

## 論 説 報 告

第 25 卷 第 4 號 昭和 17 年 4 月

## 重力堰堤内部應力計算法の一考察

正會員 村 幸 雄\*

**要 旨** 本文は重力堰堤の内部應力計算に於て從來の基本三角形に全然依らず堰體内の微平行六面體の平衡條件を上下流面の境界条件より積分して、剪應力、水平應力を求め、基本三角形を僅かに修正したと見做し難き断面の重力堰堤に對して、直接適用し得べき應力算定法の一試案を實例に就き説明を加へたるものなり。

## 目 次

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. 緒 言                        | 9. 揚壓力強度の變化率の計算  |
| 2. 堰堤安定計算                     | 10. 鉛直應力の鉛直方向の變化率の計算   |
| 1. 概 要                        | 11. 剪應力及び水平應力の計算   |
| 2. 基本三角形の決定                   | 12. 境界条件   |
| 3. 堰堤放流量                      | 4. 内部應力 $\sigma_x, \tau, \sigma_y$ の計算例  |
| 4. 溢流部断面形の決定                  | 13. $\frac{\partial \tau}{\partial y} - y$ が直線變化と見做し得る 場合の計<br>算例 ( $x=20$ )   |
| 5. 各水平層毎の安定度検討                | 14. $\frac{\partial \tau}{\partial y} - y$ が簡單なる函数關係と認め難き場<br>合の計算例 ( $x=50$ ) |
| 3. 内部應力計算法                    | 15. 主應力度及び其方向線   |
| 6. 概 説                        | 16. 等主應力度曲線及び主應力度方向線   |
| 7. 各水平面上の鉛直應力變化率 $\delta$ の計算 | 17. 等剪應力度曲線  |
| 8. 各水平面上 5m 間隔に鉛直應力を求む<br>る計算 |  |

## 1. 緒 言

堰堤は一種の巨大なる擁壁にして地震時の土壓より一層強大なる水壓を受け、而も其高さは數十米以上に達し一朝決潰の場合は大津浪を起して遠く下流沿岸を掃蕩し、其慘禍最も恐るべきものを以て、特に高堰堤に對する安全性は他の構造物に比し重大なる意義を有するものである。

而して諸型式中重力堰堤は古き歴史を有するものにして、今日最も確實健全なる型式と見做され、不豫の作用に依りて鉛直の龜裂を生じ、長さの方向に於て多數の區分に切離さるゝも計算上何等の憂ひ無く、唯漏水の因をなすの不利より寧ろ豫め耐水目地を設くるものなり。

地震に對する力學上の性質も他の型式に比し頗る單純にして、學理に基き充分なる耐震力を有せしむる事も容易にして工費を著しく増加せず。

更に物部博士が土木學會誌第 11 卷第 5 號に基本三角形に依る合理的設計法を發表せらるゝに及び、設計理論に確信を得るに至り、近年重力堰堤の發達は著しく堰高を増加するにつれ、其断面の減小は材料及び勞力の非常なる節約となる故、最も有效にして最小なる断面を求むる爲に堰堤の内部應力を正確に算出するを要す。然れども基本三角形に依る設計法は断面決定法として誠に便利なるも、内部應力の計算に對しては全く別に計算せねばならぬ不利を有す。

\* 工學士 内務技師 神奈川縣相模川河水統制事務所

今従來の重力堰堤内部応力算定法の歴史を見るに、石原、小西助教授が土木學會誌第 22 卷第 3 號に述べられたる如く、所謂梯形法則を適用せる Mery, Szilly, Bélanger に源を發し Acherley, Pearson, Schäffer, Ramisch により修正を加へられ Jacobson は最小働の原理に因る解法を試み Cain, Holmes 及び新井義輔氏に至り鉛直應力のみを梯形法則を適用し、他の二應力は釣合條件より誘導して主應力を求むる迄に發達せし在來の實用解法と、無限に下方に延びたる基本三角形楔形断面の二次元問題として應力函數を用ひて解きたる Lévy を先驅者とし Pigeand により修正され、物部博士地震力の影響を加味され、Mitchell, Wolf により幾多の進歩を見、Fillunger 及び石原、小西助教授により曲坐標を應用せられ、目下發展途上にある純彈性學的解法とに二大別し得べきも、孰れも基本三角形を基とし、唯僅かに上部附加或は削除部分の修正を加へたるものにして近似解法と云はざるを得ず。

現在神奈川縣相模川河水統制事業に於いて、工事中の相模堰堤溢流部に於ては従來の Creager's Nappe 等より一層 flat なる Nappe Form を採用せる關係上、基本三角形と隔る事遠く爲に修正断面形に直接彈性學的解法を適用すべき方法を理想としたるも、先づ之が一段階として梯形法則より誘導したる鉛直應力を基とし、堤體内部に於ける微小平行六面體の平衡條件より得たる關係式

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} = \omega - \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} = \omega K_1 \end{cases}$$

を境界條件より逐次積分して  $\tau, \sigma_y$  を求め等主應力度線及び主應力方向線を定めたるを以て參考迄に述べんとす。

## 2. 堰堤安定計算

### 1. 概要

#### (A) 作用外力

垂直力：堰堤本體、堰柱、橋梁、門扉、捲揚機、池水、堆積土砂の重量及び水壓等の垂直分力

靜水壓：満水位高に地震による波浪高を加へたる水位にて靜水壓を考へ其垂直分力は垂直力中に含ましめて考慮するものとす

動水壓：地震時池水と堤體との定常相對運動が起るものと考へ之による水平方向の増加壓力を動水壓として考へ、作用範圍は満水位以下とし動水壓及び其の作用點の高は次式にて與へらるものとす

$$\text{動水壓} = \frac{7}{12} W_0 K_1 (H - x')^{\frac{3}{2}} (x - x')^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{作用點の高} = \frac{2}{5} (x - x')$$

(記號に就ては後述)

堆積土砂による土壓：垂直分力は垂直力中にて考慮するものとす、水平分力の土壓係數を 0.6 とせり

揚壓力：堤底に於ては上流端に於て全水頭の 0.4 に相當する靜水壓が作用し下流端に於て 0 とし其の間に於ては直線的に變化するものと考へ、堤體内各水平層に於ては上記 0.4 の代りに 0.33 とす

地震力：等値水平震度として考へ其値を次の如くとする

満水時下流向 0.12

空虚時上流向 0.06

(B) 記号及び数値

$m, n$ : 堰堤 (基本三角形) 下流及び上流面の勾配

$H$ : 基本三角形の高さ

$x'$ : 地震による増加水位高

$\gamma$ : 堰堤体の比重 = 2.35

$\gamma_1$ : 堆積土砂の比重 = 1.80

$h_1$ : 計畫水位より堆積土砂面迄の深さ

$K_1$ : 満水時等値水平震度 = 0.12

$K_2$ : 空虚時等値水平震度 = 0.06

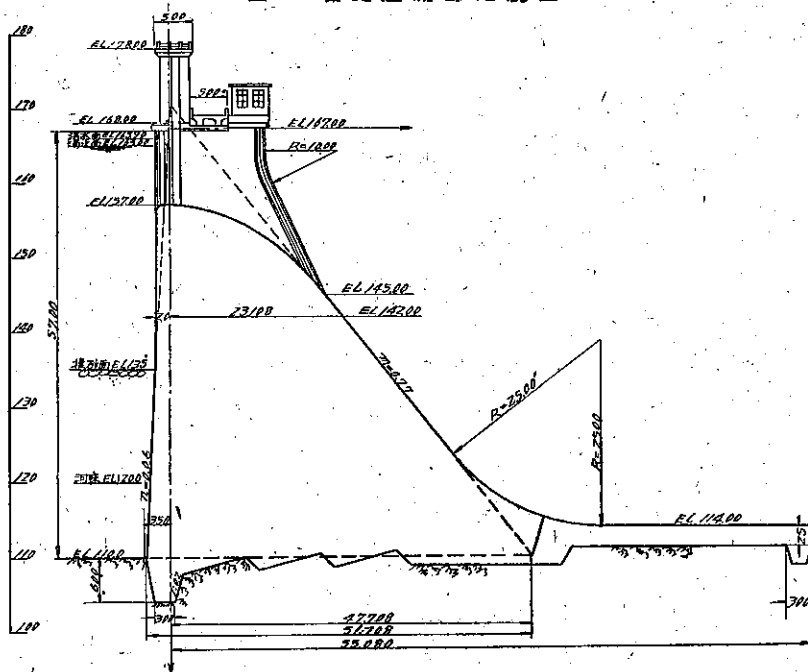
$\mu$ : 揚圧力係数 0.4 (底面), 0.33 (一般断面)

$S$ : 滑動係数

(C) 基準座標軸

本計算書中に於ける座標は全て下記の直角座標軸に依るものとす。即ち堰堤中心線上の定點を通過する鉛直線上標高 167.000 m の點に原點を置き鉛直下方を  $x$  軸, 下流向を  $y$  軸, 堰堤中心線右岸方向を  $z$  軸とす。以下之を便宜上基準座標と呼ぶ事とす (圖-1)。

圖-1. 堰堤溢流部定規圖



(D) 計算堰堤長

溢流部安定計算には伸縮接手間の堰長 15.10 m を取りて計算し, 外力は計算の便宜上圖-2 の如く次の 3 部に作用する外力に分ちて考へたり。

- (1) 門扉に作用する外力
- (2) 堰柱部 (堰柱幅 2.50 m の堤體をも含む) に作用する外力
- (3) 堤體部 (堰柱間の純徑間 12.60 m の堤體) に作用する外力

圖-2.

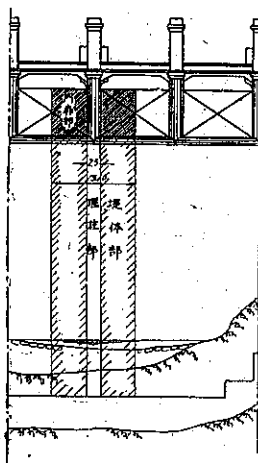
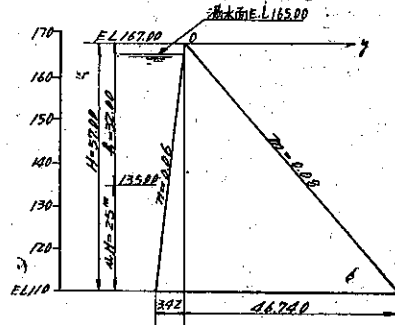


圖-3.



2. 基本三角形の決定

(イ) 設計數値

$H$ : 満水位を E.L. 165 m 基盤高を E.L. 110 m とす。故に  $H=55\text{ m}+x'$  ( $x'$ :地震に依る水位上昇高)

地震による水位上昇高  $=55 \times \frac{3}{100} = 1.65\text{ m}$ , 故に  $x' = 2\text{ m}$  とす。

従つて  $H=57\text{ m}$  堆積土砂高 E.L. 135.00 m 迄とす。故に  $y$  軸より堆砂面迄の深さ  $h=32.00\text{ m}$

$\mu$ =基本三角形を決定するに當りては 0.4 とし後に溢流形を訂正する時斷面の各水平層に就き middle third の條件が満足さるゝや否やを檢討す。此の際は斷面各水平層に於ては  $\mu=0.33$ , 堤底に於ては  $\mu=0.4$  とす。

$n=0.06$  とす。

(ロ) 下流面の傾斜  $m$  の決定

$$m = A + \sqrt{A^2 - B} \dots\dots\dots (1)$$

但し  $A = \frac{1}{2} \frac{1}{(\gamma - \mu)} \left[ n \left\{ 2\mu - \gamma - 2 - 2(\gamma_1 - 1) \left( 1 - \frac{h}{H} \right)^2 \right\} + \gamma K_1 \right] = +0.0130 \dots\dots\dots (2)$

$$B = \frac{-1}{(\gamma - \mu)} \left[ n^2 \left\{ \mu + \gamma \frac{K_1}{n} - 1 - (\gamma_1 - 1) \left( 1 - \frac{h}{H} \right)^2 \left( 1 + \frac{h}{H} \right) \right\} + \left\{ 1 + 1.4 K_1 \left( \frac{H - x'}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \left( 1 - \frac{x'}{H} \right)^{\frac{5}{2}} + (\gamma - 1) \left( 1 - \frac{h}{H} \right)^3 \right\} \right] = -0.6181 \dots\dots\dots (3)$$

$m=0.8126$  之を 0.82 とす。

(ハ) 地震時滑動係數算定

滑動係數

$$S = \frac{1 + \frac{7}{6} K_1 \left( 1 - \frac{x'}{H} \right)^{\frac{3}{2}} \left( \frac{H - x'}{H} \right)^{\frac{1}{2}} + (\gamma - 1) \left( 1 - \frac{h}{H} \right)^2 + \gamma K_1 (m + n)}{(\gamma - \mu) (m + n) + n + (\gamma_1 - 1) n \left( 1 - \frac{h}{H} \right)^2} = 0.832 \dots\dots\dots (4)$$

(二) 常時滑動係數算定

(17) 式に於て地震に関する項を除きて計算すれば

$$S' = 0.615$$

以上の結果より  $n = 0.82$   $n = 0.06$  とす

### 3. 堰堤放流量

(1) 算式

$$Q_1 = \frac{2}{3} c \sqrt{2g} b h^{\frac{3}{2}} = m b h^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (5)$$

但し  $Q_1 =$  堰堤溢流量 ( $m^3/sec$ )

$m =$  流量係數 = 2.0

$b =$  溢流堰の幅 ( $m$ )

$h =$  溢流深 ( $m$ )

(2) 相模堰堤満水時の放流能力

(i) 貯水位 E.L. 166.00 m の時

(イ) 水門 ( $b = 12.6 m$ ,  $h = 9.0 m$ ) 5 門

$$Q_1 = 2.0 \times 12.6 \times 9^{3/2} \times 5 = 3402 m^3/sec$$

(ロ) 塵芥排除門 ( $b = 3.0 m$ ,  $h = 9.0 m$ ) の門

$$Q_1' = 2.0 \times 3 \times 9^{3/2} \times 1 = 162 m^3/sec$$

(ii) 貯水位 E.L. 165.00 m の時

(イ) 水門

$$Q_1 = 126 \times 8^{3/2} = 2851 m^3/sec$$

(ロ) 塵芥排除門

$$Q_1' = 6 \times 8^{3/2} = 136 m^3/sec$$

(iii) 貯水位 E.L. 164.00 m の時

(イ) 水門

$$Q_1 = 126 \times 7^{3/2} = 2334 m^3/sec$$

(ロ) 塵芥排除門

$$Q_1' = 6 \times 7^{3/2} = 111 m^3/sec$$

(iv) 貯水位 E.L. 163.00 m の時

(イ) 水門

$$Q_1 = 126 \times 6^{3/2} = 1852 m^3/sec$$

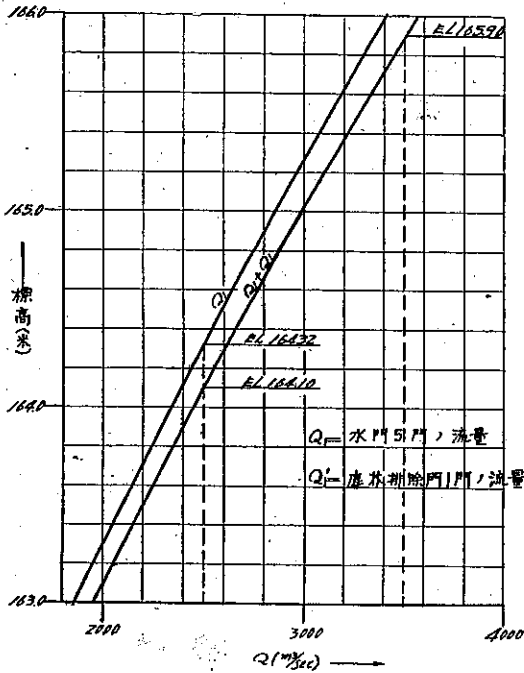
(ロ) 塵芥排除門

$$Q_1' = 6 \times 6.0^{3/2} = 88 m^3/sec$$

以上の結果を圖示すれば圖-4 の如し。従つて堰堤地點の洪水位は次表の如くなる。

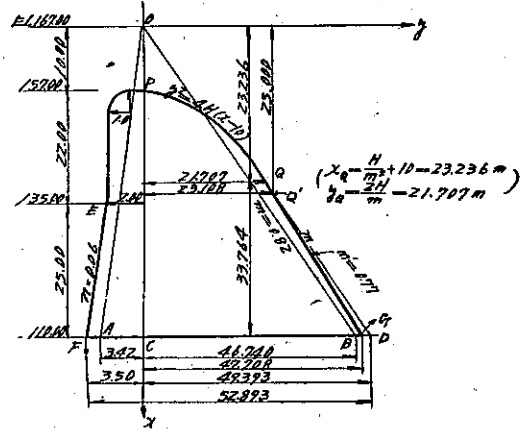
但し常時満水位は水門の調節等により E.L. 165.00 m に保つものとす。之に依りて溢流曲線を求めれば次の如し。

圖-4. 相模堰堤満水時放流能力



門扉	3 500 m <sup>3</sup> /sec	2 500 m <sup>3</sup> /sec
水門開放		E.L. 164.32
水門及塵芥排除門共開放	E.L. 165.90	E.L. 164.10

圖-5.



(3) 溢流曲線

$$(x-10) = \frac{y^2}{4H} \dots\dots\dots (6)$$

$$H = 8.900 \quad 4H = 35.6 \quad \frac{1}{4H} = 0.02808989$$

$$y = \sqrt{4 \times 8.9 \times (x-10)}$$

$$y^2 = 35.6(x-10)$$

4. 溢流部断面形の決定

2 節に依り基本三角形の上流面勾配を 0.06 とせば下流面勾配は 0.82 なり。

(1) 上流面の修正

洪水排除用水門 1 戸當り、捲揚用塔の取付並に門扉修理時の角落等の爲に溢流頂上流側に 1 m の水平部を設け尚溢流水の抵抗を小ならしむる爲半径 1 m の圓弧部を設ける。是れより鉛直面にて E.L. 135.00 m の堆砂面迄下り、以下基本三角形の上流面勾配  $n=0.06$  にて下る事とせり。従つて底面 E.L. 110.00 m にて中心線より上流端迄は 3.50 m となれり。

(2) 下流面の修正

E.L. 157.00 m の中心線上 P 點より溢流曲線

$$y^2 = 4H(x-10) \dots\dots\dots (6)'$$

H: 溢流深 = 8.90 m

を置き之に基本三角形の下流面の勾配  $m=0.82$  に平行なる切線を引けば切線の方程式は次の如し。

$$y = m(x-10) + \frac{H}{m} \quad = m=0.82$$

$$= 0.82x + 2.653 \dots\dots\dots(7)$$

之等に依りて定まりたる溢流堰堤の形状は PEFCDQ なり。

然るに之に依りて安定計算を行ひたるに餘裕を生ぜしを以て更に修正を行ひ、結局  $m'=0.77$  を得たり。即ち圖-5 の PEFCDQ' 之なり。

5. 各水平層毎の安定度検討

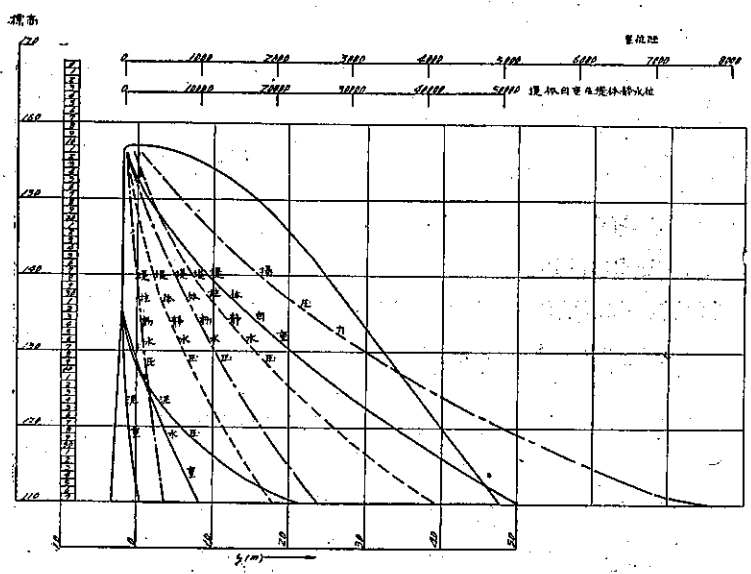
各水平層以上の堤體自重並に外力を基とし在來一般に用ひられたる 梯形法則即ち軸に垂直でない水平断面に對しても Navier の假定が其礎成立すると假定し合力が底幅の middle third 内を通るや否やを検し、次の各場合に就て鉛直應力の分布は一水平断面に於て直線状なりと假定して  $\sigma_x$  を次式により算出する。

$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} S \dots\dots\dots(8)$$

茲に

- A: x 水平断面の面積
- I: x 水平断面の中心線に関する慣性能率
- S: 中點 M より任意の點に至る距離 (下流側 +, 上流側 -)

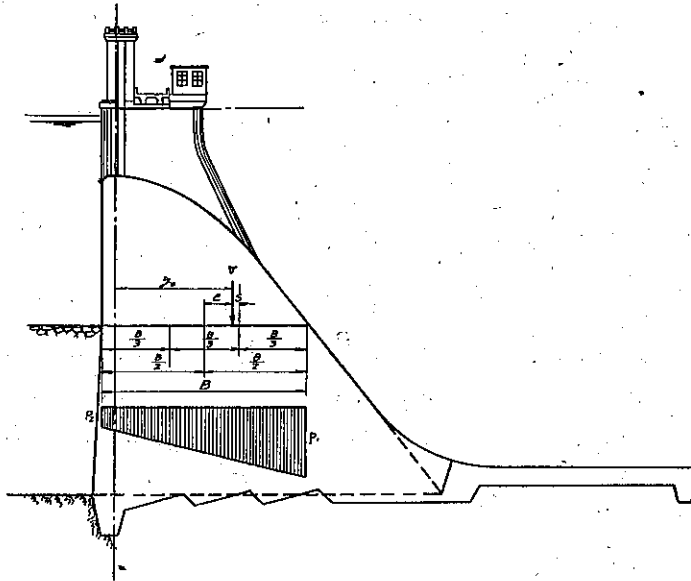
圖-6. 各水平断面上部作用外力表



但し安定度は伸縮縫手長即ち堰堤長 15.10 m (溢流部長 12.60 m 堰柱厚 2.50 m の和) 當りに就き考ふるものとす。

- (a) 満水時 常時: 水位は地震に依る水位上昇を加へ E.L. 167.00 m とす
- 地震時:  $K_1=0.12$  とし静水壓の場合は水位を E.L. 167.00 m とし、動水壓の場合は E.L. 165.00 m

圖-7. 底面反力位置關係圖



以下の堤體に作用するものとす。

(b) 空虛時 常時

地震時:  $K_2=0.06$  とす。

次表中に使用する記號の意味は次の如し。

$\Sigma V$ : 垂直分力の合計 (ton)

$\Sigma P$ : 水平分力の合計 (ton)

$\Sigma K$ : 地震力の合計 (ton)

$$f: \frac{\Sigma P + \Sigma K}{\Sigma V}$$

$y_0$ :  $x$  軸より反力作用點迄の水平距離 (m)

$B$ : 底面幅 (m)

$e$ : 反力の離心距離 (m)

$S$ : 合力の middle third よりの餘裕長 (m)

$P_1, P_2$ : 底面に作用する反力強度 (ton/m<sup>2</sup>), 但し,  $P_1$  は下流端,  $P_2$  は上流端に於けるものとす

$x=57$  に於ける湛水地震時鉛直應力計算書を例示すれば表-1 の如し。

$$\frac{\Sigma(P+K)}{\Sigma V} = \frac{36\,492.601}{47\,738.809} = 0.764$$

$$y_0 = \frac{\Sigma(Rx + Px + Kx) + x(P+K)}{\Sigma V} = \frac{-659\,790.649 + 57 \times 36\,492.601}{47\,738.809} = \frac{1\,420\,287.608}{47\,738.809} = 29.751$$

$$e = 3.50 + x_0 - \frac{B}{2} = 3.50 + 29.751 - \frac{51.248}{2} = 7.627 < 8.541 \left(\frac{B}{6}\right)$$

$$P_1 = \frac{\Sigma V}{Bl} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{47\,738.809}{51.248 \times 15.10} \left(1 + \frac{6 \times 7.627}{51.248}\right) = 61.6904 \times 1.89295 = 116.777$$

$$P_2 = \frac{\Sigma V}{Bl} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = 61.6904 \times 0.10705 = 6.604$$

以上により合力は middle third に入り上下流力は壓力となり夫々 6.604 ton/m<sup>2</sup> 及び 116.777 ton/m<sup>2</sup> となり安全なり。



表-1.

(単位 ton-m)

名 稱	V	P	K	x	y	Vy	Px	Kx
門扉捲揚機	200.000		24.000	-0.075	7.265	7 265.000		1.800
橋梁橋脚	1 455.058		174.607	4.186	6.186	9 000.989		-730.905
堤 體	52 422.682		6 290.722	38.607	15.303	802 210.203		-242 863.214
附加堤體	968.563				45.808	44 367.676		
門扉静水壓		611.793		7.099			- 4 343.119	
橋脚静水壓		4 061.250		38.000			-154 327.500	
門扉動水壓			148.008	6.800				- 1 006.454
橋脚動水壓			558.514	35.000				- 19 547.990
堤體静水壓		19 838.700		38.995			-773 610.107	
堤體動水壓			2 520.007	36.656				- 92 373.377
水 重	1 287.834				-2.4055	- 3 096.508		
泥 壓		2 265.000		48.667			-110 230.755	
泥 重	226.500				-3.000	- 679.500		
揚 壓 力	-8 821.828				13.583	-119 826.890		
小 計	47 738.809	26 776.743	9 715.858			739 240.972	-1 042 511.481	-356 520.140
計		36 492.601					-659 790.649	

B=51.248 m

$x=57$  に於ける空虛地震時鉛直應力計算書を例示すれば表-2 の如し。

表-2.

(単位 ton/m)

名 稱	V	P	K	x	y	Vy	Px	Kx
門扉捲揚機	200.000		- 12.000	- 3.488	+ 7.265	+ 1 453.000		- 41.856
橋梁橋脚	1 455.058		- 87.303	+ 4.186	+ 6.186	+ 9 000.989		+ 365.452
堤 體	52 422.682		-3 145.361	+ 38.607	+ 15.303	+802 210.203		+121 432.952
附加堤體	968.563		- 58.114	51.906	45.808	+ 44 367.676		+ 3 016.465
門扉静水壓								
橋脚静水壓								
門扉動水壓								
橋脚動水壓								
堤體静水壓								
堤體動水壓								
水 重								
泥 壓								
泥 重								
揚 壓 力								
小 計	55 046.303		-3 302.778			+857 031.868		+124 771.669
計			3 302.778				+981 803.537	

B=51.248 m

$$\frac{\Sigma(P+K)}{\Sigma V} = \frac{3\,302.778}{55\,046.303} = 0.06$$

$$\frac{B}{2} = 25.624 \text{ m}$$

$$y_0 = \frac{\Sigma(Vy + Px + Kx) + a(P+K)}{\Sigma V} = \frac{+981\,803.537 - 57 \times 3\,302.778}{55\,046.303} = 14.416 \text{ m}$$

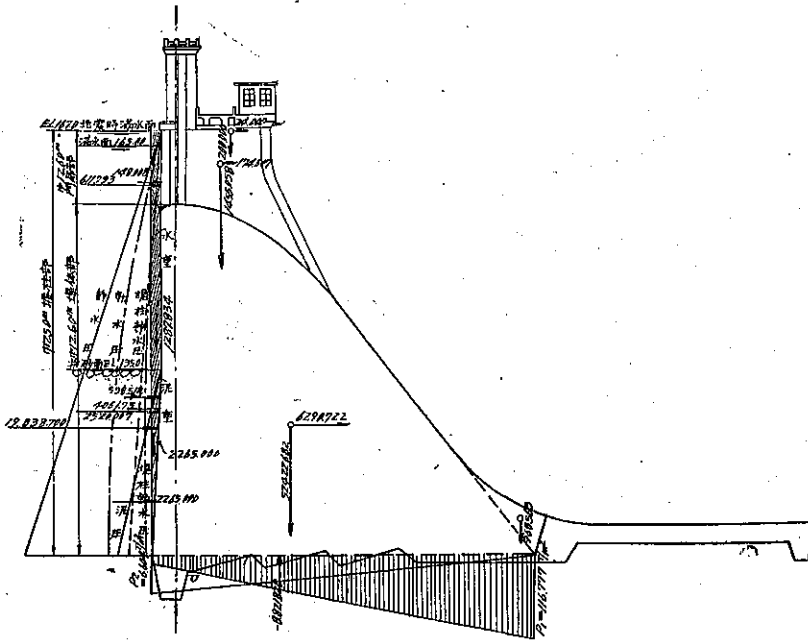
$$e = 3.50 + y_0 - \frac{B}{2} = 3.50 + 14.416 - \frac{51.248}{2} = -7.758 \text{ m} \quad |e| < 8.541 \left( = \frac{B}{6} \right)$$

$$P_1 = \frac{\Sigma V}{Bl} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) = \frac{55\,046.303}{51.248 \times 15.10} \left( 1 + \frac{6 \times (-7.758)}{51.248} \right) = 6.547 \text{ ton/m}^2$$

$$P_2 = \frac{\Sigma V}{Bl} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) = \frac{55\,046.303}{51.248 \times 15.10} \left( 1 - \frac{6 \times (-7.758)}{51.248} \right) = 135.771 \text{ ton/m}^2$$

以上により合力は middle third に入り上下流應力は壓力となり夫々 6.547 及び 135.771 ton/m<sup>2</sup> となり安全なり。

圖-8. 満水地震時作用外力圖 (x=57) 單位耗



57 満水常時

$$\frac{\Sigma P}{\Sigma V} = \frac{26\,776.743}{47\,788.809} = 0.561$$

$$y_0 = \frac{\Sigma(Vy + Px) + x \Sigma P}{\Sigma V} = \frac{-303\,270.509 + 57 \times 26\,776.743}{47\,788.809} = 38.324$$

$$e = 2.00 + y_0 - \frac{B}{2} = 2.00 + 38.324 - \frac{51.248}{2} = 16.150 \text{ m}$$

$$P_1 = \frac{\Sigma V}{Bl} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) = \frac{47\,788.809}{51.248 \times 15.10} \left( 1 + \frac{6 \times 16.150}{51.248} \right) = 86.551 \text{ ton/m}^2$$

$$P_2 = \frac{\Sigma V}{Bl} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) = \frac{47\,788.809}{51.248 \times 15.10} \left( 1 - \frac{6 \times 16.150}{51.248} \right) = 36.829 \text{ ton/m}^2$$

## 57 空虛常時

$$y_0 = \frac{\sum(Vy)}{\sum V} = \frac{857\,031.868}{55\,046.803} = 15.564 \text{ m}$$

$$e = 2.00 + y_0 - \frac{B}{2} = 17.564 - \frac{51.248}{2} = -6.010$$

$$P_1 = \frac{\sum V}{Bl} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{47\,738.809}{51.248 \times 15.10} \left\{1 + \frac{6 \times (-6.010)}{51.248}\right\} = 16.082 \text{ ton/m}^2$$

$$P_2 = \frac{\sum V}{Bl} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{47\,738.809}{51.248 \times 15.10} \left\{1 - \frac{6 \times (-6.010)}{51.248}\right\} = 126.236 \text{ ton/m}^2$$

同様に他の水平層に就て満水地震時、空虛地震時、満水常時及び空虛常時の各場合の上下流端の鉛直應力を計算せる結果は表-3の如し。

表-3. 鉛直應力總括表

x	満水地震時		空虛地震時		満水常時		空虛常時	
	$u\sigma_x$	$d\sigma_x$	$u\sigma_x$	$d\sigma_x$	$u\sigma_x$	$d\sigma_x$	$u\sigma_x$	$d\sigma_x$
14	- 6.756	33.890	16.947	12.147	1.235	25.899	14.477	14.620
15	- 2.767	31.143	21.699	9.211	5.065	23.311	19.334	11.576
16	- 0.030	30.046	25.724	7.340	7.879	22.137	20.754	10.716
19	4.920	31.256	35.956	4.626	13.711	22.465	33.399	7.183
20	5.963	32.505	39.093	4.199	15.176	23.292	36.409	6.883
21	6.799	34.035	42.170	3.892	16.497	24.337	39.360	6.702
24	8.443	39.801	51.198	3.442	19.828	28.416	47.863	6.775
25	8.761	42.027	54.166	3.396	20.747	30.041	50.655	6.907
26	9.280	44.052	57.154	3.326	21.653	31.679	53.434	7.046
31	10.010	55.632	71.940	2.687	25.929	39.713	67.201	7.425
32	10.172	57.866	74.867	2.515	26.739	41.299	69.915	7.467
33	1.0594	59.796	77.451	2.519	27.734	42.656	72.213	7.757
39	11.550	72.754	92.315	2.953	31.993	52.311	86.075	9.193
40	11.267	75.073	94.804	2.982	32.248	54.092	88.399	9.387
41	11.822	77.062	97.337	2.959	33.465	55.419	90.718	9.578
44	12.394	83.316	104.828	2.964	35.556	60.154	97.660	10.132
45	12.542	85.442	107.306	2.978	36.205	61.779	99.972	10.312
46	12.634	87.634	109.801	2.989	36.848	63.420	102.244	10.546
49	11.537	95.785	116.582	3.916	37.294	70.028	108.508	11.990
50	12.462	97.338	119.375	3.819	38.759	71.041	111.059	12.135
51	12.361	100.009	121.567	4.409	39.161	73.209	113.063	12.913
52	12.026	103.058	123.558	5.350	39.301	75.783	114.921	13.987
53	11.601	106.175	125.621	6.195	39.455	78.321	116.739	15.027
54	11.373	108.971	127.870	6.730	39.714	80.630	118.852	15.748
55	11.297	111.499	130.197	7.069	40.154	82.642	121.000	16.266
56	11.325	113.812	132.689	7.131	40.561	84.467	123.321	16.499
57	6.604	116.777	135.771	6.547	36.459	86.921	125.738	16.580

3. 内部応力計算法

6. 概 説

2章5節に於て求めたる満水地震時の鉛直應力を基とし堤體内部に於ける微平行六面體の平衡條件より得たる關係式

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} &= w - \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} &= w K_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

と境界條件とにより逐次積分して  $\tau, \sigma_y$  を求めたり。

尙鉛直應力の分布は一水平斷面に於て直線變化をなすものとせり。

7. 各水平面上の鉛直應力變化率  $S$  の計算

2章5節に於て求めたる上下流端の鉛直應力を基として水平斷面上の鉛直應力の變化率  $S$  を次式により求む。

$$S = \frac{u\sigma_x - u\sigma_x}{B} \dots\dots\dots (10)$$

- 但し  $u\sigma_x$ : 上流端に於ける鉛直應力 (ton/m<sup>2</sup>)……5節に於ける  $P_1$
- $u\sigma_x$ : 下流端に於ける鉛直應力 (ton/m<sup>2</sup>)……5節に於ける  $P_2$
- $B$ : 斷面幅 (m)

圖-9.

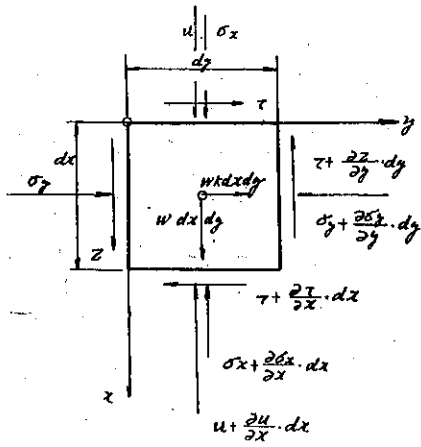
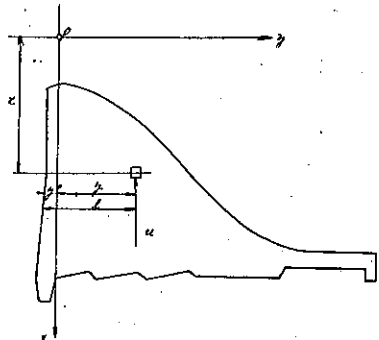


圖-10.



8. 各水平面上 5 m 間隔に鉛直應力を求める計算

$$\sigma_x = u\sigma_x + Sl \dots\dots\dots (11)$$

- 茲に  $\sigma_x$ : 鉛直應力 (t/m<sup>2</sup>)
- $u\sigma_x$ : 上流端鉛直應力 (t/m<sup>2</sup>)
- $S$ : 鉛直應力變化率
- $l$ : 上流端よりの距離 (m)

9. 揚壓力強度の變化率の計算

任意の點 (x,y) に於ける揚壓力強度  $a$  は水深  $x$  及び上流面よりの距離  $l$  に比例するものとすれば

$$u = \mu x \frac{B - (y_0 + y)}{B} \quad \dots\dots\dots (12)$$

茲に

$\mu$ : 揚壓係數

$B$ : 底面幅 (m)

$y_0$ :  $x$  軸より上流端迄の距離 (m)

$$\begin{aligned} \therefore \frac{\partial u}{\partial x} &= \mu \left[ \frac{(B - y_0 - y)}{B} + x \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{(B - y_0 - y)}{B} \right) \right] \\ &= \mu \left[ \frac{B - (y_0 + y)}{B} + \frac{x(m+n)}{B^2} (y_0 + y) - \frac{n}{B} \right] \\ &= \mu \left[ \frac{B-l}{B} + \frac{x(m+n)}{B^2} l - \frac{n}{B} \right] \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{\partial B}{\partial x} = m+n, \quad \frac{\partial y_0}{\partial x} = n$$

$l$ : 上流端よりの距離 =  $y + y_0$  (m)

### 10. 鉛直應力の鉛直方向の變化率の計算

堤體中心線より上流側 1m 間隔, 下流側 5m 間隔にひける各鉛直線が水深  $x$  なる水平線と交はる交點に於ける  $\frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$  の値を求めんとす。

或交點の  $\sigma_x$  の値とその上下 1m を隔つる交點の  $\sigma_x$  の値との差を夫々  $\Delta \sigma_x'$  及び  $\Delta \sigma_x''$  とすれば求むる  $\frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$  の値は次の如し

$$\frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x} = \frac{\Delta \sigma_x' + \Delta \sigma_x''}{2} \quad (\because \Delta x = 1\text{m}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

### 11. 剪應力及び水平應力の計算

内部應力に関する關係式

$$\frac{\partial \tau}{\partial y} = w - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_x}{\partial x}$$

茲に  $w$ : 堤體比重 = 2.35 ton/m<sup>3</sup>

$\frac{\partial u}{\partial x}$ : 揚壓力強度の變化率 (7 節参照)

$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}$ : 鉛直應力の鉛直方向の變化率

に於て  $\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$  を用ひて  $\frac{\partial \tau}{\partial y}$  の値を求め,  $\frac{\partial \tau}{\partial y} - y$  曲線を描く。

$\frac{\partial \tau}{\partial y} - y$  曲線の形状より次の 2つの場合を生ず。

(A)  $\frac{\partial \tau}{\partial y} - y$  關係が約直線變化と見做し得る範圍 ( $x \leq 45$  m)

(B)  $\frac{\partial \tau}{\partial y} - y$  關係が簡單なる函數關係と認め難き範圍 ( $x > 45$  m)

更に進んで各水平斷面上的の剪應力  $\tau$  及び水平應力  $\sigma_y$  の値を求めんとするに (A) は積分によりて求むる事を得るも, (B) は容易に積分し難く數値積分に依りたり。

(A)  $\frac{\partial r}{\partial y} - y$  が直線変化と見做し得る場合 ( $x \leq 45$  m)

11 節により求めたる  $\frac{\partial r}{\partial y} - y$  が直線変化と見做し得る故

$$\frac{\partial r}{\partial y} = Ay + B \dots\dots\dots(15)$$

と置き計算値より係数  $A, B$  を決定すれば積分により

$$r = \frac{A}{2}y^2 + By + C \dots\dots\dots(16)$$

を得られ  $C$  なる積分常数は上下流端の境界条件により決定する事を得べし。

次に  $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = K_1 w - \frac{\partial r}{\partial x}$  (9) 式を用ふれば  $x$  の一定値に對し  $A, B, C$  は共に常數なる故  $A, B, C$  は  $x$  のみの函數と見做し得るを以て

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = wK_1 - \left( \frac{1}{2} \frac{dA}{dx} y^2 + \frac{dB}{dx} y + \frac{dC}{dx} \right) \dots\dots\dots(17)$$

によりて  $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}$  を求められ従つて再び積分により、

$$\sigma_y = -\frac{1}{6} \frac{dA}{dx} y^3 - \frac{1}{2} \frac{dB}{dx} y^2 + \left( wK_1 - \frac{dC}{dx} \right) y + \sigma_{y0} \dots\dots\dots(18)$$

となり、積分常數  $\sigma_{y0}$  は境界条件に依り定むる事を得べし。

従つて各水平面上の任意の點の剪應力  $\tau$  及び水平應力  $\sigma_y$  を求むる事を得。

(B)  $\frac{\partial r}{\partial y} - y$  が簡單なる函數關係と認め難き場合 ( $x > 45$  m)

$x > 45$  m に對しては堤體斷面下流に附加したる堤體部分の影響其他に依り一水平面上の  $\frac{\partial r}{\partial y}$  は直線變化をなすと思ふ事困難なり。従つて  $r$  の變化を數式を以て表はす事困難となる。従て微分子の方法に依り 1 m 間隔の水平面上の  $\sigma_x$  の値により  $\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \doteq \frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$  と置いて各點の  $\frac{\partial r}{\partial y}$  を計算す。

$$\frac{\partial r}{\partial y} = w - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x} \dots\dots\dots(19)$$

之を用ひ、兩端より數値積分に依りて“ $\tau$ ”を求めて行き斷面中央附近の喰違ひを適當に修正せる後再び相隣れる水平面の  $\tau$  の値より  $\frac{\partial \tau}{\partial x} \doteq \frac{\Delta \tau}{\Delta x}$  を近似計算し

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = Kw - \frac{\Delta \tau}{\Delta x} \dots\dots\dots(20)$$

なる式により水平面上の各點に於ける  $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}$  を算出し數値積分に依りて“ $\sigma_y$ ”を求め中央附近に累積せる誤差を修正し求むる  $\sigma_y$  の値とせり。

12. 境界條件

前節に述べたる積分の積分常數の決定並に數値積分の初期條件として上下流端の應力を計算するを要す。

各水平面以上に作用する水重及び泥重より直上水平面以上に作用する水重及び泥重を差引きて該水平層上流端に作用する鉛直外力  $V_i$  を求め、次に各水平面以上に作用する水平外力と其上下 1 m の水平面以上に作用する水平外力とを比較して次式に依りて該水平面上流端における水平外力  $F$  を算出す。

$$F = \frac{1}{15.10} \times \frac{\Delta P_x' + \Delta P_x''}{2} \dots\dots\dots(21)$$

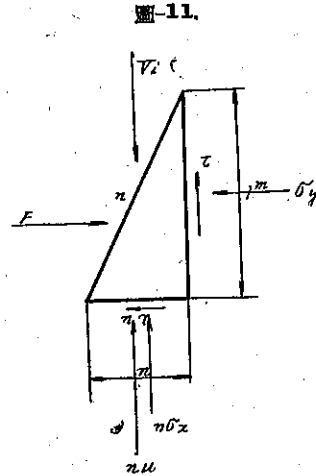
茲に  $\Delta P_x'$ : 懸案水平面より上部 1m の間に働く水平外力の和

$\Delta P_x''$ : 同上下部 1m の間に働く水平外力

これに依つて得たる結果を表示すれば表-4 の如し

表-4.

$x$	$V$ (ton/m <sup>2</sup> )	$F$ (ton/m <sup>2</sup> )
15	—	—
20	—	23.303
25	—	28.734
31	—	35.217
33	1.974	37.758
40	2.730	48.661
45	3.270	56.365
50	3.810	64.053



(1) 上流境界面に於ける剪應力及び水平應力

$$\left. \begin{aligned} \text{算式 剪應力 } \tau_u &= V - u(u\sigma_x + u) \\ \text{水平應力 } u\sigma_y &= F - n\sigma_u \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

茲に  $\sigma_u$ : 上流端剪應力,  $n\sigma_x$ : 上流端鉛直應力

$u\sigma_y$ : 上流端水平應力

表-5.  $\tau_u$

$x$	$u\sigma_x$	$u = \mu x$	$n\sigma_x + u$	$n(n\sigma_x' + u)$	$V_u$	$\tau_u = V_i - n(u\sigma_x + u)$
15	- 2.767	4.95	- 2.183	0	0	0
20	+ 5.963	6.60	+12.563	0	0	0
25	+ 8.761	8.25	+17.011	0	0	0
31	+10.010	10.23	+20.240	0	0	0
32	+10.172	10.56	+20.732	0	0	0
33	+10.594	10.89	+21.484	1.289	1.974	0.685
40	+11.267	13.20	+24.467	1.468	2.730	1.262
45	+12.542	14.85	+27.392	1.644	3.270	1.626
49	+12.640	16.17	+28.810	1.729	3.702	1.973
50	+12.462	16.50	+28.962	1.738	3.810	2.072
51	+12.361	16.83	+29.191	1.751	3.918	2.167

但し  $n=0.00$  for  $x < 32$   
 $n=0.06$  for  $x > 32$

- $V_i$ : 上流端に作用する鉛直力
- $F$ : 上流端に作用する水平力
- $n$ : 上流面勾配
- $u$ : 揚圧力強度

表-6.  $u\sigma_y$

$x$	$Tu$	$nTu$	$F$	$u\sigma_y$
15	0	} $\neq 0$	—	—
20	0		23.303	23.303
25	0		28.734	28.734
31	0		35.217	35.217
32	0		—	—
33	0.685		37.358	37.358
40	1.262		48.661	48.661
45	1.626	0.098	56.365	56.267
49	1.973	0.118	—	—
50	2.072	0.124	64.053	63.929
51	2.167	0.130	—	—

(2) 下流境界面に於ける作用外力

堤體下流面に作用する外力を考ふるに堤體と水叩部との間に圖-12 に見る如く、 $ABC$  なる楔形部分あり、之が重量を分力  $R$  を堤體に作用する外力として加へざるべからず。

圖-12. 堤體附加部分關係圖

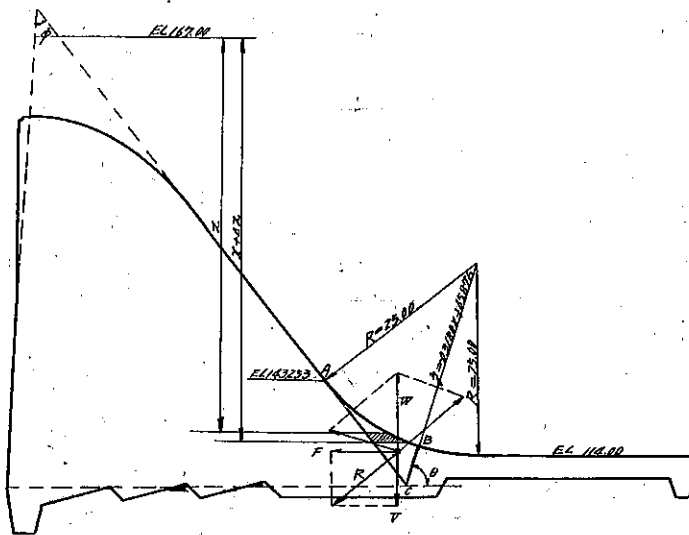




圖-12 に於て  $\left\{ \begin{array}{l} B: \text{作用外力} \quad \phi: R \text{ と水平面とのなす角} \\ V: R \text{ の鉛直分力} \\ E: R \text{ の水平分力} \quad \theta: \text{堰堤下流趾面と水平面とのなす角} \end{array} \right.$

$\tan \phi = m = 0.77$

$\tan \theta = t = \frac{1}{0.3180}$

$R = \frac{Wt\sqrt{m^2+1}}{1+mt} = 1.1600 W$

$V = R \sin \phi = \frac{mtW}{1+mt} = 0.70772 W$

$F = R \cos \phi = \frac{t}{1+mt} W = 0.91911 W$

.....(23)

次に此の外力の分布状態を次の如く假定す。

圖-13 に於て斜面 DF に作力を及ぼす部分は DEGE なりとす。

$S = ADE$  の断面積 (m<sup>2</sup>)

$W = w S = 2.35 \times S$  (ton)

$\frac{dW}{dx} = 2.35 \frac{dS}{dx} = 2.35 lx$  (ton/m)

S 及び  $\frac{dW}{dx}$  曲線を畫けば圖-14 の如し。

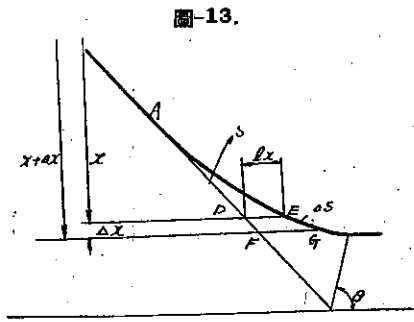
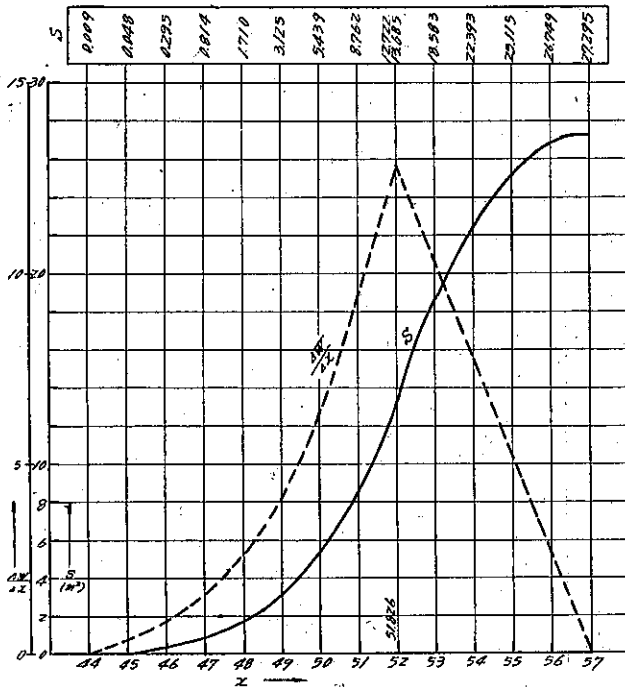


圖-13.

圖-14.

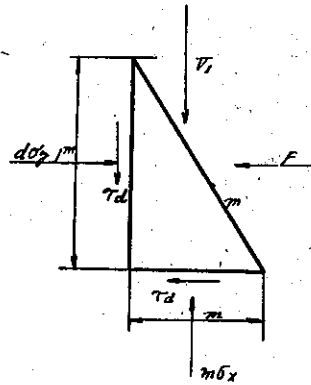


(3) 下流境界面に於ける剪應力並に水平應力計算

$$\left. \begin{aligned} \text{算式 剪應力 } \tau_a &= m\alpha\sigma_x - V_i \\ \text{水平應力 } d\sigma_y &= m\tau_a + F \end{aligned} \right\}$$

- 茲に  $\tau_a$ : 下流端剪應力  
 $\alpha\sigma_x$ : 下流端鉛直應力  
 $\alpha\sigma_y$ : 下流端水平應力  
 $V_i$ : 下流端に作用する鉛直力  
 $F$ : 下流端に作用する水平力  
 $m$ : 下流面勾配

圖-15.



$x=43$  以上に於ては作用外力無き故

$$\tau_a = m\alpha\sigma_x \quad \alpha\sigma_y = m^2\alpha\sigma_x$$

表-7.

單位 ton-m

$x$	$\alpha\sigma_x$	$m$	$\tau_a = m\alpha\sigma_x$	$\alpha\sigma_y = m^2\alpha\sigma_x$
15	31.143	1.334	41.545	55.421
20	32.505	0.943	30.652	28.905
25	42.027	0.770	32.361	24.918
31	55.632	"	42.887	32.984
32	57.866	"	44.557	34.309
33	59.796	"	46.043	35.453
40	75.073	"	57.806	44.511

下流面水深  $x=44$  以下に於ける剪應力  $\tau_a$  及び水平應力  $\alpha\sigma_y$  は (2) によりて計算し次の結果を得。

表-8. (1)  $\tau_a, d\sigma_y$  計算表

表-8. (2)  $\tau_a, d\sigma_y$  計算表

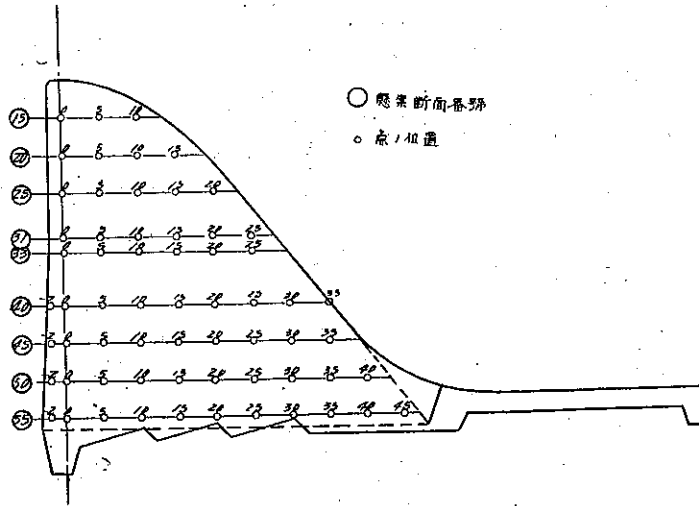
$x$	$l_x$	$W = 2.35 l_x$	$V = R \sin \phi$	$F = R \cos \phi$
44	0.024	0.056	0.040	0.051
45	0.133	0.313	0.222	0.288
46	0.344	0.808	0.572	0.743
47	0.675	1.586	1.122	1.458
48	1.153	2.710	1.918	2.491
49	1.818	4.272	3.023	3.926
50	2.739	6.437	4.556	5.916
51	4.045	9.506	6.728	8.737
52	5.442	12.789	9.051	11.754
53	4.354	10.232	7.241	9.404
54	3.266	7.675	5.432	7.054
55	2.178	5.118	3.022	4.612
56	1.090	2.562	1.813	2.355
57	0.000	0.000	0.000	0.000

$x$	$\tau_a = m\alpha\sigma_x - V$	$m\tau$	$d\sigma_y = m\tau + F$
44	64.113	49.367	49.418
45	65.568	50.487	50.775
46	66.906	51.518	52.261
47			
48			
49	70.731	54.463	58.389
50	70.394	54.203	60.119
51	70.279	54.115	62.852
52	70.304	54.134	65.888
53	74.514	57.376	66.780
54	78.476	60.427	67.481
55	82.232	63.319	67.931
56	85.822	66.083	68.438
57	89.914	69.234	69.239

4. 内部応力  $\sigma_x, \tau, \sigma_y$  の計算例

圖-16 の懸案断面上各點の應力を計算せんとす。

圖-16. 懸案断面圖



13.  $\frac{\partial \tau}{\partial y} - y$  が直線變化と見做し得る場合の計算例 ( $x=20$ )

(1) 上流端鉛直應力  $u\sigma_x$ , 下流端鉛直應力  $a\sigma_x$  の値を表-3 より再記すれば表-9 の如し

表-9.

$x$	$u\sigma_x$ (ton/m <sup>2</sup> )	$a\sigma_x$ (ton/m <sup>2</sup> )
19	4.920	31.256
20	5.963	32.505
21	6.799	34.035

(2)  $\sigma_x$  の計算

先づ (10) 式により  $S$  を計算す。

表-10.

$x$	$a\sigma_x - u\sigma_x$	$B$	$S = \frac{a\sigma_x - u\sigma_x}{B}$
19	26.336	19.900	1.323
20	26.542	20.868	1.272
21	27.236	21.789	1.250

之に依りて  $x=19, 20, 21$  の各水平断面上の各點の鉛直應力  $\sigma_x$  を (11) 式に依り求め表示すれば表-11, 12,

13 の如し

表-11.

$y$	$l$	$Sl$	$\sigma_x$	摘 要
上 流 面 (-2.00)	0	0	4.920	$x=19$ $u\sigma_x=4.920 \text{ t/m}^2$
-1.00	1	1.323	6.243	
0	2	2.646	7.566	$a\sigma_x=31.256 \text{ t/m}^2$
+5.00	7	9.261	14.181	$S=1.323$
+10.00	12	15.876	20.796	$B=19.900 \text{ m}$
+15.00	17	22.491	27.411	
(+17.900)	19.900	26.328	31.256	$y_0=2.00 \text{ m}$
下 流 面				

表-12.

$y$	$l$	$Sl$	$\sigma_x$	摘 要
上 流 面 (-2.00)	0	0	5.963	$x=20$ $u\sigma_x=5.963 \text{ t/m}^2$
-1.00	1	1.272	7.235	
0	2	2.544	8.507	$a\sigma_x=32.505 \text{ t/m}^2$
+5.00	7	8.904	14.867	$S=1.272$
+10.00	12	15.264	21.227	
+15.00	17	21.624	27.587	$B=20.868 \text{ m}$
(+17.900)	20.868	26.544	32.505	$y_0=2.00 \text{ m}$
下 流 面				

表-13.

$y$	$l$	$Sl$	$\sigma_x$	摘 要
上 流 面 (-2.00)	0	0	6.799	$x=21$ $u\sigma_x=6.799 \text{ t/m}^2$
-0.10	1	1.250	8.049	
0	2	2.500	9.299	$a\sigma_x=34.035 \text{ t/m}^2$
+5.00	7	8.750	15.549	
+10.00	12	15.000	21.799	$S=1.250$
+15.00	17	21.250	28.049	$B=21.789 \text{ m}$
(+18.868)	21.789	27.236	34.035	$y_0=2.00 \text{ m}$
下 流 面				

(3)  $\frac{\partial u}{\partial x}$  の計算 ……(13) 式による。

圖-17.

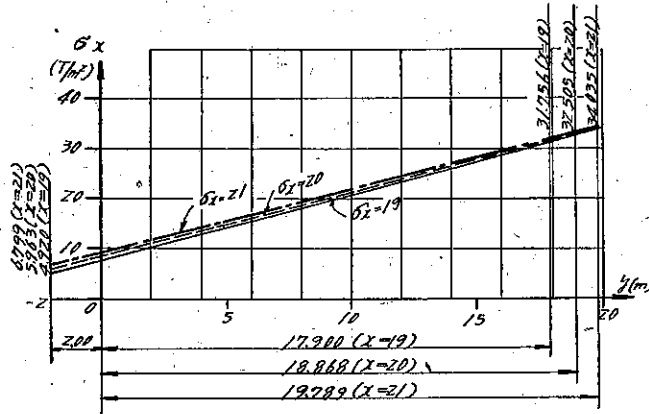
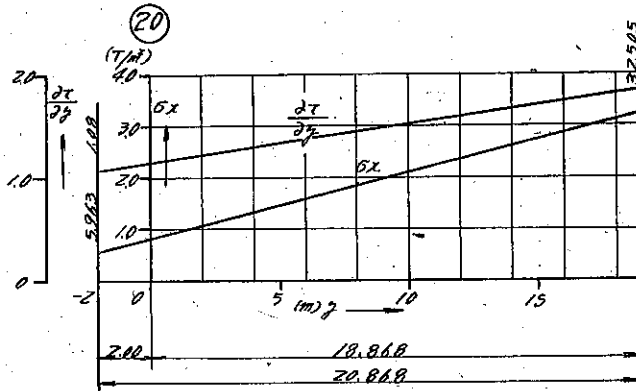


表-14.  $\frac{\partial u}{\partial x}$  計算表

$x=20$		$B=20.868$		$\frac{x(m+n)}{B^2} = 0.0433$		$\frac{n}{B} = 0$
$y$	$l$	$B-l$	$\frac{B-l}{B}$	$\frac{x(m+n)}{B^2} l$	$[\frac{B-l}{l} + \frac{x(m+n)}{B^2} l - \frac{n}{B}]$	$\frac{\partial u}{\partial x} = \mu [ \quad ]$
上流面						
-2.00	0	20.868	1.000	0	1.000	0.33
-1.00	1	19.868	0.952	0.043	0.995	0.33
0	2	18.868	0.904	0.087	0.991	0.33
+5.00	7	13.868	0.665	0.303	0.968	0.32
+10.00	12	8.868	0.425	0.520	0.945	0.31
+15.00	17	3.868	0.185	0.736	0.921	0.30
下流面 (+18.868)	20.868	0	0	0.904	0.904	0.30

圖-18.



(4)  $\frac{\Delta\sigma_x}{\Delta x}$  の計算

$$\frac{\Delta\sigma_x}{\Delta x} = \frac{\Delta\sigma_x' + \Delta\sigma_x''}{2} \dots (14) \text{ 式による}$$

表-15.

$y$	$_{21}\sigma_x$	$_{30}\sigma_x$	$_{10}\sigma_x$	$\Delta\sigma_x' = {}_{30}\sigma_x - {}_{20}\sigma_x$	$\Delta\sigma_x'' = {}_{21}\sigma_x - {}_{20}\sigma_x$	$\frac{\Delta\sigma_x}{\Delta x} = \frac{\Delta\sigma_x' + \Delta\sigma_x''}{2}$
上流面 (-2.00)	6.799	5.963	4.920	1.043	0.836	+0.94
-1.00	8.049	7.235	6.243	0.992	0.814	0.90
0	9.299	8.507	7.566	0.941	0.792	0.87
+5.00	15.549	14.867	14.181	0.686	0.682	0.68
+10.00	21.799	21.227	20.796	0.431	0.572	0.50
+15.00	28.049	27.587	27.411	0.176	0.462	0.32
下流面 (18.868)	34.035	32.505	31.256			

(5)  $\frac{\partial r}{\partial y}$  の計算... (9) 式による

表-16.

$y$	$v$	$\frac{\partial v}{\partial x}$	$\frac{\Delta\sigma_x}{\Delta x}$	$\frac{\partial r}{\partial y}$
上流面 (-2.00)	2.35	0.33	0.94	1.08
-1.00	"	0.33	0.90	1.12
0	"	0.33	0.87	1.15
+5.00	"	0.32	0.68	1.35
+10.00	"	0.31	0.50	1.54
+15.00	"	0.30	0.32	1.73
下流面 (18.868)	"	0.30		

この  $\frac{\partial r}{\partial y} - y$  関係を圖示すれば圖-18 の如し。

圖-18 に見る如く  $\frac{\partial r}{\partial y} - y$  関係が直線變化と看做し得る故 11 節 (A) の場合に屬すべし従つて  $\frac{\partial r}{\partial y} = Ay + B$  と置き係數  $A, B$  を決定する事を得。

$$\frac{\partial r}{\partial y} = Ay + B \dots (15)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= 0.0386 \\ B &= 1.153 \end{aligned} \right\}$$

従つて (15) 式は

$$\frac{\partial \tau}{\partial y} = 0.0386y + 1.153 \dots \dots \dots (15)$$

$$\therefore \text{積分して } \tau = 0.0193y^2 + 1.153y + C \dots \dots \dots (16)$$

境界条件表-5 の値及び表-7 の値より上下流面の剪應力の値は夫々  $\tau_u=0$ ,  $\tau_d=30.652 \text{ ton/m}^2$  之により  $C$  を求むれば表-17 如し。

表-17.

	$\tau (\text{ton/m}^2)$	$y (\text{m})$	$C = \tau - 0.0193y^2 + 1.153y$	$C = \frac{C_1 + C_2}{2}$
上流面	0	-2.00	2.229	2.118
下流面	30.652	+18.868	2.026	

(6) A, B, C 總括表

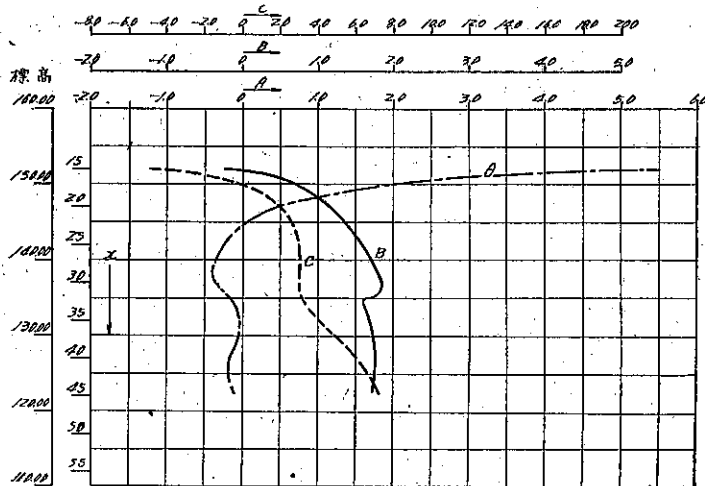
$x=20$  と同様にして他の断面につき求めたる A, B 及 C の値を表記せば表-18 の如し

表-18.

$x$	A	B	(上流) $C_1$	(下流) $C_2$	$C = \frac{C_1 + C_2}{2}$
15	+0.547	-0.252	-6.134	-3.801	-4.968
20	+0.0386	+1.153	+2.229	+2.026	+2.218
25	-0.0256	+1.576	+3.203	+2.778	+2.991
31	-0.02971	+1.875	+3.809	+2.268	+3.039
32	-0.01554	+1.638			
33	-0.0088	+1.613	+4.027	+2.603	+3.315
40	-0.0160	+1.760	+5.681	+6.416	+6.048
45	-0.0126	+1.740	+6.480	+7.916	+7.197

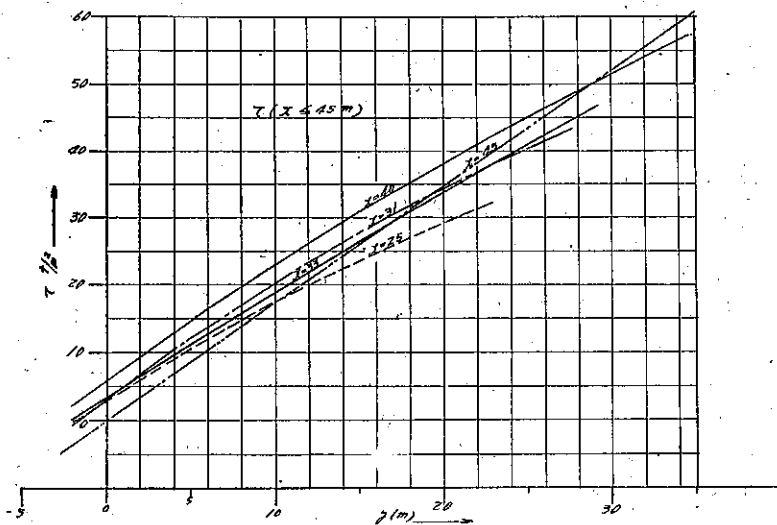
以上の關係を圖示し A-x, B-x, C-x, Cmoe を畫けば圖-19 の如し。

圖-19. 係數 A, B, C の水深  $x$  に対する變化



各水平断面に於ける  $\tau$  の値を  $\tau = \frac{A}{2}y^2 + By + C$  に依り表-18 の  $A, B, C$  の値を用ひて計算し表示すれば圖-20 の如し。

圖-20. 13 節 (6) に於て求めたる  $\tau$  を畫けるものなり



(7)  $\sigma_y$  の計算

内部應力計算式  $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = Kw - \frac{\partial \tau}{\partial x}$  (9) に於て前述に依り

$$\tau = \frac{A}{2}y^2 + By + C$$

故に  $\frac{\partial \tau}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{dA}{dx} y^2 + \frac{dB}{dx} y + \frac{dC}{dx}$

之を  $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}$  式に代入すれば

$$= Kw - \frac{\partial \tau}{\partial x} = \left( Kw - \frac{dC}{dx} \right) - \frac{dB}{dx} y - \frac{1}{2} \frac{dA}{dx} y^2 \dots (17)$$

$$\therefore \sigma_y = \left( Kw - \frac{dC}{dx} \right) y - \frac{1}{2} \frac{dB}{dx} y^2 - \frac{1}{6} \frac{dA}{dx} y^3 + \sigma_{y0} \dots (18)$$

表-19.

x	上流面 $\sigma_{y1}$	下流面 $\sigma_{y2}$	$\frac{\sigma_{y1} + \sigma_{y2}}{2}$
15	5.667	4.905	5.286
20	23.419	23.525	23.472
25	29.266	29.782	29.499
31	35.529	35.741	35.685
33	37.608	37.856	37.482
40	48.625	48.313	48.469
45	56.962	57.032	56.997



(18) 式に於ける  $\sigma_y$  は  $x$  のみの函数にして 12 節 (4), (6) に求めたる上, 下流境界条件より夫々 2 つの値を探り得べし之等を平均して  $\sigma_y$  の値とするものとす。

(8) 而して圖-19 より各断面に於ける  $A, B, C$  曲線の勾配を求むれば表-20 の如し。

表-20.

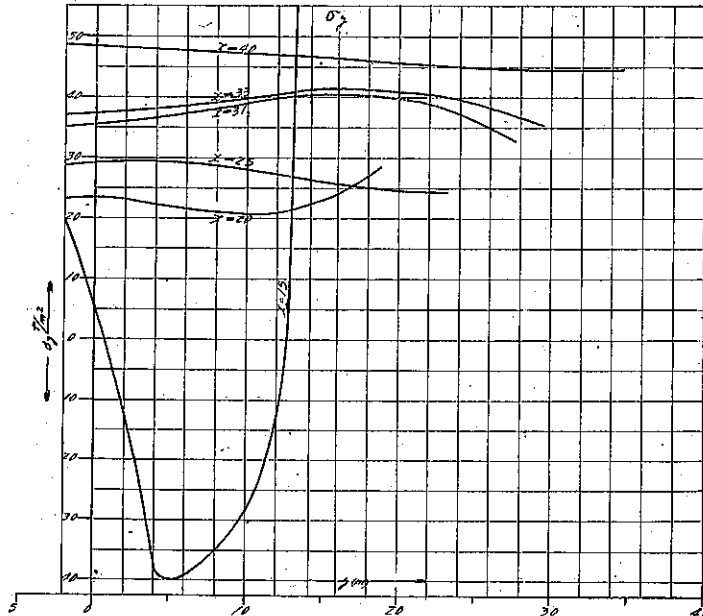
$x$	$\frac{dA}{dx}$	$\frac{dB}{dx}$	$\frac{dC}{dx}$	$(0.282 - \frac{dC}{dx})$	$\frac{1}{2} \frac{dB}{dx}$	$\frac{1}{6} \frac{dA}{dx}$
15	-0.7008	+1.200	+9.282	-9.000	+0.600	-0.1168
20	-0.0253	+0.120	+0.360	-0.078	+0.06	-0.0042
25	-0.0062	+0.080	+0.100	+0.182	+0.04	-0.0010
31	+0.0089	-0.060	+0.060	+0.222	-0.03	+0.0015
33	+0.0053	-0.036	+0.220	+0.162	-0.018	+0.00088
40	-0.0012	+0.018	+0.320	-0.038	+0.009	-0.00020
45	+0.00339	-0.020	0	+0.282	-0.010	+0.000565

各水平面に於ける  $\sigma_y$  の計算

$$\sigma_y = \left( Kw - \frac{dC}{dx} \right) y - \frac{1}{2} \frac{dB}{dx} y^2 - \frac{1}{6} \frac{dA}{dx} y^3 + \sigma_y \dots (18)$$

(18) 式の各係數に 12 節 表-20 の値を用ひて計算し表示すれば圖-21 の如し。

圖-21. 13 (8) に於て求めたる  $\sigma_y$  を畫けるものなり



14.  $\frac{\partial \tau}{\partial y} - y$  が簡單なる函数關係と認め難き場合の計算例 ( $x=50$ )

- (1)  $u\sigma_x, a\sigma_x \dots$  上下流端  $u\sigma_x, a\sigma_x$  を 5 節 表-3 より求む。
- (2)  $\sigma_x$  の計算  $\dots x=48, 49, 50, 51, 52$  の各水平面上各點の鉛直應力  $\sigma_x$  を計算する要あり。計算例其一

と同様にして求められる (表-21, 22, 23, 24)。

- (3)  $\frac{\partial u}{\partial x}$  の計算…計算例其一と同様にして求められる (表-25, 26, 27)。
- (4)  $\frac{d\sigma_x}{dx}$  の計算…表-21, 22, 23, 24 に掲げたる  $\sigma_x$  の値より上下相隣れる水平面上の値を探り之を表-28 に掲げ表中にて計算す。
- (5)  $\frac{\partial \tau}{\partial y}$  の計算… $\frac{\partial \tau}{\partial y} = w - \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{d\sigma_x}{dx}$  により計算す。
- (6)  $\tau$  の計算 …… $\tau$  の境界値即ち表-5, 8 に掲げたる上下流端の  $\tau$  の値  $\tau_u$  及  $\tau_a$  より各  $\frac{\partial \tau}{\partial y}$  を用ひて数値積分をなし各分の  $\tau$  を求む (表-29)。
- (7)  $\tau$  の修正 ……上述に於て数値積分を上流端より始めた場合と下流端より始めた場合とにより夫々異なりたる  $\tau$  の値を得、之を圖上に於て調整し  $\tau$  の修正値と定む。
- (8)  $\frac{d\tau}{dx}$  の計算…上に於て求めたる  $\tau$  の値より表-30 の如く上下水平面各點  $d\tau_1, d\tau_2$  を求め其平均を以て  $d\tau$  とし之より  $\frac{d\tau}{dx}$  を求む。
- (9)  $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}$  の計算… $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = K_1 w - \frac{d\tau}{dx}$  より  $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}$  を計算す。(表-30, 表-23)
- (10)  $\sigma_y$  の計算…… $\tau$  の計算と同様に数値積分に依り計算す (表-31, 表-23)。

表-21. 水平面應力計算表

x=48				x=52			
		$w\sigma_x=12.710$				$w\sigma_x=12.026$	
		$S=1.819$ $B=43.778$				$S=1.933$ $B=47.098$	
$d\sigma_x=92.850$				$d\sigma_x=10$			
y	l	Sl	$\sigma_x$	y	l	Sl	$\sigma_x$
上流面 (-2.96)	0	0	12.710	上流面 (-3.20)	0	0	12.026
-2.00	0.96	1.746	14.456	-3.00	0.20	0.387	12.413
-1.00	1.96	3.565	16.275	-2.00	1.20	2.320	14.346
0	2.96	5.384	18.094	-1.00	2.20	4.253	16.279
5.00	7.96	14.479	27.189	0	3.20	6.186	18.212
10.00	12.96	23.574	36.284	5.00	8.20	15.851	27.877
15.00	17.96	32.669	45.379	10.00	13.20	25.516	37.542
20.00	22.96	41.764	54.474	15.00	18.20	35.181	47.207
25.00	27.96	50.859	63.569	20.00	23.20	44.846	56.872
30.00	32.96	59.954	72.664	25.00	28.20	54.511	66.537
35.00	37.96	69.049	81.759	30.00	33.20	64.176	76.202
40.00	42.96	78.144	90.854	35.00	38.20	73.841	85.867
45.00				40.00	43.20	83.506	95.532
下流面 (40.818)	43.778	79.632	92.340	下流面 (43.898)	47.098	91.040	103.058
摘要	上流端よりの距離	13節(2)参照	鉛直應力圖-22参照	摘要	上流端よりの距離	13節(2)参照	鉛直應力圖-22参照

圖-22. 水平面應力圖 ( $\alpha=48\dots$ 表-21 参照)  
 $\alpha=52\dots$ 表-21 参照)

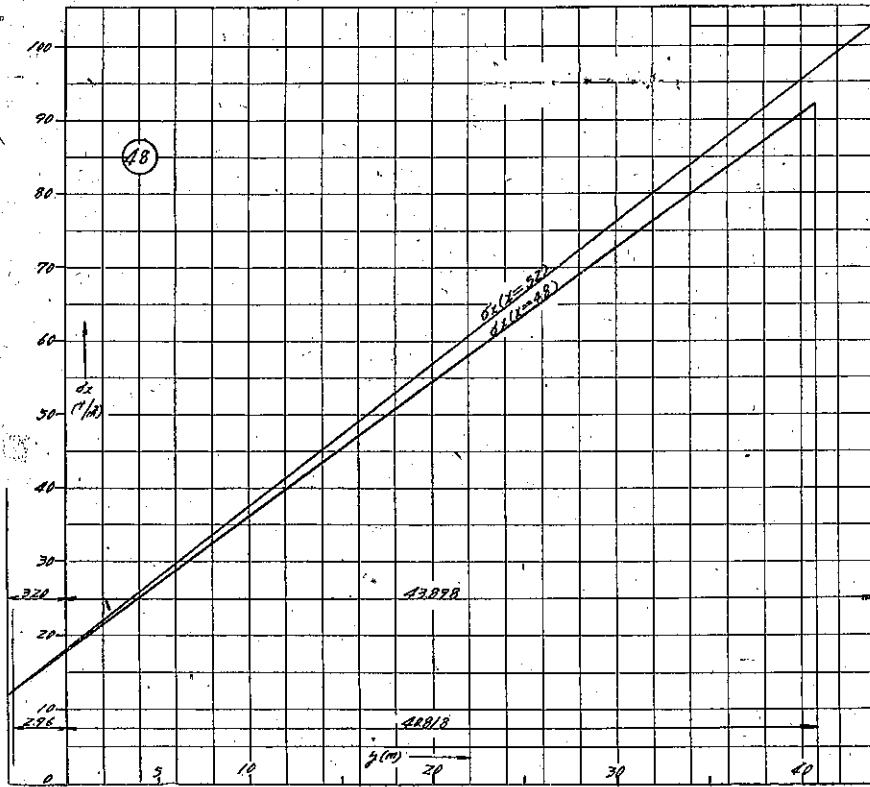


圖-23. 水平面應力圖 ( $\alpha=49\dots$ 表-22 参照)

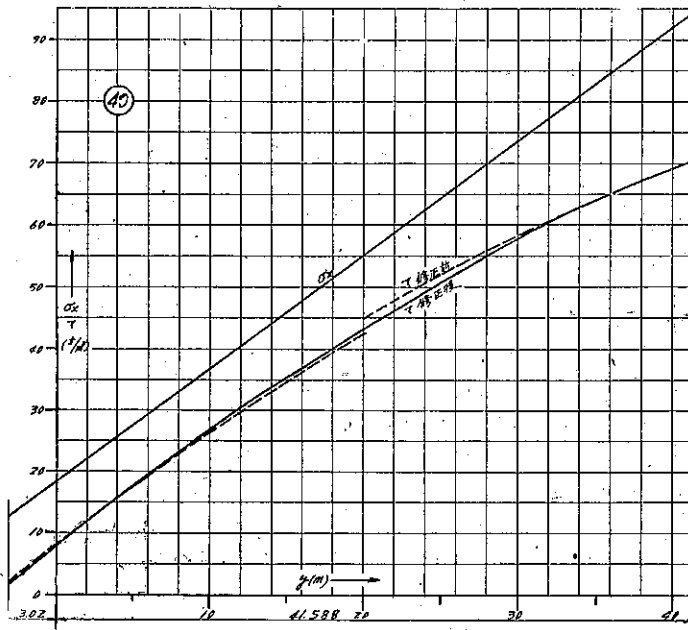


圖-19 参照

$x$  : 懸案断面の水深 (m)  
 $y$  : 断面上任意の點の  $y$  坐標 (m)  
 $l$  : " " 上流面よりの距離 (m)  
 $S : \frac{a\sigma_x - u\sigma_x}{B}$   
 $\sigma_x$  : 断面上任意の點の鉛直應力度 (ton/m<sup>2</sup>)

表-22. 水平面應力計算表

(圖-20 参照)

$x=49\text{ m}$ $u\sigma_x=12.640\text{ ton/m}^2$ $a\sigma_x=94.870\text{ ton/m}^2$ $S=1.843$ , $B=44.608\text{ m}$								
$v_0=3.02$ $\frac{\partial u}{\partial x} = \mu \frac{B-l}{B}$ $\frac{\partial \tau}{\partial y} = w \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$ $\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = wK \frac{\Delta \tau}{\Delta x}$								
$y$	$l$	$Sl$	$\sigma_x$	$\frac{\partial u}{\partial x}$	$\frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$	$\frac{\partial \tau}{\partial y}$	$\tau$ (修正前)	$\tau$ (訂正值)
上流面 (-3.02)	0	0	12.640	0.33			1.973	1.973
-3.00	0.02	0.037	12.677	"				
-2.00	1.02	1.880	14.520	"	+0.06	1.96	4.081	4.035
-1.00	2.02	3.723	16.363	"	+0.09	1.93	6.142	6.042
0	3.02	5.565	18.205	"	+0.10	1.92	8.083	7.947
5.00	8.02	14.791	27.421	0.32	+0.18	1.85	17.527	17.510
10.00	13.02	23.996	36.636	"	+0.31	1.72	26.394	26.313
15.00	18.02	33.211	45.851	"	+0.47	1.56	34.713	34.775
20.00	23.02	42.426	55.066	0.31	+0.55	1.49	42.431 44.453	43.068
25.00	28.02	51.641	64.281	"	+0.74	1.30	51.566	50.650
30.00	33.02	60.856	73.496	"	+0.82	1.22	58.094	57.973
35.00	38.02	70.071	82.711	0.30	+0.92	1.13	63.965	64.030
40.00	43.02	79.286	91.926	"	+1.08	0.97	69.210	68.784
41.588 (下流面)	44.608	82.231	94.870	"			70.731	70.731
摘要	上流端よりの距離	23節(2)参照	鉛直應力	揚圧力強度 變化率 表-25より 求む	鉛直應力 變化率 表-23より 求む	剪應力 變化率 表-30より 求む	上下流面の 値は表-5 表-8参照	圖-23参照

(圖-21 参照)

表-23. 水平面應力計算表

		$x=50\text{ m}, u\sigma_x=12.462\text{ ton/m}^2, w\sigma_y=97.388\text{ ton/m}^2, S=1.868, B=45.438\text{ m}$		$y=3.08\text{ m}$		$\frac{\partial u}{\partial x} = \mu \frac{B-l}{B}$		$\frac{\partial \tau}{\partial y} = w \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_x}{\partial x}$		$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = v K \frac{\partial \tau}{\partial x}$		
$y$	$l$	$S/l$	$\sigma_x$	$\frac{\partial u}{\partial x}$	$\frac{4\sigma_x}{4x}$	$\frac{\partial \tau}{\partial y}$	$\tau$ (修正前)	$\tau$ (修正値)	$\frac{\Delta \tau}{4x}$	$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}$	$\sigma_y$ (修正前)	$\sigma_y$ (修正値)
(上流面)	0	0	12.462	0.33	-0.03	2.05	2.072	2.072			63.929	63.929
	0.08	0.149	12.611	"	+0.00	2.02	2.236	2.236	+0.26	+0.026	63.933	63.933
	1.08	2.107	14.479	"	+0.03	1.99	4.258	4.223	+0.30	-0.020	63.970	63.970
	2.08	3.885	16.347	"	+0.04	1.98	6.279	6.209	+0.40	-0.113	63.920	63.920
	3.08	5.753	18.215	"	+0.18	1.85	8.257	8.187	+0.52	-0.233	63.830	63.830
	5.00	15.093	27.555	0.32	+0.29	1.74	17.853	17.788	+0.60	-0.314	62.760	62.760
	10.00	24.433	36.895	"	+0.47	1.56	26.791	26.700	+0.60	-0.314	61.090	61.090
	15.00	33.773	46.235	"	+0.58	1.45	35.088	35.162	+0.54	-0.258	59.380	59.380
	20.00	43.113	55.575	"	+0.79	1.25	{42.708 44.763}	43.300	+0.35	-0.070	57.910	57.910
	25.00	52.453	64.915	0.31	+0.84	1.20	51.796	50.800	+0.09	+0.189	57.060	57.060
	30.00	61.793	74.255	"	+1.02	1.02	58.126	58.050	-0.03	+0.312	57.300	57.300
	35.00	71.133	83.595	"	+1.16	0.89	63.678	64.000	+0.02	+0.260	58.110	58.500
	40.000	80.413	92.935	0.30			64.499	68.473			59.059	59.740
	42.858		97.338				70.494	70.494			60.119	60.119
(下流面)												

$w=2.35\text{ ton/m}^2, Kw=0.12 \times 2.35 = 0.282\text{ ton/m}^2$

揚圧力強度  
變化率  
表-25より  
求む

鉛直應力  
率  
表-28より  
求む

剪應力  
率  
表-31より  
求む

力率  
表-31より  
求む

上下流面の  
値は表5  
表8参照

上下流面の  
値は表6  
及び表7  
より求む

剪應力率  
表-31より  
求む

力率  
表-31より  
求む

水平應力  
率  
表-31より  
求む

上下流面の  
値は表6  
及び表7  
より求む

13節(2)参照  
鉛直應力

上の距離

下の距離

摘要

圖-24参照

圖-24. 水平面應力圖 (x=50...表-23 参照)

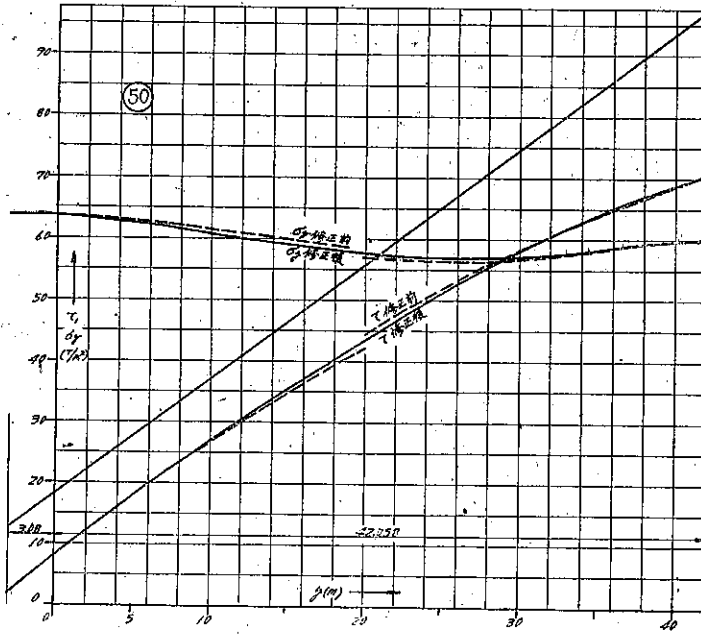


圖-25. 水平面應力圖 (x=51...表-24 参照)

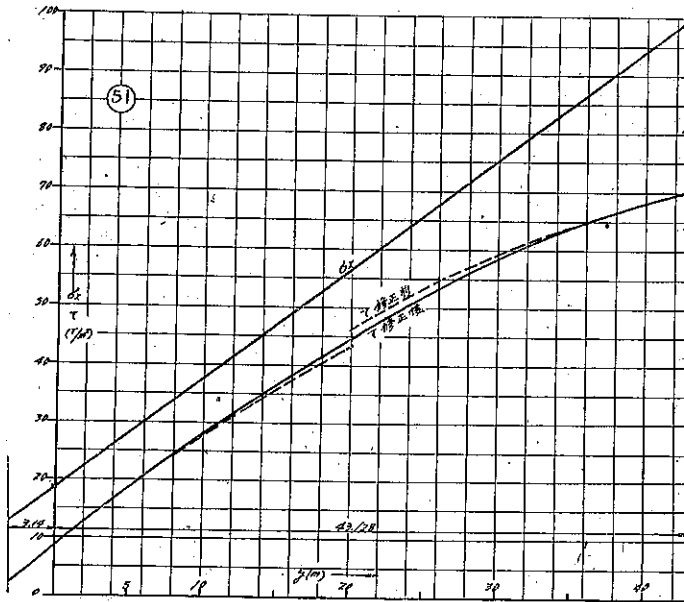


表-24. 水平面應力計算表 (圖-22 参照)

		$x=51$	$u\sigma x=1,2861$	$d\sigma x=100,009$	$S=1,894$	$B=46,268$					
$y$	$l$	$\frac{\partial u}{\partial x} = \mu \frac{B-l}{B}$	$\sigma_x$	$\frac{\partial u}{\partial x}$	$\frac{d\sigma_x}{dx}$	$\frac{\partial \tau}{\partial y} = wK - \frac{d\tau}{dx}$	$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = wK - \frac{d\tau}{dx}$	$wK=0,282$	$\tau$ (修正前)	$\tau$ (修正値)	
上流面 (-3.14)	0	0	12,361	0.33	-0.13	2.15			2,167	2,167	
-3.00	0.14	0.265	12,626	"	-0.11	2.13			2,467	2,468	
-2.00	1.14	2.159	14,520	"	-0.08	2.10			4,574	4,547	
-1.00	2.14	4.053	16,414	"	-0.04	2.06			6,681	6,646	
0	3.14	5.947	18,308	"	+0.16	1.87			8,725	8,737	
5.00	8.14	15.417	27,778	0.32	+0.28	1.75			18,568	18,540	
10.00	13.14	24.887	37,248	"	+0.44	1.59			27,588	27,505	
15.00	18.14	34.357	46,718	"	+0.65	1.38			35,871	36,026	
20.00	23.14	43.827	56,188	"	+0.07	1.27			43,365	44,148	
25.00	28.14	53.297	65,658	0.31	+0.95	1.09			46,695	51,355	
30.00	33.14	62.767	75,128	"	+1.16	0.88			53,417	58,159	
35.00	38.14	72.237	84,598	"	+1.32	0.73			59,340	63,970	
40.00	43.14	81.707	94,068	0.30	"				64,353	68,740	
43.128	46.27		100,009	"					68,366	70,297	
下流面									70,297	70,297	
摘	要	上流端よりの距離	鉛直應力	揚壓力強度変化率表-25より求む	鉛直應力變化率表-28より求む	剪應力變化率表-31より求む	上下流面の値は表-5表-8参照			圖-25 参照	

表-25. 揚壓力強度の變化率  $\partial u/\partial x$  の計算表

$x=49$ $B=44.608$ $\frac{x(m+n)}{B^2}=0.0204$ $\frac{n}{B}=0.001$						
$y$	$l$	$B-l$	$\frac{B-l}{B}$	$\frac{x(m+n)}{B^2}l$	$[\frac{B-l}{B} + \frac{x(m+n)}{B^2}l - \frac{n}{B}]$	$\frac{\partial y}{\partial x} = \mu[.]$
(上流面)						
-2.96	0	43.778	1.000	0	0.999	0.33
-2.00	0.96	42.818	0.978	0.020	0.997	"
-1.00	1.96	41.818	0.955	0.041	0.995	"
0	2.96	40.818	0.932	0.062	0.993	"
+5.00	7.96	35.818	0.818	0.166	0.983	0.32
+10.00	12.96	30.818	0.704	0.270	0.973	"
+15.00	17.96	25.818	0.590	0.374	0.963	"
+20.00	22.96	20.818	0.476	0.478	0.953	0.31
+25.00	27.96	15.818	0.361	0.582	0.942	"
+30.00	32.96	10.818	0.247	0.686	0.932	"
+35.00	37.96	5.818	0.133	0.790	0.922	0.30
+40.00	42.96	0.818	0.019	0.894	0.912	"
+40.818	43.778	0	0	0.911	0.910	"
(下流面)						

表-26.

$x=50$ $B=45.438$ $\frac{x(m+n)}{B^2}=0.0201$ $\frac{n}{B}=0.001$						
$y$	$l$	$B-l$	$\frac{B-l}{B}$	$\frac{x(m+n)}{B^2}l$	$[\frac{B-l}{B} + \frac{x(m+n)}{B^2}l - \frac{n}{B}]$	$\frac{\partial y}{\partial x} = \mu[.]$
(上流面)						
-3.08	0	45.438	1.000	0.000	0.999	0.33
-3.00	0.08	45.358	0.998	0.002	0.999	"
-2.00	1.08	44.358	0.976	0.022	0.997	"
-1.00	2.08	43.358	0.954	0.042	0.995	"
0	3.08	42.358	0.932	0.062	0.993	"
+5.00	8.08	37.358	0.822	0.162	0.983	0.32
+10.00	13.08	32.358	0.712	0.263	0.974	"
+15.00	18.08	27.358	0.602	0.363	0.964	"
+20.00	23.08	22.358	0.492	0.464	0.955	0.32
+25.00	28.08	17.358	0.382	0.564	0.945	0.31
+30.00	33.08	12.358	0.372	0.665	0.936	"
+35.00	38.08	7.358	0.162	0.765	0.926	"
+40.00	43.08	2.358	0.052	0.866	0.917	0.30
+42.358	45.438	0	0	0.913	0.912	"
(下流面)						



表-27.

$y$	$l$	$B-l$	$\frac{B-l}{B}$	$\frac{x(m+n)}{B^2} l$	$\left[ \frac{B-l}{B} + \frac{x(m+n)}{B^2} l - \frac{n}{B} \right]$	$\frac{\partial u}{\partial x} = \mu [ : ]$
(上流面)						
- 3.14	0	46.268	1.000	0	0.999	0.33
- 3.00	0.14	46.128	1.000	0.003	1.002	"
- 2.00	1.14	45.128	0.957	0.023	0.997	"
- 1.00	2.14	44.128	0.954	0.042	0.995	"
0	3.14	43.128	0.932	0.062	0.993	"
+ 5.00	8.14	38.128	0.824	0.161	0.984	0.32
+10.00	13.14	33.128	0.716	0.260	0.975	"
+15.00	18.14	28.128	0.608	0.359	0.966	"
+20.00	23.14	23.128	0.500	0.458	0.957	"
+25.00	28.14	18.128	0.392	0.557	0.948	0.31
+30.00	33.14	13.128	0.284	0.656	0.939	"
+35.00	38.14	8.128	0.176	0.755	0.930	"
+40.00	43.14	3.128	0.068	0.854	0.921	0.30
+43.128	46.268	0	0	0.916	0.915	"
(下流面)						

鉛直断面上的鉛直應力の變化率  $\frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$  の表。

5節表-3より得たる鉛直應力を基礎として鉛直方向の變化率  $\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$  を計算すると表-28次の如し。

表-28.

$y$	$x$	$\sigma_x$ (修正前)	$\sigma_x$ (修正後)	$\Delta \sigma_x$ (修正前)	$\frac{\Delta \sigma_x}{\Delta x}$
-3	49	12.677	12.677	+0.004	-0.026
	50	12.681	12.681	-0.055	
	51	12.626	12.626	-0.213	
	52	12.413	12.413		
-2	48	14.456	14.456	+0.064	+0.062
	49	14.520	14.520	+0.059	+0.000
	50	14.579	14.579	-0.059	-0.114
	51	14.520	14.520	-0.174	
	52	14.341	14.341		
-1	48	16.275	16.275	+0.088	+0.086
	49	16.363	16.363	+0.084	+0.026
	50	16.447	16.447	-0.093	-0.084
	51	16.414	16.414	-0.135	
	52	16.279	16.279		

(續 き)

$y$	$x$	$\sigma_x$ (修正前)	$\sigma_x$ (修正後)	$\Delta\sigma_x$ (修正前)	$\frac{\Delta\sigma_x}{\Delta x}$
0	48	18.094	18.094	+0.112	+0.095
	49	18.205	18.206	+0.078	
	50	18.215	18.284	+0.010	
	51	18.308	18.294	+0.010	
	52	18.212	18.214	-0.080	
+5	48	27.189	27.189	+0.232	+0.183
	49	27.421	27.421	+0.134	
	50	27.555	27.555	+0.223	
	51	27.778	27.778	+0.099	
	52	27.377	27.377	+0.099	
+10	48	36.284	36.284	+0.316	+0.308
	49	36.636	36.600	+0.300	
	50	36.895	36.900	+0.284	
	51	37.248	37.184	+0.284	
	52	37.542	37.464	+0.280	
+15	48	45.379	45.379	+0.472	+0.471
	49	45.851	45.851	+0.469	
	50	46.235	46.320	+0.466	
	51	46.718	46.786	+0.466	
	52	47.207	47.207	+0.421	
+20	48	54.474	54.474	+0.562	+0.551
	49	55.036	55.036	+0.539	
	50	55.575	55.575	+0.613	
	51	56.188	56.188	+0.684	
	52	56.872	56.872	+0.684	
+25	48	63.569	63.570	+0.710	+0.740
	49	64.281	64.280	+0.770	
	50	64.915	65.050	+0.810	
	51	65.658	65.860	+0.720	
	52	66.537	66.580	+0.720	
+30	48	72.664	72.660	+0.840	+0.820
	49	73.496	73.500	+0.800	
	50	74.255	74.300	+0.880	
	51	75.128	75.180	+0.880	
	52	76.202	76.200	+1.020	

(續 き)

+35	48	81.759	81.760	+0.950	+0.920
	49	82.711	82.710	+0.890	
	50	83.595	83.600	+1.140	
	51	84.598	84.740	+1.180	
	52	85.867	85.920		
+40	48	90.854	90.850	+1.080	+1.075
	49	91.926	91.930	+1.070	
	50	92.935	93.000	+1.250	
	51	94.068	94.250	+1.390	
	52	95.532	95.640		

摘要

水平断面上 5m 間隔にとりたる基礎點を通る鉛直面内の  $\sigma x-x$  の曲線を畫きて之を平滑化して  $\sigma x$  を修正し然るのち相隣る  $\sigma x$  の値の差より  $\frac{d\sigma x}{dx}$  を計算せるものなり

$x=50$  上流側境界條件より數値積分して各點の  $\tau$  を求むる計算。

表-29.

$y$	$\tau$	$\frac{\partial \tau}{\partial y}$	$\Delta y$	$k = \frac{\partial \tau}{\partial y} \Delta y$	$\Delta \tau$
-3.08	2.072	2.052	0.08	0.164 = $k_1$	$\Delta \tau = \frac{1}{6}(k_1 + 4k_2 + k_3)$
-3.04		2.051	"	0.164 = $k_2$	
-3.00		2.050	"	0.164 = $k_3$	
-3.00	2.236	2.050	2.00	4.100	4.043
-2.00	4.258	2.020	"	4.040	
-1.00		1.998	"	3.996	
-1.90	6.279	1.988	"	3.996	3.955
0	8.257	1.978	"	3.956	
1.00		1.955	"	3.910	
1.00	10.234	1.955	"	3.910	3.860
2.00		1.930	"	3.860	
3.00		1.906	"	3.812	
3.00	14.094	1.906	"	3.812	3.759
4.00		1.880	"	3.760	
5.00		1.852	"	3.704	
5.00	17.853	1.852	"	3.704	3.652
6.00		1.826	"	3.652	
7.00		1.800	"	3.600	

(續 き)

7.00	21.505	1.800	//	3.600	
8.00		1.786	//	3.572	3.564
9.00		1.748	//	3.496	
9.00	25.069	1.748	//	3.496	
10.00	26.791	1.722	//	3.444	3.444
11.00		1.695	//	3.390	
11.00	28.513	1.695	//	3.390	
12.00		1.670	//	3.340	3.339
13.00		1.643	//	3.286	
13.00	31.852	1.643	//	3.286	
14.00		1.618	//	3.236	3.236
15.00		1.592	//	3.184	
15.00	35.088	1.592	//	3.184	
16.00		1.566	//	3.132	3.132
17.00		1.540	//	3.080	
17.00	38.220	1.540	//	3.080	
18.00		1.513	//	3.020	3.026
19.00		1.486	//	2.972	
19.00	41.246	1.486	//	2.972	
20.00	42.708	1.462	//	2.924	2.923
21.00		1.435	//	2.870	
	44.169				

$x=50$  下流端境界条件より数値積分して各点の  $\tau$  を求むる計算。

表-30.

$y$	$\tau$	$\frac{\partial \tau}{\partial y}$	$\Delta y$	$k = \frac{\partial \tau}{\partial y} \cdot \Delta y$	$\Delta \tau$
42.358	70.494	0.808	0.358	$0.289 = k_1$	$\Delta \tau = \frac{1}{6}(k_1 + 4k_2 + k_3)$ $= 0.292$
42.179		0.815	"	$0.292 = k_2$	
42.00		0.820	"	$0.294 = k_3$	
42.00	70.202	0.820	2.00	1.640	1.703
41.00		0.825	"	1.704	
40.00		0.881	"	1.762	
40.00	68.499	0.881	"	1.762	1.829
39.00		0.915	"	1.830	
38.00		0.946	"	1.892	

(續 ぎ)

38.00	66.670	0.946	"	1.892	
37.00		0.977	"	1.954	1.954
36.00		1.008	"	2.016	
36.00	64.716	1.008	"	2.016	
35.00	63.678	1.038	"	2.076	2.076
34.00	62.640	1.068	"	2.136	
34.00	62.640	1.008	"	2.136	
33.00		1.100	"	2.200	2.199
32.00		1.128	"	2.256	
32.00	60.441	1.128	"	2.256	
31.00		1.158	"	2.316	2.315
30.00		1.186	"	2.372	
30.00	58.126	1.186	"	2.372	
29.00		1.216	"	2.432	2.432
28.00		1.245	"	2.490	
28.00	55.694	1.245	"	2.490	
27.00		1.273	"	2.546	2.546
26.00		1.302	"	2.604	
26.00	53.148	1.302	"	2.604	
25.00	51.796	1.357	"	2.714	2.705
24.00	50.443	1.384	"	2.768	
24.00	50.443	1.384	"	2.768	
23.00		1.408	"	2.816	2.809
22.00		1.410	"	2.820	
22.00	47.634	1.410	"	2.820	
21.00		1.435	"	2.870	2.871
20.00		1.462	"	2.924	
20.00	44.763	1.462	"	2.924	
19.00		1.468	"	2.936	2.944
18.00		1.494	"	2.988	
	41.819				

$x=50$  水平断面上の各點の水平應力計算表。

表-31.  $\tau$  の計算表

$y$	$\tau$	$\Delta_1 \tau$	$\tau$	$\Delta_3 \tau$	$\tau$
	$x=49$		$x=50$		$x=51$
上流面	1.973		2.072		2.167
-3.00			2.236		2.468

(續 き)

-2.00	4.035	0.703	4.223	0.324	4.547
-1.00	6.042	0.147	6.209	0.437	6.646
0	7.947	0.240	8.187	0.550	8.737
5.00	17.510	0.278	17.788	0.752	18.540
10.00	26.313	0.387	26.700	0.805	27.505
15.00	34.775	0.328	35.162	0.864	36.026
20.00	43.068	0.232	43.300	0.848	44.148
25.00	50.650	0.149	50.800	0.555	51.355
30.00	57.973	-0.077	58.050	0.109	58.159
35.00	64.030	-0.030	64.000	-0.030	63.970
40.00	68.784	-0.184	68.600	+0.140	68.740
下流面	70.731		70.494		70.297

$\sigma_y$  計算表  $x=50$   $K=0.12$ ,  $w=2.35 \text{ t/m}^2$

$y$	$\frac{\Delta\tau}{\Delta x} = \frac{\Delta\tau + \Delta_2\tau}{2}$	$\frac{\partial\sigma_y}{\partial y} = Kw - \frac{\Delta\tau}{\Delta x}$	$\sigma_y$ (數値積分)	$\sigma_y$ (修正値)
上流面			63.929	63.929
-3.00			63.933	63.933
-2.00	+0.256	+0.026	63.970	63.970
-1.00	+0.302	-0.020	63.976	63.920
0	+0.395	-0.113	63.850	63.830
5.00	-0.515	-0.233	63.012	62.760
10.00	+0.596	-0.314	61.640	61.090
15.00	+0.596	-0.314	60.024	59.380
20.00	+0.540	-0.258	57.338	57.910
25.00	+0.352	-0.070	56.540	57.080
30.00	+0.093	+0.189	56.790	57.300
35.00	-0.030	+0.312	58.110	58.500
40.00	+0.022	+0.260	59.659	59.740
下流面			60.119	60.119

$x=50$  上流端境界条件より數値積分して各點の  $\sigma_y$  を求める計算

表-32.

$y$	$\sigma_y$	$\frac{\partial\sigma_y}{\partial y}$	$\Delta y$	$k = \frac{\partial\sigma_y}{\partial y} \Delta y$	$\Delta\sigma_y$
-3.08	63.929	+0.046	0.08	0.0037	$1/8(k_1 + 4k_2 + k_3)$
-3.04		"	"	0.0037	=0.004
-3.00		"	"	0.0037	

(續 き)

-3.00	63.933	+0.046	2.00	0.092	
-2.00		0.026	"	0.052	0.043
-1.00		-0.020	"	-0.040	
-1.00	63.976	-0.020	"	-0.040	
0.00		-0.113	"	-0.226	-0.205
+1.00		-0.142	"	-0.284	
-1.00	63.771	-0.142	"	-0.284	
2.00		-0.168	"	-0.336	-0.335
3.00		-0.190	"	-0.380	
3.00	63.436	-0.190	"	-0.380	
4.00		-0.212	"	-0.424	-0.424
5.00		-0.233	"	-0.466	
5.00	63.012	-0.233	"	-0.466	
6.00		-0.256	"	-0.512	-0.510
7.00		-0.274	"	-0.548	
7.00	62.502	-0.274	"	-0.548	
8.00		-0.290	"	-0.580	-0.578
9.00		-0.301	"	-0.602	
9.00	61.924	-0.301	"	-0.602	
10.00		-0.314	"	-0.628	-0.626
11.00		-0.321	"	-0.642	
11.00	61.298	-0.321	"	-0.642	
12.00		-0.324	"	-0.648	-0.647
13.00		-0.323	"	-0.646	
13.00	60.651	-0.323	"	-0.646	
14.00		-0.320	"	-0.640	-0.639
15.00		-0.314	"	-0.628	
15.00	60.012	-0.314	"	-0.628	
16.00		-0.308	"	-0.616	-0.615
17.00		-0.300	"	-0.600	
17.00	59.397	-0.300	"	-0.600	
18.00		-0.290	"	-0.580	-0.578
19.00		-0.274	"	-0.548	
19.00	58.819				

$x=50$  下流端境界条件より数値積分して各点の  $\sigma_y$  を求める計算  
表-33.

$y$	$\sigma_y$	$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}$	$\Delta y$	$k = \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \Delta y$	$\Delta \sigma_y$
42.258	60.119	0.118	0.358	0.042	$1/6(k_1 + 4k_2 + k_3)$ = 0.047
42.179		0.131	"	0.047	
42.000		0.140	"	0.050	
42.000	60.072	0.140	2.00	0.280	0.413
41.000		0.210	"	0.420	
40.000		0.260	"	0.520	
40.000	59.659	0.260	"	0.520	0.568
39.000		0.286	"	0.572	
38.000		0.300	"	0.600	
38.000	59.091	0.300	"	0.600	0.615
37.000		0.308	"	0.616	
36.000		0.312	"	0.624	
36.000	58.476	0.312	"	0.624	0.622
35.000		0.312	"	0.624	
34.000		0.307	"	0.614	
34.000	57.854	0.307	"	0.614	0.589
33.000		0.296	"	0.592	
32.000		0.276	"	0.552	
32.000	57.265	0.276	"	0.552	0.475
31.000		0.240	"	0.480	
30.000		0.189	"	0.378	
30.000	56.790	0.189	"	0.378	0.265
29.000		0.132	"	0.264	
28.000		0.078	"	0.156	
28.000	56.525	0.078	"	0.156	0.053
27.000		0.026	"	0.052	
26.000		-0.023	"	-0.046	
26.000	56.472	-0.023	"	-0.046	-0.140
25.000		-0.070	"	-0.140	
24.000		-0.117	"	-0.234	
24.000	56.692	-0.117	"	-0.234	-0.318
23.000		-0.160	"	-0.320	
22.000		-0.196	"	-0.392	



(續 き)

22.000	56.930	-0.196	//	-0.392	
21.000		-0.230	//	-0.460	-0.458
20.000		-0.258	//	-0.518	
20.000	57.388	-0.258	1.00	-0.258	
19.500		-0.266	//	-0.266	-0.266
19.000		-0.274	//	-0.274	
	57.654				

## 15. 主應力度及び其方向線

互に直角なる2つの主應力度  $\sigma_1, \sigma_2$  及び最大剪應力度  $\tau_m$  は次式に依りて表はさる。

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\tau_m = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

但し

 $\sigma_x$ : 鉛直應力度 ton/m<sup>2</sup> $\sigma_y$ : 水平應力度 ton/m<sup>2</sup> $\tau$ : 剪應力度 ton/m<sup>2</sup>

次に主應力の方向線を求めるに主應力  $\sigma_1, \sigma_2$  の方向が  $y$  軸となす角を夫々  $\beta_1, \beta_2$  とすれば ( $\beta_1$  は時計の逆方向を + とす)

$$\left. \begin{aligned} \tan \beta_1 \\ \tan \beta_2 \end{aligned} \right\} = -\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau}\right)^2 + 1}$$

式中の  $\pm$  符號は  $\sigma_1$  の方向線に對し満水時 - 空虛時 + を用ふる。以上の式に依り各點に於ける主應力度並に方向を計算せり。

## 16. 等主應力度曲線及び主應力度方向線

圖-26. 主應力度圖

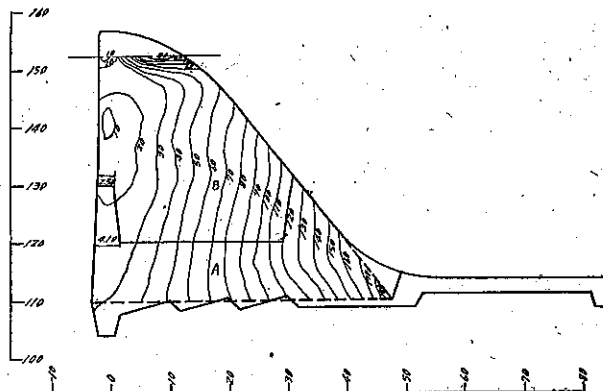
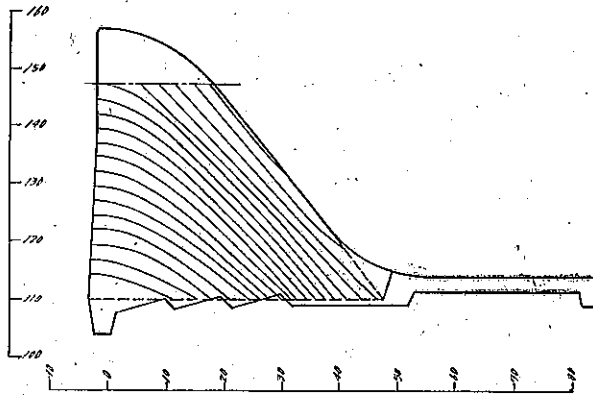


圖-27. 主 應 力 力 方 向 線 圖



15 節に於て計算せる各點に於ける主應力度  $\sigma_1$  及び其の満水時の方向を基とし従來の方法により等主應力度曲線並に主應力度方向線を畫けば 圖-26 及 圖-27 の如し。

#### 17. 等剪應力度曲線

15 節に於て計算せる各點に於ける最大剪應力度  $\tau_m$  を基とし、従來の方法により等剪應力度曲線を畫けば 圖-28 の如し。

圖-28. 最 大 剪 應 力 度 ( $\tau_m$ )