

# 土堰堤の滲透水が飽和に要する時間

K. P. Karpoff 著

「Civil Engineering」4月號 1941 より

副會員 瀬戸一郎 譯

土堰堤の設計に當りて築堤の飽和するに要する時間は多くの場合輕視され勝ちである。本文は土堰堤築造工事に對して注意を與へると共に技術者が設計を檢討するのに役立つしめるものである。

貯水池の一定水面に對して堰堤が完全に飽和された時滲透損失量は一定となり且浸潤線は最も高い位置に達すると考へらる。浸潤線の最高位置及び滲透損失量の現場檢査は築堤が完全に飽和した後に行はれるのであるから堰堤の飽和するに要する時間に関する考究が要望されるのである。

理論的に求めた築堤飽和時間は現場で更に確かめる事が出来るのでそれには堰堤の成る断面に順々に設備された静水指示計で飽和時間を記録して行けばよい。

Pavlovsky氏の説 (Andreas Luksck及び W. F. Biglan 兩氏の翻譯による「Technical Memorandum No. 38」J. S. Bureau of Reclamation) から著者は均質土堰

堤に於ける飽和に要する時間の公式を理論的に導く事が出来た。

此の様な公式を應用して好結果を得るには築堤築造を何の程度嚴格に施工して密度、空隙率、含水率及び透水性度を正確に知るかに係つて居る。

土堰堤を通ずる滲透水の理論は從來の基本公式の原理を理解する事に依り容易に解決し得るものである。

Pavlovsky 氏は不滲透性基礎上の築堤に就いてのみ考察した然しながら其の理論は滲透性基礎上の堰堤にも近似的には適用し得るものである。更に近く種々の基礎を有する場合の滲透水に就いて満足する様な解決が與へられやう其場合滲透水は盛土に於けると同様基礎にも見られる。緊密な盛土を通ずる浸透速度や流出量は密度や空隙の異なる基礎からも違つて来る。

不滲透性基礎の上に築造する様に設計された堰堤を多孔質の基礎上に築造する場合に其浸潤線は假定した場合

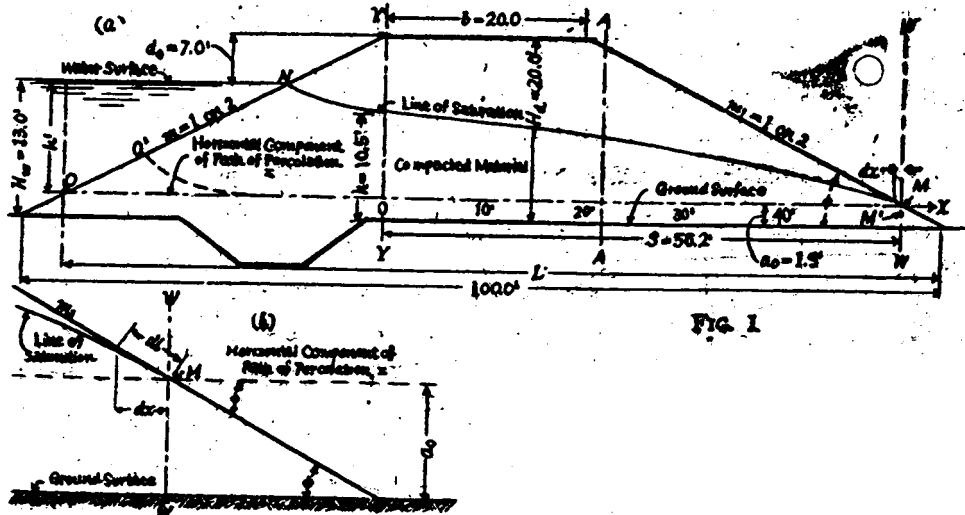


FIG. 1

よりもより低い位置になるものと考へられるので、この事は堰堤断面の安定性と安全性を増し、或は逆に其設計を經濟的に修正する事も出来るのである。

均質土堰堤に於ける浸透線的一般公式を透導するには第1(a)圖に示す様に單位長さの厚さの盛土断面を考へる事に依つて簡単に出来る。透過水は堰堤の断面の前後の方向に於ても均等に流れない様に各層流も一樣でない公式を誘導する爲に微分方程式を考へる。

任意の断面A-Aに於ける透過水の速度はDupuit氏の公式からPavlovsky氏が用ひた如く。

$$v = -k \frac{dy}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

茲にkは單位動水勾配にて單位時間に土壤の單位面を通じて流るゝ水量(滲透係數)である

單位流出量は(1)式より

$$q = vy = -ky \frac{dy}{dx} \dots \dots \dots (2)$$

之を積分すれば

$$\frac{qx}{k} = -\frac{1}{2}y^2 + c \dots \dots \dots (3)$$

断面Y-Y(第1圖)に於ては  $x=0, y=h$  であるから之等の値を(3)式へ代入すれば  $C = \frac{1}{2}h^2$  となる。

故に浸透線的一般公式は次の如くなる

$$y^2 = h^2 - \frac{2qx}{k} \dots \dots \dots (4)$$

W-W断面に於ては浸透線はM點に於て下流側勾配に切上して居る。堰堤の飽和時間を誘導する爲に浸透線以下で流側法面0-Nと断面W-Wとの間の間の單位断面部分に就いてのみ考へればよい、断面W-Wとそれより下流側法面との間の小楔形の部分に就いては之を無視する事とする、其理由は(1)適當に設計された堰堤でけ此

の断面は通常非常に小さなものである即ち  $a_0$  は30呎以上の堰堤では1-3呎であ(2)る此の断面の飽和はM點から法面へ流れ出る水に依つて促進されること、(3)流30呎を越える大きな堰堤ではW-W断面の下流側の側は排水設備の部分で第2圖の如く岩石又は砂礫を以てされて居るのが普通である。

第1(a)圖に於て

$x$  = 貯水池水面からの深さ  $h'$  に於ける浸透通路の長

$h'$  = 静水水頭の損失

$l$  = 浸透通路に沼ふて測つた距離

$$J = \text{勾配} = \frac{h'}{x}$$

$$U = M \text{點に於ける透過速度} = kJ = k \frac{h'}{x}$$

$k$  = 築造された堰堤と同一密度のものに就いて實驗で試験を行ひたる滲透係數

$m: 1$  = 上流側の法勾配

$m: 1$  = 下流側の法勾配

$\phi$  = 下流側の傾斜角

M點に於ける速度  $U$  は既知である、時間  $dt$  を取れば浸透線に沼ふて進む水に對しては距離の増分  $dl$  との關係それがM點に達する前迄は次の如くなる

$$dt = \frac{dl}{U} \dots \dots \dots (5)$$

然し第1(b)圖に示す如くM點に達してからはそれより下流側法面と浸透線とは切れて居り角  $\phi$  の變量は無し得る程度のものであるから  $dl$  と  $dx$  との間の關係は

$$dx = dl \cos \phi \quad \text{或は} \quad dl = \frac{dx}{\cos \phi}$$

$U$  及び  $dl$  の値を(5)式へ代入すれば

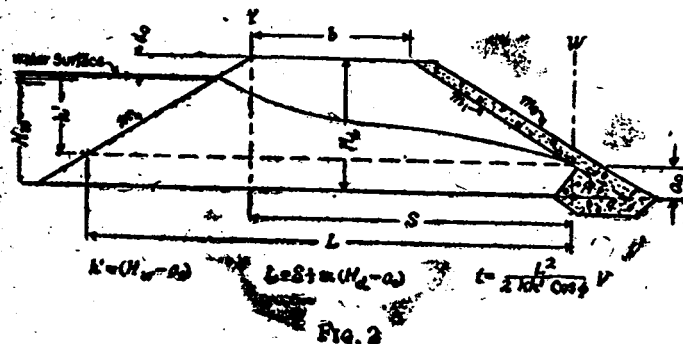
$$dt = \frac{dl}{U} = \frac{x dx}{kh' \cos \phi}$$

となる

之を第1(a)圖の0からLの間を積分すれば

$$t = \frac{L^2}{2kh' \cos \phi} \dots \dots \dots (6)$$

浸透通路は水が堰堤を通じて進む線と義する事が出来るので、これら浸透線に於て進む水分子の運動は透過の始めに於て最大速度を有して居る之を初期速度と云そして上流側法面から水が進んで来る



従ひ即ち 0' 点からの距離が大きくなるに従ひ滲透水の速度は減少する。

滲透速度は上流側法面から下流側法面へ進むに従つて通路の抵抗力に比例して減少する、そして其抵抗力に依つて M 点に於けるどの終端速度も皆等しい。

之は滲透を起して居る間だけ云へるのであつて完全に飽和して仕舞つてからは適用出来ず、それから滲透損失が始まる。

飽和時間の計算を簡単にする爲に實際に通過する通路 0'-M の代りに横軸 0-M を使用した、實際通路 0'-M は横軸 0-M より稍短い、いくらか長い通路の方が幾分長い時間を示すのであるが之の方が浸潤線が最高位置に充分達する所以となる。

(6)式は堰堤の単位断面の飽和に對して必要な時間を計算する爲の公式である、但し材料は表面乾燥状態でなければならぬ。

現今の土堰堤構築法では相當の水が施工中に使用せられる、築造が終つた時材料中の空隙の大部分は水で満たされその水の幾分かは相當期間、多分貯水池が灌水する時逸散すると思はれる、飽和の状態に達する迄の必要時間の計算に於ては此の残留含水量に就いても考慮に入れなければならないそれには補正因数 V (實數計算例参照) を説明しなければならぬ。此の V は築堤が完成して貯水池が灌水された時築堤材料の未だ水を以て満たされて居ない空隙の百分率である。

残留水の減少は材料の性質、築堤の大きさ及び築造後灌水迄の経過時間に影響される。故に等質築堤に於て飽和の状態に達する迄の必要時間の一般公式は、

$$t = \frac{L^2}{2kh' \cos \phi} V \dots \dots (7)$$

である。

第 1(a) 圖の L と h' の値を代入すれば次の如き公式が得られる。

$$t = \frac{[S + (H_d - a_0)m]^2}{2k(H_w - a_0) \cos \phi} V \dots \dots (8)$$

【實 數 例】

第 1 圖に示す築堤を考へる

全高(H<sub>d</sub>)=20.0呎

水面より天端迄の高さ(d<sub>0</sub>)=7.0呎

上流の水頭(H<sub>w</sub>)=13.0呎

水尻(h<sub>0</sub>)=0.0呎

天端の幅(b)=20.0呎

上流側傾斜=3:1 ; m<sub>1</sub>=2.0

下流側傾斜=3:1 ; m<sub>2</sub>=2.0

傾斜角φ=26°34'

cos φ=0.895

築堤築造中に其築堤材料の試験を行ひ物理的性質を決定した、即ち築造中使用した、水量(乾燥材料との重量比)=9.7%

工事中に於ける乾燥状態の密度(土+岩石)=121.7 封度/呎<sup>3</sup>

乾燥緊密状態の密度(土+岩石)=128.1封度/呎<sup>3</sup>

絶対密度(土+岩石)=159.9封度/呎<sup>3</sup>

透水性 k=3.37呎/年(土と岩石に對し修正済)

問題を解く爲には先づ a<sub>0</sub>を知る事が必要である

此の a<sub>0</sub>は次の聯立方程式より求めらる

$$\frac{q}{k} = \left( \frac{H_d - h_0 - h}{m} \right) \log_e \left( \frac{H_d}{H_d - k} \right)$$

$$\frac{q}{k} = \frac{h^2 - (a_0 + h_0)^2}{2S}$$

$$\frac{q}{k} = \frac{a_0}{m} \left[ 1 + \log_e \left( \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right) \right]$$

$$S = b + m_1 [H_d - (a_0 + h_0)]$$

此の場合 a<sub>0</sub>の値は1.9呎となる。

第 1 圖から S を知る事が出来る。

$$S = b + (H_d - a_0)m = 56.9呎$$

補正因数 V は固つた時の乾燥密度と絶対乾燥密度とより得られ、全空隙より築造後残留して居る水量を各々體積百分率で減ずる事に依つて得られる。

$$\text{全空隙} = \frac{159.9 - 128.1}{159.9} = 19.6\%$$

$$\text{工事水が満ちた時の空隙} = \frac{121.7 \times 0.097}{62.4} = 18.9\%$$

$$\text{未だ水が満たされない空隙} = V = 0.007\%$$

之等の値を(8)式へ代入すれば

$$t = \frac{[56.9 + (20.0 - 1.9)2.0]^2}{2 \times 3.37(13.0 - 1.9)0.895} \times 0.007 = 0.893 \text{年}$$

或は 1.07ヶ月