

石 塊 堰 堤

高 野 宗 久

河川の洪水調節及河水の利用上人工貯水池の必要は論を待たないところで特に我が滿洲國の如く殆んど總ての河川が原始状態にあり、しかも降雨量の分布が一定期間に集中する地域にあつては、其の重要性が倍加されるのである。近時施工技術の發達に伴ひ續々高堰堤が計畫され着々施工に移されつゝあることはまことに慶賀すべきことである。此の秋に當り未だ吾々の見得る範圍に於て採用されず、又その紹介も比較的少い石塊堰堤に就て記述することはあながち無意味ではなからうと信ずる。以下 Galloway 氏の Procudiugs & American Scoiet & Ciorie Fngiuets Oct 「石塊堰堤の設計」を基本とし其他二三の記述を綜合して紹介する。石塊堰堤の發達と性質、

先づ石塊堰堤はどうして、發達したかと言ふと、Galloway氏に従へば 1848年に「カリフォルニヤ」で砂金が發見されて以來所謂「ゴールドラッシュ」時代を現出した時分に砂金採用集者は用水取入の爲先づ舊束の木造堰堤（丸太枠＝石ヲ詰メタモノ）を築造したのであるが其の擴築に際し一飛躍して石塊のみを用ひ表面に板張を施して水密性を保たしめたのを以て嚆矢とするのである、此の最初の石塊堰堤は 1876 年に擴築された Canyon Crilk の Old Bowman 堰堤で、大體の構造は 70 呎の舊木造堰堤を其儘とし石塊を兩側に捨て、更に外側には切石の空積壁を置き上流面には切石中に固定した桁材に板を打ちつけて水の浸透を防止したもので高さは 100 呎であつた。

此處に呱呱の聲を擧げた石塊堰堤は過去 60 年間の實際經驗によつて種々な改良進歩が加へられ遂に今日の様な形式を具へるものになつたのである。では此の石塊堰堤とはどんなものか？といふ事を説明するために先づ土堰堤の断面を想像していただきたい。土堰堤では上流側に出来るだけ水密性のある土砂を置き中央に心壁、それから下流側には比較的粗い土砂が置いてある。此の粗い土砂をもつと粗粒にし、もつと前方迄張出させ心壁から上流部をぐつと壓縮して上流面に殆んど一致させたものと考へればそれが石塊堰堤である。又見方を變へて扶壁堰堤の扶壁を大きな断面を有する石塊積と置き代へたものと見ることも出来る。以上の説明から必然的に考へられる様に其の性質も土堰堤と扶壁堰堤のほぼ中間に行く諸性質を持つてゐるもので、重力堰堤の如く最も安全確實な形式と言ふことは出来ないのであるが山間遊地等で最も得易い材料で最も安價に造築する爲には多少の確實性を犠牲に共しても良い場合が可成多いのであり、又基礎の條件からも此の石塊堰堤を採用せねばならぬ場合が起きて來ることゝ思はれる。

galloway 氏は石塊堰堤を次の如く定義してある。「石塊堰堤は堤體をなす捨石塊 (loose rock fill) と水に接する水密表層 (impervious face) 及兩者の中間に置く割栗振層 (rubble cushion) の三要素より成る」と。此の定義に對しては相當異論があり、土堰堤を組合せて上流側に土盛をし

た様な構造も性能が殆んど同様であるから當然石塊堰堤であると主張する人もあるが私は此の様な構造は一つの變形と考へ矢張眞の石塊堰堤は上記の如く定義した方が良いと思ふ。

名稱から直ちに維際せられる如く此の堰堤の特徴は水壓に對抗する要素が自由に置かれた石塊である事であつて、石塊は捨石の様に石切場から現場に「ダンプ」されるだけで並べるとか積むとか目潰をする等のことは無い、従つて堤體は水の滲透に對し全く無抵抗と言つて良い位であるから不透過物に依つて水密にする必要が生じて來る。此の目的の爲には種々な構造が考究され初期時代の木材張から切石積・混凝土張と進歩し、近頃では鐵筋混凝土及鋼鐵鈑が使用されるに至つてゐる。二三、堤體中心に混凝土或は鋼鐵鈑を用ひた例があるがこれは後に述べる様に推賞すべき構造では無い。中間の割栗振層は昔は單に堤體の不同沈下を表層に直接傳へない爲に割栗の空積を置く必要があるとされてゐたのであるが、これは沈下ばかりでは無く水壓の傳達からも是非必要なもので、今日では上記定義の様に三要素の一として認められてゐる。

第一表は亞米利加に於ける石塊堰堤の主要構造を大體年代順に列記したもので、其の發達の經過をほゞ推察し得る。



第一表

北米合州國主要石塊堰堤

(Galloway)

堰堤名	築造年	堤高(呎)	堤長(呎)	法勾流配		防水層	割票石積厚(呎)		容積(立方呎)
				下	上		下部	上部	
1 First Bowman	1872-76	100	425	1:1	1:1	板張	18	6	55,000
2 First Fordyce	1873	75	650	1:1	1:1	板張	—	—	—
3 French Lake	1873	68	250	0.5:1	板張	—	—	—
4 Walnut Grove	1887-88	110	400	1:1.55	1:2.35	板張	14	4	46,000
5 Castle Wood	1890	70	600	1:1	1:1.10	積	6	4	—
6 Chats worth	1896	41	159	1:1.15	1:1.75	コソクリート	2	4	6,025
7 Escondido	1895	76	380	1:1~1.25:1	1:2	張	15	5	37,159
8 Lower Otay	1894-97	130	615	1.5:1	1.5:1	板鋼	無	—	—
9 East Canyon	1899-1902	93	160	2:1	3:1	鋼張(心)	無	—	39,000
10 Bear River	1900	80	748	1:1~0.75:1~0.5:1	0.75:1~0.5:1	板張(心)	16	8	43,543
11 Meadow Lake	1899-1903	61	775	0.5:1~1:1	0.75:1~0.5:1	板張	6	7	46,148
12 Crane Valley	1910	130	1880	1.3:1	2:1	コソクリート(心)	—	—	—
13 Sabrina	1907-09	70	1065	1.25:1	0.75:1	板張	—	—	47,023
14 South Lake	1909-10	80	650	1.25:1	0.75:1	板張	—	—	74,759
15 Morena	1909-12	167	520	1.5:1	9:10~1.2:1	鐵筋	50	16	306,000
16 Relief	1907-10	140	505	1.5:1	0.5:1	鐵筋	108	13	136,994
17 Cucharas	1911	125	550	1.5:1	0.5:1	鐵筋	30	17	195,000
18 Swift	1914	165	—	1.25:1~1.5:1	1:1	鐵筋	6	4	—
19 Strawberry	1913-16	140	612	1.5:1	1.2:1~1.1:1	鐵筋	6	4	825,640
20 Beaver Park	1914	87	370	1.5:1	0.5:1	鐵筋	5	4	—
21 DIX	1924-25	270	1032	1.4:1	0.5:1	鐵筋	22	7	1,885,000
22 Second Fordyce	1925-26	140	410	1.3:1	1:1	鐵筋	6	4	417,000
23 New Bowman	1926-27	168	700	1.5:1	0.75:1~0.5:1	鐵筋	20	5	300,000
24 Bucks	1226-28	118	1200	1.5:1	1.4:1	鐵筋	7	3	347,000
25 Salt Springs	1928-30	328	1300	1.4:1	1.3:1	鐵筋	15	11	3,171,500
26 Bonito	1931	102	440	1.4:1	7:6	鐵筋	20	6	1,40,000
27 San Gabriel No. 2.	1932-33	280	600	1.5:1	1.35:1	コソクリート	15	—	1,200,000
28 Skaguay	1901	70	405	0.8:1	0.5:1	鋼張	—	—	—
29 Penrose Rosemount	1932	100	580	1.4:1	0.5:1	鋼張	12.5	4	—

基 礎 地 盤

石塊堰堤の基礎と言つても別に特殊なものを要求する譯では無い。前述の様に土堰堤から石工堰堤 (Masonrydam) に移行する途中の構造と見なすことが出来るのであるから土堰堤基礎より大なる支持力を要するだけで矢張堅固な岩盤基礎が最も良いのである。然し此の堰堤では水密性を保持する役目は表層と遮水壁とに全く委ねるので基礎は支持力のみが主要な使命となる。従つて堤高の低いものでは緻密に凝固した砂、砂利層でも結構な基礎となり得る又岩盤の場合も「セメント」注入其他に依つて完全な遮水壁さへ出来れば混凝土堰堤の場合の様な完全さを具へる必要が無い。

地盤の如何を問はず表面に在る砂礫、玉石、泥土及風化岩等を取除き地盤本來の姿とした後堰堤を築造することは言ふ迄も無い事である。

石塊堰堤の基礎選擇條件を一言に要約すれば、侵蝕されず、沈下せず、容易に安全な遮水壁を築造し得る地盤を見出すことである。

捨石塊 (Rock Fill.)

混凝土堰堤に於ける「セメント」と細粗骨材、土堰堤に於ける土砂と同様堤體を形成する石塊の性質は最も大切なものである。必要な性質としては先づ壁率なこと、次に斷層其他の地殻變動の影響を受けた割れ易い裂目を有してゐないこと、第三に風化作用に依つて分解し難いものでなければならぬ。殊に滿洲の如く氣温變化の甚だしい處では第三の性質が大切である。以上の條件に適する岩石は花崗岩完全に綠色岩に變質した安山岩及閃綠岩等の火山岩と石灰岩、砂岩等の水成岩であるが花崗岩中にも一見堅牢な様で案外風化作用に脆いものがあり他の岩石にも地殻變動に依つて毛細龜裂を有して居て荷重がかかつた場合簡単に崩壊するものがあるから注意を要する。水成岩使用の實例としては Dix dam は石灰岩を、Inland dam は砂岩を用ひてゐる。いづれにしても使用岩石の性質は堰堤の生命に重大な影響を與へるものであるから大堰堤の築造に當つては岩石に明るい地質學者の意見を充分に聞く必要がある。

次に此の捨石塊を如何に施工するか?と言ふ問題であるが、之に就ても相當異論があり一定してゐない然し此の意見の相違は斷面形及定義に關聯して起るので先に掲げた定義に基く工法としては大體「ほゞ一定の大きさを有する個々の石塊によつて構成すべし」と言ふに一致してゐる様である。言ひ換へれば「一つの石塊は直ぐ上の一石塊を支ふべし」と言ふことである。若し石塊の大きさが廣範圍に變化して居ると過大な不同沈下を起す原因となる。此の事實は同じ大きさの碎石の山から一個の碎石を取出し、之を更に其の山へ押込むことは非常に困難であるが、反對に大きな岩石を砂利、砂の上に置き力を加ふれば容易に下の小粒を押し除けてめり込む事を考へれば自ら明白であらう。

塊石の大きさは一般に大塊を用ひ沈下の割合を減少する様努めてゐる。實例に依つて判斷するに大體

$$W = 0.1 H \dots\dots\dots(1)$$

W = 石塊一個の平均重量(噸)

H = 堰堤高(米)

で最大石塊は平均の二倍乃至二倍半のものが用ひられてゐる。

第二表

堰 堤 名	堤 高 (米)	平 均 重 量 (噸)	最 大 重 量 (噸)
EScondido	23,2	—	4,0
SaltSpring	100,0	10,0	25,0
Busks	36,0	—	3,0
BauHanifa	54,0	7,0	15,0

以上述べた通り石塊の大きさに甚だしい變化のあることは有害なのであるから、石材の採取に當つては出来るだけ石片、石礫及石粉等微小物の發生を避け又石塊中に混入することを防止せねばならないのであるが、實際上絶對的な防止は不可能であり或る程度はどうしても現場に運搬されて來る。然も此の運搬された小片は「ダンプ」される時、石塊と分離して一局部に集積する傾向がある——石塊は下部に、小片及微小物は上部に残る——から「ダンプ」直後に水の射流を以て石塊の隙間へ平均に洗ひ込まねばならぬ。今迄の経験によつても微小物を上手に洗ひ込み得た場合程密度の高い堤體が出来た様である。射流の水壓は 100^{對度}/平方吋位が適當であり、一つの捨場には少くとも 2本の射流を用意した方が良いと言はれてゐる。

捨石塊の施工は盛土と同様に水平層に分けて行ひ一層を完了した後でなければ次の層に着手してはいけない。又大きな堰堤では兩岸から工事を進めることが多いのであるが、此の場合は兩岸の層の高さを殆んど同じ位に保つ様努めねばならぬ。

沈 下

石塊堰堤は必ず沈下するものである。此の沈下は次の諸原因に依つて起る。

- (I) 石塊相互間の支點が荷重によつて破壊する場合
- (II) 風化作用に因つて石塊が崩壊する場合
- (III) 大石塊の爲小石塊が移動する場合
- (IV) 施工の際微小物層を造つた場合

以上の中、(III)と(IV)は施工時の注意に依つて防止することが出来(II)は石材の性質に依つて起るのであるから其の選擇に注意を要するが滿洲の如き嚴寒地方では或る程度は避け難いことである。

(I)の原因は如何なる堰堤に於て必ず起る。即ち石塊を「ダンプ」した場合各石塊は岩角に依つてお互に支持し合つて平衡を保つてゐるが、荷重が増加するに連れて支持面積が不足し破壊が始まり最後に水壓が加つて生ずる最大荷重状態に必要な支持面積と磨擦力とに成る迄此の岩角の破壊が續くのである。比較的大きな石塊を使用するの之が爲で同一堰堤高に對する岩角破壊の割合を減少

せしめる爲に外ならない。

沈下量は普通堤高の 1.5% 位であるが大塊堰程大きく又長期間繼續するので、最大 5% 位が豫想せられる。沈下は最初の數ヶ月間が最も急激で其の後は極く緩漫に發生する。First Bowman dam の如きは50年間も沈下を續けたと記録されてゐる。以下に二三の實例を示せば

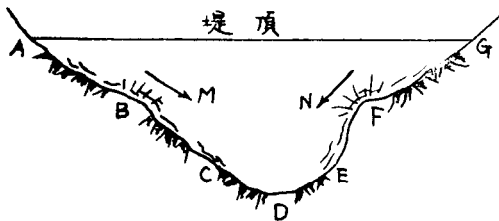
第三表

堰 堤 名	經 過 年 數	沈 下 量 (呎)	垂直沈下量の堤高に對する%
First Bouman dam	20	—	1,0
	50	—	1,25
Dix dam	3	垂 直 1,75	0,65
	3	水 平 1,50	—
Strawberry dam	7	垂 直 1,62	1,16
	7	水 平 0,95	—
Salt Spring dam	0	—	0,61
	7	—	1,14

註、沈下量は總て堤頂に於ける最大沈下量を示す。

Dix dam と Strawderry dam の沈下方向は法面に對し夫々90°と75°を示してゐる。記録に依れば、一般に垂直沈下は長期間繼續し水平移動は水壓のみに起因するものであるから最初の満水後あまり進展しない様である。

第一圖



沈下の模様は第一圖に示す如く兩側より中央へ向つての移動と水壓に因る水平移動とが結合して生ずるので谷の斷面形によつて著しく變化する。圖に示す EF の如き斷崖の存在は局部的ではあるが沈下状態を變化せしめ、龜裂發生の原因となる。一般的には中央部伸縮繼手間隔が縮小し反對

に兩岸に近い繼手間隔が擴大される傾向があるから豫め之を考慮して設計せねばならぬ。又 EF の如き斷面形に對しては龜裂の發生を豫想して適當な對策を講ずべきである。Salt Spring dam に於ける實測の結果によれば任意な點の垂直沈下量は次の式を以て表すことが出来る。

$$S_g = S_o \left(\frac{h}{H} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$S_w = \frac{Ph}{K} \dots\dots\dots (3)$$

S_g = に石塊の重量のみに因る基礎上 h なる點の垂直沈下量(呎)

So = 石塊の重量のみに因る堤頂最大沈下量(呎)

h = 任意點の基礎上高さ(呎)

H = So を生じた點の基礎上高さ(呎)

Sw = 基礎上hなる點の水壓に因る垂直沈下量(呎)

P = 基礎上hなる點に於ける水壓の垂直分力(封度/平方呎)

K = 沈下係數(Modulus of Settlement) (封度/平方呎)

300.000~700.000 封度/平方呎

今假りに(2)、(3)式を用ひ、次の假定に基いて法面垂直沈下状態を計算し圖示すれば、第四及表第二圖の如し。

假定、 H=300呎

So=3呎

K=500.000 封度/平方呎

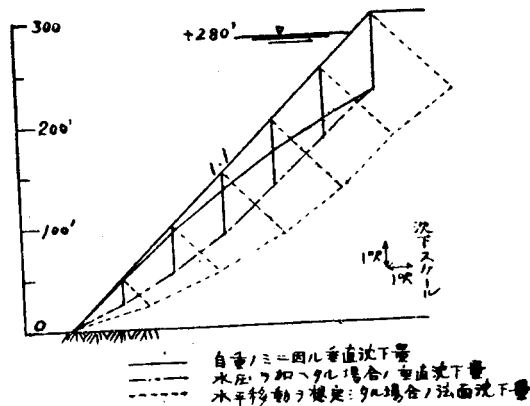
法勾配=1:1、

満水面、=基礎上 280 呎

第 四 表

H 呎	Sg 呎	Sw 呎	計 呎
300	3,00	0,00	3,00
250	2,08	0,68	2,76
200	1,33	1,42	2,75
150	0,75	1,73	2,48
100	0,33	1,59	1,91
50	0,08	1,02	1,10

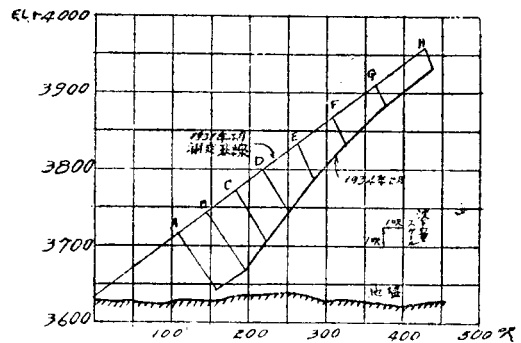
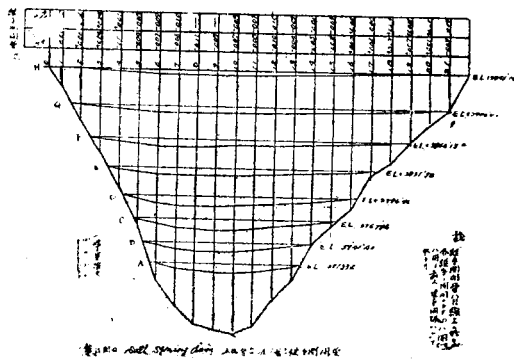
第 二 圖



第二圖中點線は沈下が法面に直角に起るものと假定して水平移動を想定した場合の沈下量であるが、實際記録を見るに大の K 値は一定ではなく (Salt Spring dam に於ては下部及兩側の K が 300.000 乃至 400.000 中央部では 600.000 を示した) 又水壓の水平分力による移動がほぼ水壓に比例して起り堰堤頂部に於ては直角をなさず、約 60° 位となり、最大沈下量は基礎土堤高の 40% の點に起ることを示してゐる。(第三圖 b)

第三圖 a は Salt Spring dam の法面の垂直沈下と伸縮繼手開閉の状態を示したもので、H. G. F. E は六年後、D. C は七年後、B が五年後、A が四年後の沈下量である。

第三圖 a, b



第三圖 b 經手第 10 号 此の法面沈下量

(次號に續く)