

論 說 報 告

第 25 卷 第 8 號 昭和 14 年 5 月

上部構造を有する溢流堰堤の断面算定法

會 員 有 坂 誠 喜*

要 旨 本文は上部に可動堰橋脚及橋梁等を有する重力式溢流堰堤に就て基本三角形より削り取る部分と新に附加する部分の重量及重心の位置に對して近似的の假定を試み、これを利用して溢流堰堤の基本三角形の算定法を述べ、更に計算例によつて、溢流堰堤に於ては基本三角形の適當ならざる事を明かにし、最後に基本梯形を用ひて溢流堰堤の断面算定法を述べたものである。

目 次

1. 重力式溢流堰堤の削取部と附加部	001
1. 緒 言	
2. 記號及外力	
3. 削取部及附加部	
4. 溢流堰堤と基本三角形	
2. 重力式溢流堰堤の基本三角形	002
1. 概 説	
2. 満水時 middle third の條件を満足する下流面の勾配	
3. 空虛時 middle third の條件を満足する上流面の勾配	
4. 満水時滑動に對する安定度	
5. 計算図表	
6. 断面設計並にこれに對する説明	
3. 重力式溢流堰堤の基本断面算定の實用的方法	003
1. 概 説	
2. 満水時 middle third の條件を満足する下流面の勾配	
3. 空虛時 middle third の條件を満足する上流面の勾配	
4. 満水時滑動に對する安定度	
5. 計算図表及計算例	
6. 結 語	

1. 重力式溢流堰堤の削取部と附加部

1. 緒 言

重力式堰堤は溢流、非溢流に拘らず基本断面として三角形を用ひるのが最も經濟的と考へられる。然し溢流堰堤に於ては頂部を拋物線形に削取り、この上部に橋脚、橋梁、門扉等を設置するが、一般に後者は前者に比して重量軽く且つその合成重心の位置も危險側に移動するを以て、満水時に middle third の條件を満足せしむるには非溢流堰堤の場合と同一の基本三角形を用ひる事が出来ない。溢流堰堤の基本三角形算定に當つては、先づ橋脚及その他の上部構造の自重が下部堤体に如何に分布せられるか、又門扉の受ける水圧が非溢流堰堤の場合と如何に異なる

* 工学士 北支臨時政府建設總署水利局勤務

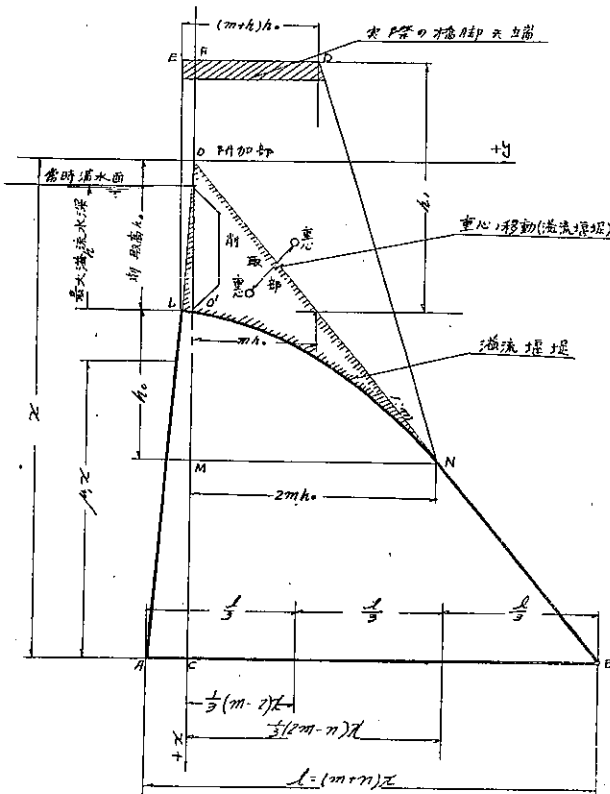
るかに就て假定を要するが、著者は削取高と堰堤全高との比、即ち α が 0.5 までは之等の垂直及水平荷重は下部堤体に等布せしめられるものとし、且つ水平水圧は門扉によつてその作用點に変化を來さないものとした。

本章に於ては削取部及附加部の重量及重心の位置を算出し、その兩者の關係並に基本三角形に對する影響に就て研究する。

2. 記號及外力

(a) 記號：記號は次の如く定む。但し單位は特に記載無き時は meter 及 ton とす (圖-1)。

圖-1.



- x : 堰堤上流側頂點より下方に測りたる鉛直距離
- y : 堰堤上流側頂點より右方に測りたる水平距離
- H : 堰堤の頂點より上流側岩盤面迄の鉛直距離
- $\mu_1 H$: 岩盤面より堆砂面迄の鉛直距離
- K_1 : 満水時等値水平震度 (下流向)
- K_0 : 空流時等値水平震度 (上流向)
- w_0 : 單位体積の池水の重量
- w_1 : 單位体積の堆砂の重量
- w : 單位体積の堤体コンクリートの重量
- γ_0 : 池水の比重 (普通 1 に取る)
- γ : 堤体の比重 (w/w_0)
- γ_1 : 堆砂の比重 (w_1/w_0)
- μ : 揚圧係數
- E : 土圧係數
- m : 下流面勾配
- n : 上流面勾配
- $\tan\theta$: 滑動係數

f : 岩盤と堤底との間、又は水平施工接手に於ける摩擦係數

削取高: $h_0 = \alpha w$ 基本断面の頂點より固定堤天端迄の垂直距離

削取重量: 基本断面の頂部に拋物線形を與ふるため削取りたる重量 (堤長 1m に付)

附加重量: 橋脚、橋梁、門扉、捲揚機等溢流堰堤なるために特に加へられたる重量 (堤長 1m 當りに平均したるもの)

削取部は溢流水深と波浪及地震による水面隆起に對する餘裕を加へたるもので、最大溢流時の水面と常時満水面と一致する場合には、

$$h_0 = h + \Delta H \dots\dots\dots (1)$$

茲に

h_0 : 削取高

h : 最大溢流水深 (又は常時満水面より固定堤天端まで)

ΔH : 波浪又は地震による水面隆起

(b) 外力: 堤長 1 m に對し (圖-1 参照)。

W_1 : $\triangle OCB$ の堤体重量

W_2 : $\triangle OCA$ の堤体重量

W_3 : 上流面直上の池水の重量

W_4 : 上流面直上の堆砂の重量

W_0 : 削取部の重量 ($W_0 = W_{01} + W_{02} + W_{03}$)

W_f : 附加部の重量 ($W_f = W_{f1} + W_{f2} + W_{f3}$)

P_0 : 總靜水圧の水平分力

P_d : 總動水圧 (水平方向とす)

P_1 : 總泥圧の水平分力

u : x 断面に作用する總揚圧力

F_1 : $\triangle OCB$ に作用する地震力

F_2 : $\triangle OCA$ に作用する地震力

F_0 : 削取部に作用する地震力 ($F_0 = F_{01} + F_{02} + F_{03}$) F_f : 附加部に作用する地震力 ($F_f = F_{f1} + F_{f2} + F_{f3}$)

3 削取部と附加部

(a) 削取部: 堤頂上の溢流水脈は大體最高點を頂點とし、鉛直軸を有する拋物線である。簡單に此の鉛直軸を基本三角形の頂點を過ぎる鉛直線と一致せしむれば、最下層の水脈線として、次の方程式を得る (實際は h_0 の代りに h であるが近似的に)。

$$y_1^2 = ch_0(x - h_0) \dots\dots\dots (2)$$

c は理論的には大略 1.54 以上なれば可なるも安定上は成可く大なる方がよい。基本三角形の下流面の方程式は

$$y_2 = mx \dots\dots\dots (3)$$

削取部の断面積及重心の位置の頂部拋物線の形狀は大なる影響なき故に、削取部を計算するには基準拋物線として $x = h_0$ に頂點を有し基本三角形の下流面に切する拋物線を採用すれば此の方程式は

$$y_3^2 = 4m^2 h_0(x - h_0) \dots\dots\dots (4)$$

理論的には $y_1 < y_3$ 即ち $c < 4m^2$ なれば可なるを以て m が 0.75 以上の値に對しては、(4) 式による拋物線を採用する事が出来る。(4) 式の拋物線と基本三角形の下流面との切點は丁度三角形の頂點より $2h_0$ だけ下にあり、又削取部の計算を容易ならしむるため拋物線の頂點より上流側は、實際は溢流水脈に應じ円弧を用ひるがこれを水平と假定する。従つて削取部を明示すれば圖-1 の如くなる。此の拋物線は $x = 2h_0$ に於て下流面に切する故に本文に取扱ふ對照はすべて堰堤全高 H が $2h_0$ より大、即ち $\alpha < 0.5$ なる場合に限つたわけである。原點を C に選んで、之に對する削取部の重量及臂長を示せば表-1 の如し。

表-1. 削 取 重 量

部 分	重 量	C 點 に 對 する 臂 長	
		縦 距	横 距
$\triangle OMN$	$2wmh_0^2$	$x - \frac{4}{3}h_0$	$\frac{2}{3}mh_0$
$\square O'MN$	$\frac{3}{4}wmh_0^2$	$x - \frac{8}{5}h_0$	$\frac{3}{4}mh_0$
$\triangle OO'L$	$\frac{1}{2}wnh_0^2$	$x - \frac{2}{3}h_0$	$-\frac{m}{3}h_0$

故に全削取部の重量 W_0 及 C 點に對する臂長を求むれば

$$\left. \begin{aligned} W_0 &= w(4m+3n) \frac{\alpha^2 x^2}{6} \\ \xi_0 &= \left(1 - \frac{3.2m+2n}{4m+3n} \alpha\right) x \\ \eta_0 &= \frac{2m^2-n^2}{4m+3n} \alpha x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

(b) 附加部：溢堰堤に於ては削取部の代りに新に加はる重量として (1) 橋脚 (2) 橋梁及高欄 (3) 門扉及捲揚機等が数へられる。尙この外に門扉に作用する水圧は直接堤体に作用する場合より多少変化する。故に之による影響及橋脚の突出に依つて上流法面上の水重の減少、門扉と基本三角形上流面間の水重等をも正確な檢算には考慮の必要があらう。

然し豫め断面を算定せんとする本計算法には之等の影響を無視し、且つ橋梁及捲揚機も橋脚上部に有り、門扉も亦門扉の隣時を考ふれば、水平水圧に変化なく全自重は橋脚上に作用するものと見做し得る。従つて橋梁及門扉等 (2) (3) の全荷重は橋脚上に作用するものと考ふる事が出来る。故に (1) (2) (3) の全荷重を α の單一函數に表はすため、計算上橋脚の高さを實際のものより若干高く假定し、この差を (2) (3) の重量に相當せしめる。而らば之は堰堤に對し重心の位置に殆ど変化を來さず、且つ (2) (3) の重量は橋脚に比すれば小なるを以て、この假定は實用上殆ど支障を生じない。橋脚の形は任意に選び得るが 図-1 に示す如く天端幅を $(m+n)h_0$ とし、上流側は垂直で固定堤溢流先端と一致し、下流側は拋物線終端に互る梯形とす。實際は種々異なる形が採用せられるが、重量及臂長の假定は堤体の形狀に影響する程の差を生じない。附加部の重量及臂長を示せば表-2 の如し。

表-2. 附 加 重 量

部 分	重 量	C 點 に 對 する 臂 長	
		縦 距	横 距
□ F M N D	$\frac{3}{2} w m h_0 (h_0 + h_1) \frac{t}{b}$	$x - \frac{1}{9} (14 h_0 - 4 h_1)$	$\frac{7}{9} m h_0$
▷ O' M N	$-\frac{4}{3} w m h_0^2 \frac{t}{b}$	$x - \frac{8}{5} h_0$	$\frac{3}{4} m h_0$
□ O' L E F	$w m h_0 h_1 \frac{t}{b}$	$x - h_0 + \frac{1}{2} h_1$	$-\frac{1}{2} m h_0$

茲に t : 橋脚の幅
 b : 相隣れる橋脚の中心間隔
 $h_1 = \lambda \alpha x$: 固定堤天端より橋脚天端までの高さ (且し橋梁及門扉等の重量をも含んだ假想的の)

依つて全附加重量 W_f 及其の C 點に對する臂長を求むれば

$$\left. \begin{aligned} W_f &= w \left\{ m(1+9\lambda) + 3n\lambda \right\} \frac{t \alpha^2 x^2}{6b} \\ \xi_f &= \frac{m \left(1 + 9\lambda - \frac{6}{5} \alpha - 10\lambda \alpha + 4\lambda^2 \alpha \right) + 3n\lambda \left(1 - \alpha + \frac{1}{2} \lambda \alpha \right)}{m(1+9\lambda) + 3n\lambda} \\ \eta_f &= \frac{m^2(1+7\lambda) - 1.5 n^2 \lambda}{m(1+9\lambda) + 3n\lambda} \alpha x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

簡単のため $1+9\lambda \doteq 10\lambda$, $1+7\lambda \doteq 8\lambda$ とすれば

$$\left. \begin{aligned} W_f &\doteq w(10m+3n) \frac{t\alpha^2}{6b} \lambda x^2 \\ \xi_f &\doteq \left(1 - \frac{7.2m+1.5n}{10m+3n} \alpha\right) x \\ \eta_f &\doteq \frac{8m^2-1.5n^2}{10m+3n} \lambda \alpha x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

4. 溢流堰堤と基本三角形

前節に求めた削取部と附加部の重量及重心の位置を比較せんに、兩者の重量比を v とすれば

$$\left. \begin{aligned} v = \frac{W_f}{W_o} &= \frac{m(1+9\lambda)+3n\lambda}{4m+3n} \frac{t}{b} \\ n=0 \text{ ならば} \\ v &= \frac{1+9\lambda}{4} \frac{t}{b} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

兩者の C 點に對する臂長の差を $\Delta\xi$ 及 $\Delta\eta$ とすれば

$$\left. \begin{aligned} \Delta\xi = \xi_f - \xi_o &= \frac{3.2m+2n}{4m+3n} \alpha x - \frac{7.2m+1.5n}{10m+3n} \alpha x \\ &= \frac{3.2m^2+2mn+1.5n}{(4m+3n)(10m+3n)} \alpha x > 0 \\ \Delta\eta = \eta_f - \eta_o &= \frac{8m^2-1.5n^2}{10m+3n} \lambda \alpha x - \frac{2m^2-n^2}{4m+3n} \alpha x \\ &= \frac{20m^2(\lambda-1)+6m^2n(\lambda-1)+6m\lambda(2n^2-n^2)+n\lambda(18mn-4.5n^2)+10m^2+3n^2}{(10m+3n)(4m+3n)} > 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

然るに一般に $\lambda \doteq 1.8$ $t/b \doteq 1/5$ 附近の數値が適用せられるを以て、(7)式に於て附加重量は削取重量より小なる事が判り、(8)式によつてその重心も満水時地震力を受けた場合に對して危険側に移動する事がわかる。従つて溢流堰堤に於て非溢流堰堤に比し大なる基本断面を採用する必要がある。

然し特に附加重量を適當に増大して合計力率が削取重量のそれと一致せしめ得るならば、非溢流堰堤と同一の基本三角形を用ひる事が出来る。かゝる特殊の場合の橋脚及門扉の大きさを研究して見る。

即ち

$$\left. \begin{aligned} W_o \xi_o &= W_f \times \xi_f \\ W_o \eta_o &= W_f \times \eta_f \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

之に (5) 及 (6) 式を代入して簡単にすれば

$$\left. \begin{aligned} 4m \left(1 - \frac{4}{5} \alpha\right) + 3n \left(1 - \frac{2}{3} \alpha\right) &= \left\{ m \left(1 + 9\lambda - \frac{6}{5} \alpha - 10\lambda \alpha + 4\lambda^2 \alpha\right) + 3n\lambda \left(1 - \alpha + \frac{1}{2} \lambda \alpha\right) \right\} \frac{t}{b} \\ 2m^2 - n^2 &= \left\{ m^2(1+7\lambda) - 1.5n^2\lambda \right\} \frac{t}{b} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

又は

$$\frac{t}{b} = \frac{4m \left(1 - \frac{4}{5} \alpha\right) + 3n \left(1 - \frac{2}{3} \alpha\right)}{m \left(1 + 9\lambda - \frac{6}{5} \alpha - 10\lambda \alpha + 4\lambda^2 \alpha\right) + 3n\lambda \left(1 - \alpha + \frac{1}{2} \lambda \alpha\right)} = \frac{2m^2 - n^2}{m^2(1+7\lambda) - 1.5n^2\lambda}$$

$n=0$ なる特別な場合には

$$\frac{t}{b} = \frac{4\left(1 - \frac{4}{5}\alpha\right)}{1 + 9\lambda - \frac{6}{5}\alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha} = \frac{2}{1 + \lambda}$$

従つて

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{5(1+7\lambda)}{2+6\lambda+20\lambda^2} \\ \frac{t}{b} &= \frac{2}{1+\lambda} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

(11) 式より λ の種々なる値に對して α 及 t/b を計算すれば 表-3 の如し。之によつて見るに α の 0~0.5 の値に對しては、橋脚は非常に幅狭く普通の 1/2~1/4 となり逆に高さが普通使用の 2~5 倍となるを以て到底實用に供し得ない。従つてこの方面よりも溢流堰堤に於ては非溢流堰堤の基本三角形をそのまま採用する事の出来ない事が判る。

表-3.

λ	α	$t : b$
1.0	1.43	1 : 4
1.5	0.848	1 : 4.75
2.0	0.798	1 : 7.50
2.5	0.651	1 : 9.25
3.0	0.550	1 : 11
4.0	0.419	1 : 14.5
5.0	0.349	1 : 18
6.0	0.284	1 : 21.5
7.0	0.244	1 : 25
8.0	0.214	1 : 28.5
9.0	0.196	1 : 32

2. 重力式溢流堰堤の基本三角形

1. 概 説

重力式溢流堰堤に於ては非溢流堰堤と同一の基本三角形を採用する時は前章に説明せる如く満水時危険側となる。従つて溢流堰堤に於ては基本三角形を増大修正しなければならぬ。よつて溢流堰堤に於ては基本断面はやはり三角形なりとし、唯上下流の勾配が非溢流堰堤の場合と異なるものと假定すれば、削取部及附加部を前章の如く α の函数に表はし、

之を非溢流堰堤の上下流面の勾配及満水時の安定度を求むる原式中に考慮代入する事によつて所要の關係式を得られる。

2. 満水時 middle third の條件を満足する下流面の勾配

前章に算定した W_0 及 W_f を各 3 個に分けたまゝ m , n 及 α の函数に表はし、満水時下流方向に地震力を受けた場合、總ての外力及 C 點に對するモーメントを表示すれば 表-4 の如くなり又モーメントの總和を 0 と置き各項を $\frac{1}{6}w_0x^3$ にて除し m に就て各係數を表示すれば 表-5 となる。従つてこれを m に關する 2 次方程式に整理すれば

$$Am^2 - 2Bm - C = 0$$

又は
$$m = \frac{1}{A} \left(B + \sqrt{B^2 + AC} \right)$$

茲に

$$\left. \begin{aligned} A &= (\gamma - \mu) - 2\left(\frac{4}{3} - \alpha\right)\gamma\alpha^2 + \left\{ \left(\frac{2}{3} - \alpha\right) + (6 - 7\alpha)\lambda \right\} \gamma\alpha^2 \frac{t}{b} \\ B &= \frac{1}{2} \left[\left\{ \gamma K_1 - n[\gamma + 2 + 2(\gamma_1 - 1)\mu_1^2 - 2\mu] \right\} - \left\{ (4 - 3.2\alpha)K_1 - \frac{2}{3}n \right\} \gamma\alpha^2 \right] \end{aligned} \right\}$$

表-4. 満水時地震力を受けた場合の外力及モーメント

記 號	外 力	臂 長	モ ー メ ン ト	摘 要
W_1	$\frac{1}{2}wmx^2$	$\frac{1}{3}mx$	$\frac{1}{6}wm^2x^3$	基本三角形に關する垂直力
W_2	$\frac{1}{2}wnx^2$	$-\frac{1}{3}nx$	$-\frac{1}{6}wn^2x^3$	
W_3	$\frac{1}{2}w_0nx^2$	$-\frac{2}{3}nx$	$-\frac{1}{3}w_0n^2x^3$	
W_4	$\frac{1}{2}(w_1-w_0)n\mu_1^2x^2$	$-\frac{1}{3}n(3-\mu_1)x$	$-\frac{1}{6}(w_1-w_0)n^2(3-\mu_1)\mu_1^2x^3$	
P	$\frac{1}{2}w_0x^2$	$\frac{1}{3}x$	$\frac{1}{6}w_0x^3$	水平水圧及泥圧
P_{01}	$\frac{7}{12}w_0K_1(H-x_0)^{\frac{1}{2}}(x-x_0)^{\frac{3}{2}}$	$\frac{4}{10}(x-x_0)$	$\frac{7}{30}w_0K_1(H-x_0)^{\frac{3}{2}}(x-x_1)^{\frac{5}{2}}$	
P_1	$\frac{1}{2}(w_1-w_0)E\mu_1^2x^2$	$\frac{1}{3}\mu_1x$	$\frac{1}{6}(w_1-w_0)E\mu_1^2x^3$	
U	$-\frac{1}{2}w_0(m+n)x^2$	$\frac{1}{3}(m-2n)x$	$-\frac{1}{6}(m^2-mn-2n^2)\mu x^3$	揚圧力
F_1	$\frac{1}{2}wmK_1x^2$	$\frac{1}{3}x$	$\frac{1}{6}wmK_1x^3$	基本三角形に作用する地震力
F_2	$\frac{1}{2}wnK_1x^2$	$\frac{1}{3}x$	$\frac{1}{6}wnK_1x^3$	
W_{01}	$-2wmh_0^2$	$\frac{2}{3}mh_0$	$-\frac{4}{3}wm^2h_0^3$	削取部の垂直力
W_{02}	$\frac{4}{3}wmh_0^2$	$\frac{3}{4}mh_0$	$wm^2h_0^3$	
W_{03}	$-\frac{1}{2}wnh_0^2$	$-\frac{1}{3}nh_0$	$\frac{1}{6}wn^2h_0^3$	
F_{01}	$-2wmh_0^2K_1$	$x-\frac{4}{3}h_0$	$-2wmh_0^2\left(x-\frac{4}{3}h_0\right)K_1$	削取部に作用する地震力
F_{02}	$\frac{4}{3}wmh_0^2K_1$	$x-\frac{8}{5}h_0$	$\frac{4}{3}wmh_0^2\left(x-\frac{8}{5}h_0\right)K_1$	
F_{03}	$-\frac{1}{2}wnh_0^2K_1$	$x-\frac{2}{3}h_0$	$-\frac{1}{2}wnh_0^2\left(x-\frac{2}{3}h_0\right)K_1$	
W_{f1}	$\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	$\frac{7}{9}mh_0$	$\frac{7}{6}wm^2h_0^2(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	附加部の垂直力
W_{f2}	$-\frac{4}{3}wmh_0^2\frac{t}{b}$	$\frac{3}{4}mh_0$	$-wm^2h_0^2\frac{t}{b}$	
W_{f3}	$wnh_0h_1\frac{t}{b}$	$-\frac{1}{2}nh_0$	$-\frac{1}{2}wn^2h_0^2h_1\frac{t}{b}$	
F_{f1}	$\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}K_1$	$x-\frac{1}{9}(14h_0-4h_1)$	$\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\left\{x-\frac{1}{9}\right. \\ \left.\times(14h_0-4h_1)\right\}\frac{t}{b}K_1$	附加部に作用する地震力
F_{f2}	$-\frac{4}{3}wmh_0^2\frac{t}{b}K_1$	$x-\frac{8}{5}h_1$	$-\frac{4}{3}wmh_0^2\left(x-\frac{8}{5}h_1\right)\frac{t}{b}K_1$	
F_{f3}	$wnh_0h_1\frac{t}{b}K_1$	$x-h_0+\frac{1}{2}h_1$	$wnh_0h_1\left(x-h_0+\frac{1}{2}h_1\right)\frac{t}{b}K_1$	

$$R_v \frac{1}{3}(2m-n) = -(\sum W + \sum W_0 + \sum W_f + U) \frac{1}{3}(2m-n)x$$

表4. (続き)

記 号	外 力	臂 長	モ ー メ ン ト	摘 要
W_1	$-\frac{1}{2}wm\alpha^2$	$\frac{1}{3}(2m-n)x$	$-\frac{2}{3}wm^2x^3 + \frac{1}{6}wmn\alpha x^3$	基本三角形に關する反力
W_2	$-\frac{1}{2}wn\alpha^2$	"	$-\frac{1}{6}wmn\alpha x^3 + \frac{1}{6}wn^2x^3$	
W_3	$-\frac{1}{2}w_0n\alpha^2$	"	$-\frac{2}{6}w_0m\alpha x^3 + \frac{1}{6}w_0n^2x^3$	
W_4	$-\frac{1}{2}(w_1-w_0)n\mu_1^2\alpha^2$	"	$-\frac{2}{6}(w_1-w_0)\mu_1^2mn\alpha x^3 + \frac{1}{6}(w_1-w_0)\mu_1^2n^2x^3$	
W_{01}	$2wmh_0^2$	"	$\frac{4}{3}wm^2h_0^2x - \frac{2}{3}wmnh_0^2x$	削取部の反力
W_{02}	$-\frac{4}{3}wnh_0^2$	"	$-\frac{8}{9}wm^2h_0^2x + \frac{4}{9}wmnh_0^2x$	
W_{03}	$\frac{1}{2}wnh_0^2$	"	$\frac{2}{6}wmnh_0^2x - \frac{1}{6}wn^2h_0^2x$	
W_{f1}	$-\frac{8}{2}wmh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	"	$-wm^2h_0(h_0+h_1)x\frac{t}{b} + \frac{8}{6}wmnh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	附加部の反力
W_{f2}	$\frac{4}{3}wmh_0^2\frac{t}{b}$	"	$\frac{8}{9}wm^2h_0^2x\frac{t}{b} - \frac{4}{9}wmnh_0^2\alpha\frac{t}{b}$	
W_{f3}	$-wnh_0h_1\frac{t}{b}$	"	$-\frac{4}{6}wmnh_0h_1\frac{t}{b} + \frac{2}{6}wn^2h_0h_1x\frac{t}{b}$	
U	$\frac{1}{2}w_0(m+n)\mu\alpha^2$	"	$\frac{1}{6}w_0(2m^2+mn-n^2)\mu\alpha^3$	場圧力の反力

$$+ \left\{ \left(\frac{1}{3} - \lambda \right) n + K_1 \left(1 + 9\lambda - \frac{6}{5}\alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha \right) \right\} \gamma\alpha^2 \frac{t}{b}$$

$$C = 1 + (\gamma_1 - 1)E\mu_1^3 + 1.4K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$+ n^2 \left\{ -1 + \mu + \gamma \frac{K_1}{n} - (\gamma_1 - 1)(2 - \mu_1)\mu_1^2 \right\}$$

$$- n^2 \left\{ \frac{K_1(3-2\alpha)}{n} - \alpha + 1 \right\} \gamma\alpha^2 + n^2 \left\{ \frac{6K_1 \left(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda \right)}{n} - 3x + 2 \right\} \lambda\gamma\alpha^2 \frac{t}{b}$$

.....(12)

n^2 は甚だ小なる故にこの項を無視すれば C は

$$C = 1 + (\gamma_1 - 1)E\mu_1^3 + 1.4K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} + \gamma K_1 n$$

$$- nK_1(3-2\alpha)\gamma\alpha^2 + 6nK_1 \left(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda \right) \lambda\gamma\alpha^2 \frac{t}{b}$$

under line を附記せる部分が溢流堰堤のために新たに追加した条件である。従つて $\alpha=0$ とすれば非溢流堰堤の場合と全く同様となる。

特別の場合

(1) 地震時満水面以下より動水圧を考慮すれば

表-5. 満水時地震力を受けた場合の各項の係数

記 號	m^2	m	mn	mn を含まず	n	n^2	摘要
W_1 W_2 W_3 W_4	γ					$-\gamma$ $-\frac{\gamma}{2}$ $-(\gamma_1-1)(3-\mu_1)\mu_1^2$	非溢流堰堤と同一の項
P_0 P_{01}				$\frac{1}{5} \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}}$ $\times \left(\frac{x-x_0}{x} \right)^{\frac{5}{2}} K_1$			
P_1				$(\gamma_1-1)E\mu_1^2$			
U F_1 F_2	$-\mu$	γK_1	μ			2μ	
$-W_1$ $-W_2$ $-W_3$ $-W_4$	-2γ		$\frac{\gamma}{2}$ $-\frac{2\gamma}{2}$ $-\frac{\gamma}{2}$ $-2(\gamma_1-1)\mu_1^2$			$\frac{\gamma}{1}$ $(\gamma_1-1)\mu_1^2$	割取部に關する項
U	2μ		μ		γK_1	$-\mu$	
W_{01} W_{02} W_{03}	$-8\gamma\alpha^2$ $6\gamma\alpha^2$					$\gamma\alpha^2$	
F_{01} F_{02} F_{03}		$-12\gamma\alpha^2$ $\times \left(1 - \frac{4}{3}\alpha\right) K_1$ $8\gamma\alpha^2 \left(1 - \frac{8}{5}\alpha\right) K_1$			$-3\gamma\alpha^2$ $\times \left(1 - \frac{2}{3}\alpha\right) K_1$		
$-W_{01}$ $-W_{02}$ $-W_{03}$	$\frac{8\gamma\alpha^2}{3}$ $-\frac{16}{3}\gamma\alpha^2$		$-\frac{4\gamma\alpha^2}{5}$ $\frac{8}{5}\gamma\alpha^2$ $2\gamma\alpha^2$			$-\gamma\alpha^2$	
W_{f1} W_{f2} W_{f3}	$7\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$ $-6\gamma\alpha^2\frac{t}{b}$					$-3\gamma\alpha^2\lambda\frac{t}{b}$	附加部に關する項
F_{f1} F_{f2} F_{f3}		$9\gamma\alpha^2(1+\lambda) \left\{ 1 - \frac{1}{9} \times (14\alpha - 4\alpha\lambda) \right\} \frac{t}{b} K_1$ $-8\gamma\alpha^2 \left(1 - \frac{8}{5}\alpha\right) \frac{t}{b} K_1$			$6\gamma\alpha^2 \left(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda\right) \lambda \frac{t}{b} K_1$		
$-W_{f1}$ $-W_{f2}$ $-W_{f3}$	$-6\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$ $\frac{16}{3}\gamma\alpha^2\frac{t}{b}$		$3\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$ $-\frac{8}{3}\gamma\alpha^2\frac{t}{b}$ $-4\gamma\alpha^2\lambda\frac{t}{b}$			$2\gamma\alpha^2\lambda\frac{t}{b}$	

$$x_0=0 \quad \therefore \quad 1.4 K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{2}{3}} = 1.4 K_1 \left(\frac{H}{x} \right)^{\frac{1}{2}}$$

(2) 動水圧を無視すれば

$$1.4 K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{2}{3}} = 0$$

(3) 地震力を無視すれば $K_1=0$

(4) 固定堤天端と堆砂面と一致する時

$$\mu_1 = \frac{x-h_0}{x} = 1 - \alpha$$

(5) 堆砂面以上の断面の場合又は堆砂の影響を無視すれば $\mu_1=0$

故に(12)式によつて α 即ち溢流水深又は削取高を決定し、橋梁及門扉等の重量を橋脚に換算し、橋脚の高さ及厚さを適當に假定すれば、溢流堰堤に下流面の勾配を算定する事が出来る。

3. 空虛時に於ける上流面の勾配

前節と同様に W_0 及 W_f を分割 m, n 及 α の函数に表はし上流方向に地震力を受けた場合の總ての外力及 0 點に對するモーメントを表示すれば表-6 の如くなり、又モーメントの總和を 0 と置き各項を $\frac{1}{6} w x^3$ にて除して n に就て各係數を表示すれば表-7 の如くなる。従つてこれを n に關する 2 次式に整理すれば

$$\begin{aligned} & n^2 \left\{ 1 - (2-\alpha)\alpha^2 + (4-3\alpha)\lambda\alpha^2 \frac{t}{b} \right\} \\ & + n \left[m - K_2 - \left\{ \frac{5}{3}m - K_2(3-2\alpha) \right\} \alpha^2 + \left\{ \left(\frac{2}{3} + 4\lambda \right) m - 6K_2 \left(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda \right) \lambda \right\} \alpha^2 \frac{t}{b} \right. \\ & \quad \left. - K_2 m - \left\{ m^2 \left(2\alpha - \frac{4}{3} \right) - mK_2(4-3.2\alpha) \right\} \alpha^2 \right. \\ & \quad \left. + \left[m^2 \left\{ (1+7\lambda)\alpha - \frac{1}{3} - 3\lambda \right\} - mK_2 \left(1+9\lambda - \frac{6}{5}\alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha \right) \right] \alpha^2 \frac{t}{b} = 0 \right. \end{aligned}$$

n 及 K_2 は小なる故に n^2 及 nK_2 の項を無視すれば

$$n = \frac{K_2 + \left\{ m \left(2\alpha - \frac{4}{3} \right) - K_2(4-3.2\alpha) \right\} \alpha^2 - \left\{ m \left[(1+7\lambda)\alpha - \frac{1}{3} - 3\lambda \right] - K_2 \left(1+9\lambda - \frac{6}{5}\alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha \right) \right\} \alpha^2 \frac{t}{b}}{1 - \frac{5}{3}\alpha^2 + \left(\frac{2}{3} + 4\lambda \right) \alpha^2 \frac{t}{b}}$$

従つて α が非常に小なる時は n は殆ど K_2 に等しく非溢流の場合と同一になる。

4. 満水時滑動に對する安定度

満水時下流方向に地震力を受けた場合の滑動係數は

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{P_0 + P_a + P_1 + F_1 + F_2 + \sum F_0 + \sum F_f}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + \sum W_0 + \sum W_f + U} \\ &= \frac{1 + \frac{7}{6} K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{2}{3}} + (\gamma_1 - 1) E \mu_1^2 + \gamma K_1 (m+n) - \gamma K_1 \alpha^2 \left(\frac{4}{3} m + n \right) + \gamma K_2 \alpha^2 \left\{ \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) m + 2\lambda n \right\} \frac{t}{b}}{(\gamma - \mu)(m+n) + n + (\gamma_1 - 1) m \mu_1^2 - \gamma \alpha^2 \left(\frac{4}{3} m + n \right) + \gamma \alpha^2 \left\{ \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) m + 2\lambda n \right\} \frac{t}{b}} \dots \dots \dots (14) \end{aligned}$$

又滑動係數を一定ならしむる下流面の勾配は(14)式の左邊 $\tan \theta$ の代りに f と置き m に就て書き換へれば

表-6 空虚時地震力を受けた場合の外力及モーメント

記 號	外 力	臂 長	モ ー メ ン ト	摘 要
W_1	$\frac{1}{2}wmn^2x^2$	$\frac{1}{3}mx$	$\frac{1}{6}wm^2x^3$	基本三角形の垂直力
W_2	$\frac{1}{2}wnn^2x^2$	$-\frac{1}{3}nx$	$-\frac{1}{6}wn^2x^3$	
F_1	$-\frac{1}{2}wmK_1x^2$	$\frac{1}{3}x$	$-\frac{1}{6}wmK_1x^3$	基本三角形に作用する地震力
F_2	$-\frac{1}{2}wnK_1x^2$	$\frac{1}{3}x$	$-\frac{1}{6}wnK_1x^3$	
W_{o1}	$-2wmh_0^2$	$\frac{2}{3}mh_0$	$\frac{4}{3}wm^2h_0^3$	削取部の垂直力
W_{o2}	$\frac{4}{3}wmh_0^2$	$\frac{3}{4}mh_0$	$wm^2h_0^2$	
W_{o3}	$-\frac{1}{2}wnh_0^2$	$-\frac{1}{3}nh_0$	$\frac{1}{6}wn^2h_0^2$	
F_{o1}	$2wmh_0^2K_1$	$x - \frac{4}{3}h_0$	$2wmh_0^2(x - \frac{4}{3}h_0)K_1$	削取部に作用する地震力
F_{o2}	$-\frac{4}{3}wmh_0^2K_1$	$x - \frac{8}{5}h_0$	$-\frac{4}{3}wmh_0^2(x - \frac{8}{5}h_0)K_1$	
F_{o3}	$\frac{1}{2}wnh_0^2K_1$	$x - \frac{2}{3}h_0$	$\frac{1}{2}wnh_0^2(x - \frac{2}{3}h_0)K_1$	
W_{f1}	$\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	$\frac{7}{9}mh_0$	$\frac{7}{6}wm^2h_0^2(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	附加部の垂直力
W_{f2}	$-\frac{4}{3}wmh_0^2\frac{t}{b}$	$\frac{3}{9}mh_0$	$-wm^2h_0^2\frac{t}{b}$	
W_{f3}	$wnh_0h_1\frac{t}{b}$	$-\frac{1}{2}nh_0$	$-\frac{1}{2}wn^2h_0^2h_1\frac{t}{b}$	
F_{f1}	$-\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}K_1$	$x - \frac{1}{9}(14h_0-4h_1)$	$-\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1) \times \left\{x - \frac{1}{9}(14h_0-4h_1)\right\} \frac{t}{b}K_1$	附加部に作用する地震力
F_{f2}	$\frac{4}{3}wmh_0^2\frac{t}{b}K_1$	$x - \frac{8}{5}h_1$	$\frac{4}{3}wmh_0^2(x - \frac{8}{5}h_1)\frac{t}{b}K_1$	
F_{f3}	$-wnh_0h_1\frac{t}{b}K_1$	$x - h_0 + \frac{1}{2}h_1$	$-wnh_0h_1(x - h_0 + \frac{1}{2}h_1)\frac{t}{b}K_1$	

$$Rv \frac{1}{3}(m-2n)x = -(\sum W + \sum W_o + \sum W_f) \frac{1}{3}(m-2n)x$$

$-W_1$	$-\frac{1}{2}wmn^2x^2$	$\frac{1}{3}(m-2n)x$	$-\frac{1}{6}wm^2x^3 + \frac{2}{6}wmn^2x^3$	基本三角形の反力
$-W_2$	$-\frac{1}{2}wnn^2x^2$	"	$-\frac{1}{6}wmn^2x^3 + \frac{2}{6}wn^2x^3$	
$-W_{o1}$	$2wmh_0^2$	"	$\frac{4}{6}wm^2h_0^2x - \frac{8}{6}wmnh_0^2x$	削取部の反力
$-W_{o2}$	$-\frac{4}{3}wmh_0^2$	"	$-\frac{4}{9}wm^2h_0^2x + \frac{8}{9}wmnh_0^2x$	
$-W_{o3}$	$\frac{1}{2}wnh_0^2$	"	$-\frac{1}{6}wmnh_0^2x - \frac{2}{6}wn^2h_0^2x$	
$-W_f$	$-\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	"	$-\frac{1}{2}wm^2h_0(h_0+h_1)x\frac{t}{b} + wmnh_1(h_0+h_1)x\frac{t}{b}$	附加部の反力
$-W_{f2}$	$\frac{4}{3}wmh_0^2\frac{t}{b}$	"	$\frac{4}{9}wm^2h_0^2x\frac{t}{b} - \frac{8}{9}wmnh_0^2x\frac{t}{b}$	
$-W_{f3}$	$-wnh_0h_1\frac{t}{b}$	"	$-\frac{2}{6}wmnh_0h_1x\frac{t}{b} + \frac{4}{6}wn^2h_0h_1x\frac{t}{b}$	

表-7. 空虛時地震力を受けた場合の各項の係数

記 号	n^2	n	mn	mn なし	m	m^2	摘要
W_1 W_2	-1					1	非溢流堰堤と同一の項
F_1 F_2		$-K_2$			$-K_2$		
$-W_1$ $-W_2$	2		2 -1			-1	
W_{01} W_{02} W_{03}	α^2					$-8x^3$ $6x^3$	削取部に關する項
F_{01} F_{02} F_{03}		$3\alpha^2(1-\frac{2}{3}\alpha)K_2$			$12x^2(1-\frac{4}{3}\alpha)K_1$ $-8x^2(1-\frac{8}{5}\alpha)K_1$		
$-W_{01}$ $-W_{02}$ $-W_{03}$	$-\alpha^2$		$-8\alpha^2$ $\frac{16}{3}\alpha^2$ α^2			$4x^2$ $-\frac{8}{3}\alpha^2$	
W_{f1} W_{f2} W_{f3}	$-8x^2\lambda\frac{t}{b}$					$7\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$ $-6x^2\frac{t}{b}$	附加部に關する項
F_{f1} F_{f2} F_{f3}					$-9\alpha^2(1+\lambda)\left\{1-\frac{1}{9}\right.$ $\times(14x-4\alpha\lambda)\left.\right\}\frac{t}{b}K_1$ $8x^2(1-\frac{8}{5}\alpha)\frac{t}{b}K_1$		
$-W_{f1}$ $-W_{f2}$ $-W_{f3}$	$4\alpha^2\lambda\frac{t}{b}$		$6\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$ $-\frac{16}{3}\frac{t}{b}$ $-2\alpha^2\lambda\frac{t}{b}$			$-3x^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$ $\frac{8}{3}\alpha^2\frac{t}{b}$	

$$m = \frac{1 + \frac{7}{6} K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} + \gamma K_1 n + (\gamma_1 - 1) E \mu_1^2 - \gamma K_1 n \alpha^2 \left(1 - 2\lambda \frac{t}{b} \right) - f n \left\{ (\gamma - \mu + 1) + (\gamma_1 - 1) \mu_1^2 - \gamma \alpha^2 \left(1 - 2\lambda \frac{t}{b} \right) \right\}}{f \left\{ (\gamma - \mu) - \left[\frac{4}{3} - \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) \frac{t}{b} \right] \gamma \alpha^2 \right\} - \gamma K_1 + \left\{ \frac{4}{3} - \frac{t}{b} \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) \right\} \gamma \alpha^2 K_1} \dots (15)$$

5. 計算図表

以上求めたる (12)~(15) 式によつて溢流堰堤の基本断面の設計並に検算をなす事を得。よつて溢流堰堤の下流面の勾配, 上流面の勾配及滑動係数を各溢流水深に応じ計算し, 非溢流堰堤の場合と比較せんとす。

但し簡単のため次の如き假定を設く。

- (1) 常時満水面と最大溢流時水面と一致するものとす
- (2) 動水圧は安全側に最高水面 (地震時満水面) 以下に就て考へ, 且つ堰堤の最大断面のみを考慮すれば $x=H$ なるを以て

$$1.4 K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} = 1.4 K_1$$

- (3) 堰堤上流面の土砂は固定堤天端まで堆砂するものとす, 従つて

$$\mu_1 = \frac{\alpha - h_0}{x} = 1 - \alpha$$

- (4) 橋脚の厚さは $t/b = 1/5$
- (5) 橋脚以外の附加重量は計算上は全部橋脚上部に含ましめ橋脚の高さは $\lambda = 1.8$ とす
- (6) 計算基準となる数値は次の如く定む

$$\begin{array}{cccc} \gamma = 2.3 & \gamma_1 = 1.8 & K_1 = 0.15 & K_2 = 0.075 \\ n = 0.1 & E = 0.4 & \mu = 0.5 & \mu_1 = 1 - \alpha \end{array}$$

よつて満水時下流方向に地震力を受けた場合 middle third の條件を満足する下流面の勾配は

$$\left. \begin{aligned} m &= \frac{1}{A} \left(B + \sqrt{B^2 + AC} \right) \\ A &= 1.8 - (0.8585 + 1.656\alpha)\alpha^2 \\ B &= 0.0075 - 0.08\mu_1^2 - (0.0537 - 0.3379\alpha)\alpha^2 \\ C &= 1.2445 + 0.32\mu_1^2 - (0.029 - 0.06155\alpha)\alpha^2 \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

空虚時上流方向に地震力を受けた場合 middle third の條件を満足する上流面勾配は

$$n = \frac{0.075 - m\alpha^2(0.72\alpha + 0.1866) + 0.075\alpha^2(1.44 + 1.652\alpha)}{1 - 0.09334\alpha^2} \dots (13)$$

middle third の條件を満足する断面の満水時滑動係数は

$$\tan \theta = \frac{1.2095 + 0.32\mu_1^2 + 0.345m - (0.0644m + 0.00966)\alpha^2}{0.28 + 0.08\mu_1^2 + 1.8m - (0.4294m + 0.0644)\alpha^2} \dots (14)$$

又滑動係数 f を 0.8 に選びたる場合満水時之を満足する下流面の勾配は

$$m = \frac{0.9855 + 0.256\mu_1^2 + 0.04186\alpha^2}{1.095 - 0.2791\alpha^2} \dots (15)$$

之等の式に $\mu_1 = 1 - \alpha$ として α の 0~0.5 の値に對して計算して図表に示せば 図-2~5 の如し。但し比較のため同一條件の下に設計した非溢流堰堤の数値も示した。

図-2. Middle third の条件を満足する溢流堰堤の下流面の勾配 (基本三角形) (基本三角形)

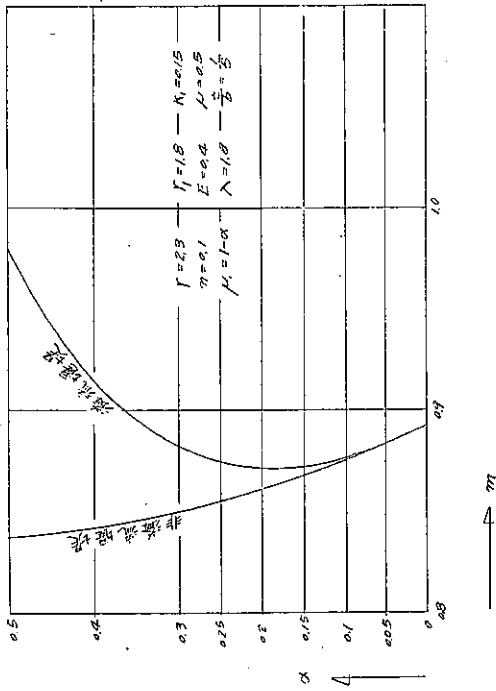


図-3. Middle third の条件を満足する上流面の勾配 (基本三角形)

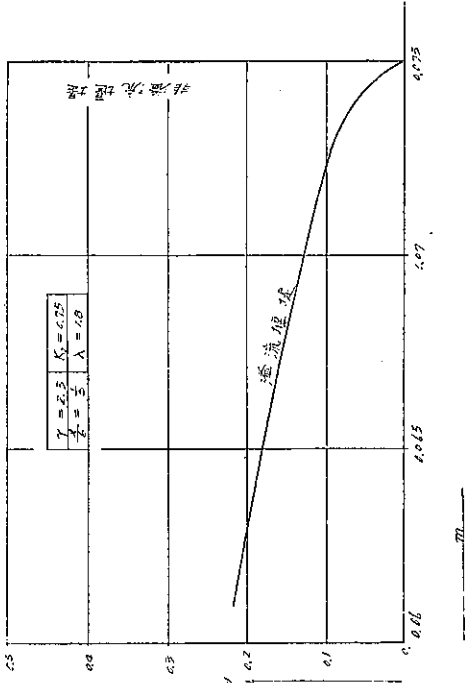


図-4. 満水時に於ける滑动係数 (基本三角形)

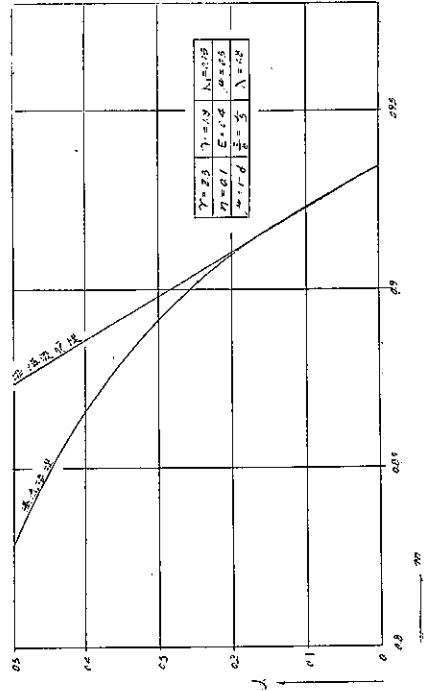
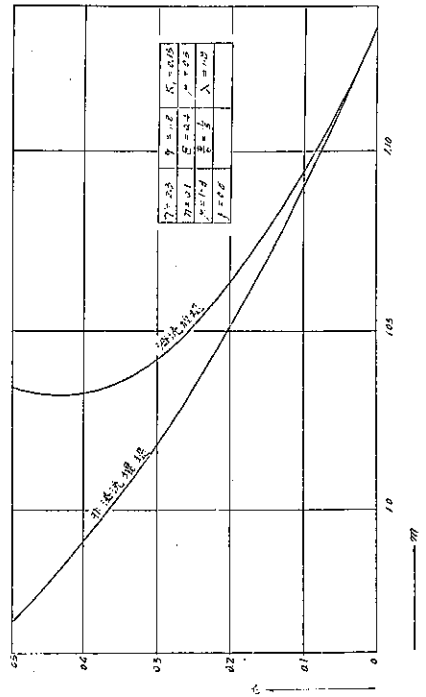


図-5. 滑动係数を一定ならしむる下流面の勾配 (基本三角形)



6. 断面設計並にそれに対する考察

図-2 に示す如く溢流堰堤に於ては各水平断面を一様に middle third の条件を満足せしむるには、上部即ち α 大なる水平断面に於ては著しく緩なる勾配を要し、下部に至るに随ひ非溢流堰堤と近似な急勾配にて可となる(但し 図-2 に示す計算には動水圧の項に於て H/x を 1 と假定したが堰堤の各水平断面の計算には H/x を変數として取扱ふを適當とする。然し地震時満水面より動水圧を考慮する代りにこの項を常數として計算した 図-2 によつて断面設計をなす)。故に溢流堰堤の下流面は理論的には溢流拋物線終端以下もその切線勾配が次第に急となる曲線状となり、各水平断面の下流點と頂點を結ぶ直線の勾配は 図-2 又は (13) 式によつて與へられる。かくの如く決定した断面では底幅著しく増大、従つて揚圧力の増加多く 図-4 又は (14) 式に示す如く地震時滑動係數は許容値 0.8 を超過するを以て特別の考慮と工夫を要する。又地震時滑動係數を許容値 0.8 以内におさめる断面は 図-5 に示される様に middle third の条件を満足する断面より遙かに大となる。

次に數例に就て計算し、且つ檢算して見る。設計基準は前節の図表を利用出来る様次の如く定む。

$$\begin{aligned} \gamma &= 2.3 & \gamma_1 &= 1.8 & K_1 &= 0.15 & K_2 &= 0.075 & n &= 0.1 \\ E &= 0.4 & \mu &= 0.5 & \mu_1 &= 1 - \alpha \\ \text{最大高 (H)} &= 26 \text{ m} & \text{最小高} &= 20 \text{ m} & \text{溢流水深} &= 7.6 \text{ m} \\ \text{削取高} &= 8.6 \text{ m} & \text{橋脚の幅} &= 2.8 \text{ m} & \frac{t}{b} &= \frac{2.8}{12.8} \cdot \frac{1}{5} & \lambda &= 1.8 \end{aligned}$$

こゝに最小高 20 m とあるは溢流堰堤としてこれより低き断面には溢流部が無い事を示す。この事はコンクリート水平施工接手と基礎岩盤とに揚圧力が異なる場合には豫め考慮する必要がある。即ち最小高以下の水平断面には基礎岩盤と接する場合の揚圧力を用ひ、それ以上の断面に於てはコンクリート水平施工接手の揚圧力を用ひて断面設計並に檢算を行ふ必要がある。

満水時地震力を受けた場合、合力の作用線が middle third を通過すべき各断面の所要幅を 図-2 より求むれば 表-8 の如くなる。

表-8.

断面	頂點よりの距離 (m)	α	揚圧係數	所要下流面勾	中心より下流面迄の理論距離 (m)	摘 要
②	10.0					溢流拋物線部
③	17.2	0.50	0.5	0.977	16.80	理論的溢流拋物線終端
④	20.0	0.43	0.5	0.928	18.56	溢流堰堤最小高
⑤	26.0	0.331	0.5	0.868	23.09	“ 最大高

表-9.

断面	頂點よりの距離 (m)	中心よりの下流面迄の理論距離 (m)	採用断面の中心より下流面迄の距離 (m)	摘 要
②	10.0			
③	17.2	16.80	16.216	0.584 m 不足
④	20.0	18.56	18.40	0.16 m 不足
⑤	26.0	23.09	23.08	殆ど一致

即ち下流面は溢流拋物線終端より 次第に急勾配となる曲線状となる。然し實際問題上は 斯くの如く下流面の勾配

を変化せしむるは比較的低堰堤に於ては煩瑣に堪へざるを以て、最大高の下流面點より理論的下流面曲線と約同一面積を包む單一勾配とする。本例題に於てこの條件に適する下流面直線として 図-6 に示す如く、頂點に於て 2.8 m の幅を有し 1 : 0.78 の勾配を取る直線を採用す。よつてこの採用断面と理論断面の大きを比較すれば 表-9 の如し。

即ち實際断面は理論的所要断面に比すると最大高断面に於て一致し、最小高断面に於て少しく不足するが、これは上部断面の増大によつて補はれるものと解せらるべく、又溢流拋物線終端にては稍、不足するが、之は最小高以上の断面なるを以て、この部分に對しては揚圧係數 0.3 にてよく、従つてこの程度の不足は差支なしと考へられる。實際上この部分の所要幅を求めるには (12) 式に $\mu=0.3$ として m を求め断面幅を決定するを要す。よつて溢流頂の上流面は溢流水脈の下流面と一致せしめ、下流面は溢流水脈下面線の頂點を頂點とし基本断面の下流面に切する拋物線とす。可動堰はセンターゲートとし、橋脚も之に適するやう設計すれば 図-7 の如くなる。

檢算 以上決定せる實際の定規図に就き各断面毎に詳細なる檢算をなし、その結果を表示すれば 表-10 及 表-11 の如くなる。

断面檢算の結果を見るに満水時地震力を受けた場合は、断面 ①-② の中間より上部即ち固定堤天端より約 3 m 下まで堤体上流側に張力を生ず。又空虚時上流向地震力を受けた場合は断面 ② の下流側即ち橋脚下部に張力を生ず。従つて堤体の上流側及橋脚の下部に對しては鉄筋を以てこの張力を取らしむる必要がある。然し橋脚に對しては全鉄筋量は横方向の安定度より決定せられる。かく計算によつて鉄筋を決定すれば 図-8 の如し。

又満水時に於ける滑動係數を理論断面と實際

圖-6.

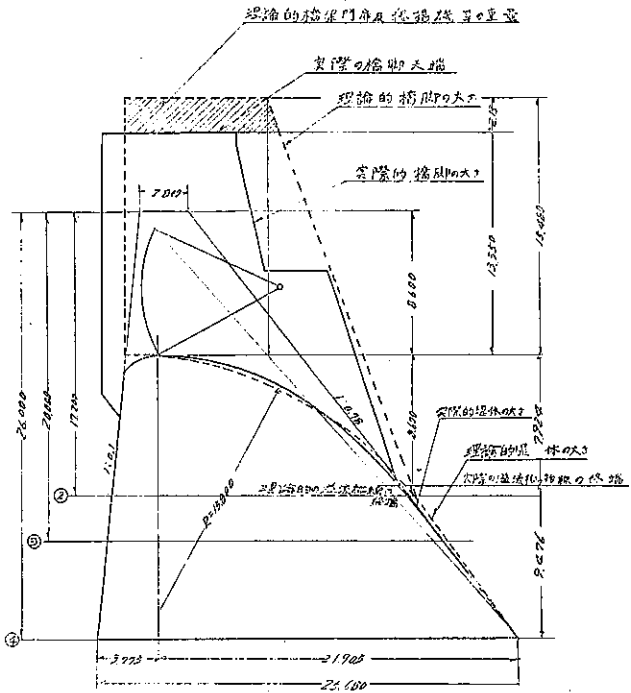


圖-7.

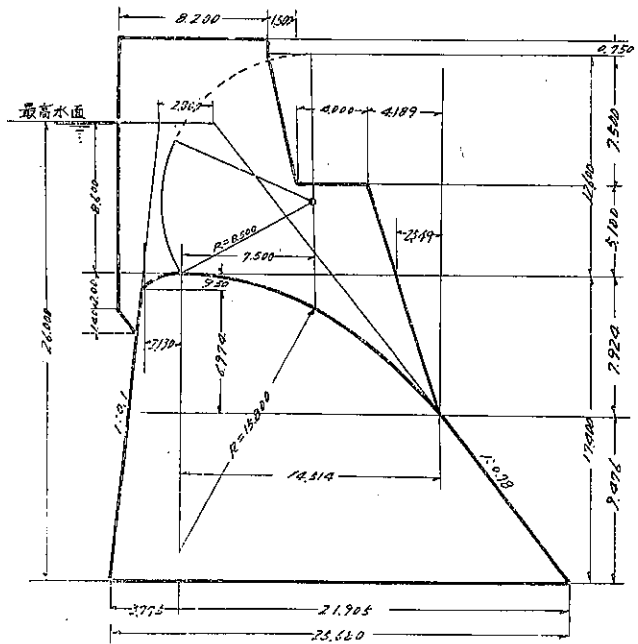


表-10. 満水時地震力を受けた場合の応力

断面	全垂直力 (t)	全水平力 (t)	合力作用点 (m)	下流側 1/3 点 (m)	下流側垂直応力 (t/m ²)	上流側垂直応力 (t/m ²)	頂点よりの距離 (m)
①	$\frac{1496.797}{12.8}$	$\frac{1127.755}{12.8}$	2.505		31.095	-0.952	10.6
②	$\frac{2138.790}{12.8}$	$\frac{1613.660}{12.8}$	2.096		26.154	1.335	12.6
③	265.165	220.836	2.774	2.890	29.970	0.612	16.524
④	435.082	361.562	3.311	3.547	39.543	1.949	21.000
⑤	667.424	558.962	4.000	4.280	50.291	1.689	26.000

表-11. 空虛時地震力を受けた場合の応力

断面	全垂直力 (t)	全水平力 (t)	合力作用点 (m)	上流側 1/3 点 (m)	下流側垂直応力 (t/m ²)	上流側垂直応力 (t/m ²)	頂点よりの距離 (m)
①	$\frac{1601.914}{12.8}$	$\frac{120.144}{12.8}$	-1.321		-0.858	18.945	10.600
②	$\frac{2333.211}{12.8}$	$\frac{174.990}{12.8}$	-1.900		-0.451	24.093	12.600
③	320.050	24.006	-2.422	-2.890	-2.990	33.922	16.524
④	518.855	38.916	-2.983	-3.547	-3.877	44.887	21.000
⑤	788.875	59.108	-3.670	-4.280	-4.393	57.045	26.000

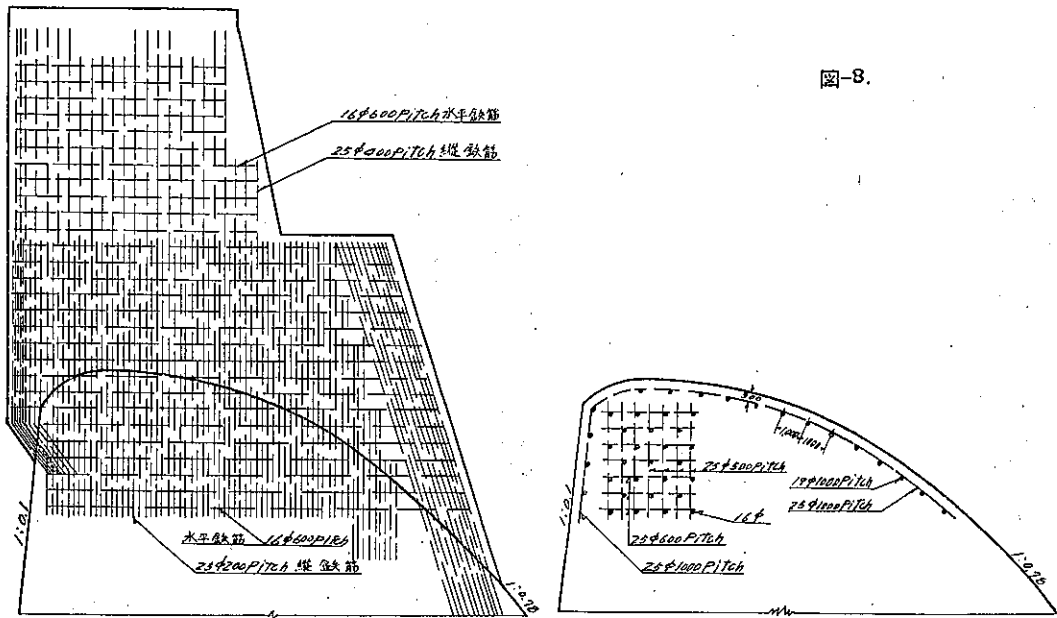


図-3.

設計断面に就て比較するに 表-12 の如くなる。

即ち設計例の如く基本断面として梯形を用ふれば同一底幅に比し、堤体容積増加するを以て滑動係数は基本三角

表-13. 満水時地震力を受けたる場合の外力及モーメント

記 號	外 力	臂 長	モ ー メ ン ト
W_1	$\frac{1}{2} w m x^2$	$\frac{1}{3} w x + v$	$\frac{1}{6} w m^2 x^3 + \frac{1}{2} w m x^2 v$
W_2	$\frac{1}{2} w n x^2$	$-\frac{1}{2} n x$	$-\frac{1}{6} w n^2 x^3$
W_3	$\frac{1}{2} w_0 n x^2$	$-\frac{2}{3} n x$	$-\frac{1}{3} w_0 n^2 x^3$
W_4	$\frac{1}{2} (w_1 - w_0) m \mu_1^2 x^2$	$-\frac{1}{3} n (3 - \mu_1) x$	$-\frac{1}{6} (w_1 - w_0) m^2 (3 - \mu_1) \mu_1^2 x^3$
P_0	$\frac{1}{2} w_0 x^2$	$\frac{1}{3} x$	$\frac{1}{6} w_0 x^3$
P_a	$\frac{7}{12} w_0 K_1 (H - x_0)^{\frac{3}{2}} (x - x_0)^{\frac{3}{2}}$	$\frac{4}{10} (x - x_0)$	$\frac{7}{30} w_0 K_1 (H - x_0)^{\frac{3}{2}} (x - x_0)^{\frac{3}{2}}$
P_1	$\frac{1}{2} (w_1 - w_0) E \mu_1^2 x^2$	$\frac{1}{3} \mu_1 x$	$\frac{1}{6} (w_1 - w_0) E \mu_1^2 x^3$
U	$-\frac{1}{2} w_0 \{ (m+n)x + v \} \mu x^2$	$\frac{1}{3} \{ (m-2n)x + v \}$	$-\frac{1}{6} w_0 \{ (m^2 - mn - 2n^2) \mu x^3 + (2m-n) \mu x^2 v + \mu x v^2 \}$
F_1	$\frac{1}{2} w m K_1 x^2$	$\frac{1}{3} x$	$\frac{1}{6} w m K_1 x^3$
F_2	$\frac{1}{2} w n K_1 x^2$	$\frac{1}{3} x$	$\frac{1}{6} w n K_1 x^3$
W_{01}	$-2 w m h_0^2$	$\frac{2}{3} m h_0 + v$	$-\frac{4}{3} w m^2 h_0^3 - 2 w m h_0^2 v$
W_{12}	$\frac{4}{3} w m h_0^2$	$\frac{3}{4} m h_0 + v$	$w m^2 h_0^3 + \frac{4}{3} w m h_0^2 v$
W_{03}	$-\frac{1}{2} w n h_0^2$	$-\frac{1}{3} n h_0$	$\frac{1}{6} w n^2 h_0^3$
W_{04}	$w(x-h_0)v$	$\frac{1}{2} v$	$\frac{1}{2} w(x-h_0)v^2$
F_{01}	$-2 w m h_0^2 K_1$	$x - \frac{4}{3} h_0$	$-2 w m h_0^2 \left(x - \frac{4}{3} h_0 \right) K_1$
F_{02}	$\frac{4}{3} w m h_0^2 K_1$	$x - \frac{8}{5} h_0$	$\frac{4}{3} w m h_0^2 \left(x - \frac{8}{5} h_0 \right) K_1$
F_{03}	$-\frac{1}{2} w n h_0^2 K_1$	$x - \frac{2}{3} h_0$	$-\frac{1}{2} w n h_0^2 \left(x - \frac{2}{3} h_0 \right) K_1$
F_{04}	$w(x-h_0)v K_1$	$\frac{1}{2} (x-h_0)$	$\frac{1}{2} w(x-h_0)^2 v K_1$
W_{f1}	$\frac{3}{2} w m h_0 (h_0 + h_1) \frac{t}{b}$	$\frac{7}{9} m h_0 + v$	$\frac{7}{6} w m^2 h_0^2 (h_0 + h_1) \frac{t}{b} + \frac{3}{2} w m h_0 (h_0 + h_1) \frac{t}{b} v$
W_{f2}	$-\frac{4}{3} w m h_0^2 \frac{t}{b}$	$\frac{3}{4} m h_0 + v$	$-w m^2 h_0^3 \frac{t}{b} - \frac{4}{3} w m h_0^2 v \frac{t}{b}$
W_{f3}	$w n h_0 h_1 \frac{t}{b}$	$-\frac{1}{2} n h_0$	$-\frac{1}{2} w n^2 h_0^2 h_1 \frac{t}{b}$
W_{f4}	$w h_1 v \frac{t}{b}$	$\frac{1}{2} v$	$\frac{1}{2} w h_1 v^2 \frac{t}{b}$
W_{f5}	$-\frac{1}{2} w v (h_0 + h_1) \frac{t}{b}$	$\frac{4}{3} m h_0 + \frac{v}{2}$	$-\frac{1}{2} w v (h_0 + h_1) \left(\frac{4}{3} m h_0 + \frac{v}{2} \right) \frac{t}{b}$

表-13. (続 き)

記 號	外 力	臂 長	モ ー メ ン ト
F_{f1}	$\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}K_1$	$x-\frac{1}{9}(14h_0-4h_1)$	$\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\left\{x-\frac{1}{9}(14h_0+4h_1)\right\}\frac{t}{b}K_1$
F_{f2}	$-\frac{4}{3}wmh_0^2\frac{t}{b}K_1$	$x-\frac{8}{5}h_1$	$-\frac{4}{3}wmh_0^2\left(x-\frac{8}{5}h_1\right)\frac{t}{b}K_1$
F_{f3}	$wnh_0h_1\frac{t}{b}K_1$	$x-h_0+\frac{1}{2}h_1$	$wnh_0h_1\left(x-h_0+\frac{1}{2}h_1\right)\frac{t}{b}K_1$
F_{f4}	$wh_1v\frac{t}{b}K_1$	$x-h_0+\frac{1}{2}h_1$	$wh_1\left(x-h_0+\frac{1}{2}h_1\right)v\frac{t}{b}K_1$
F_{f5}	$-\frac{1}{2}wv(h_0+h_1)\frac{t}{b}K_1$	$x+\frac{1}{3}(2h_1-h_0)$	$-\frac{1}{2}wv(h_0+h_1)\left\{x+\frac{1}{3}(2h_1-h_0)\right\}\frac{t}{b}K_1$

$$R_0\frac{1}{3}\{(2m-n)x+2v\} = -(\sum W + \sum W_0 + \sum W_f + U)\frac{1}{3}\{(2m-n)x+2v\}$$

$-W_1$	$-\frac{1}{2}wm x^2$	$\frac{1}{3}\{(2m-n)x+2v\}$	$-\frac{2}{6}wm^2x^3 + \frac{1}{6}wmnx^3 - \frac{2}{6}wmvx^2$
$-W_2$	$-\frac{1}{2}wn x^2$	"	$-\frac{2}{6}wmnx^3 + \frac{1}{6}wn^2x^3 - \frac{2}{6}wnvx^2$
$-W_3$	$-\frac{1}{2}w_0n x^2$	"	$-\frac{2}{6}w_0mnx^3 + \frac{1}{6}w_0n^2x^3 - \frac{2}{6}w_0nvx^2$
$-W_4$	$-\frac{1}{2}(w_1-w_0)\mu_1^2x^2$	"	$-\frac{2}{6}(w_1-w_0)\mu_1^2mnx^3 + \frac{1}{6}(w_1-w_0)\mu_1^2n^2x^3 - \frac{2}{6}(w_1-w_0)\mu_1^2nvx^2$
$-W_{01}$	$2wmh_0^2$	"	$\frac{4}{3}wm^2h_0^2x - \frac{2}{3}wmnh_0^2x + \frac{4}{3}wmh_0^2v$
$-W_{02}$	$-\frac{4}{3}wmh_0^2$	"	$-\frac{8}{9}wm^2h_0^2x + \frac{4}{9}wmnh_0^2x - \frac{8}{9}wmh_0^2v$
$-W_{03}$	$\frac{1}{2}wnh_0^2$	"	$\frac{2}{6}wmnh_0^2x - \frac{1}{6}wn^2h_0^2x + \frac{2}{6}wnh_0^2v$
$-W_{04}$	$-w(x-h_0)v$	"	$-\frac{2}{3}wm(x-h_0)vx + \frac{1}{3}wn(x-h_0)vx - \frac{2}{3}w(x-h_0)v^2$
$-W_{f1}$	$-\frac{3}{2}wmh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	"	$-wmh_0^2(h_0+h_1)x\frac{t}{b} + \frac{3}{6}wmnh_0(h_0+h_1)\frac{t}{b} - wmh_0(h_0+h_1)v\frac{t}{b}$
$-W_{f2}$	$\frac{4}{3}wmh_0^2\frac{t}{b}$	"	$\frac{8}{9}wm^2h_0^2x\frac{t}{b} - \frac{4}{9}wmnh_0^2x\frac{t}{b} + \frac{8}{9}wmh_0^2v\frac{t}{b}$
$-W_{f3}$	$-wnh_0h_1\frac{t}{b}$	"	$-\frac{4}{6}wmnh_0h_1x + \frac{2}{6}wn^2h_0h_1x\frac{t}{b} - \frac{4}{6}wnh_0h_1v\frac{t}{b}$
$-W_{f4}$	$-wh_1v\frac{t}{b}$	"	$-\frac{2}{3}wmh_1xv\frac{t}{b} + \frac{1}{3}wnh_1xv\frac{t}{b} - \frac{2}{3}wh_1xv^2\frac{t}{b}$
$-W_{f5}$	$\frac{1}{2}wv(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	"	$\frac{1}{2}wv(h_0+h_1)\frac{1}{3}\{(2m-n)x+2v\}\frac{t}{b}$
$-U$	$\frac{1}{2}w_0\{(m+n)x+v\}\mu x$	"	$\frac{1}{6}w_0(2m^2+mn-n^2)\mu x^3 + \frac{4}{6}w_0m\mu x^2v + \frac{1}{6}w_0n\mu x^2v + \frac{2}{6}w_0\mu xv^2$

表-14. 満水時地震力を受けた場合の各項の係数

記 号	m^2	m	mn	mn を含まず	n	n^2
W_1	γ	$3\gamma\frac{v}{x}$				
W_2						$-\gamma$
W_3						-2
W_4						$-(\gamma_1-1)3-\mu_1\mu_1^2$
P_0				1		
P_0				$\frac{7}{5}\left(\frac{H-x_0}{x}\right)^2\left(\frac{x-x_0}{x}\right)^{\frac{5}{2}}K_1$		
P_1				$(\gamma_1-1)E\mu_1^3$		
U	$-\mu$	$-2\mu\frac{v}{x}$	μ	$-\mu\left(\frac{v}{x}\right)^2$	$\mu\frac{v}{x}$	2μ
F_1		γK_1			γK_1	
F_2						
$-W_1$	-2γ	$-2\gamma\frac{v}{x}$	γ			
$-W_2$			-2γ		$-2\gamma\frac{v}{x}$	γ
$-W_3$			-2		$-2\frac{v}{x}$	1
$-W_4$			$-2(\gamma_1-1)\mu_1^2$		$2(\gamma_1-1)\mu_1^2\frac{v}{x}$	$(\gamma_1-1)\mu_1^2$
$-U$	2μ	$4\mu\frac{v}{x}$	μ	$2\mu\left(\frac{v}{x}\right)^2$	$\mu\frac{v}{x}$	$-\mu$
W_{01}	$-8\gamma\alpha^2$	$-12\gamma\alpha^2\frac{v}{x}$				
W_{02}	$6\gamma\alpha^2$	$8\gamma\alpha^2\frac{v}{x}$				$\gamma\alpha^2$
W_{03}						
W_{04}				$3\gamma(1-\alpha)\left(\frac{v}{x}\right)^2$		
F_{01}		$-12\gamma\alpha^2\left(1-\frac{4}{3}\alpha\right)K_1$				
F_{02}		$8\gamma\alpha^2\left(1-\frac{8}{5}\alpha\right)K_1$				
F_{03}					$-3\gamma\alpha^2\left(1-\frac{2}{3}\alpha\right)K_1$	
F_{04}				$3\gamma(1-\alpha)^2\frac{v}{x}K_1$		
$-W_{01}$	$8\gamma\alpha^2$	$8\gamma\alpha^2\frac{v}{x}$	$-4\gamma\alpha^2$			
$-W_{02}$	$-\frac{16}{3}\gamma\alpha^2$	$-\frac{16}{3}\gamma\alpha^2\frac{v}{x}$	$\frac{8}{3}\gamma\alpha^2$			
$-W_{03}$			$2\gamma\alpha^2$		$2\gamma\alpha^2\frac{v}{x}$	$-\gamma\alpha^2$
$-W_{04}$		$-4\gamma(1-\alpha)\frac{v}{x}$		$-4\gamma(1-\alpha)\left(\frac{v}{x}\right)^2$	$2\gamma(1-\alpha)\frac{v}{x}$	

表-14. (続 き)

記 号	m^2	m	mn	mn を含まず	n	n^2
W_{f1}	$7\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$	$9\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}\frac{v}{x}$				
W_{f2}	$-6\gamma\alpha^2\frac{t}{b}$	$-8\gamma\alpha^2\frac{t}{b}\frac{v}{x}$				
W_{f3}						$-3\gamma\alpha^2\lambda\frac{t}{b}$
W_{f4}				$3\gamma\alpha\lambda\frac{t}{b}\left(\frac{v}{x}\right)^2$		
W_{f5}		$-4\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{v}{x}\frac{t}{b}$		$-\frac{3}{2}\gamma\alpha(1+\lambda)\left(\frac{v}{x}\right)^2\frac{t}{b}$		
F_{f1}		$9\gamma\alpha^2(1+\lambda)\left\{1-\frac{1}{9}\right.$ $\left.\times(14\alpha-4\lambda)\right\}\frac{t}{b}K_1$				
F_{f2}		$-8\gamma\alpha^2\left(1-\frac{8}{5}\alpha\right)\frac{t}{b}K_1$				
F_{f3}					$6\gamma\alpha\left(1-\alpha\right.$ $\left.+\frac{1}{2}\alpha\lambda\right)\lambda\frac{t}{b}K_1$	
F_{f4}				$6\gamma\alpha\left(1-\alpha\right.$ $\left.+\frac{1}{2}\alpha\lambda\right)\lambda\frac{t}{b}\frac{v}{x}K_1$		
F_{f5}				$-\gamma\alpha(1+\lambda)\left\{3+(2\lambda\right.$ $\left.-1)\alpha\right\}\frac{v}{x}\frac{t}{b}K_1$		
$-W_{f1}$	$-6\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$	$-6\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}\frac{v}{x}$	$3\gamma\alpha^2(1+\lambda)\frac{t}{b}$			
$-W_{f2}$	$\frac{16}{3}\gamma\alpha^2\frac{t}{b}$	$\frac{16}{3}\gamma\alpha^2\frac{t}{b}\frac{v}{x}$	$-\frac{8}{3}\gamma\alpha^2\frac{t}{b}$			
$-W_{f3}$			$-4\gamma\alpha^2\lambda\frac{t}{b}$		$-4\gamma\alpha^2\lambda\frac{t}{b}\frac{v}{x}$	$2\gamma\alpha^2\lambda\frac{t}{b}$
$-W_{f4}$		$-4\gamma\alpha\lambda\frac{t}{b}\frac{v}{x}$		$-4\gamma\alpha\lambda\frac{t}{b}\left(\frac{v}{x}\right)^2$	$2\gamma\alpha\lambda\frac{t}{b}\frac{v}{x}$	
$-W_{f5}$		$2\gamma\alpha(1+\lambda)\frac{v}{x}\frac{t}{b}$		$2\gamma\alpha(1+\lambda)\left(\frac{v}{x}\right)^2\frac{t}{b}$	$-\gamma\alpha(1+\lambda)\frac{v}{x}\frac{t}{b}$	

て次の二次方程式を得る。

$$Am^2 - 2Bm - C = 0$$

ここに

$$A = (\gamma - \mu) - 2\left(\frac{4}{3} - \alpha\right)\gamma\alpha^2 + \left\{\left(\frac{2}{3} - \alpha\right) + (6 - 7\alpha)\lambda\right\}\gamma\alpha^2\frac{t}{b}$$

$$B = \frac{1}{2}\left[\left\{\gamma K_1 - n\left[\gamma + 2 + 2(\gamma_1 - 1)\mu_1^2 - 2\mu\right]\right\}\right]$$

$$- \left\{(4 - 3.2\lambda)K_1 - \frac{2}{3}n\right\}\gamma\alpha^2 + \left\{\left(\frac{1}{3} - \lambda\right)n + K_1\left(1 + 9\lambda - \frac{6}{5}\alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha\right)\right\}\gamma\alpha^2\frac{t}{b}$$

$$\begin{aligned}
& + \left\{ (2\mu - 3\gamma) - \frac{4}{3}\gamma\alpha^2 + 4\gamma\alpha - \left(\frac{11}{3} + \lambda\right)\gamma\alpha^2 \frac{t}{b} - 2\gamma\alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right\} \frac{v}{x} \\
C = & 1 + (\gamma_1 - 1)E\mu_1^3 + 1.4K_1 \left(\frac{H - x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}} + n^2 \left\{ -1 + \mu + \gamma \frac{K_1}{n} - (\gamma_1 - 1)(2 - \mu_1)\mu_1^2 \right\} \\
& - n^2 \left\{ \frac{K_1(3 - 2\alpha)}{n} - \alpha + 1 \right\} \gamma\alpha^2 + n^2 \left\{ \frac{6K_1(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda)}{n} - 3\alpha + 2 \right\} \lambda\gamma\alpha^2 \frac{t}{b} \\
& + \left[2 \left\{ \mu - 1 - (\gamma_1 - 1)\mu_1^2 \right\} - 2\gamma\alpha(1 - \alpha) - \gamma\alpha(1 - \lambda + 4\alpha\lambda) \frac{t}{b} \right] n \frac{v}{x} \\
& + \left\{ 3\gamma(1 - \alpha)^2 + 3\gamma\alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} + \gamma\alpha^2(1 - 7\lambda + \lambda^2) \frac{t}{b} \right\} K_1 \frac{v}{x} \\
& + \left\{ \mu - \gamma(1 - \alpha) - \frac{1}{2}\gamma\alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right\} \left(\frac{v}{x}\right)^2
\end{aligned} \tag{16}$$

本式は頂幅 v を適當に假定して、之に應ずる下流面の勾配を決定するに用ひられる。 v/x の項が基本三角形を用ひたる場合に比し、新に増加した項である。従つて $v=0$ とすれば基本三角形を用ひたる場合になる。又 $\alpha=0$ とすれば非溢流堰堤に梯形断面を用ひたる場合になる。即ち

$$\begin{aligned}
A &= \gamma - \mu \\
B &= \frac{1}{2} \left\{ \left[\gamma K_1 - n \left[\gamma + 2 + 2(\gamma_1 - 1)\mu_1^2 - 2\mu \right] \right] + (2\mu - 3\gamma) \frac{v}{x} \right\} \\
C &= 1 + (\gamma_1 - 1)E\mu_1^3 + 1.4 \left(\frac{H - x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}} \\
& + n^2 \left\{ -1 + \mu + \gamma \frac{K_1}{n} - (\gamma_1 - 1)(2 - \mu_1)\mu_1^2 \right\} \\
& + 2n \left\{ \mu - 1 - (\gamma_1 - 1)\mu_1^2 \right\} \left(\frac{v}{x}\right) + 2\gamma K_1 \left(\frac{v}{x}\right) + (\mu - \gamma) \left(\frac{v}{x}\right)^2
\end{aligned} \tag{16}$$

満水時地震力を受けた場合強め下流面の勾配を假定し梯形基本断面の頂幅を求めるには (16) 式を変形し v/x に關する二次式に書き直せばよい。即ち

$$\begin{aligned}
L \left(\frac{v}{x}\right)^2 - 2M \left(\frac{v}{x}\right) + N &= 0 \\
L &= \mu - \gamma(1 - \alpha) - \frac{1}{2}\gamma\alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \\
M &= -\frac{1}{2} \left\{ \left[2 \left\{ \mu - 1 - (\gamma_1 - 1)\mu_1^2 \right\} - 2\gamma\alpha(1 - \alpha) - \gamma\alpha(1 - \lambda + 4\alpha\lambda) \frac{t}{b} \right] n \right. \\
& + \left. \left[3\gamma(1 - \alpha)^2 + 3\gamma\alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} + \gamma\alpha^2(1 - 7\lambda + \lambda^2) \frac{t}{b} \right] K_1 \right. \\
& + \left. \left[(2\mu - 3\gamma) - \frac{4}{3}\gamma\alpha^2 + 4\gamma\alpha - \left(\frac{11}{3} + \lambda\right)\gamma\alpha^2 \frac{t}{b} - 2\gamma\alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right] n \right\} \\
N &= - \left\{ 1 + (\gamma_1 - 1)E\mu_1^3 + 1.4K_1 \left(\frac{H - x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}} \right. \\
& + n^2 \left[-1 + \mu + \gamma \frac{K_1}{n} - (\gamma_1 - 1)(2 - \mu_1)\mu_1^2 \right] \\
& - n^2 \left[\frac{K_1(3 - 2\alpha)}{n} - \alpha + 1 \right] \gamma\alpha^2 + n^2 \left[\frac{6K_1(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda)}{n} - 3\alpha + 2 \right] \lambda\gamma\alpha^2 \frac{t}{b} \left. \right\}
\end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
 & - \left[\gamma K_1 - n \left[\gamma + 2 + 2(\gamma_1 - 1)\mu_1^2 - 2\mu \right] - \left(4 - 3.2\alpha \right) K_1 - \frac{2}{3} n \right] \gamma \alpha^2 \\
 & + \left\{ \left(\frac{1}{3} - \lambda \right) n + K_1 (1 + 9\lambda) - \frac{6}{5} \alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha \right\} \gamma \alpha^2 \frac{t}{b} m \\
 & + \left\{ (\gamma - \mu) - 2 \left(\frac{4}{3} - \alpha \right) \gamma \alpha^2 + \left[\left(\frac{2}{3} - \alpha \right) + (6 - 7\alpha)\lambda \right] \gamma \alpha^2 \frac{t}{b} \right\} m^2
 \end{aligned}$$

この場合にも $\alpha = 0$ とすれば非溢流堰堤に基本梯形を用ひた事になる。即ち

$$\begin{aligned}
 L &= \mu - \gamma \\
 M &= -\frac{1}{2} \left[2 \left\{ \mu - 1 - (\gamma_1 - 1)\mu_1^2 \right\} n + 3\gamma K_1 + (2\mu - 3\gamma)m \right] \\
 N &= - \left\{ 1 + (\gamma_1 - 1)E\mu_1^3 + 1.4K_1 \left(\frac{H - x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} \right. \\
 & \quad \left. + n^2 \left[-1 + \mu + \gamma \frac{K_1}{n} - (\gamma_1 - 1)(2 - \mu_1)\mu_1^2 \right] \right\} \\
 & \quad - \left\{ \gamma K_1 - n \left[\gamma + 2 + 2(\gamma_1 - 1)\mu_1^2 - 2\mu \right] \right\} n_1 + (\gamma - \mu)m^2
 \end{aligned} \quad \dots\dots(17)$$

又同一条件の下に設計した非溢流堰堤と同一の下流面勾配を用ひたる場合の頂幅を求めれば (17) 式に於て

$$\begin{aligned}
 & (\gamma - \mu)m^2 - \frac{1}{2} \left\{ \gamma K_1 - n \left[\gamma + 2 + 2(\gamma_1 - 1)\mu_1^2 - 2\mu \right] \right\} m \\
 & - \left\{ 1 - (\gamma_1 - 1)E\mu_1^3 + 1.4K_1 \left(\frac{H - x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} \right. \\
 & \quad \left. + n^2 \left[-1 + \mu + \gamma \frac{K_1}{n} - (\gamma_1 - 1)(2 - \mu_1)\mu_1^2 \right] \right\} = 0
 \end{aligned}$$

なるを以つて

$$\begin{aligned}
 L &= \mu - \gamma(1 - \alpha) - \frac{1}{2} \gamma \alpha (\lambda - 1) \frac{t}{b} \\
 M &= -\frac{1}{2} \left\{ \left[2 \left\{ \mu - 1 - (\gamma_1 - 1)\mu_1^2 \right\} - 2\gamma\alpha(1 - \alpha) - \gamma\alpha(1 - \lambda + 4\alpha\lambda) \right] \frac{t}{b} n \right. \\
 & \quad \left. + \left[3\gamma(1 - \alpha)^2 + 3\gamma\alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} + \gamma\alpha^2(1 - 7\lambda + \lambda^2) \frac{t}{b} \right] K_1 \right. \\
 & \quad \left. + \left[(2\mu - 3\gamma) - \frac{4}{3} \gamma \alpha^2 + 4\gamma\alpha - \left(\frac{11}{3} + \lambda \right) \gamma \alpha^2 \frac{t}{b} - 2\gamma\alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right] m \right\} \\
 N &= -n^2 \left[\frac{K_1(3 - 2\alpha)}{n} - \alpha + 1 \right] \gamma \alpha^2 + n^2 \left[\frac{6K_1(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda)}{n} - 3\alpha + 2 \right] \lambda \gamma \alpha^2 \frac{t}{b} \\
 & \quad - \left[- \left\{ (4 - 3.2\alpha)K_1 - \frac{2}{3} n \right\} \gamma \alpha^2 \right. \\
 & \quad \quad \left. + \left\{ \left(\frac{1}{3} - \lambda \right) n + K_1 \left(1 + 9\lambda - \frac{6}{5} \alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha \right) \right\} \gamma \alpha^2 \frac{t}{b} \right] m \\
 & \quad + \left[-2 \left(\frac{4}{3} - \alpha \right) \gamma \alpha^2 + \left\{ \left(\frac{2}{3} - \alpha \right) + (6 - 7\alpha)\lambda \right\} \gamma \alpha^2 \frac{t}{b} \right] m^2
 \end{aligned} \quad (18)$$

3. 空虛時に於ける上流面の勾配

空虛時上流向に地震力を受けた場合、各外力、臂長及そのモーメントを示せば表-15 の如くなり、このモーメントの總和を 0 と置き之を整理し、 n の各項の係数を示せば表-16 の如くなる。故に n に関する二次方程式を得

表-15. 空虚時地震力を受けたる場合の外力及モーメント

記 號	外 力	臂 長	モ ー メ ン ト
W_1	$\frac{1}{2} w m x^2$	$\frac{1}{3} w x + v$	$\frac{1}{6} w m^2 x^3 + \frac{1}{2} w m x^2 v$
W_2	$\frac{1}{2} w n x^2$	$-\frac{1}{3} n x$	$-\frac{1}{6} w n^2 x^3$
F_1	$-\frac{1}{2} w m K_1 x^2$	$\frac{1}{3} x$	$-\frac{1}{6} w m K_1 x^3$
F_2	$-\frac{1}{2} w n K_1 x^2$	$\frac{1}{3} x$	$-\frac{1}{6} w n K_1 x^3$
W_{01}	$-2 w m h_0^2$	$\frac{2}{3} m h_0 + v$	$-\frac{4}{3} w m^2 h_0^3 - 2 w m h_0^2 v$
W_{02}	$\frac{4}{3} w m h_0^2$	$\frac{3}{4} m h_0 + v$	$w m^2 h_0^3 + \frac{4}{3} w n h_0^2 v$
W_{03}	$-\frac{1}{2} w n h_0^2$	$-\frac{1}{3} n h_0$	$\frac{1}{6} w n^2 h_0^3$
W_{04}	$w(x-h_0)v$	$\frac{1}{2} v$	$\frac{1}{2} w(x-h_0)v^2$
F_{01}	$2 w m h_0^2 K_1$	$x - \frac{4}{8} h_0$	$2 w m h_0^2 \left(x - \frac{4}{8} h_0\right) K_1$
F_{02}	$-\frac{4}{3} w m h_0^2 K_1$	$x - \frac{8}{5} h_0$	$-\frac{4}{3} w m h_0^2 \left(x - \frac{8}{5} h_0\right) K_1$
F_{03}	$\frac{1}{2} w n h_0^2 K_1$	$x - \frac{2}{3} h_0$	$\frac{1}{2} w n h_0^2 \left(x - \frac{2}{3} h_0\right) K_1$
F_{04}	$-w(x-h_0)v K_1$	$\frac{1}{2}(x-h_0)$	$-\frac{1}{2} w(x-h_0)^2 v K_1$
W_{f1}	$\frac{3}{2} w m h_0(h_0+h_1) \frac{t}{b}$	$\frac{7}{9} m h_0 + v$	$\frac{7}{6} w m^2 h_0^2 (h_0+h_1) \frac{t}{b} + \frac{3}{2} w m h_0(h_0+h_1) \frac{t}{b} v$
W_{f2}	$-\frac{4}{3} w m h_0^2 \frac{t}{b}$	$\frac{3}{9} m h_0 + v$	$-w m^2 h_0^3 \frac{t}{b} - \frac{4}{3} w m h_0^2 v \frac{t}{b}$
W_{f3}	$w n h_0 h_1 \frac{t}{b}$	$-\frac{1}{2} n h_0$	$-\frac{1}{2} w n^2 h_0^2 h_1 \frac{t}{b}$
W_{f4}	$w h_1 v \frac{t}{b}$	$\frac{1}{2} v$	$\frac{1}{2} w h_1 v^2 \frac{t}{b}$
W_{f5}	$-\frac{1}{2} w v(h_0+h_1) \frac{t}{b}$	$\frac{4}{3} m h_0 + \frac{v}{2}$	$\frac{2}{3} w m v h_0(h_0+h_1) - \frac{1}{4} w v^2(h_0+h_1)$
F_{f1}	$-\frac{3}{2} w m h_0(h_0+h_1) \frac{t}{b} K_1$	$x - \frac{1}{9}(14h_0-4h_1)$	$-\frac{3}{2} w m h_0(h_0+h_1) \left\{x - \frac{1}{9}(14h_0-4h_1)\right\} \frac{t}{b} K_1$
F_{f2}	$\frac{4}{3} w m h_0^2 \frac{t}{b} K_1$	$x - \frac{8}{5} h_1$	$\frac{4}{3} w m h_0^2 \left(x - \frac{8}{5} h_1\right) \frac{t}{b} K_1$
F_{f3}	$-w n h_0 h_1 \frac{t}{b} K_1$	$x - h_0 + \frac{1}{2} h_1$	$-w n h_0 h_1 \left(x - h_0 + \frac{1}{2} h_1\right) \frac{t}{b} K_1$
F_{f4}	$-w h_1 v \frac{t}{b} K_1$	$x - h_0 + \frac{1}{2} h_1$	$-w h_1 \left(x - h_0 + \frac{1}{2} h_1\right) v \frac{t}{b} K_1$
F_{f5}	$-\frac{1}{2} w v(h_0+h_1) \frac{t}{b} K_1$	$x + \frac{1}{3}(2h_1-h_0)$	$-\frac{1}{2} w v(h_0+h_1) \left\{x + \frac{1}{3}(2h_1-h_0)\right\} \frac{t}{b} K_1$

$$R_w \frac{1}{3} \{(m-2n)x+v\} = -(\sum W + \sum W_0 + \sum W_f) \frac{1}{3} \{(m-2n)x+v\}$$

表-15. (続 き)

記 号	外 力	臂 長	モ ー メ ン ト
W_1	$-\frac{1}{2}wm x^2$	$\frac{1}{3}\{(m-2n)x+v\}$	$-\frac{1}{6}wm^2x^3 + \frac{2}{6}wmnx^3 - \frac{1}{6}wm x^2v$
W_2	$-\frac{1}{2}wn x^2$	"	$-\frac{1}{6}wmnx^3 + \frac{2}{6}wn^2x^3 - \frac{1}{6}wn x^2v$
W_{01}	$2wm h_0^2$	"	$\frac{2}{3}wm^2h_0^2x - \frac{4}{3}wmnh_0^2x + \frac{2}{3}wmh_0^2v$
W_{02}	$-\frac{4}{3}wm h_0^2$	"	$-\frac{4}{9}wm^2h_0^2x + \frac{8}{9}wmnh_0^2x - \frac{4}{9}wmh_0^2v$
W_{03}	$\frac{1}{2}wn h_0^2$	"	$\frac{1}{6}wmnh_0^2x - \frac{2}{6}wn^2h_0^2x + \frac{1}{6}wnh_0^2v$
W_{04}	$-w(x-h_0)v$	"	$-\frac{1}{3}wm(x-h_0) xv + \frac{2}{3}wn(x-h_0) xv - \frac{1}{3}w(x-h_0)v^2$
W_{f1}	$-\frac{3}{2}wm h_0(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	"	$-\frac{1}{2}wm^2 h_0(h_0+h_1)x\frac{t}{b} + wmn h_0(h_0+h_1)x\frac{t}{b}$ $-\frac{1}{2}wm h_0(h_0+h_1) xv\frac{t}{b}$
W_{f2}	$\frac{4}{3}wm h_0^2\frac{t}{b}$	"	$\frac{4}{9}wm^2 h_0^2x\frac{t}{b} - \frac{8}{9}wmnh_0^2x\frac{t}{b} + \frac{4}{9}wm h_0^2v\frac{t}{b}$
W_{f3}	$-wn h_0 h_1\frac{t}{b}$	"	$-\frac{2}{6}wmnh_0 h_1x\frac{t}{b} + \frac{4}{6}wn^2 h_0 h_1x\frac{t}{b} - \frac{2}{6}wn h_0 h_1v\frac{t}{b}$
W_{f4}	$-w h_1 v\frac{t}{b}$	"	$-\frac{2}{6}wm h_1 xv\frac{t}{b} + \frac{4}{6}wn h_1 xv\frac{t}{b} - \frac{2}{6}w h_1 xv^2\frac{t}{b}$
W_{f5}	$-\frac{1}{2}wv(h_0+h_1)\frac{t}{b}$	"	$\frac{1}{6}wmv(h_0+h_1)\frac{t}{b} - \frac{1}{3}wmv(h_0+h_1)\frac{t}{b}$ $+ \frac{1}{6}wv^2(h_0+h_1)\frac{t}{b}$

表-16. 空虚時地震力を受けた場合の各項の係数

記 号	n^2	n	mn	mn を含まず	m	m^2
W_1					$\frac{3}{2}\frac{v}{x}$	1
W_2	-1					
F_1 F_2		$-K_2$			$-K_2$	
$-W_1$			2		$-\frac{v}{x}$	-1
$-W_2$	2	$-\frac{v}{x}$	-1			
W_{01}					$-12x^2\frac{v}{x}$	$-8x^3$
W_{02}					$8x^2\frac{v}{x}$	$6x^3$
W_{03}	α^3					
W_{04}				$3(1-\alpha)\left(\frac{v}{x}\right)^2$		

表-16. (続 き)

記 号	n^2	n	mn	mn を含まず	m	m^2
F_{01}					$12x^2 \left(1 - \frac{4}{3}\alpha\right) K_1$	
F_{02}					$-8x^2 \left(1 - \frac{8}{5}\alpha\right) K_1$	
F_{03}		$3x^2 \left(1 - \frac{2}{3}\alpha\right) K_2$				
F_{04}				$-3(1-\alpha)^2 \frac{v}{x} K_2$		
$-W_{01}$			$-8x^2$		$4\alpha^2 \frac{v}{x}$	$4\alpha^2$
$-W_{02}$			$\frac{16}{3}\alpha^2$		$-\frac{8}{3}\alpha^2 \frac{v}{x}$	$-\frac{8}{3}\alpha^2$
$-W_{03}$	$-2x^2$	$\alpha^2 \frac{v}{x}$	α^2			
$-W_{04}$		$4(1-\alpha) \frac{v}{x}$		$-2(1-\alpha) \left(\frac{v}{x}\right)^2$	$-2(1-\alpha) \frac{v}{x}$	
W_{f1}					$9x^2(1+\lambda) \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	$7\alpha^2(1+\lambda) \frac{t}{b}$
W_{f2}					$-8\alpha^2 \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	$-6\alpha^2 \frac{t}{b}$
W_{f3}	$-3\alpha^2 \lambda \frac{t}{b}$					
W_{f4}				$3\alpha \lambda \frac{t}{b} \left(\frac{v}{x}\right)^2$		
W_s			$-\frac{3}{2} \alpha(1+\lambda) \frac{t}{b} \left(\frac{v}{x}\right)^2$		$-4\alpha^2(1+\lambda) \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	
F_{f1}					$-9\alpha^2(1+\lambda) \left\{1 - \frac{1}{9}\right.$ $\left. \times (14\alpha - 4\alpha\lambda)\right\} \frac{t}{b} K_1$	
F_{f2}					$8\alpha^2 \left(1 - \frac{8}{5}\alpha\right) \frac{t}{b} K_1$	
F_{f3}		$-6\alpha^2 \left(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda\right) \lambda \frac{t}{b} K_1$				
F_{f4}				$-6\alpha \left(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda\right) \lambda \frac{t}{b} \frac{v}{x} K_1$		
F_{f5}			$-\alpha(1+\lambda) \left\{3 + (2\lambda - 1)\alpha\right\} \frac{t}{b} \frac{v}{x} K_1$			
$-W_{f1}$			$6x^2(1+\lambda) \frac{t}{b}$		$-3x^2(1+\lambda) \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	$-3\alpha^2(1+\lambda) \frac{t}{b}$
$-W_{f2}$			$-\frac{16}{3}\alpha^2 \frac{t}{b}$		$\frac{8}{3}\alpha^2 \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	$\frac{8}{3}\alpha^2 \frac{t}{b}$
$-W_{f3}$	$4\alpha^2 \lambda \frac{t}{b}$	$-2x^2 \lambda \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	$-2x^2 \frac{t}{b}$			
$-W_{f4}$		$4\alpha \lambda \frac{t}{b} \frac{v}{x}$		$-2x \lambda \frac{t}{b} \left(\frac{v}{x}\right)^2$	$-2x \lambda \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	
$-W_{f5}$		$-2x(1+\lambda) \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	$\alpha(1+\lambda) \frac{t}{b} \left(\frac{v}{x}\right)^2$		$\alpha(1+\lambda) \frac{t}{b} \frac{v}{x}$	

$$\begin{aligned}
 & n^2 \left\{ 1 - (2 - \alpha)\alpha^2 + (4 - 3\lambda)\lambda\alpha^2 \frac{t}{b} \right\} \\
 & + n \left[(m - K_2) - \left\{ \frac{5}{3}m - K_2(3 - 2\alpha) \right\} \alpha^2 + \left\{ \left(\frac{2}{3} + 4\lambda \right) m - 6 \left(1 - \alpha + \frac{1}{2}\alpha\lambda \right) \lambda K_2 \right\} \alpha^2 \frac{t}{b} \right] \\
 & + \left\{ (3 - 4\alpha + \alpha^2) + 2\lambda(\lambda - 1 - \alpha\lambda) \frac{t}{b} \right\} \frac{v}{x} - K_2 m - \left\{ m^2 \left(2\lambda - \frac{4}{3} \right) - m K_2 (4 - 3.2\lambda) \right\} \alpha^2 \\
 & + \left[m^2 \left\{ (1 + 7\lambda)\alpha - \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) \right\} - m K_2 \left(1 + 9\lambda - \frac{6}{5}\alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha \right) \right] \alpha^2 \frac{t}{b} \\
 & + m \left\{ 2\lambda \left(1 - \frac{4}{3}\alpha \right) + \alpha \left(2\lambda\alpha - \frac{10}{3}\alpha - \lambda + 1 \right) \frac{t}{b} \right\} \frac{v}{x} \\
 & - \left\{ 3(1 - \alpha)^2 + \alpha(3 - \alpha + 9\lambda - 5\lambda\alpha + 5\lambda\lambda^2) \right\} K_2 \frac{v}{x} + \left(1 - \frac{1}{2}\alpha + \frac{3}{2}\alpha\lambda \right) \left(\frac{v}{x} \right)^2 = 0 \dots\dots\dots(19)
 \end{aligned}$$

n, K₂ 及 $\frac{v}{x}$ は他に比して小なるを以て n², K₂n, $\left(\frac{v}{x}\right)^2$ 及 K₂ $\frac{v}{x}$ の項を無視すれば

$$\begin{aligned}
 & K_2 + \left\{ m \left(2\lambda - \frac{4}{3} \right) - K_2 (4 - 3.2\lambda) \right\} \alpha^2 \\
 & - \left[m \left\{ (1 + 7\lambda)\alpha - \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) \right\} - K_2 \left(1 + 9\lambda - \frac{6}{5}\alpha - 10\lambda\alpha + 4\lambda^2\alpha \right) \right] \alpha^2 \frac{t}{b} \\
 & - \left\{ 2\lambda \left(1 - \frac{4}{3}\alpha \right) + \alpha \left(2\lambda\alpha - \frac{10}{3}\alpha - \lambda + 1 \right) \frac{t}{b} \right\} \left(\frac{v}{x} \right) \\
 n = & \frac{\dots\dots\dots(19)}{1 - \frac{5}{3}\alpha^2 + \left(\frac{2}{3} + 4\lambda \right) \alpha^2 \frac{t}{b} + \left\{ (3 - 4\alpha + \alpha^2) + 2\lambda(\lambda - 1 - \alpha\lambda) \frac{t}{b} \right\} \left(\frac{v}{x} \right)}
 \end{aligned}$$

4. 満水時滑動係数及滑動係数を一定ならしむる下流面の勾配

満水時地震力を受けた場合滑動係数は

$$\begin{aligned}
 \tan \theta = & \frac{P_0 + P_u + P_1 + P_2 + P_3 + \sum_1^4 P_0 + \sum_1^5 P_y}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + \sum_1^4 W_0 + \sum_1^4 W_y + U} \\
 & 1 + \frac{7}{6} K_1 \left(\frac{H - x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} + (\gamma_1 - 1) E \mu_1^2 + \gamma K_1 (m + n) - \gamma \alpha^2 \left(\frac{4}{3} m + n \right) K_1 \\
 & + \gamma \alpha^2 \left\{ \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) m + 2\lambda n \right\} \frac{t}{b} K_1 + \gamma \left\{ 2(1 - \alpha) + \alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right\} K_1 \frac{v}{x} \\
 = & \frac{\dots\dots\dots(20)}{(\gamma - \mu)(m + n) + n + (\gamma_1 - 1) m \mu_1^2 - \gamma \alpha^2 \left(\frac{4}{3} m + n \right) \\
 & + \gamma \alpha^2 \left\{ \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) m + 2\lambda n \right\} \frac{t}{b} + \left[\gamma \left\{ 2(1 - \alpha) + \alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right\} - \mu \right] \frac{v}{x}}
 \end{aligned}$$

非溢流堰堤の場合には

$$\tan \theta = \frac{1 + \frac{7}{6} K_1 \left(\frac{H - x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} + (\gamma_1 - 1) E \mu_1^2 + \gamma K_1 (m + n) + 2\gamma K_1 \frac{v}{x}}{(\gamma - \mu)(m + n) + n + (\gamma_1 - 1) m \mu_1^2 + (2\gamma - \mu) \frac{v}{x}} \dots\dots\dots(20)$$

滑動係数を一定値 f ならしむる下流面の勾配は (20) 式の tan θ を f と置き変形すれば

$$\begin{aligned}
 & 1 + \frac{7}{6} K_1 \left(\frac{H - x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} + (\gamma_1 - 1) E \mu_1^2 + \gamma K_1 n - \gamma \alpha^2 n \left(1 - 2\lambda \frac{t}{b} \right) K_1 + \gamma \left\{ 2(1 - \alpha) + \alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right\} K_1 \frac{v}{x} \\
 & - f \left\{ n \left[(\gamma - \mu + 1) + (\gamma_1 - 1) \mu_1^2 - \gamma \alpha^2 \left(1 - 2\lambda \frac{t}{b} \right) \right] + \gamma \left[2(1 - \alpha) + \alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} - \mu \right] \frac{v}{x} \right\} \\
 m = & \frac{\dots\dots\dots(21)}{f \left\{ (\gamma - \mu) - \left[\frac{4}{3} - \frac{t}{b} \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) \right] \gamma \alpha^2 \right\} - \gamma K_1 + \left[\frac{4}{3} - \frac{t}{b} \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) \right] \gamma \alpha^2 K_1}
 \end{aligned}$$

非溢流堰堤ならば

$$m = \frac{1 + \frac{7}{6} K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} + (\gamma_1 - 1) E \mu_1^2 + \gamma K_1 n + 2\gamma K_1 \frac{v}{x}}{-fn \left\{ (\gamma - \mu + 1) + (\gamma_1 - 1) \mu_1^2 + (2\gamma - \mu) \frac{v}{x} \right\}} \dots (21)$$

又 m を仮定し f を一定ならしむる v/x を求むるには (21) 式を變形して

$$\frac{v}{x} = \frac{m \left[f \left\{ (\gamma - \mu) - \left[\frac{4}{3} - \frac{t}{b} \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) \right] \gamma \alpha^2 \right\} - \gamma K_1 + \left\{ \frac{4}{3} - \frac{t}{b} \left(\frac{1}{3} + 3\lambda \right) \right\} \gamma \alpha^2 K_1 \right] - \left[1 + \frac{7}{6} K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} + (\gamma_1 - 1) E \mu_1^2 + \gamma K_1 n - \gamma \alpha^2 n (1 - 2\lambda) \frac{t}{b} K_1 - fn \left\{ (\gamma - \mu + 1) + (\gamma_1 - 1) \mu_1^2 - \gamma \alpha^2 \left(1 - 2\lambda \frac{t}{b} \right) \right\} \right]}{\gamma \left\{ 2(1 - \alpha) + \alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right\} K_1 - \left[\gamma \left\{ 2(1 - \alpha) + \alpha(\lambda - 1) \frac{t}{b} \right\} - \mu \right] fn} \dots (22)$$

非溢流堰堤ならば

$$\frac{v}{x} = \frac{m \left\{ f(\gamma - \mu) - \gamma K_1 \right\} - \left[1 + \frac{7}{6} K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} + (\gamma_1 - 1) E \mu_1^2 + \gamma K_1 n - fn \left\{ (\gamma - \mu + 1) + (\gamma_1 - 1) \mu_1^2 \right\} \right]}{2\gamma K_1 - fn(2\gamma - \mu)} \dots (22)$$

5. 計算図表

梯形断面を基本断面とした場合、溢流堰堤に関する算式 (16)~(22) 式に前章と同様の假定を行ひ數値を代入し計算すれば即ち

$$1.4 K_1 \left(\frac{H-x_0}{x} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x_0}{x} \right)^{\frac{3}{2}} = 1.4 \quad \mu_1 = 1 - \alpha$$

$$\frac{t}{b} = \frac{1}{5} \quad \lambda = 1.8 \quad \gamma = 2.3 \quad \gamma_1 = 1.8$$

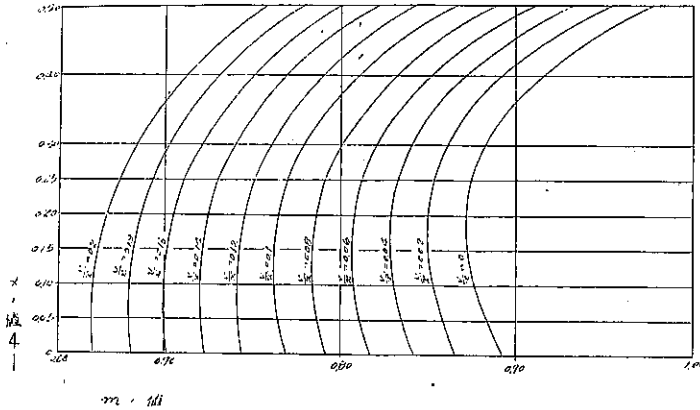
$$K_1 = 0.15 \quad K_2 = 0.075 \quad n = 0.1 \quad E = 0.4 \quad \mu = 0.5$$

満水時地震力を受けた場合 middle third の條件を満足する下流面の勾配は (16) 式より

$$\left. \begin{aligned} m &= \frac{1}{A} (B + \sqrt{B^2 + AC}) \\ A &= 1.8 - (0.8585 + 1.656x)x^2 \\ B &= 0.0075 - 0.08\mu_1^2 - (0.0537 - 0.3379x)x^2 \\ &\quad - (2.95 - 4.232x + 2.79065x^2) \frac{v}{x} \\ C &= 1.2445 + 0.32\mu_1^2 - (0.029 - 0.06155\alpha)x^2 \\ &\quad + (0.935 - 0.16\mu_1^2 - 2.3276x + 0.58698\alpha x^2) \frac{v}{x} \\ &\quad - (1.8 - 2.116\alpha) \left(\frac{v}{x} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots (23)$$

之によつて $v/x = 0 \sim 0.2$ までの値に對して α と m との關係を計算し、図表に示せば 圖-10 となり、又豫め下流面の勾配を假定し、満水時 middle third の條件を満足する頂幅を求むるには (17) 式より

図-10. 基本梯形断面に於て middle third の条件を満足する
下流面の勾配と頂幅との関係



$$\left. \begin{aligned} \frac{v}{x} &= \frac{1}{L} \left(M + \sqrt{M^2 + LN} \right) \\ L &= -(1.8 - 2.116 \alpha) \\ M &= -(0.4675 - 0.08 \mu_1^2 - 1.1638 \alpha + 0.29349 \alpha^2) + (2.95 - 4.232 \alpha + 2.79065 \alpha^2) m \\ N &= - \left\{ 1.2445 + 0.32 \mu_1^2 - (0.029 - 0.06155 \alpha) \alpha^2 \right\} \\ &\quad - \left\{ 0.015 - 0.16 \mu_1^2 - (0.1074 - 0.6757 \alpha) \alpha^2 \right\} m \\ &\quad + \left\{ 1.8 - (0.8585 + 1.656 \alpha) \alpha^2 \right\} m^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots(24)$$

この際下流面の勾配として非溢流堰堤と同一の値を採用すれば (18) 式より

$$\left. \begin{aligned} L &= -(1.8 - 2.116 \alpha) \\ M &= -(0.4675 - 0.08 \mu_1^2 - 1.1638 \alpha + 0.29349 \alpha^2) \\ &\quad + 2.95 - 4.232 \alpha + 2.79065 \alpha^2 m \\ N &= (0.029 - 0.06155 \alpha) \alpha^2 + (0.1074 - 0.6757 \alpha) \alpha^2 m \\ &\quad - (0.8585 + 1.656 \alpha) \alpha^2 m^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots(25)$$

よつて 図-2 より α に相當する非溢流堰堤の下流面の勾配を求め (25) 式に代入して計算すれば α と v/x との關係を得る (図-11 参照)。

空虛時上流方向に地震力を受けた場合 middle third の条件を満足する上流面勾配は (19)' 式より

$$n = \frac{0.075 - m^2 \cdot 0.72 + 0.1867 + 0.075 v^2 (1.942 v - 0.56) - \alpha (1.84 - 2.6134 \alpha)(v/x)}{1 - 0.09334 \alpha + (3 - 3.68 \alpha + 0.28 \alpha^2)(v/x)} \dots\dots(26)$$

然るに $\alpha < 0.5$ なる範圍では略々 $1.84 - 2.6134 \alpha > 0, 3 - 3.68 \alpha + 0.28 \alpha^2 > 0$ なるを以て梯形断面を基本断面とした場合には所要とする上流面勾配は常に三角形基本断面の場合より小なる値にて充分である。よつて等しい値を用ひれば差支ない。

Middle third の条件を満足する様定めた断面の満水時滑動係数は (20) 式より

$$\tan \theta = \frac{1.2095 + 0.32 \mu_1^2 + 0.345 m - (0.0644 m + 0.00966) \alpha^2 + (0.69 - 0.6348 \alpha)(v/x)}{0.28 + 0.08 \mu_1^2 + 1.8 m - (0.4294 m + 0.0644) \alpha^2 + (4.1 - 4.233 \alpha)(v/x)} \dots\dots(27)$$

図-11. 非溢流堰堤と同じ下流面勾配を用ひたる場合溢流水深と基本梯形の頂幅との關係

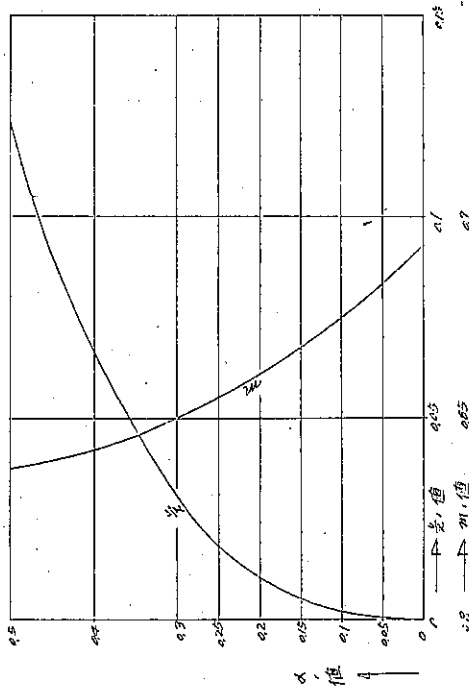


図-12. 基本梯形断面を用ひたる場合頂幅と滑動係數

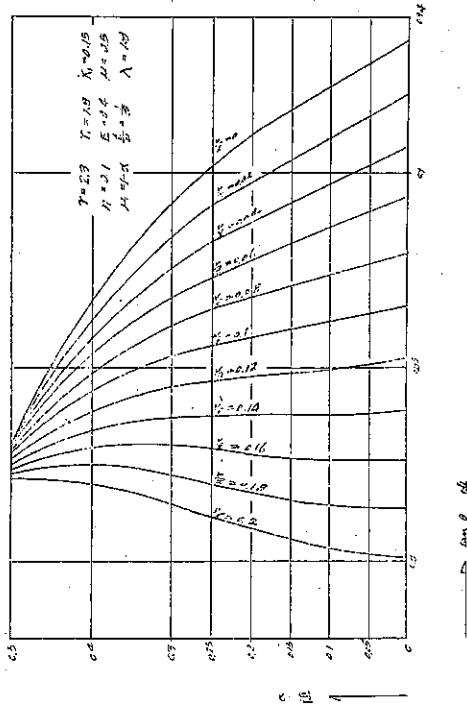


図-13. 滑動係數を一定ならしむる下流面勾配

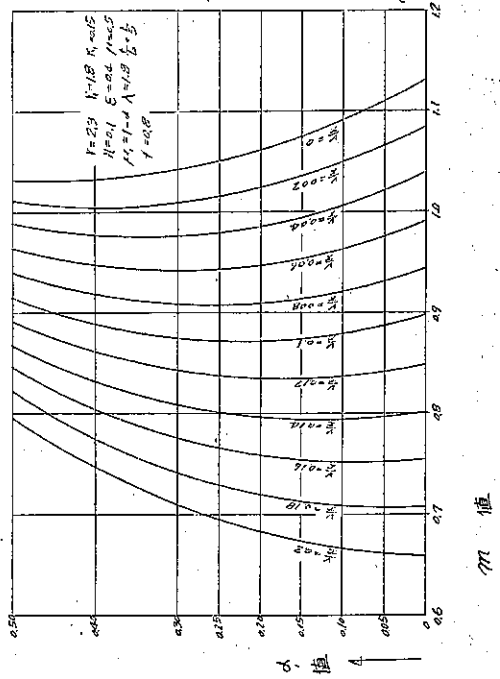
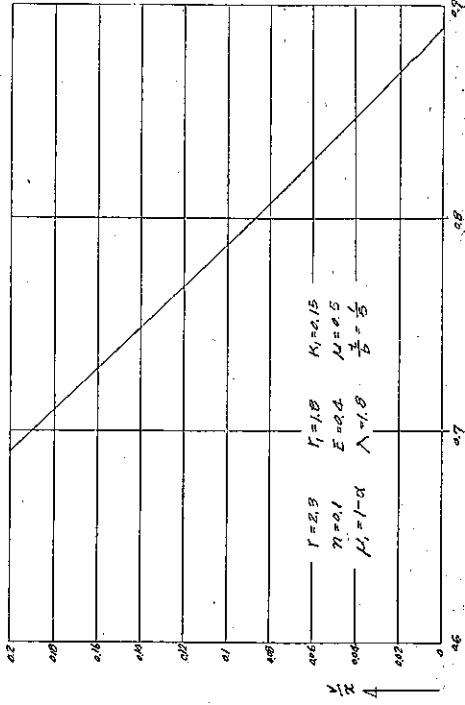


図-14. $\alpha=0.331$ の場合の middle third の條件を満足する v/α と m との關係



よつて下流面の勾配 m 及これに対する v/x を知れば $\tan \theta$ を計算する事が出来る。 $\alpha, v/x$ 及 m の関係は 図-11 によつて與へられるものとしてその値を代入し α と $\tan \theta$ との関係を示せば 図-12の如くなり、又滑動係数 f を 0.8 に選びたる場合満水時これを満足せしむる下流面の勾配は (21) 式より

$$m = \frac{0.9855 + 0.256 \mu_1^2 + 0.04186 v^2 - (2.59 - 2.7508 \alpha)(v/x)}{1.095 - 0.2791 \alpha^2} \dots\dots\dots (28)$$

故に v/x を適當に選べばその都度 α と m との関係を得る。 v/x を種々変へた場合 α と m との関係を示せば 図-13 となり、逆に m を適當に假定して滑動係数を 0.8 ならしむる増幅は (23) 式より

$$\frac{v}{x} = \frac{-m(1.095 - 0.2791 \alpha^2) + (0.9855 + 0.256 \mu_1^2 + 0.04186 v^2)}{2.59 - 2.7508 \alpha} \dots\dots\dots (29)$$

前章に於て設計例として示した溢流堰堤を基本断面として、梯形を採用した本節の諸式によつて再検討してみやう。設計基準となるべき条件はすべて前章の例と同一とす。満水時 middle third の条件を満足する下流面の勾配を求むるに $\alpha = 0.331$ に對して v/x と m との関係は 図-10 より得られる。之を示せば 図-14 で、從つて多少の餘裕を取れば前章の如く $m = 0.78 v/x = 2.8/2.6 = 1.075$ と假定してよい。よつて各断面の $\alpha, v/x$ 並に之に對応して middle third を通過すべき所要幅を 図-10 より求め、この理論的値と實際断面とを比較すれば 表-18 となる。

表-18.

断面	頂点よりの距離 (m)	α	v/x	揚圧係数	所要下流面勾配	中心より下流面迄の理論距離 (m)	採用断面の中心より下流面迄の距離 (m)	摘 要	
								溢流拋物線部	
②	10.0								
③	17.2	0.5	1.63	0.5	0.797	16.508	16.216	0.292 不足	理論的溢流拋物線終端
④	20.0	0.43	1.40	0.5	0.782	18.440	18.40	0.040 不足	溢流堰堤最小高
⑤	26.0	0.331	1.075	0.5	0.779	23.054	23.08	0.020 剰り	〃 最大高

之によれば α の時に大ならざる外 (この部分は檢算には揚圧係数 0.3 となし得るを以て何等差支ない) は殆ど一致する。即ち梯形断面を基本断面として採用すれば α は上部断面ほど大となるが、又 v/x も大となるを以て頂幅 v 及下流面勾配 m を適當に選べば理論上より殆ど一樣に middle third におさめしむる事が出来る。

又 $v=28$ の middle third を通過すべき理論的

表-19.

各断面の理論的滑動係数を 図-12 より求め、之を實際計算値と比較すれば 表-19 となる。

断面	α	v/x	理論値	採用断面値
③	0.5	1.63	0.824	0.832
④	0.43	1.40	0.832	0.831
⑤	0.331	1.075	0.848	0.838

6. 結 語

以上を要約すれば上部に可動堰を有する溢流堰堤は各断面共一樣に middle third の条件を満足せし

むるにはその溢流水深に応じ適當な頂幅を有する梯形を基本断面とする必要がある。次に上流面勾配は同一設計条件の非溢流堰堤のそれより小にて可なるを以て計算するに及ばない。滑動係数は頂幅の小なる場合には α の増加と共に小となるが、頂幅が大となるに伴ひ α が増加するも変化少く却つて大きくなる。

本文に於て計算式の誘導上最も重要な假定は“橋脚、門扉等の附加重量が堤体に等分に分布する”が $\alpha > 0.5$ の範圍に適合するものとした點である。この假定は α の小なる間は何等疑問を生ぜざるも 0.5 の附近では可成問題としなければならぬ。而してこの問題に就ては本文は全然觸れないことにする。

又 α が増大するに伴ひ middle third の條件を満足する下流面の勾配も可成り大となるを以て之に對して如何なる頂幅を有する梯形断面が最も經濟的なるかは一考に値する。参考のため 図-11 の m の代りに $m+v/x$ として α と v/x との關係を表示すれば 表-20 となり、之によれば一般に v/x を増加すれば底幅 $m+v/x$ も減少するが $\alpha=0.15\sim 0.4$ の間には v/x が一定値以上大きくなると却つて $m+v/x$ も増加する逆現象を來す。之は理論上より證明し難いが頂幅 v/x は必要以上に大きく取る事は不經濟であることを示す。溢流堰堤の基本断面の形状の經濟的研究の一要素として堰堤單位長さ當りの容積を橋脚、橋梁等も含ましめて示せば 表-20 の如くなる。

表-20. Middle third の條件を満足する $m+v/x$

α	$\frac{v}{x}=0$	$\frac{v}{x}=0.02$	$\frac{v}{x}=0.04$	$\frac{v}{x}=0.06$	$\frac{v}{x}=0.08$	$\frac{v}{x}=0.10$	$\frac{v}{x}=0.12$	$\frac{v}{x}=0.14$	$\frac{v}{x}=0.16$	$\frac{v}{x}=0.18$	$\frac{v}{x}=0.20$
0	0.8929	0.8865	0.8807	0.8257	0.8712	0.8674	0.8642	0.8615	0.8595	0.8580	0.8570
0.05	0.8898	0.8788	0.8744	0.9706	0.8673	0.8645	0.8622	0.8604	0.8591	0.8583	0.8580
0.10	0.8770	0.8733	0.8700	0.8672	0.8649	0.8630	0.8615	0.8605	0.8599	0.8597	0.8599
0.15	0.8729	0.8702	0.8679	0.8660	0.8644	0.8633	0.8625	0.8622	0.8621	0.8623	0.8631
0.20	0.8719	0.8700	0.8684	0.8672	0.8663	0.8657	0.8655	0.8656	0.8660	0.8667	0.8677
0.25	0.8747	0.8734	0.8723	0.8715	0.8711	0.8709	0.8702	0.8714	0.8721	0.8731	0.8744
0.30	0.8819	0.8808	0.8800	0.8795	0.8793	0.8793	0.8796	0.8801	0.8810	0.8820	0.8834
0.40	0.9130	0.9117	0.9106	0.9097	0.9091	0.9088	0.9087	0.9089	0.9092	0.9099	0.9108
0.50	0.9724	0.9735	0.9712	0.9684	0.9655	0.9630	0.9621	0.9606	0.9593	0.9583	0.9577

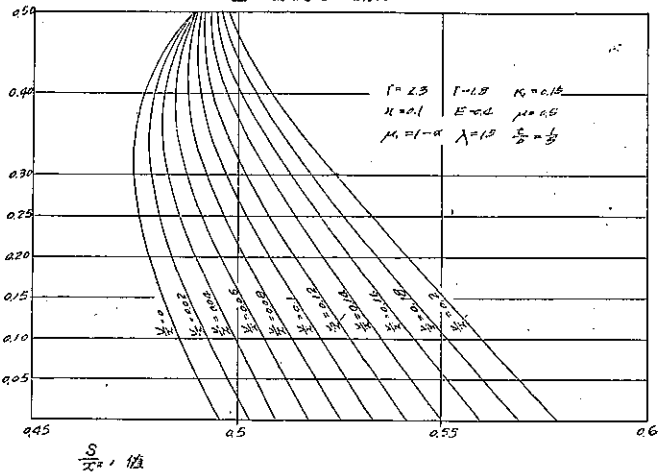
$$\frac{S}{x^2} = \frac{1}{2}(m+n) - \left\{ \left(\frac{2}{3}m + \frac{1}{2}n \right) \alpha^2 - (1-\alpha) \frac{v}{x} \right\} + \left\{ \left(\frac{1}{6}m + \frac{3}{2}m\lambda + n\lambda \right) \alpha^2 + \frac{1}{2}\alpha(\lambda-1) \frac{v}{x} \right\} \frac{t}{b} \dots\dots\dots(30)$$

但しこの場合には λ は實際の橋脚の高さに相當する値を用ふ。従つて $n=0.1, \lambda=1.5, \frac{t}{b} = \frac{1}{5}$ とすれば

$$\frac{S}{x^2} = \frac{1}{2}(m+0.1) - \left\{ \left(\frac{2}{3}m + 0.05 \right) \alpha^2 - (1-\alpha) \frac{v}{x} \right\} + \left\{ (0.48333m + 0.08) \alpha^2 + 0.08 \alpha \frac{v}{x} \right\} \dots\dots(30')$$

これに α 及 v/x に相當する m の値を 図-12 より代入し、 S/x^2 を求め図表に示せば 図-15 の如くなる。即ちこれによれば溢流水深 α の如何に拘らず基本断面として三角形を用ひる方が堰堤容積を最小ならしめるがこれを採用すれば上部断面に於てmiddle third の條件を満足しなくなる。故に上部断面即ち溢流拋物線終端に於て middle third の條件を満足する程度の最小頂幅を有する梯形断面が最も經濟的と想像される。但し溢流拋物線終端の高さが堰堤最小高以下ならば該断面の揚圧

図-15. 基本梯形断面を用ひたる場合頂幅と單位長さ當りの堰堤容積との關係



係数は特別の考慮の餘地がある。 v/x が小なる範圍では梯形断面の頂幅を一定にすれば α の増大に伴ひ堰堤容積を減じ $\alpha=0.3$ 附近に於て最小となり、それより α が増大すれば却つて堰堤容積も増加する。然し v/x が大きくなれば堰堤容積は α の増大と共に減少する一方である。従つて溢流堰堤の断面算定に當つては堰堤容積以外の項を無視すれば梯形断面にしてその頂幅を最小ならしむべきである。故に先づ基本三角形を用ひたる場合の各断面の所要幅を求め、而る後之等の下流面點を連結するに最も近い直線を假定し之を梯形断面の下流面線とし、再検討すべきである。而して α と v/x との關係は 圖-15 に示す S/x^2 をなるべく小ならしめる様選ぶ。即ち v/x が大ならざる限り $\alpha=0.3$ より大にせしめないのが有利である。 α が 0.5 に接近又はより大となつた場合には堤体及橋脚共に著しく増大するを以て之に對しては橋脚の形狀及大きさに異なる假定を用ひる方がよく更に橋脚部と溢流堤部とに分け別々に安定計算を試みる方が適當とも考へられる。
