

参考資料

土木學會誌 第十七卷第三號 昭和六年三月

堆 石 堤

(Les Barrages en Enrochements.)
Le Génie Civil 25 Octobre 1930

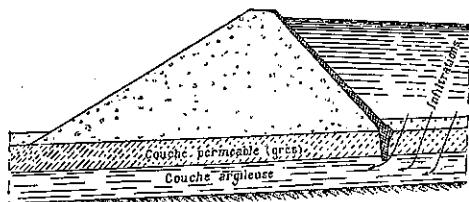
Henry Lossier 氏は佛國並に諸外國に於ける堆石堰堤を調査して次の如く述べてゐる。

基礎

堆石堰堤に於ける基礎の變動は夫れが單に局部的であるとしても尙甚だ危險である、何となれば個々の石塊は此の變動に良く馴んで變移することが出来るとしても防水壁は夫れに依つて破壊することを免れぬからである。さて此の種の堰堤に於ける基礎の典型的の變動は地震の様な出來事を除いては一般に次の様にして起る。

即ち堰堤の基礎地盤は粘土質の地層上にある砂利層の如き透水性の地層からなるものとする(第一圖参照)。此の場合は假令堤體の築造前所要の支壓力を有してゐても竣工後貯水する

第一圖



貯水せる場合滲透に依る堤體基礎の變化

るが、之れは防水壁に對して甚だ危險である。上述の様な現象は最近築造された堰堤に於て屢々現はれてゐる。かゝる原因に基く堰堤の破壊は其の上流側に堆積してゐる泥土に依つて防水壁に生じた裂目を充填してしまふか、又は防水壁を二重にして防ぐより方法がないと思ふ。又或る場合にはセメント注入に依つて基礎地盤の透水を無くし且つ其の支壓力を増加することが出来る。併し此の方法は各場合に應じて注意して行はなければ却つて失敗する恐がある。結局堆石堰堤の基礎は貯水の前後に於て其の支壓力の變化せぬものなることを要する。又人工的に地盤を固結せしむることは極めて細心な用心を以て行はなければならぬ。

堤體

最近確められた築堤工事の失敗は大體次の二様式に歸着せしめられる。

樣になれば水は容易に砂利層を透過して下層を形成してゐる粘土質層に達し漸次之れを軟弱にする。從てかゝる基礎地盤は終には堤體の重量を支持することが出来なくなるに違ひない。此の際に地層が下流に傾斜してゐれば堤體は其の基底に於て滑動するに至るだらう。又往々工事費の關係より冲積層の様な壓縮出來得る地層上に堰堤を築造する場合があ

- a) 法勾配が急に過ぎた爲工事中上流側の法面が崩落すること。
 b) 垂直防水壁を有する堤體に荷がかゝつたとき其の下流側の堤體が異常圧縮をなすこと。其の結果堤體全高の $1/50$ 以上の水平移動が堤頂に生じ、防水壁は其の根堀の部分から剪断される。

次に考慮を要するのは地震の問題である。今模型を用ひて之れを研究すると振動の爲に堤頂は次第に平くなり一方法面は膨れ上る（寫真第一及び第二参照）。

此の際堤體を造る材片よりも大なる寸法の材片で其の法面を被覆し且つ其の法尻に支臺を作れば、上記の變形は大いに減少する（第二圖参照）。從て法面の張石工は此の種の堤には利益である。

防水壁の位置

堤體内に造る垂直防水壁と法面に造る傾斜防水壁との優劣は堤體の安定度の大小と防水壁保持の難易より論じなければならない。

a) 堤體の安定度

一例として次の性質を有する三角形断面の堤を考へよう。

利用高さ	30 cm
上流側法勾配	1:1
下流側法勾配	1:1.5

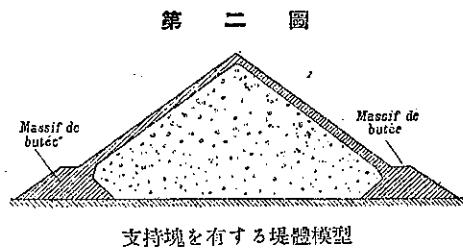
先づ第三圖の場合に就て考察する。此の場合簡単の爲に堤體は均質な弾性體であると假定し其の密度を 1.6 とすれば、奥行 1 m の堤體に就き次の数字を得る。

基礎面に来る全垂直荷重	$V_1 = 2250 \text{ t}$
水壓の水平分力	$H_1 = 450 \text{ t}$
	$V_1/H_1 = 5$
上流側基礎端の壓應力	$R_a = 4.3 \text{ kg/cm}^2$ (最大)
下流側基礎端の壓應力	$R_b = 1.7 \text{ kg/cm}^2$

次に第四圖の場合を考察する。

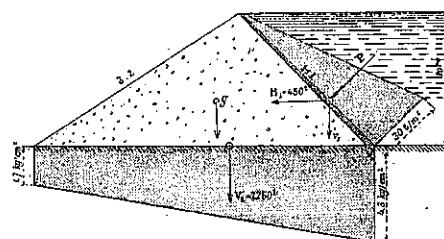
今

浸水せる堆石の安息角	25°
浸水せる堆石の密度	1
浸水せざる堆石の密度	1.6



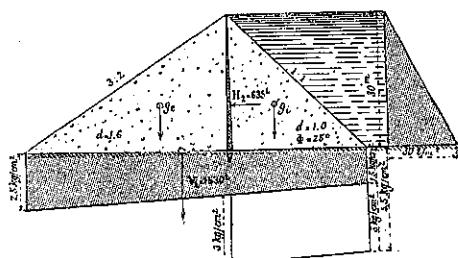
支持塊を有する堤體模型

第 三 圖



法面防水壁を有する堤體の安定度

第 四 圖



垂直防水壁を有する堤體の安定度

とすれば

$$V_2 = 1.530 \text{ t}$$

$$H_2 = 635 \text{ t} (\text{水压並に堆石の側壓})$$

$$V_2/H_2 = 2.4$$

$$R_a (\text{上流側}) = 4.5 \text{ kg/cm}^2 (\text{水压を含む})$$

$$R_v (\text{下流側}) = 2.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_m (\text{防水壁の上流面}) = 5 \text{ kg/cm}^2 (\text{水压を含む})$$

若し此の場合防水壁と堆石との間の摩擦力を無視すれば、

$$R_a = 3 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_v = 1.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_m = 6 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

上記の結果は粒状體に彈性體の公式を適用して得たものであるから單に大體の比較に過ぎないけれども、次の結論をなすのに充分であると思ふ。即ち堤體の安定度より見ると傾斜防水壁の方が垂直防水壁よりも勝つてゐる。

b) 防水壁の保持

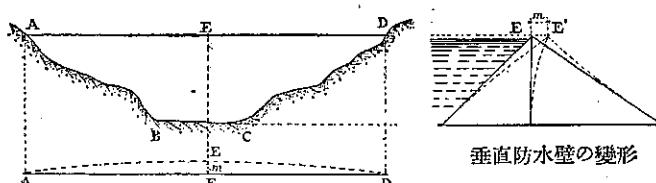
垂直防水壁は此の點に於て次の利點を有する。即ち

- 1) 其の表面積は傾斜防水壁のそれよりも小である。
 - 2) 厚き堆石の層で被覆されてゐるから溫度變化の影響等を蒙ることが少ない。
 - 3) 防水壁の根据の部分との連結は極めて容易である。
 - 4) 堆石の壓縮變形より受くる影響も少ない。
 - 5) 高價ではあるが内部より検査修繕の出来る中空の防水壁には最も適する。
- 之れに反し傾斜防水壁は外部より検査修繕をすることが容易なる利點を有す。

防水壁の形式

防水壁に異常な應力を生ぜしめぬ爲には之れに充分撓性を與へなければならない。一例として第五圖の場合を考へやう。

第五圖

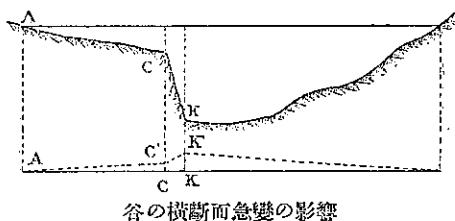


水圧のため堤頂 E が m だけ水平に移動して E' に來たと想像し、今堤體の高さを其の長さの $1/4$ と假定すれば垂直防水壁の變形せる面の最小曲率半徑の比は

$$\frac{\text{垂直の向きに於ける曲率半径}}{\text{水平の向きに於ける曲率半径}} = \frac{7}{12} \cdot \frac{1}{2}$$

となる。更に第六圖の様な場合では一般に堤體の中心面に於て $A C' K'$ に沿ふて水平の向き

第六圖



谷の横断面急變の影響

の變形が局所的に增加する。

以上の考察から理想的の防水壁は

- 1) 一方の向き(普通は垂直の向き)に於て他の向きよりも大なる撓性を有すること。
- 2) 谷の横断面の傾斜が急變せる箇所に於て撓性の増加を有すること。

が必要條件である。

次に二三の堆石堰堤に就て堆石壓縮の状態を列記すれば、

Dix River (堤高 81 m)	0.3% (堤高の百分率)
Strawberry (" 50 ")	0.3"
Swift (" 48 ")	1.6"
Morena (" 45 ")	1.0"
Oued Kebir (" 35 ")	2.7"
Vannino (" 23 ")	2.2"

上記の壓縮量に可成の差異があるのは次の様に説明出来る。

即ち堤高が大なれば大なる程工事中に於ける壓縮は大となるから竣工後の壓縮は小となる理である。

今若し堤體の壓縮が垂直に 2% であるとすれば 45° なる傾きの長さ L なる傾斜防水壁が其の面に直角に蒙る撓度は

$$f = \frac{0.02}{2L} = 0.01L$$

となる。此の防水壁上に P なる荷重が等布され其の基底に於て固定された突桁として作用するものと假定すれば

$$f = \frac{PL^3}{8EI} = \frac{L}{100}$$

或は

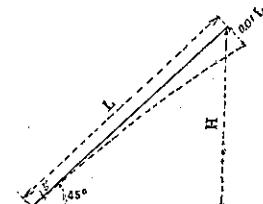
$$P = \frac{EI}{12.5L^2}$$

又基底に於ける彎曲率は

$$M = \frac{PL}{2} = \frac{EI}{25L}$$

故にコンクリートの應力は

第七圖

堆石の垂直收縮に依る
法面防水壁の變形

$$B = \frac{Me}{I} = \frac{Ee}{25L}$$

上式中

I = 防水壁の断面二次率

e = 防水壁断面の中立軸から縁維に至る距離

E = コンクリートの弾性係数

B = コンクリートの単位應力

今防水壁の基底に於ける厚さを S とし、且つ均質なる断面と假定すれば、

$$e = \frac{S}{2}$$

となり、從て

$$B = \frac{ES}{50L}$$

或は

$$S = \frac{50LR}{E}$$

此の式は鐵筋コンクリートの最大應力が B 以下である爲に超過してはならぬ所の最大厚を與へるものである。

今

$$E = 200\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$B = 50 \text{ "}$$

とすれば、

$$S = \frac{50L}{200\,000} = \frac{L}{80}$$

或は

$$S = \frac{H}{57}$$

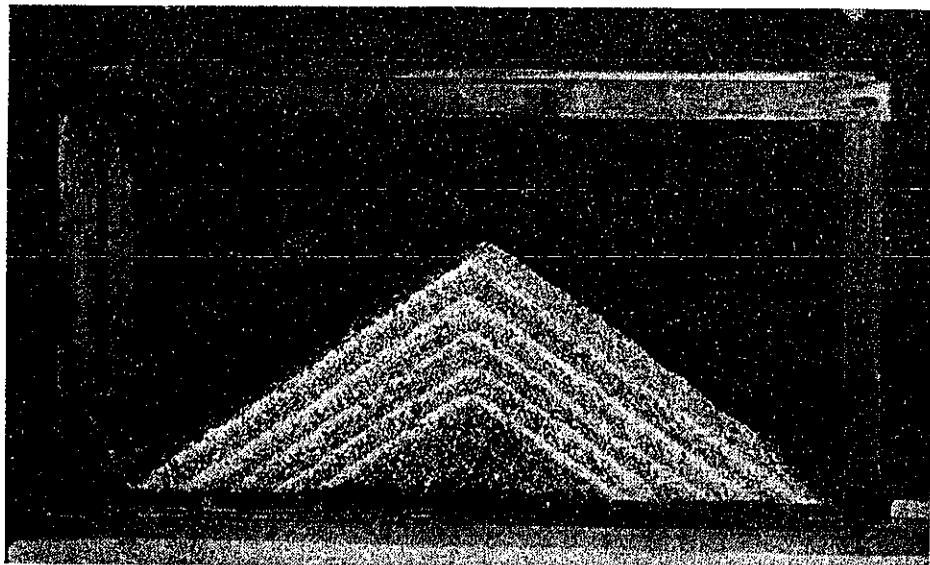
茲に

H = 堤高

換言すれば 45° なる傾きをなせる monolith で、許容應力 50 kg/cm^2 なる鐵筋コンクリートの傾斜防水壁は堤體に約 2% の壓縮を許すとき其の厚さは基底に於て堤高の約 $1/60$ を超えてはならぬことになる。勿論此の數字は極めて大體の見當に過ぎない。

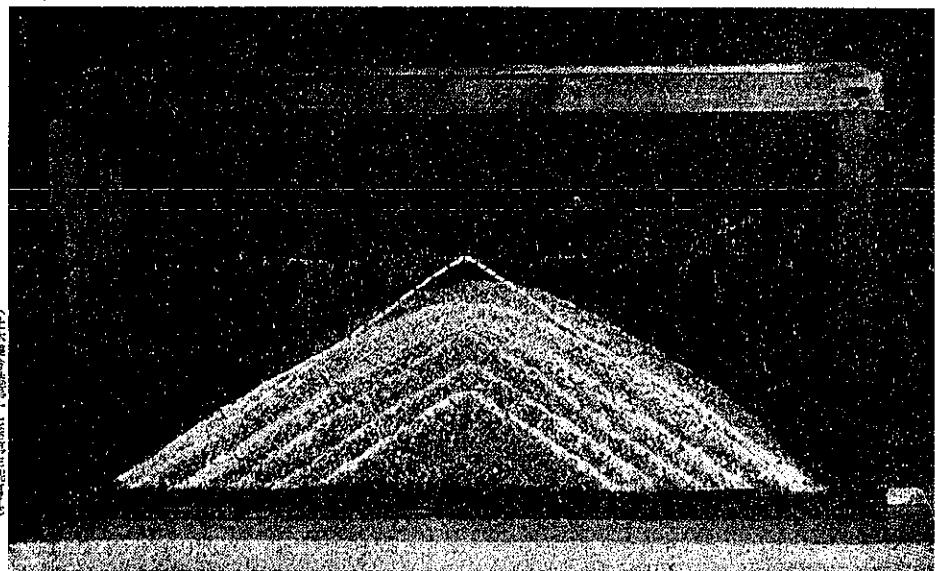
(田 中 武 次 抄譯)

写真第一



變形前に於ける模型

写真第二



振動に依り變形せる模型