土木試驗所報告

第四十八號

小型水路に於ける流速公式の
實驗的研究……內務技師　松尾春雄…1

砂粒河床模型實驗の基本に關する
實驗並に限界掃流力に關する研究……內務技師　安藝皎一
佐藤清二…23

防波堤に及ぼす波の脈力竝に堤體の
安定に關する實驗的研究（第1報）……內務技師　松尾春雄…65

昭和十四年十二月

內務省土木試驗所

建設省沼津支所蔵書
分類 II-K 番号 1-40
購入年月日 年 月 日

ド
135
角七

小型水路に於ける流速公式の實驗的研究

内務技師　松　尾　春　雄

要　約

小型水路に於ける流速vと徑深R及勾配Iの關係を實驗によつて定めた．滑らかな表面を有する矩形水路の幅dが 20 cm, 35 cm 及び 70 cm なる 3 種に就て水深を各々 12.5 cm 乃至 2.5 cm の範圍，勾配は1/300～1/10000 の範圍に就て實驗した結果から $v=\frac{1}{n}R^{\alpha}I^{\beta}$ と假定し n, α 及び β を最小自乘法から定めて次の結果を得た．

水路幅 $d=20$ cm.　$v=\frac{1}{0.00508}R^{0.797}I^{0.530}$

$d=35$ cm.　$v=\frac{1}{0.00707}R^{0.708}I^{0.522}$

$d=70$ cm.　$v=\frac{1}{0.00425}R^{0.701}I^{0.594}$

即ち此の程度の水路に於ては上記 3 式を平均して　$v=\frac{1}{0.00541}R^{0.75}I^{0.54}$

を採る事が適當である，

次に水路面を約 10 種類變へて流速の變化を見た結果各種共同一の指數 $R^{0.75}I^{0.54}$ を用ふれば，$n=0.0051$～0.0081 の範圍に變化し，マンニングの指數 $R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$ を用ひた場合には $n=0.0094$～0.0129 の範圍内に於て變化した．

目　次

I. 緒　言……（1）
II. 試驗の裝置及び種類……（3）
III. 試驗の精度……（5）
IV. 幅の異る 3 種の滑らかな水路に於ける試驗結果……（6）
V. 異る水路面10種に就ての結果……（12）
VI. マンニング流速公式の係數の檢討……（14）
VII. 結　言……（16）

I. 緒　言

一般河川の流速を算定する場合に用ひられる流速公式はクッター (Kutter) 式によるものが多く，此の粗度係數nは各河川により大體の値を知り得る．しかし之を簡單なる形に表はしたマンニング (Manning) 指數公式では上記クッターの粗度係數が其の儘採用された．其後の指數公式は主なるものだけでも次の如く色々な指數が示された．

Manning (英 1890)　$v=\frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$ 矩形木樋，鉋削板縦張りでは $n\fallingdotseq 0.014$

Hazen and Williams (米 1910)　$v=\frac{1}{n}R^{0.63}I^{0.54}$ 鉋削樋管 $n=0.0091$～0.0105

Barnes (英 1916)　$v=\frac{1}{n}R^{0.567\sim0.820}I^{0.466\sim0.591}$ 鉋削せる木樋 $\frac{1}{n}R^{0.660}I^{0.585}$

n は 0.00667

Forchheimer (獨 1923)　$v=\frac{1}{n}R^{0.70}I^{0.5}$　鉋削　$n\fallingdotseq0.014$

溝　江　(　1932)　$v=\frac{1}{n}R^{0.70}I^{0.56}$　セメントモルタル水路　$n=0.00572$

Chatley　(英 1938)　$v=\frac{1}{n}R^{0.71}I^{0.57}$

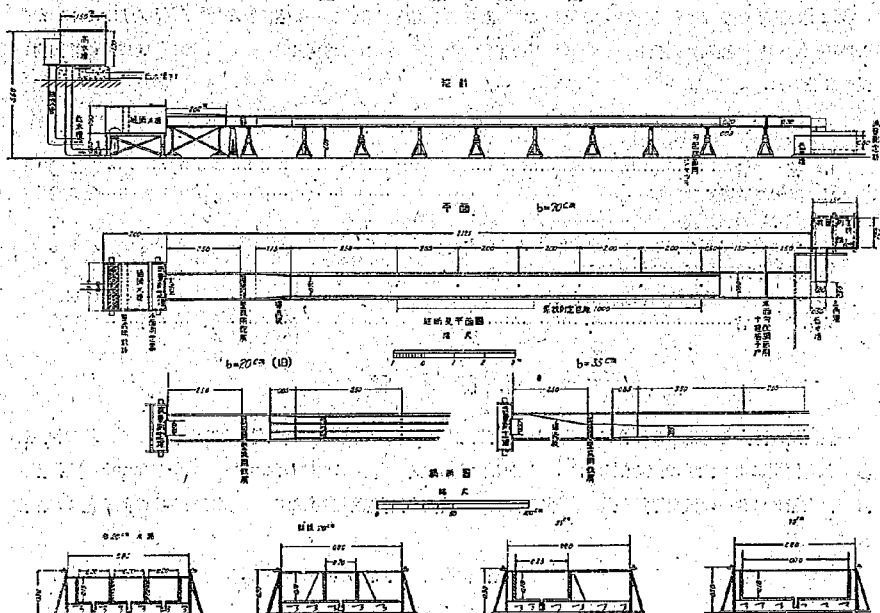
以上は主として實際河川及び水力發電の水路等に適用さるべき目的のものであるが，模型試験を行ふ場合には更に小規模の水路に於ける流速公式を必要とする．又模型水路の壁面を種々の材料によつて作つた場合に例へばマンニング式を採つた時に n はどの程度に變化するかを見る事は相似律を論ずる時には極めて必要となる．

依つて本試験に於ては先づ模型水路の寸法を 3 種に變化せしめて各場合の v と R 及 I の關係を求め，之から $v=\frac{1}{n}R^{\alpha}I^{\beta}$, に於ける n, α 及び β を最小自乘法により決定して模型水路に最も適當した流速公式を定めた．尙別に前記の結果を用ひてマンニング式を用ひた場合の n を求めた．

次に約 10 種の壁面の異るものに就ては係數が如何に變化するかを憶めた．

最近に於ては粗度係數 n は水路の面の粗度の外に水路内に起る渦の程度を示す指數と考へられるやうになつた．從つて n は面の粗さだけでなくこの水路の形と密接な關係がある．同一の粗さの面を有する水路に於て R 及び I が同一であつても，その形が異る時には v が異つて來る事は當然考へられる．本試験でもその點を明にする事をも一つの目標とした．

圖—1　試驗水路の圖

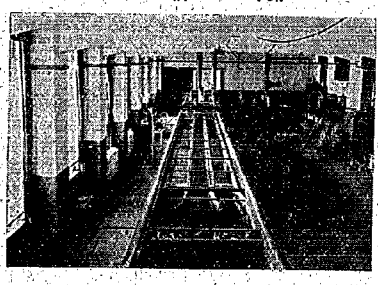


II. 試驗裝置及び試驗の種類

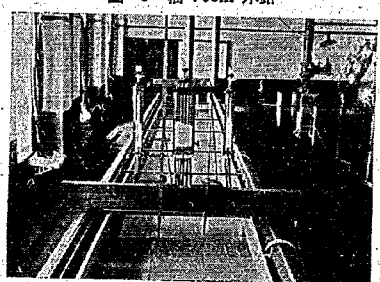
設備 當所赤羽分所にある幅 80 cm, 長 21.25 m の鋼製水路を使用した（圖—1）. この水路はその縱斷勾配を變へ得る様設備してある. 即ち之を支へた 12 個のジヤツキの調節に依るのである. この水路内に長さ 14 m の矩形開渠を作り, その中上流端より 3.5 m の點を起點とした 10 m の間に於て觀測を行つた. この 10 m の間 2 m 毎に 6 ヶ所の水位觀測點を設けた. 即ち矩形水路の底面中央心線に沿ふて徑 5 mm の銅管を挿入し, その端に水路内面と平らにして之をゴム管によつて 1 ヶ所に集め, 徑 3.5 mm の硝子管を並立して水位を觀測した. 水位差を讀む爲にベンゾールを使用して約 8 倍に擴大して讀みとつた. 尙水面に水位測定器を接觸せしめて之に依つても時には觀測を行つた.

圖—1 に於て貯水槽より 10 馬力ポンプにより高水槽に水を汲み上げる. 高水槽の水位は餘水吐の爲一定に保たれてゐる. 高水槽の底と樋頭水槽の底をつなぐ徑 9 吋のパイプにより水は常に一樣に供給される. 樋頭水槽から水路に至る境界に流量測定矩形堰（圖—4）を設けて流量を測定する. 矩形水路の上流端には鋼製水路の幅 80 cm から試驗矩形水路幅に至る間には板を兩側に設けた. 即ち幅 20 cm の矩形水路の場合には延長 1.50 m の間に於て幅 80 cm から 20 cm に順次變化するやうにし, 幅 35 cm 及び 70 cm の水路の場合には 0.6 m の間に順次變るやうにした.

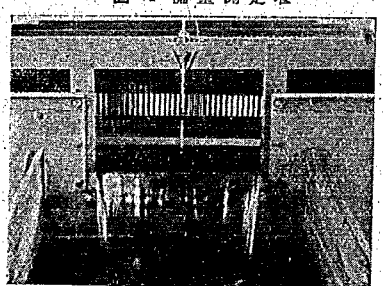
圖—2 幅 20 cm 水路



圖—3 幅 70cm 水路



圖—4 流量測定堰



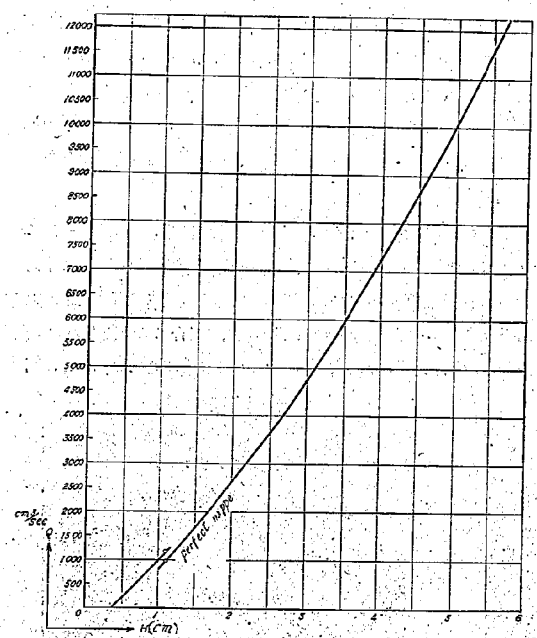
圖—5 流量測定桝

流量測定堰とこの矩形水路上流端との間隔は約 4 m であるが, この間に整流裝置として幅 20 cm の姫粗朶の仕切を置き, 又之につづいて水面に 10×10 cm, 長さ約 80cm の木片を浮べて水面の動搖を防止した. 鋼製水

路の最下流端に近く水量調節用格子戸を設け，之に依つて底勾配と平行な水面を得る様にした．

流速分布を測定する爲にはピト一管を用ひ斷面に於て間隔 2～5 cm 每の流速を觀測した．

圖—6 流量測定堰の檢定曲線



流量の測定は流量の夥ない時には下流端に設けた寸法 1.00×1.50×0.30 m の測定枡圖—5 に依つたが多くは上流端の前記矩形銳緣測定堰に依つた．測定枡の大きさは容量約 450 l であつて，試驗每に之に滿つる程度の時間だけ貯水して流出量を定めた．圖—6 は測定堰の流量檢定曲線である：

種類 板を鉋を以て滑らかに削り表面にペンキ 2 回塗を施した矩形開渠に於ては次の各種類に就て試驗を行つた．卽ち

幅 20 cm, 35 cm 及び 70 cm

底勾配 1/10000 (0.00010),
1/7000 (0.00014), 1/5000 (0.00020),
1/3000 (0.00033), 1/2000 (0.00050),
1/1000 (0.00100), 1/500 (0.00200),
1/300 (0.00333),

水深 12.5, 10, 7.5, 5.0, 2.5 cm

各幅の水路每に底勾配を上記各種にし各底勾配每に又上記 5 種の水深によつて流量と勾配との關係を見た．水面勾配は底勾配と平行になる樣に定めた．各試驗每に前記水位管內に於ける水位觀測と流量測定を行ふ．又長さの中央の斷面に於ける水深及び底面の勾配の測定を水準器に依つて行つた．流量を中央の斷面積にて除した値を平均流速とし玆では v (cm/sec) を以て表はした．

流速の分布は代表的なもの數種に就てのみ行つた．

表—1 は各水深の各種幅の徑深 $R\left(=\frac{A}{P}\right)$ を示す．從來の公式では R は m 單位で表はされてゐるものが多いから玆にも之で表はした．

表—1 試驗の各場合の徑深 R (m)

	水深 H = 2.5 cm	5.0	7.5	10.0	12.5 cm
	m				m
水路幅 d = 20cm	0.0200	0.0333	0.0429	0.0500	0.0556
35	0.0219	0.0389	0.0525	0.0636	0.0729
70	0.0233	0.0438	0.0618	0.0778	0.0921

以上の外に水路の粗度を種々に變へた場合に就て次の各種の試驗を行つた．この試驗は導ら粗度の比較をする

事を目的としたから試驗を簡單にする爲に水路の底勾配は常に水平にし，水路の幅は常に 20 cm の一樣なものとした．

水路の種類

鉋削板，鉋削板ペイント塗，鋸削板，モルタル，モルタルペイント塗，モルタルニートセメント塗，モルタル表面煤付，モルタル表面砂付，粘土ペイント塗，粘土アスファルトエマルジョン塗．

の 10 種に就き勾配約 1/3000～1/10000 の範圍に於て表面勾配と流量との關係を見た．

此等の面の粗さの程度に就ては次の章に於て述べる事とする．

III. 試驗の精度

各種測定値の中，水路幅，水深等は 0.1 mm まで正確に測定する事が出來た．從つて斷面積，潤邊等は可なり正確に測定する事が出來た．然るに流量は測定壜を用ひた爲水位讀みとりの際の誤差を 0.1 mm 以下に收める事が出來ず，0.01 *l*/秒 程度の誤差を生じ得る．流量の最も少ない場合は 0.40 *l*/秒 であつたから，之による精度は 1/40 である．從つて流量を斷面積で除した 平均流速の精度も 同程度である．水路の縱斷勾配は全長に於て 0.1 mm の高さの誤差を生ずる狀態であつたから 1/5000 の勾配の時の精度は 1/20 となつた 1/10000 の勾配ではこの値が更に大となり得るのであるが大部分の實驗は之以下である．

流速公式を次の形にとるとして各項に必要なる精度を算出する．

$$v = \frac{1}{n} R^{\alpha} I^{\beta} \quad \cdots\cdots (1)$$

一般に　$y = f(x_1, x_2, x_3 \cdots\cdots)$　なる時

$$\delta y = \frac{\partial f}{\partial x_1} \delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \delta x_2 + \cdots\cdots$$

故に　$$\frac{\delta y}{y} = \frac{\partial f}{\partial x_1} \frac{\delta x_1}{f} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\delta x_2}{f} + \cdots\cdots$$

である．即ち實驗精度の統一を圖る爲には各項が大體等しくなれば良い．(1) 式に之を適用して

$$\frac{\delta v}{v} = \frac{\delta n}{n} + \alpha \log_e R \frac{\delta \alpha}{\alpha} + \beta \log_e I \frac{\delta \beta}{l\beta} + \alpha \frac{\delta R}{R} + \beta \frac{\delta I}{I} \quad \cdots\cdots (2)$$

上式で精度はその最も大きい値に支配される．上述によつてこの中最も大なるは $\frac{\delta I}{I}$ を含む項である．$\frac{\delta I}{I} = \frac{1}{20}$ を限度として上式の最後の項は近似的に $\beta = 0.5$ とすれば，

$$\beta \frac{\delta I}{I} = \frac{1}{40}$$

となる．他の項の測定の精度は表—2 に示す通り何れも精度 1/40 より小であるから，全體の試驗は此の項によつて精度を支配される．即ち計算の結果得られる丈に期待し得る精度は，αを近似的に 0.66 にとれば

$$\frac{\delta n}{n} = \frac{1}{40}$$

$$\alpha \log_e R \frac{\delta \alpha}{\alpha} = \frac{1}{40};$$

從つて $$\left|\frac{\delta \alpha}{\alpha}\right| \leqq \left|\frac{1}{40 \alpha \log_e R}\right| \leqq \left|\frac{1}{40 \times 0.66 \times \log_e 0.02}\right| \fallingdotseq \frac{1}{100}$$

$$\beta \log_e I \frac{\delta\beta}{\beta} = \frac{1}{40};$$

従つて $\left|\frac{\delta\beta}{\beta}\right| = \left|\frac{1}{40\times\beta\times\log_e I}\right| \leqq \left|\frac{1}{40\times 0.5\times\log_e 0.0002}\right| \fallingdotseq \frac{1}{170}$.

更に計算の途中に生ずる誤差は（2）式の項數に關係する．即ち $\beta\frac{\delta I}{I}$ 以外の項は5個であるから $\frac{1}{40\times 5}=\frac{1}{200}$ の精度を以て計算を行へば結果に於ては略 1/40 の精度を期待し得る．

此等の値を綜合をし且つ各値の最大及び最小値と測定値の限度並に要求される精度從つて之に對應する必要なる最小値を次の表に示した．之によれば計算には有效數字3桁をとれば充分である事がわかる．

表—2 數値の最大最小値と精度

	最小値	最大値	實驗精度		計算誤差を考へて定めた精度		求むる値の精度	
			値	割合	割合	値	割合	値
水路幅 b (cm)	20	70	0.02	1/1750	1/200	0.1	—	—
水深 h (cm)	2.5	12.5	0.02	1/875	1/200	0.01	—	—
斷面積 A (cm^2)	50	875	—	1/875	1/200	0.1	—	—
潤邊 P (cm)	25	95	—	1/1250	1/200	0.1	—	—
流量 Q (l/秒)	0.40	4.4	0.01	1/150	1/150	0.01	—	—
流速 v (m/秒)	0.08	1.04	—	1/150	1/150	0.001	—	—
$\log_e v$	$\bar{2}.90$	0.017	—	—	—	0.001	—	—
徑深 R (m)	0.020	0.092	—	1/375	1/150	0.0001	—	—
$R^{\frac{2}{3}}$	0.07	0.20	—	—	—	0.0001	—	—
$\log R$	$\bar{2}.30$	$\bar{2}.96$	—	—	—	0.001	—	—
勾配 I	0.0002 (特に0.0001のもの數個あり)	0.0033	0.00001	1/20	1/20	0.00001	—	—
$I^{\frac{1}{2}}$	0.014	0.057	—	—	—	0.0001	—	—
$\log I$	$\bar{4}.30$	$\bar{3}.52$	—	—	—	0.001	—	—
α (R の指數)	平均0.66	〃	—	—	1/600	0.001	1/100	0.006
β (I の指數)	〃 0.50	〃	—	—	1/350	0.001	1/170	0.003
n (粗度係數)	〃 0.01	〃	—	—	1/200	0.0001	1/40	0.0002

IV. 幅の異る3種の水路に於ける結果

幅 20, 35, 70 cm 3種の水路に於て測定した水深，勾配，徑深 (m)，流量 (l/秒)，平均流速 (m) 及び實驗當時の水温を附表 1, 2, 3 に示した．水路は鉋を以て丁寧に仕上げこの上にペイント2回塗付したものである．水面勾配と底勾配とは必ずしも正確に平行に出來なかつたからその兩者の値を表に示した．水深は水路の測定部分 10 m の中央に於ける値を所定の値に一致せしめるやうに心掛けた．水面の勾配は水路の上端と下端との水位差を延長 10 m で除した値を示したがその途中に於ても相當の不整があつた．之は水路中に定常波が存在する

爲らしく，勾配が急になり流速が大になる程著しかつた．(附圖 1—3 參照) 徑深は水路の長さの中央に於ける斷面積と潤邊とから算定した．從つて平均流速は流量を中央の斷面積で除した値である．

底勾配 1/5000 のものに就て水路幅の異るもの 3 種に就て水深 10 cm の場合に流速分布を測定して 圖—7～9 を得た．圖に於て黑點で示した各點に於て間隔 2～5 cm 每に徑 1.5 mm のピトー管により流速分布を測定，之によつて等流速の線を畫いたものである．勾配の影響を明にする爲に幅 35 cm のものに就ては別に 1/1000 の勾配に就て流速分布を測定した．此等の等流速線から算出した流量は實測した流量よりも 2.2～3.4 %勝く出た．幅 .70 cm のものが不規則な流れ方をしてゐる．水路幅が大になつた場合之を一樣に流す事は困難であつた．表面で觀測した處著しい流れの蛇行は認められなかつた．

初めに 3 種の水路に就て流速公式を $v=\frac{1}{n}R^{\alpha}I^{\beta}$ として夫等の係數及び指數 n, α, β を決定する．

幅 20 cm の水路に於ては附表—1 に示した 41 個の觀測結果から最小自乘法に依つて n, α, β を定めて次の結果を得た．

即ち $log\left(\frac{1}{n}\right)+\alpha\ log\ R+\beta\ log\ I-log\ v=0$ の v, R, I に表—1 の夫々の 41 個の値を代入し次の正常方程式を得た．此の場合の I は表—1 の I_s 即ち水面勾配を採つた．底面勾配 I と I_s との差は一般には極めて小であつた．

$$41\ log_{10}\left(\frac{1}{n}\right)-57.700\alpha-136.460\beta+24.222=0$$

$$-57.700\ log_{10}\left(\frac{1}{n}\right)+82.148\alpha+192.299\beta-34.978=0$$

$$-136.460\ log_{10}\left(\frac{1}{n}\right)+192.299\alpha+464.635\beta-86.361=0$$

を得る．之から $\frac{1}{n}$, α, 及び β を決定して尙之等の推差を定めて次の結果を得た；

$$v=(197\pm0)R^{0.797\pm0.010}I^{0.595\pm0.003}\ ;\ n=0.00508.$$

を得た．

同樣に幅 35 cm の水路に於て 附表—2 の 27 個 の結果から正常方程式及び之から定めた係數及び指數は次の通りである．

$$27\ log\left(\frac{1}{n}\right)-36.844\alpha-88.642\beta+14.192=0$$

$$-36.844\ log\left(\frac{1}{n}\right)+51.177\alpha+121.054\beta+20.052=0$$

$$-88.642\ log\left(\frac{1}{n}\right)+121.0544\alpha+296.356\beta-49.447=0$$

$$v=(142\pm0)R^{0.708\pm0.016}I^{0.522\pm0.007}\ ;\ n=0.00707$$

幅 70 cm の水路の 23 の觀測結果から同樣に

$$23\ log\left(\frac{1}{n}\right)-29.147\alpha-80.369\beta+13.595=0$$

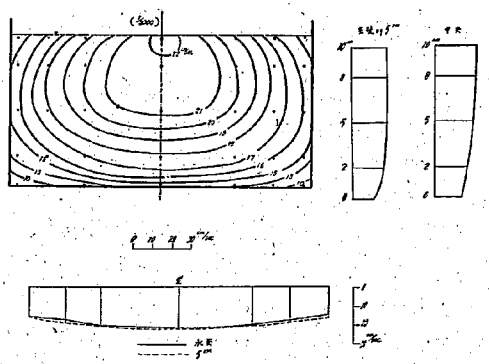
$$-29.147\ log\left(\frac{1}{n}\right)+37.845\alpha+101.684\beta-17.766=0$$

$$-80.369\ log\left(\frac{1}{n}\right)+101.684\alpha+284.130\beta-49.346=0$$

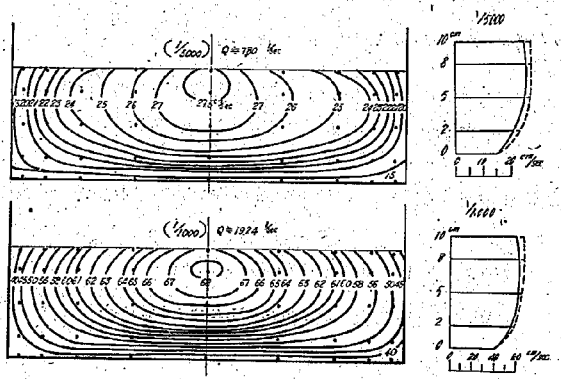
$$v=(236\pm0)R^{0.701\pm0.014}I^{0.694\pm0.008}\ ;\ n=0.00425$$

以上の結果を綜合して 圖 10～12 に示した．

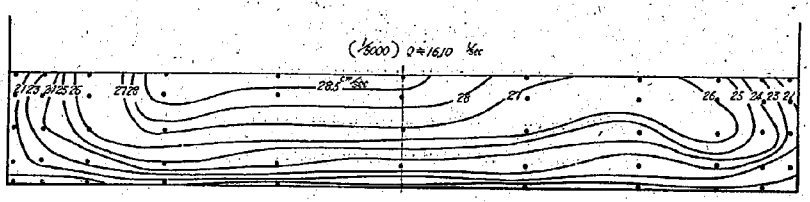
圖—7 幅 20 cm 水路，水深 10 cm 底勾配 1/5000 の流速分布，黒點は流速測點。



圖—8 幅 35 cm 水深 10 cm 底勾配 1/5000 及 1/1000 の流速分布
右の流速分布斷面図の破線は中心 實線は左壁より 8.75 cm の斷面である。



圖—9 幅 70 cm 水深 10 cm 底勾配 1/5000 の流速分布。



此等の結果を通視するに n. α 及び β は何れも水路幅の變化に對し一樣には變化してゐない. 幅の狹いもの程流速は R の變化に對し敏感であり. 勾配に對しては稍鈍感である. 矩形水路に於て R が同じ値を有する場合を各水路から選んでその流速を同一勾配に就て比較すれば 圖—13 の結果得られる.

之に依れば R が同一であり勾配が同一であつても異へる流速は異る. 水路幅の大なるものは勾配の緩なる時に流速が小となり, 勾配の急な時に大となる.

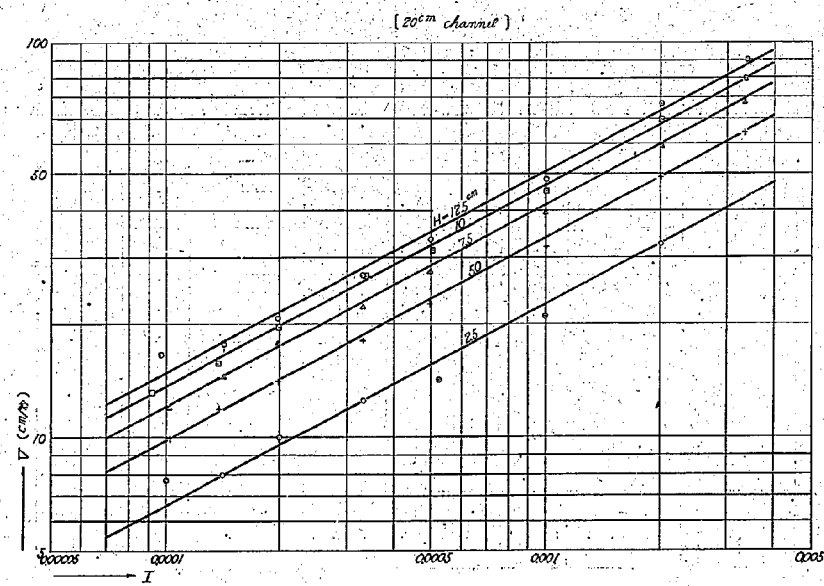
圖—13 から明らかである如く水路幅 35 cm のものが同一の R に於ては特に勾配が急な時を除いては流速は最も大である. 幅が大になれば圖—9 の流速分布圖から明らかなる如く流れが一樣でなくなりこの爲に流れに對する抵抗が生ずると考へられる. 此の事は模型の流速式と實際の流速とを比較して論ずる場合に重要な事柄である. 即ち此の如く流れの法則が小と大とのもので異つて來れば嚴密な意味での相似律は成立ない事となる.

模型に於て幅の大なる水路と小なる水路とは共存するから上記の如く幅の異る毎に流速公式を異にする事は一般に不便である. 依つて今上記の 3 式平均の値をとる事とする. 幅 20 cm の時の觀測値は 41, 35 cm の觀測値は 27, 幅 70 cm の觀測値は 23 個であるから各係數及指數にこの「重み」を乘じた平均値をとつて次の値を得た.

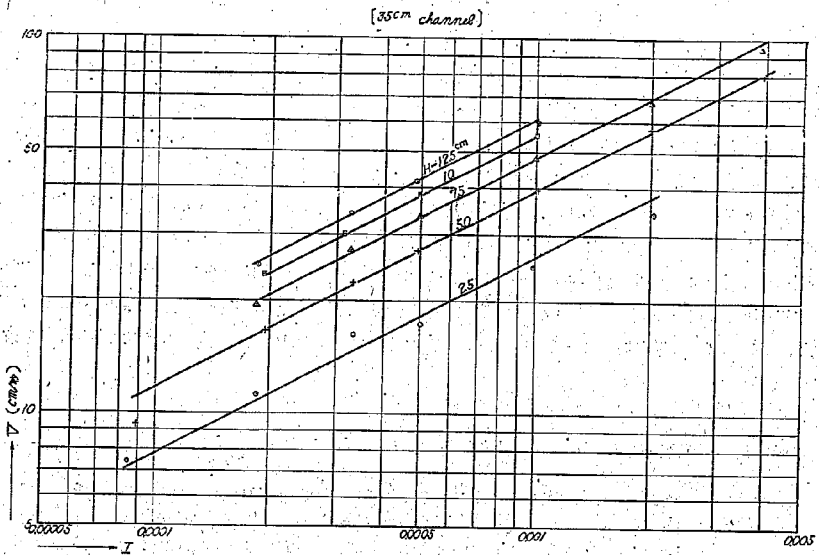
$$v = 190\ R^{0.764}\ I^{0.543} \qquad ;\ n = 0.00527$$

之を近似的に, 指數を切上げ從つて n を計算し次式を得る.

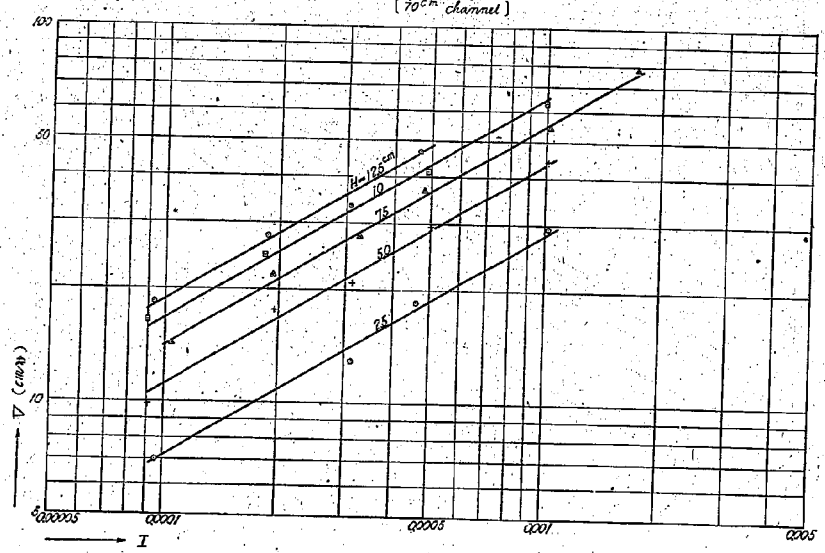
圖—10　幅 20 cm 水路に於ける流速と勾配及水深との關係. 太線は 41 個の觀測結果(附表—1 參照)を $v = \frac{1}{n} R^{\alpha} I^{\beta}$ なる流速公式を假定して. 最小二乘法により $\frac{1}{n}$, α 及 β を定めて得た $v = 197\ R^{0.797}\ I^{0.530}$ 式に依る値である.



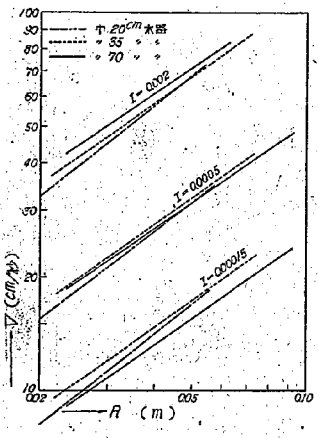
圖—11 幅 35 cm 水路の結果. 測點 27 個 (附表—2)
$v = 142 R^{0.705} I^{0.522}$



圖—12 幅 70 cm 水路の結果. 測點 23 (附表—3)
$v = 236 R^{0.701} I^{0.594}$



圖—13　Rと流速との關係．3種の幅の水路の中 $I=0.00015$, 0.0005 及 0.002 だけを示した．



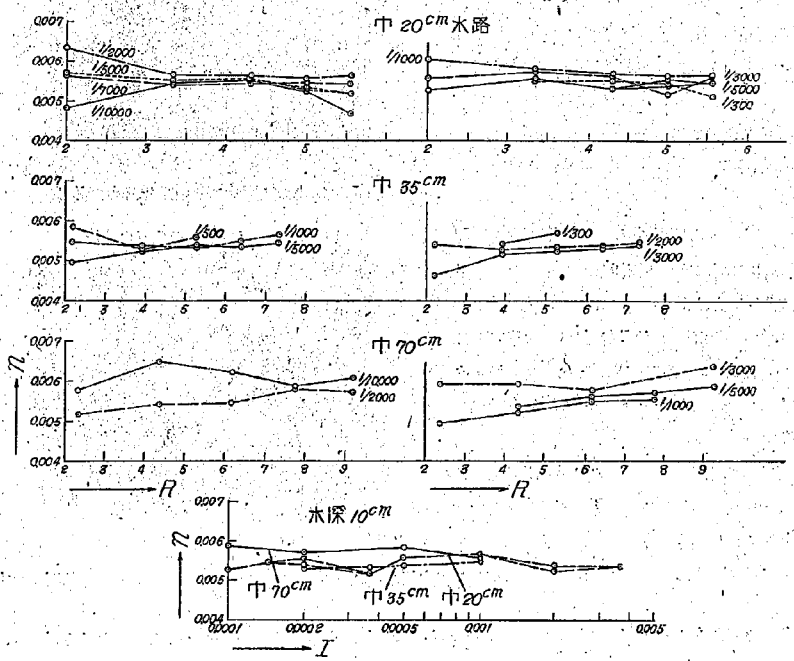
$$v=185\ R^{0.75}\ I^{0.54}\quad ;\ n=0.0054$$

觀測した如き粗さの水路に於ては近似的に此の式を採る事が適當と思ふ．但し水路の形の影響はこの試驗では明にしてゐないから之は別に考へる必要があると思ふ．

R 及 I の指數を，上式の如く 0.75 及 0.54 と採つた場合，各觀測の結果から n を算定して附表1—3の右に記入した．n は R 及 I によつて影響を受ける．この程度を代表的なものに就て調べて圖—14を得た．

之に依れば，$v=\frac{1}{n}R^{0.75}I^{0.54}$ 式を採つた場合に試驗水路の n は殆んど常に 0.005 と 0.006 との間に收まる．$\frac{1}{n}=185$ 即ち $n=0.0054$ ととつた場合の誤差は普通は $\frac{0.006-0.0054}{0.0054}=11\%$ 內にあり極端な場合にも 0.0045 と 0.0065 の間に收まつてゐる．即ち誤差は此の場合には $\frac{0.0065-0.0054}{0.0054}=20.4\%$ 程度あり得る．

圖—14　R及Iの變化によるnの變化，3式の平均指數を採り $v=\frac{1}{n}R^{0.75}I^{0.54}$ を採用した場合

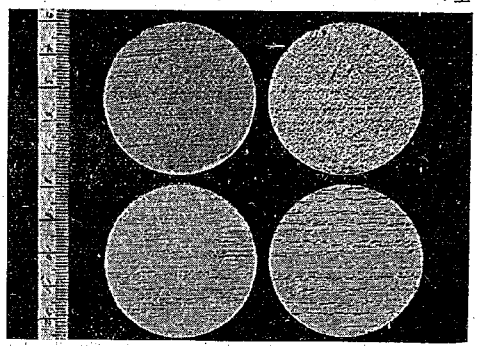


V. 異る水路面10種に就ての試驗結果

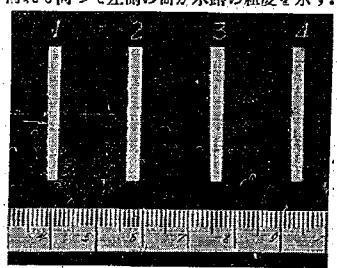
水路の面の粗さによる影響を見る爲に水面勾配の割合に緩である狀態に於て(水面勾配 1/3000～1/10000) 底勾配を水平の儘にして水面勾配と流速との關係を見た. 水路の幅はすべて 20 cm, 水深は 10 cm の矩形とする. 水路の種類は次の 10 種類である.

1. 鉋削板
   (米杉板厚さ約 2 cm のものに丁寧に鉋削を施したもの)
2. 鉋削板にペイント2回塗付したもの.
3. 鋸挽板 (米松板厚さ約 2 cm の表面に機械鉋削を施したもの)
4. モルタル (配合セメント 1 砂2のもの, 粒徑約0.35 mm以下平均徑0.2mmの細砂使用)
5. モルタルペイント塗付 (4. の水路にペイントを2回塗布十分に乾燥したもの)
6. モルタル表面にニートセメント塗付 (5. の水路の表面にニートセメントを平均厚約 0.5 mmに塗る)
7. モルタル表面に煤煙溶液塗付 (模型水路を黒色にする爲に用ひる煤煙をニートセメント糊に混和し塗付する)
8. モルタル表面に細砂撒布 (4. の水路表面にニートセメントを塗布乾燥しない間に平均粒徑 0.2 mm 最大 0.35 mm の細砂を撒布固着する)
9. 粘土水路表面ペイント塗布 (模型製作に屢々使用する粘土を水にて練り表面にペイント塗布する)
10. 粘土表面アスファルトエマルジョン塗布 (9. の水路に道路舖裝用アスファルトエマルジョンを稍厚く塗布する)

圖—15　水路表面の凹凸. 石膏で型をとつたもの
(a) 平面
左上 鉋挽ペイント塗　右上 モルタル煤付
左下 モルタル砂付　右下 モルタルニートセメント塗



(b) 斷面
何れも向つて左側の面が水路の粗度を示す.

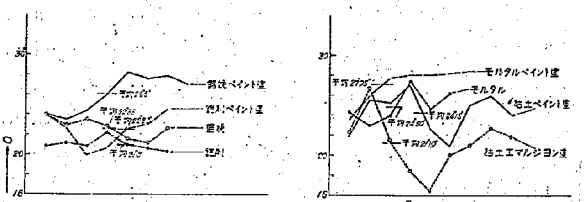


圖—16　面の滑り抵抗測定裝置

此等の試驗結果は附表—4 に示した通りである. 各水路表面が如何なる程度の粗さであるかを見る爲に 2, 3

のものに就ては裝面を石膏にて型をとり，後之を切斷して寫眞を撮つた．その結果を 圖—15 に示した．表面に於ける流れに對する抵抗は面の粗さの外に同じ滑かさの場合水と壁面との間の吸着力が相當の影響を與へると考へられたので，この性質を測定する爲に，圖—16 に示した裝置に依り水中に於けるその面と硝子面との間の滑り出し抵抗力を測定之と流れの抵抗との關係を求めんとした．その結果は 圖—17 に示す通りである．滑り出し抵抗力は水路壁面から 10×10cmに切取つたものを載せた水平な硝子面を次第に傾け壁面が水中に於て將に滑出せんとする時に硝子面が水平となす角を求めて定めた．各圖毎に相當の相違を生じ結局其等の平均値として

圖—17　滑り出し測定の結果



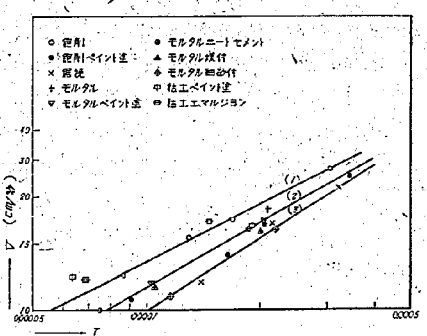
1. 鉋削板	平均	21°0′	4. モルタル	平均	24°50′
2. 同ペイント塗	〃	22°30′	5. モルタルペイント塗	〃	27°5′
3. 鋸挽板	〃	22°35′	9. 粘土ペイント塗	〃	24°15′
3′ 同ペイント塗	〃	26°5′	10. 粘土エマルジョン塗	〃	21°10′

を得た．之は後に述べる處の流速公式の粗度係數と直接比例してはゐないが比例する傾向のある事は明に認められる．

以上の結果から流速と勾配との關係を求むれば 圖—18 に示す通りであつて各種に就て一樣でない．大體圖に示した 3 つの勾配によつて代表される 3 種に分類する事が出來ると思ふ．直線 (1) は $I^{0.51}$, (2) は $I^{0.57}$, (3) は $I^{0.64}$ の傾を示してゐる．然して大體に於て流れ易い壁面のものの I の指數は小である．

(1) に屬するものは次の 3 種
　粘土エマルジョン塗，鉋削，モルタル煉付
(2) に屬するものは次の 3 種
　鉋削ペイント塗，モルタルニートセメント塗，
　モルタルペイント塗
(3) に屬するものは次の 2 種
　モルタル細砂付，鋸挽

圖—18　各種水路に於ける試驗結果．
底勾配は何れも水平

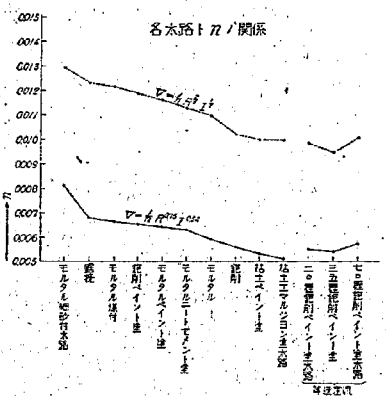


であつて粘土ペイント塗及びモルタル水路は前者は觀測結果が不規則であり後者は一點の結果しかないから之を除いて以上に就て「重み」を考へた平均をとれば $I^{0.565}$ となる．此等は何れも底勾配が水平の時であるが此の結果は前章に得た

$$v=\frac{1}{n}R^{0.75}\ I^{0.51}$$

を適用して前記 10 種類の水路に對し n を求めた結果を附表—4 に示した．各水路毎の平均値は次の通りである．

圖—19 各種水路のマンニング係數及新式 $v=\frac{1}{n'}R^{0.75}I^{0.54}$ 式に對する n' の平均値



1.	鉋削	0.0056
2.	〃 ペイント塗	0.0065
3.	鋸挽	0.0068
4.	モルタル	0.0059
5.	〃 ペイント塗	0.0064
6.	モルタルニートセメント塗	0.0063
7.	〃 煤付	0.0066
8.	〃 細砂付	0.0081
9.	粘土 ペイント塗	0.0053
10.	〃 エマルジョン塗	0.0051

此等は何れも底面水平の緩勾配の結果であるが之を直ちに定流の係數に採る事には相當の考慮を要する.

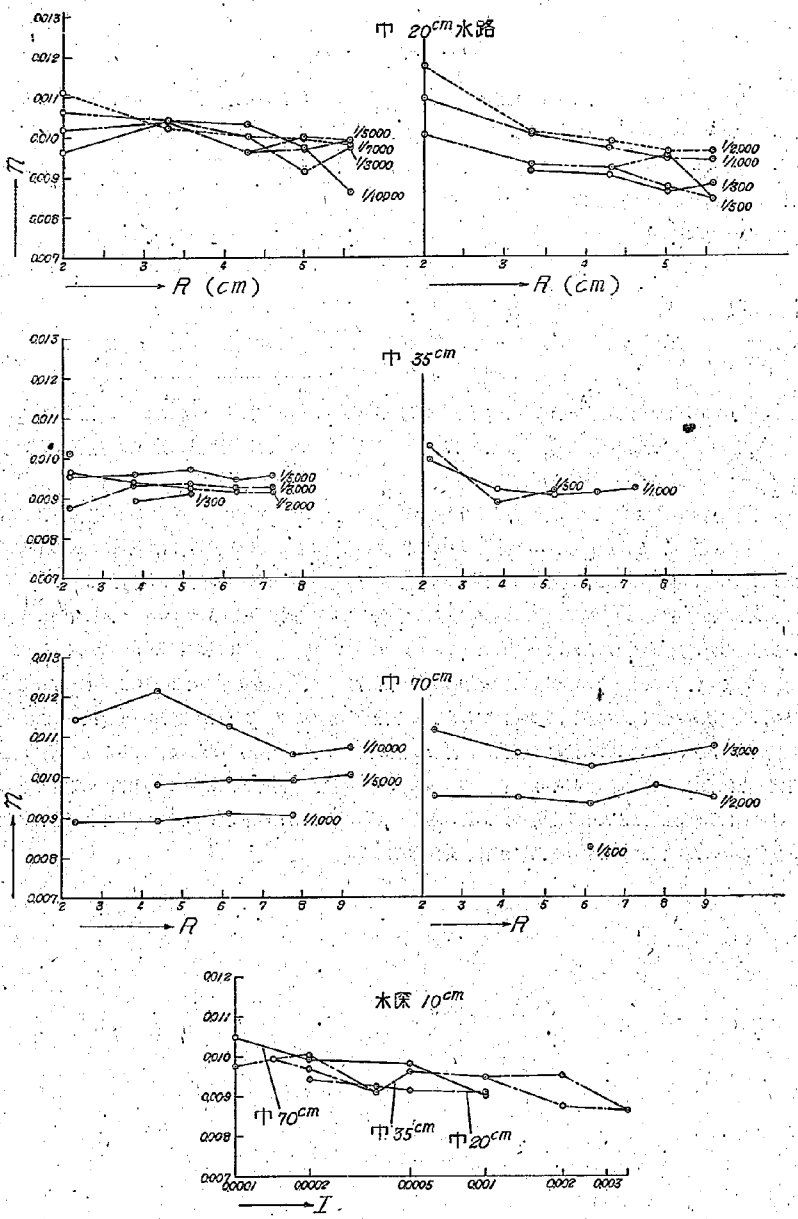
VI. マンニング流速公式の係數の檢討

模型水路に適する流速公式として $v=\frac{1}{n}R^{0.75}I^{0.54}$ を得たが, 模型と實際との相似關係を論ずる場合には此の式は必ずしも適當ではない. 何となれば一般にはクッター流速公式に對する粗度係數は各河川等に於てある程度明らかになつており, しかしてこの粗度係數はマンニング式 $v=\frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$ にその儘適用されてゐるからである. 從つて相似關係を論ずる場合にはマンニング式の方が便利な事が多い. 此の形にした場合に測定結果からの n がどんな値になり, 之によつて模型の流速を計算した場合に, どの程度の誤差が入り得るかを考へる.

幅の異つた3種の水路及種類の異る 10 種の水路に就てマンニング式の n を算定した結果は 附表—1~4 に記入した通りであるが各種の平均値を 圖—19 に示した. R 及 I による n の變化を 表—1, 幅の異る3種の水路に就て計算した結果は 圖—20 に示す通りであつて, 之を 圖—14 の $v=\frac{1}{n}R^{0.75}I^{0.54}$ とした場合の n と比較するに稍々不齊一である. 底面水平の場合の n は 0.0094~0.0129 の間に變化し, 粗度の變化による n の値は著しくはない. 從來粗度 n の異る模型水路を選ぶ事によつて異る2つの相似律を一致せしめるやうにする事が希望されてゐたが[1] 此の試驗に於ける程度に模型の面の粗さを變へたのでは多くの場合目的を達し得ない事が明となつた. 特に側面に粗い粗朶を張る等の事を試みれば尙 n を大にし得ると思ふが, 小さい模型では精度の關係で之も出來ない.

1) 大坪喜久太郎, 水路模型實驗の相似律, 第3回工學大會講演集 27 頁.

圖—20　マンニング指數を採つた場合の R 及 I の變化による n の變化



VII. 結　言

滑らかな面を有する矩形水路に於ける流速は R 及 I が同一なる場合も水路の幅が異る場合には必ずしも一定ではない．幅 20, 35 及び 70 cm の 3 種の幅の同様の表面を有する水路に於て水深 12.5 cm から 2.5 cm の範圍 (R=0.0921～0.0200 m) に於て勾配を1/10000～1/300 の間に變化せしめ各水路毎に 41—23 個の試驗を行つた結果各幅の水路に於ける指數公式は

幅 20 cm の場合　$$v=\frac{1}{0.00508}R^{0.797}I^{0.530} \quad \cdots\cdots(1)$$

35　〃　$$v=\frac{1}{0.00707}R^{0.706}I^{0.522} \quad \cdots\cdots(2)$$

70　〃　$$v=\frac{1}{0.00425}R^{0.701}I^{0.594} \quad \cdots\cdots(3)$$

が最も適當であるとの結果を得た．上式の係數及指數を重みによつて平均し之を簡單にすれば

$$v=\frac{1}{0.0054}R^{0.75}I^{0.54} \quad \cdots\cdots(4)$$

を得る．一般に河川の水理實驗を行ふ場合の模型は形狀不規則であり，斷面も一樣でないのが普通である．之に對しての指數公式は上記の結果から直ちに之を定める事は出來ないが，之に對し他に適當な實驗値がない今日に於ては前記の(4)式に據るを適當と思ふ．

一般河川に於てはクッター式の粗度係數が明にされてゐる．之に對しマンニング公式はその係數を用ひてゐる關係上，模型に於て之を用ひた場合に n は平均 0.0098 である．n を上記の如くとつた場合に試驗の範圍に於て R 及 I に依りどの程度に n の相違を生ずるかを見た結果に依れば，最も著しい場合に 37% である．

水路の面の粗さを當所の模型に於ける範圍に於て變化せしめて，前記(4)式及マンニング式に依る n を測定結果から算定した．その結果によれば(4)式では n =0.0051～0.0081，マンニング式では，n=0.0094～0.0129 の範圍である．即ち流速は同一の R 及 I に於て粗度により最大約 45 % の差を生ずる事が明らかとなつた．この試驗の初めに我々は n を更に大なる範圍に變化せしめ得ると豫想したのであつたが事實は此の如き狹い範圍にしか變らなかつた．又水路の幅による指數の變化は，流れが渦の支配を著しく受ける事を明にしてゐると思ふ．

附記　本試驗は主として昭和13年中に行つたものであつて，實測及計算は主として所員岸田史雄及小泰隆吉により行はれ尙當時北海道帝大學生永井莊太郎君の助力を得た．岸田君は現在北支に於て又永井君は滿洲に於て活躍されてゐる．茲に謝意を表すると共に兩君の御健祥を祈る．

附圖—1

附圖—2（上7個）　附圖—3（下6個）

附圖—1　幅 10 m の場所以外の 20 cm 水路に於ける水面の高低（本文7頁參照），但し圖の水面の高さは水位測定管の初差を加へた値の値であるから，實際の水面高は圖の値の各々から 0.28 mm 差引いた値である．

附圖—2　幅 35 cm 水路に於ける水面の高低，實際の水面高は圖からの讀み高から水位計の初差 0.15 mm を差引かなければならぬ．

附圖—3　幅 70 cm 水路に於ける水面の高低，初差 0.1 mm を差引く．

附表—1 幅 20 cm 水路の試験結果（本文6～7頁参照）

水面内面は鉋を以て丁寧に仕上げた面にペイント2回塗附したもの.

No.	水深 (cm)	勾配		径深 (m)	流量 (l/sec.)	流速 (m/sec.)	実験当時の温度 (C°)	n	
	H_5 (中央)	I_b (底面)	I_s (水面)	R	Q	v	T	$v=\frac{1}{n}R^{2/3}I^{1/2}$	$v=\frac{1}{n}R^{\frac{1}{2}}I^{\frac{1}{2}}$
1	12.50	1:10000	0.00010	0.0556	4.15	0.166	22.8	0.0047	0.0086
2	10.00	1:10000	0.00009	0.0500	2.66	0.133	22.5	0.0052	0.0098
3	7.50	1:10000	0.00010	0.0429	1.80	0.120	22.2	0.0055	0.0103
4	5.00	1:10000	0.00010	0.0333	1.01	0.101	22.7	0.0054	0.0104
5	2.50	1:10000	0.00010	0.0200	3.84	0.077	23.0	0.0048	0.0096
6	12.50	1:7000	0.00014	0.0556	4.42	0.177	20.2	0.0054	0.0098
7	10.00	1:7000	0.00014	0.0500	3.19	0.160	20.5	0.0054	0.0100
8	7.50	1:7000	0.00014	0.0429	2.19	0.146	22.0	0.0054	0.0100
9	5.00	1:7000	0.00014	0.0333	1.20	0.120	22.0	0.0054	0.0102
10	2.50	1:7000	0.00014	0.0200	0.40	0.079	22.0	0.0056	0.0111
11	12.50	1:5000	0.00020	0.0556	5.17	0.207	24.6	0.0054	0.0099
12	10.00	1:5000	0.00020	0.0500	3.95	0.197	24.5	0.0054	0.0097
13	7.50	1:5000	0.00020	0.0429	2.68	0.179	24.5	0.0053	0.0097
14	5.00	1:5000	0.00020	0.0333	1.41	0.141	22.6	0.0056	0.0104
15	2.50	1:5000	0.00020	0.0200	0.51	0.102	23.5	0.0053	0.0102
16	10.00	1:5000	0.00020	0.0500	3.82	0.191	22.6	0.0055	0.0100
17	12.50	1:3000	0.00033	0.0556	6.76	0.270	22.4	0.0056	0.0098
18	10.00	1:3000	0.00033	0.0500	5.42	0.271	22.8	0.0052	0.0092
19	7.50	1:3000	0.00033	0.0429	3.33	0.222	22.8	0.0056	0.0100
20	5.00	1:3000	0.00033	0.0333	1.80	0.180	22.5	0.0057	0.0105
21	2.50	1:3000	0.00033	0.0200	0.63	0.126	22.0	0.0056	0.0106
22	12.50	1:2000	0.00050	0.0556	8.41	0.336	22.2	0.0056	0.0097
23	10.00	1:2000	0.00050	0.0500	6.29	0.315	23.0	0.0056	0.0097
24	7.57	1:2000	0.00050	0.0431	4.19	0.277	24.8	0.0056	0.0099
25	5.00	1:2000	0.00050	0.0333	2.28	0.228	24.0	0.0056	0.0101
26	2.50	1:2000	0.00053	0.0200	0.72	0.143	25.3	0.0063	0.0118
27	12.50	1:1000	0.00100	0.0556	12.17	0.487	22.0	0.0056	0.0094
28	10.00	1:1000	0.00100	0.0500	9.06	0.453	22.7	0.0056	0.0095
29	7.50	1:1000	0.00100	0.0429	5.97	0.398	22.5	0.0057	0.0097
30	5.00	1:1000	0.00100	0.0333	3.24	0.324	20.5	0.0058	0.0101
31	2.50	1:1000	0.00099	0.0200	1.06	0.211	21.8	0.0060	0.0110
32	12.50	1:500	0.00202	0.0556	19.36	0.774	21.8	0.0052	0.0084
33	10.00	1:500	0.00205	0.0500	14.08	0.704	23.5	0.0053	0.0087
34	7.59	1:500	0.00202	0.0432	9.11	0.600	25.2	0.0055	0.0092
35	5.00	1:500	0.00199	0.0333	4.96	0.496	25.0	0.0055	0.0093
36	2.50	1:500	0.00201	0.0200	1.64	0.328	24.2	0.0057	0.0101
37	10.00	1:500	0.00200	0.0500	13.93	0.696	24.5	0.0053	0.0096
38	12.50	1:300	0.00339	0.0556	26.06	1.042	21.4	0.0051	0.0088
39	10.00	1:300	0.00333	0.0500	18.14	0.907	21.5	0.0054	0.0086
40	7.50	1:300	0.00333	0.0429	11.71	0.781	21.7	0.0055	0.0091
41	5.00	1:300	0.00334	0.0333	6.51	0.651	18.7	0.0055	0.0092

附表—2 幅 35 cm 水 路

(水路内面仕上げは同上)

No.	水深 (cm)	勾配		徑深 (m)	流量 (l/sec.)	流速 (m/sec.)	實驗當時の温度 (C°)	n	
	H_6	Ib (底面)	Is (水面)	R	Q	v	T	$v=\frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$	$v=\frac{1}{n}R^{\frac{1}{2}}I^{\frac{1}{2}}$
101	5.00	1:10000	0.00009	0.0389	1.64	0.094	24.4	0.0061	0.0116
102	2.50	1:10000	0.00008	0.0219	0.65	0.074	22.8	0.0048	0.0097
103	12.50	1:5000	0.00019	0.0729	10.89	0.249	25.3	0.0055	0.0096
104	10.00	1:5000	0.00019	0.0636	8.21	0.235	25.8	0.0053	0.0094
105	7.50	1:5000	0.00018	0.0525	5.15	0.196	25.5	0.0054	0.0097
106	5.00	1:5000	0.00019	0.0389	2.90	0.166	25.2	0.0052	0.0096
107	2.50	1:5000	0.00019	0.0218	0.98	0.112	25.0	0.0049	0.0095
108	12.50	1:3000	0.00033	0.0729	14.92	0.341	26.3	0.0054	0.0093
109	10.00	1:3000	0.00031	0.0636	10.65	0.304	26.2	0.0053	0.0092
110	7.50	1:3000	0.00033	0.0525	7.13	0.272	26.5	0.0053	0.0093
111	5.00	1:3000	0.00033	0.0389	3.91	0.223	26.4	0.0052	0.0094
112	2.50	1:3000	0.00033	0.0219	1.42	0.163	26.4	0.0046	0.0088
113	12.50	1:2000	0.00049	0.0729	18.35	0.419	25.0	0.0054	0.0092
114	10.00	1:2000	0.00050	0.0636	13.59	0.388	25.0	0.0054	0.0092
115	7.50	1:2000	0.00050	0.0525	8.91	0.340	25.3	0.0053	0.0092
116	5.00	1:2000	0.00049	0.0389	4.74	0.271	26.4	0.0053	0.0094
117	2.50	1:2000	0.00050	0.0219	1.52	0.174	26.6	0.0054	0.0101
118	12.50	1:1000	0.00100	0.0729	26.21	0.599	26.0	0.0056	0.0092
119	10.00	1:1000	0.00100	0.0636	19.36	0.553	26.4	0.0055	0.0091
120	7.50	1:1000	0.00100	0.0525	12.86	0.490	26.8	0.0054	0.0090
121	5.00	1:1000	0.00101	0.0389	6.94	0.397	28.0	0.0053	0.0092
122	2.50	1:1000	0.00098	0.0219	2.16	0.247	27.5	0.0055	0.0099
123	7.50	1:500	0.00198	0.0525	17.92	0.683	28.4	0.0056	0.0091
124	5.00	1:500	0.00199	0.0389	10.09	0.577	28.6	0.0053	0.0089
125	2.50	1:500	0.00201	0.0219	2.98	0.340	28.7	0.0058	0.0103
126	7.50	1:300	0.00385	0.0525	25.11	0.956	29.5	0.0057	0.0091
127	5.00	1:300	0.00393	0.0389	14.04	0.802	29.0	0.0055	0.0090

附表—3 幅 70 cm 水路

(水路内面仕上げは同上)

No.	水深 (cm)	勾配		径深 (m)	流量 (l/sec.)	流速 (m/sec.)	実験当時の温度 (C°)	n	
	H_6	Ib (底面)	Is (水面)	R	Q	v	T	$n=\frac{1}{v}R^{2/3}I^{1/2}$	$v=\frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$
201	12.50	1:10000	0.00009	0.0921	16.04	0.183	18.0	0.0061	0.0108
202	10.00	1:10000	0.00009	0.0778	11.49	0.164	18.4	0.0059	0.0101
203	7.50	1:10000	0.00010	0.0618	7.42	0.141	18.2	0.0064	0.0108
204	5.15	1:10000	0.00009	0.0449	3.56	0.099	18.0	0.0057	0.0095
205	2.50	1:10000	0.00010	0.0233	1.22	0.070	17.0	0.0059	0.0105
206	12.50	1:5000	0.00019	0.0921	24.25	0.277	19.0	0.0057	0.0099
207	10.00	1:5000	0.00018	0.0778	17.36	0.248	17.8	0.0058	0.0114
208	7.50	1:5000	0.00019	0.0618	11.40	0.217	19.5	0.0058	0.0098
209	5.00	1:5000	0.00020	0.0438	6.19	0.177	20.8	0.0055	0.0091
210	12.50	1:3000	0.00031	0.0921	29.08	0.332	20.7	0.0059	0.0112
211	7.50	1:3000	0.00032	0.0618	14.48	0.276	19.7	0.0062	0.0113
212	5.00	1:3000	0.00031	0.0438	7.26	0.207	19.0	0.0056	0.0099
213	2.50	1:3000	0.00031	0.0233	2.25	0.129	20.8	0.0057	0.0102
214	12.50	1:2000	0.00047	0.0921	40.69	0.465	20.7	0.0054	0.0093
215	10.00	1:2000	0.00049	0.0778	28.84	0.412	20.7	0.0055	0.0091
216	7.50	1:2000	0.00048	0.0618	19.36	0.369	21.7	0.0051	0.0082
217	5.00	1:2000	0.00050	0.0438	10.26	0.293	21.6	0.0051	0.0095
218	2.50	1:2000	0.00046	0.0233	3.22	0.184	23.0	0.0065	0.0122
219	10.00	1:1000	0.00099	0.0778	44.35	0.634	24.5	0.0054	0.0098
220	7.50	1:1000	0.00102	0.0618	28.67	0.546	24.6	0.0059	0.0106
221	5.00	1:1000	0.00101	0.0438	15.49	0.443	23.3	0.0054	0.0095
222	2.50	1:1000	0.00102	0.0233	5.12	0.293	25.4	0.0052	0.0089
223	7.50	1:500	0.00172	0.0618	41.28	0.786	20.6	0.0049	0.0089

附表—4 幅 20cm の各種水路に於ける試驗結果

No.	水路種類	水深 (cm)	勾配		徑深 (m)	流量 (l/sec.)	流速 (m/sec.)	實驗當時溫度(C°)	n	
		H_5	I_b (底面)	I_s (水面)	R	Q	v	T	$v=\frac{1}{n}R^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$	$v=\frac{1}{n}R^{\frac{1}{2}}I^{\frac{1}{2}}$
401	1	10.31	水平	0.00031	0.0508	4.86	0.236	23.0	0.0057	0.0102
402	鉋削	9.86	〃	0.00017	0.0497	3.41	0.173	23.0	0.0056	0.0102
403		10.48	〃	0.00013	0.0512	3.26	0.156	23.0	0.0055	0.0101
404		10.23	〃	0.00009	0.0506	2.51	0.123	23.0	0.0056	0.0104
	平均								0.0056	0.0102
405	2	9.80	〃	0.00034	0.0495	4.42	0.226	19.0	0.0063	0.0111
406	鉋削ペイント塗	9.92	〃	0.00021	0.0498	3.33	0.168	19.7	0.0064	0.0116
407		10.26	〃	0.00016	0.0506	2.86	0.139	20.5	0.0068	0.0126
408		10.21	〃	0.00009	0.0505	2.18	0.107	17.8	0.0066	0.0122
	平均								0.0065	0.0119
409	3	10.04	〃	0.00032	0.0501	4.24	0.211	20.8	0.0065	0.0115
410	鋸挽	10.08	〃	0.00022	0.0502	3.41	0.169	22.0	0.0066	0.0118
411		9.96	〃	0.00014	0.0499	2.36	0.119	23.0	0.0074	0.0135
	平均								0.0068	0.0123
412	4 モルタル	10.10	〃	0.00021	0.0503	3.65	0.181	21.6	0.0059	0.0109
413	5 モルタルペイント塗	10.01	〃	0.00020	0.0500	3.41	0.170	19.5	0.0063	0.0114
414		9.94	〃	0.00010	0.0499	2.32	0.117	19.5	0.0064	0.0118
	平均								0.0064	0.0116
415	6 モルタルニートセメント塗	10.00	〃	0.00019	0.0500	3.26	0.163	15.0	0.0063	0.0108
416		10.00	〃	0.00008	0.0500	2.02	0.101	17.8	0.0062	0.0117
	平均								0.0063	0.0113
417	7 モルタル	9.93	〃	0.00020	0.0511	3.20	0.161	15.7	0.0067	0.0121
418	凹付	9.96	〃	0.00011	0.0500	2.29	0.115	14.0	0.0065	0.0121
	平均								0.0066	0.0121
419	8 モルタル	10.18	〃	0.00022	0.0505	3.33	0.163	20.5	0.0069	0.0124
420	細砂付	10.00	〃	0.00012	0.0500	2.16	0.108	19.7	0.0092	0.0135
	平均								0.0081	0.0129
421	9 粘土ペイント塗	9.61	〃	0.00019	0.0489	3.22	0.168	22.8	0.0061	0.0110
422		9.25	〃	0.00006	0.0481	2.27	0.123	19.0	0.0045	0.0086
	平均								0.0053	0.0098
423	10 粘土エマルジョン塗	10.00	〃	0.00015	0.0500	3.43	0.172	17.5	0.0053	0.0096
424		10.10	〃	0.00007	0.0503	2.45	0.121	18.3	0.0049	0.0093
	平均								0.0051	0.0094

砂粒河床模型實驗の基本に關する實驗竝に限界掃流力に關する研究

内務技師　安藝皎一
佐藤清一

要旨

本論文は砂粒河床模型實驗に關せる基本條件を說明し，次いで實河川への關係に就て述べ，實驗に依りて砂礫位の移動狀態と流速の變化を觀測し，特に其の限界掃流力に就て研究し，之が模型用砂決定に對する役割に就て述べたるものである．

目次

I. 緒　言……（2）
II. 砂粒河床模型實驗の根底事項……（2）
[1] 模型の分類……（2）
[2] 模型縮尺の歪……（3）
[3] 砂粒河床模型……（4）
[4] 河床砂利の縮小……（4）
[5] 模型用砂の粒度の性狀……（5）
[6] 模型用砂の比重……（6）
[7] 勾配擴大の限度……（6）
III. 砂粒河床模型實驗に對する相似論……（7）
[1] Gaukler Strickler の流速公式に依る方法……（7）
[2] 掃流力に依る方法……（8）
IV. 砂礫の移動に關する實驗……（12）
[1] 概　說……（12）
[2] 實驗設備……（13）
[3] 試驗用砂……（14）
[4] 實驗方法……（15）
[5] 砂粒の移動狀態……（16）
(a) A種試驗用砂……（17）
(b) B種試驗用砂……（19）
(c) C種試驗用砂……（23）
[6] 各試驗用砂に就ての測定値……（24）
(a) A種試驗用砂……（24）
(b) B種試驗用砂……（28）
(c) C種試驗用砂……（34）

V. 各種試驗用砂に於ける限界掃流力……(37)
[1] 掃流限界點……(37)
[2] 掃流限界に於ける勾配と水深との關係……(38)
[3] 限界掃流力公式……(40)
VI. 結　　語……(41)

I. 緒　　言

砂粒河床形式の模型實驗を行ふに際して考慮さるべき種々なる基本條件を述べ，實物に對しては如何に連絡をつけて行くべきかに就て述べ，尙ほ根本的に或る3種の試驗用砂（鴨川床止工の掃流洗掘に關する模型實驗及び百間川分流工に關する模型實驗に使用せる實驗用砂）に就て其の掃流狀態を詳かに觀察及び觀測し，掃流される限界點とは如何なるものか，其の前後は如何，に就て實驗研究した．特に限界掃流力の勾配並に水深に對する關係を求め，之が模型用砂の決定に對して有する役割に就て述べたものである．

II. 砂粒河床模型實驗の根底事項

元來大規模なる實際の工事を極めて小規模である所の模型に依りて決定して行かうといふ考へは今より約 255 年前 Isaac Newton に依りて暗示されたのであつた．其の後175年程後になりて英國の造船技師 Froude によりて此の考へが實用化された．即ち彼は此の相似に關する考へに基いて船體と其の速度と水の抵抗とに關して種々なる實驗を行つた．併し未だ土木に關する實驗は行はれなかつたのであるが，それより大凡 20 年後 1875 年に至り始めて河川に關する模型が佛國の Fargue に依りて作られた．之は Garonne 河の航路改修に關する實驗であつた．其れより 10 年の後には，英國 Manchester 大學の Osborne Reynolds 教授に依りて相似律が取入れられ縮尺模型が作られるに至つた．此の實驗は Mersey 河口，Liverpool に於ける潮の干滿に依る流水の研究であつた．

其の直ぐ1年後 (1886) には Sir William Vernon-Harcourt が Seine 河口に於ける船舶航行の水路維持に關する模型實驗を行つたのであつたが，之等は孰れも相似律の確たる基礎の上に立つてゐたものではなかつた．

其の後 20 世紀の始めに當り，獨國 Dresden の Technische Hochschule の教授 Hubert Engels に依りて水理實驗に關する一新時代が劃されたのであつた．彼に依りて學校の實驗室も組織的な立派なものに改造され，水理實驗時代への新しい偉大なる一步を踏出す事となつた．其の後 1903 年 G. de Thierry 博士の現出するに及んで此の實驗に關する科學は其の形態を整へ，Hans Detlef Krey…とか其の他の人々に依りて益々完成へと近づきつゝあるのである．斯くて最初は Newton の論文の一節に於て暗示された相似論が，其の後の非常な發達に依りて造船へ，航空へ，水力機械へ，土木への偉大なる貢献となりて現れつゝあるのである．

河川に關する實驗は前述の如く Fargue に依り始められて以來著しい進步を來し，現今米國にては Mississippi 河の大改修工事に關する模型實驗に於ては 1060 呎にも達する大模型を取扱ひ，之に依りて實際の工事に對し種々なる指示を與へて行く迄になつたのである．今日の河川及び港灣に關する模型實驗の形式としては大體次の如くに分類して考へらる．

[1] 模型の分類

即ち其の模型河床の性質及び其の模型實驗に於ては，何を主作用力として取扱ふべきかに依りて次の如くに分

類される.

1. 固定河床模型

之は模型の河床をモルタル等で固め水を流した際に全然河床に移動物の無い型式のものを云ひ，更に主作用力に依りて分ちて

（1） 重力が主作用力と考へられるもの.

（i） Froud's law の嚴密に適用し得るもの.

（ii） 水路の摩擦が相當影響して來る場合，之に對する係數を掛けて流速及流量に關する縮尺を補正し適用し得るもの.

（2） 內部摩擦が主作用力と考へられるもの.

此の場合には Reynold's law に依らねばならない.

（3） 外部摩擦が主と考へられるもの.

之は淺い開水路の問題を取扱ふ場合等に遭遇するのであるが，此の場合も實は前述の (1)(ii)の場合に比して甚だ區別し難い事が多いのであるが，(1)(ii) に於ける樣に修正を施すよりも寧ろ Chézy とか Bazin とか Manning 等に依りて求められた流速公式に依つて縮尺値を決定する方が良い事が屢々ある．其れには流速公式の係數としてR及びIの影響の入つてゐない，單に粗度にのみ關係せる係數を有し，且つR及びIに關して指數にて表はされた公式である所の Manning の式に依る方が非常に便利であり，且つ可成り良く一致する樣である.

2. 砂礫河床模型

之は模型の河床に移動性の物質例へば砂利，砂，石炭粒，其の他特種の砂狀粒を使用し水を流すと共に，河床に洗掘の現象を起さしめ得る形式の模型を云ふ.

（1） 重力が主作用力と考へられるもの.

（2） 內部摩擦が主作用力と考へられるもの.

大體以上の如くに大別されるのであるが，模型實驗をなす場合には判然と此の中の何れに相當すると云ひ難い場合が多い.

[2] 模型縮尺の歪

上の分類を縱とすれば模型の縮尺を歪める (distort) か否かに依りて橫方向の分類となし得よう.

歐洲に於ては歪んだ模型を使用する事に反對を唱へる人が多い樣であるが，之は縮尺の大きなものに對しては歪ませない方が良いであらうが，縮尺の小なる場合には實物に生ずる諸現象を再現する事は不可能となる．即ち模型を幾何的に水平と垂直兩方向の縮尺を同一にして縮小した場合，縮尺の小なる時は模型の水深は極めて小なるものとなる．加ふるに流速も縮小されるのであるから模型水路に於ては益々整流を生ずる可能性が大となる．整流に於ては流速はIに比例し，渦流に於ては一般に $(I)^m$ に比例するのであつて，整流と渦流とは其の性質を全く異にするものである．更に水深極めて小になれば水の表面張力及び凝集力が大なる作用を及ぼすに至り，得たる結果も全く實際とは掛離れた意味のないものとなるであらう．殊に自然河川に於ては殆ど總ての場合渦流であるから，模型に於ても必ず渦流の狀態で實驗を行はねばならない．又觀測上から云つても水深が小になれば益益不正確となるを免れない．以上の缺點を補正する意味で模形を歪める事が行はれる．又一方移動河床の模型を取扱ふ場合，處要の洗掘作用を生ぜしめる爲にも模型を歪ませる事が行はれる.

[3] 砂粒河床模型

水理實驗の模型に於ては，前述の如くに之を固定河床型式にするか，又は砂粒河床の型式にするかに依りて大きく2つに分けられるのであるが，例へば背水の影響が如何に及ぶかとか，今迄水流を妨害してゐたものを除去した時に水位は如何に變化するか，又河川の屈曲部に1箇處又は數箇處の捷水路を開鑿せる場合河川の大きな範圍に亙つて如何なる水位の變化を生ずるか，又今迄複斷面であつた河川を單斷面に保持する時河川水位に如何なる影響を及ぼすか等の問題に就ては，河川の大範圍に亙つて其の影響を見るのであつて，此の場合は河床の部分的洗掘といふ事は餘り問題とならない．故に斯る實驗を取扱ふ模型は固定河床の型式で行はれて差支へないのであるが，河川の局部的な洗掘狀態を見る實驗，例へば流身に向つて水制を突出した時水制局部が水流に依りて如何に洗掘されるか，又海に突堤を出した時河川の水流と海の波浪の爲に如何に突堤部が洗掘され如何なる所に洲が出來るか，又水門よりの射出水流に依りて其の下流部が如何に洗掘されるか，又河床に床止工を行つた場合河床は如何に洗掘されるか等の問題，又河川の改修後如何に河床が變化するか，例へば河幅を縮小せる場合水深は如何に變ずるか，その爲に河床は如何に變じ處期の計畫を果しうるや否や，又河川に分流工事を施工せる場合，其の分流點に於ては如何に土砂が運搬されるか，即ち分流點附近に於て河幅の擴大される爲に水面勾配は一般に緩となり，從つて上流より運ばれて來た土砂は如何に分流點附近に沈澱するか，其の爲に分水路に處要の流量を放流し得るや否や，又捷水路を開鑿せる場合捷水路局部に於て河床は如何に沈下し，又如何に上昇するか，其の爲に水位は如何に變化するか，等の問題に就ては是非砂粒河床の模型に依らねばならない．

[4] 河床砂利の縮小

實河川と模型河川とに於て河床の砂礫に相似なる運動を起さしめるには如何に模型用砂を選擇すればよいか．之が重大なる問題である．之を飽くまで幾何學的相似を固執して模型用砂利を撰定するならば，其れは全く意味のない而も不可能な事となる．何となれば，假に模型の縮尺が1/300であるとすれば，普通の實河川の砂利を此の割合で縮小するならば顯微鏡で見なければならない程の小粒となつて了ふからである．斯る粉末的な微粒子は最早實河川に於ける如き砂礫としての性質を有せず，流水に浮游して運搬されたり，水流の搖流力に依りてサラサラと動き得ない塊となつたり，全く別なものとなつて了ふであらう．又模型用砂礫の使用に當り，後に述べる如く人工的な材料を用ひても良いのであるが，自然に存する所の細砂を使用せる方が最も經濟的である．此の細砂を使用するとしても粒子の大さには自ら限度があつて，徒らに微小なる粒子は望み得ない．故に砂礫の縮小に當りては，或る限度以上の大さの粒徑の砂を使用せねばならない事となる．從つて幾何學的に縮小せるものよりも大なる模型用砂を使用せねばならないのであるから，之を動かす水流の力も大なるを要し，從つて前述の如く模型を歪める必要も生じて來るのである．

然るに玆に一つの缺陷がある．其れは砂礫の水中に於ける安息角に關する事である．上述の理由から模型を歪めた場合，模型河床を形成する砂礫の凹凸は，矢張模型の歪度に於て歪められた凹凸を形成して居ればよいのであるが，實際はさうでなく，其の模型の歪められた水流と同一水流が他の任意の河川に存在するとせば，其の時の河床勾配，河床砂利，水深が同一であれば必ず生ずるであらう樣な凹凸が此の歪められたる模型に於ても生ずるのであるから，模型を歪めた場合には河床の凹凸の相對的關係は其の模型に現はれたる如くであるとは云ひ得るであらうが，それを其の儘擴大せるものが實際河川にて起るべき河床の形であるとは云ひ得ない．殊に歪度が大になつて河床の凹凸の勾配が水中に於ける砂礫の安息角以上になりたる時は最早全く無意味となる．即ち模型用砂利は其れ自身の持つ水中の安息角以上に急なる勾配を作り得ないからである．

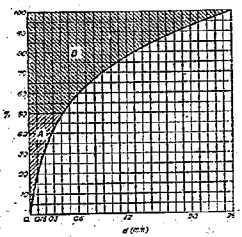
[5] 模型用砂の粒度の性狀

河床砂礫の限界掃流力は其の砂礫の平均粒徑の大さ，比重に依りて異なるは勿論の事であるが，此の砂礫を構成してゐる所の大小の粒子が如何なる割合で混合してゐるかに依りても大いに異ると云ふ事はよく考慮すべき點で，Hans Kramer に依れば限界掃流力 F_0 (gr/m²) は

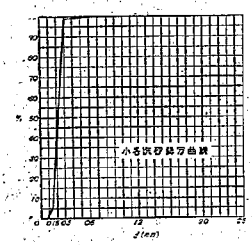
$$F_0=\frac{100}{6}\frac{(\gamma-\gamma_0)}{M}d_m \qquad (1)$$

にて表されると云つてゐる*．玆に d_m は砂礫の平均粒徑 (mm)，$(\gamma-\gamma_0)$ は水中に於ける砂礫の單位重量 (gr/cm³)，M は混合比にして圖－1の $\frac{A}{B}$，從て $M=1$ とは砂礫粒の一樣なる混合物を云ふ事になる．

圖－1 節分曲線



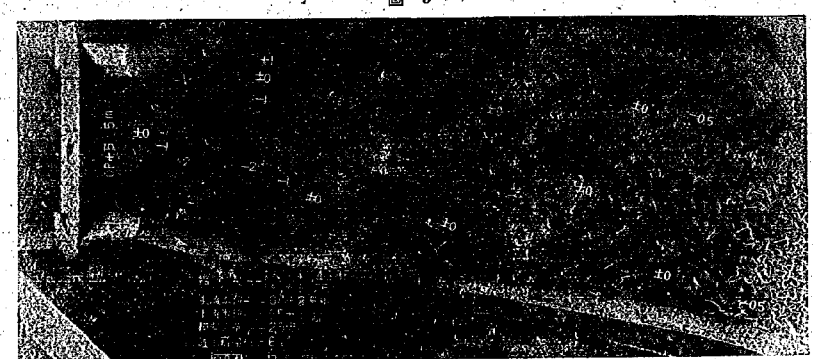
圖－2 小名濱砂節分曲線



模型に於ても砂礫の粒徑が一樣にして微小であるか，又種々なる粒徑の混合であるかに依りて掃流及び洗掘現象に非常なる差を生ずるものである．此の事に就ては後に詳しく述べる積りである．(第IV章 [5] 節參照)

一般に粒徑一樣にして微小なる砂に於ては，砂漣の發生が著しいが，種々なる粒徑の粒子の混合にして大粒の增すに從つて，砂漣は發生し難くなるか，又は全然生じない．其の例として，以前に本試驗所に於て取扱つたある實驗にては，圖－2の如く粒徑略々一樣である小名濱砂を河床の洗掘狀態を見る爲に使用したが，圖－3の如くに非常に多くの砂漣を生ずに至つた．此の實驗に於ては實物の河床の砂が元來細いのであるから，斯る細砂を使用せるは止むを得ないのであるが，普通の河川の洗掘狀態を見る場合には不適當となる事が多い．

圖－3

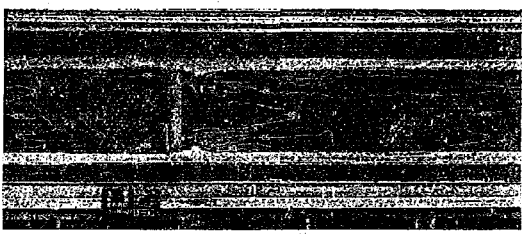


次の圖－4は鴨川床止堰堤の洗掘に關する實驗であるが，之に於ては圖－5の如く通常河川の河床によくある如き混合狀態の模型用砂を使用した所，砂漣の發生をよく防ぐ事が出來た．

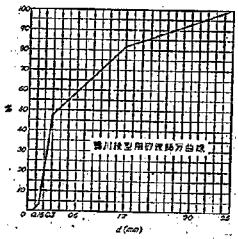
斯くの如く模型に生じたる砂漣は勿論實物に對して相似なるものとは考へられないものであつて，小さな澤山

* Hans Kramer; Modellgeschiebe und Schleppkraft. Dresden 1932.

圖—4



圖—5 鴨川模型用砂礫篩分曲線



の砂漣を均らして後に出來る大きな凹凸は，或程度實物に對しての相似性を有するものであらうとは考へられるが，後の實驗に於て詳しく砂の動き方を述べるが，1つ生じたる砂漣は水流の運動を前とは全然異つたものにし，その異常な水流の衝突に依りて益々砂漣は擴大されるに至るもので，一旦砂漣が生じた場合には河床凹凸の相似性は餘り望み得ないものである．寧ろ小砂漣の1つ1つは實物に對して1對1の對應をなす筈である．

[6] 模型用砂の比重

砂粒河床の模型に於て其の掃流現象を相似ならしむるには，砂礫たるの性質を失はぬ程度に於て充分に縮小せられたる粒徑を使用し得る事が望ましいが，前述の如く砂粒の縮小にも自ら限度ある故，多くの場合模型用砂の粒徑は充分に小なるものとはなし得ない．斯る場合砂礫の掃流運動の相似性を得る爲の他の1つの方法は模型用砂礫の比重を變へる事である．比重の輕い物質は流水に依りて動かされ易い事は直ちに考へられる所で，一般に限界掃流力は砂礫の水中の比重に比例する．故に比重の輕い物質を使用して限界掃流力を減少せしめ，而して成可く勾配を擴大せず從つて模型縮尺を歪ませないといふのが一方法である．此の場合の材料としては石炭を碎いて砂粒狀にして用ひたり，鍋屑にタレオソートを滲透せしめたものを用ひたり，其の他色々な人工的材料が使用される．

[7] 勾配擴大の限度

以上の如くに勾配を擴大せずに，模型用砂礫を動き易い樣に比重の小なるものを使用する事は，費用がかゝるので一般には自然砂を以て之に當てる．此の場合，前にも述べたる如くに模型通りの縮尺で縮小せる場合には，粉狀となりて物理的に全然異つた性質を有するものとなり，又事實上其れ程小さい粒子は得る事が出來ないので或る程度粒徑を大にし，其の代り之を動かす爲の流水の力を增す爲に河床勾配を增大する方法が採用されるが，此の場合勾配の增大にも自ら限度がある．卽ち河川の模型實驗は渦流の狀態に於て行ふべきであるから，射流限界內に於て勾配の增大を計らねばならない．

模型に於ける水深を H_M，砂粒の直徑を D_M，粗度係數を C_M，にて表はせば Krey 敎授に依れば勾配の限界値は

$$\frac{D_M}{8H_M} < I_M < \frac{g}{C_M^2}$$

でなければならない．

以上に於て砂粒河床模型を使用する場合，河床砂として使用すべき材料に就て，又勾配の關係に就て，又歪度に就て，一般に注意すべき事項に就て述べたが，今回始めて河川に對する砂粒河床模型を使用するに當り，果して細砂は如何なる運動をするものか，又種々なる粒徑を混合したる模型用砂は如何なる運動をするか，其の場合水路に於ける所謂粗度は如何に變化するか，而して如何なる平均粒徑の又如何なる混合狀態の模型用砂礫を使用

すれば砂粒河床模型の目的を達し得るかに就て稍め檢討を行つた．之に使用せる砂礫は後章に示すABCの三種で，此の實驗より限界掃流力は水深並に勾配に依り如何に變化するかをも併せて研究し，平衡勾配の問題に入る一助としたき考へである．

III. 砂粒河床模型實驗に對する相似論

[1] Gaukler Strickler の流速公式に依る方法*

水流が河床の砂礫を動かす時は，流水の力が河床砂礫の慣性に又摩擦抵抗に打勝つのであるから，之に關する抵抗を粗度として考へ，此の粗度に依りて實河床物質に相似なる模型河床物質を見出さうとする方法で，Gaukler Strickler の公式

$$V=kR^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$$

$$k=\frac{21.1}{\sqrt[6]{\rho}} \qquad (2)$$

に依るものである．

玆に V は河川の平均流速，R は徑深，I は勾配，k は粗度に關する係數であつて，R I に關係なく河床砂利の粒徑にのみ關係す．ρ は粒徑．此の (2) 式に依りて模型用砂の粒徑を決定するには次の如くにする．

(1) 今實驗を行はんとする河川の，其の箇處に於ける粗度に相當せる砂利の平均粒徑を決定する．

(2) 次に，模型の歪度と同じく實河川を想像上に於て歪ませた場合の k の値を計算しそれより ρ の値を決定す．

(3) 歪ませて考へた實河川を模型の平面縮尺に縮小した場合の ρ 即ち模型用砂の平均粒徑を決定す．

一例を計算してみれば，

今假に下の如き實河川がありたるものとす．

平均流速	$V_N=4.5$ m/sec
勾配	$I_N=1/1000$
徑深	$R_N=5.9$ m

とすれば實河川の k の値は (2) 式に依り

$$k=43.6\fallingdotseq 44$$

を得る．今實河川に於ける水深を H_N，河幅を B_N とし模型に於ける其等を H_M, B_M とし，

$$B_N=m\cdot B_M \qquad H_N=n\cdot H_M$$

の如くに縮小し，$\frac{m}{n}=5$ とすれば，先づ $m=1$ 即ち平面の縮尺 1 であつて垂直方向のみ 5 倍にせる假想河川を考へ，之に對する k と ρ の値を決定する．此の時の平均流速，徑深，勾配は夫々

$$V=V_N\sqrt{5}=10.06 \text{ m/sec}$$

$$R=27.9$$

$$I=I_N\cdot 5=0.005$$

$$\therefore \quad k=15.5 \qquad \rho=6.36 \text{ mm}$$

而して之を平面縮尺に依りて模型用に縮小すればよい．

---

* Schleiermacher; Ermittlung des mittleren Durchmessers der Sohlenkörnung bei Modellversuchen des Wasserbaues. Wasserkraft und Wasserwirtschaft Jg. 33. Heft 3/4, 1938/2/15.

[2] 掃流力に依る方法

之は河床砂礫の運動を相似ならしめ，其の時の流速係數又は粗度係數に何らかの關係をつけて Chézy 又は Manning 公式に依りて流量等に關する相似計算を行はふといふ考へである．模型用砂の粒徑を掃流力に關して相似的に決定するには Du Boys* の式が成立するものとし，之を根底となす．Du Boys の式は掃流限界に於ては必ず成立する事が後章に述べる實驗により確められた．

$$F=\gamma_0 HI \qquad (3)$$

茲に F は單位面積についての掃流力，γ_0 は水の單位重量，H は水深，I は勾配である．

河床砂利が微小粒のみでなく，大徑の粒子まで一緒に動き出した現象を全移動と呼び，此の時の水流の掃流力を限界掃流力と呼べば，實河川の河床砂利の全移動を始める時の H_N 及び I_N は如何，而して模型に於て之等に相當する $H_M I_M$ に於て全移動を始むべき模型用砂は如何なる平均粒徑及び混合割合なるかを調べるのである．即ち模型が水平及び垂直方向に夫々異つた或る縮尺で縮小されてゐる時，實河川に於て其の河床砂利を全移動し始める水深を決定し，それに相當する模型の水深に於て全移動を始める如き模型用砂を使用すればよいのである．限界掃流力を F_0 とすれば

$$F_{0N}=\gamma_0 H_N I_N$$

模型に於けるそれを

$$F_{0M}=\gamma_0 H_M I_M$$

とすれば

$$\frac{F_{0M}}{F_{0M}}=\frac{H_N I_N}{H_M I_M} \qquad (4)$$

今模型を水平方向に $\frac{1}{m}$，垂直方向に $\frac{1}{n}$，に縮小せるものとすれば，

$$L_N=mL_M, \qquad B_N=mB_M, \qquad H_N=nH_M$$

但し L は長さ，B は幅である．

從つて

$$\frac{I_N}{I_M}=\frac{H_N}{L_N}\cdot\frac{L_M}{H_M}=\frac{n}{m}$$

$$\therefore \quad \frac{F_{0N}}{F_{0M}}=\frac{n^2}{m} \qquad (5)$$

然るに Hans Kramer に依れば限界掃流力は (1) 式の如くに表はさるを以て

$$F_{0N}=\frac{100}{6}\ \frac{d_{mN}(\gamma_N-\gamma_0)}{M_N}$$

$$F_{0M}=\frac{100}{6}\ \frac{d_{mM}(\gamma_M-\gamma_0)}{M_M}$$

$$\therefore \quad \frac{F_{0N}}{F_{0M}}=e\cdot\nu\cdot\mu \qquad (6)$$

但し $e=\dfrac{d_{mN}}{d_{mM}}$

$$\nu=\frac{\gamma_N-\gamma_0}{\gamma_M-\gamma_0}$$

$$\mu=\frac{M_M}{M_N}$$

* Du Boys: Annales des Ponts et Chaussées [5] 1879. p. 151.

d_m; M_0=第II章に示す如し.

(5)式と(6)式より

$$=\frac{n^2}{m}\cdot\frac{1}{\nu\mu} \qquad (7)$$

模型に使用する砂の篩分曲線を實河川砂利の篩分曲線と相似なる如く適當に大小粒を混合して模型用砂を作りたる時は

$$\mu = 1$$

となり，又材質として同一自然砂を使用せる時は

$$\nu = 1$$

となりて

---

† 註 $\frac{F_{oN}}{F_{oM}}$を砂利に關する factor で表現するのに必しも Kramer の式を用ひる要はないが，限界掃流力に關して相似的に模型用砂を決定する爲には，此の式が今の所一番都合がよい．筆者の提案する式は第V章に示す如く $F_o=K(\gamma-\gamma_o)\lambda dg$ であるが，實驗資料が少いので之は暫く措く事とす.

因みに他の公式を擧ぐれば次の如くである.

Krey の式

$$F_o=\frac{d_m}{(8\sim20)} \qquad d_m=\text{平均粒徑}$$

Schoklitsch の式(1)

$$F_o=\frac{F'_o}{1+\sqrt[4]{10.5\left(\frac{V}{V_s}-1\right)}}$$

$$F'_o=\sqrt{0.00385\,(\gamma-\gamma_o)\,\gamma,\ \lambda,\ V}$$

λ = 砂礫の形狀指數

V = 砂粒の體積

V_s = 河床砂粒の體積

Eisner の式(2)

$$F_o=\Phi\left(R,\ R_{korn},\ \frac{a}{t},\ \frac{a}{d}\right).\ \frac{\gamma-\gamma_o}{\gamma_o},\ d$$

R =水路全體に對する Reynolds 數

R_{korn}=砂粒に對して特有の局部的 Reynolds 數=$\frac{EV_m d}{\nu}$

EV_m=妨害されざる流速に對するある層に於ける砂粒の相對的速度

a =其層の河床よりの距離

t =水深

d =粒徑

ν =動粘性係數

(1) A. Schoklitsch; Ueber Scheppkraft und Geschiebebewegung. Leipzig u. Brlin. 1914.

(2) F. Eisner; Offene Gerinne (Handbuch der Experimentalphysik. Bd. IV)

$$c=\frac{n^2}{m} \qquad (8)$$

となる.

此の場合の流量を Chézy 公式に依り計算すれば, 次の如くである.

實河川砂利の篩分曲線と相似なる篩分曲線を有する模型を自然砂にて作りたる時は上の如くに $\mu=1$ $\nu=1$ であるから (4) 式は

$$c=\frac{H_N I_N}{H_M I_M}$$

然るに $HIB=IA$ A=面積

Chézy の式は

$$V=C\sqrt{RI}=C\sqrt{\frac{AI}{S}} \qquad S=\text{潤邊}$$

$$\therefore\ AI=\frac{SV^2}{C^2}$$

$$\therefore\ HIB=\frac{SV^2}{C^2}$$

$$\therefore\ e=\frac{H_N I_N B_N}{H_M I_M B_M}\cdot\frac{B_M}{B_N}$$

$$=\left(\frac{C_M}{C_N}\right)^2\left(\frac{V_N}{V_M}\right)^2\left(\frac{S_N}{S_M}\right)\left(\frac{B_M}{B_N}\right)$$

然るに從來の多數の實驗及び實測に依れば

$$C\propto(VR)^{\beta}$$

$$\therefore\ \frac{C_M V_N}{C_N V_M}=\left(\frac{V_M R_M}{V_N R_N}\right)^{\beta}\frac{V_N}{V_M}=\left(\frac{V_N}{V_M}\right)^{1-\beta}\left(\frac{R_M}{R_N}\right)^{\beta}$$

$$\therefore\ e=\left(\frac{V_N}{V_M}\right)^{2(1-\beta)}\left(\frac{R_M}{R_N}\right)^{2\beta}\left(\frac{S_N}{S_M}\right)\left(\frac{B_M}{B_N}\right)$$

$$=\left(\frac{V_N}{V_M}\right)^{2(1-\beta)}\left(\frac{S_N B_M}{S_M B_N}\right)^{2\beta+1}\left(\frac{H_M}{H_N}\right)^{2\beta}$$

$$\therefore\ \frac{V_N}{V_M}=e^{\frac{1}{2(1-\beta)}}\left(\frac{S_M B_N}{S_N B_M}\right)^{\frac{2\beta+1}{2(1-\beta)}}\left(\frac{H_N}{H_M}\right)^{\frac{2\beta}{2(1-\beta)}}$$

$$\therefore\ \frac{Q_N}{Q_M}=\frac{V_N H_N B_N}{V_M H_M B_M}$$

$$=e^{\frac{1}{2(1-\beta)}}\left(\frac{S_M}{S_N}\right)^{\frac{2\beta+1}{2(1-\beta)}}\left(\frac{B_M}{B_N}\right)^{\frac{3}{2(1-\beta)}}\left(\frac{H_N}{H_M}\right)^{\frac{1}{1-\beta}}$$

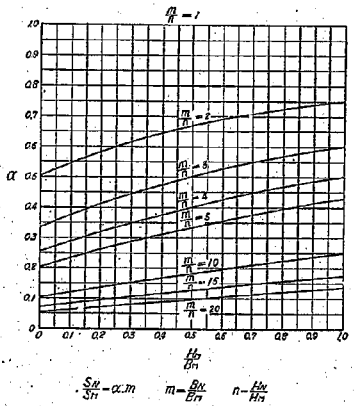
$$=e^{\frac{1}{2(1-\beta)}}\cdot m\cdot n\cdot\alpha^{\frac{1}{1-\beta}-\frac{2\beta+1}{2(1-\beta)}} \qquad (9)$$

茲に $\alpha=\dfrac{\frac{S_N}{S_M}}{m}$

實河川並に模型に於て水深に比して河幅の極めて大なる場合は $S\fallingdotseq B$ とするを得, 從つて $\alpha=1$ であるが, 砂

粒河床の實驗の場合は縮尺を歪める事が多く，從つて $S \fallingdotseq B$ となす事は許されない．α の値は歪度 $\frac{m}{n}$ 及び $\frac{H_M}{B_M}$ に從つて變化する故各場合に應じて圖－6より求むべきである．

圖－6



$\beta = \frac{1}{8}$ と取れば

$$\frac{Q_N}{Q_M} = e^{\frac{4}{7}} m n^{\frac{3}{7}} \alpha^{-\frac{5}{7}} \qquad (10)$$

又 Manning の式に依りて流量の關係を見出すには次の如くす．

$$V_N = C_N R_N^{\frac{2}{3}} I_N^{\frac{1}{2}} \qquad V_M = C_M R_M^{\frac{2}{3}} I_M^{\frac{1}{2}}$$

であるから，

$$\frac{V_N}{V_M} = \left(\frac{C_N}{C_M}\right)\left(\frac{R_N}{R_M}\right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{R_N I_N}{R_M I_M}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{C_N}{C_M}\right)\left(\frac{H_N B_N}{S_N} \cdot \frac{S_M}{H_M B_M}\right)^{\frac{1}{6}} \left(\frac{H_N I_N}{H_M I_M}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{B_N S_M}{B_M S_N}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{C_N}{C_M}\right)(e)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{H_N}{H_M}\right)^{\frac{1}{6}} \left(\frac{B_N S_M}{B_M S_N}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= \left(\frac{C_N}{C_M}\right) e^{\frac{1}{2}} \cdot n^{\frac{1}{6}} \cdot \alpha^{-\frac{2}{3}} \qquad (11)$$

$$\therefore \frac{Q_N}{Q_M} = \frac{V_N H_N B_N}{V_M H_M B_M}$$

$$= \left(\frac{C_N}{C_M}\right) e^{\frac{1}{2}} \cdot m \cdot n^{\frac{7}{6}} \cdot \alpha^{-\frac{2}{3}} \qquad (12)$$

C_M は豫備實驗にて定む．又 α は圖－6に依る．

模型を $m=n$ 即ち水平及び垂直方向の縮尺を同一に作りたる場合は圖－6に依り $\alpha = 1$ ，

$$\therefore \frac{Q_N}{Q_M} = \left(\frac{C_N}{C_M}\right) \cdot e^{\frac{1}{2}} \cdot n^{\frac{13}{6}} \qquad (13)$$

本實驗に於ては百間川及び鴨川模型實驗に使用せる模型用砂（B種試驗用砂）の C_M が種々なる勾配（水面勾配と河床勾配とを一致せしめた）及び水深に對して如何なる値を取るかを調べた．之に就ては次章に於て述べる事とす．

一例として鴨川模型實驗に就て或低水位の場合の實河川流量と模型より推定の流量を比較すれば次の如し．

鴨川中流部標準斷面に於て床止堰堤上 60 cm の水位の流量を求むるに，

徑　深　$R = 0.576\,m$

流積 $A=22.92m^2$

勾配 $I=\frac{1}{325}$

Manning 流速公式の係數 $C_N=32.05$ であるから

$$Q_N=\bar{V}.A=32.05\cdot 0.576^{\frac{2}{3}}\cdot\left(\frac{1}{325}\right)^{\frac{1}{2}}\cdot 22.92$$

$$=27.73\ m^3/s$$

鴨川の模型は

$$m=n=40$$

に作れるを以て，模型用砂は (8) 式により

$$e=40$$

にして且つ相似なる篩分曲線を有する如く適當なる粒徑を混合して模型用砂を作つた．

之に對し，次章に示す基本實驗に依れば河床勾配 1/400 にて河床に砂漣の生ぜぬ中は (2.2 cm 位までは河床が荒れなかつた)

$$C_M=81\sim 82$$

であつた．

今 $C_M=81.5$ にとる事とし，模型實驗に於ける流量 $Q_M=3.9\ l/s$ であつたから (13) 式に依り模型より推定の流量を計算すれば

$$Q_N=\frac{C_N}{C_M}\cdot e^{\frac{1}{2}}\cdot n^{\frac{13}{6}}\cdot Q_M$$

$$=\frac{32.05}{81.5}\cdot 40^{\frac{1}{2}+\frac{13}{6}}\cdot\frac{3.9}{1000}$$

$$=28.70\ m^3/s$$

となりて大體の一致を見る．

移動河床模型に於て實河川の河床砂利と其の限界掃流力に關し相似なる模型用砂を使用せる場合，實河川に於ては Manning 公式の流速係數を一定に取るに反し，模型に於ては河床砂の靜止又は移動狀態に於て著しく，其の値を異にする事が次章に述べる實驗より明らかとなつたので各移動狀態に應じた値を取らねばならない．實河川と模型河川との流量を比較する時は此の點に注意するを要す．

IV. 砂礫の移動に關する實驗

[1] 概 說

河川に關する模型實驗に新たに砂粒河床模型なる型式を採用するに際し，如何なる模型用砂を使用すれば，其の實驗目的が達せられるのかを知る爲には，先づ砂礫の移動狀態から調べて行かなければならない．

如何なる平均粒徑の，又如何なる混合割合の砂利を用ふれば實河川と模型とに於ける掃流力上の相似が得られるか，又其の時の流量の關係は如何になるか．又細粗粒の種々混合せる砂利は如何なる狀態で掃流されるかに等

就て根本的な檢討を必要とするのである.

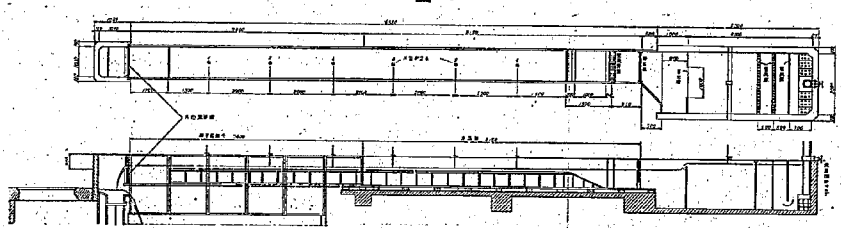
此の目的の爲に次の如き設備に依り，次の如き3種類の混合割合の砂利を用ひて其の砂粒の掃流狀態，水深竝に勾配の變化に伴ふ流速の變化，及び粗度の變化を研究した.

[2] 實　驗　設　備

今迄諸所に於て行はれた砂利の掃流現象に關する實驗の多くは比較的幅員の小さい水路に於て行れた．水路の底部に砂利を敷きつめて水を流し，その時の砂礫粒の移動狀態を觀測し，且つ流速從つて粗度を觀測するのに，又水流の掃流力を測定するのに底部橫斷形として通常の自然河川にあるが如き拋物線形を用ひる事は觀測上及び其の他根底事項を調査する上に極めて不自由を感ずるので，總て矩形斷面の試驗樋に依つてゐる．然る場合は水路側壁は多く試驗樋自體の木部又はガラスなる故水深の增加するに伴ひ益々側部の影響が效いてきて底部の砂利の影響のみを純粹に求める事は困難となる．故に水深の range を大にするには餘程大きな幅員を必要とする.

玆に於て此の實驗では手數の餘り大に過ぎない程度に於て幅員の可及的大なる水路として幅員1m長さ約16m，のガラス張り試驗樋を使用する事にした.

圖—7



此の試驗樋は圖—7 に示す如く全長約 16 m の中，上流より 2.4 m を導水整流に用ひ，それより 12.9 m は試驗用砂を敷いて實驗用とした.

この中最初の 1.6 m は水流を一定ならしめる爲の豫備の長さとし，それより 10 m の區間に於て一切の觀測をなし，下流 1.3 m は水が砂止槽に入る時の影響を上流 10 m の區間に及ぼしめない樣に豫備として附けた．此の 10 m 區間には圖—7 平面圖に見る如く水位測定器を 2 m おきに 6 箇處設けた.

試驗用の砂利は 10 m 區間及びその前後の豫備部分としての 1.6 m 及び 1.3 m，合計 12.9 m の長さに亙つて 5 cm～10 cm の厚さに處定の勾配に敷き均した.

水は上流樋頭水槽より 1 m 幅の量水堰を通りて出で，靜水板の下をくぐりて 1 m 幅試驗樋に入る．此處に於て縱に並べられた整流板に依り整流され愈々砂利のしかれたる試驗樋へと入る.

長さ 12.9 m に亙れる試驗用砂を掃流せる水は砂粒を轉動，滑動且つ細き粒子を浮游せしめつゝ下流部 1.2 m 長さの砂止槽の中に入る．玆に於て急に水深の增加する爲水勢急激に弱り，運ばれたる細粗砂粒は殆ど此の水槽中に沈澱した.

砂止槽の下流には水位調節用の扉を設け，此の扉を溢流して砂止槽の上澄の水を流し，且つ處定の勾配に均らされた河床に對して常に平行なる水面勾配を保つべく扉の上下運動に依りて調節する事にした.

此の水位調節扉を溢流せる水は下の水槽に落込んで再び樋頭水槽へ現はれる.

斯くの如き設備に於て水深約 20 cm まで實驗する事を得たが，水路の都合上 20 cm 以上の水位を實驗する事を得なかつた事を殘念に思ふ．併し他方より考へれば，水深 20 cm 以上ともなれば水路の幅員 1 m に比して側壁の長さは相當大となり來るを以て側壁の惡影響が入つて來る事を考へねばならない．今までに使用せる平均粒徑のものにては大體 20 cm 以下の水深にて充分なる觀測をなし得たが，勾配の極めて緩なる場合には矢張り水深の不充分なるを免れ得なかつた．

[3] 試　驗　用　砂

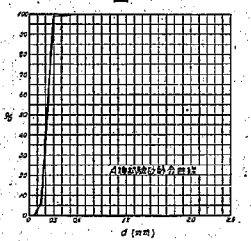
本實驗に使用せる試驗用砂は次の 3 通りである．

A種試驗用砂

之には福島縣小名濱産の砂を用ひた．圖−8 の篩分曲線に見る如く極めて細粒にして且つ比較的粒徑が揃つてゐる．故に此の小名濱砂に依りて粒徑の比較的に揃ひ且つ平均粒徑の小なる試驗用砂を代表せしめる事にした．

此の砂の篩分百分率は表−1 の如く，其の平均粒徑は 0.22 mm である．

圖−8



表− 1
A 種 試 驗 用 砂 篩 分 析

目の大さ (mm) 通過	止り	%
5	2.5	0.03
2.5	1.2	0.01
1.2	0.6	0.04
0.6	0.3	0.87
0.3	0.15	93.30
0.15	0.75	5.68
0.75	0	0.06
合	計	99.99

B種試驗用砂

此の試驗用砂に依つて一般自然河川に於ける河床砂床砂利を代表せしめる事となし，鴨川床止堤に關する模型實驗の參考にも供する目的を以て，鴨川試驗區域に於ける自然河川砂利を標準となし，之に相似的なる限界掃流力を有せる如き而も篩分曲線の相似なる試驗用砂利を使用した．

即ち鴨川模型實驗に於ては其の垂直及び水平縮尺は等しく

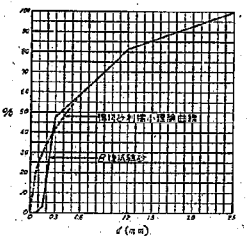
$$n=u=40$$

となしたので (8) 式により

$$c=\frac{d_{mN}}{d_{mM}}=40$$

を得た．之に依りて圖−9 に點線にて示せるが如き鴨川砂利篩分曲線を 1/40 に縮小せる理想試驗砂曲線を作り，之に出來る限り合致せる實際試驗用砂を人工的に各種粒徑の砂を混合して圖−9 に見る如きB種試驗用砂を作製した．此の篩分析は表−2 の如くである．

圖－9



表－2
B 種試驗用砂篩分析

目の大さ (mm) 通過	止	%
2.5	1.2	18.50
1.2	0.6	22.40
0.6	0.3	11.40
0.3	0.15	44.36
0.15	0.075	3.24
0.075	～	0.10
合	計	100.00

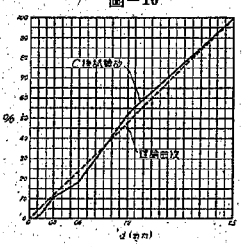
C 種試驗用砂

上述の AB 2 種の試驗用砂に於ては，孰れも篩分曲線は上方に凸となつてゐるが，更に篩分曲線の形に依る影響，即ち細粗混合割合の影響を明かにせん爲に 圖－10 に見る如く篩分曲線の對角線狀に直線形なる試驗用砂を人工的に製りて，之をC種試驗用砂となした．

此の場合の粒徑はB種試驗用砂に對し關係づける爲最大粒徑を同一 2.5 mm となした．

理論的には正確に篩分曲線の直線形なるものが望ましいが，實際に人工的に作りたるものは 圖－10 の如く直線に對し多少の凹凸を生ずるに至つたが，此の程度の凹凸なれば大體直線形と呼んで差支へないと思はれるので，この儘を採用し C種となした．篩分析の結果は 表－3 の如くである．

圖－10



表－3
C 種試驗用砂篩分析

目の大さ (mm) 通過	止	%
2.5	1.2	47.70
1.2	0.6	33.90
0.6	0.3	7.70
0.3	0.15	8.10
0.15	0.075	2.50
0.075	～	0.10
合	計	100.00

[4] 實　驗　方　法．

以上ABC各種試驗用砂について，粒子の運搬され始める點，又運搬される狀態，並びに砂礫の掃流されざる時から掃流されつゝある時へかけての流速及び粗度の變化，又各種の勾配に於ける限界掃流點を研究する爲に河床勾配，水面勾配，及び水深，從つて流量を種々變へるを必要とし，次の如き實驗順序をとつた．

始め試驗樋の 12.9 m の區間に今試驗せんとする試驗用砂を 5 cm～10 cm の厚さに適定の河床勾配に敷均し，最初は之に出來る丈の水流量を下流の水位調節扉で加減し且つ各水位測定器にて照査しつゝ水面勾配を河床勾配

に平行に保ち乍ら流下せしめ，斯して流量を益す事に依りて水深を序々にせり上げ，水位の小增加毎に流量，水深，表面流速，砂粒の運動狀態を觀測した．

尙ほ一種類の試驗用砂について河床勾配を 1/300, 1/400, 1/600, 1/800, 1/1000, 1/2000, 1/5000 等に色々變へて見た．河床を處定の勾配に均すには長さ約 1m の直線定規と平鏝を用ひた．始めの中は仲々思ふ樣に處定勾配の完全平面を作る事が出來なかつたが，段々手の熟練するに從ひ，又河床面に生じた水分のひらを乾燥せる試驗用砂を輕く撒布して均一ならしめる樣にしてからは，殆ど完全に作り出す事が出來る樣になつた．

水路の全長に亙つて一樣な勾配に而も部分的な凹凸なしに均されたるや否やは，實驗結果に影響する所著しく，均し方の拙なりし爲めに水路に局部的な洗掘が生じ，限界掃流點附近の觀測記錄が出鱈目になつた事が屢々あつた．兎も角數回の實驗を繰返して同一實驗結果を得る爲めには，始めの均し方が重要な役割をなすものであつた．

實驗を進めるに當り，河床勾配に平行に水面勾配を保たしめる事は云ふ迄もなく實驗を單純化し，觀測を正確なさしめる爲に外ならないが，河床，水面兩勾配を平行に保たしめる事は可成り困難な問題で，始め水深の淺くて未だ砂粒の運動の始まらぬ中は容易く平行に保たしめる事が出來るが，水深大になりて砂粒が著しく移動を始めるに至り，河床勾配は當然水平にならうとする傾向を有するものであるから，上流の河床が下降し，水面勾配は常に元の勾配に保たうとするから，上下流の水深に可成りの差を生ずる樣になる．

又斯くの如く水深が大になれば，河床不定形の爲めに水面に相當大なる波動を生じ，又セーシさへも生じて平均水位の測定が困難となる．斯る誤差も混へて來るのであるから，簡單に水流の不等速定流より來る誤差のみを考へる事は出來ないわけで，事情の複雜とならざる中に，水約 18 cm 以內位の處で成るべく觀測を止める事にした．

水深は始め均された河床よりの高さを測り，砂粒が移動して河床面に凹凸の生ずるに及んでも尙ほ元の均された河床高を標準とした．換言すれば，河床に生じたる凹凸の略々平均高を標準としたわけである．

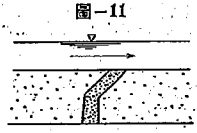
流量は勿論上流部に設けてある 1 m 幅の矩形量水堰にて測定した．

表面流速は水路中間の 10 m 區間に於て行ひ，細かく切つた紙の小片を水路幅の約中央部を流下せしめ，10 m 區間の上，下流兩端の水位測定器を通過する時間を time watch にて 5 回連續の測定をした．

[5] 砂粒の移動狀態

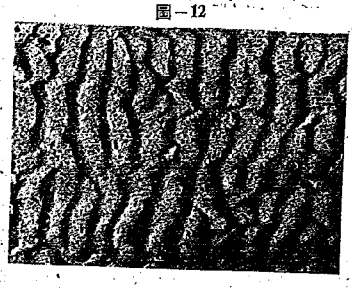
水流の掃流作用に依る砂礫の移動狀態は Du Boys の唱へるが如き單純なものではない．Du Boys は河床面に平行に並んだ砂礫の層を假想し，之等が水流の掃流作用に依りて順次上部の層より引き出し，圖－11 の如く河床面に垂直な層を河床中に想像すれば，其れは河床の深さの或る處でくの字形に折れ曲るが如くに考へた．併し實際に粒又は砂利層を數いて水を流してみると其の移動狀態は全く異つたものである．

圖－11



即ち始め完全な平面に均してあつた河床面は，水深の比較的淺い間は，水流の有する掃流力が所謂その砂利に特有なる限界掃流力に達せざる爲，未だ不動の狀態であるが，或る水深に達すれば水の掃流力は限界掃流力に達し，水の有する energy が砂利の抵抗 energy に打勝ちて河床砂礫を移動せしめるに至るが，此の移動は河幅全體又河長全體に亙つて（河床勾配と水面勾配と平行ならしめてあるので）一樣に開始さるとは雖も，或る深度までの河床砂礫が河床面に平行なる層狀をなして滑動する事は絕對に無く，比較的細粒の多い砂にては一旦河床面の砂粒が移動を始むるや，河床面全般に亙つ

圖－12



て一樣に小砂漣を生ずる事圖－12の如く，又比較的粗粒の多い砂利に於ては河床の極く表面のみの小粒が浮遊又は轉動滑動に依りて運ばれるのであつて，孰れにしても砂粒の動くのは殆ど河床表面に止まるものである．從つて圖－11に示す如く河床上層より順次くの字形に動くとは考へられない．

尙後に詳述するが比較的細粒の多い試驗用砂にては，前述の如く河床と水流との平衡の破れた瞬間より河床表面に砂漣を生じ，初めの中は砂漣の高さも 1 mm 位のものであるが水深の增加するに伴ひ，益々此の砂漣は發達移動して頂と谷との差高が大となる．併し砂粒の移動せしめられる範圍は矢張り砂漣の高さに止りて砂漣の谷よりも下の部分まで上部砂漣の移動に依る摩擦に引づられて動くものではない．斯くの如き砂漣もＢ種試驗用砂に於ては或る水深に至れば，恰も箒にて掃き均らされた如く再び平滑となり，やがて波長 1m にも近い大きな而も高さの低い砂利の押寄せを生ずるに至る．斯る場合に於ても尙ほ移動する砂粒は河床表面に止まるのみで下部のものまで一緒に動く樣な事はない．

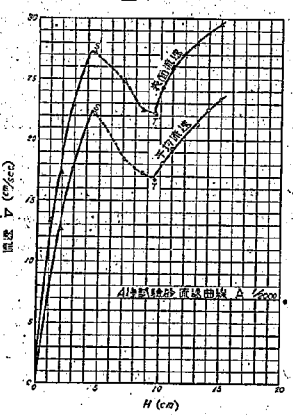
之に反してＣ種の如き比較的粗粒の多いものに於ては砂漣の生ずる事なく，始めの中は河床面の稍平滑なる總表面の粒子が移動するが，間もなく前述と同樣の砂の押寄せが生ずるに至る．恰も河川に於ける洲の如きものである．斯くの如く粗粒の多い砂にても粒子の移動は表面的で河床の內部には至つてゐない．

次に A,B, C 各種の試驗用砂に就て夫々其の粒子の移動狀態に就て述べよう．

(a)　**A 種試驗用砂**

此の種の試驗用砂は河床勾配 1/400, 1/600, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/10000 の 6 種に關して研究したが，勾配の急になるにつれて河床の平衡の破れる水深は小となり，其の後の狀態も相對的に漸變してゐるに過ぎないので此の中 1 例として 1/2000 の場合に就て述べる．

圖—13

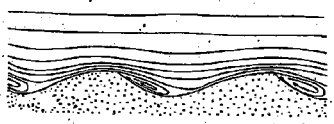


前述の如く河床勾配と水面勾配とは之を並行に保ちつゝ水深を增加せしめた．

圖－13は水深と流速の觀測曲線で，O より S に至るまでは河床の砂粒は全く不動にして，水流は一番始めの水深 1.14 cm より渦流であつた．水深漸時增加して點 S に至れば漸く砂粒は微動を開始し，水路面全般に亙つて處々少しづゝ極く低い砂漣を生じ始めた．一旦砂漣を生じ始むるや水流は刻々部分的な不等流となり，砂漣の直下流部に於て渦動を生じ，又砂漣の頂を越えた水は砂漣の谷に衝突して益々谷を深く掘り，掘られた砂粒は一部次の砂漣の方に一方は前の砂漣直下流の渦動の中に卷き込まれて掃き流される．此の場合の水流は大體圖－14の如くである．

砂漣の出來始めより圖—14の如き完全な砂漣に發達する迄は，砂漣の發達に伴ひ急激に水流への抵抗が增加する爲めに水深は刻々增加し水面及び水面勾配の動搖が激しい．之が圖—13に於ては S より T 迄の區間に相當する．

圖—14

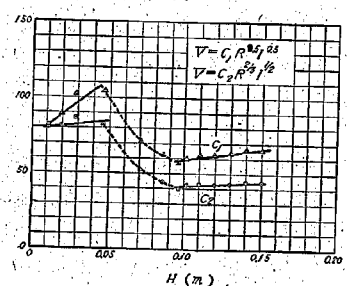


斯くてTに至りて砂漣が充分に發達し切れば水面の動搖も稍靜まり，砂粒の動きも比較的少くなる．此の後は潮時砂漣が下流に移動するのみで水流は稍安定の狀態となる．

STの區間に於ては砂漣が發達の途次にあるので砂粒の移動も極めて著しく，水深がどんどん變化する爲め，河床勾配と水面勾配とを平行に保つ事は不可能であつたが，Tに於て砂漣發達の終結するや再び上の兩勾配を平行に保ちつゝ水深を增加せしめ得た．

玆に於て注意すべき事は，圖—13に於てSより急にTに流速の變化するのは，水流に依りて生じたる砂漣の高さが，此の時の水深に比して相當大で水流がひどく阻害される爲めであるから，自然河川の河床に斯くの如き砂がありたりとしても，通常は自然河川に於ける水深は此の實驗に於ける水深に比して非常に大であるから，T以後の曲線となり，恐らくT以前の曲線は不必要となるであらう．併し模型に於て砂粒河床型式のものを採用するに當りては必ず之に一考を與へねばならぬ事となる．卽ちA種試驗用砂の如きを河床に敷均して水を流した場合，其の時の河床の狀態が平滑なる儘であるか，又充分に砂漣の發達せる狀態にあるかに從つて粗度係數の考へ方を變へて行はねばならない．

圖—15

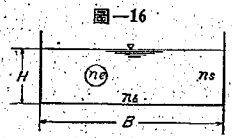


尙ほ此の場合の Chézy の流速係數 C_1 及び Manning 式の C_2 とを各水深について計算すれば 圖—15 の如くである．

之に依りて見れば，河床に砂漣の生ぜざる中は平均の流速係數は Manning 式に依つて約 $C_2 \fallingdotseq 82$ であり，$C_2 \fallingdotseq \frac{1}{n}$ として Kutter の粗度係數 n に換算してみれば $n = 0.012$ となり，モルタル面と同程度である．然るに砂漣の生ずるに及び水流著しく阻害され $C_2 \fallingdotseq 42$ 位となる．之を前同樣 Kutter の n に換算すれば $n \fallingdotseq 0.024$ となり自然河川のそれに餘程近づいてゐる．

併し此の實驗に於て使用せる水路は側面がガラス張りにして河床の有せる粗度との間に差異あるを以て河床のみの有效粗度を考ふれば次の如くである．

圖—16



圖—16に於て矩形水路の底幅を B とし水深を H とす．又河底の粗度係數を n_b とし，側壁の粗度を n_s，潤邊の粗度を一樣なるものと考へた時の粗度係數卽ち等值粗度係數を n_e とすれば，之は各異なれる粗度係數の夫々の潤邊を輕重率として計算される．

今流速公式として指數公式を用ひ

$$v = \frac{1}{n} R^{\alpha} I^{\beta}$$

とすれば

$$n_e = \text{等值粗度係數} = \left[\frac{H n_s^{\frac{1}{\alpha}} + B n_b^{\frac{1}{\alpha}} + H n_s^{\frac{1}{\alpha}}}{2H + B}\right]^{\alpha}$$

之は近似的に

$$=\frac{Hn_s+Bn_b+Hn_s}{2H+B}$$

故に

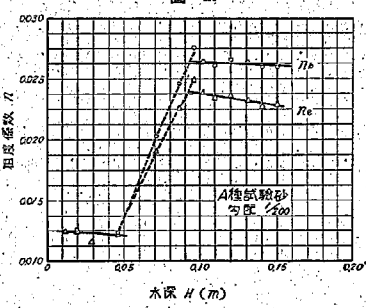
$$n_b=n_e+\frac{2H}{B}(n_e-n_s) \qquad (14)$$

之に依りて勾配1/2000に對する河床の粗度係數 n_b を計算すれば次の如し．但し側壁はガラスなる故 n_s=0.0110 とした．

H	C_2	n_b	n_s	$\frac{2H}{B}(n_e-n_s)$	n_b
1.14	79.76	0.0125	0.0110	0.0000	0.0125
1.95	80.14	0.0125	〃	0.0001	0.0126
2.91	86.32	0.0116	〃	0.0000	0.0116
4.60	82.00	0.0122	〃	0.0001	0.0123
7.13	52.38	0.0191	〃	0.0012	0.0203
8.55	44.31	0.0226	〃	0.0020	0.0246
9.60	40.16	0.0249	〃	0.0027	0.0276
10.19	42.10	0.0238	〃	0.0026	0.0264
11.01	42.82	0.0234	〃	0.0027	0.0261
12.02	42.51	0.0236	〃	1.0030	0.0266
13.10	43.06	0.0232	〃	0.0032	0.0264
13.98	44.12	0.0227	〃	0.0033	0.0260
15.03	43.93	0.0228	〃	0.0035	0.0260

更に此の n_b を n_e と圖にて比較すれば 圖—17 の如く，水深の小なる間は殆ど差なきも，大となるに及んで相當の差を生じ，最大差 0.0034 に達してゐる．又此の計算に依りて側壁の影響が除かれたる爲め，水深の變化に對し n_b 曲線が略々一定となつて來てゐる．

圖—17



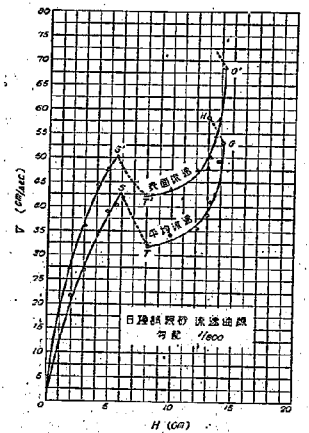
(b) B種試驗用砂

此の種の試驗用砂については勾配を 1/300, 1/400, 1/600 1/800, 1/1000, 1/2000 の6種に就て研究した．此の中代表として 1/800 の場合に就て說明しよう．

此の場合の流速曲線は圖—18の如く，大體に於てA種試驗用砂に於ける結果と略々相似なるものを得たが，此の兩者に於て異る所は圖中點 T 以下にある．而して又 G なる特殊なる點の現はれた所にある．

先づ水面勾配を河床勾配に並行に保ちつゝ水深を增加して行けば，S なる點までは前の場合と同樣河床砂利は全然靜止の狀態にあり，從つて觀測も可成り正確に，而もそれに依りて得られた平均流速曲線は圖—18の如く上に凸なる拋物線をなしてゐる．併し S に相當する水深(約 6 cm)に至れば，水の有する energy は砂粒の摩擦抵抗又は廻轉抵抗の energy に打勝ちて，先づ細粒より砂粒を移動せしめる事となる．此の試驗用砂にては後述の C 種試驗用砂に比して細粒が比較的多い爲め S 點附近にては先づ細砂が動き出し，之が始めの中は轉動に近い浮游

圖—18



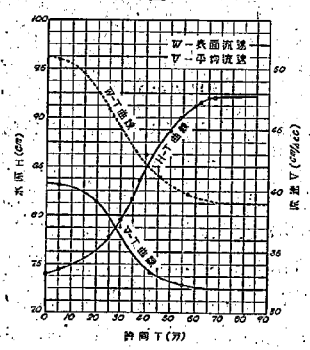
圖—19

運動をするが段々時間の經つにつれて激しい浮游運動となる．斯くて細砂が充分に浮游運搬されれば中粒以上の粒子が直接水流に曝らされるに至り，遂に中粒子をその底部にて支へるもの無くなり，遂に轉動を開始するに至る．此の狀態で此の場合の最大粒徑 2.5 mm のものまで動かされた．斯くの如くして先づ河床に小なる不陸を生ずれば細粒子は浮游の狀態で運ばれるに反し，中粒以上のものは轉動しつゝ不陸の頂上を越え谷に至りて沈澱して了ふ．斯くてその不陸は段々高さを增し立派な砂漣となりて漸次移動しつゝ發達する．

此の時の水流は圖—19 に見る如く，砂漣の背面を這登り段々速度の增加した水流は頂上 A を乘越す頃になりて流速は最高に達し，それが BO なる谷に勢よく落込む．此の落込んだ水流は大部分は OC の方へ向きを變へて流れ，一部は OB の方に逆向きに流れて玆に水平軸を有する渦となる．此の渦は益々谷を掘返して深くし，その爲めに水中に浮んだ砂粒は上部水流の爲めに直ちに C の方に運ばれて了ふ．頂上に運ばれて來た砂粒は細粒のものは浮游の狀態にある爲め引續き水流に依りて運搬されるが，中粒以上のものは浮游し難き爲め砂漣の頂上より谷に向つて轉落する．故に AB なる傾斜面は水中に於ける砂礫粒の安息角に等しくなる．(a) 圖 に於ては此の面と水流の落下衝突に依り生ずる渦流の掘る穴の面とは連續的につながつてゐるが，中には (b) 圖に示す如く兩者の面が別々になりて C なる段のついてゐる場合も少くない．

S に於て砂漣が出來始めてからは，其の時の流量又は水深に適合せる高さ及び長さの砂漣に發達せんとする傾向を有する爲めに河床の移動著しく，從つて河床の抵抗が著しく變化する爲めに水深が急に增加し水面の動搖激しく，流量を其の儘に保持しておいても時間的に水深に變化を來す爲め觀測極めて困難となる．通常は斯る水深 S に至れば流量を其の儘に保ちて砂漣の發達を終りて或る平衡狀態 T に至るまで水面勾配を一定に保たせつゝ水路は流るゝに委す事としたが，試みに此の S—T 間に於ける狀態を詳しく知らん爲めに，即ち時間的水流の變化を知らん爲めに勾配 1/1000 の場合について觀測してみた所，圖—20の如くであつた．

圖—20

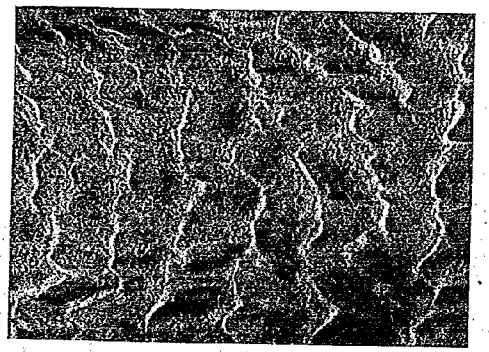


此の際流量を S に於ける儘に保ち而も tail gate に依りて水面勾配を 1/1000 に保ちたるは云ふまでもない事である．之に依りて見れば，途中の觀測回數及び個々の觀測に要せる時間に依りても異るが，大體に於て砂漣の出來始めより一時間內外に於て落着いてゐる．

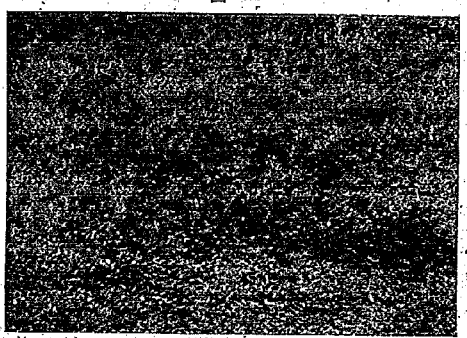
斯くて充分なる發達を終へたる砂漣は圖—21の如く，粗なる粒子に依りて谷及び山の基部が形成され，比較的小なる粒子に依りて山

の表面部が形成されてゐる．又此の寫眞を見ると稍々波長らしきものの存する事が認はれる．

圖—21



圖—22



Tに相當する水深（こゝでは約 8 cm）より淺くの間は——此の場合は水深 12.5 cm 位まで——河床の砂漣は絕えず移動しつゝも稍々平衡の狀態にあるが，其の後水深の增加するに伴ひ徐々に砂の移動は激しさを增し砂礫粒の抵抗の energy よりも水流の energy の方が優つて來る爲めか流速は加速度的に速くなり——從つて此の時の流速曲線は上方に向つて凹となる——Gに至りて其の極に達して砂漣の山は水流のためにくづれ始めHに至りて遂に河床面は恰も箒で掃いたかの如くに平滑となる．此の時の狀態は圖—22の如く，中粒以下の砂粒は吹雪の時粉雪の風に吹き飛ばされるが如くに浮游運搬され，比較的大粒のもののみが目まぐるしく河床を轉動し去る．

之は前述の如く主として砂漣の山を作つてゐる中粒以上の粒子の有する摩擦抵抗が水流のもつ energy に負けて山を形成してゐる事が出來なくなつたものと考へられる．

斯る現象が判然と現はれた事は此の研究に於て取扱へる種の試驗用砂の中で最も特異とする所である．

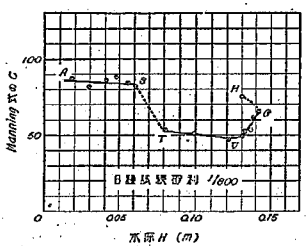
GよりHへの變化の際に於ても水流の變化激しく，丁度前述のSよりTへの變化の逆とも見られよう．

河床の變化の著しい爲めに水深並に水面の變動激しく，觀測困難なるために前の S～T の場合と同樣河床從つて水面に落着きを見るまで流量はGに於けるまゝとなし，tail gate に依りて常に水面勾配を稍規定の勾配（此の場合には 1/8000）に保たしめた．從つて流速曲線を畫けば，Hなる點に於いて水深が淺りて而も流速が增してゐるのである．此の後は砂粒の動きは，砂漣の代りに著しく波長（波長と呼びうれば）の長い洲の狀態で斷時下流へ移動する．之は圖—23の如く非常に平坦なもので洲の上面を轉動した粒子は洲の終つた所にて崩れ落ちて水中の安息面をなす．圖の如く規則的に出來る事は稀で AB の間隔は，勾配及び材料に依りて異るは當然であるが，凡そ 50 cm～130 cm 位であつた．

圖—23

玆に於て Manning 流速公式のCを調べて見るに，既に圖—18の流速曲線からも推察される如く水深S以下の場合とT以上の場合とで大なる相異を生じて來る．Cと水深Hとの關係を圖示せば圖—24の如く；A～S間は河床の靜止せる區間に相當してCの値も略々一定となり平均約 84 を示してモルタル面位の抵抗しかない．處がSに

圖—24



於て砂漣の出來始むるや河床の抵抗俄然增加して砂漣の發達し終りたる頃には $C=52$ 位迄になつた．T から V までは C 曲線は水深に對して稍々一定なる直線をなし V に至りて又急に C が增加してゐる．之に依りて T より V までの間は水深を徐々に增加して行つても發達し終へた砂漣は稍々平衡の狀態にあるものと考へられる．然るに水深 V の附近より砂粒の抵抗力が水流の掃流力に負け始め，河床近くの水流は摑んだ砂をその儘容易く浮游狀態で持去る傾向を示し，從つて水流全體として砂漣の凹凸に disturb される事少くなる傾向を示してゐる．G に至りて此の傾向充分大となれば最早や砂漣はその山を持保へてゐる事困難となり遂に崩れ始める．此の潰れ終つた點が H である．

此處で注意すべきは點 H が直線 AS の稍々延長上に來てゐる事である．

今假りに勾配 1/800 の實河川ありて，其の河床が此の實驗に使用せる B 種砂の如きものでありたりとせば，水深約 14 cm より小なる中は $A\sim S\sim T\sim V\sim G\sim H$ の如き C の變化を見るであろうが 14 cm 以上の水深となれば河床は波長長き洲の狀態となるから C の値は約點 H 即ち 80 位になり，恐らく ASH の延長線の如く變化するであらう．實河川に於ける水深は約 15 cm 以上が普通であるから，其の時の河床が B 種砂利と同一であつたとすれば C の水深 H に對する線は平均約 $C=80$ の水深 H に對して一定なる直線となり $S\sim T\sim V\sim G\sim H$ の如き變化は最早問題にはならなくなるであらう．

然るに模型實驗に於ては，水深は通常約 15 cm 以下なるを以て圖—24に示す如き變化が問題となる．

即ち其の模型河床が $A\sim S$ の狀態にあるか，$T\sim V$ の狀態にあるか，又は $G\sim H$ 及びそれ以下の狀態にあるかに依りて，第III章末節に述べておいた如く模型としての粗度を如何にとるべきかに注意せねばならない．例へば砂粒河床型式の模型に B 種砂利を用ひ河床勾配が約1/800であつたとすれば，其の時の水深の如何，從つて河床の狀態に依つて C の値を色々にとらねばならない．例へば 5 cm 位の水深ならば，其の時は河床は殆ど動かないから圖—24に依りて平均 $C=84$ をとるべく，又水深 10 cm 位ならば河床は砂漣の狀態で移動するを以て平均 $C=50$ をとらねばならない．又水深 15 cm 以上ともなれば砂の移動は其の表面は平滑的に移動するから再び $C=75$ 位をとらねばならない．

多くの河川試驗に於て，模型試驗を行ふ場合には其の洪水を標準として行ふので，掃流力的相似より決定したる砂粒は多く圖—24の T 以上の水深に相當する狀態即ち $T\sim V\sim G\sim H$ の狀態で移動するであろうから T 以上に對する C の値が種々問題になり S 以下は餘り問題とならない．もし河川全體を S 以下の狀態で實驗するなら，態態模型用砂を使用せる意味を失ひ，$A\sim S$ 間の C の値は約 84 にしてモルタル面に略々等しいのであるから寧ろモルタル仕上の固定床型にして了つた方がよい．併し玆に 1 つ考へねばならぬ場合がある．其れは，異狀水流による局部的洗掘を調べる場合で，掃流力的相似より決定せる模型用砂でも水深の淺い場合には動かないが構造物の作り方に依りて局部が案外掘れる事がある．斯くの如き事を調査する時には又重要なる意味を持つて來るのである．時としてはある局部的洗掘は洪水時よりも水位の低い時の方が著しく且く性質の悪い事もある．

最後に $S\sim T\sim G\sim H$ の如き變化は本試驗用砂の如く比較的細粒の多いものに就て現れたる現象であるが，之と同じ混合割合にしてもつと平均粒徑の大なるもの，結局すれば實河川に於ける河床砂利についても，果して S

～*T*～*G*～*H* の如き現象が起るかどうかは甚だ疑問にして今の所見當がつかないが，追々平均粒徑を大にして實驗し確めたいと考へてゐる．

(c)　C 種試驗用砂

前試驗は成る可く自然河川砂利の細粗粒混合狀態に近き試驗用砂に就て研究をなせるが，矢張り混合割合の變つたものについて研究せん目的を以て，篩分曲線の對角線狀に直線的なるものに就て試驗した．

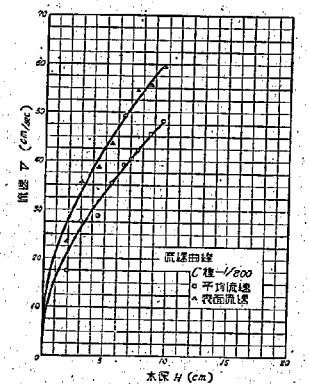
勾配は　1/300, 1/600, 1/800, 1/1000, 1/2000　の 5 種類に就て實驗した．

斯くの如き混合割合の砂利は實在せぬかも知れないが，篩分曲線の曲率の小なる混合割合のものの極限として，此の種を採用したのである．

河床勾配 1/800 の場合に就て其の移動狀態を述べれば次の如くである．

始め此の實驗に取掛る時は B 種の實驗の時と同樣に流速曲線が *S*～*T*～*G*～*H* の如くに折曲る事を豫期したが，愈々實驗を始めて見ると砂粒の掃流運搬される狀態は前の場合とは全く異り，流速曲線は圖—25に見る如く普通の平滑な曲線となつて了つた．

圖—25



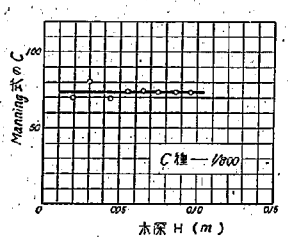
實驗をする前に鍍にて處定の勾配 1/800 に均し，水面勾配を河床勾配に並行に保ち乍ら水深を增して行つた事は勿論であるが，混合割合に粗粒の多い丈に河床は動きにくく，B種の場合には水深5.5 cm 位より細粒が動き出したのに反し C 種の場合には 6 cm を越えても尙ほ動かず，6.5 cm より徐々に細粒の動くを見た．

此の水深に於て種々なる觀測をしてゐる中に段々細粒の移動が目立つて來たが，次の觀測水深　7.54 cm　の時には最早大粒のものも轉動を始めてゐた．其の後觀測水深 8.59 cm, 9.59 cm と水深の增加するにつれて，只細粗粒の運動の入交るのみで B 種の場合の如き砂漣は遂に起きないで了つた．

粗粒の多いといふ事に就ては，鍍で均した河床面を上方より見れば一見粗粒のみ敷つめたかの如くに見える程で，細粒は粗粒間の空隙を充すに其の量不充分なのである．從つて水洗も間隙の奥深く隱れたる細粒を動かすには骨が折れると見えて B 種の時よりも細粒の動き出す水深が 1 cm 程增してゐる．

河床の砂の動かされた跡は砂漣が出來ない爲めに始めから B 種の場合の砂漣の搔き潰された後の狀態と殆と一致してゐる．

圖—26



從つて圖—18に於ける *H* が *S* に一致した樣なものであるから，圖—24の如く平滑な曲線となるのである．

斯くの如く河床の移動狀態に於ても，從つて流速曲線に於ても急激な變化がなく，孰れの水深から河床が動き出したかを判斷するのに多少困難を感ずるので，極細粒の動き始めの觀測水深と大粒まで一應動いた觀測水深との平均を取りて河床の移動開始水深となした．

Manning 流速公式の *C* 曲線も圖の如く概ね水平なる直線となり大凡 *C*＝75 となつた．

[6] 各試驗用砂に就ての測定値

各試驗用砂に就ての代表的移動狀態を前節に於て詳しく述べたので此の節に於ては主として各種試驗用砂，各勾配についての觀測表，流速曲線，C一曲線を示し，各場合について起れる特別の事象については夫々の場處に於て述べる事とす．

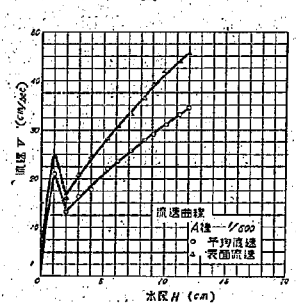
(a) A種試驗用砂

(i) 勾配 1/600

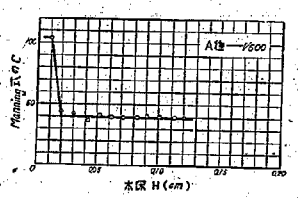
表—4 A種 —— 1/600

觀測番號	水深 H (cm)	損水頭 h (cm)	流量 Q (cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V (cm/sec)	表面流速 W (cm/sec)	潤邊 S (cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等値粗度係數 N_e
1	1.10	1.17	2290	110	20.8	24.7	102.20	1.08	104.59	0.0096
2	2.00	1.27	2589	200	12.9	15.9	104.00	1.92	44.18	0.0221
3	3.02	1.94	4889	302	16.2	20.7	106.04	2.85	42.52	0.0235
4	4.20	2.56	7410	420	17.6	24.4	108.40	3.87	37.75	0.0264
5	5.25	3.43	11493	525	21.9	28.2	110.50	4.75	40.88	0.0245
6	6.20	4.02	14582	620	23.5	30.8	112.40	5.52	39.76	0.0252
7	7.22	4.72	18552	722	25.7	33.2	114.44	6.31	39.71	0.0252
8	8.30	5.44	22955	830	27.7	36.4	116.60	7.12	39.44	0.0253
9	9.10	5.98	26457	910	29.1	39.2	118.20	7.70	40.58	0.0246
10	10.08	6.70	31376	1008	31.1	42.0	120.16	8.39	39.79	0.0251
11	11.16	7.46	36863	1116	33.0	44.0	122.32	9.12	39.92	0.0250
12	12.00	8.05	41322	1200	34.4	45.6	124.00	9.68	40.02	0.0250

圖—27



圖—28



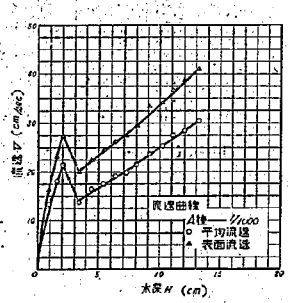
最水堰の都合上 1 cm 以下の水深觀測は不精確になるので成る可く避けてゐる．その爲めに此の場合に於ても 1.1 cm 以下の水深に對する觀測が缺けてゐるので圖—27の河床靜止の時の流速曲線は確定的なものではないが，1.1 cm に於ける第1回目觀測が移動開始點である事は確かに認められた．

(ii)　勾配 1/1000

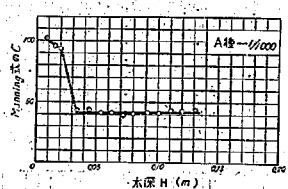
表—5　A 種 —— 1/10000

觀測番號	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等値粗度係數 N_e
1	0.84	0.72	1105	84	13.2	16.7	101.68	0.83	101.82	0.0098
2	1.49	1.30	2682	149	18.0	23.0	102.98	1.45	95.85	0.0104
3	2.00	1.77	4260	200	21.3	27.3	104.00	1.92	93.85	0.0107
4	3.40	1.88	4664	340	13.7	19.9	105.80	3.18	43.18	0.0232
5	4.37	2.49	7109	437	16.3	22.4	108.74	4.02	43.84	0.0228
6	5.37	2.98	9307	537	17.3	24.6	110.74	4.85	41.22	0.0243
7	6.31	3.53	11999	631	19.0	26.2	112.62	5.60	41.07	0.0243
8	7.23	3.94	14149	723	19.6	27.3	114.46	6.32	39.02	0.0256
9	8.02	4.49	17213	802	21.5	29.4	116.04	6.91	40.30	0.0248
10	9.10	5.20	21453	910	23.6	33.3	118.20	7.70	41.19	0.0243
11	10.15	5.84	25533	1015	25.2	34.0	120.30	8.44	41.35	0.0242
12	11.05	6.54	30259	1105	27.4	36.6	122.10	9.05	42.96	0.0233
13	12.00	7.06	33939	1200	28.3	38.6	124.00	9.68	42.43	0.0236
14	13.19	7.88	40020	1319	30.3	40.8	126.38	10.44	43.28	0.0231

圖—29



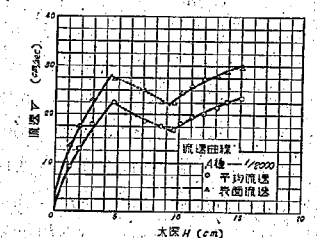
圖—30



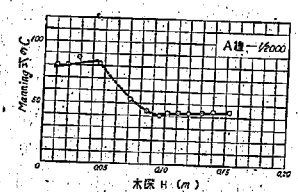
(iii) 勾配 1/2000　　表—6　A種 —— 1/2000

觀番 測號	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等値粗度係數 N_e
1	1.14	0.68	1015	114	8.9	13.3	102.28	1.11	79.76	0.0125
2	1.95	1.23	2468	195	12.7	17.3	103.90	1.88	80.14	0.0125
3	2.91	2.00	5117	291	17.6	22.9	105.82	2.75	86.32	0.0120
4	4.60	3.17	10211	460	22.2	27.1	109.20	4.21	82.00	0.0122
5	7.13	3.75	13138	713	18.4	24.8	114.26	6.24	52.35	0.0191
6	8.55	4.06	14800	855	17.3	22.4	117.10	7.30	44.31	0.0226
7	9.60	4.29	16076	960	16.7	22.2	119.20	8.05	40.16	0.0249
8	10.19	4.71	18493	1019	18.1	24.3	120.38	8.46	42.10	0.0238
9	11.01	5.16	21206	1101	19.3	25.9	122.02	9.02	42.82	0.0234
10	12.02	5.62	24104	1202	20.1	27.1	124.04	9.69	42.51	0.0235
11	13.10	6.19	27863	1310	21.3	27.9	126.20	10.38	43.06	0.0232
12	13.98	6.72	31517	1398	22.5	28.8	127.96	10.93	44.12	0.0227
13	15.03	7.21	35026	1503	23.3	29.5	130.06	11.56	43.93	0.0228

圖—31



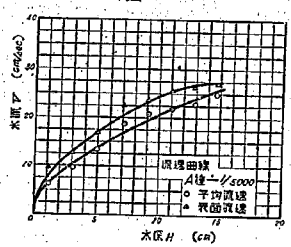
圖—32



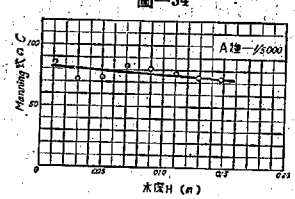
(iv) 勾配 1/5000　　表—7　A種 —— 1/5000

觀番 測號	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等価粗度係數 N_e
1	1.17	0.54	718	117	6.1	9.6	102.34	1.14	85.50	0.0117
2	3.03	1.36	2869	303	9.5	12.7	106.06	2.86	71.65	0.0140
3	4.98	2.37	6601	498	13.3	17.0	109.96	4.53	73.77	0.0136
4	7.11	3.76	13191	711	18.6	22.7	114.22	6.22	83.52	0.0120
5	9.02	4.76	18670	902	20.7	23.6	118.04	7.64	81.28	0.0123
6	11.01	5.60	23976	1101	21.8	25.6	122.02	9.02	76.54	0.0131
7	12.92	6.45	29636	1292	22.9	26.3	125.84	10.27	73.97	0.0135
8	14.81	7.43	36641	1481	24.7	27.0	129.62	11.43	74.30	0.0134

圖—33



圖—34

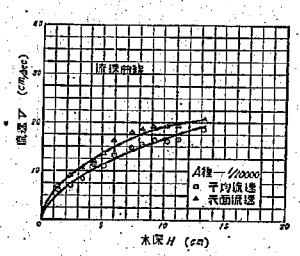


（v）勾配 1/10,000

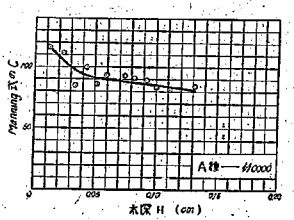
表—8　A_4種 —— 1/10,000

親番 測號	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等値粗度係數 N_e
1	1.22	0.55	740	122	6.1	7.0	102.44	1.19	116.01	0.0086
2	2.26	0.91	1570	226	7.0	9.2	104.52	2.16	111.08	0.0090
3	3.34	1.34	2810	334	8.4	10.8	106.68	3.13	84.58	0.0118
4	4.30	1.94	4890	430	11.4	11.9	108.60	3.96	97.87	0.0102
5	5.11	2.14	5660	511	11.1	13.7	110.22	4.64	85.89	0.0116
6	5.93	2.64	7761	593	13.1	16.2	111.86	5.30	92.74	0.0108
7	7.39	3.33	10994	739	14.9	18.1	114.78	6.44	92.62	0.0108
8	8.20	3.67	12720	820	15.5	18.7	116.40	7.04	90.94	0.0110
9	9.19	4.07	14855	919	16.2	19.2	118.38	7.70	88.83	0.0113
10	10.02	4.28	16020	1002	16.0	19.3	120.04	8.35	83.71	0.0119
11	11.12	4.68	18317	1112	16.5	19.4	122.24	9.10	81.44	0.0122
12	13.01	5.64	24235	1301	18.6	20.6	126.02	10.32	84.64	0.0118

圖—35



圖—36



砂を銀で均らして 1/10,000 の勾配を正確に作る事は恐らく不可能な事であらうと思はれる．

10 m の長さに對しての差が 1 mm といふのであるから，砂粒 1 つが高ければ既に 1/7000 とか 1/5000 になつて了ふ．玆に 1/10,000 として觀測して見たものの果して 1/10,000 の觀測かどうかは餘に疑はしい．それで參考までにのせた丈で重きを置かない事にした．

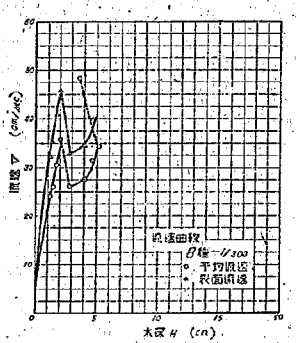
(b) B種試驗用砂

(i) 勾配 1/300

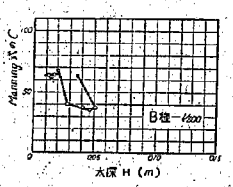
表—9. B種 —— 1/300

觀測番號	水深 H(cm)	損水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等値粗度係數 N_e
1	1.21	1.24	2900	121	24.0	32.3	102.42	1.18	63.5	0.0157
2	1.42	1.53	3700	142	26.1	35.3	102.84	1.38	62.3	0.0161
3	1.71	2.00	5200	171	30.4	41.0	103.42	1.65	64.4	0.0155
4	2.04	2.55	7300	204	35.8	45.8	104.08	1.96	67.6	0.0148
5	2.80	〃	〃	280	26.1	32.9	105.60	2.65	40.3	0.0248
6	4.10	3.42	11300	410	27.6	34.5	108.20	3.79	36.8	0.0272
7	4.63	3.98	14500	463	31.3	40.0	109.26	4.24	35.3	0.0283
8	5.10	4.48	17500	510	34.3	——	110.20	4.63	36.5	0.0274
9	3.63	〃	〃	363	48.3	——	107.26	3.38	63.3	0.0158

圖—37



圖—38



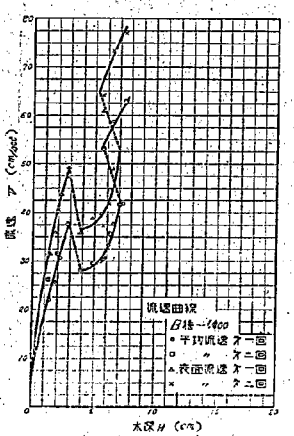
(ii) 勾配 1/400

觀測は2回行つた. 圖—39に見る如く砂連の崩き潰された後の曲線は恰も砂連の出來る前の曲線の延長の如き傾向を示してゐる. 尙ほ第2回目の觀測に於て第4及び第5の觀測値を採用しなかつたが, それは砂連の出來始めに於て下流部のみに出來て上流部に出來ず, 河床狀態が不均一であつた爲めである.

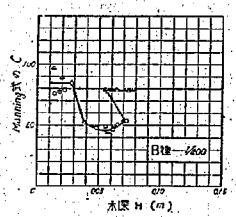
表—10　B 種 —— 1/400

觀測番號	水深 H (cm)	堰水頭 h (cm)	流量 Q (cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V (cm/sec)	表面流速 W (cm/sec)	潤邊 S (cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	粗度係數 N_a
1	1.42	1.33	3100	142	21.8	31.3	102.82	1.38	75.5	0.0132
2	1.77	1.80	4500	177	25.4	36.0	103.54	1.71	76.5	0.0131
3	2.24	2.45	6800	224	30.4	43.7	104.48	2.14	78.9	0.0127
4	2.83	3.29	10600	283	37.5	49.1	105.66	2.68	84.1	0.0119
5	3.79	〃	〃	379	28.0	35.7	107.58	3.52	52.1	0.0192
6	4.77	3.88	13900	477	29.2	38.8	109.54	4.36	47.1	0.0212
7	5.47	4.28	16300	547	29.8	39.6	110.94	4.93	47.5	0.0211
8	6.12	4.94	20200	612	33.0	44.5	112.24	5.45	45.9	0.0218
9	6.52	5.64	24500	652	37.6	48.8	113.04	5.77	50.4	0.0198
10	7.18	6.46	29900	718	41.7	——	114.36	6.28	52.7	0.0190
11	5.67	〃	〃	567	52.8	60.7	111.34	5.09	77.0	0.0130
1	1.27	1.40	3300	127	26.0	31.7	102.54	1.24	97.1	0.0103
2	1.97	2.27	6200	197	31.5	40.5	103.94	1.87	89.4	0.0112
3	2.77	3.27	10400	277	37.5	47.1	105.54	2.62	85.0	0.0118
4	4.13	〃	〃	413	25.2	31.4	108.26	3.82	49.2	0.0203
5	4.67	3.60	12200	467	26.2	32.9	109.34	4.27	42.9	0.0233
6	5.67	4.43	37200	567	30.4	37.2	111.34	5.09	44.2	0.0226
7	6.17	5.20	21800	617	35.4	41.7	112.34	5.49	49.0	0.0204
8	6.97	6.34	29000	697	41.7	——	112.94	6.15	53.5	0.0187
9	5.47	〃	〃	547	53.0	64.0	110.94	4.93	78.8	0.0127
10	6.37	7.51	37200	637	58.4	73.4	112.74	5.65	79.3	0.0126
11	7.37	8.68	46200	737	62.7	77.0	114.74	6.42	78.2	0.0128

圖—39



圖—40

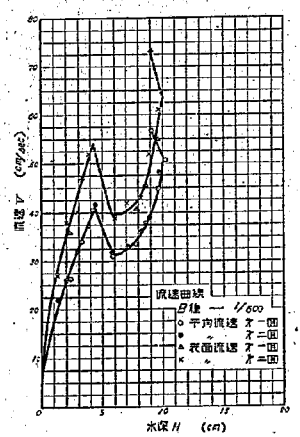


(iii) 勾配 1/600

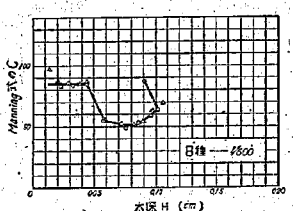
表—11 B種 —— 1/600

觀番	水深	堰水頭	流量	斷面積	平均流速	表面流速	潤邊	徑深	流速係數	等値粗度係數
測號	H(cm)	h(cm)	Q(cm³/sec)	A(cm²)	V(cm/sec)	W(cm/sec)	S(cm)	R(cm)	C	N_e
1	2.31	2.25	6100	231	26.4	36.0	104.62	2.19	82.6	0.0121
2	3.28	3.41	11300	328	33.2	47.4	106.56	3.08	83.7	0.0119
3	4.38	4.54	17800	438	40.6	——	108.76	4.03	84.6	0.0118
4	5.78	〃	〃	578	30.8	——	111.56	5.09	54.9	0.0182
5	7.58	5.64	24500	758	33.5	43.4	115.16	6.76	49.3	0.0203
6	8.58	6.82	32300	858	37.7	45.5	117.16	7.32	52.8	0.0190
7	9.58	8.23	42700	958	44.6	55.0	119.16	8.04	58.6	0.0171
8	10.18	9.32	51400	1018	50.5	——	120.36	8.46	64.2	0.0156
9	9.08	〃	〃	908	56.6	73.2	118.16	7.68	76.7	0.0130
1	1.31	1.23	2850	131	21.8	27.1	102.62	1.28	97.4	0.0103
2	2.03	2.00	5200	203	25.6	37.7	104.06	1.95	86.5	0.0116
3	2.92	3.01	9200	292	31.7	40.3	105.84	2.73	85.6	0.0117
4	3.85	3.95	14300	385	37.2	52.1	107.70	3.58	84.7	0.0118
5	4.38	4.62	18300	438	41.7	——	108.76	4.03	86.9	0.0115
6	5.78	〃	〃	578	31.7	38.8	111.56	5.18	55.8	0.0179
7	7.11	5.48	23600	711	33.2	42.1	114.22	6.23	51.8	0.0193
8	8.18	6.38	29300	818	35.8	42.7	116.36	7.03	51.5	0.0194
9	8.88	7.15	34700	888	39.1	51.7	117.76	7.54	53.9	0.0186
10	9.68	8.71	46500	968	48.0	60.6	119.36	8.12	62.7	0.0160
11	10.58	10.19	58800	1058	55.6	——	121.16	8.73	69.2	——

圖—41



圖—42



二回目觀測の最後の觀測に於ては急に流量を上げ過ぎたので不適と認め採用せぬ事とした.

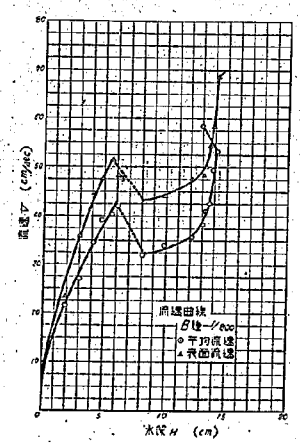
(iv)　勾　配　1/800

2 回觀測せるも始めの觀測は失敗したので採用せぬ事にした.

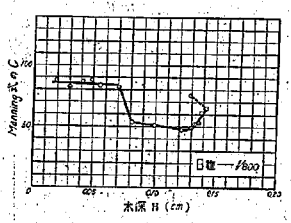
表—12　A 種 —— 1/800

觀番	水　深	堰水頭	流　量	斷面積	平均流速	表面流速	潤　邊	徑深	流速係數	等値粗度係數
測號	H(cm)	h(cm)	Q (cm³/sec)	A(cm²)	V (cm/sec)	V (cm/sec)	S(cm)	R(cm)	C	N_e
1	1.91	1.65	4100	191	21.4	23.4	103.82	1.84	86.9	0.0115
2	2.97	2.72	7900	297	26.8	36.1	105.94	2.80	82.1	0.0122
3	4.11	3.93	14200	411	34.6	44.5	108.22	3.80	86.4	0.0116
4	4.79	4.65	18450	479	38.8	47.4	109.58	4.37	88.3	0.0113
5	5.55	5.28	22300	555	40.2	51.3	111.10	5.00	83.7	0.0120
6	6.14	5.81	25600	614	41.7	47.7	112.28	5.47	81.7	0.0122
7	8.06	〃	〃	806	31.8	——	116.12	6.94	53.1	0.0188
8	9.89	7.02	33700	989	34.1	43.5	119.78	8.26	50.7	0.0197
9	12.14	8.29	43100	1214	35.5	47.4	124.28	9.77	47.3	0.0212
10	13.04	9.16	50000	1304	38.3	47.7	126.08	10.34	49.2	0.0203
11	13.24	9.55	53400	1324	41.0	50.0	126.48	10.47	52.1	0.0192
12	13.59	10.51	57800	1359	42.5	54.4	127.18	10.69	53.3	0.0187
13	13.84	11.22	68000	1384	49.2	57.8	127.68	10.84	61.1	0.0164
14	14.19	12.02	75400	1419	53.1	68.5	128.38	11.05	65.2	0.0153
15	12.95	〃	〃	1295	58.2	——	125.90	10.29	74.9	0.0134

圖—43



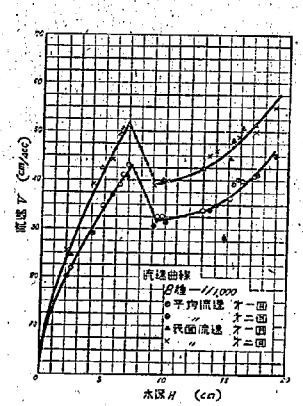
圖—44



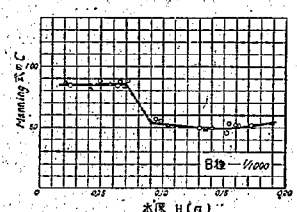
（v）勾配 1/1000　　表—13　A種 —— 1/1000

觀測番	水深	堰水頭	流量	斷面積	平均流速	表面流速	潤邊	徑深	流速係數	等価粗度係數
	H(cm)	h(cm)	Q (cm³/sec)	A(cm²)	V (cm/sec)	W (cm/sec)	S(cm)	R(cm)	C	N_e
1	2.44	2.01	5300	244	21.7	27.6	104.88	2.33	84.1	0.0119
2	4.92	4.40	17000	492	34.6	42.4	109.84	4.48	86.8	0.0115
3	6.32	5.65	24600	632	39.0	49.3	112.64	5.61	84.1	0.0119
4	6.51	6.01	26800	651	41.2	50.5	113.02	5.76	87.4	0.0114
5	7.04	6.56	30500	704	43.3	51.3	114.08	6.17	87.7	0.0114
6	9.39	〃	〃	939	32.5	——	118.78	7.91	55.8	0.0179
7	9.78	6.76	31900	978	32.6	40.0	119.56	8.18	54.7	0.0183
8	13.02	8.42	44100	1302	33.8	42.4	126.04	10.33	48.6	0.0206
9	15.22	9.40	52100	1522	34.2	43.5	130.44	11.67	45.3	0.0221
10	15.38	10.36	60300	1538	39.3	48.1	130.76	11.76	51.7	0.0193
11	16.17	10.82	64400	1617	39.8	50.8	132.34	12.22	51.1	0.0196
12	17.17	11.43	70000	1712	40.8	51.3	134.34	12.78	50.8	0.0197
1	2.09	1.69	4200	209	20.1	25.6	104.18	2.01	85.9	0.0116
2	4.12	3.55	12000	412	29.1	38.8	108.24	3.81	81.3	0.0123
3	5.72	5.10	21200	572	37.1	44.1	111.44	5.13	85.0	0.0118
4	6.87	6.16	27800	687	40.5	——	113.74	6.04	83.2	0.0120
5	9.09	〃	〃	909	30.6	39.0	118.18	7.69	53.5	0.0187
6	10.42	6.86	32600	1042	31.3	40.0	120.84	8.62	50.7	0.0197
7	13.54	8.65	46000	1354	34.0	44.8	127.08	10.65	47.9	0.0209
8	14.02	9.14	49800	1402	35.1	46.1	128.04	10.95	48.5	0.0206
9	15.92	10.75	63800	1592	40.1	48.8	132.84	12.08	51.9	0.0193
10	17.37	11.53	70900	1737	40.8	49.8	134.74	12.09	50.6	0.0198
11	18.87	13.00	84700	1887	44.9	54.9	137.74	13.70	53.4	0.0187

圖—45



圖—46



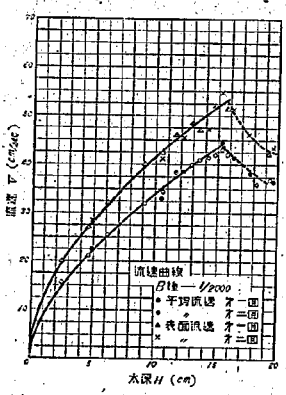
勾配 1/1000 の場合には S, Tに 相當する點は現はれたが，試驗槽の水深淺かつた爲めに 20 cm以上に高めるを得ず，從つて G, H に相當する點を見出す事が出來なかつた事を殘念に思つてゐる．

(vi) 勾 配 1/2000

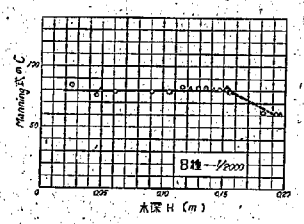
表—14　A 種 —— 1/2000

親番	水 深	堰水頭	流 量	斷面積	平均流速	表面流速	潤 邊	徑心	流速係數	等値粗度係數
測號	H(cm)	h(cm)	Q(cm³/sec)	A(cm²)	V(cm/sec)	W(cm/sec)	S(cm)	R(cm)	C	N_e
1	2.51	1.60	3900	251	15.5	19.7	105.02	2.39	83.7	0.0120
2	4.62	3.07	9550	462	20.7	27.2	109.24	4.23	76.1	0.0131
3	6.12	4.22	15850	612	25.4	32.4	112.24	5.45	79.1	0.0126
4	9.14	6.38	29350	914	32.1	40.0	118.28	7.73	79.1	0.0126
5	10.54	7.40	36400	1054	34.6	42.4	121.08	8.70	78.7	0.0127
6	11.64	8.47	44500	1164	38.2	46.1	123.28	9.44	82.5	0.0121
7	12.94	9.39	51800	1294	40.0	48.5	125.88	10.25	81.6	0.0123
8	13.54	9.80	55500	1354	41.0	47.2	127.08	10.65	81.6	0.0123
9	14.74	10.60	62400	1474	42.3	51.80	129.48	11.38	80.6	0.0124
10	15.31	11.01	66050	1531	43.1	——	130.62	11.72	80.5	0.0124
11	15.49	〃	〃	1549	42.7	51.54	130.98	11.83	79.2	0.0126
12	18.18	〃	〃	1818	36.3	——	136.36	13.33	62.3	0.0161
13	19.29	11.53	70900	1929	36.8	42.37	138.58	13.93	61.2	0.0163
1	4.87	3.33	10850	487	22.5	28.5	109.74	4.44	80.3	0.0125
2	10.47	7.38	36300	1047	34.7	41.2	120.94	8.66	79.2	0.0126
3	12.22	8.72	47000	1222	38.5	45.5	124.44	9.82	81.0	0.0123
4	14.22	10.21	59000	1422	41.5	47.2	128.44	11.07	80.5	0.0124
5	15.37	11.07	66600	1537	43.4	——	130.74	11.76	80.8	0.0124
6	15.27	11.21	67900	1527	44.5	54.7	130.54	11.70	83.2	0.0120
7	16.35	〃	〃	1635	41.5	51.3	132.70	12.32	75.0	0.0133
8	17.67	〃	〃	1767	38.4	46.1	135.34	13.06	66.8	0.0150
9	19.57	11.60	71500	1957	36.6	43.5	139.48	14.06	60.5	0.0165

圖—47



圖—48



勾配 1/2000 の場合に於ても 水路の水深を 20 cm 以上にする事を得ず, S, T に相當する點しか觀測する事が出來なかつた.

(c) C種試驗用砂

後に示す平均流速曲線を見ると，1/300に於ては水深 4.87 cm の處で曲線が急に折れてゐる様に感ずる．又1/600に於ては水深 5.89 cm にて，又 1/800 にては 2.99 cm に於て曲線が折れてゐる様に感ずるので，此の邊に何か意味があるのではないかと考へたが，1/300 にては河床の移動開始點が曲線の折點以前の淺い水深に存するに反し，1/800にては折點以後相當深い水深に存在するので，少くとも河床の移動開始點に就ては何等關聯のないものと思はれる．移動開始點に關係が無ければ餘り重要ではないから曲線に折目を入れないで全體として連續にして了つても良いのではないかと考へ圖—49の如く $R-V$ の對數曲線を作り折目にかまはず直線を引張つて見た所，各勾配共略々平行になつたので殊更に曲線を折らない事にした．又 1/1000, 1/2000 の場合には折目は全然見當らない．

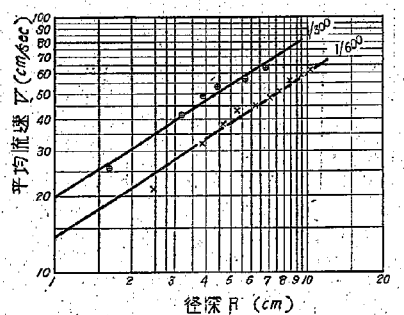
以下各勾配に就て觀測値，流速曲線，C 曲線を示す．

(i) 勾配 1/300

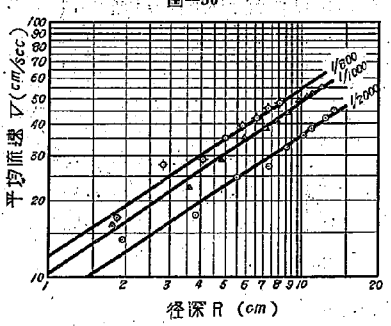
表—15 C種 —— 1/300

觀測番號	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等值粗度係數 N_e
1	1.71	1.76	4400	171	25.7	32.8	103.42	1.65	54.41	0.0184
2	3.42	3.92	14100	342	41.2	52.6	106.84	3.20	56.11	0.0178
3	4.25	5.00	20600	425	48.5	58.8	108.50	3.92	57.67	0.0173
4	4.87	5.80	25600	487	52.6	——	109.74	4.44	54.67	0.0183
		6.92	36500							
5	6.37	(6.42)	(29600)	637	56.9	66.7	112.74	5.65	55.82	0.0179
6	7.87	9.50	53000	787	62.4	76.9	115.74	6.80	51.39	0.0195

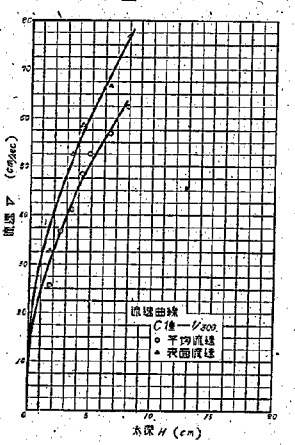
圖—49



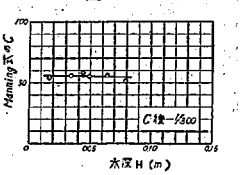
圖—50



圖—51



圖—52



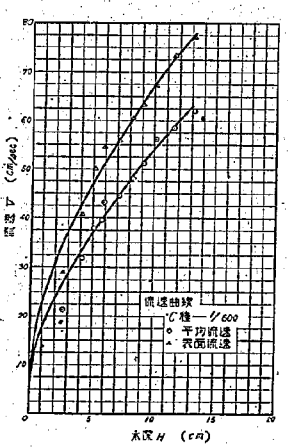
移動開始點は1番目の觀測點よりは2番目の觀測點に近かつたので，各觀測點を通して妥當らしき曲線を引き，この曲線に1番目と2番目の觀測點より垂線を下し，その兩足間の曲線分の上から約 1/3 の點を移動開始點に決めた．

(ii)　勾　配　1/600

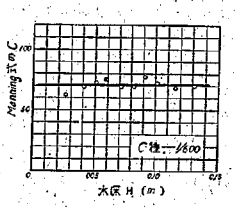
表—16　C 種 — 1/600

觀測番號	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等流抵抗係數 N_e
1	2.58	2.10	5500	258	21.3	28.8	105.06	2.46	61.68	0.0162
2	4.12	3.74	13100	412	31.8	40.7	108.24	3.81	68.79	0.0145
3	5.11	4.80	19300	511	37.8	50.0	110.22	4.64	71.70	0.0139
4	5.89	5.80	25500	589	43.2	54.6	111.78	5.27	75.27	0.0133
5	7.14	6.76	31800	714	44.5	55.9	114.28	6.25	69.20	0.0145
6	8.19	7.80	39400	819	48.1	60.6	116.38	7.04	69.09	0.0145
7	9.09	8.72	46500	909	51.2	63.3	118.18	7.69	77.19	0.0130
8	10.09	9.65	54200	1009	56.2	67.2	120.18	8.40	71.76	0.0140
9	11.59	11.20	67800	1159	58.5	73.2	123.18	9.41	68.21	0.0147
10	13.09	12.65	81300	1309	62.1	77.0	126.18	10.38	69.93	0.0143

圖—53



圖—54



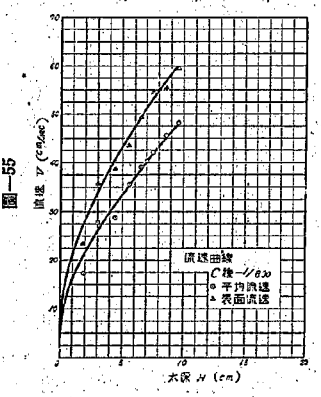
此の場合にも移動開始點の位置は前の 1/300 の時の樣にして定めたが，此の場合には3番目と4番目の觀測點は接近してゐるので單に曲線分を 1/2 に分けた．

(iii) 勾配 1/800　　表—17　C種 —— 1/800

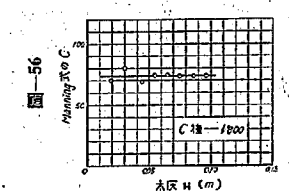
觀測番號	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等値粗係數 N_e
1	1.91	1.40	3300	191	17.3	23.5	103.82	1.84	70.11	0.0143
2	2.99	2.35	6500	299	27.7	35.7	105.98	2.82	79.68	0.0126
3	4.44	3.70	12800	444	28.8	38.7	108.88	4.08	68.65	0.0146
4	5.54	4.84	19600	554	35.4	43.5	111.08	4.99	73.78	0.0136
5	6.54	5.80	25500	654	39.0	49.3	113.08	5.78	73.70	0.0136
6	7.54	6.73	31800	754	42.1	54.4	115.08	6.55	73.19	0.0137
7	8.59	7.75	39100	859	45.5	56.0	117.18	7.33	72.78	0.0137
8	9.59	8.68	46200	959	48.2	59.5	119.18	8.05	73.03	0.0137

(iv) 勾配 1/1000　　表—18　C種 —— 1/1000

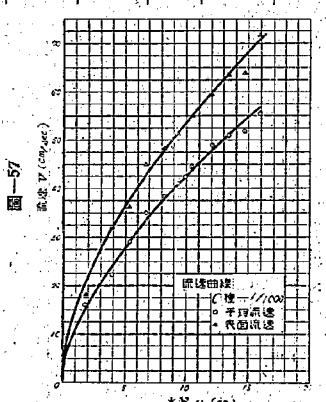
觀測番號	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等値粗係數 N_e
1	1.84	1.23	2900	184	16.1	18.2	103.68	1.77	74.97	0.0133
2	3.87	2.90	8700	387	22.4	32.1	107.74	3.59	65.09	0.0154
3	5.27	4.11	15300	527	29.1	36.2	110.54	4.77	69.97	0.0149
4	6.67	5.45	23300	667	35.0	45.1	113.34	5.88	73.20	0.0137
5	8.22	6.70	31500	822	38.3	48.5	116.44	7.06	70.91	0.0141
6	9.33	7.68	38100	933	40.9	51.3	118.66	7.86	70.49	0.0142
7	10.47	8.71	46400	1047	44.3	55.0	120.94	8.66	71.58	0.0140
8	12.07	10.19	58900	1207	48.8	59.5	124.14	9.72	73.01	0.0137
9	13.37	11.24	68100	1337	50.9	63.7	126.74	10.55	72.10	0.0139
10	14.67	12.10	76000	1467	51.8	63.8	129.34	11.34	69.92	0.0143
11	15.87	13.30	87600	1587	55.2	66.7	131.74	12.05	71.56	0.0140



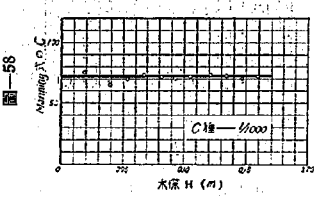
圖—55



圖—56



圖—57



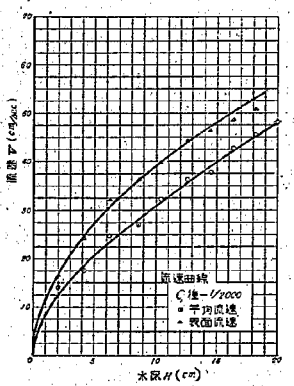
圖—58

（v） 勾 配 1/2000

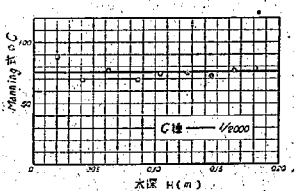
表—19　C 種 —— 1/2000

測番	水深 H(cm)	堰水頭 h(cm)	流量 Q(cm³/sec)	斷面積 A(cm²)	平均流速 V(cm/sec)	表面流速 W(cm/sec)	潤邊 S(cm)	徑深 R(cm)	流速係數 C	等値粗度係數 N_e
1	1.99	1.12	2800	199	14.05	16.5	103.98	1.92	87.64	0.0114
2	4.14	2.56	7300	414	17.6	24.4	108.28	3.82	69.42	0.0144
3	6.17	4.10	13200	617	24.7	32.1	112.34	5.50	76.94	0.0130
4	8.56	5.73	23100	856	27.0	36.2	117.12	7.30	69.13	0.0145
5	10.38	6.97	33400	1038	32.2	39.7	120.76	8.60	73.91	0.0135
6	12.64	8.62	45700	1264	36.2	44.3	125.28	10.09	74.70	0.0134
7	14.51	9.70	54700	1451	37.7	46.3	129.02	11.24	72.40	0.0138
8	16.44	11.41	69700	1644	42.4	48.5	132.88	12.37	76.38	0.0131
9	18.24	12.80	82800	1824	45.4	50.8	136.48	13.37	77.65	0.0129

圖—59



圖—60



此の場合には最後の觀測の時にそろそろ河床の細粒が動き始めたので，次の水深 20 cm 位を移動開始點としてもよからうと云ふ見地で 20 cm を開始點とした．本當は水深を 20 cm 以上に增して確かめねばならないのだが水路の都合上之が出來なかつたので此の程度の推測に止めざるを得なかつた．

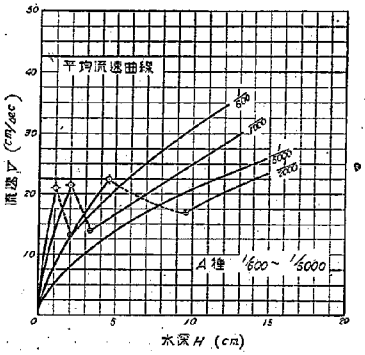
V. 各種試驗用砂に於ける限界掃流力

[1] 掃流限界點

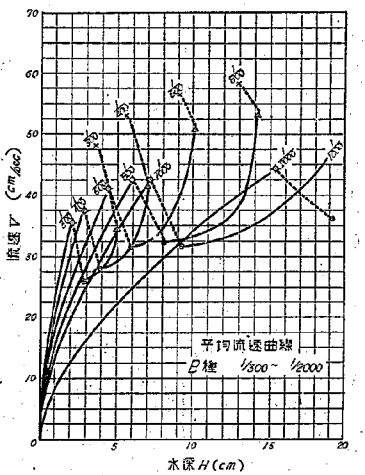
前章第[6]節に於て各勾配毎に示した掃流限界點を各試驗用砂毎に纏めれば次の如くである．圖—61はA種試驗用砂に關するもので限界點は 1/2000 迄明瞭に現はれたが 1/5000 に就ては判然しない．

圖—62はB種試驗用砂に關するもの，圖—63はC種試驗用砂に關するものである．

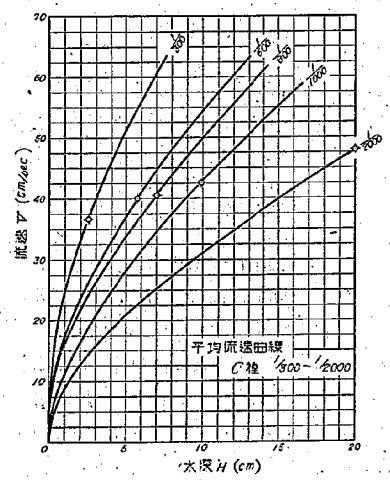
圖—61



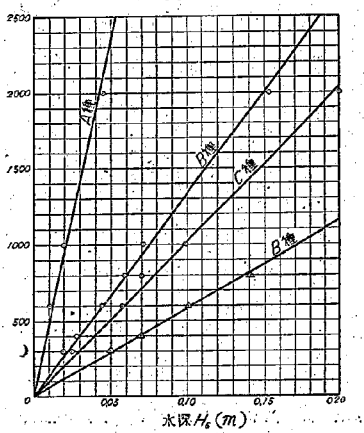
圖—62



圖—63



圖—64



圖中觀測點△は圖—18Gに相當する點である.

[2] 掃流限界に於ける勾配と水深との關係

Du Boys 以來掃流力FはγHIとして表はされてゐるが，今こゝで掃流限界點に於ける掃流力即ち限界掃流力F_0と，その時の水深H_0及び勾配I_0との間に河床材料に依り如何なる關係が存在するかを調べよう.

圖—61, 62及び63より限界點に於けるH_0とI_0とを拾つて曲線を畫けば圖—64の如く，各種試驗用砂共殆ど直線と見做して差支へない. 此の實驗に於ては1/2000よりも緩なる勾配に於ては，河床は移動を始める迄水深を高め

る事が出來なかつたので正確な事は云へないが，圖—64に示す直線の延長は或は上方に向つて凸なる曲線をなすのではないかと，圖—61, 62, 63の曲線群から考へられる．併し記錄のある範圍即ち 1/2000 以上の急勾配に於ては直線と見做して了つても差支へないであらう．そこで之を直線とすれば $(\gamma H_0 I_0)$ は各材料に就て一定と云ふに外ならず，この材料に特有の數値を以て限界掃流力としても差支へない．

A種試驗用砂

$1/I_0$	600	1000	2000
H_0 (m)	0.011	0.020	0.045

$$H_0 I_0 = 0.00002184$$

$$S_0 = \gamma H_0 I_0 = 0.022 \ (\mathrm{kg/m^2})$$

但し $\gamma = 1000\mathrm{kg}$ とす．

B種試驗用砂

$1/I_0$	300	400	600	800	1000	2000
H_0 (m)	0.020	0.028	0.044	0.059	0.071	0.153

$$H_0 I_0 = 0.00007493$$

$$S_0 = \gamma H_0 I_0 = 0.075 \ (\mathrm{kg/m^2})$$

C種試驗用砂

$1/I_0$	300	600	800	1000	2000
H_0 (m)	0.025	0.057	0.070	0.099	0.200

$$H_0 I_0 = 0.00009816$$

$$S_0 = \gamma H_0 I_0 = 0.098 \ (\mathrm{gk/m^2})$$

試みに Kramer の式に依りて各種試驗用砂に對する限界掃流力を算出すれば，

A種試驗用砂

$$d_g = 0.2211 \ (\mathrm{mm})$$

$$M = 0.6755$$

γ = 試驗砂の比重 = 2.7

γ_0 = 水の比重 = 1.0

$$\therefore S_0 = \frac{100}{6} \frac{(\gamma - \gamma_0)}{M} d_g = 9.27 \ (\mathrm{gr/m^2})$$

B種試驗用砂

$$d_g = 0.7002 \ (\mathrm{mm})$$

$$M = 0.1830$$

$$\therefore S_0 = \frac{100}{6} \frac{1.7 \times 0.7002}{0.183} = 108.41 \ (\mathrm{gr/m^2})$$

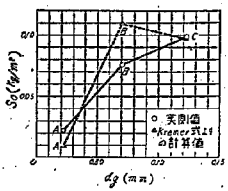
C種試驗用砂

$d_g = 1.2205\,(\mathrm{mm})$

$M = 0.3560$

$$\therefore\ S_0 = \frac{100}{6}\cdot\frac{1.7\times 1.2205}{0.356} = 97.14\ (\mathrm{gr/m^2})$$

圖—65



此の計算値と實測値を平均粒徑 d_g について比較してみれば圖—65の如くである.

[3] 限界掃流力公式

河床面積 1m², 層の厚さ d(m) の掃流力に對する抵抗力 R は, α を砂利の空隙率, γ を其の比重, γ_0 を水の比重, f を摩擦係數とすれば,

$$R = f\,(\gamma-\gamma_0)\,(1-\alpha)\,d\cdot 1\cdot 1\ (\mathrm{kg/m^2})$$

にて表はされる.

之が掃流限界に於て限界掃流力に等しい.

玆に dの代りに平均粒徑 d_m を用ひ, α は空隙率にしてデメンションがないから, 之に關聯して空隙の狀態を表はすデメンションのない指數として平均粒徑以下の重量百分率とそれ以上の重量百分率との比 λ を用ひる事にして上式を書直せば

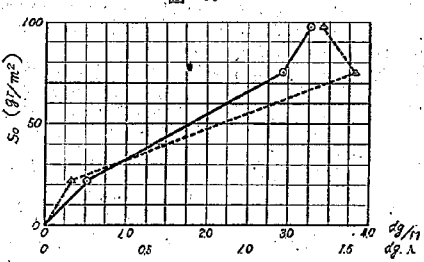
$$F_0 = R = k\,(\gamma-\gamma_0)\,\lambda d_m$$

を得る. 玆に kは實驗に依りて定めればよい.

材質が一定であれば $k\,(\gamma-\gamma_0)$ は一定であるから F_0 と λd_mは直線比例をなす事になる. 此の實驗に使用せる3種の試驗用砂に就て調ぶるに次の如くである. 尙 Kramer の式では γ が一定なれば F_0 は $\frac{d_m}{M}$に比例する事になるから序に $\frac{d_m}{M}$の値をもこの3種に就て算出してみた.

	d_m(mm)	λ	λd_m	d_m/M	S_0(gr/m²)
A 種	0.22	0.947	0.208	0.326	22
B 種	0.70	1.675	1.173	3.825	75
C 種	1.22	1.075	1.311	3.427	98

圖—66



F_0 と λd_m 及び $\frac{d_m}{M}$の關係を圖示すれば圖—66の如くである.

之に依れば λd_m の方が d_m/M よりも F_0 に對しては遙かに直線比例をなす樣に思はれるが, 試驗として未だ3種に過ぎず, 粒徑も比較的小さいので, 之丈で速に斷する事は出來ない. 今後引續き粒徑及び混合割合を變へて實驗し, 如何にすれば適切に限界掃流力を現はし得るかを研究する積りである.

VI. 結　語

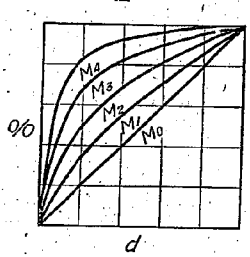
以上の事より大體次の如きが云へよう.

（1）砂粒の移動は極めて表面的で，表面砂粒移動の爲めに引きづられて內部の砂粒迄一緒に動くといふ事はない.

（2）先づ細粒から掃き流され，細粒に依る支へが無くなりて始めて粗粒が轉動する.

（3）掃流されつゝある河床の狀態は，河床砂細粗粒の混合狀態に依りて著しく異る.

圖—67



圖—67の篩分曲線中 M_0 の如く直線的なものは圖—18に示す如き $S\sim T\sim G\sim H$ なる變化即ち平滑な河床が水深の增加と共に砂連のある凹凸なものになり，更に再び比較的平らな河床に歸ると云ふ三段の變化をしないが，M_2, M_3 と細粒子の增加して來るに從ひ此の變化が行はれる．そして M_4 位になると $S\sim T$ と $G\sim H$ との開きが大となり，例へばA種試驗用砂の如きでは如何なる水深に於て G なる點が現はれるか分らない程にもなる.

之等の限界が何處にあるかは又別問題で，本實驗には試驗用砂は3種に過ぎなかつたので之を見出す事は出來なかつた.

（4）限界掃流力 F_0 を

$$F_0 = \gamma H_0 I_0$$

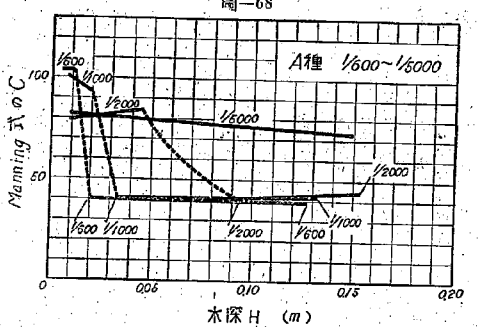
と定義すれば，之は砂の性質に從つて或る定數である．即ち砂粒の掃流限界點に於ては水深と勾配とは反比例す.

（5）從つて模型用砂を掃流力的相似に決めるには上の式を用ひてよい.

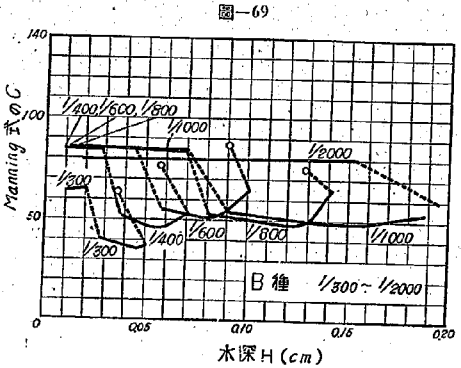
（6）掃流力的相似より模型用砂を決定したら流量の關係は(9)式に依るか，又は(12)式に依る．(9)式に於ては流速係數を $C\propto(VR)^{\beta}$ と見做して居るから概算的傾向を免れないが，(12)式に於ては $\left(\frac{C_N}{C_M}\right)$ は共の儘式中にあるから C_M を豫備實驗で個々の模型用砂に就て調べねばならない．例として ABC 3種の試驗用砂に就て C 曲線を示せば圖—68～70の如く，斯る C～圖に依りて模型の水深に相當せる C の値を用ふべきである.

（7）Gaukler Strickler の流速公式に依りて模型用砂を決定する時は河床の粗度的には相似性を得るが，砂粒の移動に關し

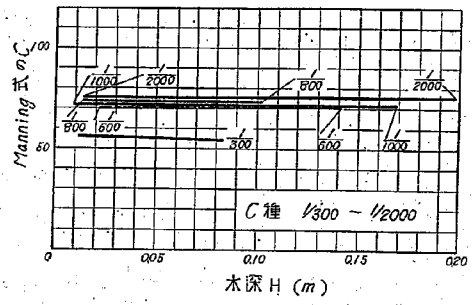
圖—68



圖—69



圖—70



では何等の相似的關係はない．故に極端に云へば之に依る模型用砂は動かなくてもよいといふ事になる．

（8） Kramer の式に依る限界掃流力の値は此の實驗範圍内に於ては實測値と合はない．

細粗粒の混合狀態を表はす係數として Kramer は圖—1 に示す如く單に 50 %にて分ち，之以下の面積（mm・%）と以上の面積（mm・%）との比 M を使用してゐるが，之では篩分曲線の curve の形を云ひ表はすには不充分である．それよりも筆者の提案せる λ は平均粒徑以下の %と以上の % との比であるから，曲線の形に依りて直ちに平均粒徑が變り，之に從つて直ちに % が變るので，前の M よりもより適切に細粗粒の混合狀態を表はしうると思ふが，今後の實驗に於て尚ほ確める積りである．

（9） 限界掃流力を表はす式は

$$F_0 = k\,(\gamma - \gamma_0)\,\lambda d_m$$

となる．茲に λ は $\frac{1}{M}$ でもよい．之が $\gamma H_0 I_0$ に等しいのであるから，

$$I_0 = \frac{k\,(\gamma-\gamma_0)}{\gamma} \cdot \frac{\lambda d_m}{H_0}$$

故に河川の其の箇所に於ける洪水位 H_0 を知れば其の河床を安定に保ち得べき勾配，即ち平衡勾配が分る．茲に γ, λ, d_m は河川の其の箇所に於ける砂利に關するものとしなければならない．

防波堤に及ぼす波の壓力竝に堤體の安定に關する實驗的研究

（第 1 報）

1. 重複波の壓力

內務技師　松尾春雄

要　旨

重複波，碎波と區別して之等が防波堤に及ぼす壓力竝に之による防波堤の安定に就て實驗的に研究する．本第1報告に於ては初めに壓力測定裝置に就て述べ次に鉛直壁竝に階段狀及傾斜壁面に作用する重複波の壓力の實驗結果を記す．この結果に依れば波長に比し小なる長さの範圍に於て壁を異形ならしめる事は波の全壓力に影響する處は小である．堤の根本が洗掘される問題を除き，波の壓力による堤の安定のみに就て考へれば，波の力を同時には受けない形の異形壁の方が有利である．重複波の壓力測定値は在來の Sainflou 式の示す値より稍小であり分布狀態は之と似てゐる．

目　次

I. 概　　要……（1）
II. 實驗設備及壓力測定裝置……（2）
III. 鉛直壁に作用する壓力……（5）
IV. 階段狀及急斜面上の壁に作用する壓力……（9）
V. 結　　言……（17）

I. 概　　要

防波堤に作用する波の力に就ては從來理論的に又實驗的に多くの研究がなされたに拘らず未だ十分な結論が得られてゐない．アフリカ北岸 Alger 港の Mustapha 防波堤は，世界最大の防波堤として斯界の先進國フランスの權威者の知識を集めて完成されその偉容を誇つたのであるが，完成後數年ならずして暴風波の爲に無殘にも倒壞した．此の如き例は世界各地では相當な數に上り我國でもその例に乏しくない．之は尙研究すべき問題が殘されてゐる事を示すものであり，特に碎波に關しては未知の分野が廣いやうに思はれる．

我國では在來堤に作用する波の壓力を算出するに專ら廣井博士の式が用ひられてゐる．此の式は波に關する知識が未だ混沌としてゐたその時代にあつては一の光明を點じたものとしてその功は赫々たるものであるが，今日に於ては之に更に一歩を進めた考へ方をしなければならぬと思ふ．

重複波の研究は近年長足の進歩をなした．卽 Benezit, Lira, Sainflou, Gourret 氏等の主として佛蘭西系統の學者によつて理論的計算式が發表され，實驗的には Larra, Stucky, Bogolepoff 氏等によつて之が證められて，上記の理論的計算式が近似的には適用出來得る事が明かにされた．

しかし碎波に就ては米國大湖に於て Gaillard 氏が觀測したものが殆ど唯一の資料であり之は近年更に Molitor 氏に依り再檢討された程度で十分な資料がなく從つて計算式の適當なものもない．最近 Larra 氏がフランスの Pont et Chausseés の實驗室に於て模型試驗を行つたのが此の方面の唯一な貴重な資料である．

從つて碎波に就ては殆ど知られてゐないのであるが，我國の防波堤は比較的淺い場所にあるものが多く碎波に

作用される機會が多い.

尙堤に働く揚壓力は安定に對しては非常に大なる影響を與へるに拘らず, 重複波及碎波何れの場合にも餘り研究されてゐない. 北海道網走に於て實際に觀測した結果及之と關聯して行はれた平尾氏の實驗が殆ど唯一の資料である.[1]

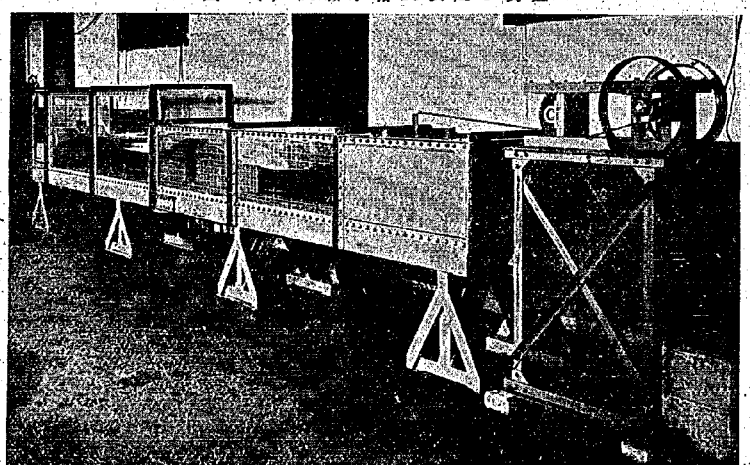
依つて上記の2問題を中心として實驗的な資料を得る爲に本試驗を行つた. 試驗と平行して實際の場合に於ける壓力を測定すべく大阪府河港課と協力して堺港に於てその設備を目下準備中である.

本報告は鉛直壁及稍之を變形せる異形防波堤に作用する重複波の壓力を測定した結果であつて, 堤を異形にした場合の得失を比較した. 碎波に關する研究は次報に發表の豫定である.

II. 實驗設備及壓力測定裝置

試驗に用ひた水槽は寸法長さ 6.50 m, 幅 0.60 m, 高さ 0.47—0.74 m の側面硝子張底面板張りの鋼製枠のものであつて, その一端に壓力測定壁を設け他端に波起し裝置を設けた. 波起し裝置は水槽の長さの方向に直角に向けた寸法 .48×.60 m の矩形板の底部に蝶番を取付けたものを水槽の端から .81m の場所に設け, 蝶番の周りに壁が回轉する樣にし壁に取付けた山形鋼を1/2馬力の速度可變の交流電動機によつて振動せしめて波を送る. 振動の周期は 1.25 乃至 3.0 秒である. 後には孤立波によつて試驗を行つたが之は水槽の端から .81 m の點に隔壁を設けて之によつて仕切られた部分の水位を豫め一般水槽の內の水位よりも 10 cm 或は 15 cm 高くしておき

圖—1 (a) 試驗水槽及波起し裝置



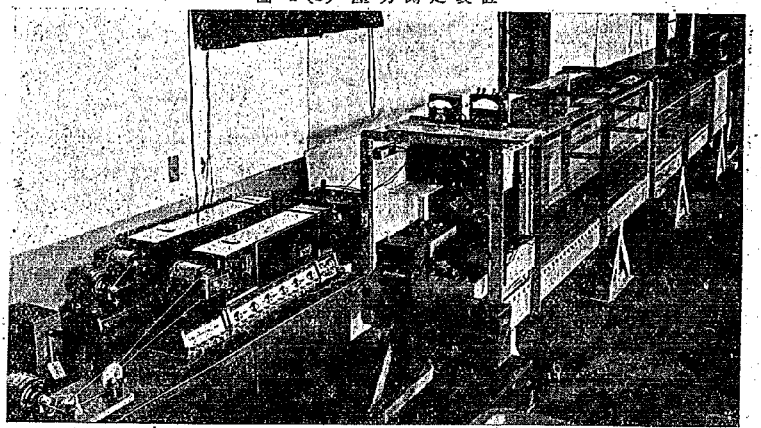
この隔壁を急に取除く方法によつた.

電動機によつて波を起した場合には波で槽內が亂されない樣な周期を選んだ. 卽ちこの周期の板の振動によつて槽內に定常波が生ずる場合を選び壓力は波が略ゝ安定した狀態で測定した. 隔壁を用ひた場合には隔壁內の水位が一定ならば殆ど常に一定の波を得た.

試驗槽內の水深は殆ど常に $H=30$ cm であるが特に $H=35$ cm にした場合もある.

1). 第3回工學大會講演集. 土木關係. 328頁

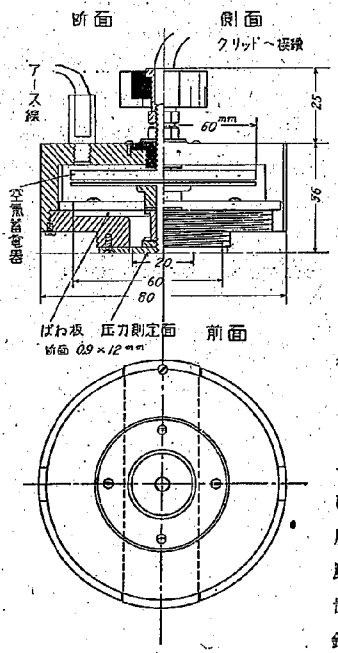
圖—1 (b)　壓力測定裝置



波形は特殊の電氣裝置により自記せしめる事を試みて或程度成功はしたが，時間的に多少のおくれを生ずる事が明かとなつた爲試驗の大部分は硝子側面から 16 mm 撮影器を以て映し之によつて波形を觀測する事とした．

波の進行中に水分子が移動する狀態を見る爲水中にマグネシウム

圖—2 (a)　受壓器構造圖



圖—2 (b)　組立及分解寫眞

徴粉末を浮游せしめて試驗室を暗室とし，水槽底面に設けた硝子張スリットから光を照して撮影した．

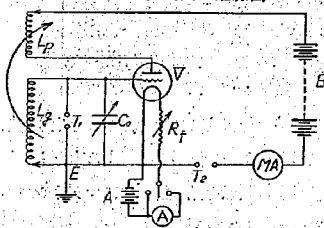
壓力は壁面に設けた徑 2 cm の圓形部分に作用する壓力を後に述べる當所考案の裝置によつてオツシログラフに自記せしめる．同時に 6 ケ所の壓力を測定し得る能力があるが實驗の都合上多くは 3 ケ所だけ宛を同時に記錄せしめた．波形を 16 mm で撮影した記錄と壓力の記錄とを時間的に對照する爲に同一回路中に 2 個の豆電球を置き 1 個の明滅はオツシログラフに他の 1 個の明滅を 16 mm に記錄した．壓力記錄中には 1/100 秒宛に時間記錄を挿入してあるが

16 mmの波形の方は此の如き記錄を挿入する事が出來なかつた爲早く廻轉する時計を同時に撮影する樣にしたが，この廻轉速度が十分に正確でなかつた爲，且又撮影器の齒の塗りも必ずしも正確でなかつた爲，前記同時記錄の附近以外では波形を十分精密に波壓記錄と一致せしめる事は出來なかつた．

試驗の種類は第1報として整理したものは鉛直壁及 圖—10 に示した如き異形壁に就て周期 1.25～3.6 秒の波に就ての異る高さに於ける壓力を測定した．波高の波長に對する比は重複波としては 0.012～0.06 の範圍であるが主として 0.045～0.06 のものが多い．外海の波としては上記の約 1/2 の値になる筈である．

壓力測定裝置　壓力測定には圖—2 に示す如き構造のものを用ひた．之は徑 2 cm の圓形部分に壓力が作用した場合にばね鋼に歪を生じこの歪を圓鋼に傳へ固定圓鋼との間の僅かの間隙の變化を電氣的に測定するものである．ばね鋼は徑間 6.0 cm，鋼の厚さ 0.3 mm，幅 12 mm のものを用ひた．之は眞空管發振器の回路中に前記の空氣蓄電器を挿入しこの蓄電器の容量の變化による發振器のプレート電流の變化をオツシログラフにて幅 9 cm 長さ 34 cm のブロマイド紙上に記錄する．この方法は遞信省電氣試驗所に於て比較的大なる壓力を測定する場合に採用されたのであつて，[1] 電氣回路は之に依つたが當所に於ては小なる壓力を測定する必要から全然異つた受壓器の構造を考案した．當所に於て使用した發振器の詳細は圖—3 に示した通りである．

圖—3　壓力測定用配線圖

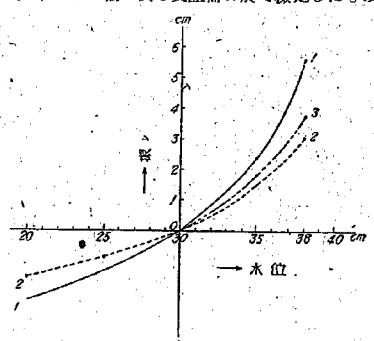


T_1…受壓器の空氣蓄電器接續用端子
T_2…オツシログラフ接續用端子
Lp…プレート線輪
Lg…グリッド線輪
E…接地用端子
C_0…調節用空氣可變蓄電器
V…眞空發振管(U×201－A)
Rf…フィラメント電流調節用抵抗器
A…フィラメント點火用蓄電池，6 Volt
Ⓐ…フィラメント電流計
MA…出力電流測定用電流計
B…プレート電壓用蓄電池，100 Volt

オツシログラフに使用した振動子は横河製作所H型であつて，1/1000 秒までの振動現象を記錄し得るものである．

振動する壓力の測定にはピエゾ電氣による方法，炭素板の壓力の變化によつて生ずる電氣抵抗の變化を利用する方法，光學的に板の歪を擴大して讀みとる方法等が考へられるが，ピエゾは濕度の爲，炭素板はヒステリシスが大なる爲に使用する事が出來ず，光學的の方法は場所の關係で採用する事が出來なかつた爲，上記の方法を採用する事にした．

圖—4　壓力檢定曲線
1，2，3 は 3 個の異る受壓器に於て檢定したもの



波形を記錄する爲に上記と同樣の方法を用ひ水中に鉛直に挿入した內徑 3mm の硝子管中に B. S. 26番 の銅線を張りこの金屬線と水との間の蓄電容量の變化により水位を記錄せしめる事に成功したが，之は硝子管に附着する水の爲に時間的に多少のおくれがある事が明らかとなつた爲之を用ひない事とした．

波壓計を檢定するには水槽の壁附近を仕切りその中の水位を變化せしめて壓力との關係を見た．この檢定は各回の試驗後に行ひ各回毎にブロマイド紙に記錄をとり之から檢定曲線を作つた．この檢定の爲に水位は試驗中に現はれた最高水位

1)　電氣試驗所報告 303 號 (1931年 2 月) "The Instantaneous Pressure Recorder and Its Applications".

と最低水位との間を一回往復せしめるのであるが之に要する時間は約2分であつて，波壓試驗終了から受壓器檢定終了までには約5分を要した．圖—4はこの檢定曲線の一例であつてヒステリシスの現象は認められなかつた．

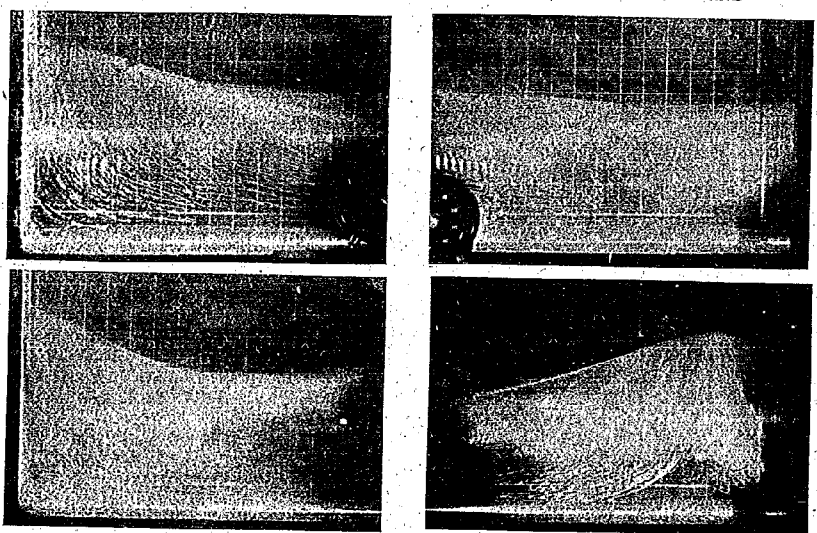
瞬間的の壓力を測定する場合には受壓器の可動部分の自己振動周期が問題になつたのであるが之は測定の結果約 1/100 秒であつた．

III. 鉛直壁に作用する壓力

鉛直壁に作用する重複波の壓力は水深 30 cm として周期 1.25～3.00 秒の範圍に於て壁の幅の略中央に於て底

圖—5　鉛直壁に於ける水の實質部分の運動狀況

鉛直壁前面附近　　鉛直壁より約1/2波長距つた附近



よりの高さ H=35, 32, 30, 17.5, 5 cm の各點の鉛直面に作用する壓力及底面の壁から 5 及 100 cm の2點に於て水平面に作用する壓力を測定した．試驗の種類は表—1 に示す通りである．壁前面に於ける水の實質部分の運動狀態を撮影した結果は圖—5 の通りであつて，正しく定常波運動を示してゐる．

波の壓力の寫眞記錄は本文終りの寫眞 1～5 に示す通りであり，之等を更に適當に排列した結果を圖—6(a)及(b)に示した．圖—7 及 圖—8 は之の中最大及最小の値をとつて，之と計算値を比較した結果である．

圖—7 の右下に示した計算値は Sainflou 氏の重複波の式[1] に依つた．之によれば波の壓力の最大及最小は次式により表はれる．

$$p = Co \pm h\left(\frac{\cosh \pi \frac{H-Co}{L} \quad \sinh \pi \frac{H-Co}{L}}{\cosh \pi \frac{H}{L} \quad \sinh \pi \frac{H}{L}}\right)$$

玆に p は靜水面下 Co の深さにある水分子が示す壓力の強さである．h は壁直前に於ける全波高の 1/2，L は波長の 1/2，H は水深（靜水時の）である．正負の符號の正は壓力が最大の場合，負は最小の場合である．この

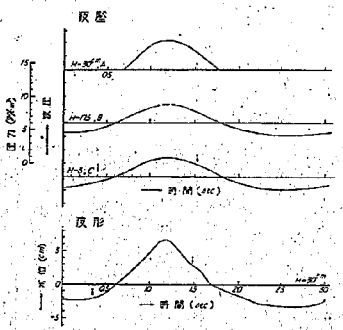
1) "Essai sur les Digues Maritimes Verticales." Annal. d. Pont et Chaussées, 1928-IV p. 5～48.

圖—6 鉛直壁に作用する壓力の試驗結果

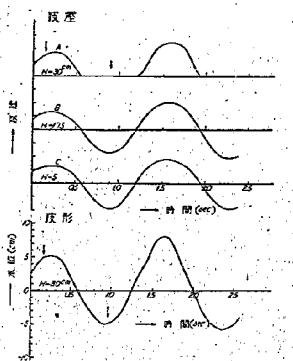
圖中↓印は波壓と波形の同時記號を入れた點

(a)

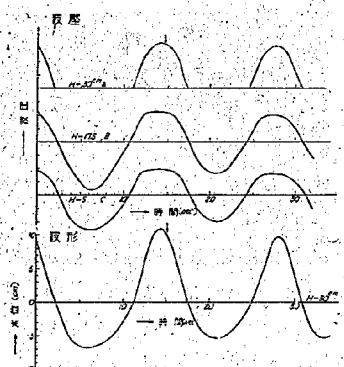
實驗番號No. 1



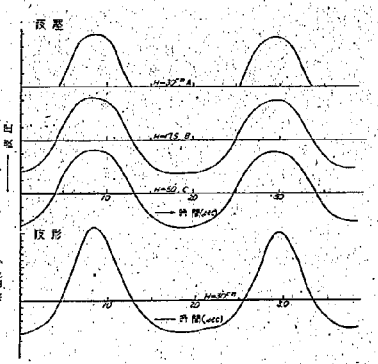
No. 3



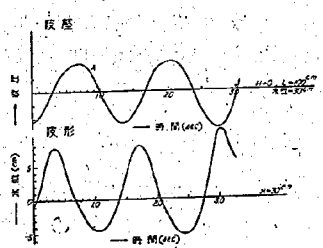
No. 4



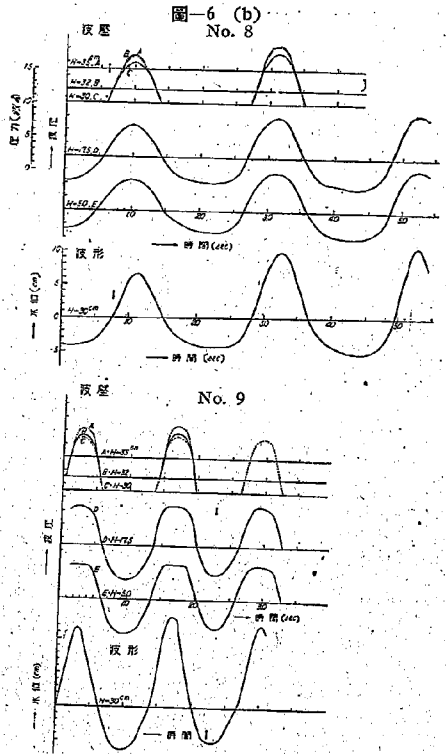
No. 7



No. 13



圖—6 (b)



壓力の作用點は水の實質部分の波動時に於ける平均位置よりも r' だけ上(正の場合)及下(負)である．然してその平均位置は靜水時に於ける位置よりも $\frac{\pi r r'}{2L}$ だけ上にある．玆に r 及 r' は水の實質部分の楕圓運動の長軸及短軸の半徑であつて，次式によつて表はされる．

$$r=h\frac{\cosh\pi\frac{H-Co}{L}}{\sinh\pi\frac{H}{L}},$$

$$r'=h\frac{\sin h\pi\frac{H-Co}{L}}{\sin h\pi\frac{H}{L}}$$

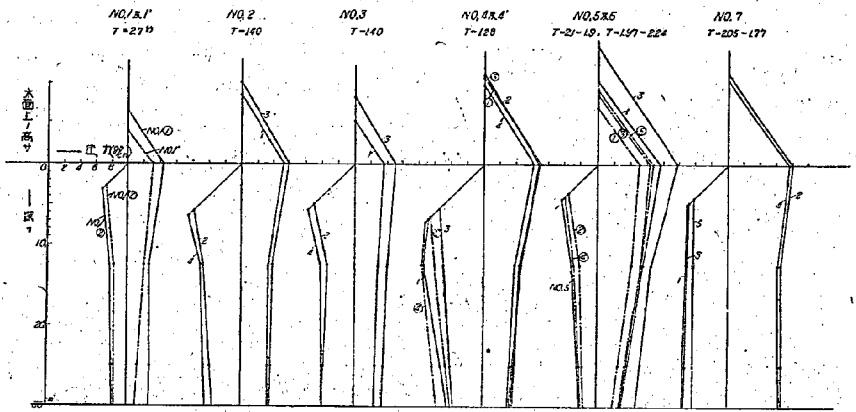
之を圖によつて示せば(圖—9)平水時 M なる實質部分は波動中は N なる平均位置を保ちその高さの差は $\frac{\pi r r'}{2L}$ である．しかして最大の壓力は N よりも r' だけ上の P に働き，その値即ち圖の PP' 大きさは (1) の式に示した第 2 項の符號が正の場合である．又最小の壓力は Q に働き QQ' の大きさで符號が負の場合である．即ち靜水面に於ける壓力との差は圖に於て，P_1 及 Q_1 を通る實線と A を通る斜の實線とに挾まれる水平線の長さで表はされ，底に於ては常に $-h/\cosh\pi\frac{H}{L}$ である．

表—1 鉛直壁による試驗の種類．水深 30 cm (何れも反復波によるもの)

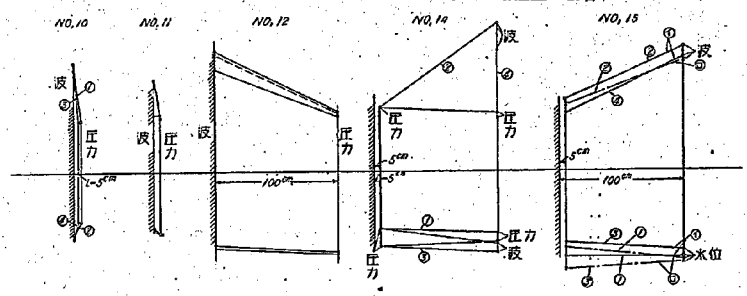
實驗番號	波の周期	測點の底面よりの高さ (cm) ( ) 內は終端壁よりの水平距離	備考
No. 1*	2.70秒	30,17.5,5 cm	結果は圖—6(a)に $A,B,C,$ として夫々整理．
2	1.40	〃	〃
3*	1.40	〃	〃
4	1.40及1.28	〃	
5	2.1～1.9	〃	
6	1.97～2.24	〃	
7*	2.05～1.77	〃	〃
8	2.13	35, 32, 30, 17.5, 5	圖—6(b) の A, B, C, D, E に整理
9**	1.41～1.25	〃	〃
10	1.55	0 ($L=5$)	
11	1.46	0 ($L=5,100$)	
12	1.40	0 ($L=100$)	
13*	1.40	〃	圖—6(a) の A に整理
14	1.40	0 ($L=5,100$)	
15	1.40	0 ($L=5$)	

* 印は實驗寫眞記錄を本文終に掲げたもの．

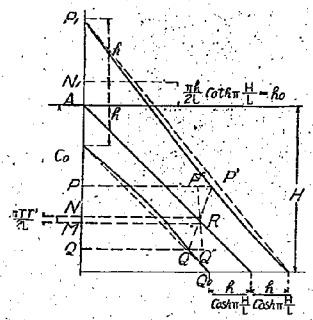
圖—7　鉛直壁に作用する壓力の試験結果と計算値との比較



圖—8　底面に作用する壓力の整理結果——鉛直壁の場合



圖—9



在來の計算式の中では之が最も適當のやうに考へたので之と比較する事とした．計算に用ひた波長は觀測した波形の周期と波の傳播速度との積で定めるのであるが傳播速度は $\omega=\sqrt{g(H+\frac{3}{2}h)}$ に依つた．但し此の場合 h は水路に於ける波の靜水面上の高さである．

從來我國で用ひられてゐる廣井博士の式を重複波の場合に適用すれば Sainflou の上式よりも 1.5 倍以上大なる力を與へる．

本實驗値と計算式 (1) とを比較するに何れの場合も式の値より小に出てゐる．在來測定されたイタリーの Genoa 港の値も靜水面附近に於て實際と計算値とが略々一致してゐる外は計算値が大であつて玆に揭げた結果と大體一致する．

周期の影響は試驗の範圍に於ては明にする事が出來なかつた．

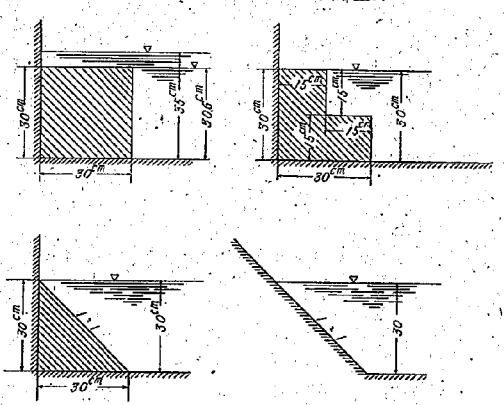
試驗結果に於て波壓の正の値と負の値とが或るものでは正が大であり或るものでは負が大である．其他にも稍不規則と認められる現象がある．之は圖—6 によつて明らかなる如く波そのものが十分に規則正しくなかつた事に原因すると思ふ．

IV. 階段狀及急斜面上の壁に作用する壓力

鉛直壁面の次に圖—10 に示す 4 種の壁に就て壓力の測定を行ひ之等を比較する事を試みた．

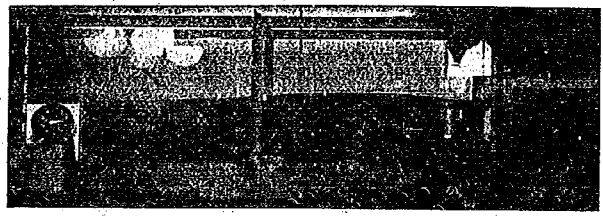
波の發生方法は初めは鉛直壁に於けると同樣に水槽一端の板を電動機によつて反復運動せしむる方法を採つたが，之では常に同一の狀態で試驗を行ひ得ない事が明らかとなつたから以後は水槽一端により 81 cm の距離に仕切板を設けこの中の水位を水槽よりも 10 cm 或は 15 cm 高くしておき急にこの仕切板を取除く方法によつた．この方法では割合近似な波を常に發生せしめ得た．測定裝置は鉛直壁の場合と同樣である．以下この波を孤立波と稱へる．

圖—10　試驗に使用した異形壁面



此の場合の波の形は，圖—11 に示した通りである．圖に於て硝子面の目盛は 1 目 5 cm である．同時に 3 個宛の壓力測定器を使用する事を原則とし，測點の數は同一の壁に就て最大 9 ヶ所であつたから，各壁に就て次第に測點を移動した．即ち波は各回共に成可く近似のものを送る事とし，之によつて起る壓力を 3 回乃至 4 回にわけて測定した．この各回の試驗に於て 1 ヶ所の測點は常に測定を行ふ事とし，他の 2 ヶ所を移動せしめて各回の相違を憶める事とした．

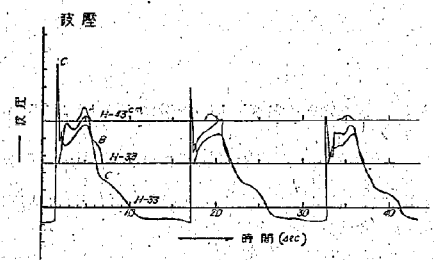
圖—11 異形壁試驗中の波，隔壁を急に取除いた時の波



A. 階段狀一段壁の場合

此の形に依る試驗の種類は表—2に擧げた通りであつて，圖—10左上の形に就ては初め水深は 35 cm の反復波に就て試驗して寫眞～7及圖—12の如き結果を得た．水深 35 cm を選んだのは反復波では水深 30 cm に於て

圖—12 階段狀一段壁反復波による試驗結果

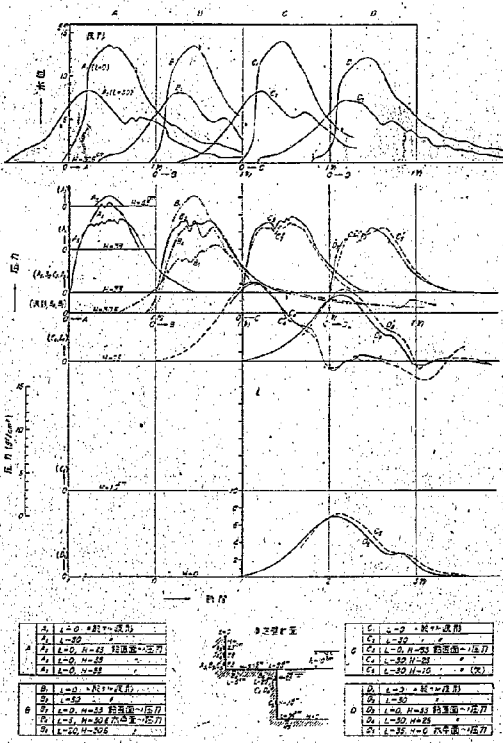


表—2 階段狀一段壁の試驗種類

試驗番號	波の種類及周期	測點底面よりの高さ (cm) ( )内は終端壁よりの水平距離 L	備考
No. 17*	反復波 $T=1.55$ 秒	43, 38, 33.	結果は圖—12 A, B, C として夫々整理
18*	孤立波 $h'=10$ cm $T\fallingdotseq 3.0$	43, 38, 33.	圖—13 A_1～A_5 〃
19*	〃	43, 30.6(5,20)	〃 B_1～B_5 〃
20*	〃	33, 25(30), 10(30)	〃 C_1～C_5 〃
21*	〃	33, 25(30), 0 (35)	〃 D_1～D_6 〃

は適當と考へられる波を得られなかつたからである．圖—12に依れば明に碎波を生じてその爲に $H=33$ cm 附近では局部的に大なる力が現れてゐる．次に孤立波によつて水深を 30 cm にして試驗した處圖—13の如き結果を得た．此の場合の波の形は壁前面に於て順次 圖—14 に示す通りであつて，寫眞でも壓力でも著しい碎波は認められない．特に著しいのは $L=0$ の鉛直壁面に波があたつた後に $L=30$ cm の鉛直壁面の前に著しい渦が發生する事である．この渦の爲に底面が洗掘される危險が非常にある事が現はれる．此等に對する波の壓力の記錄結果は寫眞 8～11 に示した．

圖—13　階級狀一段壁の試驗結果（孤立波による．以下同樣）
A, B, C, D の4回の試驗を各回毎に時間を1秒宛ずらして記載した．



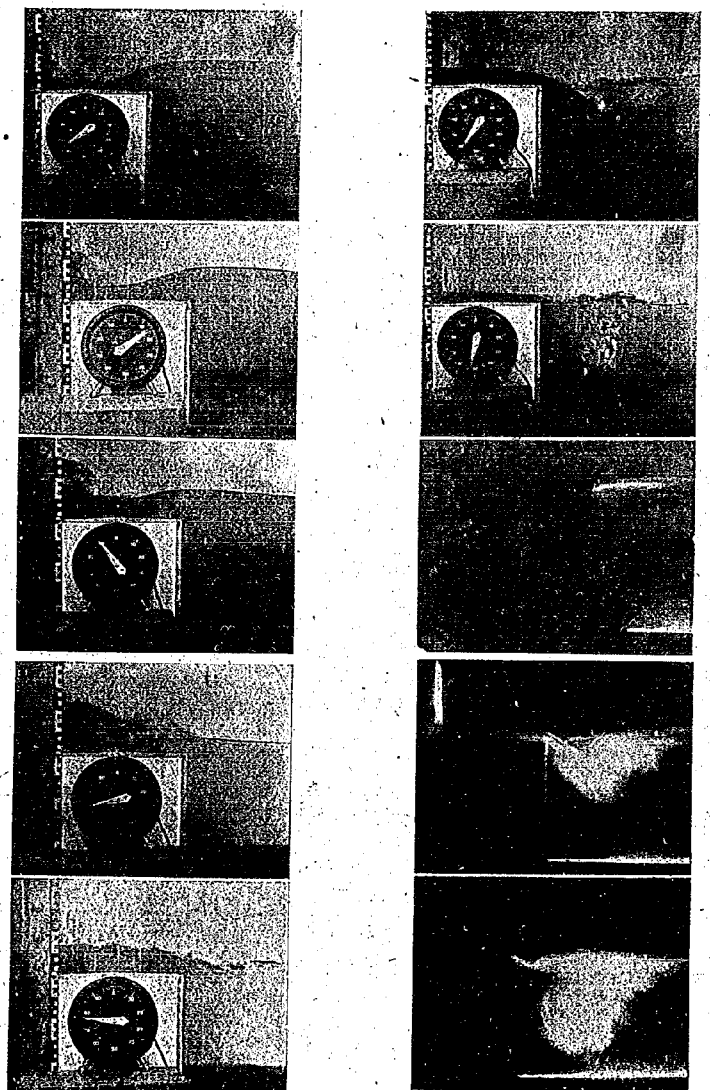
B. 階段狀二段壁の場合

試驗の種類は 表—3 の如くこの結果の代表的なものは寫眞12乃至18に示す通りであつて此等を綜合して圖

表—3　階段狀二段壁の試驗種類

試驗番號	波の種類及周期	測定の底面よりの高さ (cm) ( ) 內の數字は L	備　考
No. 22*	$h'=10$cm $T\fallingdotseq3.0$秒	43, 38, 33.	結果は圖—15の A_4, A_5, A_6, として整理
23*	〃	33, 30(7.5),15(22.5)	圖—15 C_4, C_5, C_6, として整理
24*	〃	33, 22.5(15),7.5(30)	〃 B_4, B_5, B_6, 〃
25	〃	波形のみ撮影	
26*	〃	33, 0 (35), 100	〃 D_4, D_5, D_6, 〃
27*	$h'=15$cm	43, 38, 33.	〃 A_4, A_5, A_6, 〃
28*	〃	33, 22.5 (15)	〃 B_4, B_6, 〃
29*	〃	33, 0(35, 100)	〃 D_4, D_5, D_6, 〃

圖—14 階段狀一段壁の前面に於ける波形及水の實質部分の運動狀態

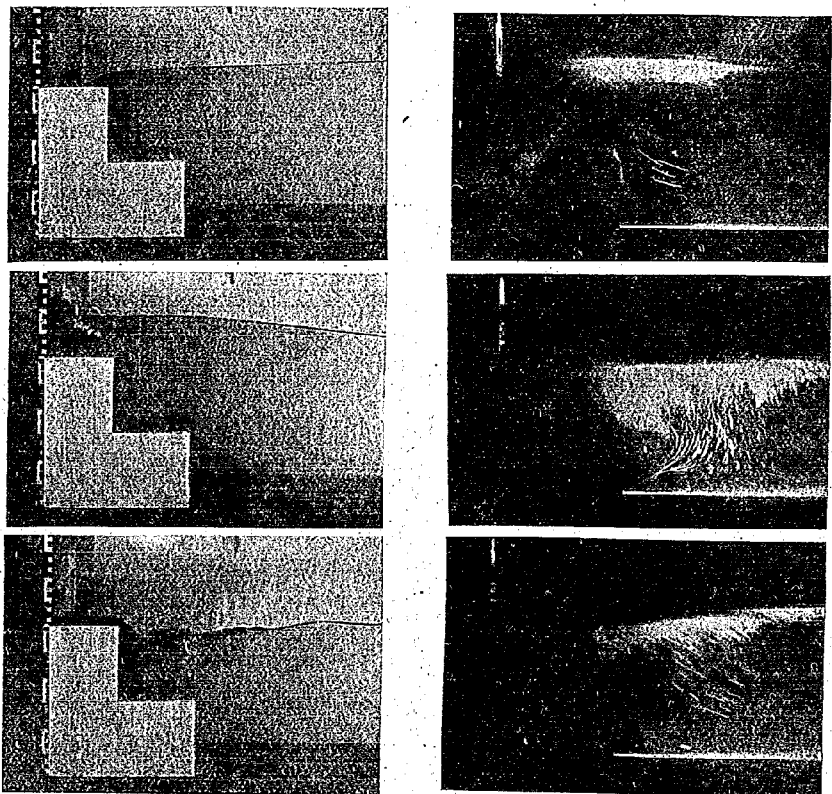


圖—15　階段状二段壁の試験結果
(a)　$h'=10$ cm

圖—15　(b)　$h'=15$ cm

—15 に收めた．此の場合の壁前面の水の動きを 圖—16 に示す．

圖—16　階段狀二段壁の前面に於ける波形及水の實質部分の運動狀態



C. 45° 傾斜面上に鉛直壁のある場合

試驗の種類は 表—4 に試驗記錄は 寫眞—19 乃至 26 に示す．綜合して 圖—17 を得た．

表—4　45° 傾斜面上の鉛直壁の試驗種類

實驗番號	波の種類及周期	測定の底面よりの高さ cm ( )內の數字は L	備　考
No. 30*	h'=10及15 cm T≒3.0 秒	43, 38, 33.	圖—17に A_3, A_4, A_5, として整理
31*	〃	33, 25(5), 7.5(22.5)	〃　B_3, B_4, B_5, 〃
32*	h'=15 cm	33, 15(15), 0(35)	〃　C_3, C_4, C_5, 〃
33	10	〃	〃　C_3, C_4, C_5, 〃
34*	15	33, 0(35), 0(100)	〃　D_3, D_4, D_5, 〃
35	10	〃	〃　D_3, D_4, D_5, 〃
36*	10及15	波形のみ撮影	

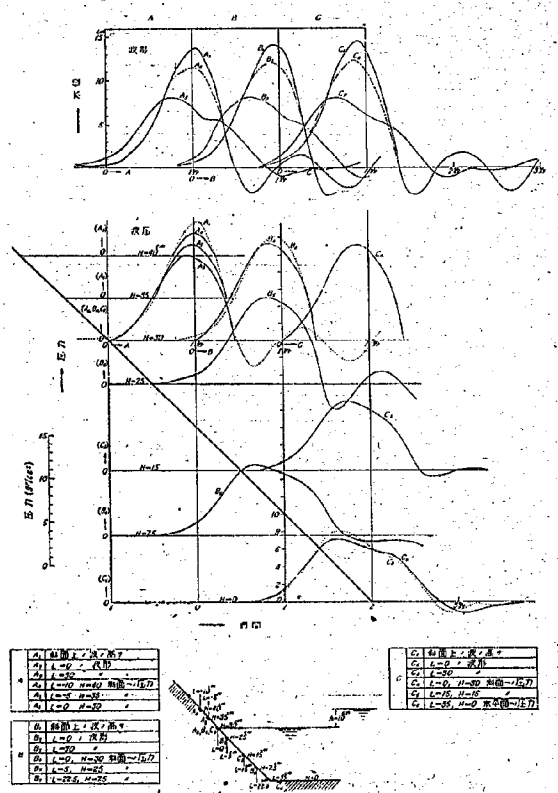
図—17　45° 傾斜面上に鉛直壁のある場合の試験結果

(a)　$h'=10$ cm

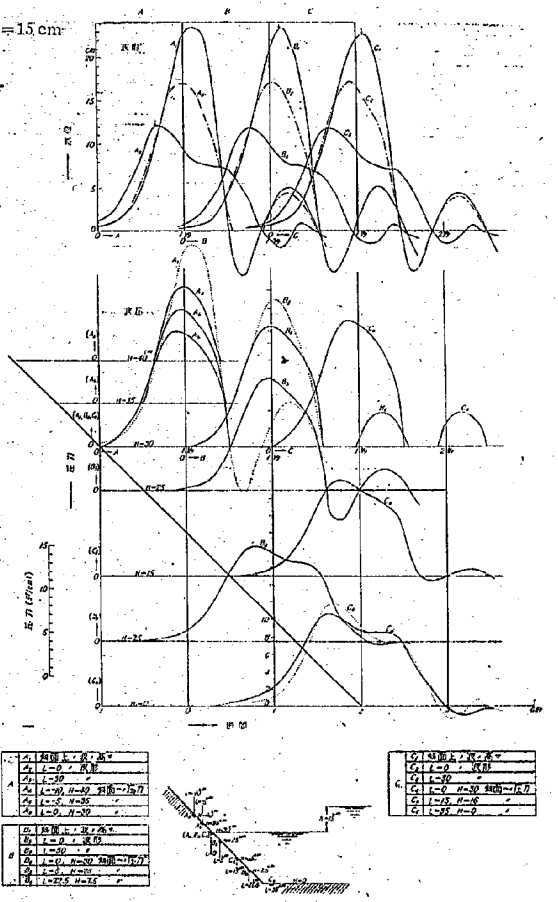
(b)　$h'=15$ cm

圖—18　45° 傾斜面のみの場合の試験結果

(a)　$h'=10$ cm



(b)　$h'=15$ cm



D. 45° 傾斜面のみの場合

試驗の種類及結果は 表—5 及 圖—18 に示す通りである．寫眞記錄は 寫眞 27—32 參照．

表—5　45° 傾斜面のみの場合

試驗番號	波の種類及周期	測點の底面よりの高さ	備考
No. 36*	h'=10cm, T≒3.0秒	30, 25(5),7.5(22.5)	圖—15 の B_4, B_5, B_6
37*	〃	30, 15(15), 0(35)	〃 C_4, C_5, C_6
38*	h'=15	〃	〃 C_4, C_5, C_6
39*	〃	30, 25(5),7.5(22.5)	〃 B_4, B_5, B_6
40*	〃	40(−10),35(−5),30	〃 A_4, A_5, A_6
41*	h'=10	〃	〃 A_4, A_5, A_6

E. 異形壁に作用する壓力の試驗結果の綜合

鉛直壁に於けると同樣に整理して圖—19 の結果を得た．此の場合は完全な重複波では勿論ない．しかし波長に比し異形壁の寸法が小であつて完全に近い重複波が生じてゐる．依つて重複波としての波壓を計算し之と比較する事とした．計算式は III に述べた Sainflou 式により重複波として取扱つたものである．此の場合周期は壁面に於て觀測した結果によれば孤立波であつて普通の海の波の 1/2 周期に相當する間の波の形が記錄されてゐる．波の傳はる速さは $\omega=\sqrt{g(H+\frac{3}{2}h)}$ により $L=\omega T$ として定めた．即ち周期 T≒3.0 秒，波長は實驗 No. 18～21 では $2L$=5.9m；No. 22～41 の實驗では h'=10cm の時 $2L$=6.7m；h'=15cm の時 $2L$=7.0m として壓力を計算して圖—19. に記入した．

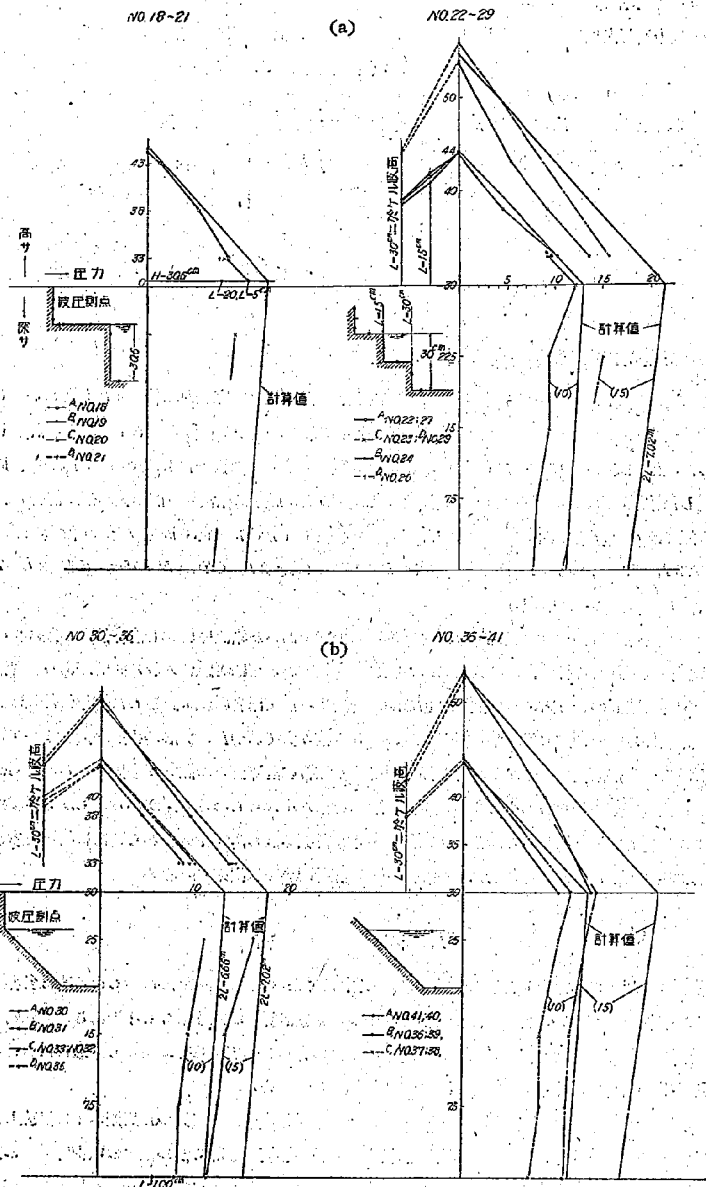
波長は 6 m 程度であり壁の異形部分の幅は 0.3 m 程度であるが鉛直壁に比し計算値との差は更に大である．鉛直壁が反復波で試驗を行つたのに對しこの試驗が孤立波である事は考慮に入れる必要があり，異形壁の場合には波の周期即ち波長のとり方に多少問題があるが，一段壁に於て兩者に就て試驗した結果に依れば計算値との差は異形壁に於けるものの方が鉛直壁に於けるものよりも稍々大であつた．異形の程度が大となつて重複波が發生し難い形に近づく程壓力は小となり，45° 傾斜面のみの場合に計算値との開きが最大となる．即ち碎波を發生しない程度に於て壁を異形ならしめる事は，全體の壓力を稍々小ならしめる效果がある．しかし階段壁の如き異形では壁附近に著しい渦が發生するから，その爲に根本が洗掘される處が十分にある．渦は模型と實際とでは十分に幾何的に相似ではないが，近似的に試驗結果から實際を覗ふ事は出來ると思ふ．

V. 結　　言

重複波による以上の結果を綜合するに波長に比し割合に短い範圍に壁を異形ならしめる事は各深さの壓力强度には著しい影響を與へない．何れも壓力强度は在來の重複波計算式が示すよりも小である．之に對しては實驗結果から實驗式を提示する事が必要と思ふが之は更に十分の資料を得てから行ふ事とし，玆には試驗結果のみを提示し之を在來の計算式の中最も適當と思ふものと比較するに止める．

波の周期の大小は壓力に相當に影響を與へる筈であるが，鉛直壁に就て異つた周期の下に試驗した結果からは明かに之を認める事が出來なかつた．周期の影響よりも他の影響——即ち波の發生の狀況等——の方が大であつた．異形壁にした場合に各深さの壓力の强度は鉛直壁の場合と著しくは異らないが，作用する時間が各部分によ

図-19 異形壁面に於ける測定結果の綜合

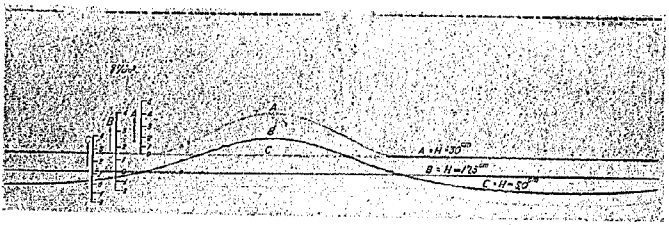


り異つて來るから防波堤自身の重力を有効に働かしめる事が出來ると思ふ．但し階段壁の如き異形ではその不連續點附近に著しい渦が發生するから之による災害の事を十分考慮しなければならぬ．又異形にした場合には碎波を發生しやすくするからその影響に就て考へておく必要がある．玆に報告した範圍では重複波の場合には一樣に45°の傾斜面を有する構造が，同一の波に對し壓力も僅なく渦の發生も著しくなくて最も有利と思ふ．

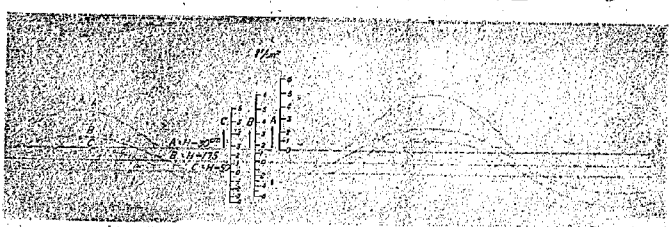
碎波に就ては目下試驗中であり次報にて報告する考へである．

附記　本試驗に關しては學術振興會第4特別委員會からの援助を受けた．本試驗の電氣的測定裝置は所員細谷己知雄君の考案に成るものが多い．尙實驗に助力した天野信直君は途中から應召して目下軍務に從事中である．玆に記して各位に厚く謝意を表する．

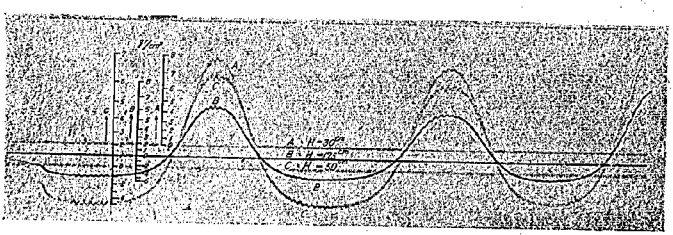
寫眞—1　試驗 No. 1 (表—1 及圖—6(a)參照) 鉛直壁　圖中の H は測點の水槽底面よりの高さ，寫眞上端の直線は時間を示す．切れてゐる部分は波形との同時記號，點と點との間が $^1/_{100}$秒稍濃い點と點との間は $^1/_{10}$ 秒，波の周期 $T=2.70$ 秒，反復波による試驗．



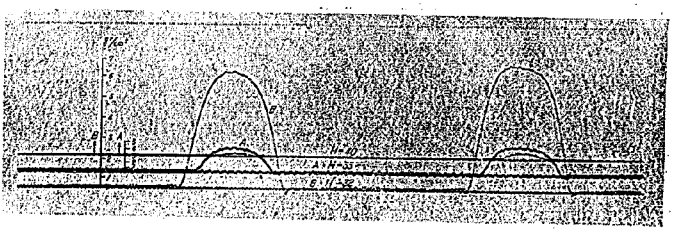
寫眞—2　試驗 No. 3 (表—1 及 圖—6(a) 參照)　鉛直壁 $T=1.40$ 秒



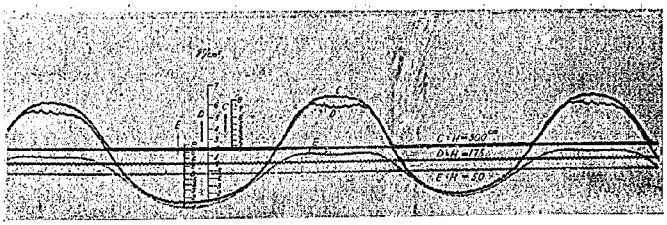
寫眞—3　試驗 No. 7　　同上 $T=2.05\sim1.77$



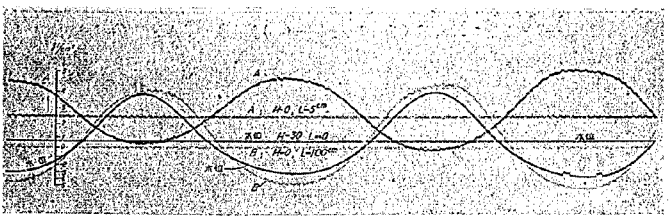
寫眞—4　試驗 No. 9 (圖-6(b))　$T=1.41\sim1.25$



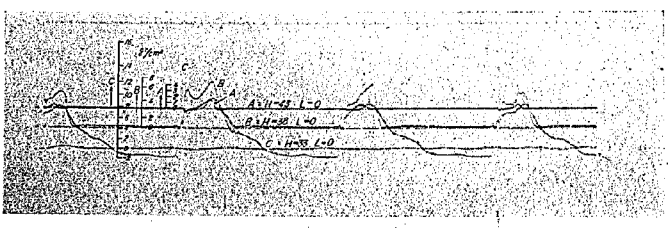
寫眞—5　試驗 No. 9 (表—1 及 圖—6(b)參照)　　鉛直壁 T=1.41～1.25



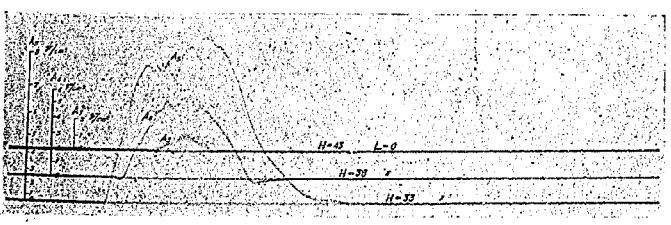
寫眞—6　試驗 No. 13　同上 T=1.40, 圖中 L は終端壁より測點までの水平距離(cm)



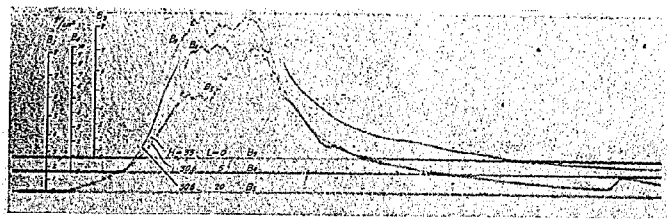
寫眞—7　試驗 No. 17 (表—2 及圖—12 參照)　階段狀一段壁, 反復波. T=1.55



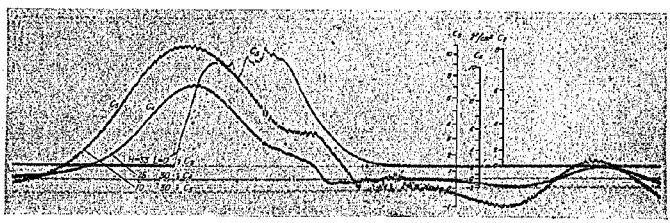
寫眞—8　試驗 No. 18 (表—2 及圖—13 參照) 階段狀一段壁, 孤立波. 波起し水槽の水位差 h'=10cm



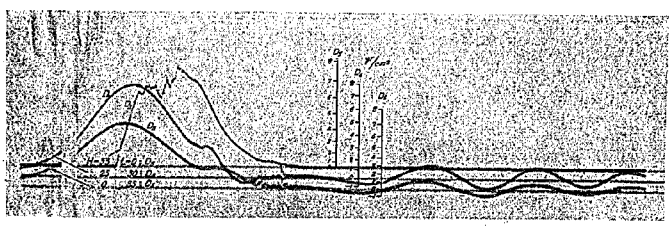
寫眞—9　試驗 No. 19（表—2 及圖—13 參照）階段狀一段壁 $h'=10$ cm



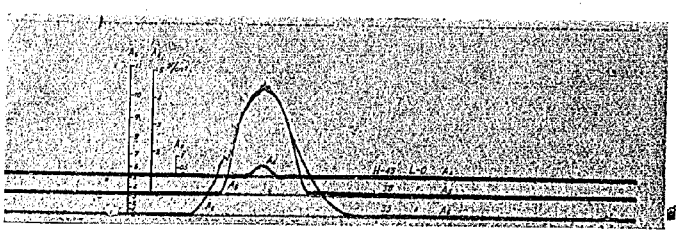
寫眞—10　試驗 No. 20　同上



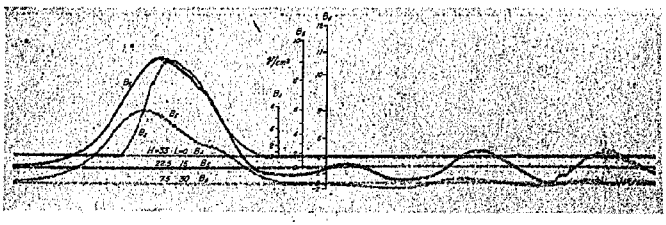
寫眞—11　試驗 No. 21　同上



寫眞—12　試驗 No. 22（表—3 及圖—15(a)參照）階段狀二段壁 $h'=10$ cm

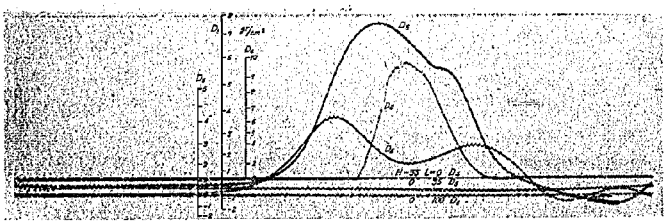


寫眞—13 試驗 No. 24 (表—3 及圖—15(a)參照) 階段狀二段壁 $h'=10$ cm



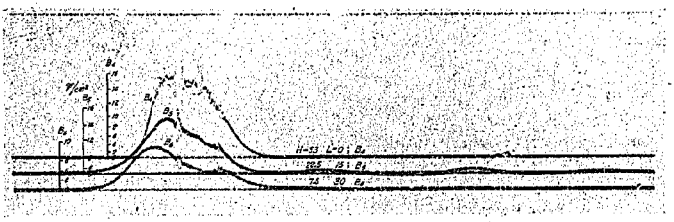
寫眞—14 試驗 No. 23 同上

寫眞—15 試驗 No. 26 同上

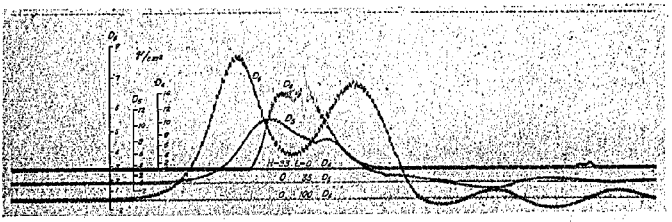


寫眞—16 試驗 No. 27 (表—3 及圖—15(b)參照) 同上 $h'=15$ cm

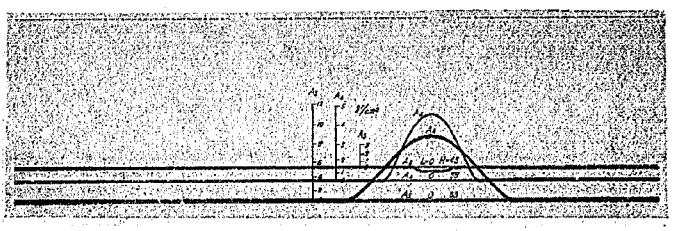
寫眞—17　試驗 No. 28（表—3 及圖—15(b)參照）階段狀二段壁 $h'=15$ cm



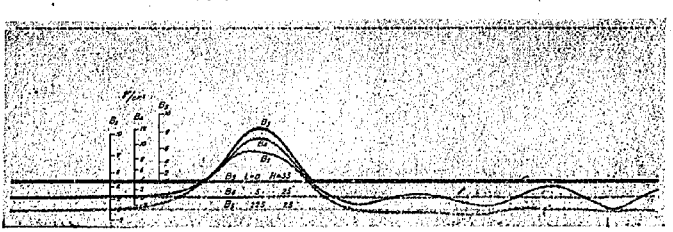
寫眞—18　試驗 No. 29　同上



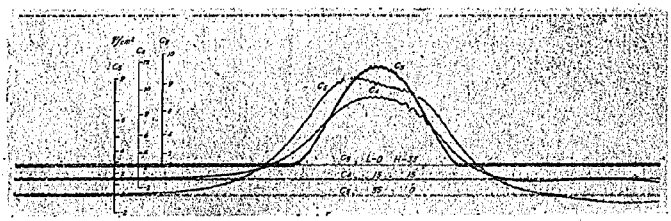
寫眞—19　試驗 No. 30（表—4 及圖—17(a)參照）傾斜面上鉛直壁 $h'=10$ cm



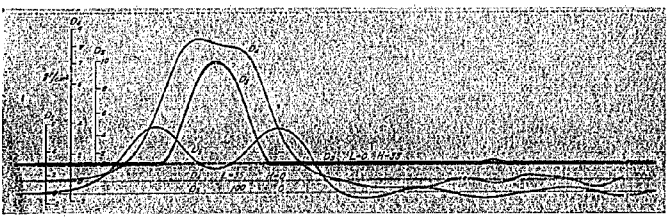
寫眞—20　試驗 No. 31 同上



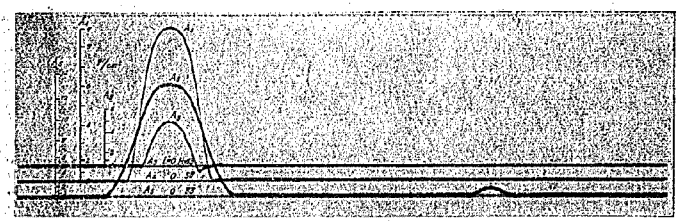
寫眞—21 試驗 No. 33（表—4 及圖—17(a)參照）傾斜面上給直壓 $h'=10$ cm



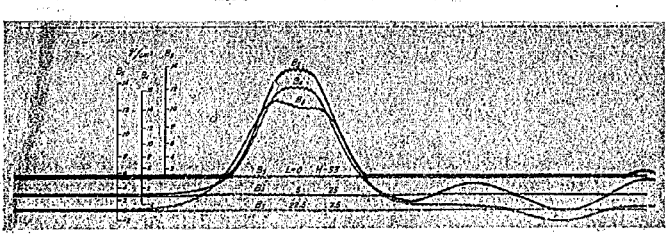
寫眞—22 試驗 No. 35 同上



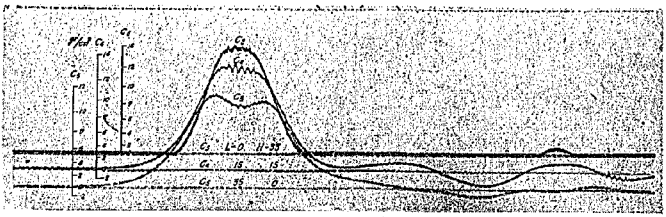
寫眞—23 試驗 No. 30（表—4 及圖—17(b)參照）同上 $h'=15$ cm



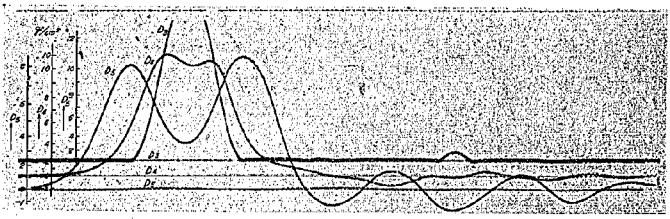
寫眞—24 試驗 No. 31 同上



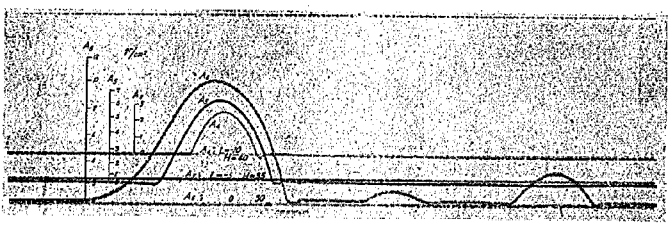
寫眞—25　試驗 No. 32（表—4 及圖—17(b)參照）傾斜面上鉛直壁 $h'=15$ cm



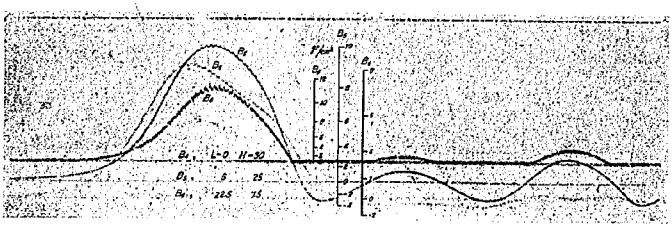
寫眞—26　試驗 No. 34 同上



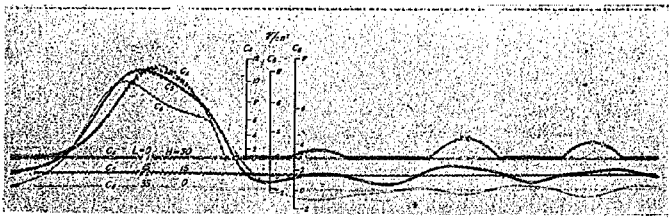
寫眞—27　試驗 No. 41（表—5 及圖—18(a)參照）傾斜面 $h'=10$ cm



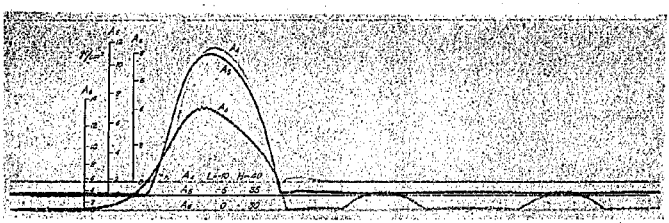
寫眞—28　試驗 No. 36 同上



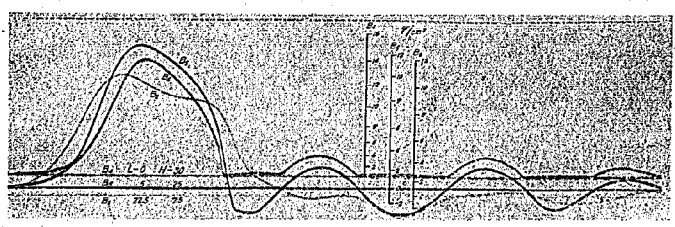
寫眞—29 試驗 No. 37 (表—5 及圖—18(a)參照) 傾斜面 $h'=10$ cm



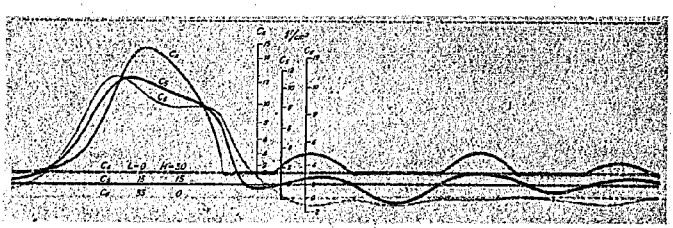
寫眞—30 試驗 No. 40 (表—5 及圖—18(b)參照) 同上 $h'=15$ cm



寫眞—31 試驗 No. 39 同上



寫眞—32 試驗 No. 38 同上



土木試驗所出版圖書

(* 印は殘部なし)

報告

號	件名	發行年月
1	路面及勾配が馬車運姿に及ぼす影響に就ての研究中間報告(牧) 瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研究第一報(三木)	(大正)14. 3
2	瀝青質材料針度に就て	15. 1
3	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定 瀝青混合物に關する研究 「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルド」の粘度に就て	15. 2
*4	急硬セメントに關する試驗報告	15. 5
*5	簡易鋪裝に關する試驗報告	(昭和)2. 3
*6	混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告(宮本)	2. 5
*7	八幡製鐵所副產部製品,瀝青質材料,瀝青質鋪裝,「セメント」類及抑發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績(三木,山田耕,小田)	2. 7
*8	瀝青質材料標準試驗方法 石材類標準試驗方法	2.10
*9	急硬性「セメント」に關する試驗(三木,高田,稻生,小田,大和田) 「ソリデチット」の耐壓强度に關する試驗(高田,細山) 「ブロック」に關する試驗(西川,眞崎,船山) 高知縣黑瀨川產砂に關する試驗(高田) 多摩川產砂利及砂に關する調查(高田) 石材類試驗成績(高田,眞崎)	2.11
*10	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第一)(藤井,船山) 道路橋振動試驗(青木)	3. 3
*11	瀝青滲透ブロック試驗成績(三木,小田) 鋪裝工事用サーフエス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗(高田) 常願寺川產砂に關する試驗(高田,眞崎,細山)	3. 7
*12	アスファルト・ブロック試驗成績(三木,松本) 各種アスファルト・ブロック比較試驗成績(三木,松本) 石油アスファルトとコール・ダール・ピッチとの混合物に關する試驗(三木,山田耕)	

號	件名	發行年月
*12	瓦斯燈及竪爐タール及ピッチに關する試驗成績(三木,山田耕) コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て(三木,山田耕) 大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化(永峯) 石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響(永峯) 標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響(高田)	4. 1
13	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗(山田,船山) 橋梁用敷板强度試驗(青木,鈴木) 舊廐橋鐵材の腐蝕に關する調查(青木) 鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗(高田)	4. 5
*14	瀝青乳劑及ビチユマルス鋪裝に關する試驗(藤井,永峯) 瀝青滲透ブロックに關する試驗(三木) 瀝青質材料の滲透性に關する試驗(三木) 瀝青質材料の粘度及膠限係數に關する試驗(三木,山田耕)	4.12
*15	北上川降開式轉動堰模型試驗(物部,青木,伊藤) 電氣溶接法による鐵筋の接合(青木) 現場打混凝土の耐壓試驗報告(高田)	5. 2
*16	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第二)(藤井) 瀝青滲透ブロック鋪裝試驗(三木) 工事用石材試驗成績(高田,眞崎)	5. 5
*17	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第三)(藤井)	5. 5
*18	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗(山田,船山) 鋪裝混凝土工に及ぼす氣泉作用の影響並に之に應ずる設計及工法に就て(一)(藤井) 鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試驗(高田) 鐵筋混凝土道路橋設計資料(大野) 各種土木工事用材料試驗成績(三木)	5.10
*19	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響並に之に基く道路設計の基本に關する研究(第四)(藤井)	5.11
*20	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)(高田) 基礎の沈下量算定法(一)(松村) 岩漏水門に關する水理試驗(青木,	6. 6

號	件名	發行年月
*20	伊藤) 單鉸拱模型試驗(三浦) 國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案(大野)	
21	背水曲線の一般的解法(物部,伊藤) 單鉸拱の振動に關する理論並に實驗(三浦) 混凝土鋪裝の縱目に關する試驗(山田,船山) 河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響(西川,川畑) 標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響(高田) 遞青乳劑試驗成績(西川)	6.12
22	地震時土壓の實驗的研究(松尾) 混凝土鋪裝縱目用エラスタイト試驗(西川,松本) 高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗(高田) 基礎の沈下量算定法(第二)(松村) 新土壓計算圖表(本間)	7. 5
23	簡易鋪裝に關する實地比較試驗(山田,船山) 鋼矢板試驗(青木) 大和川筋龜ノ瀨地辷に關する調査(第一)(高田)	7. 7
24	道路の背向曲線の設計に就て(藤井) 阻柱に關する試驗(本間) 乳劑の粘度に就て(島田) 府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案(大野) 碎石の磨損率に關する一試驗(高田) 三陸津浪調査報告(松尾) 本邦產鋪裝用石材(附錄)(高田,眞崎)	8. 6
*25	本邦鋪裝用タールの性質に就て(西川,山田共) 橫溢流堤流量試驗(伊藤,本間) 擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗(松尾) 砂利層の支持力に關する試驗(第一報)(山田,船山) 鋼矢板試驗(續)(青木) エタニット・パイプ試驗(青木)	8.11
26	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法(物部) 田中村調節池溢流堤に關する水理試驗(本間) 遞青鋪裝切取試驗體の性質(西川,松本) 道路鋪裝用遞青乳劑の性狀に關する基本的研究(第一報)(島田,福島) 自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)(松村)	9. 3
27	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て(藤井) 津浪の災害輕減に關する模型試驗(松尾) 津浪の變形の理論(本間) 三陸津浪調査報告(追加)(松尾)	9. 6
27	自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の二)(松村) 遞青透入マカダムに關する試驗(第一報)(山田,船山)	
28	地震動による土堰堤の變形(松村) 鋅筋鋼引張試驗用小型試驗片(青木,佐藤) 國產遞青乳劑試驗成績(西川) 骨材及び類似材の靱性に關する研究(島田) 鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的並に耐震的設計(1)(大野)	9.10
29	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗(松尾) 遞青纖目材試驗成績(西川,松本) 南洋材カボール並にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗(青木,石川) 道路鋪裝用遞青乳劑の性狀に關する基本的研究(第2報)(島田,福島) 阪神地方沿岸風水害調査報告(松尾)	9.12
30	道路鋪裝用遞青乳劑の性狀に關する基本的研究(第3報)(島田) 楕圓狀河口に於ける水流に就て(本間) 下關海峽の潮流に關する模型試驗(本間) 基礎版の基本的研究(第1報)(松村) 溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗(八木) 國道鉄結鈑桁橋標準設計案(青木,牧野)	10.4
31	土砂の安定强度試驗(山田,西川) 本邦鋪裝用タールの性質(其のⅡ)(西川) 道路鋪裝用タール乳劑に關する研究(第1報)(福島,川畑) 擁壁裏込の土壓輕減の効果に關する試驗(松尾) 洲戸港々口の潮流に關する試驗(第1報)(本間)	10.8
32	本邦道路橋の重量(青木,佐藤) 道路鋪裝タール乳劑に關する研究(第2報)(島田) 河川灣曲部に於ける水流に就て(本間) タールとアスファルトとの混合物の鋪裝材としての性質(西川) タール鋪裝と水稻の發育との關係(西川) ポートランドセメントの凝結後に於ける溶解物のPHに就て(高田) 王泊堰堤の湖水の溫度及水素イオン濃度(高田)	10.11
33	砂利路面工の配合比に關する試驗(山田,船山) 鋼橋鉚接杳壓縮試驗(青木,鈴木) 基礎版の基本的研究(第2報)基礎桁(松村) 道路鋪裝用アスファルトの力學的特性に就て(其の1)(島田) 停止波に就て(橫田)	11. 3

號	件名	發行年月
34	瓦斯切斷による創痍が熔接の强度に及ぼす影響(青木) 防波堤の安定に關する一試驗(松尾) 二,三の土木材料の比熱測定結果に就て(島田) 二,三の外國製鋪裝用瀝青乳劑の性狀に就て(福島) 土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響(山田) 土木工事用金屬材料分析試驗(西川,福島,川畑) 種々の土木工事用材料に關する試驗(西川,福島,川畑) 施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗(山田,船山) 鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的並に耐震的設計(2)(大野)	11. 6
35	基礎版の基本的研究(第3報)圓形基礎版(松村,中西) 浦戸港々口の潮流に關する試驗(第2報)(松尾,本間) アスファルト混合タールの鋪裝材としての性質(西川) 鋪裝コンクリートの力學的性質に關する試驗(藤井) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第4報)(島田)	11. 8
36	瀝青透入マカダムに關する試驗(第2報)(山田,船山) 熔接鈑桁突條鈑衝合接手の接合角度に就て(青木) 大阪港附近の津浪の災害輕減に關する模型試驗(松尾) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第5報)(島田)	11.11
*37	骨材の最大密度の粒度に就て(藤井) 土の乾燥に伴ふ壓縮强さの變化(山田) アスファルト,タールの性質に及ぼす氣象作用の影響,特にその海岸の場合の性質變化(西川,山田緋) 岸壁裏込の特殊工法がその安定度に及ぼす影響に關する試驗(松尾,高橋) コンクリートの熱的性質に關する試驗(第1報)(島田)	12. 5
*38	現場コンクリートの强度並に之に及ぼす施工條件の影響に就て(藤井,大野,佐藤) 現場に於ける瀝青乳劑製造の設備及び製法並にその乳劑の性質に關する試驗(西川,福島) 重力式岸壁の耐震限度(松尾,大門) 彈性地盤上の圓形水槽(松村,中西)	12. 9
*39	電氣熔接法による鐵筋の接合(第2報)(青木) 本邦鋼道路橋衝擊係數に關する一考察(小澤) 路面の光反射に關する試驗並に之に基く道路照明基準に就て(島田) X線反射法によるV形衝合電弧熔接部の內部歪分布試驗(豫報)(島田)	12.11

號	件名	發行年月
*40	滿洲産タール,重油,中油及び重油に依るカット・バックタール等の鋪裝材料としての性質(西川,山下) 鐵線蛇籠の防錆塗料に就て(西川) 江戸川河水統制水門下流洗掘に關する水理實驗(青木,横田) 江戸川河水統制水門に於ける鹹水の侵入に關する實驗(横田) 路面の滑及横滑り摩擦抵抗に及ぼす路面種別と其の性狀との影響に就て(島田)	12.12
41	利根川河口の防波堤,導流堤,統路波浪及び砂洲の消長に關する模型試驗(松尾) 普通,早强,中庸熱,硅酸質混合セメント及び高爐セメントに關する比較試驗(第1報)(川畑,齋藤) 自動車の速度に及ぼす車線幅の影響に關する實驗,並に之に基く鋪裝幅員の決定に就て(金子) 河川工事用藁繩の强度並に耐久性に關する試驗(青木,鈴木)	13. 5
42	上路補剛構桁を有する排橋に關する研究(小澤) 杭の水平抵抗力に關する試驗(第1報)(松尾,高橋) 瀝青乳劑の試驗成績より見たる品質の比較,並にその最近の趨勢に就て(西川,松本) 流速計檢定成績(松尾,八木) 全熔接國道橋鶴川橋の設計並に熔接作業に就て(青木)	13. 8
43	路線路面の經濟的價値に關する試驗(1)(藤井) 神等川分流に關する模型試驗(松尾,柄澤) 砂防堰堤の洗掘防止に關する水理試驗(第1報)(安藝,横田) 混成タールの性質に及ぼす氣象作用の影響,特に海岸の場合に於ける性質變化(西川,山田緋) 江戸川河水統制水門附近の河水の鹽分含度試驗(福島) 新京濱國道多摩川架橋地點に於ける河水の水質化學試驗(福島) 鋪裝用アスファルトの濕度傳導率に關する試驗(島田)	13.11
44	勢力式に依る變斷面對稱長柱の挫屈荷重を求むる近似計算法(横田) 河川の自然勾配に及ぼす砂礫の性質と掃流力との影響に關する調査並に之に基く河川平衡勾配に關する實驗的研究(第1報)(安藝) 瀝青鋪裝切取供試體の試驗結果より見たるその性質の比較(西川,松本) O市のアスファルト鋪裝に關する試驗(第1報)(松本)	14. 2
45	檢收試驗の成績より見たる瀝青乳劑の品質比較,並に最近の趨勢に就て(西川,松本) 物理地下探査法に依る橋梁架設地點の岩盤の深さに關する試驗調査	14. 4

號	件名	發行年月
	（島田） 鐵筋コンクリート接承に關する壓縮強度試驗（一木）	
46	上下弦に任意の慣性モーメントを有せるフィーレンディール桁の應力算定法(1)（佐藤） 波による河口附近の砂の移動に關する實驗（本間） 河道に設けた貯水池の水理（伊藤） 杭の水平抵抗力に關する試驗(第2報)（松尾）	14. 7

彙報

1	試驗調査事務分掌 試驗調査事項の處理方法 現在實施中の主なる試驗調査事項 昭和11年に於ける材料その他の依頼試驗 備付雜誌 附 處務細則	12. 3
2	赤羽分所水理試驗設備	12. 3
*3	獨逸 Oder 河の流拔調節の Ottmachau 貯水池建設に就て	12. 8
4	黃河に關する H. Engels の模型實驗に就て	13. 3
5	大塊コンクリート用特殊セメントに就て(第1報)	13. 8

其他

*本邦道路橋輯覽	14.12
*本邦道路橋輯覽 第二版	3. 3
*本邦道路橋輯覽(增補)	3. 3
第六回國際道路會議に關する報告書	7. 4

號	件名	發行年月
	普通早强中庸熱珪酸質混合高爐セメント及築土セメントに關する比較試驗(第2報)(川畑) 河川合流點の調整に就いて(第1報)(安藝)	
47	物理地下探査法に依る相模川河水統制地域の岩盤位置調査（島田） 振動コンクリートの强度竝に之と普通コンクリートとの比較に關する試驗（一木・木村） 各種安定材混和に依る土壤安定法に關する實驗室試驗報告（第1報）（鷲島・眞崎）	14.10
6	大塊コンクリート用特殊セメントに就て(第2報)	13.11
7	Mississippi 河の改修計畫（横田） Vicksburgに於ける國立水理試驗所に於ける模型實驗（佐藤） Mississippi 河改修工事施行設備竝に工法（安藝） 堤防築設に關する土質力學的理論とその應用（片平）	14. 9
8	獨逸の國策に基く道路建設	14.10
9	黃河の改修に關する調査資料	14.11

土木工事用材料標準試驗方法	7. 4
本邦道路橋輯覽 第三輯	10.11
本邦道路橋輯覽 第四輯	14. 4
道路用アスファルト乳劑臨時規格(案)(西川)	14. 7

昭和十四年十二月 十 日印刷
昭和十四年十二月十五日發行

內務省土木試驗所
東京市本鄉區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86){自3101番 至3103番

印刷者 井上源之丞
東京市板橋區志村町五番地

印刷所 凸版印刷株式會社
東京市板橋區志村町五番地