱難，涵洞入口處，須有寬大之池，使水得由四周流入，且遇

有损坏，修理不易。

滑动活卷，如七十二卷，此种活卷，现代用之最多，为一门板，由一滚子滑动上下，适宜于水级较高之船闸。门板为钢制，厚 $\frac{3}{8}$ 至 $\frac{1}{2}$ ”，而钉以适当斜撑。滚子即装于卷背，其直径自 1 呎至 2 呎，使易于转动。启闭之法，多用启门机，并应用抗重物，以为启闭之助。

活卷断面之大小，其所经时间之长短为反比例，可以计算之如下：—

设 A = 闸箱之面积，以方公尺计。

Q = 活卷之总断面面积，以方公尺计。

h = 上水与下水之高度差。

x = 闸箱内之水面，对于上水之变数，当盛水时，

x 自 h 降至 0，当放水时， x 自 0 增至 h ，

t = 盛水放入闸内，或放水出闸所需之时间，以秒计。

C = 流量系数，视活卷或涵洞之形状，及大小，而异。

每秒钟经过活卷之水量为

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

若于 dt 之时间内，则经过活卷之水量为

$$dQ = C a \sqrt{2gx} dt = A dx$$

$$\text{或 } dt = \frac{A}{C a \sqrt{2g}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{x}} \dots \dots (76)$$

盛水出闸时， x 之数自 h 降至 0 故

$$t = \frac{A}{C a \sqrt{2g}} \int_h^0 \frac{dx}{x^{\frac{1}{2}}} = \frac{2A}{C a \sqrt{2g}} \cdot \sqrt{h} \dots \dots (77)$$

$$\text{或 } a = \frac{2A}{C\sqrt{2g}} \sqrt{h} \dots \dots \dots (78)$$

至C之值可規定之如第十表。

第十表

活 卷	C 之 值
安設于閘門者。	0.8-0.6
安設于閘牆，而涵洞短者。	0.7-0.5
安設于閘牆，而涵洞長者。	0.4

茲舉一例，以明計算。閘廂之長為60公尺，寬8公尺，上水與下水之差為2.5公尺，放水時間，不得過2½分鐘，活卷最小之斷面積，可計算之如下：

$$a = \frac{2A}{C\sqrt{2g}} \sqrt{h} = \frac{2 \times 60 \times 8 \times \sqrt{2.5}}{0.62 \times \sqrt{2 \times 9.8} \times 150} = 3.7 \text{ 公尺}$$

若涵洞有二，則每一活卷之面積為 $\frac{3.7}{2} = 1.85$ 方公尺，實際又因閘牆之摩擦阻力，面積可稍大，而為

$$1.5 \times 1.5 = 2.25 \text{ 平方公尺}$$

第六章

魚道，水道，節水等事

第一節

魚道之意義

河中既設壩閘及船閘，魚類輒不能上下自如，而魚業界且將起而仇視壩渠矣。故魚道 (Fish-Way) 之設備，為勢所需要，不可遺漏。魚道之構造，視各河川所產之魚類而異。如鮭魚偉大，游于海洋，而孵卵於江河，故尋常魚道之尺度，以能容納鮭魚之上下游為準。魚道之最狹者，以能容納鱈魚為度。為鱈游江河，而產卵于海。其幼魚溯流而上，生活于細川支流，長大之後，則又順流而下。為鱈設道尤屬重要，夫堰上堰下，水面相懸，恒數公尺建設魚道，必須稍為迂曲，使斜度較坦。每格水級，亦不致甚高，通常為二十至四十公分。魚徑之寬度，(以鮭魚為標準)，至少為一公尺半，每格之長度，至少二公尺。如魚類須從橫壁跳躍而前進，則水深至少為六十公分，如魚類由小槽游泳而前，至水深至少為四十公分。小魚道之尺度，可以照前數減半。魚道內水流之速度，不得大于每秒三公尺。魚道之口門，約在最低水面以下三十至四十公分。在下游之門口，其位置應在閘壩附近，否則豈設魚道，而失其功用。且水從口流出之速度，宜較大，以誘引魚類。上游之出口，可備插版，遇有洪水則關閉，以免為淤所淤塞。魚性喜明，喜溫暖，故魚道之上，宜開放，不宜封閉。從上游放入魚徑之水量，每秒約須三百或六百立方公尺。

第二節

魚道之種類及其構造

魚道之種類約有下述數種：一

- (1) 魚徑 (Fish Passage)，魚徑之橫格，當出小槽，使魚類可游泳而前。
- (2) 魚磴 (Fish Lodder)，魚道分成數格，形若階梯，魚須躍而越之。
- (3) 魚閘 (Fish Lock)，于魚徑中設閘，經相當之時間，自能啟閉，使魚類俟魚閘開放時，形若階梯。
- (4) 鱈魚道，專為上溯之鱈魚幼子而設。

(1) 魚磴之建設可分二種述之如下：

(甲) 堰壩之下，築輔助堰數座，分成較低之水級，使魚類可以直接躍跳而上，如七十三畝，七十四畝。因堰壩蓄水之高度為 h ，加設輔助堰 W 及以分水級為 $\frac{h}{3}$ ，以便魚類跳躍過堰，而此例相似之設備，如七十五畝及七十六畝，為便利小魚游泳起見，魚磴之結構，如第七十七畝，輔助堰分成二部，中留小槽。

(乙) 魚磴之位置，或設于堰壩近岸之端，如第七十八畝， a, b ，或設于放水閘之旁，如 C 。魚磴內之斜度以 $1:1$ 為度，橫格高度之差，分為 20 至 25 公分。縱橫格之距離及堰壩之比降，可以算出魚磴適當之長度，如 a 與 b ，上游水入魚磴，宜有節制，其設備如第七十九畝所示，欲求水流遲緩，以便過堰之魚，跳躍之後，可以休息，則橫格之形式可斜可缺。橫格之材料，或為石，或為木，或為鉄筋混凝土。有時橫格之孔，留於下部，則從孔流出之水，速度較大，足以誘引魚類。

(2) 魚徑所需之水量較多，因橫格須留小槽滬水略多也。

(甲) 魚徑設于堰壩之下，如八十畝，魚徑之寬，至少為六十公分，水深至少為四十公分，徑底斜度至大為 $1:30$ ，若堰之上下水面相差甚大，則魚徑愈加延長，且每畝所需之水量，有達八千立方公尺之多，故鮮用之者。

(乙) 魚徑有時建於堰底，而與堰身傾斜，曰斜魚徑。如第八十一畝所示，其徑底坡度為 $1:20$ 或 $1:15$ ，每畝所需之水約為 1000 至 2000 立方公尺。

(丙) 魚徑有用橫壁以殺減流速者，其功用有二，一為魚徑之縮短，一為水量之經濟，可減至每秒一百五十五方公寸，橫壁宜與徑壁成直角，若向上游傾斜，則魚游之道，覺太屈曲，若向下游傾斜，則又不能蓄水，橫壁之高，約自六十至九十公分，空槽之寬，約為三十至四十公分。如第八十二畝所示。若更求魚徑內水流速率之減少，可于空槽之前，建短壁以阻水流，如第八十三畝 b ，魚遇短壁，湏躍而越之， k 與 l 為調水流入徑之設備。

(3) 魚閘之構造，如第八十四畝，閘之左壁有水槽，上水可由此注入閘內，如閘內之水與上水平，則左壁之牆自然開放，魚乃出開口，再開左牆，放水流入右壁之筒，右牆乃啟，閘內之水流入下水，與之相平，魚游入閘，然後再放下右牆，放水入閘，使與上水平，開啟左牆，放魚而出，此乃運用魚閘之程序也。

(4) 鱈魚道——鱈魚之幼子，長僅十公分許，故魚道之寬約為十二公分，深約八公分，如第八十五畝，斜度約為1:6，槽中鋪設稍料，以便幼鱈游泳。

第三節

木道

木道者，於固定堰中留出一部份以備木排通行之槽也。槽床傾斜，與上下水相接，上端有門，平時所開；如遇木排通過，即啟牆放行，啟開有定，有似船閘，故亦稱木閘。閉門或用牆，或用割圓堰，或用鼓堰，槽之寬度，約為十二公尺，槽上水深，約為六公分。茲設

d = 木道上端槽上之水深。

d' = 木道下端槽上之水深。

河渠工学

- V_0 = 河上之流速。
- V = 槽上之流速。
- K = 系数, 約值为 0.32 (入口)。
- b = 木道之寬。
- l = 木道之長。
- S = 木道槽床之縱坡。
- h = 槽床上下二端之高低差。
- Q = 木道內之流量。

則木道入口處槽檻上之水深, 則參用下列之公式以決之

$$T-t = k \frac{V^2}{2g} + \left(\frac{V^2}{2g} - \frac{V_0^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (79)$$

因 V_0 之值, 較之 V 極微, 故 $V_0^2/2g$ 可以刪去, 并以 0.32 代 k 則得

$$T-t = 1.32 \frac{V^2}{2g}$$

或 $T = 1.32 \frac{V^2}{2g} + t \dots \dots \dots (80)$

木道之長, 可用下式計算, (參看第八十六圖)。

$$l = \frac{y - (T-t)}{S} \dots \dots \dots (81)$$

茲舉一例, 以明計算, 設木道之寬為 $b = 2.0$ 公尺, 槽內水深為 $t = 0.687$ 公尺, 面積為 $A = 2 \times 0.687$ 方公尺, 流量為 $Q =$ 每秒 1 立方公尺, 則上端水深可計算如下:—

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1}{2 \times 0.687} = 0.728 \text{ m/sec.}$$

$$T = 1.32 \frac{V^2}{2g} + t = 1.32 \frac{0.728 \times 0.728}{2 \times 9.8} + 0.687 = 0.714 \text{ m.}$$

設又一木道 $b = 12 \text{ m}$, $t = 0.6 \text{ m}$, $S = 0.005 \text{ m}$, $y = 1.50 \text{ m}$, 則木道之長, 可以計算如下:—

$$A = bt = 12 \times 0.6 = 7.2 \text{ m}^3$$

$$R = \frac{A}{P} \frac{L}{12 + 2 \times 0.6} = \frac{7.2}{13.2} = 0.55 \text{ m.}$$

若水道之槽為石料時，則按 Bazin 氏公式算得 $C = 54.6$
由是

$$V = C \sqrt{RS} = 54.6 \sqrt{0.55 \times 0.005} = 2.86 \text{ m/sec}$$

$$T = 1.32 \frac{V^2}{2g} + t = 1.32 \times \frac{2.86 \times 2.86}{2 \times 9.8} + 0.60 = 1.15 \text{ m.}$$

$$L = \frac{Y - (T - t)}{S} = \frac{1.50 - (1.15 - 0.6)}{0.005} = 190 \text{ m}$$

若此槽床成階級式，如八十七畝，則速度可減少，其計其
之法如下：—

$$S = \frac{h}{L} \text{ 須以 } S' = \frac{h}{h+L} \text{ 代之.}$$

$$h = SL = 0.005 \times 190 = 0.95 \text{ m.}$$

$$\therefore S' = \frac{0.95}{0.95 + 190} = 0.004975$$

$$\text{及 } V = 0.995 V$$

第四節

節水池

河中建築堰閘，固足以增加水深，以便通航。然在河道水
淺時期，水源不足，若每次開放船閘，耗水甚多，而在上下水面相差
懸殊之堰閘，為量尤鉅。故有為節省水量起見，于閘廂之旁，築節水
之池。使由閘廂放入下渠之水，蓄于池中，待閘廂需水之際，再內池
中放入閘廂，則上渠所耗水量，可以減少。節水池與閘廂，有水道相
通，設牆以使啟閉，而節水池之高度，亦各不相同，可使閘廂之水，
依次蓄積。如第八十八畝，中部為閘廂，分水之高度為四級，左右為

河渠之学

節水池，当放水出閘之際，第四級之水，放入節水池I，第三級之水放入節水池II，第二級与第一級之水，仍直接放入下流。反之，如放水入閘，則第一級之水，由節水池II放入，第二級之水，由節水池I放入。而第三級与第四級之水，仍直接取給于上游。如是則節省之水，应為百分之五十。設其与閘廂同面積之節水池，其數為n，則所節省之水量，可由下式計算之：—

$$\text{節省之水以百分計} = \frac{n}{n+2} \text{-----}(82)$$

第十一表
同面積節水池之節水百分數，

節水池之數	節省之水(以百分計)
1	33 %
2	50 %
3	60 %
4	67 %
5	71 %

若節水池之面積，較閘廂為大，則節水之量可更多，今假設節水池之面積，為閘廂面積之m倍，則所節省之水可由下式求得之

$$\text{節省水量以百分計} = \frac{m-n}{m(n+1)+1} \text{-----}(83)$$

以此公式推算可得第十二表

第十二表
節水池面積二倍于閘廂時之節水量

節水池之數	節省之水
1	40 %

2	57%
3	67%
4	78%

由上所述，可知節省之水量，與 n 成正比，如 n 之數為 ∞ ，則全部水量，無所耗失矣。因由(82)式

$$\frac{n}{n+2} = \frac{\frac{n}{n}}{\frac{n}{n} + \frac{2}{n}} = \frac{1}{1 + \frac{2}{n}}$$

今 n 為 ∞ ，則上式等於一，即節省水量為100%。耗無消耗也。再由(83)式，若 m 為 ∞ ，則節省之水為

$$\frac{mn}{m(n+1)} = \frac{\frac{mn}{m}}{\frac{m}{m}(n+1) + \frac{1}{m}} = \frac{n}{(n+1) + \frac{1}{m}} = \frac{n}{n+1}$$

節水池與閘廂相通之水道，多用涵洞，而以活閘以司啟閉。節水池之底，須在壅蓄積之水級以下，此即節水池中之水，較之壅蓄積之水須稍多也。每當存節水池放水入閘廂之時，如池中之水愈少，則壓力愈小，而所需之時間愈較久，故池中蓄水略多，可以減少放水之時間。

第五節

瀉洪堰

瀉洪堰者，乃于水槽之壁，鑿孔排洩洪水之堰也。故瀉洪堰，亦曰退水堰。如第八十九圖，即瀉洪堰瀉洪之情形，其于未設瀉洪堰之先，水流之速率為 V ，水深為 d ，水面坡度為 S ，既經設堰之後，水一部份由瀉洪堰流出，而水面下落，最低之水深為 d_1 。（在瀉洪堰之上端A），在下端B之水深為 d_2 ，二者之差為 $d_1 - d_2$ ，而 d_1 較 d_2 為大者，因下端B所受之水压較小故也。瀉洪堰之頂，距槽底為 a

河渠工学

槽底之寬為 b ，堰之長為 l ，洪水量為 Q_0 ，由是經恩格司氏之試驗，擬定下列各公式：—

$$V_0 = A \text{ 處之平均流速} = \frac{Q_0}{bt_0} \text{-----} (a)$$

$$V_m = B \text{ 處之平均流速} = \frac{Q_m}{bt_m} \text{-----} (b)$$

式中 Q_0 = 瀉洪堰上游之洪水量。

Q_m = 瀉洪堰下游之安全流量。

$$\text{則 } t_m - t_0 = k \frac{V_0^2 - V_m^2}{2g} \text{-----} (84)$$

假定 $k=1$ ，又以 (a) 與 (b) 二式之 V_0 與 V_m 值，代入 (84) 式，則可由下式求出：—

$$t_0^3 - \left[t_m + \left(\frac{Q_m}{bt_m} \right)^2 \frac{1}{2g} \right] t_0^2 = - \left(\frac{Q_0}{b} \right)^2 \frac{1}{2g} \text{-----} (85)$$

恩格司氏試驗各瀉洪堰之位置完全平直，其長度為 l ；水槽之寬為 b ，且各處相等，則流量可用下式計算：—

$$Q = C \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot 3 \sqrt{(l^{2.5} h^3)} \text{-----} (86)$$

式中 h = 堰頂下游之最大水頭，以公尺計。

l = 堰頂之長，以公尺計。

Q = 堰之流量，以立方公尺計。

C = 係數，視堰頂之形式而變更，如堰頂圓滑則

C 為 0.49 。

瀉洪堰上之水面橫坡 S_v ，或小于零，或等于零，或大于零，即堰上之水面，或係向上游傾斜，或係平直，或係向下游傾斜，須以下式規定之：—

$$S_v \leq 0, \quad a + h - t_0 \leq sl \text{-----} (87)$$

但欲求瀉洪堰之作用加大，須將堰下游之寬度改小，而堰下

游，水流之速度，仍与堰上游之水流速度相等。恩格司氏曾试验倾斜泻洪堰多种，其斜度自1:3至1:40不等，而其流量，用下式计算而得者，与实际之流量，常相吻合。

$$Q = C \frac{2}{3} \sqrt{2g} \int_0^h (l^2 - 7h + 8) \dots \dots \dots (88)$$

例题：水槽内安设泻洪堰一座，堰之上游流量为 $Q = 30$ 立方公尺/秒。但堰下游之安全载重，须为 $Q_n = 16$ 立方公尺/秒。槽宽 $b = 10$ 公尺。堰下端水深 $t_n = 2.1$ 公尺。泻洪堰堰顶距槽底之高为 $a = 2.0$ 公尺。而堰之位置与槽壁平行。试求 (1) 泻洪堰之长度 l 。(2) 沿堰顶之水面横坡。

设 $C \frac{2}{3} = 0.5$

$$h = t_n - a = 2.1 - 2.0 = 0.1 \text{ 公尺}$$

$$Q = Q_0 - Q_n = 30 - 16 = 14 \text{ 立方公尺/秒}$$

由是应用 (86) 式

$$14 = 0.5 \sqrt{2g} \times 3 \sqrt{l^2 \times 0.1^5}$$

$$l = \frac{(14) \frac{3}{2.5}}{\left[(0.5)^3 (2 \times 9.8)^{\frac{3}{2}} (0.1)^{\frac{5}{2}} \right]^{\frac{1}{2.5}}} = 914 \text{ 公尺}$$

水槽之水面坡度，可由下式算出，

$$V = C \sqrt{RS}$$

$$S = \frac{V^2}{C^2 R} = \frac{V^2}{C^2 t_n}$$

但 $V = \frac{Q_n}{b t_n} = \frac{16}{10 \times 2.1} = 0.726 \text{ 公尺}$

$C = 42$ (依 Bazin 氏第三类铺砌算)。 $m = 1.61$

则 $S = \frac{0.726^2}{42^2 \times 2.1} = 0.000142$

再求 t_0 因用公式(83)

$$t_0^3 - \left[2.1 + \frac{0.726^2}{2 \times 9.8} \right] t_0^2 = - \left(\frac{30}{10} \right)^2 \frac{1}{2 \times 9.8}$$

解之得 $t_0 = 2.02$ 公尺。

由是可算出 S_r 如下：—

$$S = \frac{t_0 + Sl - t_m}{l} = \frac{2.02 + 0.000142 \times 914 - 2.1}{91400} \\ = +0.000054$$

因 $t_0 + Sl > t_m$ ，故 S_r 為正，即向下游傾斜也。

第六節

偏堰

橫河築堰，每易使大水時氾濫成災，欲免此弊，則有建築斜堰，折堰，曲弧堰，以增加堰長，而減低堰頂蓄高之水頭。然增長堰頂，即屬增長堰身，似非經濟，故有建築偏堰，以收二得之功效者。偏堰者，在同一河流之橫断面，一部係建築堰具，而他部分仍屬開放，故偏堰乃不完全之堰，茲分別三類述之。

(1) 上水與下水，均在堰頂之下之偏堰。

(2) 上水在堰頂之上，下水在堰頂之下之偏堰。

(3) 上水與下水，均在堰頂之上之偏堰。

(一) 上水與下水，均在堰頂之下之偏堰，如第九十畝，如遇河寬狹，建堰不易，則可擇其較淺河槽上，建築偏堰。故當計劃時，洪水量 Q ，可以測定，堰頂之長 b ，及下水之深 t ，亦易決定。故可決定之者，為如此之偏堰，可以蓄高之水頭為若干。不可不加以計算也。

計算方法，可分流出之水量為二層，上層可視為滾水堰，下層可視為流孔。今以上層之流量為 Q_1 ，下層流量為 Q_2 ，則由第九十畝得：—

$$Q_1 = \frac{2}{3} C b \sqrt{2g} [(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}]$$

$$Q_2 = C b t \sqrt{2g} [h+k]^{\frac{1}{2}}$$

其總流量為入層流量之和，即 $Q_1 + Q_2$ 故

$$Q = Q_1 + Q_2 \\ = C b \sqrt{2g} \left[\frac{2}{3} (h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}} + t (h+k)^{\frac{1}{2}} \right] \dots \dots (89)$$

由此式中，可算出 h 之值，但式中 k 為河川趨近流速水頭，可先由下式計算之，

$$k = \frac{1}{2g} \left[\frac{Q}{(t+h)b} \right]^2 \dots \dots \dots (90)$$

但此式仍含有未知數 h ，故先設法假定 h ，以計算 k 之近似值，然再代入 (89) 式，以求 h 之值，屢次試求，以得 h 之真確值而止。

(二) 上水在堰頂之上，下水在堰頂之水之偏堰，如第九十一節。如此之堰，其流量可分三部計算，今以堰頂之流量為 Q_1 ，開放部分之上下二層之流量為 Q_2 與 Q_3 ，則其總流量 Q ，可以計算之如下：—

$$Q_1 = \frac{2}{3} C b \sqrt{2g} [(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}]$$

$$Q_2 = \frac{2}{3} C b \sqrt{2g} [(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}]$$

$$Q_3 = C b t \sqrt{2g} [h+k]^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$= C \sqrt{2g} \left[\frac{2}{3} \{ b_1 (h+k)^{\frac{3}{2}} - b_1 k^{\frac{3}{2}} + b (h+k)^{\frac{3}{2}} - b k^{\frac{3}{2}} \} \right.$$

$$\left. + b t (h+k)^{\frac{1}{2}} \right] \dots \dots \dots (91)$$

上式中若已知堰高為G，則 h_1 可以 h 表出之，仍用試求法決定之，以求真確之 h 值或 h_1 之值。

(三) 上水与下水均在堰頂以上之偏堰，如第九十二圖所示。如此之堰，其流量亦可分为三部估計其之。今以上水与下水間为一層，其流量為 Q_1 ，下水与堰頂間为第二層，其流量為 Q_2 ，堰頂以下为第三層，其流量為 Q_3 ，由是总流量 $Q=Q_1+Q_2+Q_3$ ，可以下式計其之。

$$Q_1 = \frac{2}{3} CW \sqrt{2g} \left[(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$Q_2 = CW (h_1+h) \sqrt{2g} \left[h+k \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_3 = Cb (t-h-h_1) \sqrt{2g} \left[h_1+k \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\therefore Q = C \sqrt{2g} \left[\frac{2}{3} W \left\{ (h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}} \right\} + W (h-h_1) (h+k)^{\frac{1}{2}} + b(t+h-h_1)(h_1+k)^{\frac{1}{2}} \right] \dots \dots \dots (92)$$

若堰高為G，已知決定，則式中 $(t+h-h_1)$ ，可以G代替之，堰頂上之水頭 h_1 ，可以上下水面亦表出之，即 $h_1=t+h-G$ ， k 之值仍須用試求法決定也。

第七節

橋 磯

橫河設橋，河中設橋礮，洪水時期，河寬輒因橋基而塞及，橋基上游，水面被阻而升高，其情形正与河中安置偏堰相同。故在河岸不高之區，河中設橋基，洪水時常有泛濫之虞，是以水面因橋基阻滯而蓄高之高度，宜加以致察，以免成災。

今將各字母所代表之意義列下：—

$$d_1 = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_0^2}{2g} \dots\dots\dots(97)$$

而 S_1 之值，約可由下列比例式得之：—

$$S_1 : S = \frac{V_1^2 + V_2^2}{2} : V_0^2$$

$$\therefore S_1 = \frac{V_1^2 + V_2^2}{2V_0^2} \cdot S \dots\dots\dots(98)$$

由此類推； d_2 与 d_3 之值，当为

$$d_2 = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \dots\dots\dots(99)$$

$$d_3 = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(100)$$

以 (97) 式 (98) 式，(99) 式，(100) 式，求得各值，代入 (96) 式則桥基上游蓄高水頭 h ，可以求得。惟在各种之迎水方面形状有不同時，則 (97) 式，(99) 式，(100) 式，所算得之 d_1 ， d_2 ， d_3 之值，須施以改正系数

第八節

起 船 機

凡上水与下水之高度，相差过大時，固可建築節水池，于普通，船閘旁，以節省水量，但通过船舶，需時頗久，故有利用机械運船之法。机械運船之法，約有二种：一曰起船机，其大者，可移運一千二百噸之船舶，上下於相差二十四公尺之水級。二曰起船車，即水面高度有差异之处，築成斜坡，用車運船上下，十八世紀，已有此法。車中或为有水，或为无水，初建者，仅能移運一百餘噸之船舶，近且改良，則可容六百餘噸之船舶云。

第七章

渠 工

第一節

總論

渠為人工造成之運河，所以輔助天然河道之不足，而有宜于民生經濟者也。渠中之水，多藉堰閘節制，故其建築物常較天然河道之經渠化工程者為多，其經費亦數倍之。

渠之種類有二，一為平行渠，即係在不能通航之天然河道附近，開挖平行之渠道，其水量取給于天然之河道，由一端流至他端，用以替代不能通航之原有河道，故此種平行渠，亦係河川治理之另一辦法。一為分水渠，即係溝通二條為分水嶺所阻隔之天然河流，使船舶得由捷徑通過，故其渠中水面，在渠之中部，兩方各設堰閘，水級逐步降低，至各與河水面相平而止。

至于二海之間，有高地阻隔，鑿成之渠，以聯絡二海，是曰海渠，海渠之二端，有建閘者，如威廉運河，有不建閘者，如蘇彝士運河。

第二節

渠運之利弊

陸地建渠，須視交通之需要，經費之多少，等等而決之。并當與公路或鐵路之建築，以比較其贏虧，而有所取捨也。茲將渠運利弊，及與陸地運輸之優劣，列舉如下：—

(甲) 渠運之利：—

1. 船舶上下往來，所需之時力相同，而天然河道則否；蓋溯流而上之船舶，莫不費力而耗時。
2. 運河之內，水位有閘堰之節制，而無洪水之為患。
3. 運河之岸，整齊劃一，便于繹船。
4. 運河多取直綫，較之天然河道之航路為短。

(乙) 渠道之弊：一

1. 渠水不流，嚴冬既凍，泮解非易，妨礙航務之時期較長。
2. 修渠期內，須停止航行。
3. 渠水靜止，不利於帆船。
4. 渠中建閘，資本浩大，而行船亦耗時日。

(丙) 渠道與鐵道或公路之比較：一

1. 水道利于運輸粗重貨品。
2. 水道運費較廉。
3. 水道運費，隨時隨地，可以裝卸貨物。
4. 渠道之修葺維護等較鐵道為火，較公路為多。
5. 水道輸運，較為遲緩。
6. 水道當冬季，水凍之時，運輸中斷時期較長。

第三節

船舶之尺度

船舶之大小，各處不同，視交通情形，及河道之大小而定。定船舶之大小，以噸位計，內河船舶小者百餘噸，大者數噸噸，至外海船舶，逐年增大，近代最大船舶，有大至數萬噸。今設：一

L = 船舶之長，以公尺計。

B = 船舶之寬，以公尺計。

T = 船舶之吃水深度，以公尺計。

W = 船舶之載重量，以公噸計。

V = 船舶在水面以下之容積，以立方公尺計。

δ = 容積充實係數。

ϕ = 載重充實係數。

則船舶之尺度比例如下：—

$$L : B : T = m : n : 1$$

在普通情形，約為 30 : 4 : 1。若船舶之長寬深（吃水深），之相乘積，與載重量之比為 1.6 即

$$\frac{1}{\delta \phi} = \frac{L \times B \times T}{W} = 1.6 \text{ ----- (102)}$$

由是知船舶之尺度，預為假定，則船舶之載重，可以計其出。船之中部，約佔全船長度七分之五，至四分之三。艙之長，約佔船寬之半。于載重滿足之時，船邊在水上之高度，至水須為 25 公分。

若船舶之載重量，預為假定，則船之長，寬，吃水深，亦可以算出之，如下法：—

$$V = \delta \cdot L \cdot B \cdot T$$

$$\therefore \delta = \frac{V}{LBT} \text{ ----- (103)}$$

δ 之值，約為 0.81，至 0.94，尋常滿載貨物之船，其貨物所佔之空間，為百分之八十，故即載重充實係數 $\phi = 0.80$ 由是：—

$$W = \phi \delta L B T = \phi \delta \cdot m \cdot T \cdot n T T = \phi \delta m T^3 \text{ --- (104)}$$

$$T = \left[\frac{W}{\phi \delta m n} \right]^{\frac{1}{3}} \text{ ----- (105)}$$

$$L = m T = \left[\frac{m^2 W}{\phi \delta n} \right]^{\frac{1}{3}} \text{ ----- (106)}$$

$$B = n T = \left[\frac{n^2 W}{\phi \delta m} \right]^{\frac{1}{3}} \text{ ----- (107)}$$

茲將各國河道所通行之內河船舶，與外海船舶之尺度及載重量，列如第十三表及第十四表。第十四表中之載重密度（Cargo Density），為船舶每長一呎之平均載重量。

第十三表
內河船舶尺度表

船 名	長(公尺)	寬(公尺)	吃水(公尺)	載重(公噸)
Elbe 河之船	52.5	7.0	1.75	400
Elbe 河之大船	62.5	7.5-8.5	1.75	500
Rhein 河之船	74.0	9.8	2.20	750
淮河擬定最大船	72.0	9.0	2.20	900

第十四表
世界最大外海客船尺度表

船 名	長 呎計	載重量 噸計	載重密度
Andania	520	9634	18.52
Transylvania	548	8826	16.10
Maldero	580	5066	8.72
Caronia	650	9907	15.24
Mauretania	760	3840	5.05
Aquitania	865	5115	5.91

第四節

行船之阻力

船行水中，必有阻力，其阻力之大小，視水流之速度，及行

河渠工學

船之流速而定，因河渠断面之大小，堤岸鋪砌工程之情形；有相當之限制，以不使行船所發生之波浪，損毀堤岸，為最重要。

設 A = 船在水面下之最大橫斷面積，以方公尺計。

V = 行船之速度，以每秒公尺計。

u = 流水之速度，以每秒公尺計。

K = 係數，尋常運河內，行船時 K 值，約為 0.21 至 0.27。

W = 水之密度，以每立方公尺公斤計。

g = 地心引力加速度，以每秒公尺計。

F = 行船之阻力，以公斤計。

如行船之方向與水流之方向相同，則行船之阻力為：—

$$F = \frac{KWA(V-u)^2}{2g} \dots\dots\dots (108)$$

如行船之方向與水流之方向相反，則行船之阻力為：—

$$F = \frac{KWA(V+u)^2}{2g} \dots\dots\dots (109)$$

譬如有船一艘，溯河而上，或順流而下，其速度均為每秒 1.6 公尺，而該船在水面下之最大橫斷面積，為 12 方公尺，水流之速度，為每秒 0.5 公尺，假定阻力係數為 0.3，則其阻力可計算如下：

$$F = \frac{0.3 \times 1000 \times 12 \times (1.6 - 0.5)^2}{2 \times 9.81} = 222 \text{ 公斤(下行).}$$

$$F = \frac{0.3 \times 1000 \times 12 \times (1.6 + 0.5)^2}{2 \times 9.81} = 810 \text{ 公斤(上行).}$$

運河之內，水靜止不流，其速度為零，則上下駛行之船，其阻力相等。

$$F = \frac{0.3 \times 1000 \times 12 \times (1.6)^2}{2 \times 9.81} = 470 \text{ 公斤.}$$

恩格司氏曾于1897年，1898年，試驗船舶行駛之阻力，所得結果，与实际上之經驗，異常脗合，茲分条述之如下：—

1. 船舶行駛時，阻力之增加，与其速度之2.25乘方為正比例，即 $F = CV^{2.25}$
2. 最經濟之船舶駛行之速度，与河之断面積有關，列表如下：—

船舶行駛最經濟之速度以每秒若干公尺計	運河横断面積 S 与船舶在水面之最大横断面積 A 之比
V_e m./sec.	$n = S/A$
1.5	3—6
1.5 — 1.75	7
1.75 — 2.00	10

3. 如 n 之值小于 5，則阻力增加之程度甚大，非所宜也。

4. 設有二運河，其横断面積相等，但深寬各異，則渠面寬者之阻力，較深度大者之阻力為大。

恩格司氏又与盖彼尔比共同研究，拟定估計船舶阻力之公式如下，參閱第九十四章，假設：—

S = 河渠之横断面積，以方公尺計，

B = 河渠之寬度，以公尺計，

A_s = 船舶行駛時，水面与船身下降之面積，以平方公尺計。

h = 水面与船身下降之深度，以公尺計，

l = 船之長度，以公尺計，

b = 船之最大寬度，以公尺計，

t = 船之吃水深度，以公尺計，

A = 船舶之吃水横断面積，以方公尺計，

O = 船舶佔水之面積，以方公尺計。

O_s = 船舶兩旁佔水之面積，以方公尺計。

O_b = 船舶底面佔水之面積，以方公尺計。

V = 船行之速度，以每秒公尺計。

V_r = 船行之速度，與流速相關之值，以每秒公尺計。

F = 船舶行駛時所受之阻力，以公斤計。

$$\eta = \frac{S}{A}$$

k = 阻力係數。

γ = 因摩擦或漩渦而生之係數（與船舶外殼之光滑程度，以及船底下水深度有關）。

γ_s = 為船旁之係數。

γ_b = 為船底之係數。

由經驗及試驗之結果，可得阻力之公式如下：—

$$F = (kA + \gamma O) V_r^{2.25} \dots \dots \dots (110)$$

如船舶滿載貨品，吃水甚深，而介於船底及河床間之水深不足1公尺，則阻力應如下式算之：—

$$F = (kA + \gamma_s O_s + \gamma_b O_b) V_r^{2.25} \dots \dots \dots (111)$$

(110) 式及 (111) 式中之各值，可以計算之如下：—

$$(1) V_r = \frac{VA}{S-A} = \frac{V}{\eta-1} \quad \eta = \frac{S}{A} \quad V_r = V + \frac{V}{\eta-1}$$

$$A_s = B \cdot \delta \quad S = \frac{(V+V_r)^2 - V^2}{2g}$$

$$V_r = \frac{V(A+A_s)}{S-(A+A_s)} + V$$

$$(2) A = 0.98 bA$$

河渠工学

$$(3) O = 0.85k(b+2t)$$

$$(4) O_b = 0.70lb \quad (\text{用于锐底之船})$$

$$O_b = 0.80lb \quad (\text{用于平底之船})$$

$$(5) O_s = O - O_b$$

$$(6) k = 1.7 \quad (\text{用于锐底之船})$$

$$k = 3.5 \quad (\text{用于平底之船}) \quad \left. \vphantom{\begin{matrix} k = 1.7 \\ k = 3.5 \end{matrix}} \right\} \text{阻力系数}$$

$$(7) \varphi = 0.14$$

$$(8) \varphi_b = 0.14 - 0.35$$

其船底以下之水深有関，

船底下水深	φ_b
0.1	0.140
0.75	0.185
0.50	0.258
0.25	0.350

如在天然之河道，河水流动，其速度为 u ，以每秒公尺计，则 V_r 之值，可用下式算之：—

当流溯流而上时

$$V_r = V + \frac{V}{n-1} + u \text{------(112)}$$

当船顺流而下时

$$V_r = V + \frac{V}{n-1} - u \text{------(113)}$$

既得 V_r 之值，仍可代入 (111) 式，以算行船之阻力距、

$$\text{即 } F = (KA + \varphi_s O_s + \varphi_b O_b) V_r^{2.25}$$

第八章

渠工設計

第一節

調查

建築渠道之始，須實地考察，精密之調查，首在經濟方面，詳加察度，然後對於工程方面，計劃始有把握。設計之先，預為準備之各端，茲分述之如下：—

1. 調查實地情形。
2. 測繪草畵。
3. 草擬各種渠綫。
4. 繪製縱断面草畵。
5. 估計各種渠綫所需之價值，而比較其優劣。
6. 試驗地質。
7. 計算需要之水量，此項約可分為三種而研究之。
 - 甲 考察潛流之情形，與該地之雨量。
 - 乙 估計附近一帶河流之水量。
 - 丙 選擇適當之蓄水庫。
8. 考察附近一帶城市交通狀況。

第二節

渠綫

渠綫之位置，既已決定，次則渠槽之高低，及土方工程，亦有莫大之關係。按經驗所得，如選擇渠槽之位置，使槽內掘出之土，適足以補充兩岸所需之土，最為經濟，如是渠槽內之水面，恒較原

未之地面為高。但亦有使槽內水面，低于潛水，（即地下水面），而得最經濟之渠綫；是因渠槽之位置，如低于潛水，則槽底漏水較少，可以免去防漏工程，惟土方工程之費較多耳。防漏工程，甚屬昂貴，且難決定見效，是渠綫經歷過之地域，以能免避透水之地質，為最良好。防漏之法，於渠槽之下，鋪陶土一層，厚約三十至四十公分，碾出堅實，再鋪砂土一層，以為保護，厚約三十公分。積土愈高，則愈易漏水，難以堅實，掘土過深，則潛水下降，亦往往有礙。是以選擇渠綫，以平地為宜；遇有山峽或山谷，則繞道以避之。在渠綫轉向之地，宜有適當渠灣，以便船舶行駛。然渠綫終以取直為宜，如威廉運河之渠綫，直者佔百分之六十三，蘇彝士運河，直綫佔百分之九十也。

第三節

渠灣

渠道寬度，視最大船舶之尺度而定。通常在平直之渠底，其寬度為十六公尺。至于渠綫轉向，須有適宜渠灣，以便船舶之行駛。同時渠寬，亦宜放大，而渠灣曲弧之弦綫，應六倍于船舶之長度，最小亦須五倍半。運河最小曲弧之半徑，須有六百公尺。如遇互相銜接之兩渠灣，而方向相反，則兩渠灣之間，須連以切綫，切綫之長，至少須二百公尺。

海渠之最小渠灣，其曲弧之半徑，較之河渠，茲稍增加。例以威廉運河內，渠灣之曲度半徑，約自 1800^m 至 6000^m 。而大部份之曲弧半徑，為 3000^m ，蘇彝士運河之曲弧半徑，曾于 1910 年，規定為 2024 公尺。

第四節

渠之縱断面

河渠縱断面，茲以經濟為主，茲以計劃蘇彝士，及巴拿馬

二運河之際，或建議不建船閘，或建議建設船閘，議論紛紛，莫衷一是，而最後莫不以建築費之低昂，以定取舍，而水級之分配，船閘之位置，亦與地勢及蓄水問題，有密切關係，均應詳加審度，然後計其。至若二閘之渠段，河床多為平坦，如補魯三十三為巴拿馬運河之縱斷面，可資參考。

船閘之分配，須視地勢而定，如渠綫所經之路，起伏不定，則遇有降落陡峻之地段，乃為建設船閘適當之地点。船閘兩方之水級大，則每閘之建築費大，而閘數可少。若船閘兩方之水級小，則每閘建築費亦小；而閘數增多。故在渠綫設計中，對於水級之大小，船閘之分置，須有詳慎之考核，以求最經濟之配置。

愛吉佛氏曾用下述方法，以決定最經濟之水級高度，參攷九十六章。

設 d = 渠槽挖土之最小深度，亦即上水近船閘處之挖土深度以英尺計。

b = 渠槽底寬，以尺計。

$h:1$ = 運河兩岸側之側坡。

A = 運河橫斷面之平均面積，以方尺計。

h = 水級之高，以尺計。

l = 運河之長，以尺計。

H = 在運河全長 l 中，地面之多餘縱降，以尺計。

V = 在運河全長 l 中，必須之挖土土方，以立方尺計。

C_1 = 每一船閘必須之基本費用，而不與水級之高低相關者，如翼堤，導船堤，閘廂地板等。

K = 常數，視水級之高低而定。

C_2 = 單一船閘之費用。

C_3 = 在運河全長 l 中，船閘之摺費用。

C_4 = " " " " " " " "，挖土土方之摺費用。

C_5 = 挖土土方每立方呎之費用。

C_5 = 在運河全長 l 中，船閘與土方二種費用之摺和。

河渠工學

單一船閘之費用，可以下式表出之，

$$C_2 = C_1 + kh$$

欲決定 C_1 與 k 之值，須先決定船閘之形式，按各種大小不同之水級，而計其費用。由此水級之大小，及其相當之費用。作為縱橫座標而製成畚綫，經此諸點，作一直線，此直線與縱軸相交之點，即為 C_1 ，此直線之坡度，即為 k 。（參看九十七畚）。

如是得下列關係：

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right) \left[b + n\left(a + \frac{h}{2}\right)\right] \text{----- (a)}$$

$$C_4 = lAC_e = lC_e\left(a + \frac{h}{2}\right) \left[b + n\left(a + \frac{h}{2}\right)\right] \text{---- (b)}$$

$$C_3 = \frac{H}{h} (C_1 + kh) \text{----- (c)}$$

$$C_5 = C_3 + C_4 = \frac{C_1 H}{h} + kH + lC_e \left[bd + \frac{bh}{2} + n\left(a + \frac{h}{2}\right)^2\right] \text{----- (114)}$$

欲得最經濟之水級高度，可使 (114) 式之微係數為零，而求水級 h 之值，即

$$h^3 + \left(2a + \frac{b}{n}\right)h^2 - \frac{2C_1 H}{n l C_e} = 0 \text{----- (115)}$$

(115) 式中之 h 為三次乘方，直接解答，頗屬繁複，則可用試求法求之。

第五節

運河橫断面

運河橫断面，須以最小面積，供給最大之船舶航行，而建築之費用，與將來之行船所獲之利益，須妥虧損。且行船之阻力，不

河渠工学

能过大，運費亦須低廉。德國孫飛 (Symper) 氏对此曾加研究，假設運河內每年運輸之貨物為 2 000 000 噸，運河之長為 300 公里，每年行船日期，以 270 日計其，每船載貨 667 噸，擬定三種橫断面 59.5，74.5，109.5 方公尺，而求每噸貨品運輸一公里之運費，其結果如下表：

橫断面積	速度及運費		
	4 km./sec	5	6
59.5 m ²	0.595	0.590	0.642
75.4 "	0.604	0.596	0.609
109.5 "	0.715	0.713	0.725

由上表，面積 59.5 或 75.4 m² 而速度為每秒 5 公尺者，為最經濟，且速度以減為每秒 4 公尺，反使運費增加。再假設每年運輸之貨品為 4 000 000 噸，則以 75.4 m² 之面積，其速度為每秒 5 公尺時，為最經濟，可參考下列之表。

橫断面積	速度及運費		
	4 km./sec.	5	6
59.5 m ²	0.595	0.590	0.642
75.4 m ²	0.950	0.582	0.595
109.5 m ²	0.625	0.628	0.638

孫飛氏以此擬定通例三則，對於河渠海渠均可通用。

1. 運河橫断面積與船身吃水之面積，其比例為 5:1，如比

例較此數更小，則阻力驟增，頗不經濟。

2. 渠槽之形態，應如釜形，洄澗愈小愈好。

3. 水面不能過寬。

渠床在吃水最深之船底以下，至少為一公尺。渠之寬度，約船舶寬度之二倍，外加二公尺，乃二船相交時所需之空間也。渠槽橫斷面之為釜形者與梯形者之比較，可參攷第九十八圖， AB 綫代以 $DEFB$ 綫，則渠內可以容納較大之船隻矣。

海渠之中，只能容納一船，如有對面駛行之船，須設交船站，與單軌鐵道之設交車站同相類也。

例如威康運河曾設交船站七，各站之距離，約為 12 公里，渠船之寬度為 134 公尺至 164 公尺，站之長度為 600 公尺至 1400 公尺。

如水面之已至適當之寬度，于濬導水流時，僅就其橫剖面加以整理，位於堰上之段落，水深而流緩，濬導時，于其河床甚多大之變動，位於堰下之段落，則反是。其河床應加以人工改造，蓋于自然形態中，此處之橫面，不能供應所求，濬導後，船舶上下浩繁，將更有不適用矣。堰下之水流甚急，河身增大，可使急流變緩；改造之橫剖面，以簡單之梯形如第九十九圖為宜，其岸之傾斜度間亦有 1:2 及 1:3 者。

如運渠而兼作水力渠者，則其往來之船舶，數量甚微，彼全恃水力獲取盈利。以是橫剖面只求適合水力之產生，而求求儉省。普通情形下速率不得超過每秒 0.8 公尺，橫斷面之不應僅以拖船阻力為根據，此理甚明。水力運河及濬導之河流，其橫剖面與吃水面積之比，不得小于一：

$$n = \frac{F}{A} = 7 \text{ 也}$$

Böhmler 于濬導萊茵河時為自 *Rose* 至 *Badensee* 一段作特殊之河床結構，其形如第百圖所示。河之一邊作一平坦而粗糙之河床，具有相當之水深，以為逆流而上航行之需。其旁為幹流，河床較深，逆流而上時，船行於平坦之部，彼處水流較緩，順流而下

時，則行於急流處，柏林工業大學水力實驗室試驗之結果，一如預料者。以是項計劃，可於實際上行之。此種計劃無可疑議，于河床之結構上實乃一進步也。

例以我國運渠之橫剖面，以能使容納普通民船二艘並行為標準。以橫剖面之尺度，經由汪幹夫君之分析研究，茲如第百〇一圖所示。即渠底寬 16 公尺，水深 3 公尺，岸坡在粘土及黃土中為 1:2，故在水面處之寬度為 28 公尺。在船底處之寬度為 28 公尺。在城鎮房屋甚多處，則其底寬亦為 16 公尺，深度 3 公尺，而其兩岸則用巧土或碎石駁岸。其岸坡因駁岸之構造而異，自 1:1 至垂直均可。在開挖深度，超過 8 公尺時，則以水面以下至水面上 1 公尺處，其岸坡均為 1:2，水面上 1 公尺起，均暫用坡度 8:1，為免雨水淋漓坡面，則於坡頂設溝，將雨水引去。1:2 岸坡與 8:1 岸坡相接之處，兩岸均留 1 公尺寬之縫路。茲將各國運河之斷剖面，列表如第十五表，以資參攷。

第六節

岸沿之高及堤頂之寬

岸沿之高，視水深，風浪之作用，地面排水及大暴雨水流入渠內之多少，調節渠水面之設備，及渠之在填土之渠岸，須增高十分之一公尺，而在海渠則為三公尺。普通規則，岸沿之高，須為最大水深三分之一。如在渠灣，凹岸岸沿更宜增高，因易受風波之影響也。

渠為填土而成者，堤頂之寬視是否用作行船道而決定；普通堤頂，約為 4 公尺至 5 公尺。若堤頂而兼作行車道者，則至少須三公尺。風化作用，及車輪之轉輾，皆足以減小堤頂之寬，故當建築之初，尤須加寬也。

第七節

挖土之深及土方計算

1. 渠之在平地上者——渠之斷面，既已決定，

渠之在山坡者——渠經過山坡時，其最經濟之建

築，為運河一岸之挖土，適足供他岸之填土之用（并含百分之十之收縮）。在山坡平坦之區，最經濟之水深，須二岸填堤，惟上山之堤與下山之堤為堤小耳。在山坡較陡峻，則一岸之挖土常足以抵償他岸之填土，以得最經濟之挖土深。惟如此建築，運河水面，將高出天然地面，下土填土之岸，有破裂之虞，不可不加之慎也。

茲將此種平衡断面野外定測方法述之如下：—

先決定渠之側坡，依寬與水深之比，岸沿稿，堤頂之寬，及渠之橫断面。再決定如在平地上時一岸之經濟挖土深，此與山坡之夷峻無關。既得此最經濟之挖土深後，野外定測，即先將渠縱坡各站之高度立樁于山坡；縱坡各站之高度者，即渠底高度，加以最經濟之挖土深是也。而實際平衡断面之渠中心，則在此樁之上山方面，次乃計算自此樁至渠中心之地平距離，于此樁上山方面，重定渠中心木樁。此地平距離僅與經濟挖土深有關，而與山坡之夷峻無干，茲述其計算方法；參攷第一百〇三章。

設 B = 渠底之寬。

d = 堤頂之寬。

D = 渠断面之總深度。

$n_1:1$ = 渠之下山側坡。

$n_2:1$ = 渠之上山側坡，及堤之外坡。

x = 如在平地時之經濟挖土深。

y = 自定渠縱坡高度之樁，至平衡断面渠中心之地平距離。

第一百零三章中之 M 點，稱曰頂點 (Pivot Point)，即為定渠縱坡高度樁所在之點。今設填土之收縮為百分之十，則由章：—

$$\angle BCN = 1:1 \quad NDEP$$

同時 $\triangle AIM = 1:1 \quad \triangle MPF$

但此兩三角形相似。故其面積之比，等于其任何相当边平方之比：—

$$\frac{\Delta ALM}{\Delta MPF} = \frac{(LM)^2}{(LP-LM)^2} = 1.1 \dots \dots \dots (120)$$

或 $\frac{LM}{(LP-LM)} = \sqrt{1.1}$

則 $LP = \frac{LM}{\sqrt{1.1}} - LM = 1.95 LM$

或 $LM = 0.514 LP \dots \dots \dots (121)$

而LP之值為已知，可用下式計算之

$$LP = B + (n_1 + n_2)D + x \dots \dots \dots (122)$$

由是y之值

$$y = LM - \left(\frac{B}{2} + n_2 x\right) = 0.514 LP - \frac{B}{2} - n_2 x \dots \dots \dots (123)$$

若設填土毫無收縮，(123)式，為絕對真確；即或假設填土收縮為百分之十，其差誤亦微，可忽去不計也，茲述明如次：—

1. 挖土LBCoM = 1.1 填土NDEF - 小三角形MNO.

2. 挖土ALM = 1.1 填土ONPE + 1.1 小三角形MNO.

二式相加得挖土ABC0 = 1.1 摠填土ODEF + 0.1 小三角形MNO.

由是挖土與摠填土之差為 0.1 小三角形MNO 為值甚微，固可忽去不計也。

第八節

運河橫断面之實例

規定渠之橫断面，當視各地之地質而異，茲舉數例，以資印

証。如第一百〇四畝，為德國 Oder Spree 運河東段之橫断面，第一百〇五畝，為 Dortmund-Ems 運河之橫断面，左边重綫所示者，為改正渠形，并放大面積後之河床，第一百〇六畝，為 Teltow 運河之橫断面，右半邊之渠形，用于地價昂貴之段，第一百〇七畝，為 Ems-Weser 運河橫断面，左邊之渠形，用于掘土之地段，右邊之渠形，用于填土之地段，第一百〇八畝，為 Berlin-Stettiner 運河之橫断面，右邊渠床之下，有陶土一層，足以防漏，乃用于容易透水之地段，以上各處運河之橫断面，大都只供六百噸之貨船駛行，近來交通發達，新式之渠形，須供一千噸之貨駛行。德國貫東海與北海之威廉運河，建于 1887 年至 1895 年，橫断面如第一百〇九畝，面積為 413 公尺，可供長 135 公尺，寬 20 公尺，吃水深 8 公尺之船舶駛行。而 $n = \frac{F}{f} = 3.5$ 此後交通驟然發達，乃經恩格司氏之試驗，展寬渠形如畝所示面積，為 825 方公尺，渠寬由 67 公尺改至 101.75 公尺，渠床由 22 公尺，改為 44 公尺。第一百一十畝，為蘇彝士運河之橫断面，1856 年按世界技術委員會之建設，規定渠形如畝中重綫所示。渠床之寬為 44 公尺，深 8 公尺，渠面之寬為 80 公尺。1859 年竣工之際，為省費起見，將渠形改小，渠面之寬為 58 公尺，渠床之寬為 22 公尺。此後輪船之載重量進步，吃水亦深，渠寬與渠深，均有放大必要，乃改渠面之為 91 公尺，渠深為 11 公尺。

第九章

渠工設備

第一節

護岸

護岸之，在維持渠岸原有側坡，不使圯壞而變形；岸坡之

斜度，应视地质之情形，土压力之强弱而定，务使岸坡之土，能自维持其均势，不致坍塌为善。而岸坡与水面相接之处，尤宜妥为掩护，盖水面之涨落，与行船迹缘水浪之冲刷，均在此处也。

譬如威廉运河之护岸工程，先是拟定岸坡，用石掩护，计需石料 600000 方公尺。此项石料均须自远地，价值奇昂，乃根据爱德河之七项经验，建议采用人造石（即砖嵌筋混凝土），兹先述七项经验如下：—

1. 岸坡为 1:1.5 者，可用坚实之砖掩护，厚度约为 25 至 38 公分。
2. 石质须能耐久，铺石之缝隙，须与岸线平行。
3. 岸坡如坚韧之粘土，可铺石块，其缝隙，愈密愈善。
4. 岸坡为砂质者，须在铺砖土之下，先加细砾一层，砾层之厚度，应视砂质之内是否含有陶土而决定之。普通所用者，为 10 至 15 或 5 至 6 公分。
5. 岸坡之斜度在 1:2 以上者，可用抛石土，石层之厚度，至少为 45 至 30 公分，抛石之下，须加砾子一层，（砾子之径为自 0.2 至 3.0 公分者），乃所以防制泥土之冲刷也。而抛石上层之石块，须选择量大者（2 至 10 公斤），庶不为浪所携挟而去。
6. 三合土板片，仍不免为风雨所侵蚀，只可在低水面以下之水面。
7. 岸坡平坦者，可用三合土之掩护，板片之厚，至少为 20 公分，宽约 1.25 公尺。

迄今威廉运河之护岸工程，经验亦极富，更为分述之如下

1. 三合土板片掩护之岸坡——三合土板，易为风霜侵蚀，板片之下，如不铺砾一层，则地下水之冲刷，且直接损及板片。
2. 铺砖护岸工——地层为砂质者，砾层之下宜加砾子一层，否则地层之砂，易于砖缝刷出。
3. 铺砌乱石之护岸工——乱石之下，须加砾层一层，

雜以磚塊，或石子之類，如岸質為沙土，更須添陶土一層。

第二節

防漏

渠床漏水，尚全部之工程有密切之關係，不可不慎之于始。防漏之法，或于渠床之下，鋪粘土一層，或用三合土一層。若運河之防漏有堤，則防漏之質，应在堤內，以粗土為宜。有時運河在平坦之地段，防漏用肥三合土，厚約十至二十五公分，再加地瀝青一層。

第三節

繙船道

繙船道之高度，至少在渠水面以上 1.5 至 3.0 公尺，寬度約為 2.5 至 4 公尺，視情形而異。例如一人拉繙，所需之寬為 1.25 公尺，一馬所需之寬，為 2 公尺。二馬所需之寬為 3 公尺。繙船道之面，須鋪砌平坦，而稍向裏傾斜，坡度約為 1:20 至 1:15。

第四節

橋樑

渠上建橋，為便利行船起見，橋底至水面之高度，至少須有 4 公尺。橋基不可過多，以碍行船，每渠上之橋樑，為便利最大海船之通行，橋底至水面之高度，有為七十六公尺者，在威廉運河者，僅為四十二公尺。

第五節

渠洞

渠洞者，通過山岩之渠槽也。航運繁盛之渠洞，其寬度至

必須容納二船并行。亦有為節省經費起見，僅容一船者，惟深度較大耳。如第一百一十畝，為法國 Marseill 至 Rhone 運河內之渠洞，可容 $60.0\text{m} \times 1.8\text{m}$ 之船，兩旁鑿船道，各為 2 公尺。

第六節

渠橋

渠河與深谷或鐵道及河流，道路相交，而渠槽須架高者，即應用渠橋。橋之材料或為石，或為鉄筋混凝土，或為鋼鉄。如第一百十二畝，為 Berlin-Stettiner 運河經過鐵道之渠橋，係用鉄筋混凝土所造者。

第七節

潛溝

渠道與小河相交，則小河之水，可由潛溝通過，而渠道之位置亦可改移。參看第一百三畝。規定潛溝之橫断面，須注意小河內之洪水量及河流入溝處水面壅積之高度，以不礙農田為善。潛溝內之流速，以 1.5 至 $2.0\text{m}/\text{sec}$ 為度。畝內 F_0 及 F_1 為積沙之處，恐流入潛溝，易于淤塞也。

計其潛溝之橫断面，可用下列之公式：—

$$H = \frac{V^2}{2g} \left(1 + \alpha + \alpha \frac{P}{4F} l \right) \text{-----} (124)$$

式中 H = 水面壅積之高度，以公尺計。

α = 入口消失係數，約為 0.5。

$$\alpha = 0.0144 + \frac{0.01}{\sqrt{V}}$$

l = 潛溝之長度，以公尺計。

P = 潤周，以公尺計。

F = 潛溝橫断面，以平方公尺計。

河渠工学

V = 速度，以每秒公尺計、

Q = 流量，以每秒立方公尺計、

$$V = \frac{Q}{F}$$

$$V = C \sqrt{\frac{F}{P} \cdot \frac{h}{l}}$$

$$\therefore h = \frac{Pl}{F} \cdot \frac{V^2}{C^2}$$

如潛溝為圓形， d 為其直徑，則 $\frac{P}{F} = \frac{4}{d}$ ，由是：—

$$h = \frac{2g}{C^2} \cdot \frac{4l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{78.5}{d} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{4}{d} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----(125)}$$

如潛溝之橫断面為直方形， d 為深度， b 為深度，則

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{P}{F} = \frac{1}{4} \times \frac{2(d+b)}{bd} = \frac{d+b}{2bd}$$

$$\therefore h = \frac{4}{2db} \cdot \frac{l(d+b)}{2g} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----(126)}$$

苟運河與大河平面相交，應設船閘以維持水面高度，此例於歐洲常見之

第八節

渠寬改造

渠寬之尺寸，非全部一律者也，為便利航行起見，渠面之寬度，於下列各段，恒須放大。

1. 船閘之兩端。
2. 渠灣。
3. 船舶卸貨之處。
4. 交船站。

河渠工學

設渠綫之旁，地畝窄狹，不製築堤，惟地廉工貴，即可放寬渠面，若地昂工廉，即宜鑿深渠槽，不必放寬。而渠灣橫斷面之放寬，可應用下式計算，參看第一百十四章。

設 R = 渠灣中綫之半徑。

l = 最大船舶之長度。

L = 渠灣中綫切綫之長度，須等于 $5l$ 或 $6l$

x = 渠面寬度之半數，與渠灣處放寬之尺度之和。

$\frac{S}{2}$ = 渠寬之半數。

e = 渠灣處放寬之尺度。

$$\text{則 } (R+x)^2 = R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 \dots\dots\dots (127)$$

$$x = \sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} - R \dots\dots\dots (128)$$

$$e = x - \frac{S}{2} \dots\dots\dots (129)$$

若 $x \geq \frac{S}{2}$ ，即無放寬之必要，放寬之尺度，恒在外弧之一邊，但開始放寬之處，宜在弧之前後 100 公尺。孫飛氏計劃供于類船舶駛行之運河時，當規定渠灣之半徑，非萬不得已，不可小于一千公尺，而 *EmS-Weser* 運河，所規定放寬之尺度如下表：

渠灣半徑	放寬尺度
500 — 700 ^m	5 ^m
700 — 900	4
900 — 1200	3
1200 — 1500	2
1500 — 2000	1

凡渠綫經過岩石地段或渠洞，桥梁及城市區域，即不縮狹渠寬之必要。兩岸恒須建築隄岸，所費甚鉅云。

第十章

水量問題

第一節

渠道需要之水量

— 人工之渠，水面平坦，實無流量；故若無消失之水量，可以無須供給。而渠道內消失水量之多寡，視下述四項情形而異。

(一) 蒸發，以夏季三個月為最大。每日所耗之水量，約四公厘，每月約為 1 呎公厘，例似 Monnover Elbe 運之蒸發消失水量為每一公里每枚鐘耗水四立方公寸。

(二) 滲漏，滲漏之水，殊難預定，須視渠內水面距地下水面之高度及地質之堅鬆而定，尋常估計為每公里每枚鐘四至十二立方公寸。

(三) 閘漏，閘漏為因閘門不密而漏失之水，視水級之大小而異，尋常估計，為每水級一公尺，每枚鐘五立方公寸。

(四) 閘耗，閘耗為船舶過閘時所耗之水量；閘耗之計算，更于下節詳述之。

第二節

閘耗

按 Grube 氏之研究，估計閘耗之水量如下：—

設 V_0 為上水渠 I 之水量，

V_0 為下水渠 II 之水量，
 F 為船舶過閘時，應放入閘廂之水量，
 h 為上下水面之差，
 C 為閘廂之面積，

則得

$$F = C \cdot h \text{ ----- (130)}$$

第一百五畵表示由閘廂放入下水之水量，與由上水放入閘廂之水量相等，而與船舶之容積及載重，均無關係也。

第一百十六畵，先將水放入閘廂，則上水渠 I 內耗失之水量，其高度為 Δ ，閘廂內加入之水量，適為

$$F = C (h - \Delta) \text{ ----- (131)}$$

假設 l 為上水渠 I 之長度， b 為上水渠 I 之寬度，

由是

$$C (h - \Delta) = b l \Delta \text{ ----- (132)}$$

$$\Delta = \frac{C \cdot h}{b l + C} \text{ ----- (133)}$$

又設 m_0 為上水渠 I 內船舶所佔之容積， m_u 為下水渠 II 內船舶所佔之容積，則船舶如由上水渠駛入下水渠，水量變遷之程序如下表

	上水渠內之水量	下水渠內之水量
(1) 船舶在上水渠時，	$V_0 - m_0$	V_u
(2) 放水入閘廂時，	$V_0 - m_0 - F$	V_u
(3) 船舶駛入閘廂後，	$V_0 - m_0 - F + m_0 = V_0 - F$	V_u
(4) 由閘廂放水入下水渠，	$V_0 - F$	$V_u + F$
(5) 船舶駛入下水渠後，	$V_0 - F$	$V_u + F - m_u$

故上水渠内所耗失之水，为

$$V_0 - m_0 - (V_0 - F) = F - m_0 \text{-----(134)}$$

下水渠内所增加之水为

$$V_0 + F - m_0 - V = F - m_0 \text{-----(135)}$$

例題：— $h = 0.6m$, $G = 500m^2$ $m_0 = 800m^3$,

則 $F - m_0 = 500 \times 0.6 - 800 = -500m^3$

問上水渠与下水渠水面之差，应为幾何，而上水渠所耗失之水量即等于零。

$$F - m_0 = 0$$

$$500x - 800 = 0$$

$$\therefore x = \frac{800}{500} = 1.6m .$$

如船舶由下水渠駛入上水渠，則水量变过之程序，又如下表：—

	上水渠内之水量	下水渠内之水量
(1) 船舶在下水渠時，	V_0	$V_0 - m_0$
(2) 船舶入閘廂後，	V_0	$V_0 - m_0 + m_0 = V_0$
(3) 由上水渠放入閘廂後，	$V_0 - F$	V_0
(4) 船舶駛入上水渠後，	$V_0 - F - m_0$	V_0
(5) 閘廂之水再放下水渠內，	$V_0 - F - m_0$	$V_0 + F$

如是上水渠内所耗失之水为

$$V_0 - (V_0 - F - m_u) = F + m_u \text{-----}(136)$$

下水渠内所增加之水为

$$V_u + F - (V_u - m_u) = F + m_u \text{-----}(137)$$

又如船舶由水渠駛入上水渠後，即有一船自上水渠駛入下水渠，則放入閘廂之水，祇一次已足矣。上下水渠内水量变迁之程度，如下表：—

	上水渠内之水量	下水渠内之水量
(1) 上下水渠内各有一船，閘廂之水，与下水平。	$V_0 - m_0$	$V_u - m_u$
(2) 上行船駛入廂内，	$V_0 - m_0$	$V_u - m_u + m_u = V_u$
(3) 放水入廂時，	$V_0 - m_0 - F$	V_u
(4) 上行船駛入上水渠，	$V_0 - m_0 - F - m_u$	V_u
(5) 下行船駛入閘廂，	$V_0 - m_0 - F - m_u + m_u = V_0 - F - m_u$	V_u
(6) 閘水放入下水渠，	$V_0 - F - m_u$	$V_u + F$
(7) 下行船駛入下水渠，	$V_0 - F - m_u$	$V_u + F - m_u$

如是則上水所耗失之水为 $V_0 - m_0 - (V_0 - F - m_u) = F + m_u - m_0$

下水所增之水为 $V_u + F - m_u - (V_u - m_u) = F + m_u - m_0$

若 $m_0 = m_u$ ，則上下渠所耗失之水为 F 。或上行船載量甚少，而下行船載貨過多，上下水渠水面差又甚微，則 m_u 將較 m_0 為小，可由下式

$$F + m_u - m_0 = hG + m_u - m_0 \text{-----}(138)$$

中，若 m_0 之值，大于 $hG + m_u$ ，則上水渠之水，可以直接由下水渠

補充，而無所耗損。以此類推，可以求得下述各公式。假設 n_1 為上行船與下行船同時過閘之總數； n_2 為下行船單獨過閘之總數； n_3 為上行船單獨過閘之總數，則上水渠耗失之水量，總數為 Q

$$Q = (n_1 F + \sum_1 m_u - \sum_1 m_o) + (n_2 F - \sum_2 m_o) + (n_3 F + \sum_3 m_u)$$

$$= F(n_1 + n_2 + n_3) + (\sum_1 m_u + \sum_3 m_u) - (\sum_1 m_o + \sum_2 m_o)$$

----- (139)

再假設

$$N = n_1 + n_2 + n_3$$

$$\sum m_o = \sum_1 m_o + \sum_2 m_o$$

$$\sum m_u = \sum_1 m_u + \sum_3 m_u$$

$$Q = NF + \sum m_u - \sum m_o$$

----- (140)

第三節

水量補充

渠道內之水位，須有定限，為水量耗失，即宜設法補充，補充之法，有下述三種：—

- (1) 直接引導河流或小流之水，由邊溝放入渠內。
 - (2) 補充之水，取給于湖泊或蓄水池。
 - (3) 用抽水機吸水放入渠槽。
- (1) 直接引導河流或小溪之水，須建築邊溝，邊溝形式，或為暗溝，或為明溝，設有閘門，以司啟閉。邊溝之縱坡，約自 1:3000 至 1:4000，水之流速，不宜太大，以每秒 1 呎至 2 呎為宜。
- (2) 如渠道近旁，有天然湖泊，水量丰裕，可取作補充渠內水量之不足，利至便也。湖泊水面低于渠水面者，設吸水機廠，以灌水於渠。若無天然湖泊，可資借用，則宜

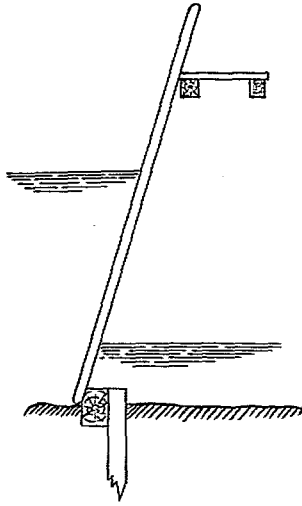
选择适当地点，建设人造水库，於水量多时，预作储蓄，以備渠水浅涸时之补充。德國之航運工程，最為發達，其所建之人造水库，容量不过 10×10^{12} 立方呎，而由以补充之河渠，達二三百哩之長也。

(3) 用吸水机以補充渠内水量，有吸引下水渠之水，倒灌入上水渠者，則吸水机廠，須建設於船閘之旁。有吸取其他河流或湖泊之水，以補充渠者，則当開挖導引渠，設吸水机廠于運河之旁，吸取導引内之内，灌入運河内。吸水机之佈置，以反虹裝置者為宜。例似德國之 Dortmund 運河，当橫过 Lippe 河時，即吸取 Lippe 河之水，以為補充。

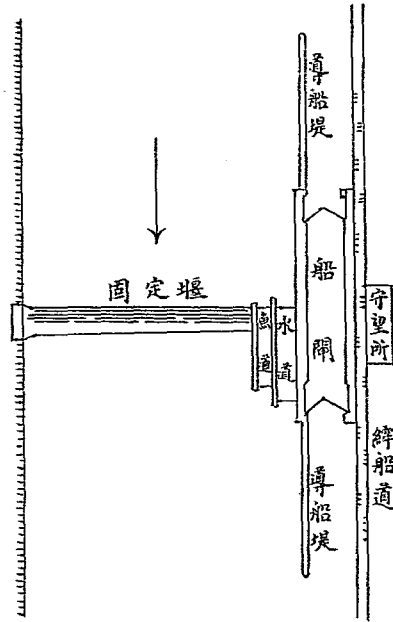
第四節

水量宣洩

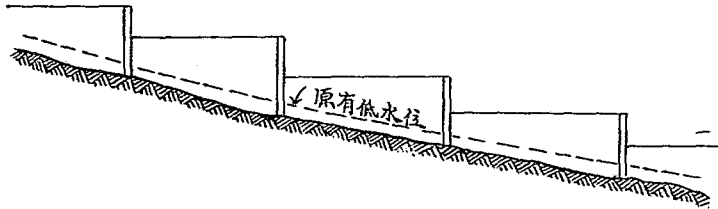
渠槽之内，如水量过多，宜設法宣洩，宣洩之法，或直接将水放出，或用吸水机及虹吸管吸出。放水出入之门宜極堅密，且運雨亦須敏捷。



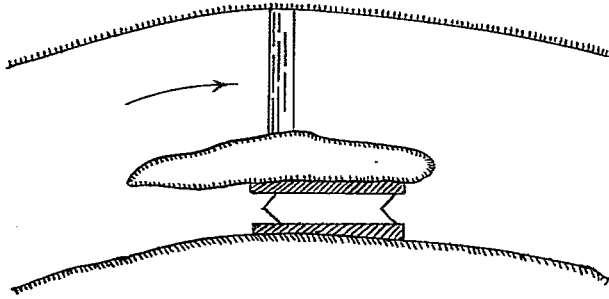
第一畝 活動堵水堰



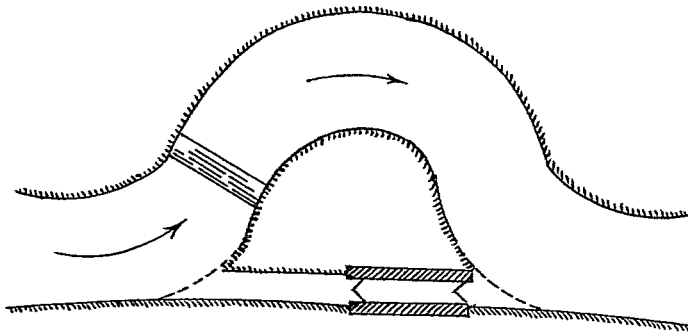
第二畝 堰閘之佈置



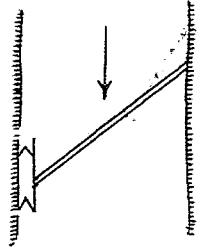
第三畝 渠化法



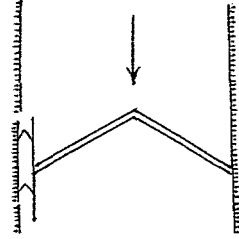
第四圖



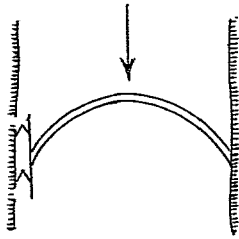
第五圖



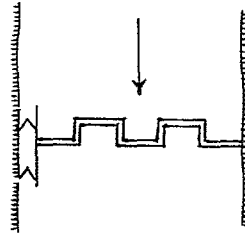
第六裔 斜堰



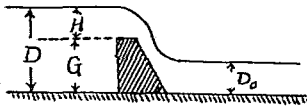
第七裔 角堰



第八裔 弧形堰



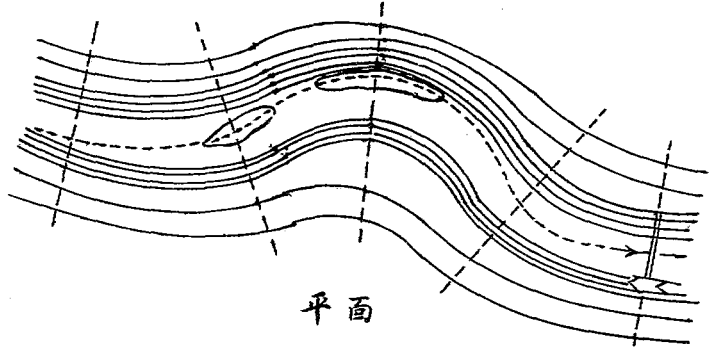
第九裔 曲折堰



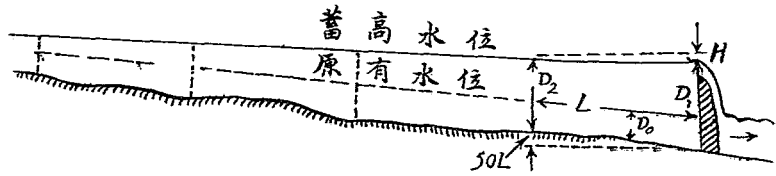
第十裔 滚水堰



第十一裔 潜水堰



平面

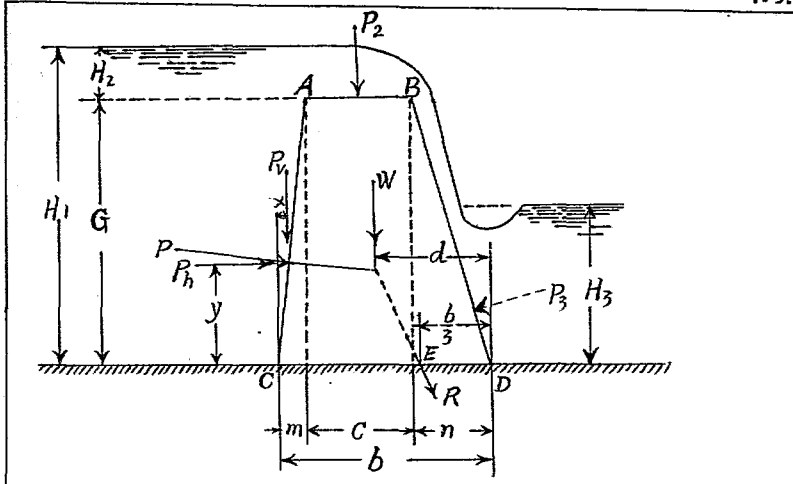


縱断面

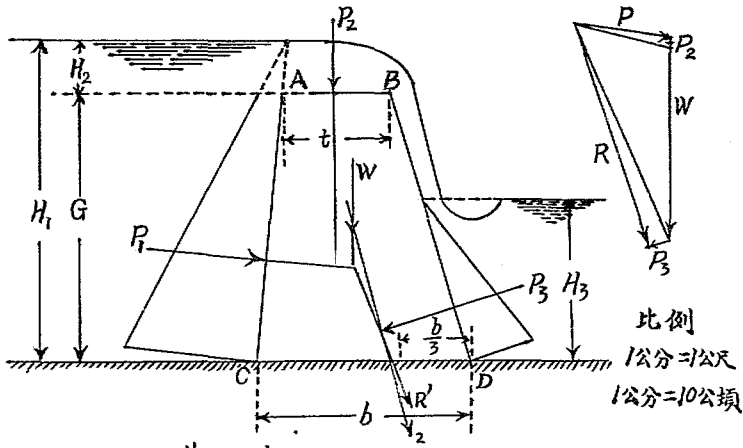


横断面

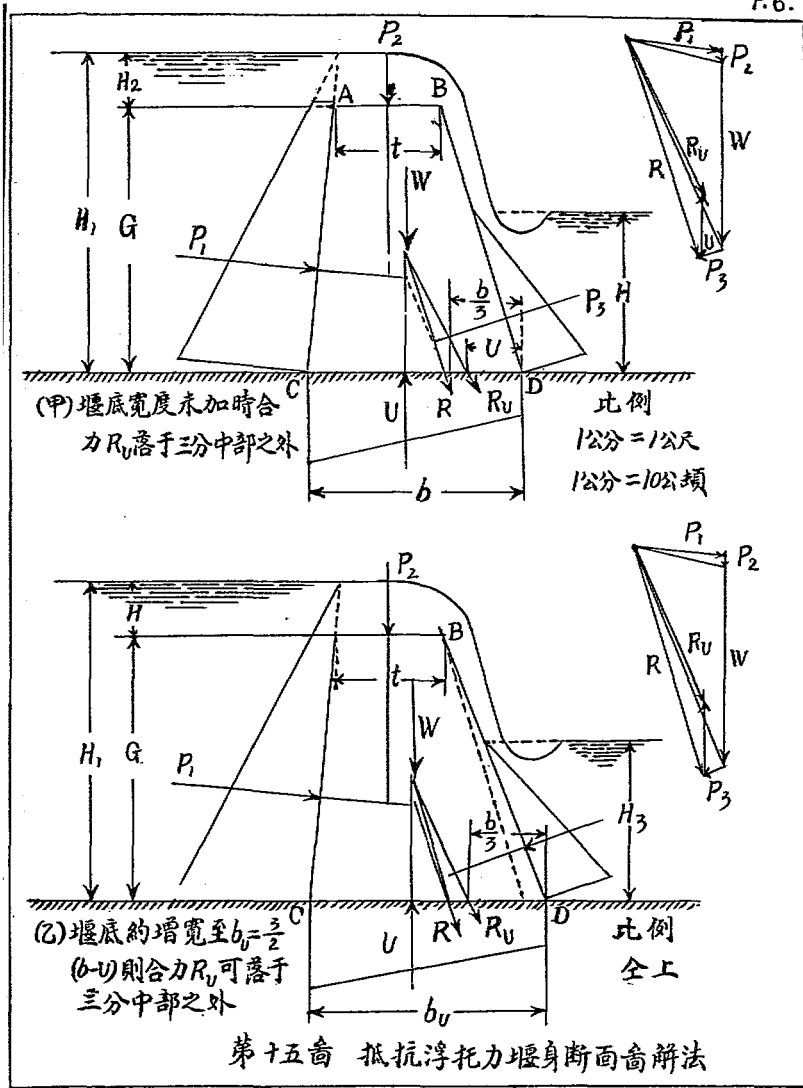
第十二章 返水曲线图

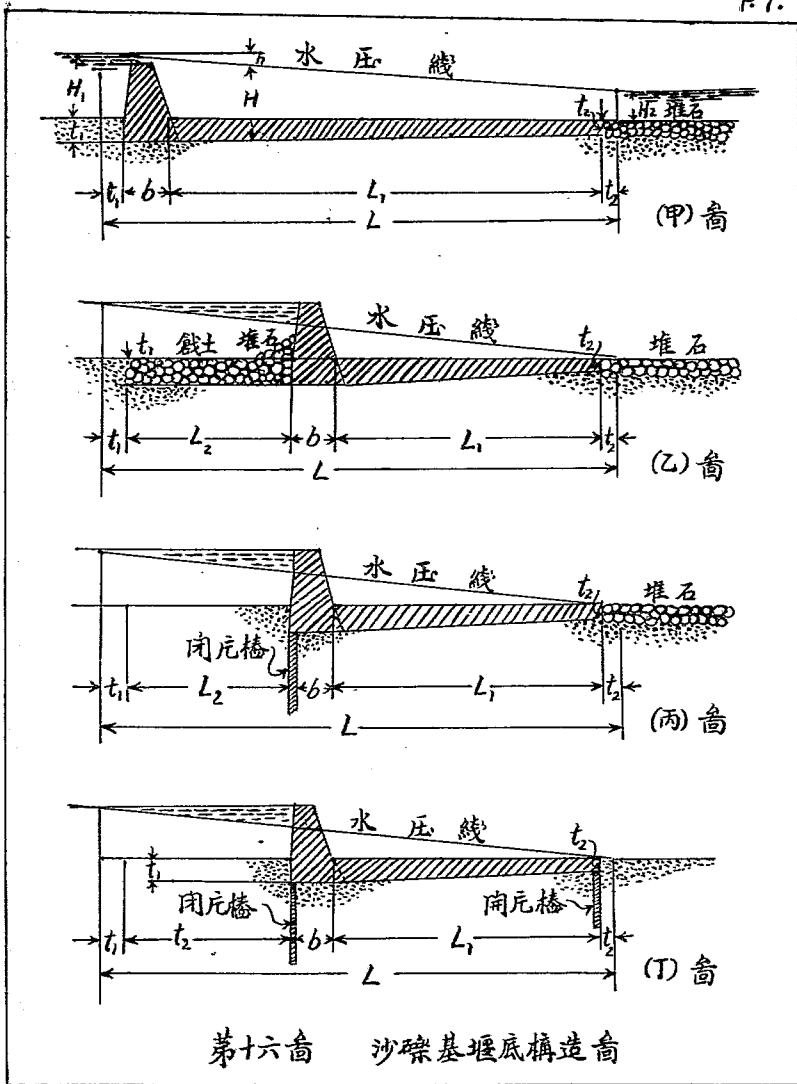


第十三畵 堰身断面計測

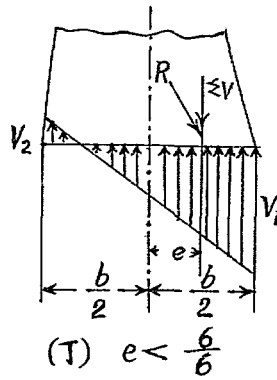
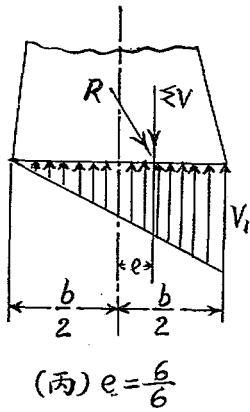
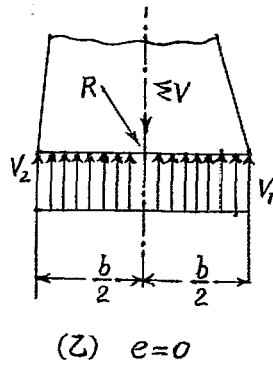
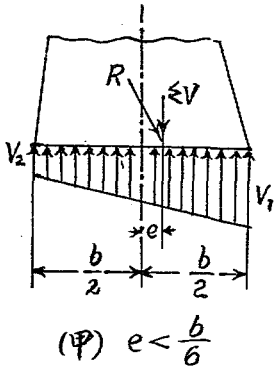


第十四畵 堰身断面畵解法

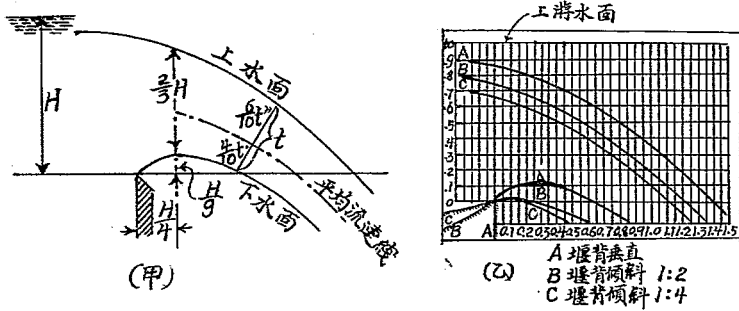




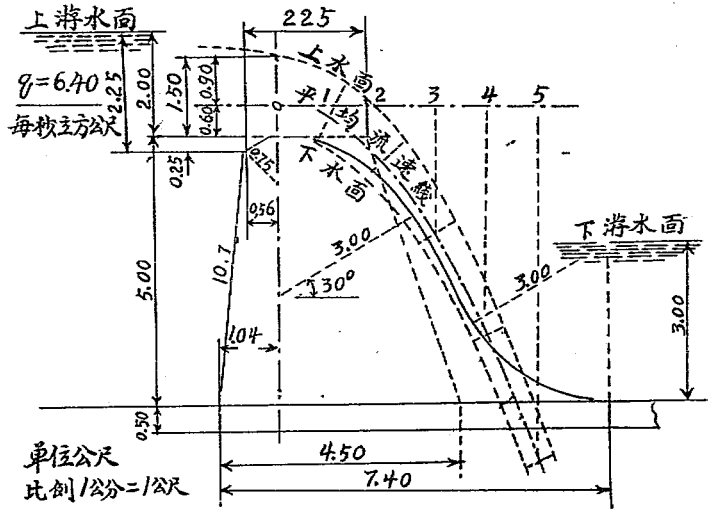
第十六章 沙砾基堰底构造图



第十七章 壩底压力分布图



第十八章 堰頂水流断面图



第十九章 堰面曲线构造图

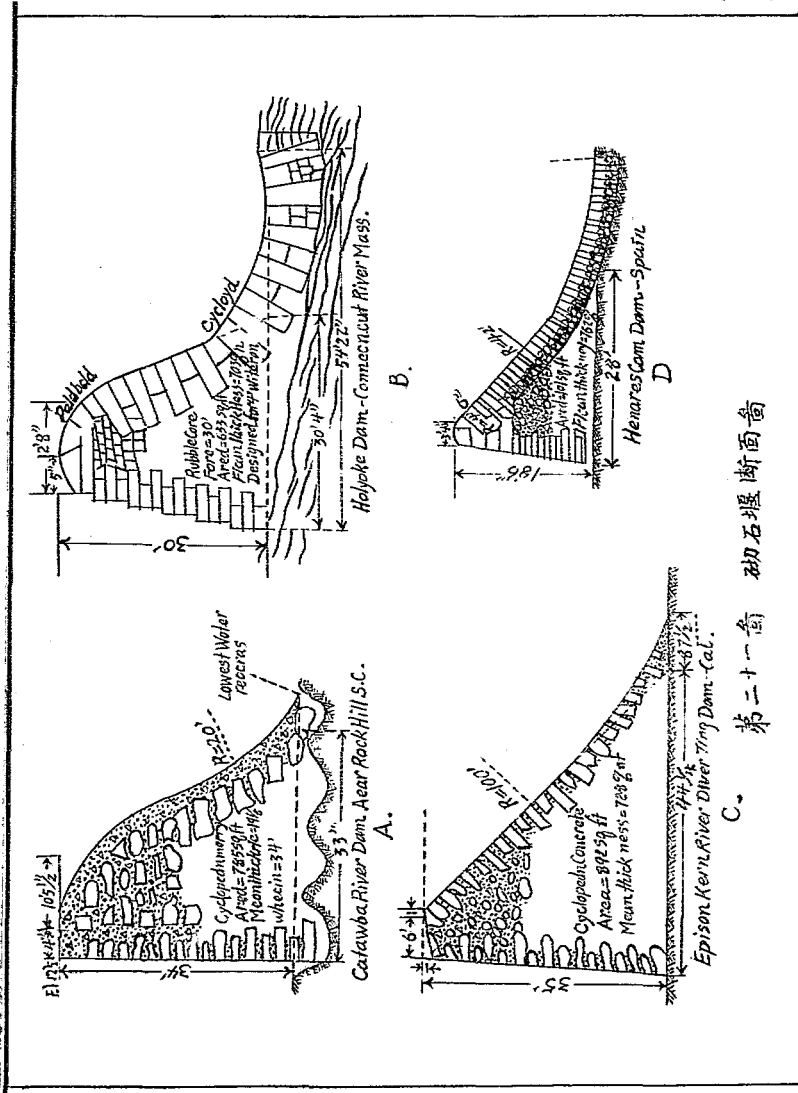
第四表

返水曲綫函數表

$\frac{D_0}{D}$	$\phi(\frac{D_0}{D})$	$\frac{D_0}{D}$	$\phi(\frac{D_0}{D})$	$\frac{D_0}{D}$	$\phi(\frac{D_0}{D})$	$\frac{D_0}{D}$	$\phi(\frac{D_0}{D})$
1.	∞	0.954	0.9073	0.845	0.5037	0.6	0.2058
0.999	2.1834	.952	.8931	.840	.4932	.60	.1980
.988	1.9523	.950	.8795	.835	.4831	.50	.1905
.997	1.8172	.948	.8665	.830	.4733	.58	.1832
.996	1.7213	.946	.8539	.825	.4637	.57	.1761
.995	1.6469	.944	.8418	.820	.4544	.56	.1692
.994	1.5851	.942	.8301	.815	.4454	.55	.1625
.993	1.5348	.940	.8188	.810	.4367	.54	.1560
.992	1.4902	.938	.8079	.805	.4291	.53	.1497
.991	1.4510	.936	.7973	.800	.4198	.52	.1435
.990	1.4159	.934	.7871	.795	.4117	.51	.1376
.989	1.3841	.932	.7772	.790	.4039	.50	.1318
.988	1.3551	.930	.7675	.785	.3962	.49	.1262
.987	1.3284	.928	.7581	.780	.3886	.48	.1207
.986	1.3037	.926	.7490	.775	.3815	.47	.1154
.985	1.2807	.924	.7401	.770	.3741	.46	.1102
.984	1.2592	.922	.7315	.765	.3671	.45	.1052
.983	1.2390	.920	.7231	.760	.3603	.44	.1003
.982	1.2199	.918	.7149	.755	.3536	.43	.0955
.981	1.2019	.916	.7069	.750	.3470	.42	.0909
.980	1.1848	.914	.6990	.745	.3406	.41	.0865
.979	1.1686	.912	.6914	.740	.3343	.40	.0821
.978	1.1531	.910	.6839	.735	.3282	.39	.0779
.977	1.1383	.908	.6766	.730	.3221	.38	.0738
.976	1.1241	.906	.6695	.725	.3162	.37	.0694
.975	1.1205	.904	.6625	.720	.3104	.36	.0660
.974	1.0974	.902	.6556	.715	.3047	.35	.0623
.973	1.0848	.900	.6489	.710	.2991	.34	.0587
.972	1.0727	.895	.6427	.705	.2937	.33	.0553
.971	1.0610	.890	.6373	.700	.2888	.32	.0519
.970	1.0437	.885	.6325	.69	.2778	.30	.0455
.968	1.0282	.880	.6284	.68	.2697	.28	.0399
.966	1.0080	.875	.6249	.67	.2580	.25	.0314
.964	0.9890	.870	.6219	.66	.2485	.20	.0201
.962	.9703	.865	.6194	.65	.2395	.15	.0113
.960	.9539	.860	.6174	.64	.2306	.10	.0050
.958	.9376	.855	.6158	.63	.2221	.05	.0013
.956	.9221	.850	.6146	.62	.2038	.00	.0000

第八表
基礎安全支力表

基礎種類	T_s/m^2	T_s/σ
1. 沉函下之岩石-----	250	25
2. 深土下之極硬岩石-----	200	20
3. 未經暴露之堅硬層土或片岩---	120	12
4. 暴露之堅硬層土或片岩-----	100	10
5. 堅密混合之丸石與沙礫-----	80	8
6. 粗大丸石或疎鬆岩石-----	60	6
7. 堅實之粗沙或丸石-----	40	4
8. 堅實之泥土或細沙-----	30	3
9. 層次間隔之泥土與沙礫-----	20	2
10. 乾土或細沙-----	20	2
11. 濕土或柔砂-----	20	2
12. 柔軟之泥土-----	10	1
13. 淖沙或沖積土-----	5	0.5



第二十一圖 砌石堰斷面圖

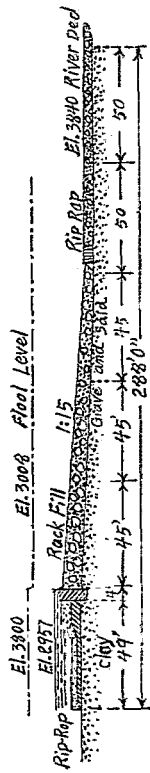


Fig A.—Madaya Weir across the Madaya River Burma.

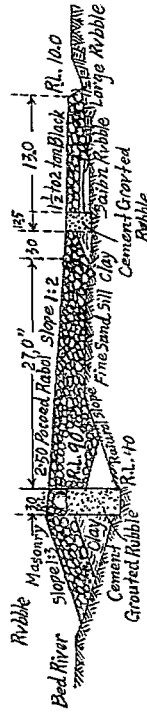


Fig B.—Rosehewer Weir, River Mile 500 Meter Long (1901)

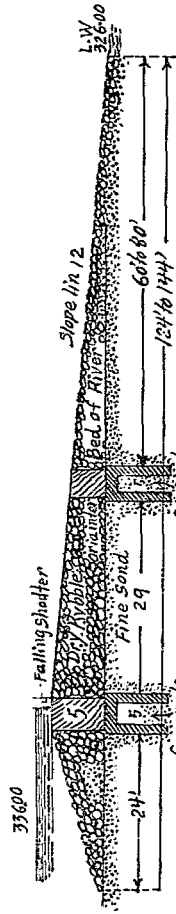
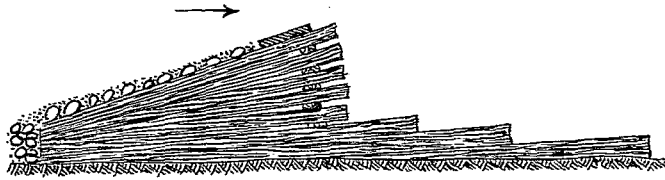
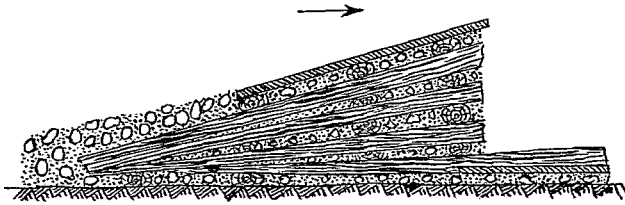


Fig C.—Dabri Weir River Sondladia) Liff 100 feet length 1250 feet Flood discharge 830000 Sec L. ft

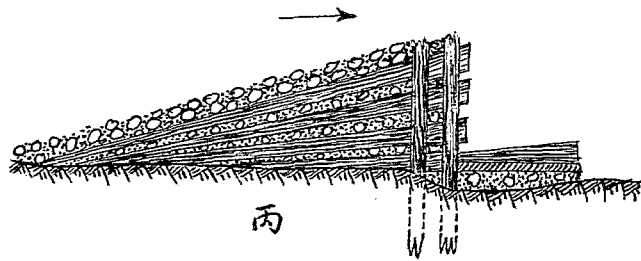
第二節 堆石堰斷面圖



甲

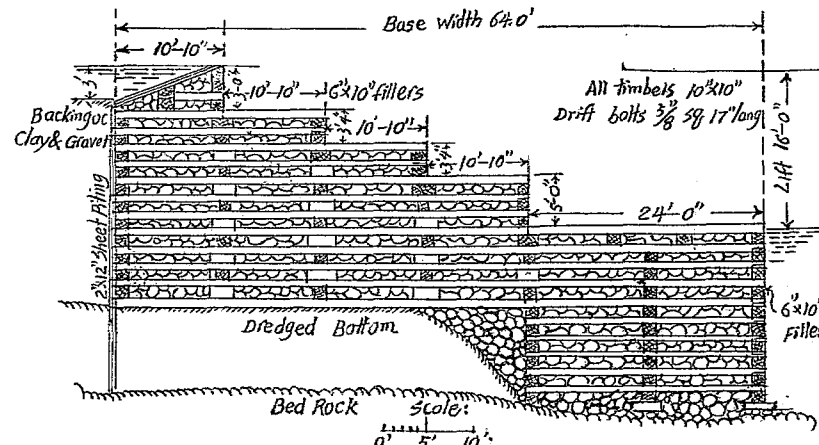


乙

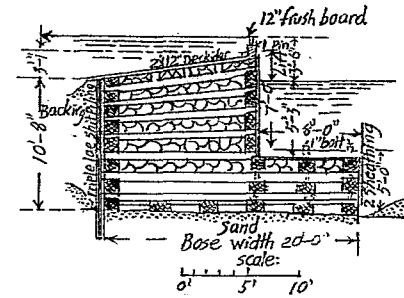


丙

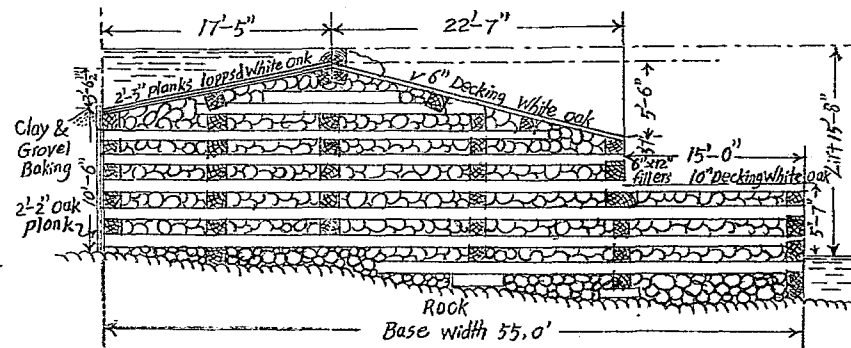
第二五箇疊木堰断面圖



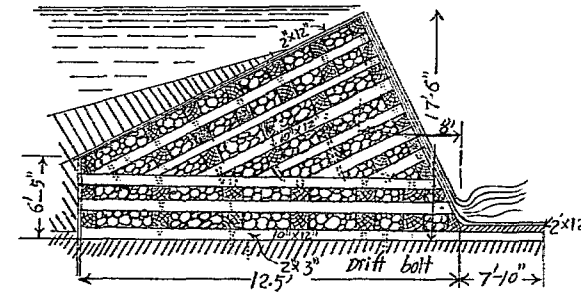
(A) Section of Step Dam for Rivers of High Floods, after Example Built in 1966-1900



(C) Section of Timber Dam as used on the Fox River, Wisconsin 1898. (Ordinary flood range about 3 ft.)

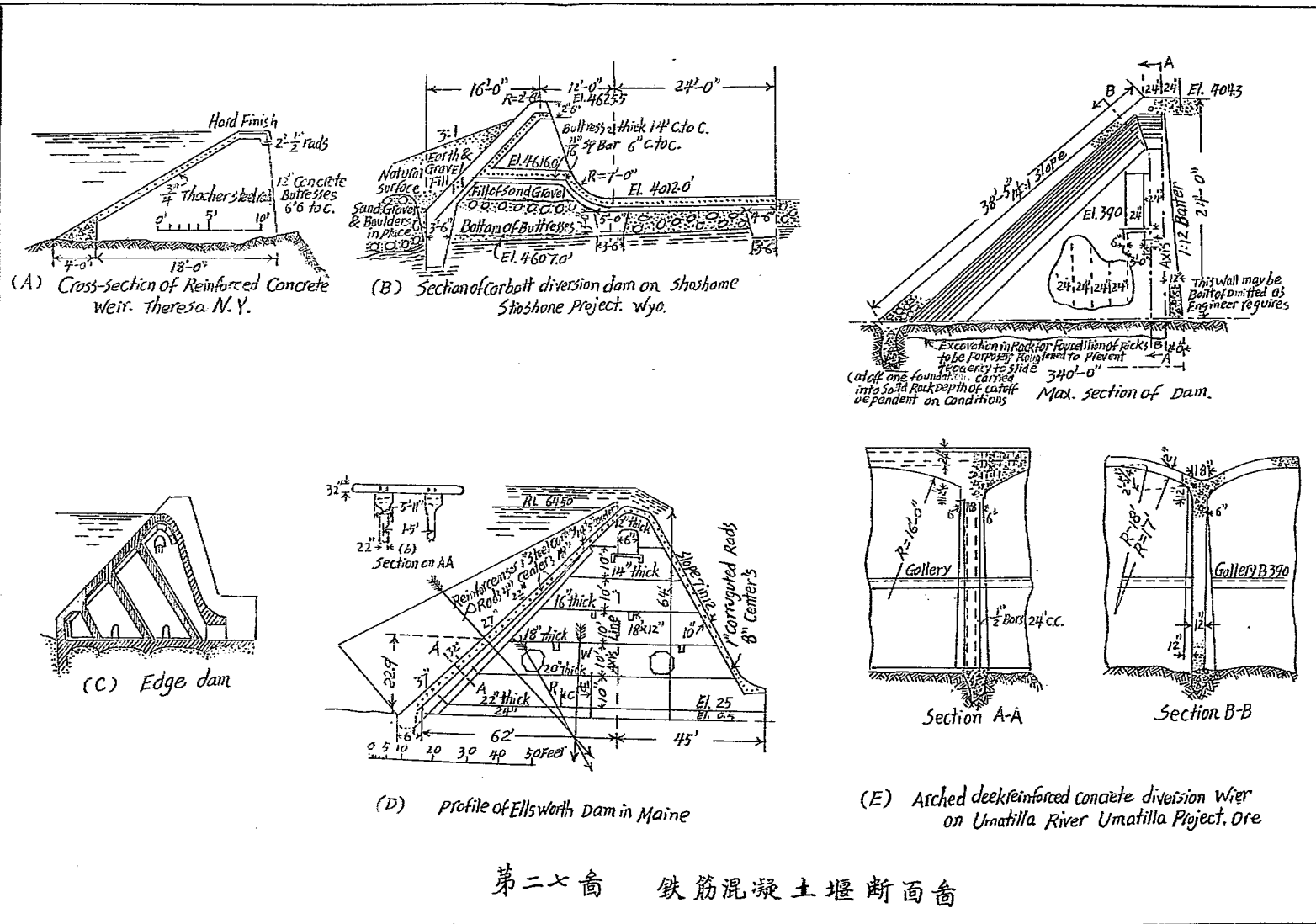


(B) Slope Dam with comb-stick and long Up-stream slope (Dam No 2 Green River, Ky, 1897)

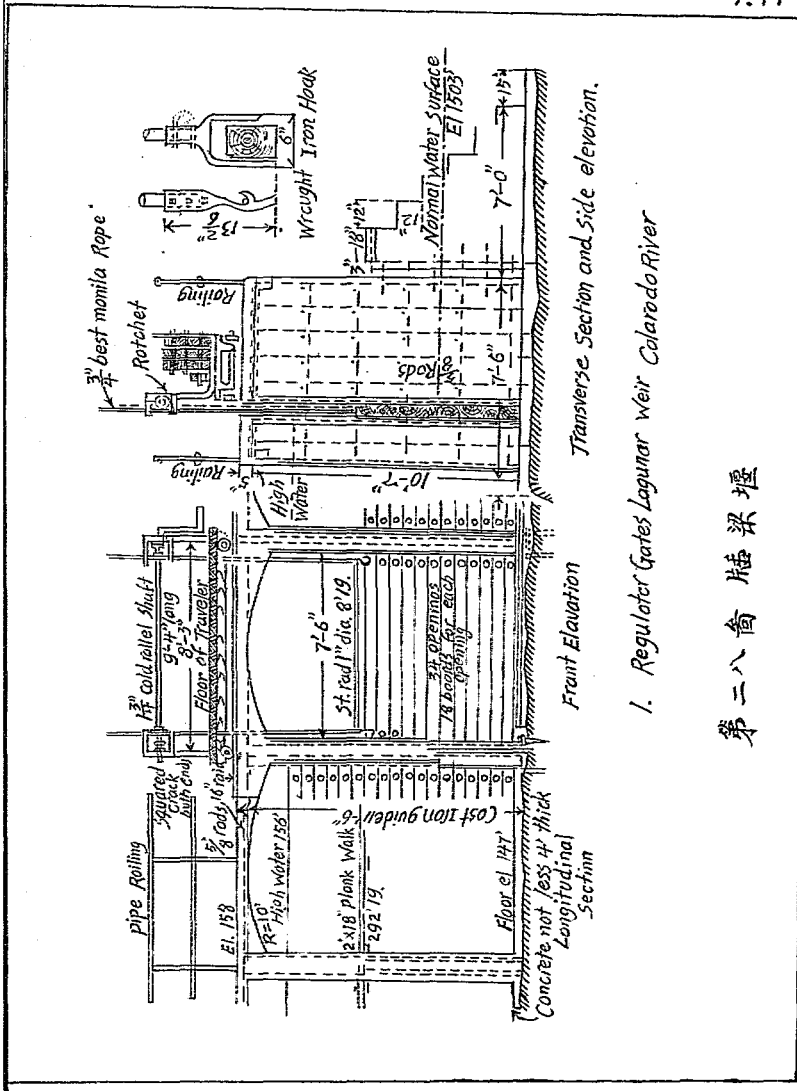


(D) Crib Weir of Bear River Canal, Utah.

第二六圖 木框堰断面圖

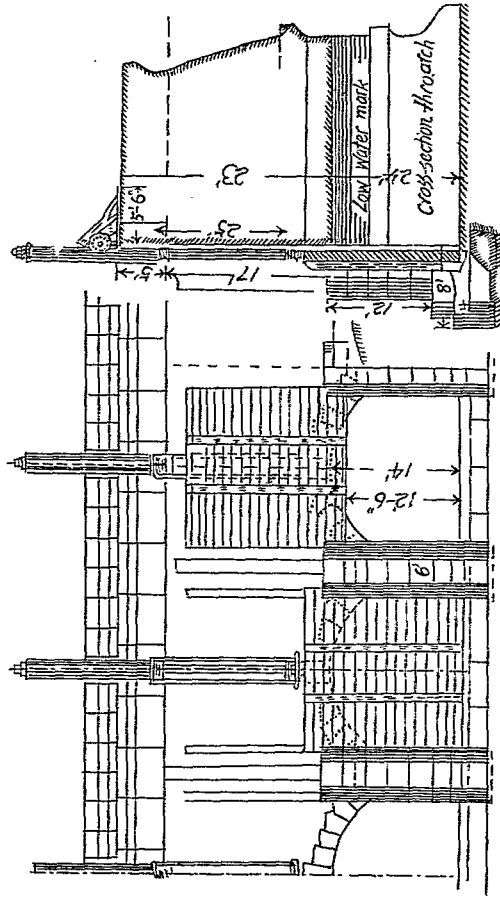


第二七章 鉄筋混凝土堰断面圖



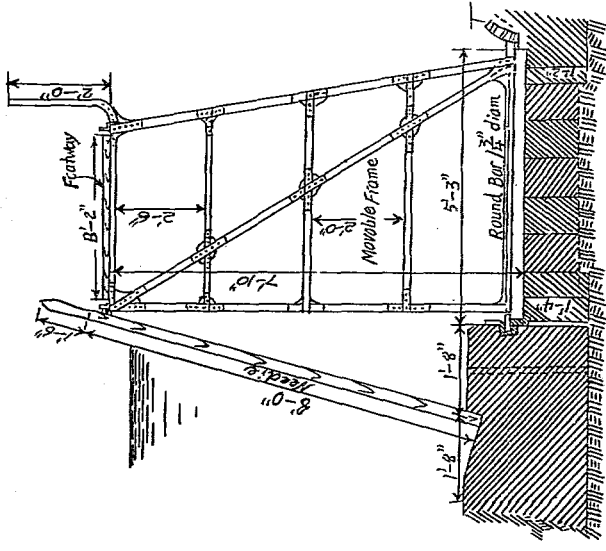
1. Regulator Gates Lagunar Weir Colorado River

第二八章 橋梁堰

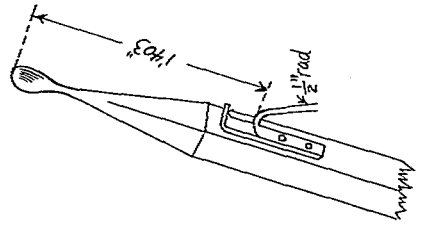


Front Elevation
 Cross-section and Elevation of Regulator Gates,
 Folsom Canal

第二九 畝 補門堰

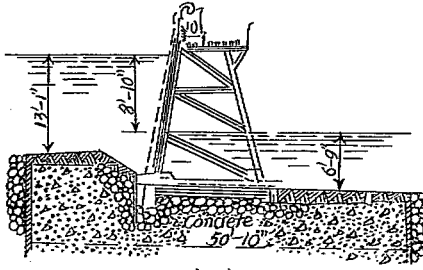


(甲) 賽因河下游針堰斷面圖 (1880)

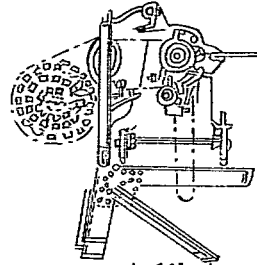


(乙) 針柄鉤

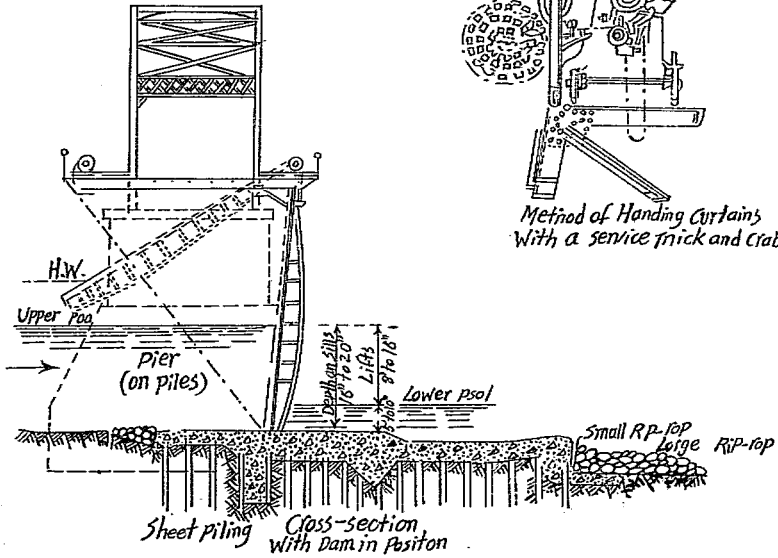
第三十一章 針 堰



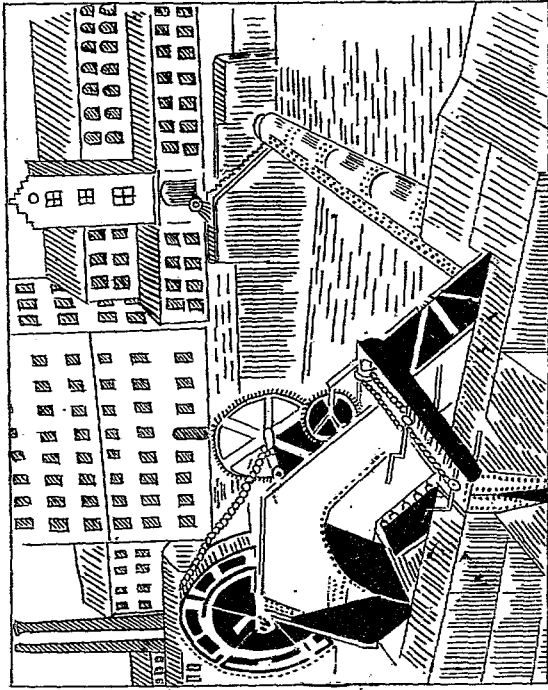
Part-A-Langlois weir
shutter weir



Method of Handling Curtains
With a service truck and Crab

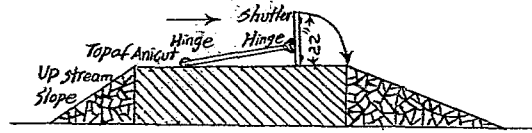


第三圖 簾堰

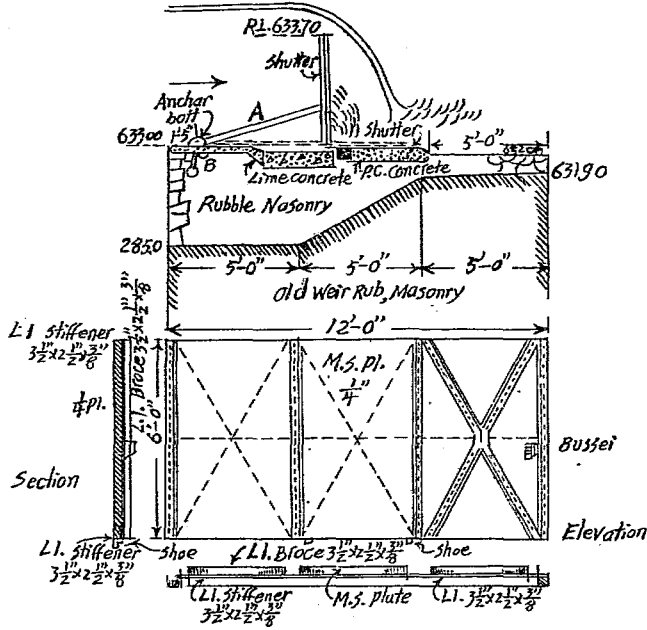


Rolling Dam of Schwemfurt, Germany. The Roller Lowered

第三節 圓筒壩

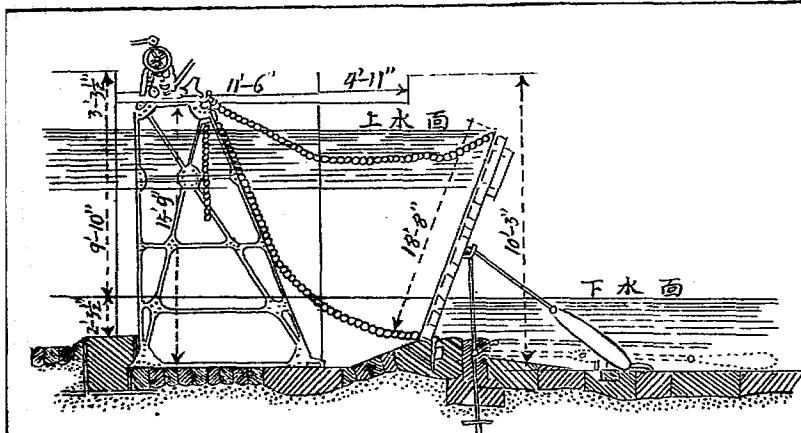


(A) Cross-section of shutter on soane, weir, India.

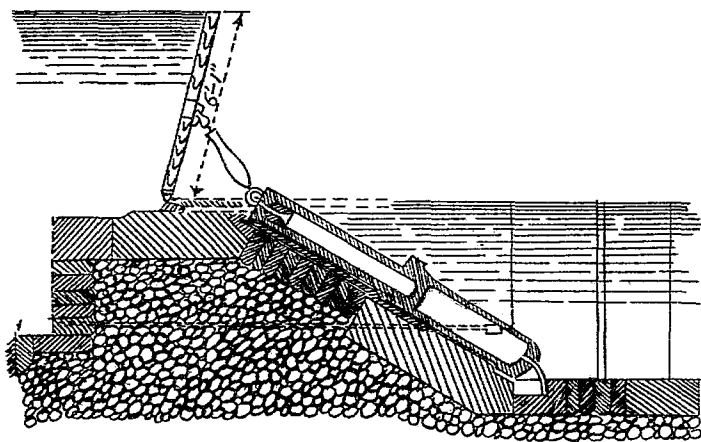


(B) Automatic Flap-shutter, Betwa Weir, India.

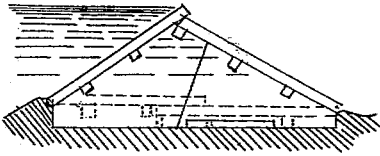
第三四章 旋板堰



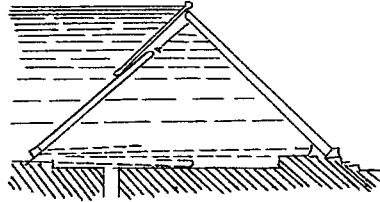
第三五圖 雪那恩氏旋板堰 (Chanaine shutter weir)



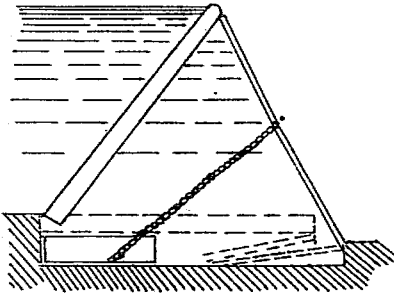
第三六圖 唧筒旋板堰 (Girard shutter weir)



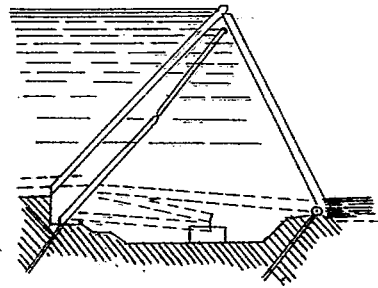
第三七圖 舊式熊捕堰
(Old Type Bear Trap Weir)



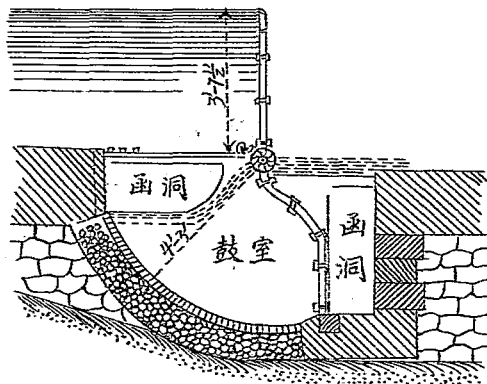
第四十圖 來恩氏熊捕堰
(Long Type Bear Trap Weir)



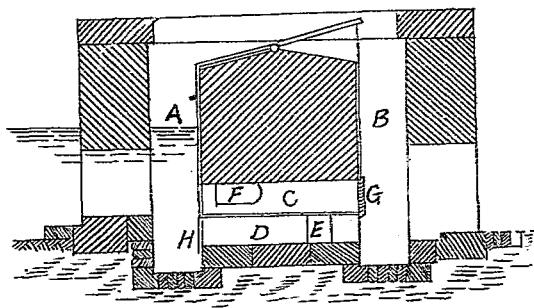
第三八圖 全勒特氏熊捕堰
(Girard Bear Trap Weir)



第三九圖 拍克氏熊捕堰
(Parker Bear Trap Weir)

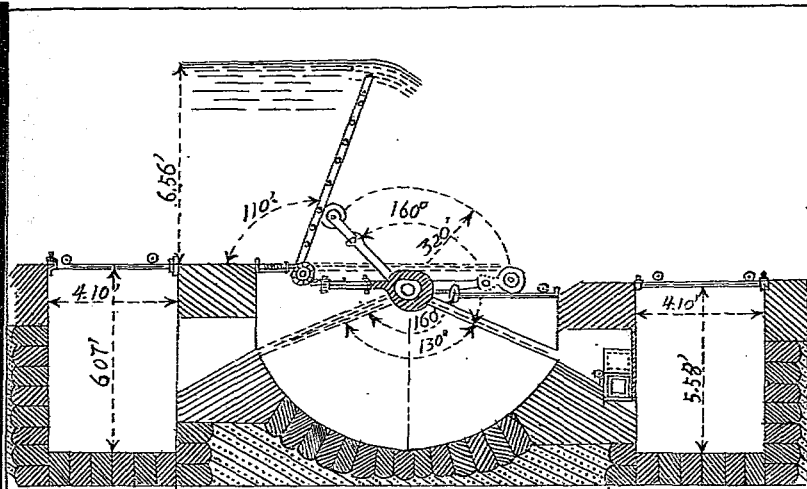


(甲) 断面圖

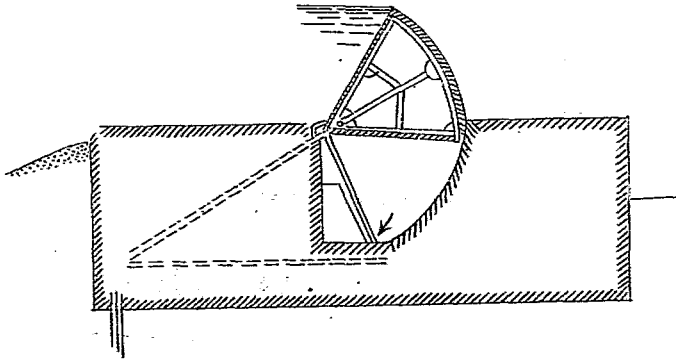


(乙) 堰墩函洞佈置圖

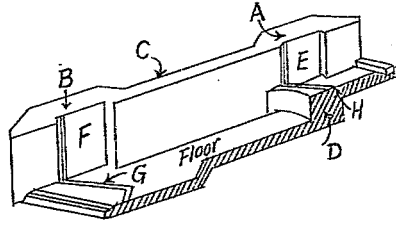
第四一圖 譚方登氏鼓堰圖 (Desfontaines Drum Weir)



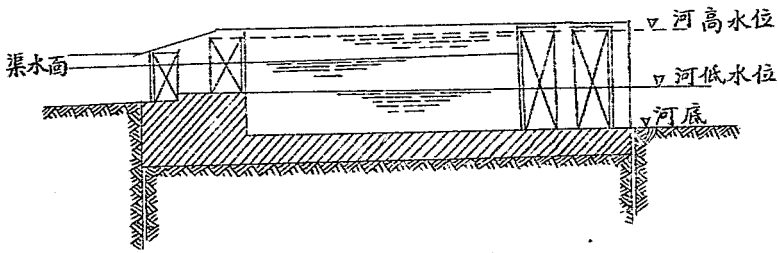
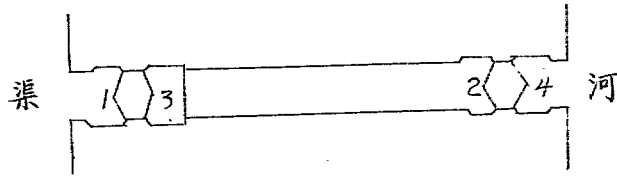
第四二圖 克文納脫氏鼓堰 (Cuviniot Drum Weir)



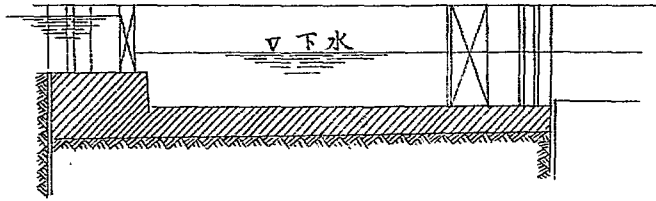
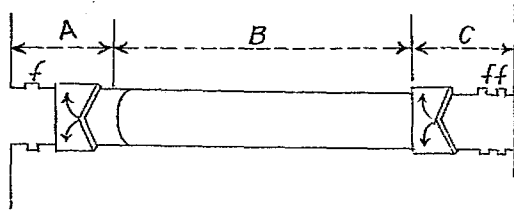
第四三圖 威登騰氏鼓堰 (Chittenden Drum Weir)



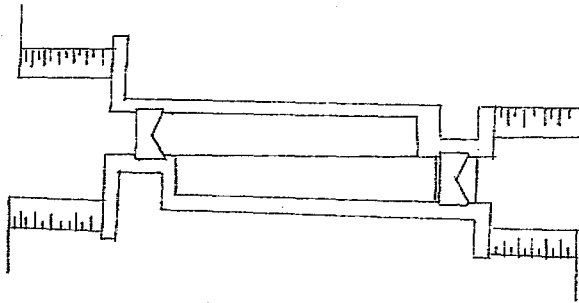
第四四 船闸



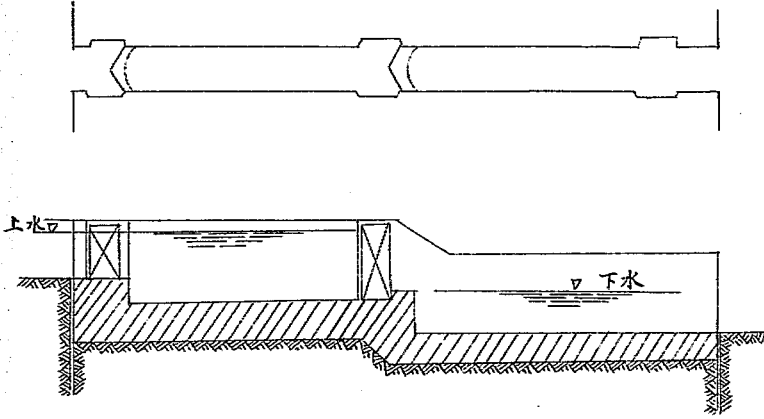
第四五 双向船闸



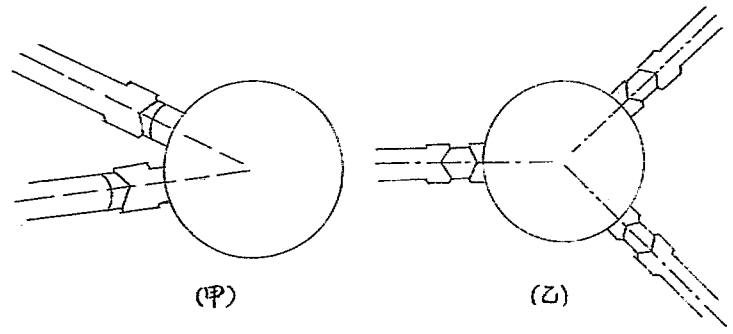
第四六圖 單向廂閘



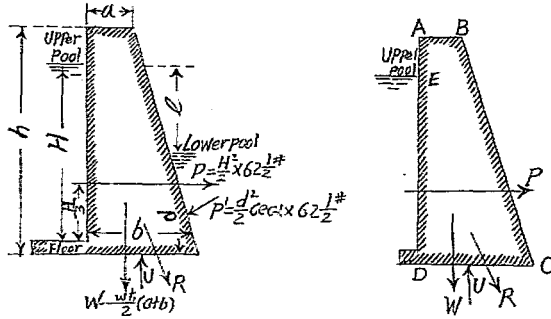
第四七圖 雙船閘



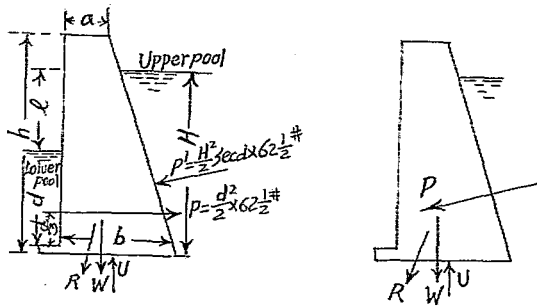
第四八圖 雙船閘



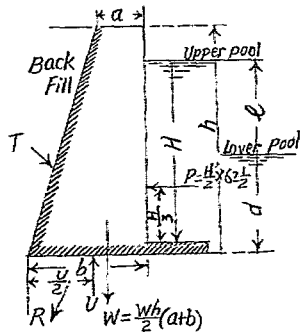
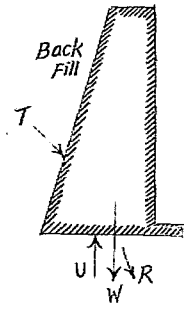
第四九圖 圓閘



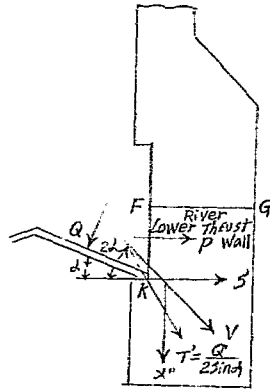
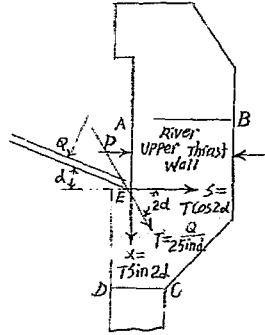
第五〇圖



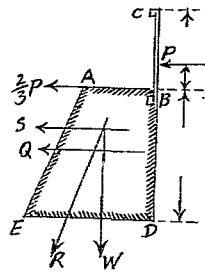
第五一圖



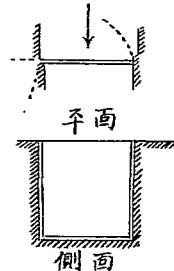
第五二齋



第五三齋

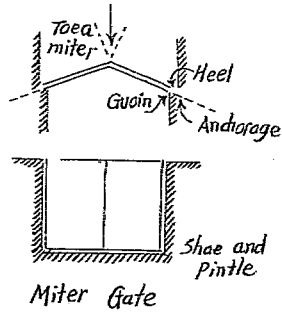


第五四圖



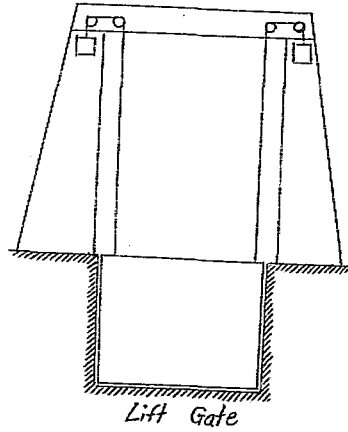
Single Swinging Gate

第五六圖



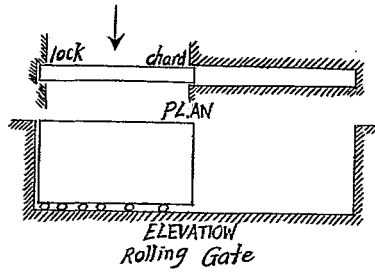
Miter Gate

第五五圖

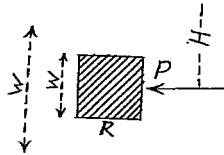
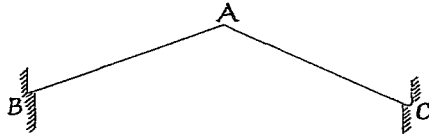


Lift Gate

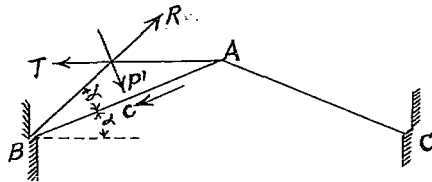
第五七圖



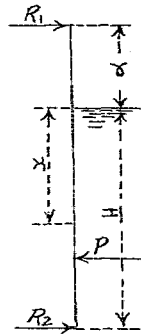
第五八齣



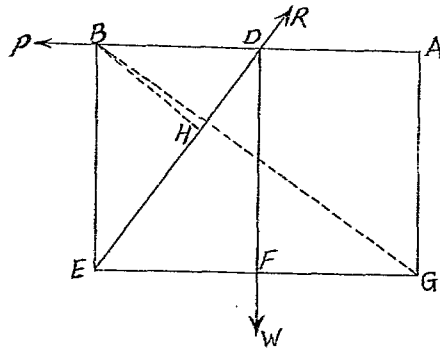
第五九齣



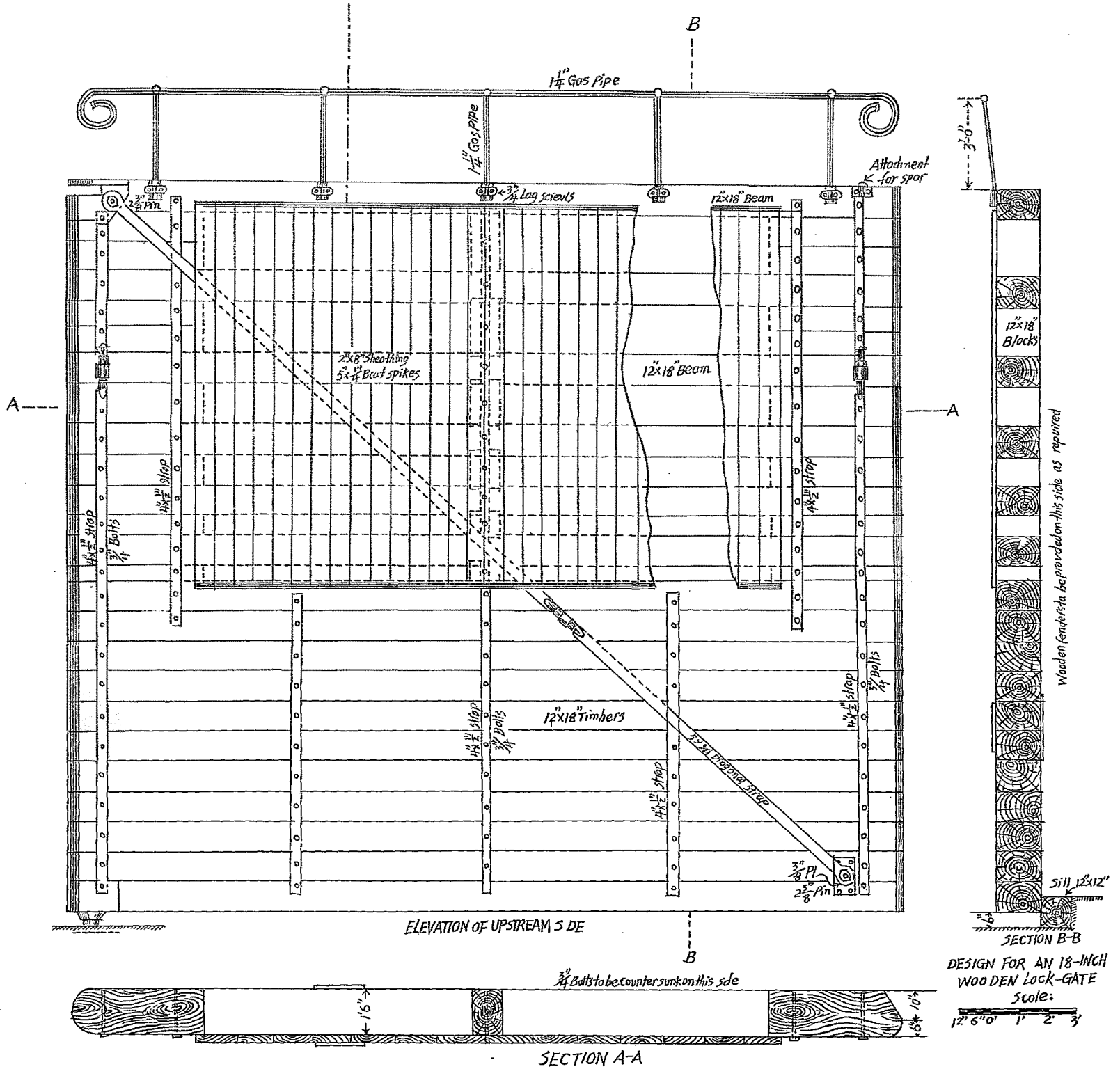
第六〇齣

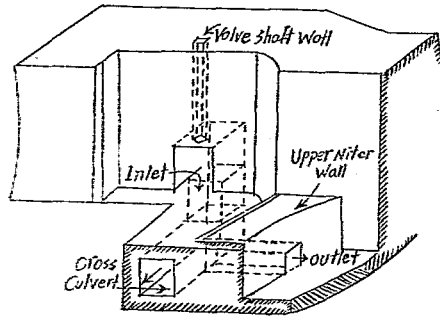


第六一圖

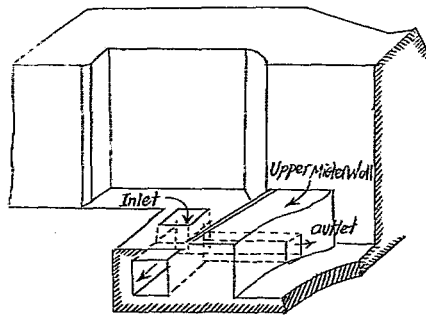


第六二圖

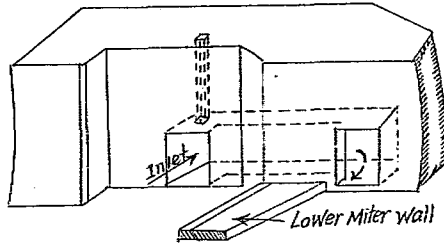




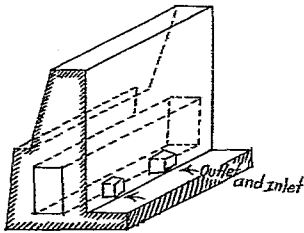
第六四圖



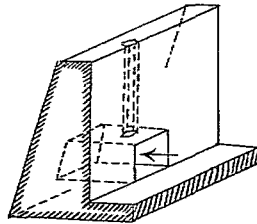
第六五圖



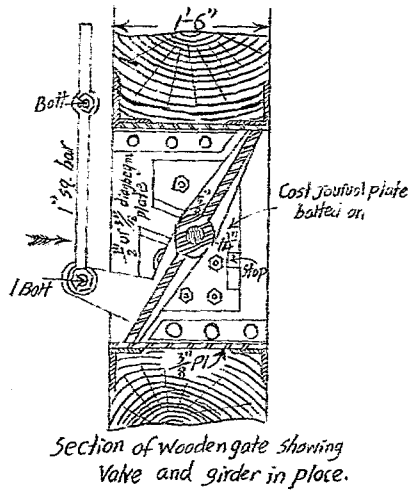
第六六圖



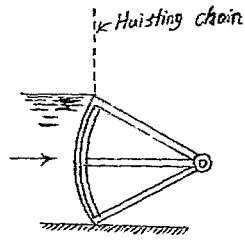
第六七圖



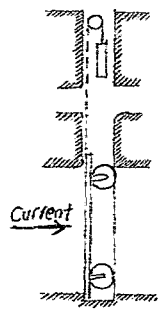
第六八圖



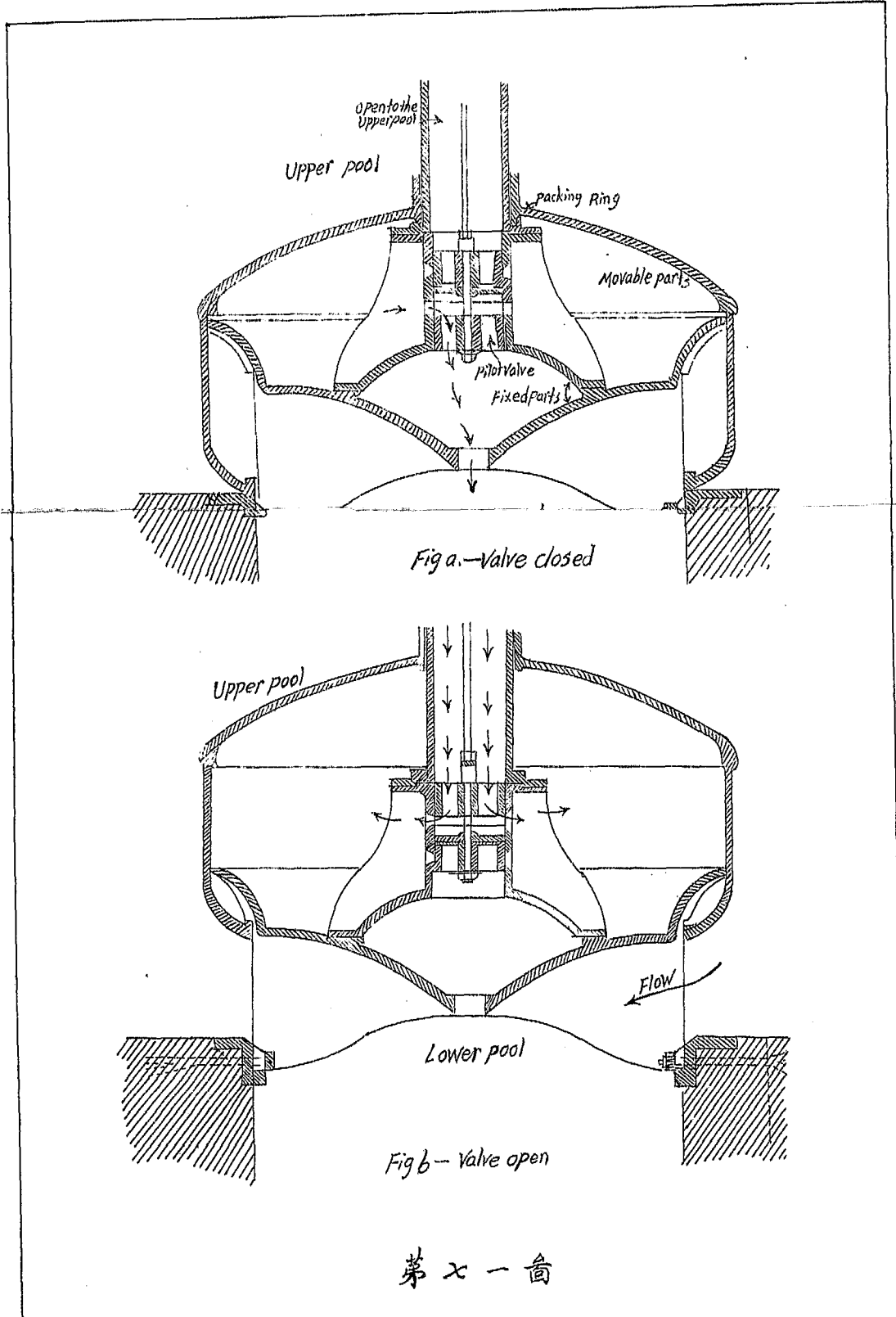
第六九圖



第七〇圖



第七二圖

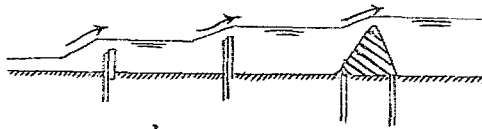
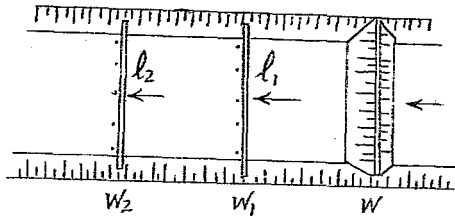


第七一圖

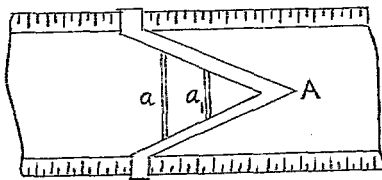
P. 40.



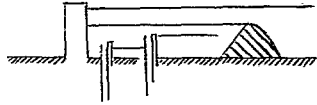
第七三畝 魚磴



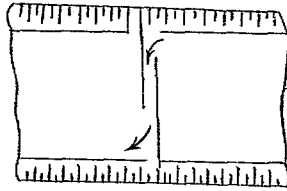
第七四畝 魚磴



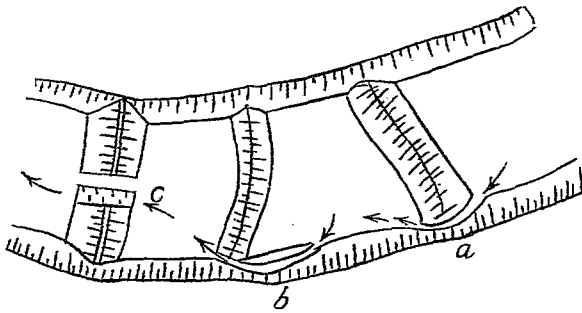
第七五畝 魚磴



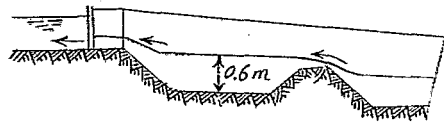
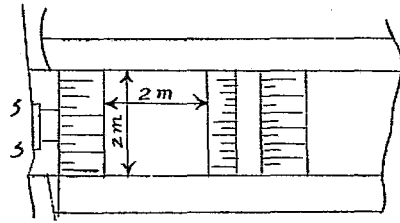
第七六畝魚磴



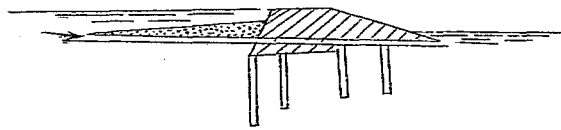
第七七畝魚磴



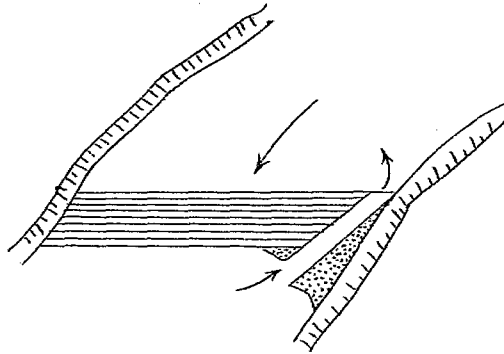
第七八畝魚磴



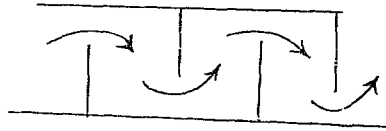
第七九畝 魚磴



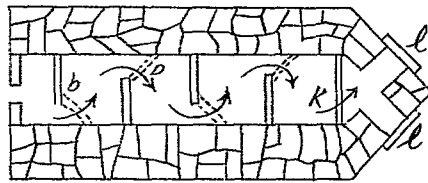
第八〇畝 魚徑



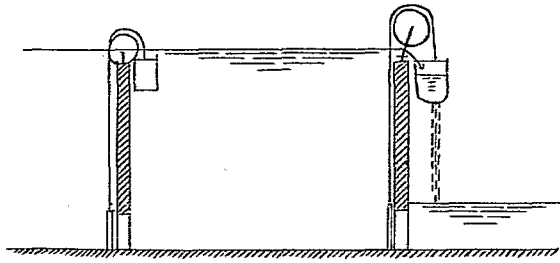
第八一畝魚徑



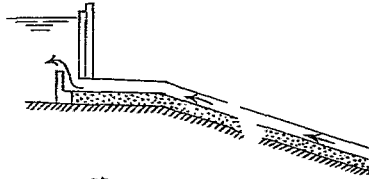
第八二畝魚徑



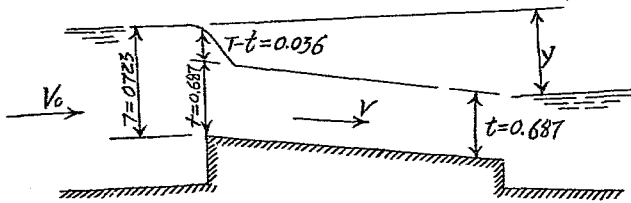
第八三畝魚徑



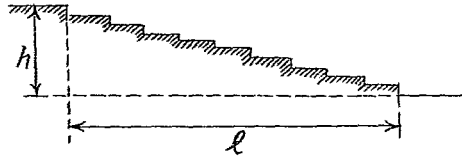
第八四圖 魚閘



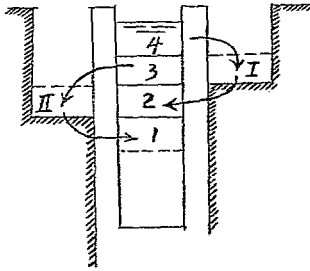
第八五圖 魚道



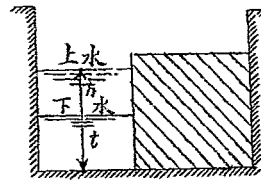
第八六圖 水道



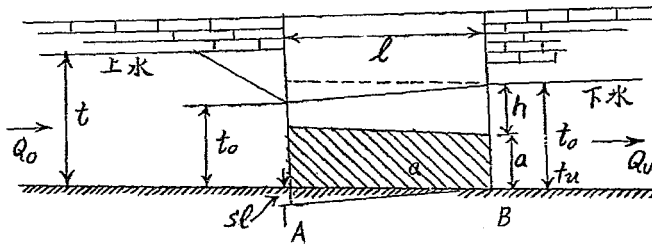
第八七畝 木道



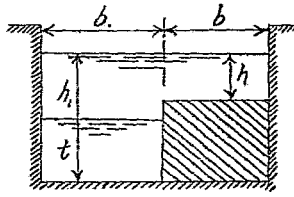
第八八畝 節水池



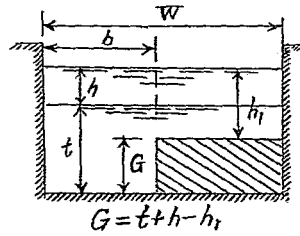
第九〇畝 偏堰



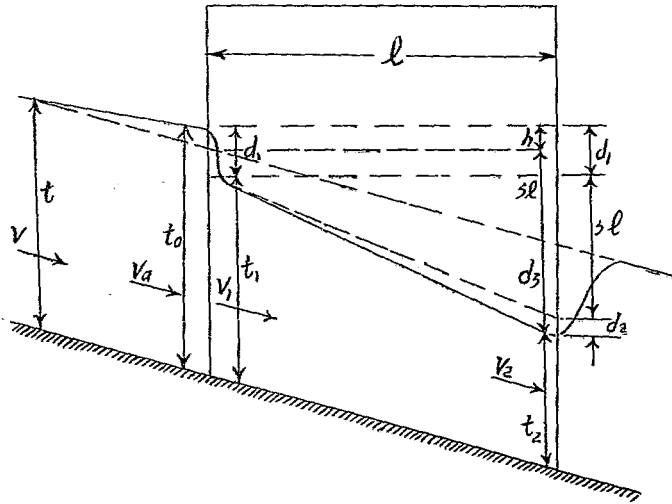
第八九畝 漏洪堰



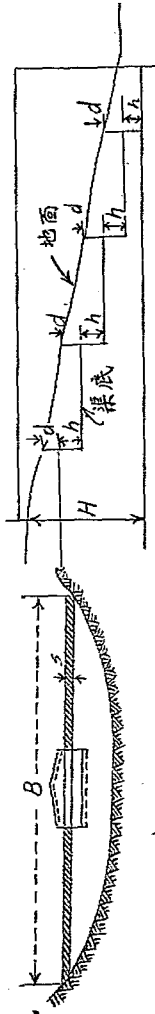
第九一圖 偏堰



第九二圖 偏堰

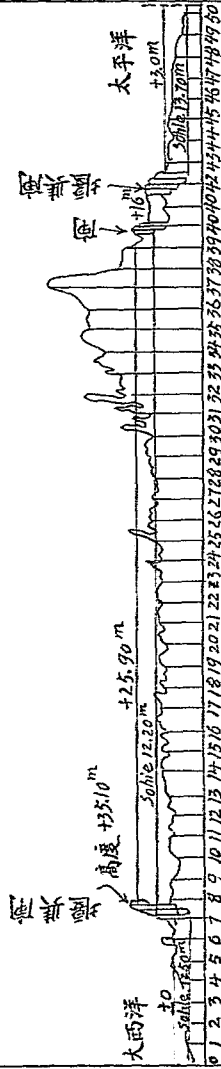


第九三圖 橋磯



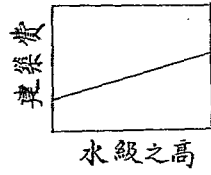
第九四圖

第九六圖

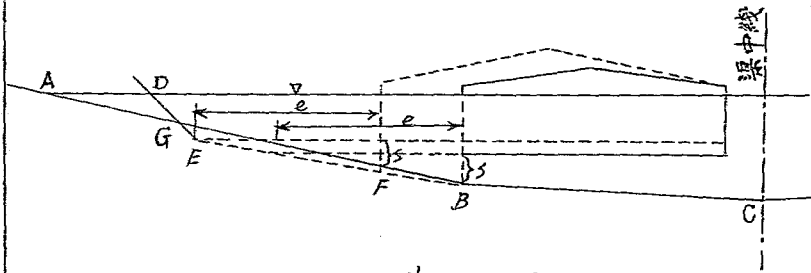


第九五圖

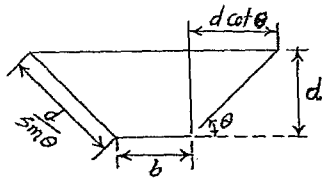
巴拿馬運河縱斷面圖



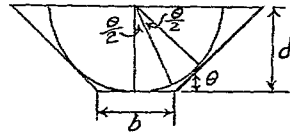
第九八圖



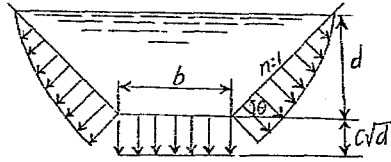
第九八圖



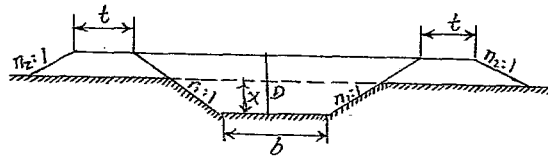
第九九圖



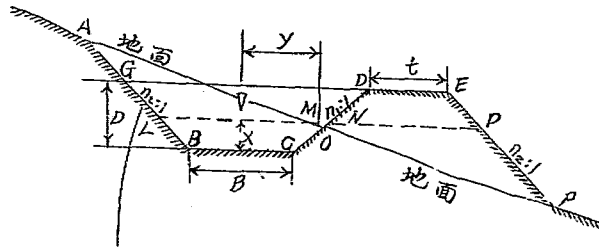
第一〇〇圖



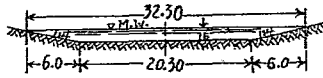
第一〇一圖



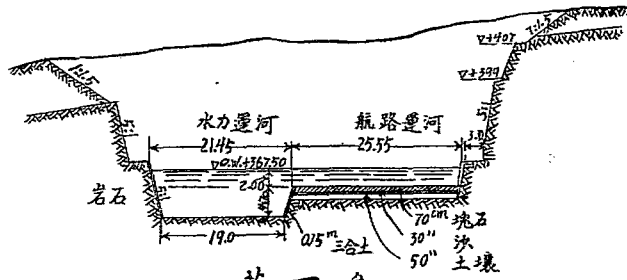
第一〇二圖



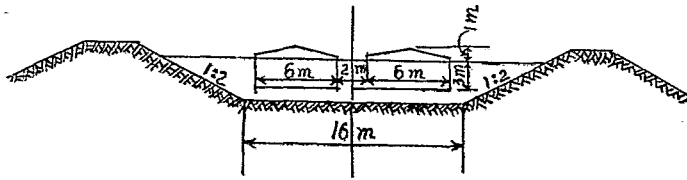
第一〇三圖



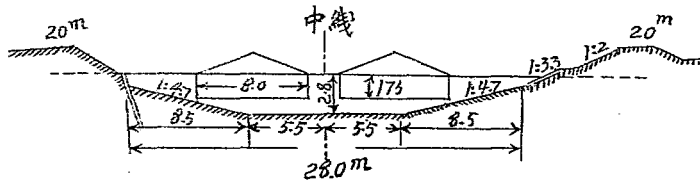
第九十九畝 (Aller 河之剖面)



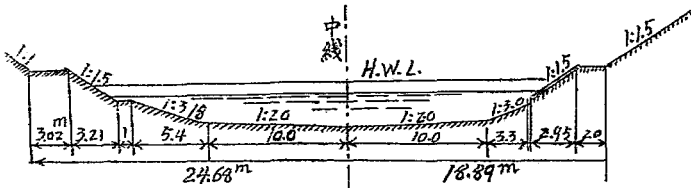
第一百畝



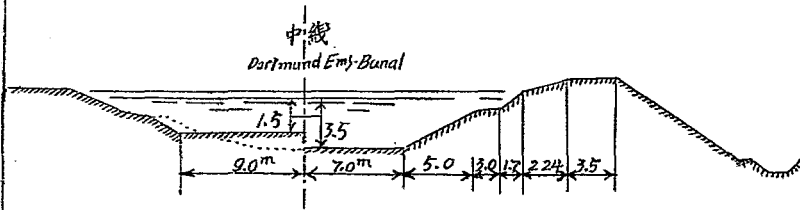
第一百一畝 運渠標準橫剖面



第一〇四箇 oder opree

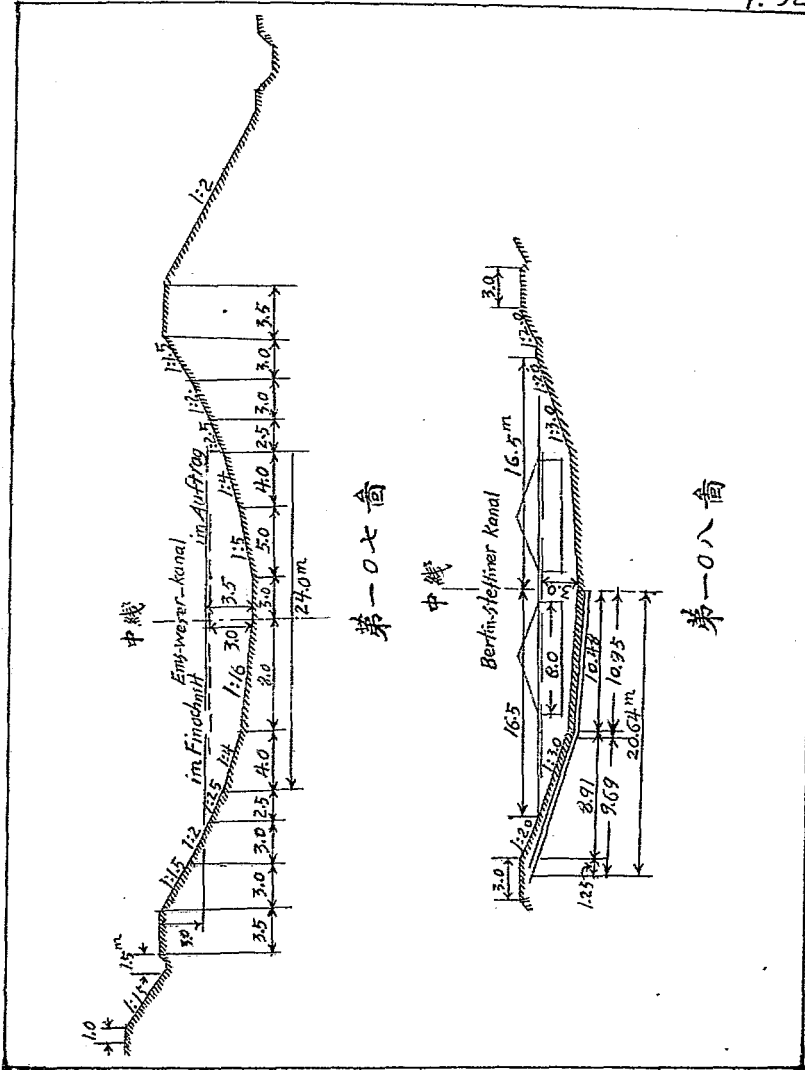


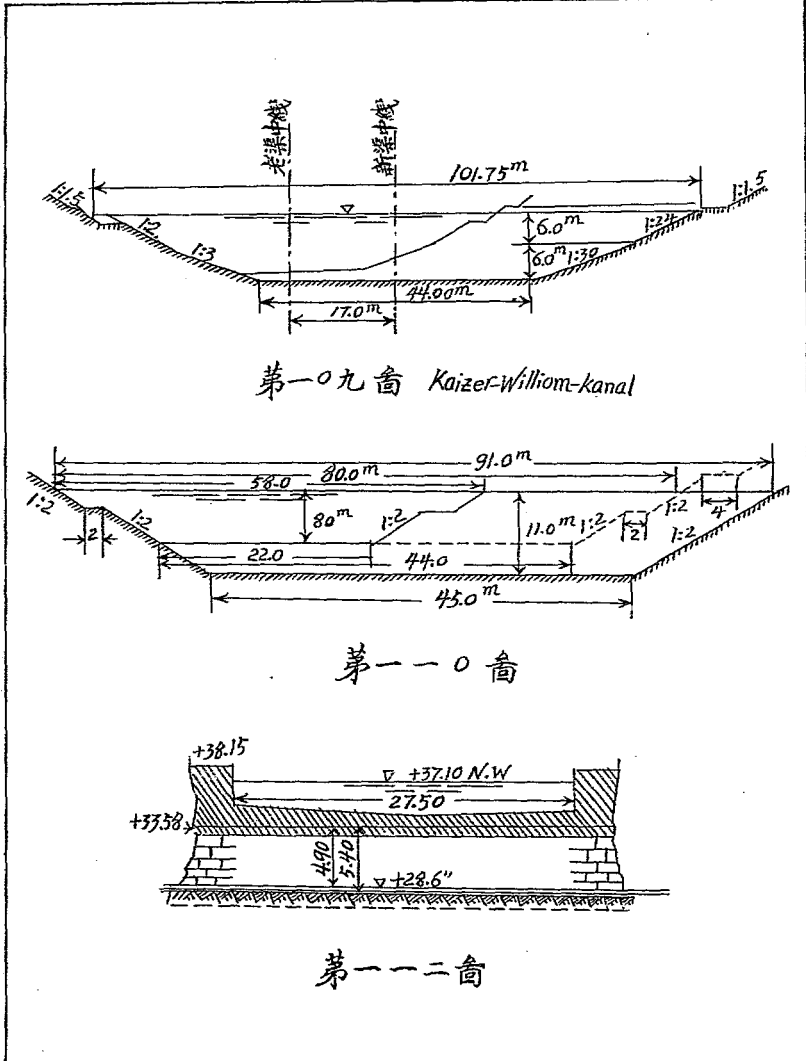
第一〇六箇 Teltow

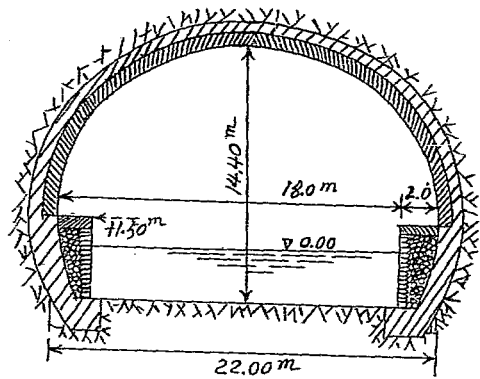


第一〇五箇

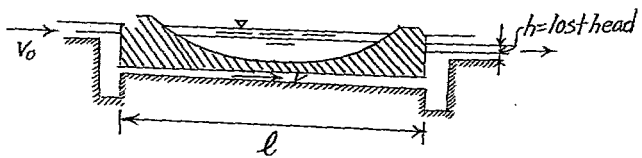
Dortmund Em-Bunal



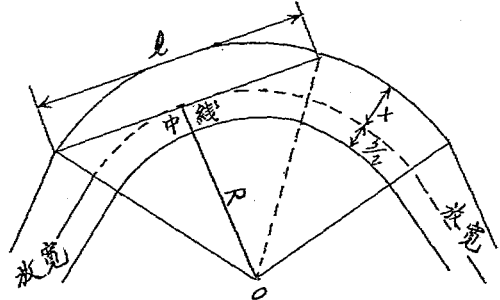




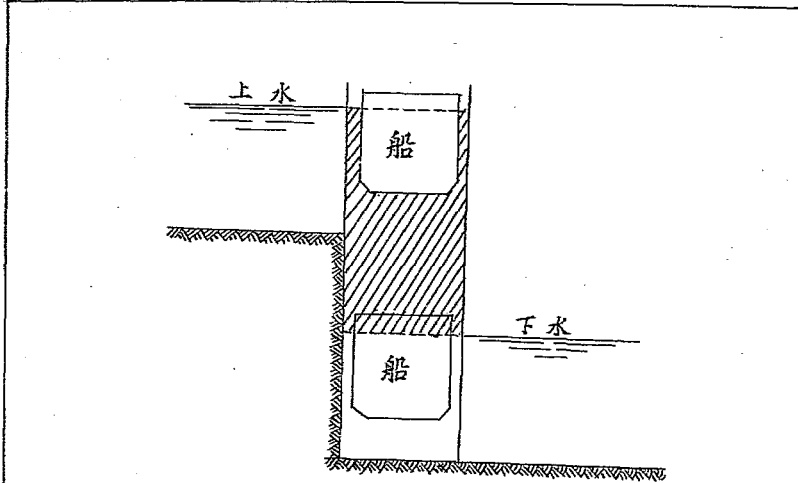
第一一四 渠洞



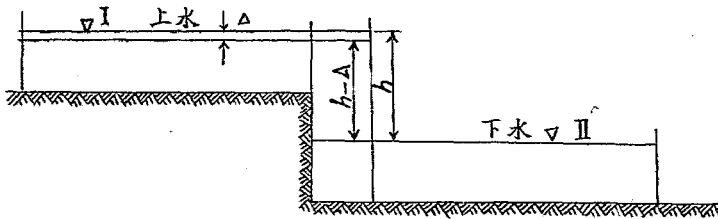
第一一三 潜沟



第一一四 渠湾



第一一五圖



第一一六圖

