

# 港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH  
INSTITUTE MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

第 3 卷 2 号

Vol.3 No.2

高知港津波防波堤に関する模型実験……柴 山 煒 彦・木 村 久 雄  
武 村 莞 爾

高知港模型実験，一様巾水路に設けた  
津波防波堤の効果に関する模型実験……浅 田 忠 則・細 川 剛

1964年6月

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

## 高知港津波防波堤に関する模型実験

第1章 概 要	3
1-1 概 要	3
1-2 実験の目的	3
第2章 港口現地観測	3
2-1 水位観測	3
2-2 漂流桿による流況観測	3
2-3 漲退潮時の流速観測	4
2-4 推定水面勾配	4
2-5 推定流量	5
2-6 推定粗度	6
第3章 模型実験	7
3-1 実験の必要性	7
3-2 相似律について	7
3-3 実験装置及び測定法	8
3-4 現況実験	9
3-5 計画断面実験	10
3-6 計画断面改良実験	11
3-7 長浜川水位変動	14
3-8 津波防波堤水位及び流出係数	14
3-9 流心部の選定	15
第4章 結 語	17
参 考 文 献	18
付 図	19

## 一様巾水路に設けた津波防波堤の効果に関する模型実験

I 概要および目的	65
II 実 験	65
1. 序	65
2. 相 似 律	66
3. 実 験 結 果	67
III 実験結果の解析	73
1. 防波堤附近の流れ	73
2. 底面剪断力	75
3. 交換係数	77
4. 流量係数	78
IV 結 論	78
参 考 文 献	79

(2) 相似律

津波は一般に 20~30 分の周期を持つ長周期波であるが、この実験に於いては、波動としての水面変動は考慮しないで、上流（現地の港口側）側に一定の水面を与えた定常流を対象としているので流れの相似のみを満足させればよい。この場合には河川における不等流の式が適用出来る<sup>1)</sup>

$$I_1 = i_1 - \frac{\partial h_1}{\partial x_1} = \frac{d}{dx_1} \left( \frac{v_1^2}{2g} \right) + \frac{v_1^2}{C_1^2 R_1} \dots\dots\dots(2-1)$$

$$I_2 = i_2 - \frac{\partial h_2}{\partial x_2} = \frac{d}{dx_2} \left( \frac{v_2^2}{2g} \right) + \frac{v_2^2}{C_2^2 R_2} \dots\dots\dots(2-2)$$

が成立する。ここに添字 1, 2 はそれぞれ現地および模型を示し,  $I$  : 水平勾配,  $i$  : 河床勾配(この実験に於いては 0),  $h$  : 水深,  $C$  : Chézy の定数,  $R$  : 径深である。水路は水深に比して巾員の大きい矩形断面であるから,

$$R_1 \doteq h_1, \quad R_2 \doteq h_2$$

である。  
ここで、

$$\frac{h_1}{h_2} = h, \quad \frac{l_1}{l_2} = l, \quad \frac{v_1}{v_2} = v, \quad \frac{C_1}{C_2} = C, \quad \frac{I_1}{I_2} = I, \quad \frac{i_1}{i_2} = i \dots\dots(2-3)$$

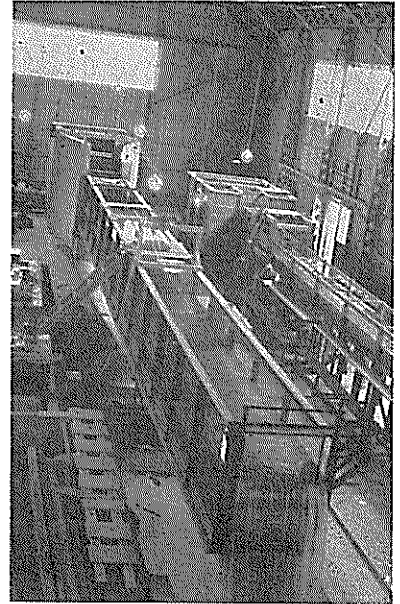
とにおいて (2-2) に代入して (2-1) と比較すれば

$$I = i = \frac{h}{l} = \frac{v^2}{l} = \frac{v^2}{c^2 h} \dots\dots\dots(2-4)$$

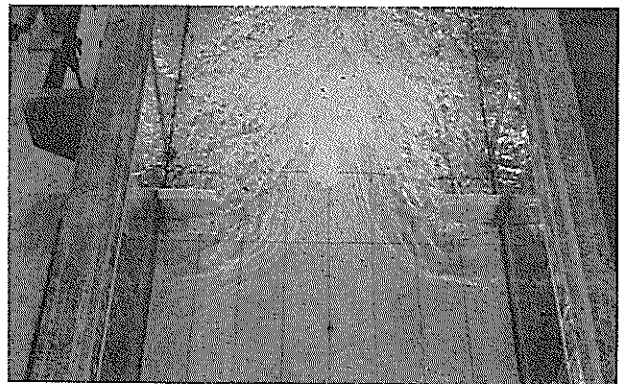
が成立するとき、(2-1) と (2-2) は同一の式となる。すなわち (2-4) の関係が満足されれば、流れに対する運動学的相似が成立つ。そこで水平と垂直の縮尺を 2 : 1 ( $h/l : 1/2$ ) に歪ませることにすれば、現地および 15メートル水路の縮尺関係は次の様になる。

	現	地	模	型
	縮	尺	縮	尺
水 平	1/l	1	1/325	
垂 直	1/h	1	1/163	
流 速	1/v	1	1/12.75	
流 量	1/Q	1	1/6.76 × 10 <sup>5</sup>	
時 間	1/t	1	1/25.45	
粗 度	1/n	1	1/1.66	

以上の縮尺によってきまる量は次の通りである。



写真(1)



写真(2)

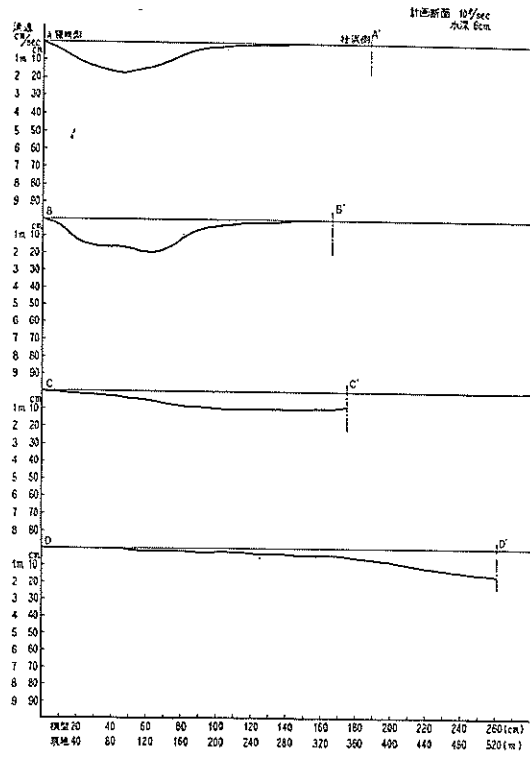


图-13-7 横断流速分布

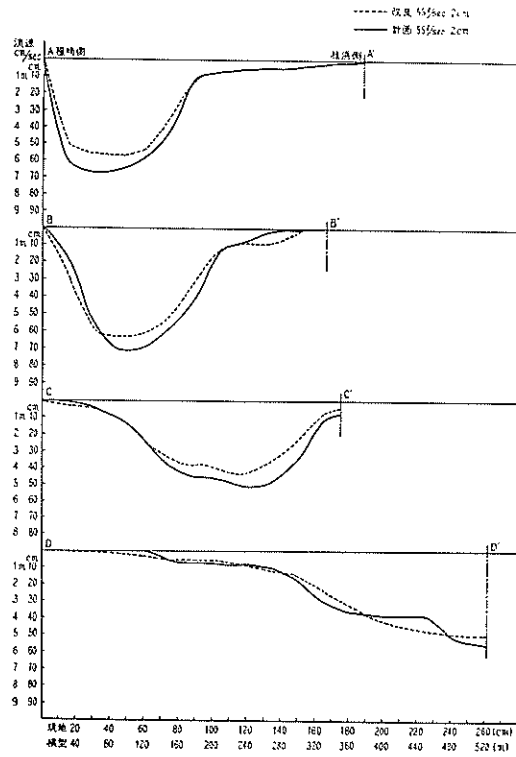
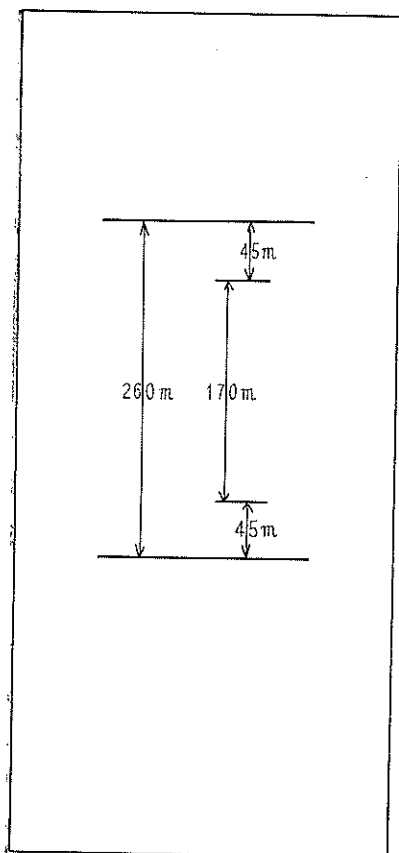
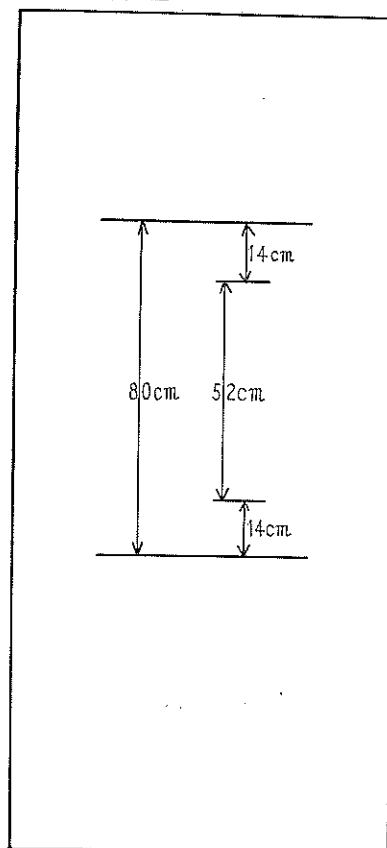


图-13-8 横断流速分布

現 況



模 型



水 深 $h$	14.8 m
流 量 $Q$	20,000 m <sup>3</sup> /sec
水路巾	$\begin{cases} W_1 & 260 \text{ m} \\ W_2 & 170 \text{ m} \end{cases}$
流 速	$\begin{cases} v_1 & 5.20 \text{ m/sec} \\ v_2 & 7.95 \text{ m/sec} \end{cases}$
粗 度 $n$	0.0250

	9.08 cm
	29.6 l/sec
	80 cm
	52.2 cm
	52.2 cm/sec
	40.8 cm/sec
	0.0151

ただし上記の添字 1, 2 はそれぞれ、一樣断面部および縮小断面部（防波堤設置位置）の量を表わし、現況は現地の改修前の状態を表わす。

### （3）実 験 結 果

流速計は、平面模型実験に於いてフォトランジスター型流速計を使用しているのので、この実験に於いてもこれを使用した。しかしこの型の流速計には底面近くの流速測定に制限を受ける点や、流れの乱れの具合によって回転に相当のばらつきがある点など不都合な点が見られるので、精密を要する部分には水流用のピトー管を使用した。また水位はポイントゲージでこれを追い、流向は細い棒に 5 cm 程度の黒糸をつけて、糸の振れを分度器で測定した。

### (i) 流 向

図(1)は防波堤を設けた場合の防波堤上下流の底面より 6 cm の高さに於ける流向を示している。一様巾水路を流下して来た流れは防波堤によって縮小されて流出する。上流側では流れは流出口（防波堤間）までは壁面に沿って流れ剥離は見られないが、流出口を流出すると共に壁面を離れ、流線は開いた角度（ $6 \sim 7^\circ$ ）で両側に渦列を形成しながら拡大して流下し、再び側壁に到達した後これに沿って流れる。この拡大線の外側と側壁の間は大きい渦領域となり逆流が現われる。また上流側の流向についてはⅢ(1)に於いてポテンシャル流と実際の流れについて比較したが、これについては後述する。なお防波堤を設けない場合の流向は水路に平行となるので掲げなかった。

### (ii) 流 速

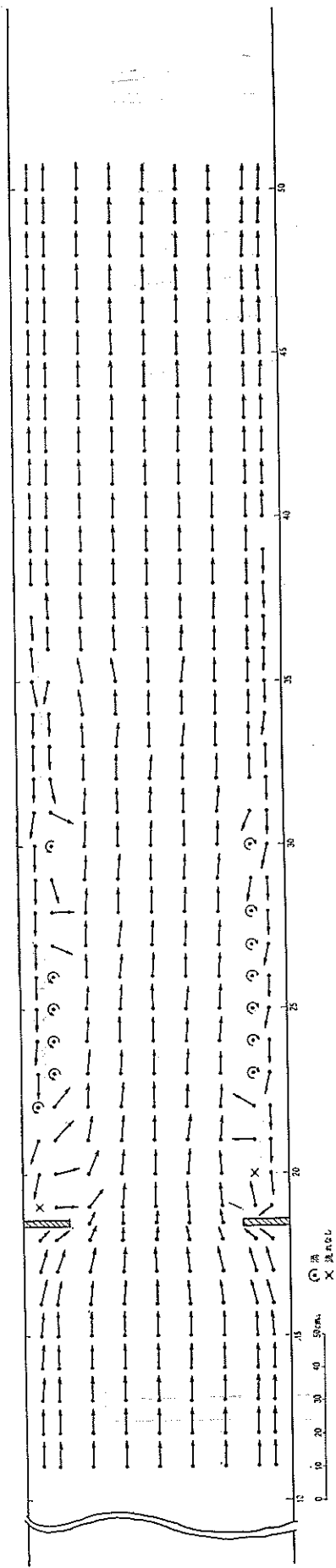
図(2)、図(3)はそれぞれ防波堤を設けない場合と設けた場合の流速分布を示し、図(3)に於ける 1, 2, 3 はそれぞれ底面より 2 cm, 4 cm, 6 cm の高さに於ける流速分布を示す。実験に於いて流れが中心線に関して対称になる様心掛けたが、困難であった。非対称となる原因についてははっきりしないが、流速、水面勾配共に大きいので底面のわずかな凹凸（底面はベニヤ板で出来ている）でも流れに影響するであろうこと、防波堤自体完全には対称的になっていないことなどが考えられるであろう。ともかく非対称に出て来るので、流速分布を中心線に関して対称なもの（偶関数に相当する）と非対称なもの（奇関数に相当するもの）とに分け、偶関数に相当するものを解析の対象とした。断面方向の測定点が細かくないので流速の反転する点が明かでないが、一応測定点の値を直線で結んだ。この様に流速の反転する点が明かでないので、流出流の拡大して行く角度を正確に求めることは困難であるが、大まかに見れば図中一点鎖線で示される様に  $6 \sim 7^\circ$  程度であり、側壁がない場合の二次元流としての噴流の Tollmien の測定した噴出角  $11^\circ 10'$  よりかなり小さい値を持っている。芦田、荒木両氏<sup>9)</sup>は、類似した実験（本実験と異り一様断面から断面を急拡大している）を行って、同様な結果をえているが、この原因がこの実験と噴流との主要な相違である圧力勾配の有無、および側壁の有無にあると考えている。

### (iii) 水 面 形

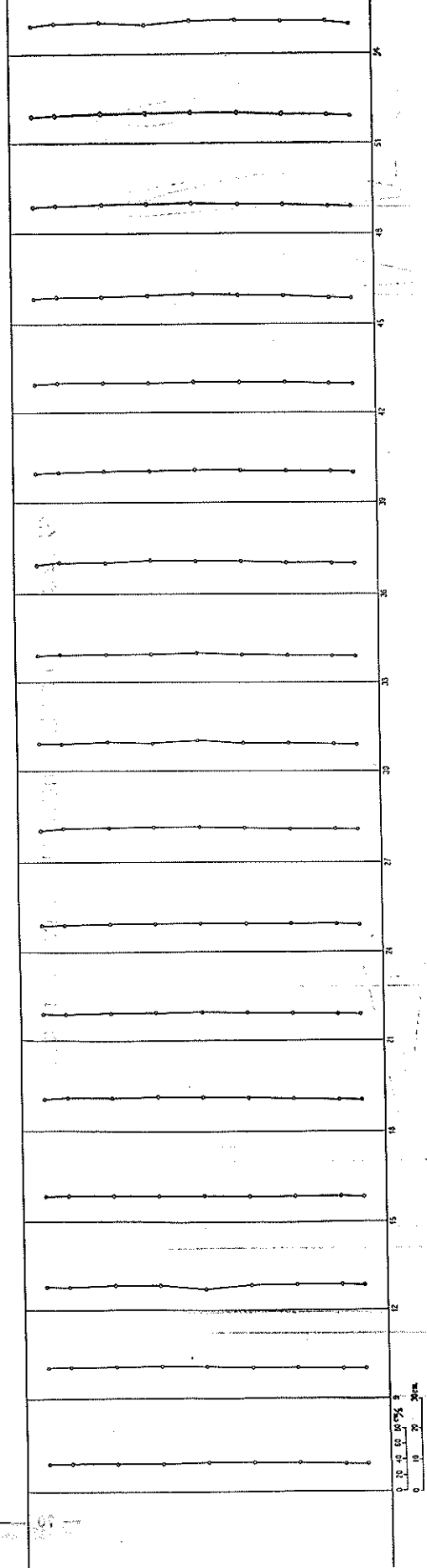
図(4)、(5)図はそれぞれ防波堤を設けない場合と、設けた場合の水路の中心線上の水面形を示し、図(6)は防波堤前後の断面に於ける断面方向の水面形を示している。防波堤を設けない場合の水面勾配はほぼ直線的で 1600 分の 1 程度である。また図(5)によれば、防波堤位置より 55 cm 下流（現地：179 m）に於いて、水位の最低点が現れ、それ以後徐々に等流水深に近づいて行く。水面勾配は 15 cm 下流（現地：49 m）に於いて、最も急峻となりその値は 10 分の 1 となり現地に換算して 20 分 1 となる処からその大きさが分るであろう。従ってこの区間以下に於いて流れの加速が行われ 25 cm 下流（現地：81 m）に於いて最大流速を与えている。しかし一方この区間では流れが加速されるだけでなく、後述する様に、底面にかなり大きい剪断力が作用し、現地に於ける局部洗掘についても問題となる点の一つとなるであろう。

また一方図(6)によれば、流れが上流より防波堤に近づくにつれて、中心部の水位が外側の水位より低くなり、5 cm 上流（現地：16.3 m）に於いて 0.7 cm（現地：1.1 m）の水位差を生ずるが、流出口（防波堤間）に於いては逆に中心部の方が外側より 0.5 cm（現地：80 cm）だけ高くなっている。これは防波堤先端に於いて非常に大きい水面勾配が現われることを意味し、この部分の流速は中心部の流速より大きく出ている（図(3)、Ⅲ(1)）。

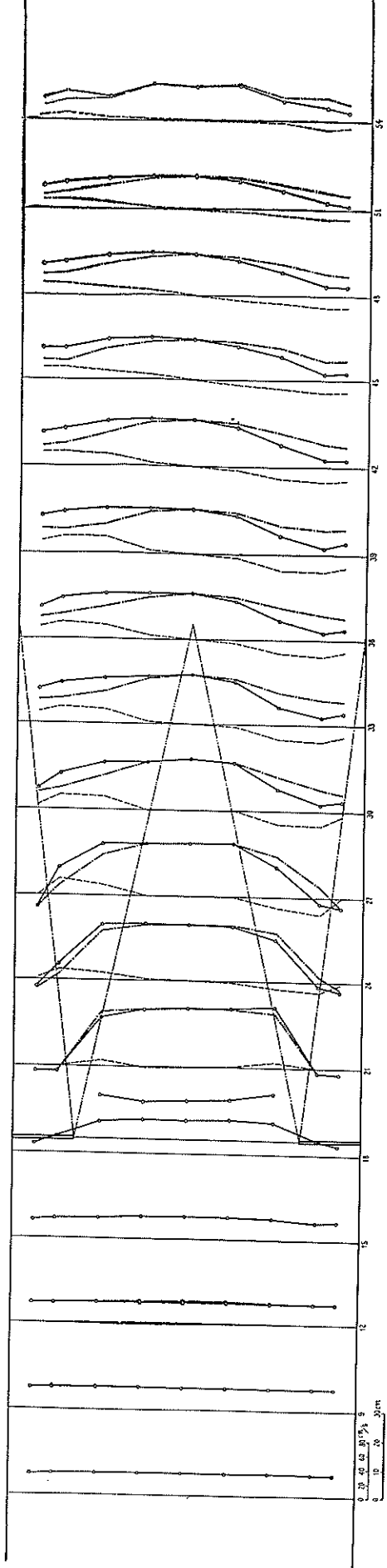
更に図(7)は防波堤上下流の断面の水位分布であるが、3 ~ 4 cm（現地：4.9 ~ 6.5 m）程度の水位差が現れている。



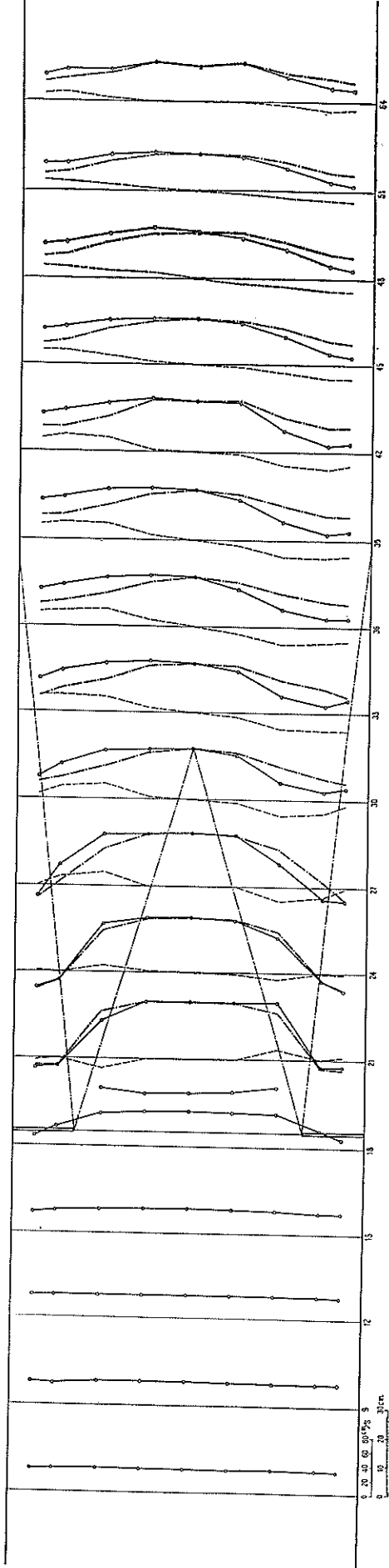
図(1) 防波堤前後における流向 (底面より 6 cm)



図(2) 底面より 6 cm の高さにおける流速分布 (防波堤のない場合)

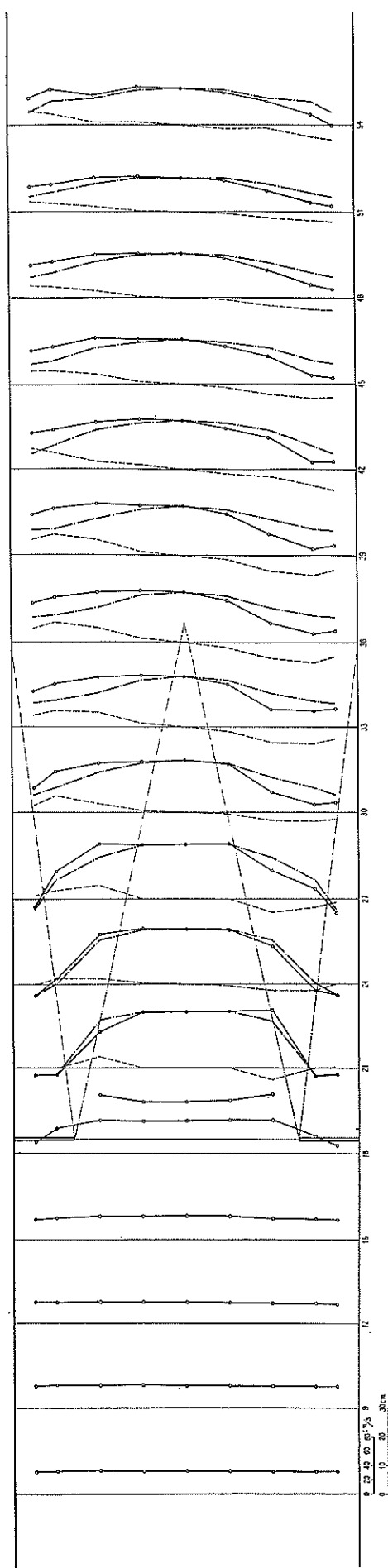


図(3)一1 底面より2 cm 高さに於ける流速分布 (防波堤のある場合)

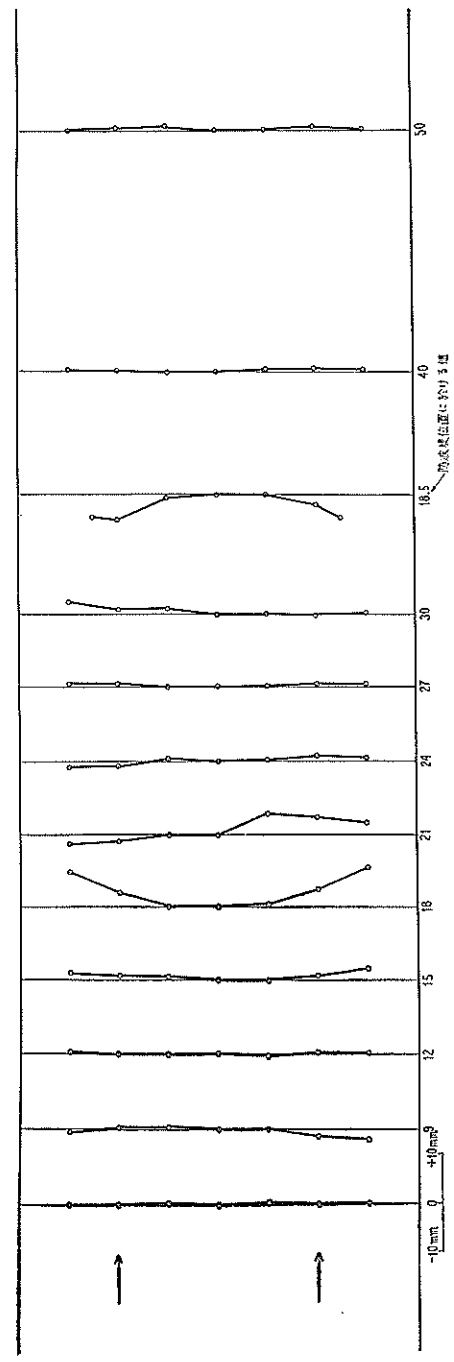


図(3)一2 底面より4 cm の高さに於ける流速分布 (防波堤のある場合)

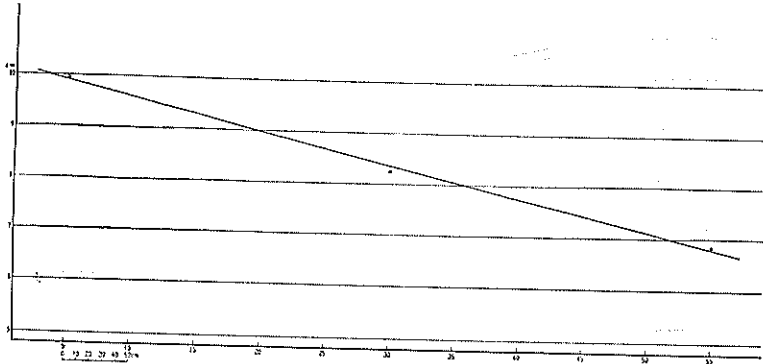




図(3) 3 底面より 6 cm の高さに於ける流速 (防波堤のある場合)

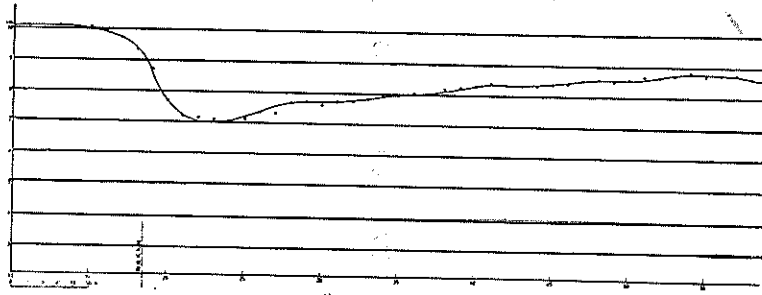


図(6) 断面方面の水位分布中心の値に相対的な値



図(4) 水路中心に於ける水位分布 (防波堤のない場合)

図 (4)



図(5) 水路中心における水位分布 (防波堤のある場合)

図 (5)

ここで防波堤を設けない場合の水路としての粗度係数を求めておく。

不等流の式

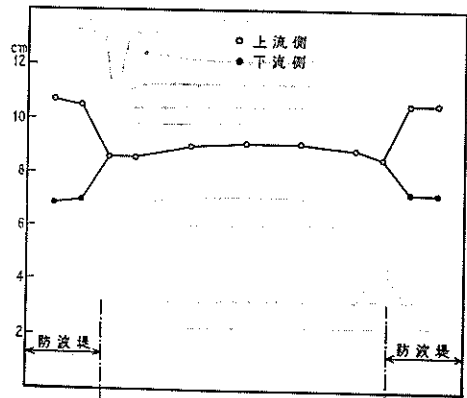
$$I = i - \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{d}{dx} \left( \frac{v^2}{2g} \right) + \frac{v^2}{C^2 R}$$

に於いて、 $i = 0$  であること、右辺第一項が他項に比して小さく無視出来ることから、 $C$  に Manning の係数を用いると、

粗度係数  $n$  は

$$n = \frac{1}{v} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2-5)$$

で与えられる。計算値は  $n = 0.0107$  となり現地への換算値  $n = 0.0178$  は現地の  $n = 0.0250$  に比べてかなり小さい。



図(7) 防波堤附近の水位分布  
○上流側 ●下流側

### III 実験結果の解析

#### (1) 防波堤附近の流れ

上流より防波堤に接近する流れは防波堤先端部に於いて、流線が集中して、大きな水面勾配と流速を与え、流出口を流出して  $6^\circ \sim 7^\circ$  程度の拡大角で拡がって行き、その拡大線の外側と側壁間に渦領域（反流領域）を形成しながら流下し、再び側壁に達したのち、これに沿って流れることは前に述べた。現象自体としては二次元噴流のそれと類似しているが、流出口附近に圧力勾配を有すること、側壁を有することにより両者にはかなりの差違があるであろうことは予測されるところである。二次元噴流理論に於いて、similarity と self-preservation を仮定し渦動粘性係数を適当に仮定して運動方程式を解き、実際の現象によく一致する結果をえている。<sup>3), 4)</sup> 我々の場合これらの仮定を吟味することは困難であり、しかも更に運動方程式に圧力勾配を加えなければならないと云う、根本的な問題が横たわっており、解析的に解くことは出来なかつた。そこでこの問題は一応保留することにして、比較的乱れの小さいと見られる上流側の流れにポテンシャル流を対応させて比較してみることにする。

図(8)の様な流路にAからEに向う流れのある場合を考える。条件は流路の中心線に関して対称であるので、図(9)の様な半分の断面について考えればよい。図(9)の  $z$  平面の図形の内部を図(10)の  $t$  平面の上半分に変換する。Schwarz-Christoffel の変換により

$$\frac{dz}{dt} = \frac{K t}{(t^2 - m^2)\sqrt{t^2 - 1}} \dots\dots\dots (3-1)$$

ただし  $K$  は定数で一般に複素数である。

(3-1) を解いて

$$z = \frac{K}{2\sqrt{m^2 - 1}} \ln \frac{\sqrt{m^2 - 1} - \sqrt{t^2 - 1}}{\sqrt{m^2 - 1} + \sqrt{t^2 - 1}} + M \dots\dots\dots (3-2)$$

( $M$ : 積分定数)

$$\begin{aligned} t = 1 \text{ のとき} & \quad z = 0 \\ t = \infty \text{ のとき} & \quad z = i a \end{aligned}$$

なる条件を考えれば、 $K$ 、 $M$ 、 $m$  は容易に決定されて

$$\left. \begin{aligned} K &= -\frac{2a}{\pi} \cot \frac{\pi b}{2a} \\ M &= 0 \\ m &= \operatorname{cosec} \frac{\pi b}{2a} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-3)$$

となる。これらの値を (3-2) に入れて整理すれば、

$$t^2 = 1 + \cot^2 \frac{\pi b}{2a} \tanh^2 \frac{\pi z}{2a} \dots\dots\dots (3-4)$$

なる関係式がえられる。

次に図(10)の様に側壁と流路の中心線が流線となる様に  $t$  平面の  $w$  平面への写像を考えると、前と同様にして、

$$\frac{dw}{dt} = \frac{N}{t^2 - m^2} \quad (N: \text{定数}) \dots\dots\dots (3-5)$$

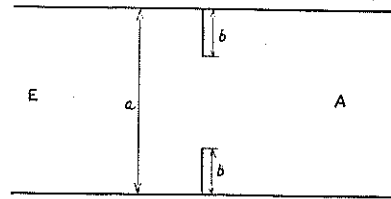


図 (8)

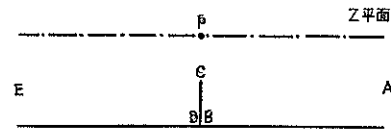


図 (9)

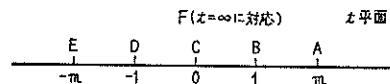


図 (10)

積分して

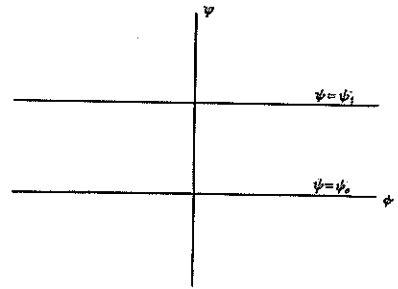
$$w = \frac{N}{2m} \ln \frac{t-m}{t+m} + P \quad (P: \text{定数}) \dots (3-6)$$

となる。ここで定数を決定しなければならないが、求めたい量は速度成分  $u, v$  であるから

$$\frac{dw}{dz} = \frac{dw}{dt} \frac{dt}{dz} = -u + iv \dots (3-7)$$

に出て来る定数のみ決定すればよい。流れは A から E に向い、A (無限遠点) に於いて  $u = -U, v = 0$  なる流速を持つとすれば

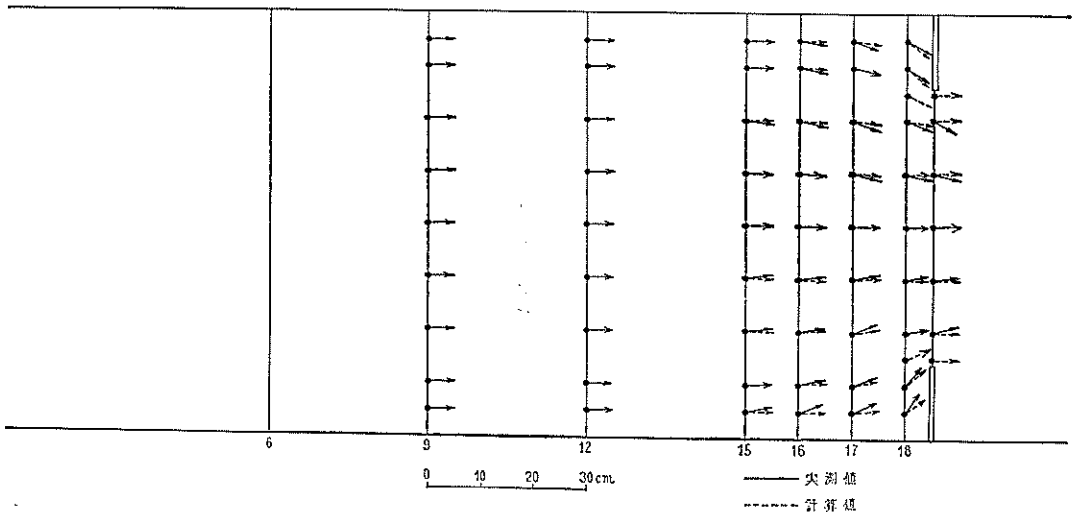
$$\frac{dw}{dz} = U \operatorname{cosec} \frac{\pi b}{2a} \frac{\tanh \frac{\pi z}{2a}}{\sqrt{1 + \cot^2 \frac{\pi b}{2a} \tanh^2 \frac{\pi z}{2a}}} \dots (3-8)$$



図(1) W 平面

がえられる。この式を数値計算して図示したものが図(2)および図(3)で前者は流向を、後者は流速分布を示す。なお図中の実線は実測値、点線は計算値(ポテンシャル流)である。まず図(2)では、かなり上流に於いては流れは流路にほぼ平行であり実測値と計算値との間にはさして差はないが、防波堤に接近するにつれて両者の差が大きくなる。これはポテンシャル流がポテンシャルの差によって壁面に沿って流れるのに対し、我々の実験に於ける流れが水路方向の水面勾配と共に、断面方向の水面形にも関係していることが考えられる。すなわち前述の様に、断面方向の水面形は流れが防波堤に接近するにつれて中心の水位が外側の水位より下ることであった。このために流れは中心に引寄せられこの様な結果を生ずるものと考えられる。

また図(3)に於いてもかなり上流では両者はほとんど一致すると見てよいが、流下するにつれてその差は大きくなっていく。水路の中心線上の水面形で見た様に、防波堤前後で非常に大きい水面勾配が現われるために、流れは加速される。すなわちポテンシャル流に於いては、一樣断面と縮小断面で水深の変化はない訳であるが、実際の流れでは水面勾配があるために水深の変化があり、流体の連続条件よりポテンシャル流の流速より全体的に大きく出て来るとも考えられよう。ポテンシャル流の防波堤先端部に非常に大きい流速が現れるが、これはこの点



図(2) 流向の比較(実測値と計算値)

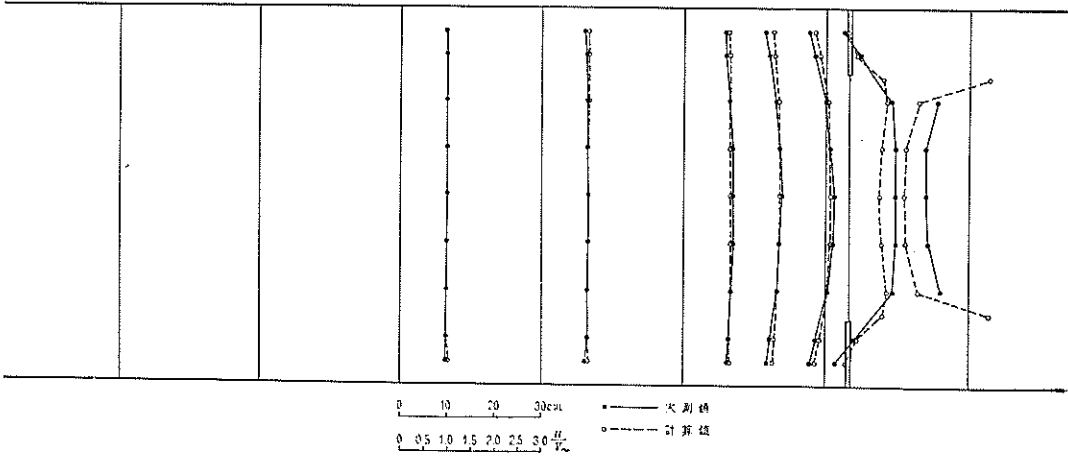


図13 流速分布の比較(実測値と計算値)

が(3-8)の特異点となることを示している。この様に量的には両者に差違があるにしても、流出断面に於ける分布形(中心で小さく、外側で大きく現われるなど)などは面白い現象であろう。

次に流出流(下流側の流れ)について考えてみよう。問題を定常二次元運動と考え、レイノルズ応力を考えないことにすれば、

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = \varepsilon \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \dots\dots\dots (3-9)$$

但し  $x, y$  はそれぞれ水路の中心線上下流方向、およびこれに垂直(断面方向)にとった座標で  $U, V$  はそれぞれ  $x, y$  方向の流速成分であり、 $\varepsilon$  は渦動粘性係数とする。(3-9)を側壁の境界条件を満足する様に解ければ、流速成分  $U, V$  を  $x, y$  の関数として表示出来る訳である。しかし我々の場合、二次元噴流に於ける様に、圧力勾配項を無視出来ること、流れの相似(similarity)、自己保存(self-preservation)の仮定が成立つことなどが満足されないことや吟味が困難であることから我々の問題を(3-9)の解として求めることは困難と云わなければならない。なお  $\varepsilon$  をどの様に仮定するかも一つの問題となることをつけ加えておく必要がある。最後に(3-9)の各項の大きさを評価しておこう。

$$U \frac{\partial U}{\partial x} \sim 55, V \frac{\partial U}{\partial y} \sim 20, -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \sim 25, \varepsilon \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \sim \text{不明}$$

で圧力項が決して無視出来ないことが分る。

(2) 底面剪断力

底面剪断力の計算は次の式によった。運動を定常二次元的と仮定し図14の様に座標軸をとれば、

$$\rho \left( U \frac{\partial U}{\partial x} + W \frac{\partial U}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \nabla^2 U \dots\dots\dots (3-10)$$

$$\rho \left( U \frac{\partial W}{\partial x} + W \frac{\partial W}{\partial z} \right) = -\rho g - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \nabla^2 W \dots\dots\dots (3-11)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (3-12)$$

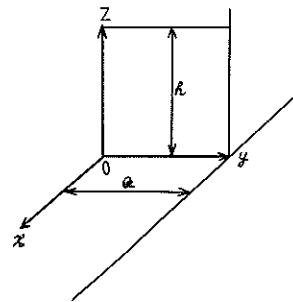


図 (14)

が成立する。(3-11)に於いて、右辺第一項、第二項以外はこれらの項に比べに比べて十分小さいと考えられるから、

$$-\rho g = \frac{\partial P}{\partial z}$$

$z = h$  に於いて、 $P = 0$  なる条件より

$$P = \rho g(h - z)$$

$$\therefore \frac{\partial P}{\partial x} = \rho g \frac{\partial h}{\partial x} \dots\dots\dots (3-13)$$

(3-12), (3-13) を (3-10) に代入して、 $\mu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}$ ,  $\mu \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \frac{\partial \Sigma_{zz}}{\partial z}$  と表わされ、 $\mu \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$  が小さいことを考えて変形すれば

$$\rho \left( \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial(UW)}{\partial z} \right) = -\rho g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \dots\dots\dots (3-14)$$

但し  $\tau_{ij}$  は  $ij$  面内の剪断力を示す。

(3-14) を  $z$  に関して  $z = 0$  より  $z = h$  まで、 $y$  に関して  $y = 0$  より  $y = a$  まで積分すれば

$$\rho \int_0^a \int_0^h \left( \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial(UW)}{\partial z} \right) dy dz = -\rho g a h \frac{\partial h}{\partial x} + h[\tau_{yz}|_{z=a} - \tau_{yz}|_{z=0}] + a[\tau_{zz}|_{z=h} - \tau_{zz}|_{z=0}] \dots\dots\dots (3-15)$$

$|\tau_{zy}|_{z=0}$ ,  $|\tau_{zz}|_{z=h}$  は無視出来ると考えられる。 $|\tau_{yz}|_{z=a}$  に  $|\tau_{zz}|_{z=0}$  と同じ符号を持たせるためには  $-|\tau_{yz}|_{z=a}$  とおけばよいから、(3-15) は変形の結果次の様になる。

$$a|\tau_{zz}|_{z=0} + h|\tau_{yz}|_{y=a} = -\rho g a h \frac{\partial h}{\partial x} - \rho \int_0^a \left[ -\frac{\partial}{\partial x} \int_0^h U^2 dz - U^2(x, y, h) \frac{\partial h}{\partial x} + (UW)_{z=h} \right] dy \dots\dots\dots (3-16)$$

ここで  $W$  は (3-12) より求める。今断面平均の剪断力を出すために  $|\tau_{yz}|_{y=a} = |\tau_{zz}|_{z=0}$  において計算した結果を図例に示した。(3-16) は防波堤を設けない場合の計算式として求めたものであるから、防波堤を設けた場合の算式は三次元の運動の式として修正を加えなければならないが、速度成分の測定が一つだけであるから、連続式より三成分を求めることは出来なかった。そこで

$$\rho \int_0^h \left( \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial(UW)}{\partial z} \right) dz = -\rho g h \frac{\partial h}{\partial x} + |\tau_{zz}|_{z=0}$$

を計算式として使用したことを附記しておく。

図例によれば防波堤を設けない場合には  $\tau$  は  $4 \sim 5 \text{ dyne/cm}^2$  であるが、防波堤を設けた場合には流出口附近に於いて、 $190 \text{ dyne/cm}^2$  が現れ下流に行くに従って急激に減少している。この大きい剪断力の現れる点は水位差の最も大きい所であり、流れの加速の著しい所である。計算結果では防波堤を設けない場合の、40倍以上に達するが、過大であるとも考えられ、量的には問題があるであろう。しかしこの区間の流速分布を細かくとってみると、底面近くにうすい層流底層が出来て非常に大きい速度勾配を与えて  $\tau$  が大きくなっていることも十分考えられるであろう。又  $\tau$  が他部分に比べて大きいことは目視によっても見られる。従ってこの区間に於いては局部洗掘について最も意を払うべきであると考えられる。ついでに堆積について見ておこう。前述の様に流出口を流出した流れはその拡大線と側壁間に渦領域をつくって逆流が現れるが、この逆流は主流に比べてかなり弱いものである。従って主流によって運ばれて来た土砂が防波堤背面に堆積することが考えられる。これは実験用の循環水中にわずかに含まれている砂がこの部分に沈殿するのを見ても分るのである。

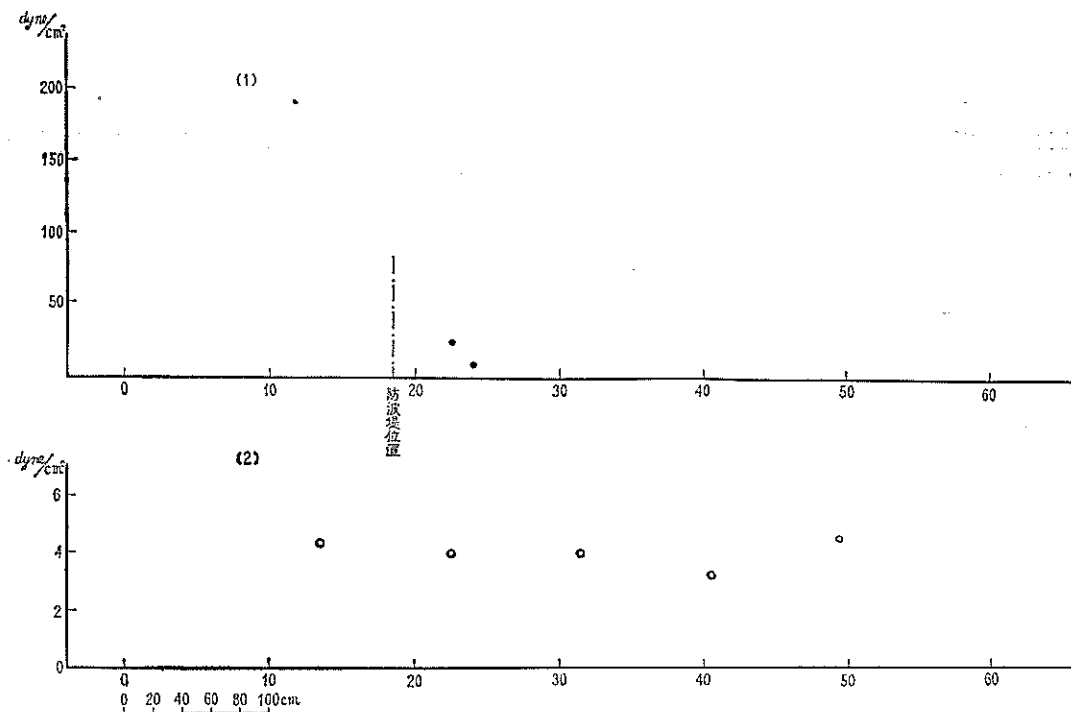


図15 底面剪断力の分布 (1): 防波堤のある場合 (2): 防波堤のない場合

(3) 交換係数

底面に働く剪断力を  $\tau$  *dyne/cm<sup>2</sup>*, 縦混合の交換係数を  $\eta$  *g/cm·sec* とするとき,

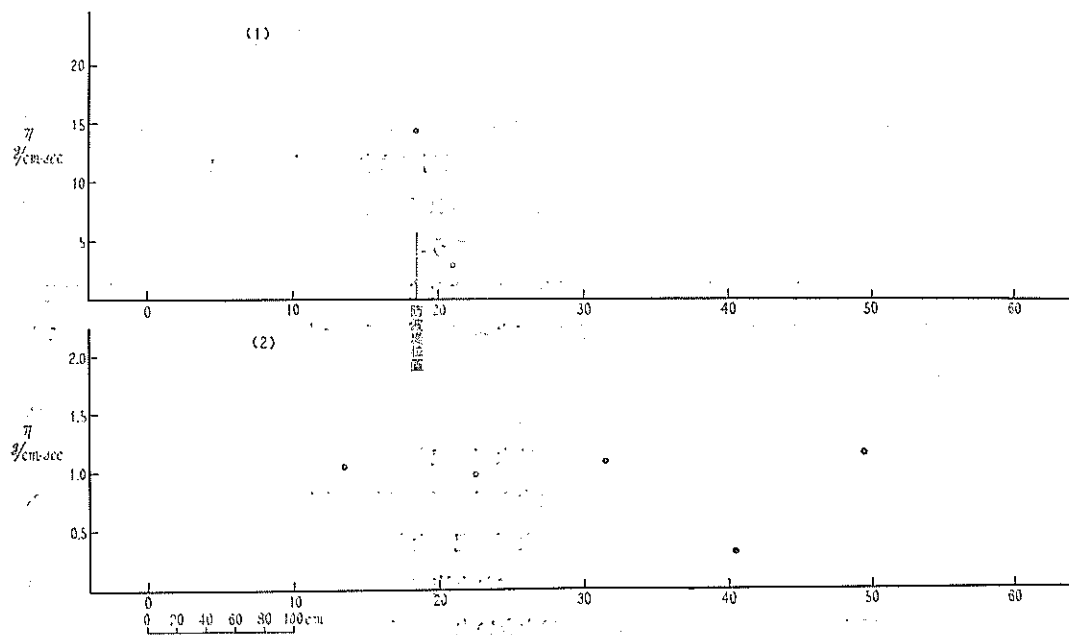


図16 交換係数の分布 (1): 防波堤のある場合 (2): 防波のない場合

$$\tau = \eta \frac{dU}{dz} \dots\dots\dots (3-17)$$

で定義する。ηの計算結果を図10に示す。これによれば防波堤を設けない場合は大略 0.3~1.0 g/cm・sec の値を持ち、防波堤を設けた場合は 3~14 g/cm・sec であり、前者の10倍程度の値を持っていることになる。しかしながら、(2)に於いて述べた様にτの値に問題があるのでこの場合の量的関係も明らかでない。

#### (4) 流量係数

接近流速  $v_a$  のある場合の流出口部分の流速  $V$  は

$$V = \sqrt{2g(H + \frac{v_a^2}{2g})} \quad H: \text{上下流の水位差} \dots\dots\dots (3-18)$$

で与えられる。Cを流量係数とすれば、

$$C = \frac{Q}{A\sqrt{2g(H + \frac{v_a^2}{2g})}} \dots\dots\dots (3-19)$$

ここにQは流量、Aは流出口に於ける流積である。

$$Q = 30 \text{ l/sec}, \quad H = 3.1 \text{ cm}$$

であるから、

$$C = 0.73$$

なおこの場合流積Aは、オリフィスのベナコントラクタに相当する部分を使用すべきであろうが、はっきりしないので流出口に於ける流積Aを用いて計算した。

## IV 結 論

以上概括的にではあるが、高知港に於ける津波堤に関する模型実験の一環として一様巾水路に設けた防波堤の効果について調べて来た。これを要約すると次の様である。

- 1) 防波堤の設置によってその上下流(中心線上)に大きい水位差を生じ、その量は 3.1cm(現地: 4.9m)に達する。特に防波堤設置位置より下流 15cm(現地: 49m)の区間では水面勾配が最も急峻でほぼ10分の1(現地: 20分の1)となる。この区間に於いては、流れが加速されると同時に、底面に非常に大きい剪断力が作用し、局部洗掘について最も問題となる点の一つとなるであろう。
- 2) 流出口より流出した流れは6~7°程度で拡大して行き、この拡大線と側壁の間に渦領域が出来て逆流が現われるが、流速は主流に比べてかなり小さい。従って主流によって運ばれて来た土砂がこの領域に堆積することが考えられる。
- 3) 上流より防波堤に接近する流れは壁面に沿って流れて防波堤先端部に流線が集中するために、この部分に於いては中心部より大きい流速が現われる。またこの部分は水面勾配も局部的に最も大きい。
- 4) 流れが防波堤に接近するにつれて、断面方向の水位は中心部が側壁側より低くなるが、流出部では逆に中心部の方が高くなる。これは3)に述べた防波堤先端部の水面勾配の大きいことを意味する。
- 5) 防波堤上流の流れとポテンシャル流とを比較すると、かなり上流では両者間に大差はないが、防波堤に接近するにつれて、側壁近くでその差が大きくなる。これは大きい水面勾配の影響によるものであると考えられる。
- 6) 流出口を流出した流れは、二次元噴流と類似しているが、圧力勾配を持つこと、側壁を持つことなど細かい



点ではかなり異っている。従ってこの現象に二次元噴流の式をそのまま使用することは出来ない。

この実験は更に流量などの条件を変えて実施する予定であったが、時間の都合上、津波流量の場合しか出来なかった。数量的にもはっきりしない点が残されている。機会があればこれらの点を明らかにするために実験を続行したいと思っている。

最後に本実験に於いて、終始御指導、御教示を頂きました浜田室長に対して、深謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 浜田徳一, 寺西孝雄, 原中祐人  
高知港口の模型実験について  
運輸技術研究所報告 Vol. 3, No. 9—10, 1953.
- 2) 芦田和男, 荒木民哉  
開水路断面急拡部における水理に関する研究 (I)  
土木研究所報告 第101号, 昭和34年3月
- 3) Townsend, A. A.  
The Structure of Turbulent Shear Flow.  
Cambridge University Press, 1956
- 4) Abramovich, G. N.  
The Theory of Turbulent Jets.  
The M. I. T. Press, 1963.

港湾技術研究報告 第3卷2号

1964年6月

編集兼発行者 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所

横須賀市川間162

印 刷 所 株式会社 白 泉 社

東京都港区麻布霞町7