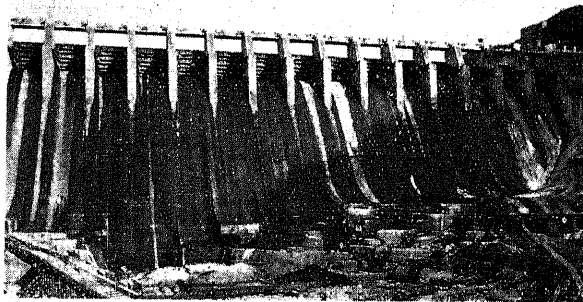


第六章 高 堰 堤

貯水池又は調整池を構成し又は落差を得るために河水を堰き上げる爲めの高堰堤で通常 20 米位より高いものを高堰堤と稱する。

1. 堰堤の種類及其の性質

堰堤の種類として最普通のもののはコンクリート造**重力堰**



第 51 圖 大井堰堤

堰である。我國の水力の著明なる堰堤、即小牧、祖山、大井等は皆それである。重力堰堤と稱する所以は自身の體重で水を支へ轉覆せぬ様に設計せられるからである。

堰堤を設ければ概ね巨大なる貯水池が出来るから一たびこれが缺潰を見る時は其の影響が甚大である。我國では幸事故に止まる二三の實例あるに過ぎぬが外國に於ては一時

に數百名の死者を出だし或は又多大の損害を惹起した實例を可なり多く數へる。故に堰堤を築造せんとする時は他のものに倍加し安全の途を講じなければならぬ。此の意味に於て重力堰堤は其の原理最简单で強度信頼し得るものであるから多く利用される所以である。

然し乍ら此の種堰堤は必ず堅固なる岩盤の上に基礎を設けなければならぬから場合に依つては非常なる掘鑿を必要とし工費の著しく増大する事を免れない。

基礎に適當な岩盤を求め得ざる時は**土堰堤**を用ゐる。即土を薄い層に積み突き固めた堅固なる築堤であるが外國に於ける實例を見るも堰堤破壊は其の數に於て土堰堤が大部分を占めて居る位であるから出来る丈避けるを可とする。従つて水力では實例が少ないが河川下流部に設ける灌漑、水道等の堰堤には多く此の堰堤が採用せられて居る。

鐵筋コンクリート**中空堰堤**は我國に於ても相當多く用ゐられ、其の數十指に餘る。中空堰堤にも種類が澤山あつて multiple arch 型、dome 型等其の他種々のものがあるが我國では専ら應力の割合に簡單である點からして**扶壁式**が多く用ゐられて居る。

此の種堰堤は中空であるから軽い故岩盤の著しく堅固ならざる個所に適して居る。コンクリートの容積は重力堰堤に比し少ないからセメント運搬に困難を伴ふ山中の工事に

適する。然し應力の點に於て重力堰堤より信頼し得る程度は低いから今の所高さ 30 米位に止まつて居る。

拱堰堤は兩岸の岩盤堅固なる個所を利用し拱で水壓を支へんとするものである(重力堰堤も普通幾分上流の方に反る拱に作るが拱の力は考慮しない)。極めて丈夫で且材料も節約出来る様一應考へられるが應力は極めて複雑である。即水平に切斷して見ると拱で垂直に切ると突術であるから外力並に溫度變化に對して歪みを考慮して計算するのであるが、特に溫度の變化による應力の如きは表面に龜裂を生ずる結果を豫期され又其の實例も多い。従つて計算の危惧の上に於て我國では未だ實現を見ぬ状態にあるが他日相當研究が積まれた上は多く實際に用ゐられる時機もある事と思ふ。米國の土木學會誌に 1931 年頃より多くの論議が重ねられてある。

次表は我國著明なる堰堤を表示したものである。

第 12 表 堰 堤 表

(1) 重力堰堤

堰堤名	會社名	發電所名	所在縣名	基礎上水面迄高さ(米)	堤長(米)	有效貯水量(立方米)
小 牧	庄川水力	小 牧	富山	78.8	300	18 500 000
祖 山	昭和電力	祖 山	富山	69.7	132	8 300 000
帝 釋	山陽中央	帝 釋	廣島	62.0	38	10 300 000
大 井	大同電力	大 井	岐阜	46.2	275	11 100 000

堰堤名	會社名	發電所名	所在縣名	基礎上水面迄高さ(米)	堤長(米)	有效貯水量(立方米)
祐 延	日本海電氣	小口川第一	富山	44.5	125	7 500 000
取水口	大湍川水力電氣	高 岡	宮崎	38.8	124	3 220 000
松谷調整池	群馬水電	松 谷	群馬	37.3	91	168 000
飯 豊	新潟電力	飯 豊	新潟	37.3	53	—
宇 治	宇治川電氣	志 津	京都	31.2	66	320 000
豊 實	東信電氣	豊 實	新潟	31.2	206	1 700 000
落 合	大同電力	落 合	岐阜	28.0	193	1 160 000

(2) 扶壁堰堤

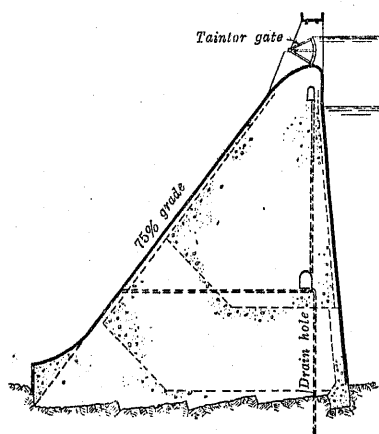
堰堤名	會社名	發電所名	所在縣名	基礎上水面迄高さ(米)	堤長(米)	有效貯水量(立方米)
丸 沼	上毛電力	一ノ瀬	群馬	30.9	67	11 000 000
恩 原	中國合同	平 作 原	岡山	26.8	87	2 540 000
眞 立	日本海電氣	小口川第二	富山	22.0	61	22 000
高 野	山東京電燈	中津川第一	新潟	19.4	133	70 000
眞 川	富山縣營	眞 川	富山	18.2	73	45 000

(3) 土 堰 堤

堰堤名	會社名	發電所名	所在縣名	基礎上水面迄高さ(米)	堤長(米)	有效貯水量(立方米)
大 野	東京電燈	八ッ澤	山梨	41.5	282	740 000
第 三	九州水力	女子畑	大分	31.8	177	—
地 造	九州水力	町田第一	大分	29.4	94	1 840 000
第 二	九州水力	女子畑	大分	21.8	58	—
武 周	湖越前電氣	瀧 生	福井	19.1	83	3 170 000
逆 川	鬼怒川水力	下 瀧	栃木	18.8	111	84 000

2. コンクリート重力堰堤

堰堤の高さ 20 米位迄は通常の粗石コンクリート積みとする。粗石は全容積の 20% 以下と見込むのが普通である。堰堤が高くなれば漏水の虞れがあるから施工に注意を要する。一方完全なる工事をする爲めと工事の進行が早いことから普通コンクリートとする事が多い。但しセメントの節約と比重を大にする爲め粗石を入れる時があるが、其の量は一割以上とせぬ方が安全である。重力堰堤は體重にて保つもの故比重が計算の最要件となるから豫め材料を研究し



第 52 圖 小牧堰堤断面圖

コンクリートの比重に依つて異なるわけである。

堰堤の計算に於て考慮すべき力は堰體の自重、水壓、浮力、地

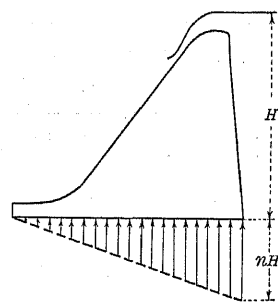
てコンクリートの比重を豫定しなければならぬ。

堰堤の断面の形状は大體第 52 圖の様な三角形を成し勾配は下流面に於て七分乃至八分位、上流面に於て一分と取つて居るのが普通である。荷重の取り方及

震力其の他水壓、泥壓等である。自重並に水壓は説明する迄も無い。

浮力は堰體の下部に於て上方に働らく水壓である。堰體の下部には岩盤とコンクリート間又は岩盤を通して幾分水が侵入する故自然上向水壓が堰堤の下部に生ずる。尤も第 52 圖に示された様に監査坑 (inspection gallery) に水抜きを設けて堰堤下部に遠せしめ侵入せる水を抜き去るのが普通であるが其の効果は疑問である。

上昇力が堰堤下部に如何様に分布するかは疑問であるが通常第 53 圖に示す如く水頭は趾部に於ては零、踵部に於ては nH (n は係數、 H は水頭) とし平均壓力 $\frac{1}{2}nH$ と取るのが普通である。外國にて實驗せる報告に徴すると第



第 53 圖

13 表 (1933, 米國土木學會誌より) の如くになつて居る。

次表に於て見る如く大體 $1/1.5 \sim 1/5$ である、堰堤の重要な程度並に岩盤の如何に應じ適當な價を取るべきである。我國の重要な堰堤では n を 0.5 に取つて居るものが多い。尙又施工に當つては水抜きを充分設けると共に岩盤を充分掘鑿し必要に應じ膠結法 (grouting, 後記す) を施す等上昇

力の除去に留意するを要する。

第 13 表

堰 堤 名	平均水頭	備 考
Neye (獨逸)	0.349 <i>H</i>	drainを設けず
Brule River (Wisconsin)	0.336 <i>H</i>	〃 設く
Medina (Texas)	0.290 <i>H</i>	〃
Gibson (Montana)	0.248 <i>H</i>	〃
Willwood (Wyoming)	0.246 <i>H</i>	〃 設けず
Pit River (California)	0.190 <i>H</i>	〃 設く
American Falls (Idaho)	0.153 <i>H</i>	〃
Ariel (Washington)	0.121 <i>H</i>	〃
Bull Run (Oregon)	0.097 <i>H</i>	〃

地震力は水平並に垂直の方向に於て地震の加速度が力となつて働らくもので下流の方向への横震力は水壓と共に轉覆力となり、上流の方向への横震力は貯水池の水が空虚な時に轉覆力として考慮せられ、上向力は浮力と共に下向力は重力と共に働らくものとし何れの場合に於ても安全なる様計算せねばならぬ。

地震力の水平震度は我國に於ては 0.5 (5000mm/sec²) をも豫想せしむるが地盤良好なる處に於ては震度は少なく通常堰堤設計に於ては 0.15 又は 0.10 位を以つて他は安全率によつて充分なりとして居る。上下動は水平動の三分の一位に取つて居る。之等の問題に關しては土木學會誌第 11

卷第 5 號“貯水用重力堰堤の特性並に其の合理的設計方法”と題する物部長穗氏論文は我國狀に適した堰堤設計に對し指導を爲して居る。

堤體單位容積に對する地震力は $w \times$ 震度 (w は堤體單位容積の重量) である。

地震の際貯水池の水の震動により生ずる壓力も考へ得られる。

堰堤の安定の計算には以上の外貯水池の土砂が堆積せる場合の泥壓、貯水池が結氷せる場合氷の膨脹に因る力などが考へられる。氷壓は大なるものを豫想されるから通常は成る可く堰堤附近に結氷する事を避ける工風を廻らし、堰堤附近に空氣を噴出せしめ水を動搖せしめる事を講じ、或は小舟にて碎氷する等の事が爲される。

水壓に依つて堰堤が滑り出す事に對しては特に充分なる注意を必要とする。粘板岩の如き岩質に對しては特別に用心をせねばならぬ。即ち第 52 圖の如く出来る丈凹凸を岩盤に作り抵抗を増加する事が必要である。

3. 高堰堤の施工並に膠結法

高堰堤の施工に對しては豫めボーリングを爲し、岩盤の深さ並に性質を探究して施工に違算なからしめる必要がある。

次は砂、砂利であるが現場附近に於て良質のものを得る

様努める。川砂利、川砂の良質のものが得らるれば最理想的であるが、然し多くの場合必要な量を得られぬから碎石を用ゐる場合が多い。此の場合には岩質の選擇に注意を爲し碎岩、ふるひ分け洗滌の装置に就て周到なる用意を必要とする。砂はコンクリートの性質を左右する事著しいから特に注意を必要とし、岩質良好なれば碎石と同時に得られるが、此の場合には特に水洗ひを充分にし、細粒並に粗質のものを除去する事を講ずる。出来るならば索道の如きを利用し多少遠方と雖、川砂を採取する途を講ずべきである。

高堰堤に於ては一日多量のコンクリートを處理する事となるから、豫め一日の施工量を工期其の他より定めてそれに應ずる丈の材料の配給並に施工に便なる様計畫せねばならぬ。此の意味に於て堰堤位置があまりに峡谷であると不便な事が多く、附近に廣い土地がある所を位置選定の時注意しておく必要がある。

セメントに就ては通常の注意を以つてすれば良いが近頃低熱セメントの使用と云ふ事が我國に於ても其の緒に就いて來た。近頃米國に於て施工せられた Boulder Pine-Canyon 等の高堰堤其の他歐洲方面に於けるものには概ね用ゐられて居る。我國の小牧其の他の堰堤に於ても堤體中に電氣溫度計の如きものを挿入して溫度を測り、常に注意して居るのであるが、セメントの硬化熱は大塊のコンクリート

工に於ては豫想外の高溫を發し堤體内に惡質の龜裂を生ずるが如き現象を憂慮されるのである。Boulder 堰堤の如きに於ては特に低熱セメントを使用したる上堤體中に 2 米位の間隔に徑 1 吋の鐵管を入れ、それに冷水を通過せしめて冷却を計つた。

岩盤の掘鑿に於ては能ふる限り軟質の岩を取り除き且浮き石を取り去る。特に堰堤踵部に於ては第 52 圖に示す如く止水壁 (cut off wall) を深く研り込み漏水を遮斷するに努める。尙此の部に於ては特に注意して膠結法を行ひ岩盤を通す水を遮斷する。

膠結法 (grouting) は岩盤に穴を穿ち、それよりセメント汁を高壓を以つて注入し、岩盤の間にセメントを満たし地盤の強化を計る方法である。堰堤基礎のみならず隧道に於ては巻立コンクリートの裏面にモルタルを注入し間隙を満たし、水壓に對して安全ならしめる。ニューヨーク水道の如きでは數百尺の水壓に對し巻立て工に鐵筋を用ゐず此の方法によつて成功して居る。

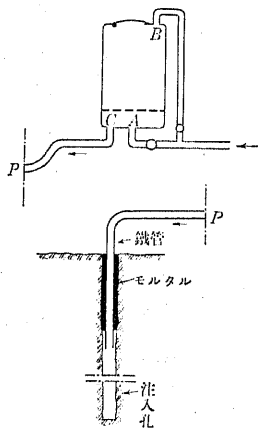
尙又此の方法は漏水の防止にも相當の効果がある。熱海の丹那隧道にて掘進の際此の方法で噴出水を防止した事も有名である。既に相當漏水を爲しつつある時に或程度迄それを遮斷するに成功した場合が多い。

概して此の工法は裂け目の多い岩盤に有效で砂、粘土の

如きには効果は薄い。セメントは成る可く硬化速度の緩なるものが良い。水に対するセメントの比は 20%乃至 50%で裂け目小なる岩盤程薄く溶解する。

岩盤に掘鑿する穴は通常試鑿用のコア、ドリルを用ゐる。先づ岩盤に深さ少なくとも 3 米以上の穴を穿ちそれに鐵管を挿入する、此の鐵管に注入ホースを連結するのである。鐵管の廻りの岩盤との空虛は充分モルタルを填充して注入の際セメント汁の漏出を防止する。

注入孔の配置間隔並に深さは岩盤に依り適當に判斷する。深さは 10 米位が普通である。セメント汁注入に先だち先づ水を注入して孔中を清潔ならしめると共に岩盤中に



第 54 圖

高壓にて液を送り込み地表に水のシミ出す様子により孔の配置並に注入の壓力に對し見當を付けるのである。

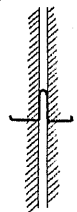
注入には隧道掘鑿用の壓搾空氣を利用してグラウチング、ミクサーに依りセメント汁を作り且これを送り出す工法が多く用ゐられて居る。ミクサーは第 54 圖に略示する如くセメント及水を適量に入れ、先づ A より空氣

を噴出せしめて充分に攪拌し、次に A を閉ぢ B より空氣にて C よりセメント汁を送る装置となつて居るものである。然し此の工法であると壓搾空氣の壓力は通常毎平方呎 80 封度位のものであるから、それ以上の壓力を用ゐる事が出来ない事と、攪拌の時一時注入を中止するから注入に障害を起す事とセメント汁中に氣泡が混入する等の弊害があるから空氣を用ゐずグラウチング用高壓ポンプを用ゐる方が岩盤への注入の如き場合には良結果を期待される。然し餘りに高壓を用ゐると反つて岩盤を弛める如き結果を生ずるから、300 封度以上の様な壓力を用ゐる場合には餘程注意をする事が必要である。

以上の如く膠結法を充分に行ひたる上コンクリートの施工に着手する。

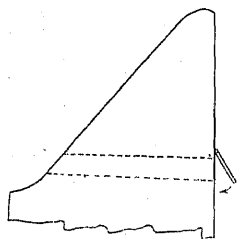
堰堤には河の方向に堰堤を横切り數個の伸縮接合を設ける必要がある。接合部には圖の如き銅板を縦に挿入して漏水を防止する。

大堰堤には第 52 圖に示したる如き監査坑 (inspection gallery) を設ける。これは堤體中に人が入り得る通路であつて、若し堤體中に龜裂を生ずるが如き場合にはこれで直ちに發見する事が出来る。尙又基礎岩盤より管を通しおき水を噴き出す程度により基礎の状態を監視し得る様にする。



第 55 圖

堰堤築造に當つて河川の締め切り方に大體二つの方法がある。一つは米國 Boulder dam や我國天龍川泰阜堰堤の場合の如く河幅狭く水量大なる時で排水隧道を設けて河川を完全に締め切る方法で、他の一つは我國の高堰堤工事で



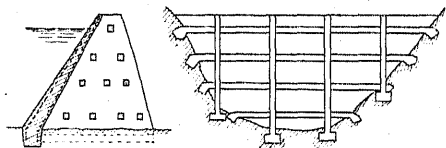
第 56 圖

普通用ゐて居る方法で、河川を半分宛締め切り、工事を施工し堤體に排水溝を設けそれを洪水をも通過せしめる丈の大きとなし、堰堤完成後第 56 圖の如くフラップ門扉を用ゐて一時に水を締め切るのである。

4. 鐵筋コンクリート堰堤

鐵筋コンクリート堰堤としては種々のものを擧げ得るが、前記拱堰堤に於て記する如く應力の計算に困難なるものは使用を躊躇せしめられるから、現今實際我國に於て使用されて居るのは扶壁堰堤である。

構造は大體間隔 6~10 米位に扶壁を設け、それに床板を



第 57 圖

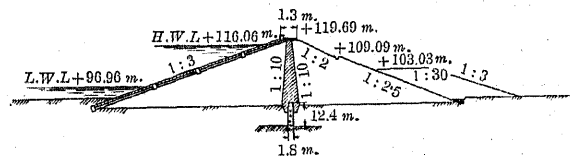
立て掛け遮水したものである。床板は扶壁によつて個個獨立して居

るから溫度に因る應力は殆無。床版は充分地盤に突入せしめて水密を保つ、尙扶壁は水平支柱を設けて地震の際に扶壁の倒れるのを防止する様我國の實狀に應じ研究されて居る。本堰堤の長所は基礎岩盤が弱く重力堰堤に適せざる場合に可なる事。重力堰堤に比しセメント其の他の運搬の手數甚だ少なき事。漏水が直ちに發見出来る事等であるが地震の多き我國に於ては應力に於て疑を生ずるから、高さ 30 米を越す様な場合には未だ使用されて居らぬ。

床版の代りに拱となしたものを複拱堰堤(multiple arch dam)と稱する。これは先年伊太利に於て Gleno 堰堤が破壊し多大の損害を與へた實例もあり、旁々應力の計算が一層困難であるから今日水力方面では未だ一個も使用されない。

5. 土堰堤

基礎に岩盤を求め難い時は土堰堤を用ゐる。我國に於ては山梨縣の大野堰堤(高さ 120 尺)其の他實例は可なり多くある。特に水道に於て其の例が多く、東京市水道の山口、



第 58 圖 山口堰堤断面圖

村山等が有名である。

土堰堤は圖の如く水の方の勾配二割から三割、反対側の勾配一割五分から二割位に土壤を精選し水密性を保たしめ層々突き固めつゝ疊積したものである。普通中央には心壁 (core wall) と稱し粘土又は鉄筋コンクリートで壁を設け地盤中相當の深度に届かして漏水を防止する。鉄筋コンクリートとする時は完全に漏水を阻止するが地震などに依り龜裂を生じた場合漏水の噴出する個所を生じ危険であるから粘土心壁の方が弾力があるため好んで用ゐられて居る様である。水の滲透も幾分はあつた方が堤體土壤の爲めに良いとも考へられる。

土堰堤の材料の選擇又は施工は特に綿密なる注意を要するが、これは本書の範圍外とし設計施工の上に就て二三注意を次に掲げる。

1. 土堰堤は頂上を水が溢すれば直ちに決潰するものと覺悟をせねばならぬ。従つて貯水池の如きは充分なる洪水排きを設けて異常な水位の上昇が萬々無い様にするを要する。
2. 土堰堤を岩盤上に設ける事は危険である。これは堰堤中に侵入した水が岩盤に沿うて水の通路を作るからである。
3. 土堰堤を通して排水渠の如きを設ける事は其の必要上多くの實例を見るが、其のコンクリートと土との境目が漏水の道となり危険の原因となり易い。故に排水渠の如きは出来る丈地山に隧道として設け、堰堤中には工作物は設けぬ様に工風するのが安全である。

4. 土堰堤を増築する場合は新舊の土の密着が不完全でこれ亦破壊の原因となつた例が多い。

5. 土堰堤築造に當つては充分に地盤の検査を行ひ心壁を其の必要に應じて深く突入せしめ地盤中の水の漏水も防止しなくてはならぬ。又地表上の腐土其の他草木等は充分取り除く。

6. 土は細粗適度に混入して締りと水密とを保たしめ 30 種位に敷き均らし、それが三分の二位に締まる様層々突き固めるのである。心壁の粘土には適度の砂利を混入すると締りが良くなる。山梨縣の大野堰堤は大正 12 年關東大震災の際附近の河川鐵道の堤防が大いに破壊したが本堰堤は單に多少垂直に龜裂が生じたのに止つた。

米國式工法として hydraulic fill dam と稱するのがある。これは土を水にて運搬し來り現場にて沈澱せしめたものであるが我國にて用ゐられる見込みは無い。臺灣の嘉南大圳土堰堤は甚だ大規模のものであるが semi-hydraulic fill と稱せられるもので土を現場に車にて運搬し來り現場にて水に溶し沈澱せしむるものである、これは土の配合が前者よりは容易である。

土の代りに岩屑を用ゐる rock fill dam と稱するものがある。我國に未だ實例がない。