論説報告

土木學會誌　第四卷第二號　大正七年四月

浸潤作用ニ對スル土堤ノ安定ニ就テ

工學士　物部長穗

本論ニ入ルニ先タチ文中用フル所ノ術語ニシテ稍特別ノ意義ヲ有スルモノ二三ニ就キ左ニ其定義ヲ掲ク

浸　潤　水分カ水壓ニ驅ラレテ漸次土砂中ニ浸入シ其間隙ヲ完全ニ塡充シ凡テノ點ニ於テ水壓ヲ完全ニ傳達スルカ如キ狀態ヲ意味ス

濕　潤　水分カ土砂中ノ間隙ニ入リ其間隙ノ一部ヲ占メ水壓ヲ完全ニ傳達シ得サル狀態ヲ意味ス

浸潤面　浸潤セル狀態ノ限界面ヲ意味ス

浸潤線　浸潤面上ノ最急勾配線即該面上ノ一點ヲ過キ絶エス最急勾配ヲ有スル線ヲ意味ス

洪水ニ際會シテ河堤ノ決潰スルヤ其原因種々アルヘシト雖モ次ノ四種ヲ以テ最モ普偏ナルモノト倣スコトヲ得ヘシ即

一　河水堤頂ヲ溢流スルコト

二　水勢外側ノ法面又ハ法先ヲ削壞スルコト

三　堤體浸潤シ法面ハ自ラ保ツ能ハスシテ崩壞スルコト

四　基礎薄弱ニシテ濕潤土砂ノ荷重ニ耐エス堤土沈下陷沒スルコト

第一ハ主トシテ河積ノ不充分ニ因リ第二ハ法先及法面ノ保護充分ナラサルニ因ルモノニシテ共ニ堤體自身ノ構造寸法等ニハ相關スルコト深カラス然ルニ堤體ノ濕浸潤ノ難易ハ主トシテ構造寸法ニ由リテ定マル所ナルヲ以テ其設計ニ際シテハ此等ノ作用ニ對シ充分ナル耐力ヲ有セシメサルヘカラス

以上ノ外猶局所的ノ原因多々アルヘシト雖モ堤全般ノ安定充分ナルニ於テハ水防ノ力ニ賴リテ決潰ヲ防止スルコト敢テ困難ナラサルヘシ

河堤ハ洪水ニ際シ其外側河水ニ接スルヲ以テ水ハ水壓ニ驅ラレテ漸次堤土中ニ浸入スヘク土質粗鬆ニシテ水頭高ク接水期長キニ從ヒ其浸入愈深カルヘシ而テ浸潤遂ニ內側ニ達シ堤土濕潤スルニ及ヒテハ法面ハ其傾斜ヲ維持スルコト困難ニシテ玆ニ崩壞ノ危險ヲ惹起スヘシ是河堤寸法ノ土質、高水位、接水期間等ニ應シテ決定セサルヘカラサル所以ニシテ老練ナル技術家ハ單ニ經驗ニ由リ此等複雜ナル條件ヲ參酌シテ能ク妥當ナル堤體ヲ定メ得ヘシト雖モ猶其具體的數量的關係ヲ明カナラシムルハ頗ル困難ナルヘシ而已ナラス築造物ノ設計ニ當リテハ諸必要件ト寸法構造トノ間ニ數量的關係ヲ確立シ唯餘裕ノ如何ヲ局所的情況ニ由リテ選定スルヲ以テ一層科學的ナル方法ト倣サヽルヘカラス然ルニ該問題ニ關スル科學的研究ハ從來殆ント見聞セサル所ナルヲ以テ予ハ本文ニ於テ不完全ナカラ理論上ヨリ之ヲ論究シ堤體設計ノ原則ヲ探究セントスルモノナリ

猶土堰堤モ其性質殆ント河堤ト同一ニシテ唯水位ノ昇降極メテ徐々タルノ差アルノミナルヲ以テ末章其安定ニ就キ少ク記述セントス

本文中第一章(第三及第六節ヲ除キ)ハ大半從來諸家研究ノ結果ニシテ唯後章閱讀ノ便ニ供セン爲

メ茲ニ集萃記述セリ而テ第二章以下ハ著者ノ考案ニ係ハル所ニシテ研鑽到ラサル所多キヲ以テ會員諸君ノ叱正ヲ待ツコト切ナルモノナリ

第一章　土砂中ニ於ケル水ノ流動

第一節　地下水流動ノ原則

土砂中ニ存在スル水ノ流動ハ消費シ得ヘキ水頭ニ從ツテ遲速アリ其關係ニ就キ科學的研究ヲ遂ケタルハ佛人だーしー(Darcy)氏ヲ以テ嚆矢トナス

氏ハ實驗ニ由リテ次ノ如キ原則ノ行ハルヽヲ識レリ

$$\left.\begin{aligned} Q&=kF\frac{h}{l} \\ v&=k\frac{h}{l} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(1)$$

茲ニ

Q……單位時間ニFナル斷面積ヲ通ツテ流ルヽ水量

h……lタケノ距離ヲ流ルヽ爲メニ消費セシ水頭

k……土砂粒ノ細粗,形狀,空隙ノ廣狹等ニ依ル係數

v……單位斷面積ニ割當テタルQ即$\frac{Q}{F}$

即地下流ニ於テハvハ動水勾配$\left(\text{Hydraulic gradient}=\frac{h}{l}\right)$ニ比例ス是レ土砂中ニ於テハ流動極メテ緩徐ニシテ地上水流ノ如ク渦動ヲ生スル事ナク水頭ハ主トシテ水ノ粘質ニ因ル抵抗ニ打勝タンカ爲メニ消費セラルヽヲ以テナリ而テvハ流水ノ實際速度ヲ現ハスニアラス今土砂ノ平面空隙ノ割合ヲλ'割トスレハ流水ノ實斷面積ハ$\lambda' F$ナリ由テ實際ノ流速(V)ハ

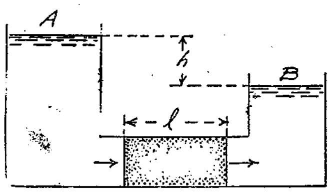
$$\lambda' FV = vF \qquad \therefore \quad V = \frac{v}{\lambda'} = \frac{k}{\lambda'}\cdot\frac{h}{l}$$

即 V モ亦動水勾配ニ比例ス

猶 k ヲ實驗ニ由リテ定メントセハ

$$k = \frac{Q}{F}\cdot\frac{l}{h}$$

ナル關係ヲ用ヒ一定斷面積ノ地中流ヲ設備シ $\frac{l}{h}$ ヲ種々ニ變化セシメ之ニ對スル流量 Q ヲ測定スルヲ最モ便ナリトス其裝置ノ骨子ハ第一圖ニ示スカ如クニシテ A B 水面ヲ不變ニ保チ B ヨリ溢流スル水量ヲ測定ス v カ $\frac{h}{l}$ ニ比例スルコトハ爾來多クノ實驗ニ由リテ略立證サレタリト雖モ Ebenda 氏ノ如キハ之ニ反對シ v ノ増加率ハ $\frac{h}{l}$ ノ増大率ヨリモ小ナリト主張セリ而テ近年ノ精密ナル實驗ニ由レハ v ノ餘リ大ナラサル場合ニ於テハ式(1)ノ關係能ク成立スト雖モ v 又ハ $\frac{h}{l}$ 大ナル時ハ



第一圖

$$\frac{h}{l} = av + bv^2 \qquad 又ハ \qquad \frac{h}{l} = mv^n \quad \cdots\cdots \text{(by Ph. Forchheimer)}$$

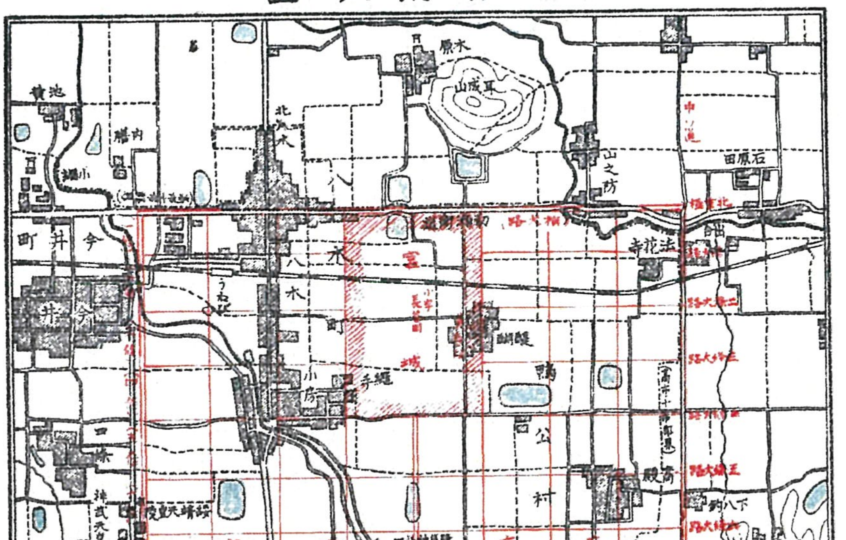
ナル法則ヲ以テ一層正確ナリト做スモノヽ如シ茲ニ a b m n 等ハ土質ニ由ル係數ナリ (Z. d. V. deutsch. Ing. 45 (1901), S. 1782. 參照)

猶 k ハ一般ニ各間隙ノ面積ニ比例スルモノニシテ土粒ノ平均直徑ヲ d トスレハ

$$k = cd^2. \quad c ハ常數 \cdots\cdots \text{(by Hazen)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1_a)$$

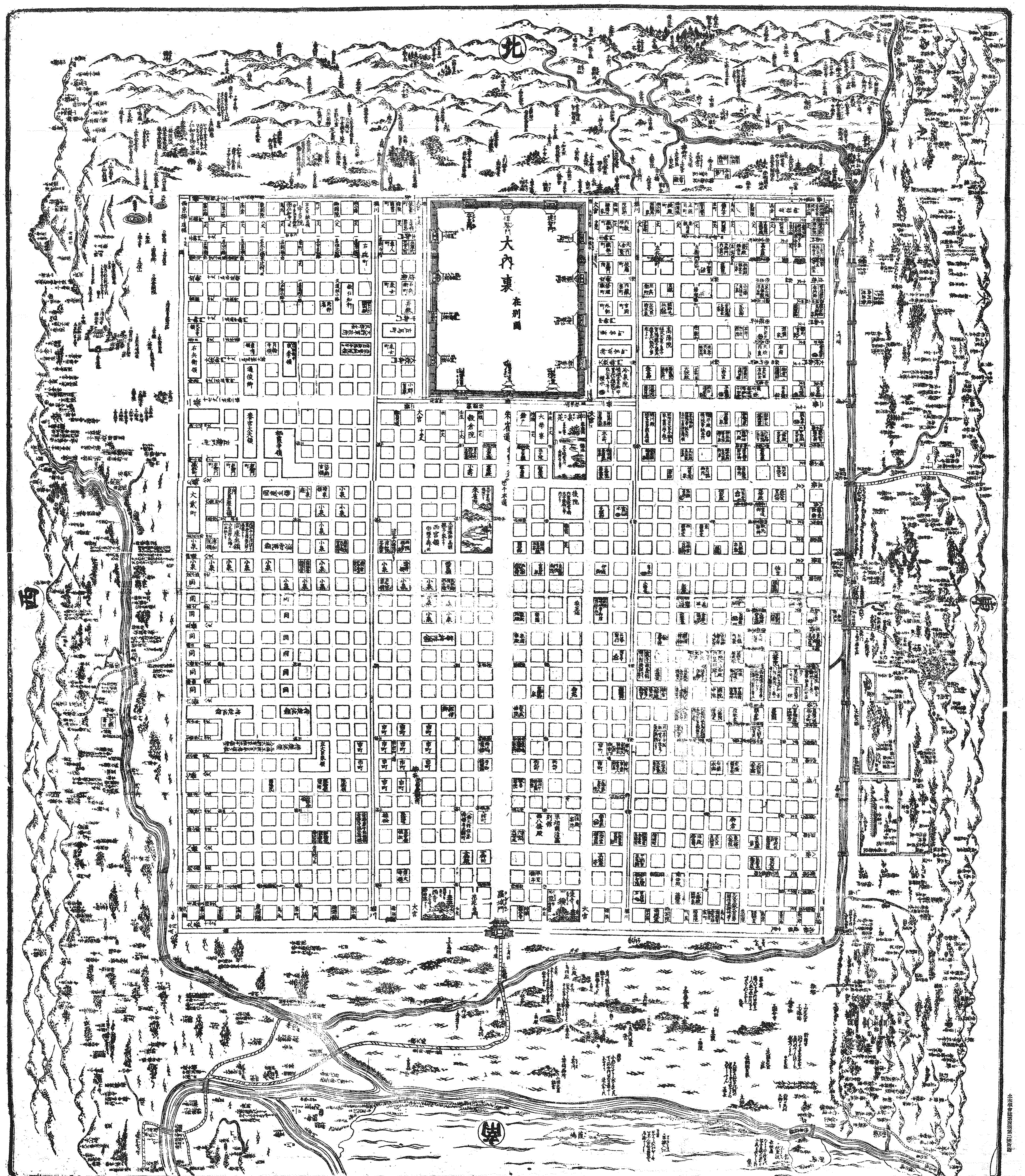
ナル式ヲ以テ其關係ヲ現ハシ得ヘシ

藤原京址圖



三万分一之尺

土木學會誌第四卷第二號附圖


北
西
東
南
偉鑒門
大内裏
在別圖
大學寮
穀倉院
大宮

一般ニ地中流ノ速度ハ微少ナルヲ以テ時刻ノ單位ヲ一時間トシ距離ノ單位ヲ米呎又ハ尺ニ採ルヲ便ナリトス

第二節　係數 k ノ値

Piefke 氏ハ精密ナル實驗ニ由リ細粗五種ノ土砂ニ就キ次ノ如キ k ノ數値ヲ得タリ而テ五種土砂ノ組織ハ次表ノ如シ

種類番號	I	II	III	IV	V
	%	%	%	%	%
石粉 (d=0·1mm. 以下)			3	6	16
微細砂 (0·1—0·25mm.)	3	13	22	23	64
細砂 (0·25—0·5mm.)	12	22	25	54	15
砂 (0·5—0·75mm.)	14	32	27	11	3
粗砂 (0·75—2·0mm.)	41	33	23	6	2
砂利 (2·0mm. 以上)	32	0	0	0	0
空隙百分率 (λ)	24·9	31·4	32·3	33·6	34·0
λ ノ割合	1·00	1·26	1·29	1·34	1·37
k ($^{m}/_{hour}$ 單位)	10·1	3·95	2·41	1·18	0·44

猶 Berlin-Stettin 運河ノ一閘門敷地ハ多少ノ小礫ヲ混スル砂地ニシテ其 k ノ値ハ四·〇乃至六·七ニシテ平均五·二ナリキ而テ Emden 港ノ新海閘敷地ハ良ク締リタル細砂層ニシテ k ハ〇·六乃至一·〇〇ニ亘リ平均〇·七七ナリ此等ハ良ク Piefke 氏ノ實驗ニ一致セリ (Kyrieleis :—Grundwasserabsenkung bei Fundierungsarbeiten. S. 12 & S. 101—130 參照)

而テ一樣ナル粒大ノ土砂ニ對スル k ノ値ハ各粒平均徑ノ二乘ニ比例スルコト既ニ式 (1_a) ニ示セル所ナルカ同式中ノ常數 c ニ對スル實驗ハ略左表ノ如シ

$k=cd^2$　　d……in cm.　　v……in cm. per sec.

Author	Havrez		Seelheim				Hagen	Kröber				
$1000\,d=$	8	15	16	23	48	68	28	54	70	90	135	210
$c=k/d^2=$	128	90	37	36	38	38	36	42	41	49	36	41
c ノ平均			39·4									

即

$$k=39{\cdot}4\,d^2$$

今vノ單位ヲ米·時ニdノ單位ヲ粍ニ直セハ

$$k=14{\cdot}2\,d^2$$

次ニvノ單位ヲ尺時ニdノ單位ヲ粍ニ採レハ

$$k=47\,d^2$$

此等ノ關係ヲ用ヒテkヲ計算スレハ

$d=$	0·1 mm.	0·2 mm.	0·5 mm.	1 mm.
k (m/h)=	0·14	0·57	3·55	14·2
k (尺/時)=	0·47	1·90	11·8	47

右表ト Piefke 氏ノ研究トニ由リテ按スルニ普通堤防ニ用フル土砂ニ於テハkノ値ハ略次ノ範圍ニ存在スヘシ

	Earth (土)	Fine sand (細砂)	Coarse sand & gravel (砂礫)
k (尺/時)	0·2–0·4	0·6–1·20	3·0–10·0

而テk及λニ關シテハ種々ノ土質ニ就キ多クノ實驗觀測ヲ遂ケ其結果ニ依リテ Piefke 氏表ノ一層細密ナルモノヲ作製シ置キ堤用土ノ解析ニヨリ直ニ適當ナルk、λヲ見出スヲ便トス

第三節　容積空隙及面積間隙

地下流ノ研究ニ際シテハ此二者ヲ區別セサルヘカラス容積空隙トハ土砂ノ一定容積ヨリ其實質ノ容積ヲ引キ去リタル空隙ノ容積ヲ意味シ通常之ヲ全容積ノ百分率ヲ以テ現ハス面積間隙トハ土砂ノ一定斷面ニ於テ其總面積ヨリ土砂實質ノ斷面積ヲ引去リタル間隙ノ面積ヲ云フ即チ

$$\lambda=\frac{(\text{全容積})-(\text{實質ノ容積})}{\text{全容積}}\cdots\cdots\text{容積空隙}$$

今單位容積ニ含マルヽ土砂ノ粒數ヲnトスレハ

$$\frac{1-\lambda}{n}=(\text{一粒ノ平均容積})$$

$$c\left\{\frac{1-\lambda}{n}\right\}^{\frac{2}{3}}=(\text{一粒ノ平均斷面積})\qquad c\text{ハ係數}$$

土砂粒カ凡テ方形ナル時ハcハ一ニシテ凡テ球形ナル時ハ一・二ナリ

$$\lambda'=1-c\left\{\frac{1-\lambda}{n}\right\}^{\frac{2}{3}}n^{\frac{2}{3}}=1-c(1-\lambda)^{\frac{2}{3}}$$

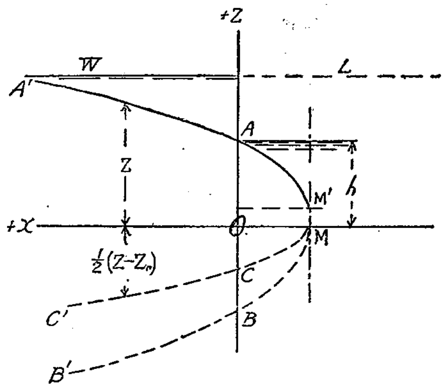
此等ノ關係ニヨリテλノ種々ノ値ニ對シλ'ヲ計算スルニ略次ノ如キ關係アリ

$$\lambda'=\frac{\lambda}{2}$$

其他粒大同一ナル Ellipsoid, Ellipsoid of revolution 等ヲ累積スル場合ニ於テモ略上記ノ關係成立ス

第四節　滯水層中ニ水路ヲ開鑿シタル場合ノ地下流

此場合水路中ノ水位地下水位ヨリ低キ時ハ水ハ水路ニ向フテ流出スヘシ今第二圖ニ於テ



第二圖

$W.L.$……舊地下水位
OA……水路ノ直壁
Ox……O ヲ通ル水平基線
Q……單位延長ノ水路壁ヨリ流出スル水量
Z……Ox ヨリ水面迄ノ高
$Z_0=MM'$

而テ水路ノ幅員大ナル時ハ底面ヨリ噴出スル水量ヲモ加算セサルヘカラス今水路カ土砂ヲ以テ充タサレタリト假想シ浸潤線AA'ヲ延長シ其方向遂ニ垂直トナル點ヲM'トナス而テ其直下底面上ノM點ヲ通リテ$M'AA'$線ヲ逆轉シタル曲線MBB'ヲ考フレハ該線ハ水面ノ傾斜ニ由リテ動カサレ水路中ニ流入スル地下水ノ限界ナリト見做スコトヲ得ヘシ而テ水カ該線ニ添フテ流ルヽ時ハ流速ヲ生スヘキ水頭皆無ナルヲ以テ速度ハ零ナルヘシ即一垂直線ニ就テ考フルニAA'ヨリOxニ至ル間ハ凡テ同一流速ヲ有シOxヨリ次第ニ減少シBB'ニ至リテ遂ニ零トナル由テ水路ニ流出スル流量ヲ算出セン為メニハMBB'曲線ノ縱距ヲ二分スル線MCC'ヨリAA'線ニ至ル間ノ地下水カ水面勾配ニ相當スル等速度ヲ以テ流動スルモノト考フルモ實地上支障ナカルヘシ即チ

$$Q=\left(Z+\frac{Z-Z_0}{2}\right)k\frac{dZ}{dx},\qquad Z_0=MM' \quad\cdots\cdots(3.)$$

若シOxカ耐水層ナル時ハ

$$\frac{Z-Z_0}{2}=0$$

$$\therefore\quad Q=kZ\frac{dZ}{dx}\qquad \therefore\quad Z^2-h^2=\frac{2Q}{k}x\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

次ニ水路ノ幅員ニ對シ水深hノ小ナル時ハCM又ハBM間ノ抵抗ヲ無視シ得ルヲ以テ曲線 $M'AA'$ 及MBB'ハOxニ關シテ互ニ對象ナルヘシ然ル時ハ

$$Q=\frac{3}{2}Zk\frac{dZ}{dx}\qquad \therefore\quad Z^2-h^2=\frac{4}{3}\cdot\frac{Q}{k}x\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(3_b)$$

而テ水ハ水路ノ兩岸ヨリ流入スルヲ以テ實際此等ノ水面ヲ維持セントセハ上式ノ與フル流量ヲ更ニ倍加セサルヘカラス即式系(3)ノ與フル流量ハ底面ヨリ噴出スル水ヲ無視シタル場合ノ一倍半ニ當リ排水ぽんぷノ能力ノ算定ハ是ニ據ルヲ以テ妥當ナリトセン今WL面ノ高ヲHトシ之ニ接近セルZヲ與フルxノ値ヲLトスレハ排水スヘキ水量ハ

$$Q=\frac{3}{2}k\frac{H^2-h^2}{L}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(3_c)$$

第五節　土砂ノ隔壁ヲ滲透シテ流ルヽ水

一ノ水域ヲ土砂ノ隔壁ヲ以テ限界支持スル時ハ域中ノ水ハ壁ヲ滲シテ漏出スヘシ此場合ノ水理ハ略前節ト同一ニシテ只Lナル距離ニ於ケル水位ノ不動ナル場合ナリ第三圖ニ於テHヲ水域ノ水深hヲ壁外ノ水深トスレハhハ小ナルヲ以テ壁ノ單位延長ヨリ滲出スル流量Qハ

$$Q=\frac{3}{2}Zk\frac{dZ}{dx}\qquad \therefore\quad \frac{Z^2}{2}=\frac{2}{3}\cdot\frac{Q}{k}x+c$$

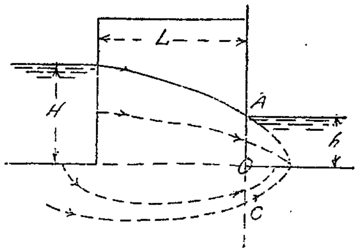
然ルニ $x=L$ ニ於テ $Z=H$ ナルヲ以テ

$$c=\frac{H^2}{2}-\frac{2}{3}\cdot\frac{Q}{k}L$$

$$\therefore\quad H^2-Z^2=\frac{4}{3}\cdot\frac{Q}{k}(L-x)\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

$$\therefore\quad H^2-h^2=\frac{4}{3}\cdot\frac{L}{k}Q\qquad 又ハ\qquad Q=\frac{3}{4}\cdot\frac{k}{L}(H^2-h^2)\cdots\cdots\cdots(4_a)$$

此等ノ關係ニ由リテ水域ニ近ク根掘工ヲ爲ス場合ノぽんぷノ能力ト隔壁ノ厚サトノ關係ヲ算定シ得ヘシ



第三圖

第六節　地下流ノ精確ナル解法

從來地下流ヲ論スルニ當リテ一垂直線上ノ各點ニ於ケル流速ノ水平分速ハ凡テ同一ニシテ水面勾配ノミニ由テ定マルモノト考ヘタリ然ルニ流速ト水頭トノ關係ハ第一圖ニ示セル如キ装置ニ依レルヲ以テ v ナル流速ヲ以テ土砂中ヲ l タケ流動スル爲メニ h タケノ水頭ヲ消費スル事ヲ意味スルモノニシテ式ヲ以テ現ハセハ

$$cvl=\gamma(h_1-h_2)$$　γ ハ水ノ單位容積ノ重量

今土砂單位容積ノ水流ニ對スル抵抗ヲ R ヲ以テ現ハセハ

$$R=\gamma\frac{h_1-h_2}{l}=cv=\frac{\gamma}{k}v$$

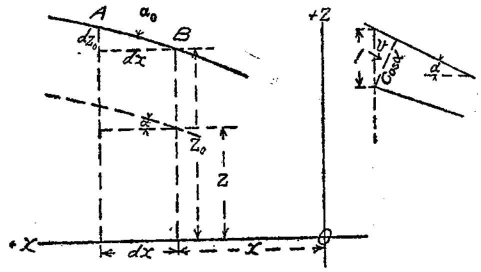
即 v ハ流動ノ方向ニ於ケル速度ヲ意味シ其水平分速 (v_x) トハ同一ナル能ハス第四圖ハ Ox ナル耐水層上ニ於ケル地下流ノ一部ヲ示スモノナリ

単位長ニ對スル水頭消費 $=\dfrac{\frac{dZ}{dx}}{\cos\alpha_0}=\sin\alpha_0=\frac{1}{k}v\cos\alpha_0=\frac{1}{k}v_x$

$\therefore\ v_x=k\sin\alpha_0$ ……………(5_a)

而テ α_0 カ微小ナル場合ニ於テハ $\sin\alpha_0\doteqdot\tan\alpha_0=\dfrac{dZ_0}{dx}$

$\therefore\ v_x=k\dfrac{dZ_0}{dx}$



第四圖

α_0 カ斯ク小ナラサル時ハ

$$\sin\alpha_0=\sqrt{\frac{dZ_0^2}{dZ_0^2+dx^2}}=\frac{dZ_0}{dx}\left\{1-\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{dx}dZ_0+\frac{3}{8}\left(\frac{dZ_0}{dx}\right)^2-\cdots\cdots\right\}$$

$$\therefore\ v_x\doteqdot k\frac{dZ_0}{dx}\left(1-\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{dx}dZ_0\right)$$ 而シテ $Q=\int_0^{Z_0}v_x\,dZ$

$$\therefore\ k\frac{dZ_0}{dx}Z_0-\frac{k}{2}\left(\frac{dZ_0}{dx}\right)^2Z_0=Q$$

今 $\dfrac{dZ_0}{dx}=p$ ト置キテ此微分方程式ヲ解ケハ

$$\left.\begin{aligned}x&=\frac{Q}{k}\int\frac{p-1}{p\left(p-\frac{p^2}{2}\right)^2}dp+C\\Z_0&=\frac{Q}{k}\cdot\frac{1}{p-\frac{p^2}{2}}\end{aligned}\right\}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(5_b)$$

猶簡單ニ解決セン爲メ微分方程式ニ於テ比較的重要ナラサル項 $\dfrac{k}{2}\left(\dfrac{dZ_0}{dx}\right)^2Z_0$ ヲ無視シテ Z_0 ノ略式

ヲ得更ニ之ヲ該項ニ代用シテ第二近似値ヲ得ントス

$\frac{k}{2}\left(\frac{dZ_0}{dx}\right)^2 Z_0=0$ ナラハ $k\frac{dZ_0}{dx}Z_0=Q$ ニシテ $Z_0\frac{dZ_0}{dx}=\frac{Q}{k}$

之ヲ代用シテ

$$\frac{Q}{k}=\left(Z_0-\frac{Q}{2k}\right)\frac{dZ_0}{dx}$$

之ヲ積分シ $x=0$ ナル時 $Z_0=h$ ナル條件ヲ挿入スレハ

$$(Z_0^2-h^2)-\frac{Q}{k}(Z_0-h)=\frac{2Q}{k}x \quad \cdots\cdots(5)$$

尙 $x=L$ ナル時 $Z_0=H$ ナル條件ヲ入ルレハ

$$(H^2-h^2)-\frac{Q}{k}(H-h)=\frac{2Q}{k}L$$

又ハ

$$Q=k\frac{H^2-h^2}{2L+H-h} \quad \cdots\cdots(5_a)$$

然ルニ $v_x=\frac{dZ_0}{dx}$ ナル原則ニ依リテ計算スレハ

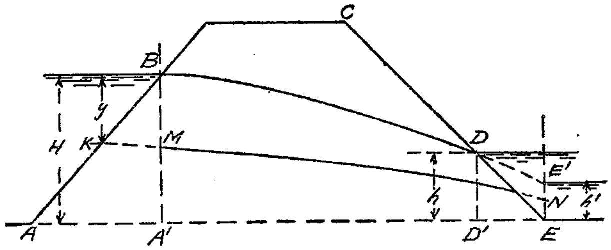
$$Q=k\frac{H^2-h^2}{2L}$$

ナルヲ以テL小ニHトhトノ差大ナル程其誤差ハ愈大ナルヘシ

第二章　土堤內部ニ於ケル水流ノ理論

第一節　土堤ヲ滲透シテ流ル丶水

此場合モ其原理ニ於テハ前章第五、六兩節ニ論セシ所ト何等相違ナシト雖モ實際ノ土堤ニ於テハ



第五圖

兩側斜面ヲナシLハ流線ノ位置ニ由リテ各同シカラサルノ差アルノミ

第五圖ニ於テ外側ニ近キ$AA'B$部ニ於テハ水面勾配零ナリト雖モyナル直接水頭ニ由リテ水ハ容易ニ土砂中ニ滲下スヘキヲ以テKMNノ如キ流線ヲ流ルヽ水ノKM間ニ受クル抵抗ハ微少ニシテ之ヲ無視シ得ヘシ依テ滲透ニ關シテハ外法ハ$A'B$ナル垂直面ヲ以テ置換スルモ大過ナク而モ是ニ由テヨリ安全ナル結果ヲ得ヘシ次ニ内側ニ於テハ土砂カEE'垂直面ニ迄及ヘルモノト假定シ浸潤面BDヲ延長シテE'ニ達セシム然ル時ハ内側面DD'ニシテhナル水位ヲ有スル場合ト内側面EE'ニシテh'ナル水位ヲ有スル場合トノ中間ノ狀況ヲ呈スヘシ然レトモ外側ニ於テ若干ノ抵抗ヲ無視セルヲ以テ内側ニ於テハ寧ロEE'ヲ壁面ト見做シ水位hヲ用ヒ以テ兩側ニ於ケル誤差ヲ相殺セシムルヲ可トス即

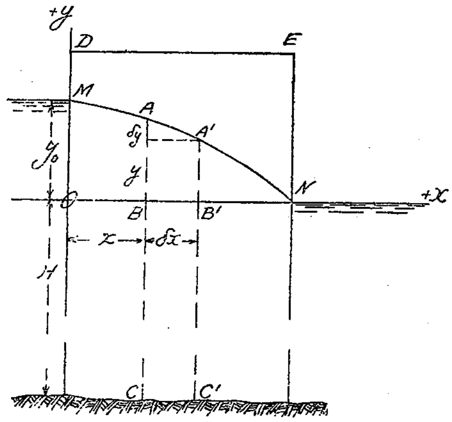
外側水位$=H$　内側水位$=h$　堤ノ厚$=L=A'E$

トシテ第五、六兩節ヲ適用スレハ可ナリ

猶洪水又ハ潮汐ノ場合ノ如ク外側ノ水位變動スル時ハ懸案期間ノ平均水位ヲ以テHト見做シ由テLヲ定ムルヲ適當トス

第二節　外側ノ水位昇降スル場合

水位同シカラサル二ノ水域ヲ矩形土堤ヲ以テ隔離セル場合其高キ水位カ時刻ニ從テ昇降スル時ハ土堤内部ノ浸潤面モ亦昇降變形スヘシ此場合浸潤面ト外側水位及時刻トノ關係ヲ詳ニセントスレハ稍複雜ナル算法ヲ要ス(第六圖參照)今内側ノ水位(即不變ナル水位)Oxヲ横軸ニ堤ノ外面Oyヲ縱軸ニ採リ次ノ如キ記號ヲ用フ



第六圖

y=浸潤面$(M\,A\,A'\,N)$ノ水位

y_0=外水面ノ水位

λ=土砂ノ空隙割合

L=土堤ノ幅員

H=地下耐水層ノ深

今距離xニ於テδxナル間隔ヲ有スル二斷面ABC及ヒ$A'B'C'$ヲ採リ其間ニ出入スル水量ヲ考フルニ

δt間ニABC面ヨリ流レ入ル水量$=v(H+y)\delta t$

δt間ニ$A'B'C'$面ヨリ流レ出ル水量$=(v+\delta v)(H+y+\delta y)\delta t$

ニシテ此期間ニ水位ハyヨリ$y+\delta y$ニ上リタリトスレハ二斷面間ニ貯蓄サレタル水ハ

$$\lambda\frac{\partial y}{\partial t}\delta t\,\delta x$$

ナリ然ルニAC面ヨリ流入セシ量ヨリ$A'C'$面ヨリ流出セルモノヲ引去リタル殘量ハ貯蓄サレタルモノニ等シカルヘキヲ以テ

$$v(H+y)\delta t-\left(H+y+\frac{\partial y}{\partial x}\delta x\right)\left(v+\frac{\partial v}{\partial x}\delta x\right)\delta t=\lambda\frac{\partial y}{\partial t}\delta t\,\delta x$$

$$\therefore\ \lambda\frac{\partial y}{\partial t}=-(H+y)\frac{\partial v}{\partial x}-v\frac{\partial y}{\partial x}$$

然ルニ $\frac{\partial y}{\partial x}=\frac{\partial(H+y)}{\partial x}$,　$v=-k\frac{\partial y}{\partial x}$ ナルヲ以テ

$$\lambda\frac{\partial y}{\partial t}-k\frac{\partial}{\partial x}\left\{(H+y)\frac{\partial y}{\partial x}\right\}=0 \quad \cdots\cdots(7_a)$$

此二元二次偏微分方程式ハ解決容易ナラサルノミナラス外水位變動ノ條件ヲ滿足セシムル事能ハサルヲ以テ先ツHヲyニ比シテ頗ル大ナルモノト假定シ$(H+y)$中ノyヲ無視シテ解決セントス即

$$\frac{\partial y}{\partial t}=\frac{k}{\lambda}H\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=a^2\frac{\partial^2 y}{\partial x^2},\quad a^2=\frac{kH}{\lambda} \quad \cdots\cdots(7_b)$$

今外水面ハ初メ内側水面ト同一高ニシテ其ヨリ次第ニ上昇スル時ハ上式ノ解答ハ次ノ三環境條件ヲ滿足セサルヘカラス

(1)　$t=0$　ナルトキ　$y=0$

(2)　$x=L$　ナルトキ　$y=0$

(3)　$x=0$　ナルトキ　$y=y_0=F(t)$

茲ニ$F(t)$ハ外側水面ノ變動ヲ現ハス函數ナリ(7_b)ヲ解カンカ爲メ變數tノミヲ含ム函數T及xノミヲ有スル函數Xヲ考ヘ

$$y=TX$$

ト置キテ之ヲ(7_b)ニ入レ少シク變形スレハ

$$\frac{1}{T}\cdot\frac{\partial T}{\partial t}=a^2\frac{1}{X}\cdot\frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$$

依テ

$$\frac{1}{T}\cdot\frac{\partial T}{\partial t}=-\beta^2,\qquad \frac{\alpha^2}{X}\cdot\frac{\partial^2 X}{\partial x^2}=-\beta^2$$

$$\therefore\ y=T\left(A\sin\frac{\beta}{\alpha}x+B\cos\frac{\beta}{\alpha}x\right)$$

然ルニ第二條件ヲ滿足スル爲メニ

$$B=0\quad 及\quad \frac{\beta}{\alpha}L=\pi\ ノ整數倍=s\pi$$

$$\therefore\ y=AT\sin\frac{s\pi}{L}x=A_s\sin\frac{s\pi}{L}x$$

茲ニsハ如何ナル整數ニテモ支障ナクA_sハxヲ含マサル任意量タリ故ニyノ一般的形ハ

$$y=\sum_{s=1}^{\infty}A_s\sin\frac{s\pi}{L}x \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(7_b')$$

ニシテ第一及第二條件ヲ滿足スル如クA_sヲ定ムレハ可ナリ然ルニふーりえ氏級數ニ由リyナル函數ハ次ノ如キ形ニ現シ得

$$y=f(x)=\sum_{s=1}^{\infty}A_s\sin\frac{s\pi x}{L}\qquad 茲ニ\qquad A_s=\frac{2}{L}\int_0^L f(Z)\sin\frac{s\pi Z}{L}dZ$$

同様ニ$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$ヲふーりえ級數ヲ以テ現ハセハ

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=\frac{2}{L}\sum_{s=1}^{\infty}\sin\frac{s\pi x}{L}\int_0^L\frac{\partial^2 f(Z)}{\partial Z^2}\sin\frac{s\pi Z}{L}dZ$$

右邊中ノ積分ヲ Partial integration ニ由リテ積分スレハ

$$\int_0^L \frac{\partial^2 f(Z)}{\partial Z^2}\sin\frac{s\pi Z}{L}dZ=\left\{\frac{\partial f(Z)}{\partial Z}\sin\frac{s\pi Z}{L}\right\}_0^L-\frac{s\pi}{L}\int_0^L\frac{\partial f(Z)}{\partial Z}\cos\frac{s\pi Z}{L}dZ=-\frac{s\pi}{L}\int_0^L\frac{\partial f(Z)}{\partial Z}\cos\frac{s\pi Z}{L}dZ$$

然ルニ $\int_0^L \frac{\partial f(Z)}{\partial Z}\cos\frac{s\pi Z}{L}dZ=\left\{f(Z)\cos\frac{s\pi Z}{L}\right\}_0^L+\frac{s\pi}{L}\int_0^L f(Z)\sin\frac{s\pi Z}{L}dZ=(-1)^s f(L)-f(0)+\frac{s\pi}{2}A_s$

然ルニ $f(L)=y_{x=L}=0$ $f(0)=y_{x=0}=y_0=F(t)$ (第三條件)

$$\therefore\ \int_0^L \frac{\partial^2 f(Z)}{\partial Z^2}\sin\frac{s\pi Z}{L}dZ=\frac{s\pi}{L}F(t)-\frac{s^2\pi^2}{2L}A_s$$

$$\therefore\ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=\sum_{s=1}^{\infty}\left\{\frac{2s\pi}{L^2}F(t)-\frac{s^2\pi^2}{L^2}A_s\right\}\sin\frac{s\pi x}{L}$$

次ニyノ表現式$(7_b')$ヨリ$\frac{\partial y}{\partial t}$ヲ求ムレハ

$$\frac{\partial y}{\partial t}=\sum_{s=1}^{\infty}\frac{dA_s}{dt}\sin\frac{s\pi x}{L}$$

茲ニ得タル$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$及$\frac{\partial y}{\partial t}$ヲ微分方程式$(7_b)$ニ入ルレハ

$$\sum_{s=1}^{\infty}\sin\frac{s\pi x}{L}\left\{\frac{dA_s}{dt}-\alpha^2\left[\frac{2s\pi}{L^2}F(t)-\frac{s^2\pi^2}{L^2}A_s\right]\right\}=0$$

xノ如何ニ係ラス成立スル爲メニハ次ノ關係ヲ要ス

$$\frac{dA_s}{dt}+\alpha^2\frac{s^2\pi^2}{L^2}A_s=\alpha^2\frac{2s\pi}{L^2}F(t)$$

右ノ一元一次微分方程式ヨリA_sヲ解ケハ可ナリ

即 $$A_s=e^{-\frac{\alpha^2 s^2\pi^2}{L^2}t}\left\{\int_0^t e^{\frac{\alpha^2 s^2\pi^2}{L^2}t}\cdot\frac{2s\pi\alpha^2}{L^2}F(t)\,dt+C\right\}$$

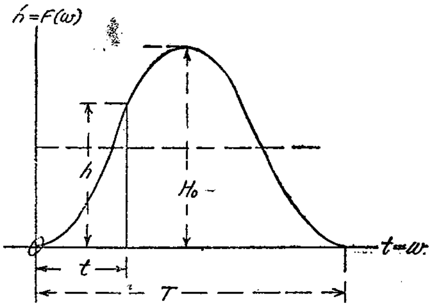
然ルニ第一條件ニ由リ $t=0$ ナル時 $y=0$ ナルヲ要スルヲ以テ $(A_s)_{t=0}=0$ ナリ即 C ハ零ナリ猶混雜ヲ避クル爲メ積分中ノ變數 t ヲ ω ト置ケハ

$$A_s=\frac{2s\pi\alpha^2}{L^2}\int_0^t e^{-\frac{s^2\pi^2\alpha^2}{L^2}(t-\omega)}F(\omega)d\omega$$

之ヲ $(7_b')$ ニ入レテ　ノ解答ヲ得ヘシ即

$$y=\frac{2\pi\alpha^2}{L^2}\sum_{s=1}^{\infty}s\sin\frac{s\pi x}{L}\int_0^t e^{-\frac{s^2\pi^2\alpha^2}{L^2}(t-\omega)}F(\omega)d\omega \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7_c)$$

依テ外水面ノ變動ヲ $t(\omega)$ ノ函數 $(F(\omega))$ ヲ以テ現ハシ之ヲ右式積分中ニ入レ積分ヲ爲セハ級數形ヲナセル y ノ値ヲ得ヘシ今外水面カ第七圖ノ如キさいん曲線ヲナス時ハ



第七圖

$$F(t)=F(\omega)=\frac{H_0}{2}\left(1-\cos\frac{2\pi t}{T}\right)=\frac{H_0}{2}\left(1-\cos\frac{2\pi\omega}{T}\right)$$

$\frac{s^2\pi^2\alpha^2}{L^2}=n$ 及 $\frac{2\pi}{T}=m$ ト置ケハ

$$\int_0^t e^{-\frac{s^2\pi^2\alpha^2}{L^2}(t-\omega)}F(\omega)d\omega=\frac{H_0}{2}\int_0^t e^{-n(t-\omega)}\left(1-\cos\frac{2\pi\omega}{T}\right)d\omega$$

$$=\frac{H_0}{2}\left\{\frac{1}{n}(1-e^{-nt})+\frac{ne^{-nt}}{m^2+n^2}-\frac{n}{m^2+n^2}\left(\cos mt+\frac{m}{n}\sin mt\right)\right\}$$

然ルニ e^{-nt} ハ若干時刻經過ノ後ハ一ニ比シテ極テ少ナルヲ以テ之ヲ除外シ猶 $n=ps^2$ ト置ケハ

$$y=\frac{\pi\alpha^2}{L^2}H_0\sum_{s=1}^{\infty}s\sin\frac{s\pi x}{L}\left\{\frac{1}{ps^2}-\frac{ps^2}{m^2+p^2s^4}\left(\cos mt+\frac{m}{ps^2}\sin mt\right)\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

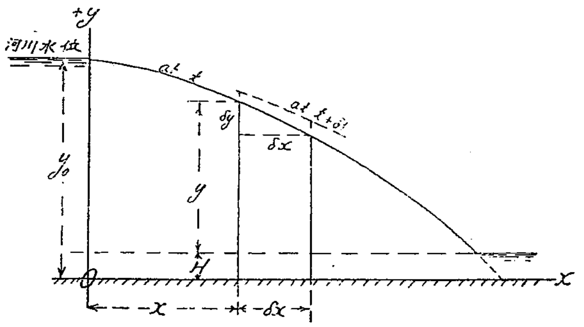
然ルニ此級數ハ速カニ收斂スルヲ以テsノ二三ノ値ヲ採レハ充分ナリ今浸潤面ノ大勢ヲ知ラン爲メ$s=1$ナル主要項ノミヲ採リテyヲ現ハセハ

$$\left.\begin{aligned} y&=\frac{\pi a^2}{L^2}H_0\sin\frac{\pi x}{L}\left\{\frac{1}{p}-\frac{p}{m^2+p^2}\left(\cos mt+\frac{m}{p}\sin mt\right)\right\} \\ p&=\frac{\pi^2 a^2}{L^2}=\frac{\pi^2}{L^2}\cdot\frac{kH}{\lambda} \qquad m=\frac{2\pi}{T} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots(7_a)$$

(7_d)ハ外側面ニ於テハ其條件ヲ滿足シ得スト雖モ內側面ニ於テハ二條件ヲ共ニ滿足シ得ルヲ以テ其附近ニ對シテ稍實際ニ近キyノ値ヲ與フヘシ

第三節　前節ノ場合ニ於テH微少ニシテ內側ニ水域ナキ時

此場合ハ第八圖ニ示スカ如ク地下耐水層高ク平時ニ於ケル滯水深ハ微少ニシテ式(7_a)中yニ比シテHヲ無視シ得ル如キ場合ニシテ外側水位y_0ノ上昇又ハ繼續スルニ伴ヒ浸潤ハ漸次內地ニ進入スヘシ



第八圖

今耐水面Oxヲ横軸ニ外側面Oyヲy軸ニ採リ(7_a)中ノHヲ無視スレハ

$$\lambda\frac{\partial y}{\partial t}-k\frac{\partial}{\partial x}\left(y\frac{\partial y}{\partial x}\right)=0$$

$$\frac{k}{\lambda}=a^2$$ ト置ケハ

$$\frac{\partial y}{\partial t}=a^2\left\{y\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}+\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(8_a)$$

此二級二次偏微分方程式ヲ解クニ前節ト同樣ニ

$$y=XT \qquad X=x\text{ノミノ函數} \qquad T=t\text{ノミノ函數}$$

之ヲ(8_a)ニ入レXT^2ヲ以テ除セハ

$$\frac{1}{T^2}\cdot\frac{dT}{dt}=a^2\frac{d^2X}{dx^2}+\frac{a^2}{X}\left(\frac{dy}{dx}\right)^2$$

左右兩邊ヲ共ニm^2ニ等シト置キ各別ニ積分スレハ

$$\frac{1}{T^2}\cdot\frac{dT}{dt}=m^2 \qquad \therefore\ T=-\frac{1}{m^2(t+d)}$$

dハ積分常數

次ニXニ對スル式ハ

$$\frac{d^2X}{dx^2}+\frac{1}{X}\left(\frac{dX}{dx}\right)^2=\frac{m^2}{a^2}$$

此二級二次方程式ヲ解キXトxトノ關係ヲ得レハ或時刻ニ於ケル浸潤線ノ形ヲ得ヘシ地中集水溝ノ流出量ノ計算ニ於テモ同形ノ微分方程式ニ遇會スヘク從來ハ解決不可能ナリトシテ放置サレタル所ナリ然レトモ次ノ如キ方法ヲ用フル時ハ楕圓函數ノ力ヲ藉ラスシテ之ヲ解キ得ヘシ

$\frac{dX}{dx}=p$ ト置ケハ

$$\frac{d^2X}{dx^2}=\frac{dp}{dx}=p\frac{dp}{dX}$$

$$\therefore\ Xp\frac{dp}{dX}+p^2=\frac{m^2}{a^2}X \quad \text{又ハ} \quad \frac{dp}{dX}+\frac{p}{X}=\frac{m^2}{a^2}\cdot\frac{1}{p}$$

$$\therefore\ \frac{1}{p^{-2}}e^{2\int\frac{dX}{X}}=2\int\frac{m^2}{a^2}e^{2\int\frac{dX}{X}}dX \qquad \therefore\ p^2X^2=\frac{2}{3}\cdot\frac{m^2}{a^2}X^3$$

$$\therefore\ p=\frac{m}{a}\sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{X}=\frac{dX}{dx} \qquad \therefore\ X=\frac{1}{4}\left(\frac{m}{a}\sqrt{\frac{2}{3}}x+C\right)^2$$

Cハ積分常數

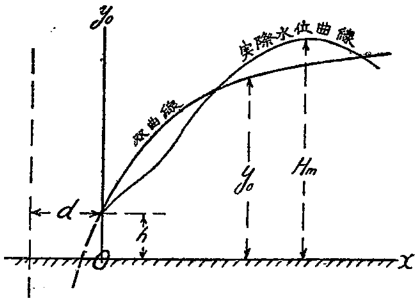
$$\therefore\quad y = A - \frac{\frac{1}{4}\left(\frac{m}{a}\sqrt{\frac{2}{3}}x + C\right)^2}{m^2(t+d)}$$ Aハ常數 ………(8_b)

或ハ

$$y = A - \frac{\frac{C^2}{4}}{m^2(t+d)} - \frac{\frac{1}{4}\left(\frac{2}{3}\cdot\frac{m^2}{a^2}x^2 + 2\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{m}{a}Cx\right)}{m^2(t+d)}$$

今河川水位ヲ y_0 ヲ以テ現ハセハ $x=0$ ニ於テ $y=y_0$ ナルヲ以テ

$$y_0 = A - \frac{\frac{1}{4}C^2}{m^2(t+d)}$$ 及 $$y = y_0 - \frac{\frac{1}{4}\left(\frac{2}{3}\cdot\frac{m^2}{a^2}x^2 + 2\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{m}{a}Cx\right)}{m^2(t+d)}$$ ………(8_c)



第九圖

即水位曲線カ倒置雙曲線ナル時ハ(8_b)ヲ以テ凡テノ環境條件ヲ滿足セシメ得ヘシト雖モ實際ノ水位曲線ハ多クノ場合倒置雙曲線ヲナサス然ルニ後節論スル如ク浸潤ノ前進距離ハ大體水位曲線ノ面積ニ由テ定マルヲ以テ實際ノ水位曲線ト等シキ面積ヲ有スル雙曲線ヲ以テ置換スルモ前進ヲ論スル上ニ於テハ支障ナシ即(第九圖參照)

$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{C}{m} = \alpha$, $\frac{\frac{1}{4}C^2}{m^2} = b$, 及 $A = H_m$ ト置クトキハ

$$y = H_m - \frac{b}{t+d} - \frac{\frac{1}{6a^2}x^2 + \frac{\alpha}{a}x}{t+d}$$

y_1ヲ實際水位曲線ノ縦距、y_0ヲ雙曲線ノ縦距トスレハ

$$\int_0^{t_1} y_1 dt = \int_0^{t_1} y_0 dt = \int_0^{t_1} \left(H_m - \frac{b}{t+d}\right) dt = H_m t_1 - b\,ln\frac{t_1+d}{d} = \text{實際水位曲線ノ面積}(A_q)$$

$$\therefore \quad b = \frac{H_m t_1 - A_q}{ln\left(\dfrac{t_1}{d}+1\right)}$$

然ルニ　$t=0$　ナル時ニ　$y_0 = h_0 = H_m - \dfrac{b}{d}$　ナルヲ以テ

$$b = (H_m - h_0)d \doteqdot H_m d \qquad \text{又ハ} \qquad d \doteqdot \frac{b}{H_m}$$

$$\therefore \quad d = \frac{H_m t - A_q}{(H_m - h_0)\,ln\left(\dfrac{t_1}{d}+1\right)} \qquad \text{及} \qquad a = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\sqrt{\frac{H_m t_1 - A_q}{ln\left(\dfrac{t_1}{d}+1\right)}} \quad \left(\because \quad a = \sqrt{\frac{2}{3}\,b}\right)$$

斯テa b dヲ定ムレハ時刻t_1ニ於ケル浸潤線ハ

$$y = H_m - \frac{b}{t_1+d} - \frac{\dfrac{1}{6}\cdot\dfrac{\lambda}{k}x^2 + a\sqrt{\dfrac{\lambda}{k}}\cdot x}{t_1+d} \quad \left(\because \quad a^2 = \frac{k}{\lambda}\right) \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (8)$$

今浸潤ノ尖端ノy軸ヨリノ距離ヲLトスレハ

$$0 = H_m - \frac{b}{t_1+d} - \frac{\dfrac{1}{6}\cdot\dfrac{\lambda}{k}L^2 + a\sqrt{\dfrac{\lambda}{k}}L}{t_1+d}$$

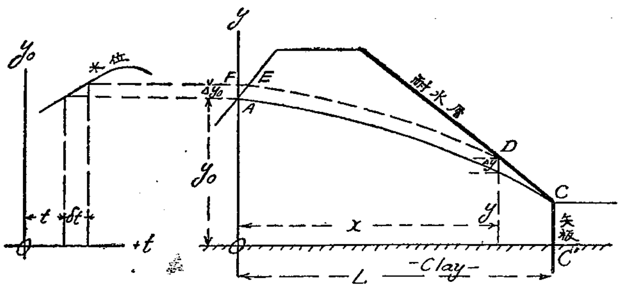
即

$$\frac{1}{6}\cdot\frac{\lambda}{k}L^2 + a\sqrt{\frac{\lambda}{k}}L = H_m(t_1+d) - b \doteqdot H_m t_1 \quad (\because \quad b \doteqdot H_m d)$$

$$\therefore\ L=\sqrt{\frac{k}{\lambda}6H_m t_1+9a^2\frac{k}{\lambda}}-3a\sqrt{\frac{k}{\lambda}}\quad\cdots\cdots(8.)$$

然ルニaハ既知ナルヲ以テ依テLヲ算出シ得ヘシ猶右式ハ運算稍煩雜ナルヲ以テ後節更ニLノ略値ヲ與フル簡單ナル公式ヲ求メントス

第四節　堤ノ内側面不滲透質ナル場合ノ浸潤面



第十圖

堤ノ外側面水ニ接シ若干ノ水量斷エス堤體内ニ流入スル時若シ内側面カ全々水ノ滲出ヲ許サヽル如キ構造ナル時ハ流入セシ水量ハ全部堤内ニ蓄積シ浸潤面ヲ漸次ニ上昇セシメ内側ハ其水壓ニ耐エスシテ遂ニ崩壞スルニ至ルヘシ如斯場合外水面及持續期間ト浸潤面トノ關係ヲ究メンコトハ頗ル困難ナリ然レトモ河水極テ徐々ニ上昇スル場合ニ對シテハ次ノ如キ方法ヲ以テ其大要ヲ知リ得ヘシ第十圖ハ内側面不滲透質ナル土堤ノ斷面及外面ノ水位曲線ナリ而テ$A'C'$ハ地下耐水層CC'ハ矢板工ニシテ滲水ノ漏出ヲ遮斷スルモノトス今水位y_0ニ於テ浸潤線ハ法先Cニ達シ尙水位上昇シツヽΔt時刻ヲ經過スル時ハ外側ヨリ浸入セシ水ハ内部ニ蓄積シテ浸潤面ヲEDニ高ムヘシ若シ浸潤線ハ凡テ抛物線ニ近似セルモノト假定スレハ次ノ如キ計算ヲ施シ得ヘシ

浸潤線ノ等式　$y^2=a(b-x)$　a, bハ時刻ニ從ツテ變化スル係數

AA'面ヨリ流入スル水量$=ky_0i=q$

面積 $ABCDE\fallingdotseq\frac{\Delta y_0+\Delta y}{2}x+\frac{\Delta y}{2}(L-x)=\frac{1}{2}(x\Delta y_0+L\Delta y)$

浸潤線ヲ ED ニ上クル爲メニ要スル水量 $=\frac{\lambda}{2}(x\Delta y_0+L\Delta y)$

$$\therefore\quad q\Delta t=\frac{\lambda}{2}(x\Delta y_0+L\Delta y)$$

$$\therefore\quad x=\frac{2q\Delta t-\lambda L\Delta y}{\lambda\Delta y_0}=\frac{\frac{2}{\lambda}q\Delta t-L\Delta y}{\Delta y_0}\quad\cdots\cdots(9_a)$$

然ルニ q ハ既知ナルヲ以テ Δt ヲ適宜ノ期間ニ採リ Δy_0 ヲ定メ次ニ Δy ヲ假定シテ x ヲ算出シ是ニ由テ逆ニ Δy ヲ算出シ由テ前ニ假定セル値ニ適當ナル補正ヲ加ヘ若干ノ試算ノ後 x 及 Δy ヲ求メ得ヘシト雖モ其運用頗ル煩雜ニシテ實用ニ便ナラス依テ問題ヲ更ニ簡易ナラシメン爲メ y_0 ニ於テ浸潤法先ニ及ヘルモノトシ之ヨリ t 時間後ニ於ケル內側浸潤高ヲ求メン爲メ t 時間中ノ平均水位 H_m カ期間中持續スルモノト考ヘ t 間ニ流入スル水量ヲ求ムルニ

$$Q=vH_mt=ki.H_mt$$

而テ此間ニ堤體內ニ蓄積セラルヽ水量ハ $\frac{\lambda}{2}L\Delta y$ ナリ

依テ

$$\Delta y=\frac{2Q}{\lambda L}=\frac{2ki\,H_mt}{\lambda L}\quad\cdots\cdots(9)$$

右式ニ依テ浸潤ノ大勢ヲ推知スルヲ得ヘシ今一例トシテ第十一圖ノ如キ場合ヲ採ル(圖ハ方眼紙ニ畫クヲ便トス)

$y_0=20'$　　$h=5'$　　$t=\begin{cases}20^{\text{時}}\\10^{\text{時}}\end{cases}$

$H_m=23'3$　　$h=1{\cdot}0$　　$\lambda=\frac{1}{3}$　　$L=84'5$

浸潤面ノ等式　　$y^2=6{\cdot}3(88{\cdot}7-x)$

$\therefore\ i=0{\cdot}132$

$$\varDelta y=\frac{6\times1\times0{\cdot}132\times23{\cdot}3}{84{\cdot}5}\times10^{呎}=2'19$$

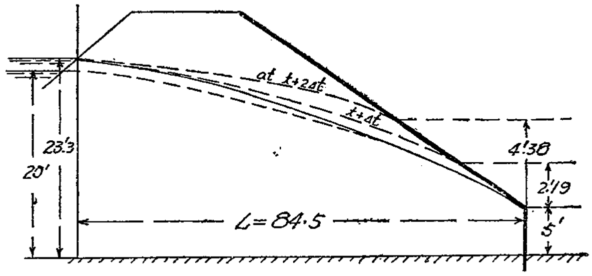
$$\varDelta y=\quad〃\quad\times20^{呎}=4'38$$

即本例ニ於テハ浸潤ハ内法ノ約半ニ及フヲ見ル猶$\varDelta y$ハ高水位持續ノ時間ニ直接比例スルヲ以テ長期ノ洪水ニ接スル堤ニ於テハ内法ノ排水ヲ妨ケサル樣注意ヲ要ス

第五節　第二節ノ場合ニ於テ内側ニ水域在存セサル時

第二節ノ如ク外水面ハ時刻ニ從テ昇降シ而モ内側ニ水域ノ存スルナク陸地ハ等質ノ土砂ヲ以テ半無限(Halbraum)ニ瀰漫スル場合ナリ此場合土砂中ニ於ケル水ノ流動ニ關スル微分方程式ハ全ク第二節ニ於ケルモノト同一ニシテ只環境條件ニ於テ少シク異ナルノミ先ツ平均地下水位ヲ横軸ニ採リ(第十二圖參照)外水面ハ之ヲ中軸トシテ上下ニ同樣ノ變動ヲナスモノトス外水面海灣ニシテ潮汐現象ノ行ハルヽ時ハ水位變動ハ反復スルさいん曲線ヲ以テ現ハシ得ヘク若河水ニシテ洪水現象ニ因ルモノナル時ハ河水カ平均地下水位ヨリ上昇シさいん曲線ノ上半周期ヲ畫クモノト考フヘシ次ニ環境條件ヲ求ムルニ先ツ最初水位カ平均水位ニ在リ將ニ上昇セントスル時ヲ時刻ノ起點ニ採ル此時ニ於テハ内地ノ水面ハ未タ外水面ノ影響ヲ受ケサルヲ以テ

(1)　$t=0$ノ時　　$y=0$　　(xノ凡テノ値ニ對シテ)



第十一圖

次ニ外水昇降ノ影響ハ無限ノ遠距離ニ及フ能ハサルヲ以テ

(2)　$x=\infty$　ニ於テ　$y=0$

而テ外水面昇降ノ條件ハ

(3)　$x=0$　ニ於テ　$y=F(t)$

微分方程式ハ第二節ト同樣

$$\frac{\partial y}{\partial t}=a^2\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(10_a)$$

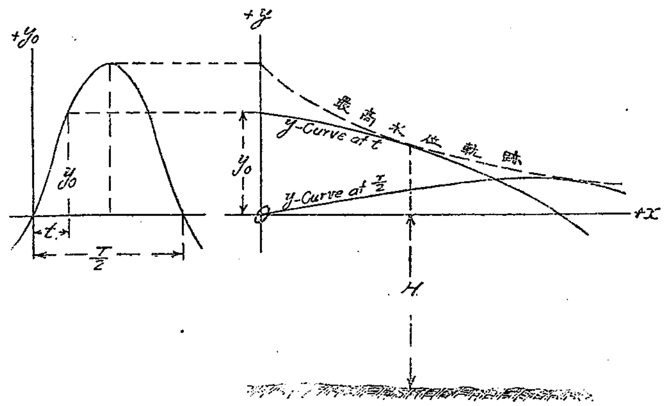
ニシテxノさいん函數ヲ以テ之ヲ滿足セシメ得ヘク猶此場合空間ハ無限ニ亘ルヲ以テyノ形式ハふーりえ氏積分ヲ以テ現ハシ得即

$$y(x)=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty \sin x\beta\, d\beta\int_0^\infty y(\lambda)\sin\beta\lambda\, d\lambda$$

茲ニβ及λハ便宜ノ爲メ一時的ニ用フル補助變數ナリ

同樣ニ

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty \sin x\beta\, d\beta\int_0^\infty \frac{\partial^2 y(\lambda)}{\partial \lambda^2}\sin\beta\lambda\, d\lambda$$



第十二圖

然ルニ

$$\int_0^\infty \frac{\partial^2 y(\lambda)}{\partial \lambda^2}\sin\beta\lambda\, d\lambda=\left|\frac{\partial y(\lambda)}{\partial \lambda}\sin\beta\lambda\right|_0^\infty-\beta\int_0^\infty\frac{\partial y(\lambda)}{\partial \lambda}\cos\beta\lambda\, d\lambda=-\beta\int_0^\infty\frac{\partial y(\lambda)}{\partial \lambda}\cos\beta\lambda\, d\lambda$$

$\because\ \dfrac{\partial y(\lambda)}{\partial \lambda}=\dfrac{\partial y(x)}{\partial x}$　而シテ　$x=\infty$　ニ於テ　速度$=0$　$\therefore\ \dfrac{\partial y}{\partial x}=0$

猶

$$\int_0 \frac{\partial y(\lambda)}{\partial\lambda}\cos\beta\lambda\, d\lambda=\Big\{y(\lambda)\cos\beta\lambda\Big\}_0^\infty+\beta\int_0^\infty y(\lambda)\sin\beta\lambda\, d\lambda=-y(0)+\beta\int_0^\infty y(\lambda)\sin\beta\lambda\, d\lambda$$

$$\because\quad y_{x=\infty}=0 \qquad (\cos\beta\lambda)_{\lambda=0}=1$$

然ルニ　$y(0)=F(t)$　ナルヲ以テ　$\int_0^\infty y(\lambda)\sin\beta\lambda\, d\lambda=\eta$　ト置ケハ

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty \sin x\beta\, d\beta\Big\{\beta F(t)-\beta^2\eta\Big\}$$

同様ニ

$$\frac{\partial y}{\partial t}=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty \sin x\beta\, d\beta\,\frac{\partial\eta}{\partial t}$$

此等ヲ(10_a)ニ入ルレハ次ノ關係ヲ得

$$\frac{\partial\eta}{\partial t}=\alpha^2\Big\{\beta F(t)-\beta^2\eta\Big\}$$

之ヲ積分シテ　$\eta=\alpha^2\beta\int_0^t e^{-\alpha^2\beta^2(t-\lambda)}F(\lambda)d\lambda$　（$t=0$ノ時$\eta=0$ナルヲ以テ積分常數ハ0ナリ）

然ルニ　$\eta=\int_0^\infty y(\lambda)\sin\beta\lambda\, d\lambda$　ナルヲ以テ之ヲ$y(x)$ノ現式ニ入ルレハ

$$y=\frac{2\alpha^2}{\pi}\int_0^\infty F(\lambda)d\lambda\int_0^\infty e^{-\alpha^2\beta^2(t-\lambda)}\beta\sin\beta x\, d\beta$$

然ルニ　$\int_0^\infty xe^{-\alpha^2x^2}\sin bx\, dx=\frac{\sqrt{\pi}\,b}{4\alpha^3}e^{-\frac{b^2}{4\alpha^2}}$　ナル積分公式ニ依リ

$$\int_0^\infty e^{-\alpha^2\beta^2(t-\lambda)}\beta\sin\beta x\, d\beta=\frac{\sqrt{\pi}}{4\alpha^3(t-\lambda)^{\frac{3}{2}}}xe^{-\frac{x^2}{4\alpha^2(t-\lambda)}}$$

$$\therefore\ y=\frac{x}{2a\sqrt{\pi}}\int_0^t F(\lambda)\,e^{-\frac{x^2}{4a^2(t-\lambda)}}(t-\lambda)^{-\frac{3}{2}}d\lambda \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(10_b)$$

次ニ $\frac{x}{4a(t-\lambda)^{\frac{1}{2}}}=\gamma$ ト置ケハ

$$y=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_{\frac{x}{2a\sqrt{t}}}^{\infty}e^{-\gamma^2}F\left(t-\frac{x^2}{4a^2\gamma^2}\right)d\gamma \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(10_c)$$

然ルニ此式ハ外水位ノ變動ヲ近似的ニ現ハシ得ル如キ$F(t)$ノ凡テノ函數形ニ對シテ積分不可能ナリ從テ(10_c)ハ現今ノ數學ニ由リテ到達シ得ル最終最簡ノ解答ニシテ之ヲ實地ニ運用セントセハ與ヘラレタル$F(t)$ノ函數形ニ依リ或xノ値ニ對シ$e^{-\gamma^2}F\left(t-\frac{x^2}{4a^2\gamma^2}\right)$ナル曲線ヲ畫キ其面積ヲ測定シ以テ一點ノ水位變動ヲ推察セサルヘカラサルヲ以テ其應用頗ル困難ナリ由テ右解答ニ含マルヽ理論的意義ヲ摸シテ一ノ簡單ナル公式ヲ假定シ實驗ニ由リテ其係數ヲ定メ水域ニ接近セル部分ニ於ケル地中水位ノ變動ヲ現ハサントス

先ツ外水面變動シ初メテヨリ充分長キ期間ヲ經過シタル狀態ヲ考フル時ハ或點ニ於ケル變動ノ振幅ハ既ニ一定シテtニハ無關係ナルヘシ(10_c)中ノ積分內ノ函數形ヲ見ルニeノ指數ハ$-\gamma^2$ニシテ之ヲγヨリ∞ノ間ニ積分スルヲ以テ其結果ニ對スルγノ影響ハ斯ク大ナラスγノ指數ハ一ヨリ僅ニ大ナルヘシ次ニ位相ノ後レハ$\frac{x^2}{4a^2\gamma^2}$ニシテxニ無關係ナリト雖モγハxヲ含ムヲ以テ之ニ關シテ積分シタル結果ハxヲ含ムヘク且波動傳播ノ一般原則ニ準シ位相ノ後レハxニ比例スト做スヲ妥當トスヘシ尚土質ノ粗密即kノ影響ヲ考フルニ距離ヲ時刻ト同シDimensionタラシムルニハ之ヲ速度ニテ除スヘク然ルニ速度ハkニ比例シ有効距離ハλxニ比例スルヲ以テ結局位相ノ

ノ後レハ$\frac{\lambda x}{k}$ニ比例スヘシ斯クシテ外水面ノ昇降

$$y_0=\frac{H_0}{2}\sin\frac{2\pi}{T}t$$

ヲ以テ現ハサルヽ場合ニ於テハ地中水位ノ運動ハ大體次式ニ依テ表現シ得ヘシ

$$y=\frac{H_0}{2}e^{-c\left(\frac{\lambda x}{k}\right)^n}\sin\left\{\frac{2\pi}{T}\left(t-\mu\frac{\lambda x}{k}\right)\right\}\quad\cdots\cdots(10)$$

C、n、μハ係數

式(10)ハ微分方程式(10_a)ニ對シテ充分ナル解答タル能ハスト雖モ環境條件ノ凡テヲ滿足セシメ得ヘシ

偖テ式中ノ諸係數ヲ決定スルニ充分ナル程度ノ觀測ハ其例稀有ニシテ予ノ知レル範圍ニ於テハ獨國えむでん港ニ於ケル觀測ノミナリ(Dr. W. Kyrieleis :—Grundwasserabsenkung, S. 114)式(10)中nハ一ニ近キノミナラス唯一箇所ノ材料ヲ有スルノミナルヲ以テ之ヲ未知トシテ算定スル能ハス依テ此場合nヲ一ニ等シト考ヘC及μヲ算出セントス

$k\doteqdot 0{\cdot}9$　$\lambda=33\%$　$x=250^{m.}$

(而シ二側面ニ水域アルヲ以テ有効距離ハ　$x\times\frac{\sqrt{2}}{2}$)

九回ノ潮汐ニ於テ

外水ノ滿干差ノ平均$=2{\cdot}87^{m}$　試驗井内ノ滿干差平均$=0{\cdot}581^{m}$

波頂ニ於ケル位相ノ後レ(平均)$=2{\cdot}11$時　波谷ニ於ケル位相ノ後レ$=2{\cdot}07$時

平均位相ノ後レ$=2{\cdot}09$時　波長ノ平均時間$(T)=11{\cdot}25$時

此等ノ材料ヨリ計算スレハ

$$C=0{\cdot}0243 \qquad \mu=0{\cdot}032$$

$$\therefore\ y=\frac{H_0}{2}e^{-0{\cdot}0243\left(\frac{\lambda x}{k}\right)}\sin\left\{\frac{2\pi}{T}\left(t-0{\cdot}032\frac{\lambda x}{k}\right)\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(10_d)$$

然レトモ本公式中ノC、n、μ等ハ猶多數ノ實驗觀測ヲ俟テ初メテ有力ナル數ヲ得ヘキモノニシテ(10_d)ニ與フル所ハ其一例ニ過キス

第六節　浸潤線ノ前進

曩ニ第三節ニ於テ前進シツヽアル浸潤線ノ現式及其前進距離ヲ與フル公式ヲ誘導セシカ其等ハ算定頗煩雜ナル多クノ常數ヲ有シ實際ノ運用容易ナラス依テ種々ノ場合ニ對スル其等ノ常數ヲ豫メ算定シ置キ以テ實算ニ便ナラシメントス

今 $A_q=H_0t$ (H_0 ハ t 期間ノ平均水位), $\frac{H_m-h_0}{H_m-H_0}=\mu$ ト置ケハ

$$d=\frac{t}{\mu\, lm\left(\frac{t}{d}+1\right)}$$

$$\therefore\ \frac{t}{d}=\mu\, lm\left(\frac{t}{d}+1\right)$$

依テμニ種々ノ値ヲ與ヘt/dノ値ヲ求レハ

$\frac{1}{\mu}=$	0·70	0·60	0·50	0·40	0·30
$\frac{t}{d}=$	0·99	1·59	2·50	4·05	6·88

次ニ右ノμ及$\frac{t}{d}$ノ値ニ由テ常數aヲ算出シ依テ以テ前進ノ距離Lヲ算出スレハ

$C=$ 1·84 1·88 1·91 1·96 2·03

$$L=C\sqrt{\frac{k}{\lambda}H_0 t} \quad \cdots\cdots(11_a)$$

Cノ値ハμニ由リテ異リ右表中ニ掲クルカ如シ而テ其變化微少ニシテ平均一·九五ニ近キヲ以テLノ値ハt期間ニ於ケル水位曲線ノ面積ト土質ノミニ由テ定マルモノト考フルヲ得ヘシ是レ第三節ニ於テ雙曲線ノ等式ヲ求ムルニ當リ實水位曲線ト同一ナル面積ヲ有セシメタル所以ナリ依テLハ次式ニ依リテ其略値ヲ算出シ得ヘシ

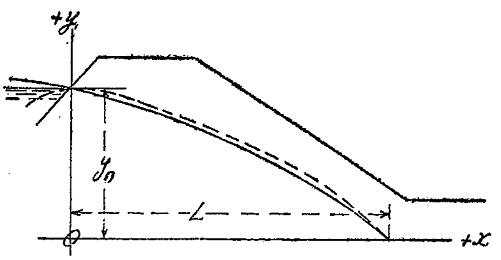
$$L=2\sqrt{\frac{k}{\lambda}H_0 t} \quad \cdots\cdots(11)$$

L……水位H_0ニ於ケル外側水際線ヨリ前進セシ距離

k……地下流流速ノ係數(第一章第二節)

λ……堤土ノ空隙割合

H_0……t期間中ノ平均水位即$H_0 t$ハ水位曲線ノ面積



第十三圖

猶時刻tニ於ケル浸潤線ノ形ハ式(8)ニ依テ算定シ得ヘク第十三圖ニ示スカ如ク垂直軸ヲ有シ$x=0$ $y=y_0$點ヲ通ル拋物線ナリト雖モLカy_0ノ三倍以上ニ達シタル場合ハy_0ニ頂點ヲ有シy軸ヲ軸トシ$x=L$點ヲ通ル拋物線ヲ以テ之ニ代フルモ其偏差微少ナリ由テtニ於ケル浸潤線ノ現式ハ

$$y=y_0\left(1-\frac{x^2}{L^2}\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11_b)$$

(11)及(11_b)ニ依リテ任意時刻ニ於ケル浸潤線ノ位置形狀ヲ確定シ得ルヲ以テ內法面浸潤ノ有無ヲ容易ニ決定シ得ヘシ今試ニ期間tニ對スル平均水位(粘土層上)H_0ヲ二〇尺トシ種々ナル土質及tニ對スルLノ値ヲ算定スレハ次表ノ如シ但シ

土堤ニ於テ　$k=0{\cdot}3$　$\lambda=0{\cdot}3$　$\therefore\ 2\sqrt{\frac{k}{\lambda}}=2{\cdot}0$

細砂堤ニ於テ　$k=1{\cdot}0$　$\lambda=0{\cdot}3$　〃　$=3{\cdot}66$

細礫堤ニ於テ　$k=3{\cdot}0$　$\lambda=0{\cdot}25$　〃　$=6{\cdot}92$

ト假定ス

$$L=2\sqrt{\frac{k}{\lambda}H_0t}$$

t (時間)	10	20	40	100	200	500
土　堤 (尺)	28·2	40·0	56·6	89·4	126·4	200
細砂堤 (尺)	51·7	73·2	104·0	164	232	—
砂礫堤 (尺)	98	138	196	—	—	—

右表ニ由テ觀ルニ本邦ニ於ケル多數ノ河川ノ如ク水位上昇シ始メテヨリ最高ヲ經過シ堤ノ危險ヲ感セサル程度ニ減水スル迄四五十時間ニ過キサル場合ニ馬踏三間兩法二割ノ土堤ヲ採用スルニ於テハ內法浸潤ノ虞少ナシト雖モ長大ナル河川ニシテ期間十數日以上ニ及ヒテハ到底浸潤ヲ防止スル能ハサルヲ識ル而テ砂又ハ砂礫ノ堤防ニ於テハ地下水位低キ場合ノ外浸潤ノ內法ニ波及スルヲ普通トス

猶浸潤線ハ上方ニ凸形ヲ爲スヲ以テ馬踏小ニ内法ノ勾配緩ニ過クル時浸潤法先ニ達セスシテ先ツ法中腹ニ接觸スル場合ナキニアラス此等ニ關シテハ後章更ニ詳述セントス

第三章　浸潤作用ヨリ見タル堤防ノ安定

第一節　土堤浸潤ノ程度

前章ニ於テ水頭ヲ有スル水ノ堤體浸入ニ關シ理論的考察ヲ試ミ略普通土堤ノ浸潤作用ヲ論スルニ必要ナル場合ヲ盡セルヲ以テ以下實際ノ土堤ニ就キ其安定ヲ研究セントス

先ツ堤防ノ浸潤現象ニ就テ考フルニ常時地下水位堤底以下ニ位スル場合ト雖モ土砂ノ毛管作用ニヨリ水面ニ近キ部分ハ濕潤ノ狀態ニ在ルヘク又洪水ニ際シ浸潤堤體内ニ浸入スル場合ニ於テモ浸潤ノ表面外若干ノ部分ハ濕潤狀態ニ存スヘシ然リト雖モ此等吸引作用ニ由ル濕潤ノ範圍ハ數十糎ヲ超ユル事稀ナルノミナラス其上部ハ水分著シク遞減シテ土砂ノ息角ヲ害スル程度ニ達セスG. Wilson氏ノ實驗ニ依レハ砂ニ於テハ含有水分約二割(重量ニテ)ニ達セサル間ハ其固有息角ヲ害スルコトナキヲ示セリ(Minute of I. C. E. vol. 149)從テ浸潤現象ノ波及ヲ論スルニ當リテ毛管作用ヲ無視スルモ大勢ニ影響スル事少ナカルヘシ

土堤ノ外側面ニ接スル河水上昇シ高水位ヲ持續スルニ從ヒ浸潤ハ次第ニ内側ニ接近スヘク堤ノ安定上接近ノ程度ヲ次ノ如ク分別ス

(一)浸潤線内法ニ達セサル場合

(二)浸潤線ノ尖端僅ニ法先ニ達スルモ排水充分ナルカ又ハ減水速カニシテ浸潤線ノ上昇スル虞ナキ場合

(三)浸潤線法面ニ到達シ尚高水ノ持續ニ由リ次第ニ上昇スル傾向アル場合

此等ハ土質、堤形、高水持續期間等ニ由リテ定マル所ナルヲ以テ堤體ノ設計ニ際シテハ宜シク浸潤

線進入ノ程度ヲ究メ之ニ應シテ其寸法ヲ定ムヘキナリ而テ浸潤程度ヲ算定センニハ前章ニ得タル結果ヲ適宜應用スレハ可ナリ即耐水層深ク地下ニ存スル場合(堤底以下數十尺)ニ於テハ式(10)又ハ(10_d)ヲ用ヒ耐水層近ク存在スル場合ハ式(11)ヲ應用スレハ可ナリ次ニ此等ノ應用方法ニ就テ述ヘントス

第二節　浸潤程度ノ算定

先ツ第一ノ場合ニ於テハ水際ヨリLナル距離ニ於ケル水位ノ變動ハ略次式ニ依テ現ハシ得

$$y=H_m e^{-d\left(\frac{\lambda L}{k}\right)^n}\sin\left\{\frac{2\pi}{T}\left(t-\mu\frac{\lambda L}{k}\right)\right\}\qquad H_m\text{……最高水位}$$

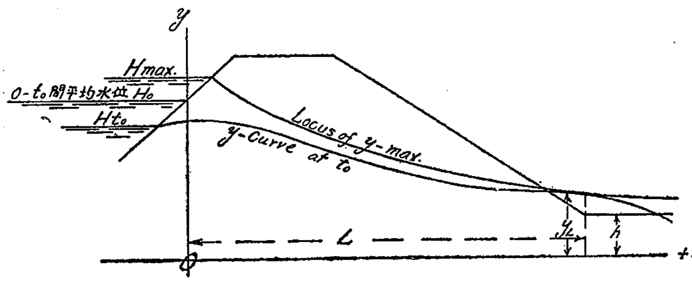
C、n、μ等ヲ決定スルニハ多クノ實地觀測ヲ要スヘシト雖モ假ニえむてんノ實例ニ由テ定メタル値ヲ用フレハ

$$y=H_m e^{-0\cdot0243\frac{L}{k}}\sin\left\{\frac{2\pi}{T}\left(t-\frac{0\cdot032L\lambda}{k}\right)\right\}$$

第十四圖ニ於テOxヲ地下水位(又ハ河川ノ常水位)ニ採リ岸面ヲOyニ採リ堤内法先ハ$x=L$, $y=h$ニ在ルモノトセハLニ於ケル水位カhヲ超ユヘキヤ否ヤニ依テ法面ノ浸潤スルヤ否ヤヲ定メ得ヘシ而テ此場合yノ振幅ハ$e^{-d\left(\frac{L}{k}\right)^n}$ニ比例スルヲ以テ浸潤線カ法先ニ達セサル以前ニ中腹ニ接スルノ虞ナシ今$y_{x=L}$ノ最大ヲ求ムルニ其時刻t_0ハ

$$\frac{2\pi}{T}\left(t_0-\frac{0\cdot032L\lambda}{k}\right)=\frac{\pi}{2}\qquad\text{又ハ}\qquad t_0=\frac{T}{4}+0\cdot032\lambda\frac{L}{k}$$

即最高水位ヲ後ルヽ事$\frac{0\cdot032L\lambda}{k}$時ニシテ起リ$y$ノ値ハ$H_m e^{-0\cdot0243\frac{L\lambda}{k}}$ナリ



第十四圖

依テ

$$y_x = H_m e^{-0.0243\frac{\lambda}{k}} \quad \cdots\cdots(12)$$

$$\left.\begin{array}{l} y_x < h \cdots\cdots \text{浸潤程度}\ (1) \\ y_x = h \cdots\cdots \quad \text{同　上}\ (2) \\ y_x > h \cdots\cdots \quad \text{同　上}\ (3) \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(12_a)$$

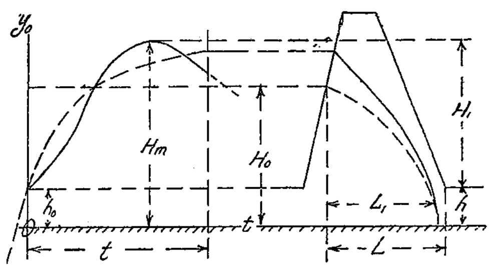
次ニ第二ノ場合ニ於テ式(11)ヲ適用セントセハ先ツ内法先ヨリ耐水層迄ノ深(第十五圖ニ於テh)、堤體ノ寸法、堤土ノk及λ、河水ノ水位曲線等ヲ準備シ是ニ由テ各時刻ニ於ケル浸潤線ノ位置ヲ求メ依テ以テ最危險ノ場合ヲ求メ得ヘシト雖モ其運算ニ多クノ手數ヲ要シ頗ル不便ナルノミナラス普通堤ノ最大接水高(H_1)ノ七割乃至八割以下ニ減水シタル後堤體ノ崩壊スル事稀ナルヲ以テ$\frac{3H_1}{4}$ニ減水シタル場合ヲ採リ此時ニ於ケル浸潤線ノ位置ニ依リテ堤ノ安定ヲ定ムルヲ便ナリトス

H_0……$y_0=h$ ヨリ減水時ニ於ケル $y_0=\frac{3}{4}H_1+h$ 迄ノ平均水位

t……同上ノ期間(時)

L……$y_0=H_0$ ニ於ケル水際線ヨリ内法先ニ至ル距離

L_1……H_0 ニ對スル浸線ノ前進距離



第十五圖

式(11)ニ由リ

$$L_1 = 2\sqrt{\frac{k}{\lambda}H_0 t} \quad \cdots\cdots(13_a)$$

此場合ニ於ケル浸潤線ノ形ハ

$$y=H_m\left(1-\frac{x^2}{L_1^2}\right)\qquad H_m\text{……最高水位}\;\cdots\;\cdots\;\cdots(13_b)$$

而テ $x=L$ ニ於ケル浸潤線ノ高 y_1 ハ

$$y_1=H_m\left(1-\frac{L^2}{L_1^2}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13_c)$$

L ト L_1 トノ大小及 h ト y_1 トノ大小ニ由リテ法先ノ浸潤スヘキヤ否ヤヲ知ルヘシ次ニ浸潤未タ法先ニ達セスシテ先ツ中腹ニ接スル場合ナキニアラス是ハ(13_b)ノ現ハス拋物線カ法面線ニ交ハルヤ否ヤニ由テ定マル今(第十六圖)法面ヲ延長シテ横軸ニFニ於テ交ハラシメ$\overline{OF}=B$ト置キ法ヲn割トスレハ

法面線ノ現式

$$x_1=B-ny_1$$

線ト(13_b)トノ交點ヲ求ムルニ

$$B-x=nH_m\left(1-\frac{x^2}{L_1^2}\right)$$

$$\therefore\quad x=\frac{\frac{L_1^2}{nH_m}\pm\sqrt{\left(\frac{L_1^2}{nH_m}\right)^2-4L_1^2\left(\frac{B}{nH_m}-1\right)}}{2}$$

$$\therefore\quad \left(\frac{L_1^2}{nH_m}\right)^2>4L_1^2\left(\frac{B}{nH_m}-1\right)\cdots\cdots\text{二線交ハル}$$

$$\text{〃}\qquad=\qquad\text{〃}\qquad\text{二線相接ス}$$

$$\text{〃}\qquad<\qquad\text{〃}\qquad\text{二線交ハラス}$$

即 $B-nH_m=b_1$ (有効馬踏)ト置ケハ

$$b_1<\frac{L_1^2}{4nH_m}\text{、潤線法面ニ交ハル}$$

$b_1=$ 〃 〃 浸潤線法面ニ接ス

$b_1>$ 〃 〃 浸潤線法面ニ達セス

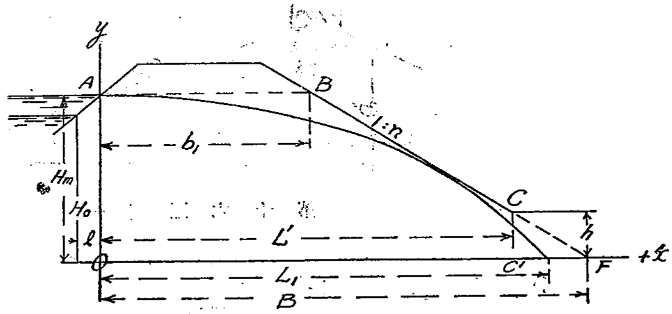
而テ右條件式中ニハ交點CF部ニ存在スル場合ヲモ包含セリ依テ交點カBC內ニ存スル場合ノミヲ取ランニ $x>L'$ ナレハ交點ハBC部ニ在リ而テ此場合xノ小ナル値ニ由テ比較スレハ足ルヲ以テ

$$x=\frac{L_1^2}{2nH_m}\left(1-\sqrt{1-\frac{4nH_mb_1}{L_1^2}}\right)>L' \quad (L'=L-l)$$ ナラハ法面ニ於テ交ハラス

依テ浸潤面カ法先ニ達セスシテ先ツ法中腹ニ達スヘキ條件ハ

$$b_1<\frac{L_1^2}{4nH_m} \quad 及 \quad \frac{L_1^2}{2nH_m}\left(1-\sqrt{1-\frac{4nH_m}{L_1^2}b_1}\right)<L' \quad \cdots\cdots(13_d)$$

今一例ヲ揭ケテ斯ル場合ノ可能ナルヲ示サンニ第十六圖ニ於テ



第十六圖

$L'=70'$　$H_m=20'$　$h=5'$　$L_1=80'$

(1)　$b_1=25'$　$n=3$　$\therefore\ b_2=3\times20=60'$

$$\frac{L_1^2}{4nH_m}=\frac{\overline{80}^2}{4\times3\times20}=26'\cdot7>b_1=25'$$

$$y_1=H_m\left(1-\frac{L'^2}{L_1^2}\right)=20\left(1-\frac{\overline{70}^2}{\overline{80}^2}\right)<h=5'$$

$$\frac{L_1^2}{2nH_m}\left(1-\sqrt{1-\frac{4nH_mb}{L_1^2}}\right)=\frac{\overline{80}^2}{2\times3\times20}\left(1-\sqrt{1-\frac{4\times3\times20\times25}{\overline{80}^2}}\right)<70$$

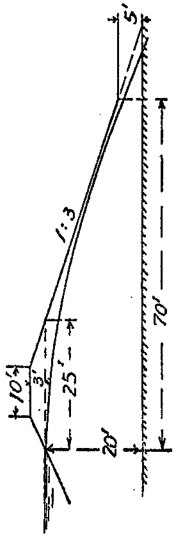
ニシテ浸潤ハ先ツ中腹ニ達スヘシ今同一堤幅(L')ヲ用ヒ馬踏ヲ大ニシ法ヲ急ニスル時ハ

(2)　$b_1=36'$　$n=2\cdot2$　$b_2=2\cdot2\times20=44$

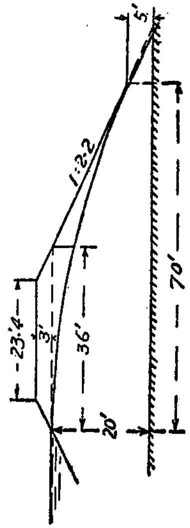
$$\frac{L_1^2}{4nH_m}=\frac{\overline{80}^2}{4\times2{\cdot}2\times20}=36'{\cdot}4>b_1=36'$$

然ルニ

$$\frac{L_1^2}{2nH_m}\left(1-\sqrt{1-\frac{4nH_mb_1}{L_1^2}}\right)=\frac{\overline{80}^2}{2\times2{\cdot}2\times20}\left(1-\sqrt{1-\frac{4\times2{\cdot}2\times20\times36}{\overline{80}^2}}\right)=72'>L'=70'$$



第十六圖其一



第十六圖其二

即此場合ハ交點CF間ニ在スルヲ以テ法先ニ先ンシテ中腹ノ浸潤スル虞ナシ今堤頂ハH_m以上三尺ノ餘裕ヲ有スルモノトシテ此等兩種ノ堤形ヲ圖示スレハ第十六圖其一及同其二ノ如シ猶此等ノ關係ヲ今一層簡單ニ概略的ニ現ハサン爲メxノ現式ヲ採リ其開平記號內ノ項カ負ナル時ハ交點存在スル能ハサル事實ヨリ

$$b_1>\frac{L_1^2}{4nH_m}\cdots\cdots\text{交ラス}$$

此條件ハ右邊ニ尙一層大ナル量ヲ置換スルモ差支ナク然ルニn著シク大ナル場合ノ外$C'F$ハb_1ヨリ小ナルヲ以テ通常 $B>L_1$ 又ハ $b_1+nH_m>L_1^2$

$$\therefore\quad \frac{L_1^2}{4nH_m}<\frac{(b_1+nH_m)^2}{4nH_m}=\frac{1}{4}\left(nH_m+2b_1+\frac{b_1^2}{nH_m}\right)\fallingdotseq\frac{1}{4}\left(nH_m+2b_1+\frac{b_1}{n}\right)$$

$$\therefore\quad 2b_1>nH_m+\frac{b_1}{n}\cdots\cdots\text{交ハラス}$$

又ハ

$$b_1 > \frac{nH_m}{2-\frac{1}{n}} \quad (\text{尚一層概略的ニ}) \quad b_1 > \frac{nH_m}{2} \text{……交ハラス……………} \quad (13_e)$$

即チ極テ概略的ニ云ヘハb_1カ$\frac{nH_m}{2}$ヨリ大ナル場合ハ浸潤先ツ中腹ニ及フノ憂ナクb_1カ$\frac{nH_m}{2}$ヨリ小ナル場合ニ於テノミ式(13_d)ノ試算ヲ要スルモノトス

由テ前節ニ掲ケタル浸潤程度ヲ數式ヲ以テ現ハセハ

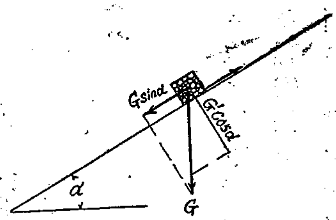
$$\left.\begin{array}{ll} y_1 < h \ (\text{又ハ近似的ニ}\ L_1 < L) \ \text{及}\ b_1 > \dfrac{L_1^2}{4nH_m} \text{…………} & \text{浸潤程度 (1)} \\ y_1 = h \ (\text{又ハ近似的ニ}\ L_1 = L) \ \text{及} \quad \text{〃} & \text{同　上 (2)} \\ y_1 > h & \\ \quad b_1 < \dfrac{L_1^2}{4nH_m} \ \text{及} \ \dfrac{L_1^2}{2nH_m}\left(1-\sqrt{1-\dfrac{4nH_m}{L_1^2}}\right) < L' \text{…………} & (3) \\ \text{又ハ} & \\ \quad (L' = L - l) & \end{array}\right\} \text{……………} (13_d)$$

式(13)ニ依テ地下耐水層近キ場合ニ於ケル内法浸潤ノ難易ヲ考フルニ堤體全體ニ厚ク内法面河水ニ遠キ程安全ナルハ勿論ナルモ出水急ニシテH_m大ナル割合ニL_1大ナラサル場合ハ先ツ中腹ニ於テ浸潤スル虞アルヲ以テ緩法即nノ大ナルハ何等ノ利益ナク廣キ馬踏又ハ稍高キ小段ニ依リテ接觸ヲ避クルヲ可トス此事實ハ洪水期短クシテ厚キ堤體ニ由リ内法ノ浸潤ヲ全々回避シ得ルカ如キ本邦河堤ニ於テ割合ニ馬踏大ニ法急ナル堤形ヲ採用スル事ノ有利ナルヲ理論上ヨリ證明スルモノナリ

第三節　濕潤セル土砂ノ息角

土砂ノ空隙中ニ水分浸入シ其一部又ハ全部ヲ充タシタル場合ニ於ケル土砂ノ息角ヲ求メントス

從來ノ觀測實驗ニ依レハ濕潤ノ程度輕キ間ハ水ノ凝集力ノ作用ニ依リ却テ息角ヲ大ナラシムト雖モ濕潤漸ク甚シキニ及ヒテハ附着力ハ土粒間ノ摩擦減少ニ依リテ打消サレ息角ハ次第ニ小トナルノ事實ヲ知レリト雖モ其減少程度ニ關シテハ未タ簡明ナル算法ナシ今濕潤セル土砂カαナル傾斜ヲ爲シ其最上層ノ土砂カ將ニ滑落セントシテ僅ニ停止セル場合ヲ採リ(第十七圖)最上層ノ微容積ノ平衡ヲ考フルニ



第十七圖

γ=水ノ單位容積ノ重量

γ_0=土砂實質ノ單位容積ノ重量

λ=空隙ノ割合

λ_1=單位容積中ノ水分ノ容積

(浸潤狀態ニ於テハ $\lambda_1=\lambda$)

トシテ微容積ノ重量Gヲ求ムレハ

$$G=\{(1-\lambda)\gamma_0+\lambda_1\gamma\}\,\delta x\,\delta y\,\delta z$$

次ニ水中ニ於ケル土砂實質ノ重量(G')ハ水ノ浮力ニ依テ多少減少スヘク其割合ハ濕潤ノ程度ニ比例スルモノト假定スレハ

$$G'=(1-\lambda)\left(\gamma_0-\frac{\lambda_1}{\lambda}\gamma\right)\delta x\,\delta y\,\delta z$$

ナリ而テ滑落ノ方向ニ働ク分力ハ $G'\sin\alpha$ ニシテ之ニ耐抗スルモノハ土砂粒間ノ摩擦及水ノ凝集力ナリ然ルニ凝集力ハ削離ノ面積ノミニ比例スルヲ以テ厚層ヲ爲ス土砂ノ平衡ニ於テハ之ヲ無視スルヲ可トス而テ摩擦ハ接面濕潤ノ爲メ乾燥セル場合ニ比シ多少ノ減少アルヘク其程度ハ土質ニ依リ同シカラス(余ノ觀測ハ第五節ニ在リ)今乾燥狀態ニ於ケル摩擦係數ヲμトシ濕潤セル場

合ヲ μ_1 トスレハ微容積平衡ノ等式ハ

$$G\sin\alpha=\{(1-\lambda)\gamma_0+\lambda_1\gamma\}\delta x\ \delta y\ \delta z\ \sin\alpha=\mu_1(1-\lambda)\left(\gamma_0-\frac{\lambda_1}{\lambda}\gamma\right)\delta x\ \delta y\ \delta z\ \cos\alpha$$

$$\therefore\ \tan\alpha=\mu_1\frac{(1-\lambda)\left(\gamma_0-\frac{\lambda_1}{\lambda}\gamma\right)}{(1-\lambda)\gamma_0+\lambda_1\gamma}\quad\cdots\cdots(14)$$

今乾燥セル土砂ノ息角ヲ φ トスレハ $\mu=\tan\varphi$ ナルヲ以テ $\mu_1=m\tan\varphi$ (m=係數) ト置ケハ

$$\tan\alpha=m\frac{(1-\lambda)\left(\gamma_0-\frac{\lambda_1}{\lambda}\gamma\right)}{(1-\lambda)\gamma_0+\lambda_1\gamma}\tan\varphi=mK\tan\varphi\quad\cdots\cdots(14_a)$$

$$K=\frac{(1-\lambda)\left(\gamma_0-\frac{\lambda_1}{\lambda}\gamma\right)}{(1-\lambda)\gamma_0+\lambda_1\gamma}$$

(14_a) ニ於テ $\lambda_1=\lambda$ ト置ケハ水分カ空隙ヲ完全ニ充塡セル場合即浸潤土砂ノ安全勾配ヲ得ヘシ

即

$$\tan\alpha=m\tan\varphi\frac{(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)}{(1-\lambda)\gamma_0+\lambda\gamma}$$

今濕潤セル場合ノ息角ノ正切 ($\tan\alpha$) ヲ濕潤安全勾配ト名ツクレハ該勾配ハ常態ニ於ケル安全勾配ニ土質ニ依ル係數 mK ヲ乘シタル形ヲ以テ現ハシ得ヘシ今種々ノ場合ニ於ケル mK ノ値ヲ算出スレハ大體次表ノ如シ

	砂礫	細砂	壤土	粘土
$\gamma_0/\gamma=$	2·5	2·5	2·4	2·2

	砂礫	細砂	壤土	植土
λ=	0·3	0·3	0·33	0·35
m=	1·0	1·0—0·8	0·8—0·7	0·8—0·6
(1) $\lambda_1/\lambda=1/2$	0·88	0·88—0·62	0·58—0·50	0·55—0·41
(2) 〃 =3/4	0·62	0·62—0·50	0·46—0·41	0·45—0·34
(3) 〃 =1	0·51	0·51—0·41	0·39—0·34	0·35—0·27

依テ堤土ノ乾燥狀態ニ於ケル安全勾配ヲ一割乃至一・二五割トシ各濕潤程度ニ對スル安全勾配ヲ算出スレハ大略左ノ如シ

	砂礫	細砂	土
(1) 稍濕潤セル場合		1·6—2·0	2·0—2·5
(2) 強度ノ濕潤狀態	1·7—2·0	2·0—2·5	2·5—3·5
(3) 浸潤狀態	2·0—2·5	2·5—3·0	3·0—4·0

……(15)

第四節　外法面ノ安定

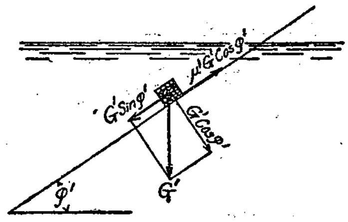
外法面ノ安定ハ主トシテ水勢ノ直接作用ニ依ルモノナルヲ以テ本文ノ論題ト相關スル事深カラス然レトモ浸潤ニ依ル法面安定ノ如何モ亦決シテ輕視スヘキニアラス土堤ハ通常張芝張石等ニ依リテ被覆保護セラルト雖モ法カ浸水セル堤土ノ息角ヨリ急ナル傾斜ヲ有スル時ハ被覆層ニ對シテ若干ノ水平土壓ヲ作用セシムヘシ而テ法面宏キ程下部ニ於ケル土壓ハ益々大ナルヲ以テ張芝ハ勿論張石ト雖モ其構造貧弱ナルモノニ在リテハ之ニ耐抗スルコト困難ナルヘシ故ニ此等ノ被覆工ハ單ニ水流ノ激突削剝等直接作用ニ對シテノミ有效ナルモノト考ヘ法面ハ浸水セル場合ニモ猶自ラ其傾斜ヲ支持シ得ル如ク設計スルヲ宜シトス而テ充分ナル裏込ヲ有スル堅固ナル石

張工ヲ用ヒテ急勾配ヲ支持セントセハ豫メ浸水セル堤土ノ土壓ヲ算定シ一般土留石垣ノ方針ニ由リテ之ヲ設計スルヲ可トス偖テ外法ハ洪水ニ際シ全々水中ニ沒スルヲ以テ其場合ノ安全勾配ヲ求ムルニ第十八圖ニ於テφ'ヲ水中ニ於ケル息角トスレハ前二節ノ如ク

$$(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)\sin\varphi'=\mu'(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)\cos\varphi'$$

μ'……水中ニ於ケル摩擦係數

$$\therefore \tan\varphi'=\mu'$$



第十八圖

而テ水中ニ於ケル摩擦係數ヲ乾燥セル場合ニ比スルニ砂礫ニ於テハ大差ナキモ微細粒ノ土砂ニ於テハ一般ニ多少減却アリ余カ完全ニ靜止セル水中ノ土砂ニ就キ傾斜ヲ觀測シ更ニ之ヲ乾燥シテ靜ニ撒出シ其法勾配ヲ測定セシニ

	水中	乾燥(平均)
微細砂(植物質ヲ含マス)	1.7—1.8割	1.45割
細砂	1.5—1.6	1.4

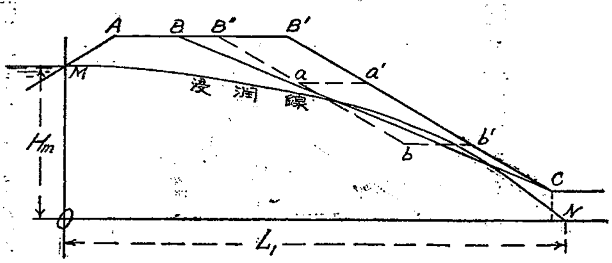
而テ減却ノ程度ハ土質ニ依リテ變化アルヘシト雖モ普通土砂ニアリテハ水中ニ於テ摩擦抵抗ノ平均一割乃至三割ヲ失フヘク其程度ハ粒微細ニ比重低キ程大ナルヘシ依テ外法面ヲ充分安固ナラシメンニハ土堤ニ於テハ二割以上砂礫堤ニアリテハ一割五分以上ノ法ヲ必用トスヘシ猶外法ニ設ケタル粘土心ハ其耐水性ニ依リテ堤體ノ浸潤ヲ防止スルノ效大ナリト雖モ高水長期ニ亘ル時ハ粘土ト雖モ浸潤ヲ免ルヽ能ハス爲ニ自身ノ位置ヲ保チ得サルニ至ルヲ以テ之ニ賴リテ外法ノ勾配ヲ急ナラシムルハ危險ナリト云フヘシ

第五節　浸潤セサル内法ノ安定

浸潤ノ内法面ニ達スヘキヤ否ヤハ式(12)及(13)ニ依テ算定スルヲ得ヘク即次ノ條件ヲ滿足スル時ハ其虞ナシ

地下耐水層深キ場合　$y<h$　（第二節參照）

地下耐水層堤底ニ接近セル場合　$y_1<h$　又ハ　$b_1>\frac{L_1^2}{4nH_m}$　（同）



第十九圖

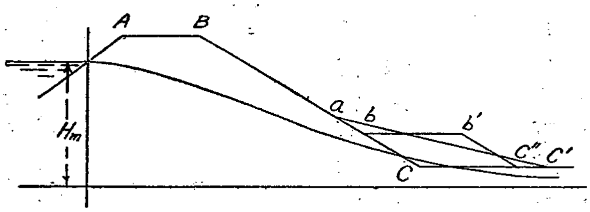
但シ第一ノ場合ニ於テモ内法先ニ排水溝(開溝又ハ盲溝)ヲ設クル場合ハ第二ノ場合トシテ取扱フヲ安全ナリトス

内法面浸潤セサル場合ニ於テハ其傾斜ヲ堤土固有ノ永久的安全勾配以下タラシムレハ可ナリ然レトモ法先ニ接近シテ水域ノ存在スル場合ハ法ノ下端ハ強度ノ濕潤狀態ニ在ルヲ以テ其勾配ヲ濕潤安全勾配(第三節(15)ノ(2)即砂礫堤ニ對シテハ二割以上土堤ニ於テハ二割五分以上ノ法ヲ用フルヲ良シトス而テ前記條件式ノ兩邊殆ト相等シキ場合ハ法面下部ノ濕潤ヲ豫期セサルヘカラス即堤内水域ノ有無ニ係ラス法下部ヲ充分緩ナラシムル必要アルヘク若シ浸潤線法中腹ニ接近セル時ハ中腹以下ノ勾配ヲ緩ナラシムヘシ

而テ此等ノ場合法下端ニ砂礫ヲ入レ換フルハ排水ヲ助ケ中腹ノ濕潤ヲ輕減シ得ルノミナラス自身ノ濕潤息角大ナルニ由リ法先ノ安定ヲ増大セシムル事大ナリ

猶法面ノ浸潤ヲ避ケンカ爲メ堤幅(L)ヲ増大スル場合ニ馬踏ヲ擴クヘキ

カ法ヲ緩ニスヘキカハ頗ル重大ナル問題ニシテ地盤軟弱ナラサル場合ニ於テハ一ニ浸潤線ノ形



第二十圖

狀ニ依テ決定スヘキナリ即粘土盤堤底ニ接近セル時又ハ法先ニ排水溝ヲ設クル時ハ浸潤線ハ上方ニ凸形ヲ爲スヲ以テ法ハ濕潤程度ニ對シテ必要ナル勾配ヲ用ヒ堤幅ハ馬踏又ハ高キ小段ニ依テ之ヲ擴ムルヲ可トス此場合小段ニ依ル方一般ニ土坪ヲ減シ得ト雖モ其位置低キニ過クル時ハ却テ浸潤線ニ接近セシムル虞アリ今第十九圖ニ就テ之ヲ説明センニMNヲ浸潤線トスレハ高キ小段ヲ有スル$AB''aa'C$形ハ最モ有利ニシテ過緩ナル法ヲ有スルABC及低キ小段ヲ有スル$AB''bb'C$等ハ危險ナル堤形ナリ之ニ反シテ地下耐水層深キ場合ハ浸潤線ハ上方ニ凹形ヲ爲シ中腹浸潤ノ惧少ナキヲ以テ法下端ヲ緩ナラシムルカ法先ニ小段ヲ設クレハy_1ヲhヨリ小ナラシムル上ニ於テ頗ル有効ナリ

而テ以上ノ論定ハ法面ノ浸潤ヲ回避シ得ル場合ニ對スルモノニシテ洪水長期ニ亘ルカ用土砂礫質ニシテ到底內法ノ浸潤ヲ免レサルモノ又ハ地盤軟弱ナル所ニ於テハ別ニ考究セサルヘカラス

猶法面ニ於ケル張芝等ノ被覆工ハ風雨ノ直接作用及ヒ不測ノ缺點ニ對スル保護ト見做シ堤體ノ設計ニハ之ヲ見込マサルヲ宜シトス

第六節　浸潤セル內法ノ安定

內法浸潤ノ條件ハ

一、地下耐水層深キ場合　$y>h$　（本章第二節參照）

二、地下耐水層堤底ニ接近セル場合　$y_1>h$　又ハ　$b_1<\frac{L_1^2}{4nH_m}$　及　$\frac{L_1^2}{2nH_m}\left(1-\sqrt{1-\frac{4nH_mb_1}{L_1^2}}\right)<L'$　（同）

ニシテ其波及スル範圍ハ兩邊ノ差ノ大小ニ依リy又ハy_1カhヲ超ユル事大ナラサル場合ハ浸潤ハ法ノ下端ニ止マルヘク其差大ナルカ又ハ中腹浸潤スル時ハ法下半部ノ浸潤ヲ豫期セサルヘカラス而テ此等浸潤部ニ對シテハ浸潤安全勾配即砂礫堤ニ於テハ二割五分土堤ニ於テハ三割以上ヲ緩法トナスヲ要ス一般ニ法面浸潤スル場合ニ於テハ法先ノ排水最モ肝要ニシテ若シ之ヲ妨クルカ如キ工法ヲ用フルニ於テハ浸潤面ハ第二章第四節ニ論セシ如ク法面ニ添フテ容易ニ上昇シ下端ニ危險ナル水壓ヲ作用セシムヘシ故ニ浸潤長期ニ亘ルモノニアリテハ法ヲ緩ナラシムルノミナラス法先ニ排水溝(開溝又ハ盲溝)ヲ設ケテ滲出水ノ排出ヲ促スヘシ而テ該溝ノ所要疎通力ヲ算定スルニハ最高水位カ暫時持續スルモノト考ヘ式(4_a)ヲ應用スヘク即

堤防ノ單位長(尺)ヨリ滲出スル流量(每時立方尺)　$q=\frac{3}{4}\cdot\frac{k}{L'}(H^2-h^2)$

延長　s尺　ヨリ滲出スル流量　(同)　$Q=qs$

茲ニ　h……排水溝ノ水深　　H……溝底ヨリ計リタル最高水位

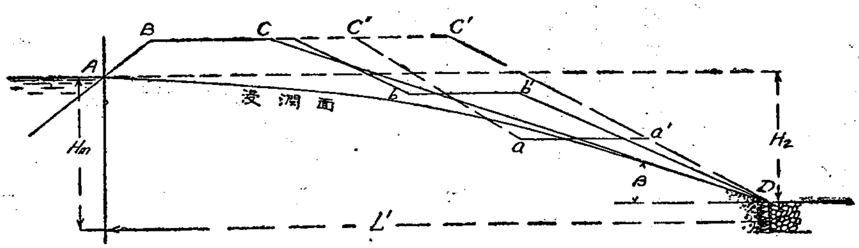
L'……Hニ對スル水際線ヨリ溝岸ニ至ル水平距離

而テ內側ニ排水溝ヲ設クル時ハ耐水層ノ位置ニ係ラス浸潤線ハ上方ニ凸形ヲ爲スヲ以テ式(11_b)ト同一性質ノ曲線ト見レハ安全ニシテ且實狀ニ近キヲ以テ其式ハ

$$y=H_m-(H_m-h)\frac{x^2}{L'^2}$$

L'ハ最高水位ノ水際線ヨリ溝岸ニ至ル水平距離

ニシテ法下端ニ於ケル水面勾配カ法ノ浸潤安全勾配ヨリ急ナルハ法ノ安定ヲ期シ難キノミナラスL'ノ小ナルハ滲水ノ流速ヲ大ナラシメ堤土ヲ洗流スルノ危險ヲ生ス故ニ斯ル場合法面ノ安定ヲ期センニハ堤幅(L)ヲ出來得ルタケ大ナラシメ法下半ヲ用土ノ安全浸潤勾配ヨリ緩ナラシムル



第二十一圖

ヲ要ス而テ馬踏ヲ大ナラシムルハ通常土量ヲ増加スルニ過キサルヲ以テ其幅員ハ水防交通將來ノ嵩置等ノ爲メニ必要ナル程度ニ止ムルヲ利トス若シ法先浸潤部ヲ砂礫ヲ以テ置換ヘ法面ノ安全勾配ヲ大ナラシメ法ノ上部ニ小段ヲ設クル時ハ浸潤區域ヲ縮少セシメ得ヘシ(第二十一圖參照)然レトモ小段ノ位置低キニ過クル時ハ(堤形 $ABC''aa'D$)法面ヲ浸潤線ニ接近セシムルヲ以テ有害ナリ通常最高水位ヨリ最大接水高(H_2)ノ$\frac{1}{4}$以上低カラサルヲ宜シトス

第七節　軟弱ナル地盤上ノ築堤

軟弱ナル地盤上ニ築堤スル時ハ堤底ニ於ケル土砂ノ支持力ニ不同ヲ生シ一般ニ堤心ニ大ニ外部ニ小ナルヘシ中央ノ軌道ヨリ撒出シニ由リテ築堤スル場合特ニ然リトス斯如キ堤土カ洪水ニ際シテ濕潤スル時ハ堤底ニ作用スル壓力著シク強大不同トナリ支持力充分ナラサル部分ニ於テ遂ニ沈下陷沒等ヲ惹起スルニ到ルヘシ而テ堤底ニ於ケル支持力ノ分布ヲ推定シ堤體浸潤ノ狀況ヲ假定スル時ハ此等沈下陷沒ノ有無ヲ略推定シ得ヘシ

今一例トシテ中央ノ軌道ヨリ撒出シニ由リテ築堤セル場合ノ支持力ノ分布ヲ求メンニ此場合中央部ハ動荷重ノ作用ニ由リテ著シク支持力ヲ増加スト雖モ兩法底ニ於テハ僅カニ直上ノ土砂重量ト平衡スルニ止マルヘシ(第二十二圖參照)

γ_0' ＝土砂單位容積ノ重量(實質ノ單位容積ニアラス)

$h\gamma_0'$ ＝兩法底ニ於ケル支持力ノ餘裕

q＝動荷重ニ依ル支持力ノ增加

又ハ中央部單位面積ニ對スル動荷重

Z＝堤底ヨリ計リタル堤表面ノ高

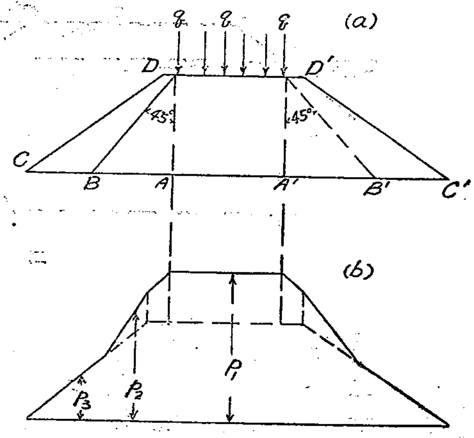
(AA')中央部ニ於ケル支持力$=(Z+h)\gamma_0'+q=p_1$ ……(16_a)

$(CB$及$C'B')$兩側ニ於ケル　同上　$=(Z+h)\gamma_0'\quad=p_2$ ……(16_b)

尙堤頂ニ於ケル動荷重ハ約四十五度ノ開キヲ以テ地下ニ傳播スト考ヘ得ルヲ以テ

$(AB$及$A'B')$法肩底部ノ支持力$=(Z+h)\gamma_0'+q\left(1-\frac{x}{AD}\right)=p_3$ ……(16_c)

依テ支持力ノ分布ヲ圖示スレハ大體第二十二圖(b)ノ如カルヘシ



第二十二圖

次ニ濕潤ニ因ル荷重ノ變化ヲ考フルニ浸潤線內法ニ達スル場合其上部若干ハ毛管作用ニ依リテ濕潤スヘク高水ノ持續長キニ亘ルニ從ヒ其厚サ及水分ハ漸次增加スヘシ而テ其程度ニ由リテ堤底ニ作用スル荷重ニ强弱アリト雖モ之ヲ正確ニ算定スルハ困難ナルノミナラス一方堤底ノ支持力ハ荷重ニ對シテ若干ノ餘裕ヲ必要トスヘキヲ以テ濕潤作用ノ極度ニ波及セル場合ヲ豫想シ浸潤面ヨリ堤面ニ至ル間土砂空隙ノ全部ハ水分ニ依テ充塡サレ然モ壓力ノ傳達不能ナルモノト假定ス第二十三圖ニ於テMNハ浸潤面ニシテ是以下ニ於テ土砂ハ該面ヨリノ深サニ相當スル浮力ヲ受クヘシ而テ其上側$MNKL$部ハ完全ニ濕潤セル部分ニシテ土砂ハ浮力ノ作用ヲ受ケス今

y_1……堤底ヨリ浸潤面迄ノ高

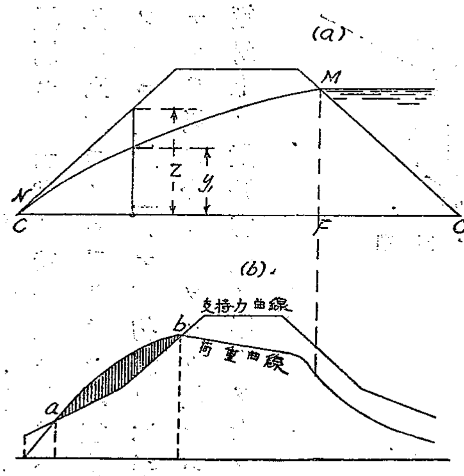
γ……水單位容積ノ重量

トスレハ堤底各部ニ作用スル荷重ノ强サハ次ノ如シ

$C-F$ 部ニ對スル荷重ノ強サ $\omega_1=Z\gamma_0'+\lambda Z\gamma-y_1\gamma=Z\gamma_0'+\gamma(Z\lambda-y_1)$ …… …… …… ……(17_a)

$F-C'$ 同　上 $\omega_2=Z\gamma_0'+\lambda Z\gamma+(y_0-Z)\gamma-y_0\gamma=Z\gamma_0'-(1-\lambda)Z\gamma$…… …… ……$(17_b)$

即 $C-F$ 部ニ於テハ $Z\lambda$ ト y_1 トノ大小ニ由リテ荷重ハ浸濕潤ノ爲メニ增加又ハ減少シ $F-C'$ 部即外法ニ於テハ常ニ減少スルヲ見ル猶地盤軟弱ナル場合ハ常時ト雖モ堤底濕潤セルモノ多キヲ以テ洪水浸潤ノ爲メ特ニ支持力 p ヲ低減スルノ必要ナカランモ由テ支持力ノ過不足ハ p ト ω トノ大小ヲ比較スル事ニ由リテ直ニ之ヲ推知シ得ヘク其計算ハ作圖ニ由ルヲ便ナリトス即第二十三圖(b)ニ示スカ如ク p ヲ現ハス支持力曲線ト ω ヲ示ス荷重曲線トヲ堤底線上ニ畫ケハ其高低ニ由リテ支持力ノ過下足ヲ判シ得ヘシ圖ニ於テハ $a-b$ 部(即內法)ノ上半部ハ沈下陷沒ノ虞アルモノトス



第二十三圖

要スルニ軟弱ナル地盤上ニ築堤スル場合ハ濕潤區域ヲ最小ナラシメン爲メ堤形ヲシテ出來得ル限リ浸潤面ニ接近セシムルヲ可トス即馬踏及小段ノ過大ナルハ却テ有害ニシテ寧ロ法面ヲ緩ナラシムルヲ良シトス猶浸潤セル底土ノ支持力ヲ助ケン爲メ內法先ニ並杭ヲ用フルハ一般ニ有效ナルヘシト雖モ此場合裏込ニ割栗礫砂ヲ漸次ニ用ヒ水ノ滲出ヲ妨ケサランコトニ留意スヘキナリ

第四章　土堰堤ノ安定

土堰堤ニ於テハ高水永久ニ持續スルヲ以テ耐水性完全ナル心壁ヲ用フル場合ノ外內法面一部ノ浸潤ハ到底之ヲ避クル能ハス唯心壁ノ耐水力大ナル場合ニ於テハ浸潤現象法先ノ小區域ニ止マ

リ心壁不完全ナル時ハ稍上方ニ及フノ差アルノミ Ambersen 式ノ如ク二重ノ心壁ヲ設ケ其間隙ノ下部ヨリ滲水ヲ排出スル場合ハ堤體ノ內側ニ浸潤ノ及フ事殆ント無之ヲ以テ其耐水性ハ完全ナルモノト做シ得ヘシト雖モ普通ノ粘土心壁ニ於テハ長日月ノ間ニ水分ハ間隙ヲ通シテ內側ニ及ヒ法面ノ一部ヲ浸潤セシムヘシ而テ浸潤ニ因リテ生スル危險ヲ防止センニハ唯安全ナル緩勾配ヲ用ヒ充分ナル排水設置ヲ爲スノ一途アルノミ

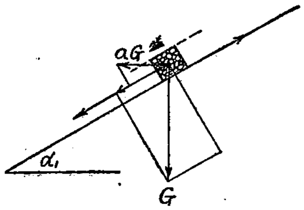
第一節　法面ノ安定

濕潤セル土砂ノ安全法ニ就テハ第三章第三節ニ於テ既ニ述ヘタル如シト雖モ堰堤ノ如ク濕潤永久ニ亘ルモノニアリテハ地震等ノ天災地變ニ關シテモ相當ノ注意ヲ要ス今地震ノ作用ニ就テ考フルニ質量$\frac{G}{g}$ナル物體カ水平加速度α_1ナル地震ニ際會スル時該物體ニ作用スル水平力ハ$\frac{\alpha_1 G}{g}$ナルヲ以テ今$\frac{\alpha_1}{g}$ヲαト置ケハ物體ニ作用スル水平力ハαGナリ依テ第三章第三節ノ如クα_1ナル傾斜上ノ微分容積ノ平衡ヲ考フルニ

$$G\sin\alpha_1+\alpha G\cos\alpha_1=\mu\cos\alpha_1(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)dx\,dy\,dz$$
$$=\{\gamma+(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)\}dx\,dy\,dz(\sin\alpha_1+\alpha\cos\alpha_1)$$
$$\therefore\quad \tan\alpha_1=\tan\varphi\frac{(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)}{\gamma+(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)}-\alpha \quad\cdots\cdots(18_a)$$

然ルニ良好ナル地盤ニ於テハαハ〇·二ヲ超ユル事稀ナルヲ以テ假リニ之ヲ〇·二ト定メ猶其他ノ常數ヲ式(14_b)ト同一ニ採レハ

$$\tan\alpha_1=\frac{1}{2}\tan\varphi-0{\cdot}2 \quad\cdots\cdots(18_b)$$



第四十二圖

今良好ナル土質ヲ擇ヒ充分搗固ヲナセルモノトシテφヲ四十五度ニ採レハ $\tan\alpha_1$ ハ〇·三ニシテ

即三割三分勾配ナリ即堰堤ノ內法下端ニシテ濕潤スル部分ハ三割以上五割ノ勾配ヲ與フルヲ要ス而テ此場合$\tan\varphi$ノ小ナルハ$\tan\alpha_1$ヲ著シク低下セシムルヲ以テ土質及搗固ハ特ニ重要ナルモノトス

次ニ外法面ヲ考フルニ河堤ノ場合ト同一ニシテ(第三章第五節)唯地震ノ作用ヲ參酌スルノ差アルノミ即安息角φ_1ハ次ノ如シ

$$(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)\delta V\sin\varphi_1+\{\gamma+(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)\}dVa\cos\varphi_1=\mu'(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)dV\cos\varphi_1$$

$$\therefore\quad \tan\varphi_1=\tan\varphi'-\alpha\frac{\gamma+(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)}{(1-\lambda)(\gamma_0-\gamma)}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(19_a)$$

式(14_b)ト同一ノ常數ヲ用フレハ

$$\tan\varphi_1\doteqdot\tan\varphi'-2\alpha\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(19_b)$$

水中ニ於ケル堤土ノ安全勾配ヲ一割二分五厘ト假定スレハ

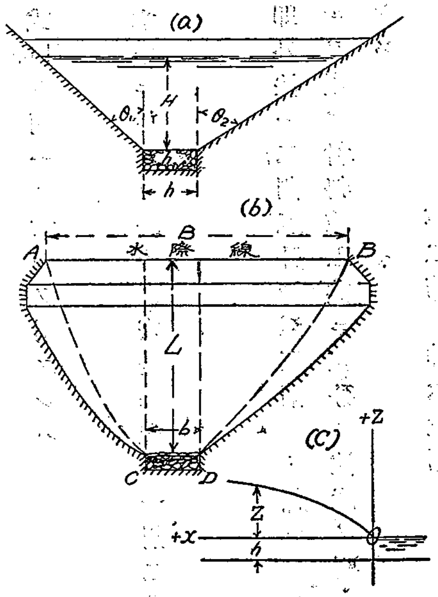
$$\tan\varphi_1\doteqdot\frac{1}{2.5}$$

即外法ハ二割五分乃至三割ヨリ急ナラサルヲ可トス此場合ニ於テモφ'ノ小ナルハ非常ニ不利ナルヲ以テ材料施工共ニ充分ノ注意ヲ要ス猶外法ノ安定ハ心壁ノ完不完ニ由リテ直接ノ影響ヲ受ケス

第二節　排水設備

上述ノ如ク心壁ノ耐水作用ハ多クノ場合完全ヲ期スヘカラサルヲ以テ法先ノ排水ヲ充分ナラシメ依テ浸潤面ノ低下ヲ計リ法面ノ安定ヲ保タサルヘカラス心壁ノ能力ハ豫メ其耐水力ヲ試驗シ同一抵抗ノ堤土ノ厚サニ換算シ(即實際ヨリモ厚キ等質堤體トシテ)滲透水量ヲ計算スルモ一方法

ナリト雖モ出來上リ心壁ノ耐水力ヲ豫斷スル事ハ頗ル困難ナルノミナラス排水量ヲ過大ニ見積ルモ全工費ニ影響スル所微々タルヲ以テ心壁ノ作用ヲ全々無視シ以テ滲透水量ヲ算出シ是ニ對スル排水設備ヲ設クルヲ可トセシ第二十五圖ニ於テ(b)ヲ堤ノ平面トシ接觸地盤ヲ耐水性ト考フ



第二十五圖

$b=\overline{DC}$……內法尖端ニ於ケル排水溝ノ幅員

h……同上　水深

$B=\overline{AB}$……外側水際線ノ幅

H……堤底ヨリノ水深

$\theta_1\theta_2$……谷兩岸ノ傾斜

$m=\tan\theta_1+\tan\theta_2$

L……水際ヨリ內法先ニ到ル水平距離

今圖(c)ノ如ク座標軸ヲ定メOx軸ニ直角ナル堤體斷面ヲ考フルニ該面ヲ通シテ流ルヽ水量ハxニ關セス一定シ法端ヨリ排出スヘキ水量ニ等シ之ヲ每秒Qトスレハ

$$Q=\iint k\frac{\partial Z}{\partial x}dZ\,dy\cos\theta+k\frac{\partial Z}{\partial x}bh$$

$\cos\theta_0$=mean of $\cos\theta$ ト置キ積分スレハ

$$Q=k\frac{\partial Z}{\partial x}\left\{\cos\theta_0\frac{mZ^2}{2}+b(h+Z)\right\}$$

$$\therefore\ \frac{Q}{k}dx=\left\{\cos\theta_0\frac{mZ^2}{2}+b(h+Z)\right\}dZ$$

積分シテ $x=L$ ナル時 $Z=H$ ナル條件ヲ入ルレハ

$$\frac{Q}{k}(L-x)=\frac{m}{6}\cos\theta_0(H^3-Z^3)+b\left\{\left(h+\frac{H}{2}\right)H-\left(h+\frac{Z}{2}\right)Z\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(20_a)$$

然ルニ $x=0$ ナルトキ $Z=0$ ナルヲ以テ

$$Q=\frac{kH}{L}\left\{\frac{m}{6}\cos\theta_0 H^2+b\left(h+\frac{H}{2}\right)\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(20_b)$$

若シ兩岸ノ傾斜極メテ緩ニシテ堤長大ナル時ハ $\cos\theta_0=1$ ト置キ得此場合 Q ハ內法ノ全長ヨリ滲出スル水量ヲ與フルモノナリ猶上式ニ由テ知ル如ク滲水ハ內法先ニ近ツクニ從ヒ著シク其流勢ヲ增大スルヲ以テ法先ニ於テハ特ニ浸潤ニ耐ヘ而モ滲透容易ナル構造タラシメ直ニ盲排水溝ノ作用ヲ爲サシムルヲ利トス即法先部ニ砂礫割栗等ヲ用フルハ此理ニ基クモノナリ而テ法先ノ內部ニ盲排水溝ヲ設クルハ浸潤面ヲ低下シ法先ノ安定ニ對シテハ著シク有利ナリ次ニ法先ニ於ケル浸潤線ノ勾配即 $\frac{dZ}{dx}$ カ法ヨリ急ナルハ浸潤ノ上昇ヲ促スヲ以テ之ヲ避クルヲ良シトス最初ノ微分方程式ニ於テ $x=0,\ Z=0$ ト置キ法先ノ $\frac{dZ}{dx}$ ヲ求ムレハ

$$\left(\frac{dZ}{dx}\right)_{x=0,\ Z=0}=\frac{Q}{2kbh} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(20_c)$$

式系(20)ノ運用ヲ Tabeaud Dam ニ就キテ例示セントス該堤ハ心壁ヲ有セス代フルニ外法面ニ添フテ厚キ粘土捲キヲナセリ谷ノ兩岸ハ略四十五度ノ傾斜ヲ爲シ稍耐水性ヲ有スル岩盤ナリ(第二十六圖參照)

$H=109'$, $h=26'$ (割栗ヲ以テ保護セル高ニシテ浸潤線ヲ此高迄テ上ラシムルヲ得)

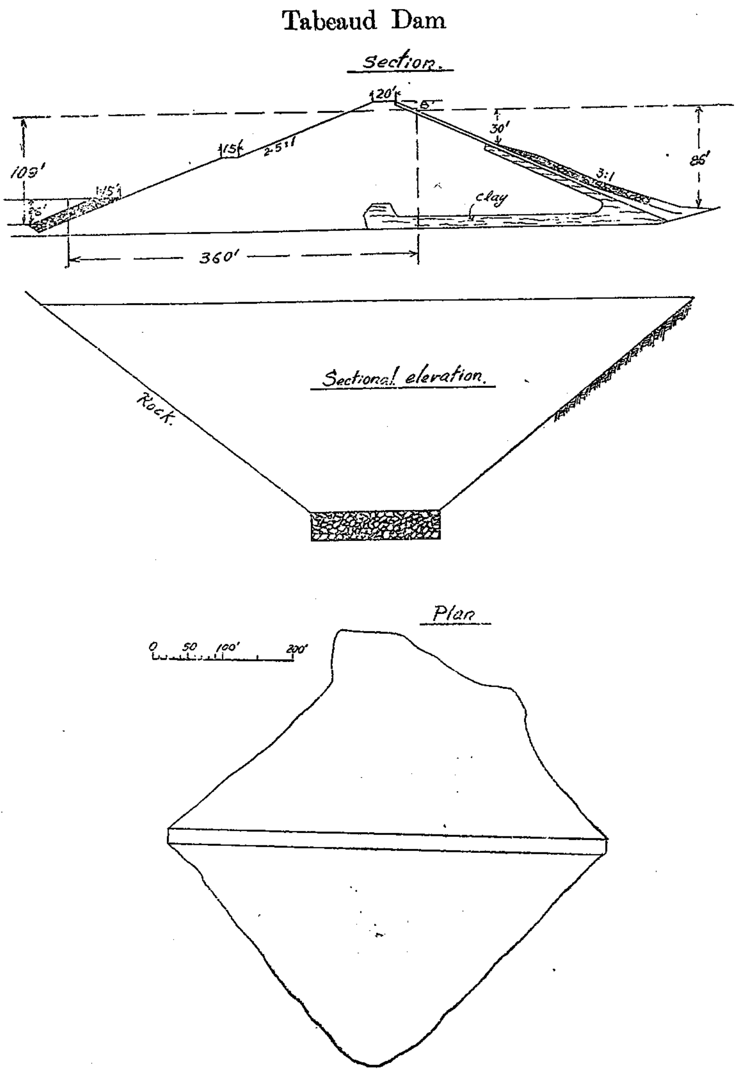
$b \fallingdotseq 200 \qquad \theta_1 \fallingdotseq \theta_2=45^\circ \qquad L=360'$

$\cos\theta \fallingdotseq 0{\cdot}92 \qquad m=\tan\theta_1+\tan\theta_2=2$

$$Q=k\frac{109}{360}\left\{\frac{2}{6}0.92\times\overline{109}^{2}+200\left(26+\frac{109}{2}\right)\right\}=5,980\,k\ \text{cub. ft./hour}=1.66\,k\ \text{cub. ft./sec.}$$

即滲出スル水量ハ毎秒二個ヲ超エス

$$\frac{dZ}{dx}=\frac{5,980}{2\times200\times26}\doteqdot\frac{1}{1.84}$$



第二十六圖

即約一割八分勾配ニシテ法傾斜二割五分ヨリ急ナルヲ以テ若シ粘土捲キノ效力ヲ無視スル時ハ内法下端ノ浸潤ヲ免レス從テ堤幅(L)ヲ今少シク大ナラシムルヲ可トセン

猶兩岸耐水層ナラサル時ハ其土質ヲ堤土ト同一ナリト假定シテQ及$\frac{dZ}{dx}$ヲ算出シ得此場合流線 (Stream lines) ハ同焦點楕圓

(Confocal ellipses) ニシテ等勢線 (Equipotential lines) ハ楕圓ト同一焦點ヲ有スル雙曲線ナルヲ以テ各流線ノ微分流量ヲ求メ之ヲ積分シテQヲ得ヘシ然レトモ其算出値ハ式(20$_b$)ニ依ルモノヨリ常ニ小ナルヲ以テ普通如斯煩雜ナル算法ヲ用フルノ必要ナカルヘシ

附　記

余ハ本論ニ於テ問題ノ取扱ヒヲ理論的抽象的タラシメ實證的具體的ナランコトヲ避ケタリ是レ現存河堤ニ於テハ計算ニ必要ナル諸種ノ材料(k λ h等)ヲ確定スルコト難ク之ヲ在來ノ貧弱ナル實驗ニ依リテ推定臆斷スルモ到底適切ヲ期シ難ク斯ル材料ノ下ニ重大ナル職責ヲ有スル現存堤ノ安否ヲ論議スルハ頗ル危險ニシテ寧ロ暴論ニ庶幾キヲ慮レハナリ然レトモ上來論スル所ニ由リ本邦ニ於ケル短河川ニシテ良好ナル堤土ヲ用ヒ馬踏三間以上兩法二割乃至二割五分以上堤頂餘有四、五尺タラシムルニ於テハ内法ノ浸潤稀有ナルヲ以テ内法先ニ充分ナル注意ヲ拂フニ於テハ其安定ヲ危惧スルノ要ナキヲ信スルモノナリ然リト雖モ洪水稍長期ナルカ堤土細砂質ナルカ小ナル寸法ヲ用フルカ又ハ地盤軟弱ナル場合ニ於テハ特ニ科學的考究ヲ用ヒテ堤形ヲ決定セン事ヲ希望スルモノナリ

猶本論ニ於テハ問題ヲ現今ノ數學ニ依テ取扱ヒ得ル樣單純化セル所少ナカラス例ヘハ地下耐層ノ位置ヲ極テ深キカ極テ淺キカノ場合ニ限リ土質ヲ齊等ト見做シ心壁ヲ無視スル等是ナリ即諸公式ハ理論ノ企及シ得ル所ヲ究メタルニ過キサルナリ而テ如斯單純化ニ依テ生スル誤差ノ多少ハ今日ノ場合理論ニ依テ之ヲ探究スルニ由ナキヲ以テ公式ノ改良補正ハ一ニ實驗觀測ノ結果ニ俟タサルヘカラス而テ公式ノ照査トシテ要スル材料ハ堤形、土質、水位曲線、耐水層及地下水位ノ位置法面浸潤ノ時刻及位置崩壞ノ狀況等ナルヲ以テ洪水ニ際シ此等ノ觀測ニ留意セン事ヲ切ニ希望スルモノナリ(完)