

長野県営伊那農業水利改良事業 沈砂池水理模型実験報告

清水 邦 夫

(信州大学農学部 農業土木研究室)

目 次

〔Ⅰ〕 実験目的及び方法	41
〔Ⅱ〕 取入口附近における天竜川の流砂	42
〔Ⅲ〕 原設計について行つた実験結果	43
〔Ⅳ〕 改良Ⅰ型について行つた実験結果	43
〔Ⅴ〕 改良Ⅱ型について行つた実験結果	49
〔Ⅵ〕 改良Ⅲ型及びⅣ型について行つた実験結果	49
〔Ⅶ〕 改良Ⅴ型について行つた実験結果	49
〔Ⅷ〕 模型内に於ける流速分布と堆砂分布	57
〔Ⅸ〕 水理学的考察	58
〔Ⅹ〕 結 論	60

〔Ⅰ〕 実験目的及び方法

長野県営伊那農業水利改良事業に於て天竜川より灌漑水を頭首工によつて取水し灌漑地区内に導水する場合、沈砂池を通過させて、灌漑水中に含まれる土砂を沈澱せしめる様計画され、その沈砂池の形状が色々工夫されているが、沈砂池の形については実際模型を作成し、水理実験を行つて、その機能を検討するのが、現在の段階では最も確実だとされている。而も此の場合の沈砂池は、沈砂と言う目的他に、分水を行うと言う目的を有している。即ち頭首工より取り入れた水 $4.29\text{m}^3/\text{sec}$ を沈砂池末端に於て、左岸側に $2.22\text{m}^3/\text{sec}$ 、右岸側に $2.07\text{m}^3/\text{sec}$ づつ分水せんとするものである。此の事は現在まで施工された沈砂池が、沈砂だけを目的とし、分水は又別に行つていたのに対し、同時に沈砂、分水の二機能を行わしめるもので、此の二機能が充分行われるならば、沈砂池設計施工上色々な方面に利点がある。

従つて模型実験も主として沈砂、分水の二点に注目して行つた。先づ天竜川の流砂の状況を見る事が必要なので、天竜川中の流砂量及び流砂粒子の大きさを土壌分析によつて調べ、又一方アイソトープ（放射性物質）を使用して、模型内に於ける沈砂排砂実験も行つた。

模型は水理実験場内に実物の $1/20$ の大きさの模型を設置し（写真Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）、水源は水道で水量調節は Valve によつて行い、一方貯水槽中の水位はウイジン社製自記水位計によつて記録せしめた（写真Ⅳ）。模型は木製ペンキ上塗で特に溢流部等の曲線部

(写真V)及傾斜の点に注意して製作せしめた。次に模型への流入水位は貯水槽出口模型入口にポイントゲージを設置して観測調節した(写真VI, VII)。模型内流速は浮玉、ピトー管、差動マノメータを使用した。差動マノメータはキシロール(比重0.863)+メチルレッドを入れたY字管を30°傾斜して測定した。従つて倍率は14.6倍になる。併し管中に空気が入る傾向があるので四方コックをつけ管中の空気を出す様に努力した(写真VIII, IX)。それでも尙を沈砂池内の流速が甚だしく緩流速になる場所では、ピトー管の移動の際等に僅かの空気が入る為、流速測定に甚だしく苦勞し、場合によっては寧ろ浮玉により流速を測定する方が容易に数値を得られる事もあつた(写真X)。併し浮玉の場合は表面流速である事に注意しなければならない。水位はポイントゲージにて測定し、流量(Q)は流速(v)と断面積(A)とにより $Q=Av$ で算出した。

次に模型内の堆砂、天竜川流砂の秤量及び分析を行うに際しては、微小粒子については自動粒度測定器(写真XI)、及びピベット法土壌分析装置(写真XII)を使用し、比較的大粒子のものに対してはA. S. K土壌分析装置(写真XIII)を使用した。そして此の三種類の装置は何れも Stokes氏の公式を使つたものであるから試料を100g内外採取すれば三つの装置を組み合せて使用する事により、土壌粒子の大きさは明瞭となる。試料の乾燥は電気恒温槽で、秤量は化学天秤で夫々行つた(写真XIV)。又模型内の堆砂、排砂機能を検討するのにラジヲアイソトープ P^{32} を使用し、測定器としては科研製2進式放射線計数器2S-P1型を使用した(写真XV)。

〔II〕 取入口附近における天竜川の流砂

単位体積の水の中に含まれる土砂量を知る為、取入口附近5地点の天竜川の水を採取して分析して結果は次の様である。

試料採取日	1956年8月25日		
試料採取地点	取入水門2点 排砂門2点 取入水門より約100m上流における河岸1点		
採取水量	1,800~1,850cc		
分析結果	取入水門 No.1	1/当り	0.0216 gr.
	〃 No.2	〃	0.0217 gr.
	排砂門 No.1	〃	0.0274 gr.
	〃 No.2	〃	0.0269 gr.
	河 岸	〃	0.0268 gr.
参考降雨量	8月21日	11.5mm	
	8月22日	32.8mm	
	8月23日	17.9mm	
	8月24日	7.5mm	
	8月25日	0mm	

従つて流砂量は、水に対して $\frac{0.0216}{1000} \times 100\% \sim \frac{0.274}{1000} \times 100\% \doteq 0.0021\% \sim 0.0027\%$

である。此の値は天竜川高水時の流砂量であり従つて平水時に於ては此の値は更に低下する。併し安全の為沈砂池への流入土砂量の計算には此の値を使つて行う事が望ましい。

次に天竜川流砂の粒径であるが、断面積 176.6cm^2 の筒に布袋を取りつけ試料を採取し、その試料を自動粒度測定器及び A. S. K 土壤分析器にて分析した結果は次の様である。

粒 径	重 量
1. 168mm以上	0.45 gr.
1. 168~0.589mm	0.40 gr.
0.589~0.25mm	6.85 gr.
0.25 ~0.05mm	44.77 gr.
0.05 ~0.01mm	1.56 gr.
0.01mm以下	8.37 gr.

従つて0.25mm~0.05mmの粒径のものが最も多い事が分る。

〔Ⅲ〕 原設計について行つた実験結果

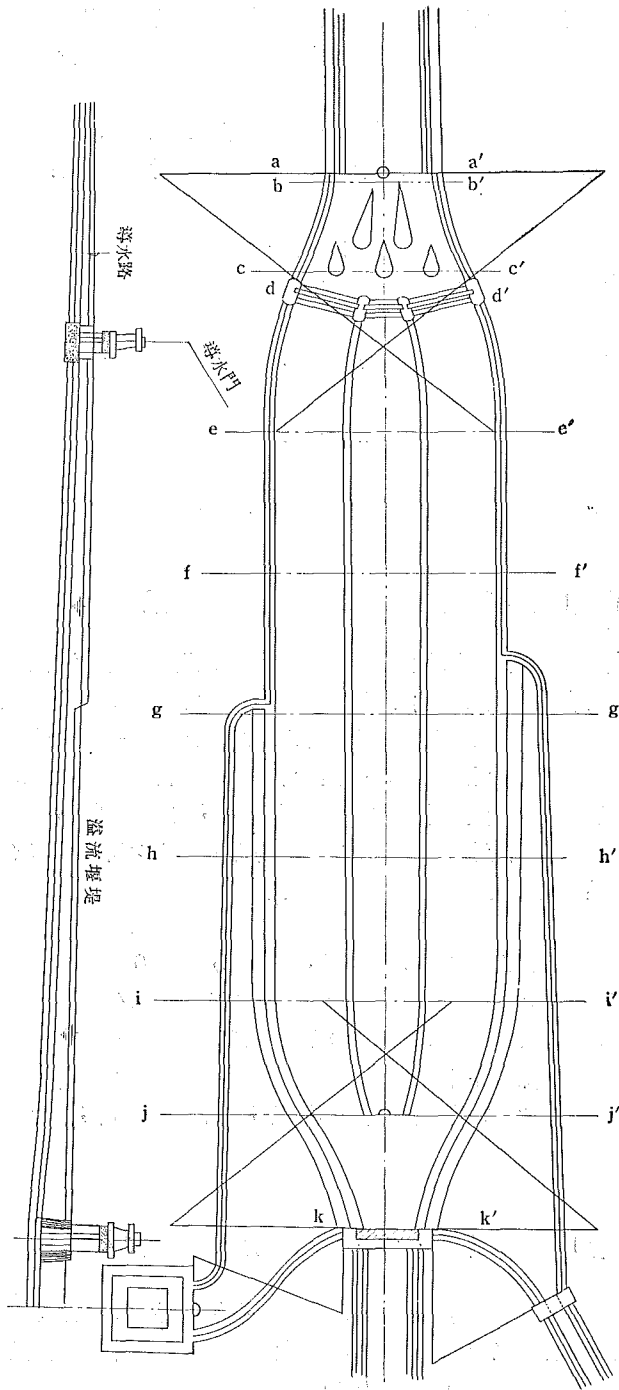
原設計平面図、縦断図、横断図は第Ⅰ図、第Ⅱ図の如し。此の場合の流線は墨汁及び浮玉を使つて調べた結果第Ⅲ図の如し。之で明らかな様に整流壁（阻水壁）に依つて寧ろ乱流を生じ、整流壁後部に於ては渦流となり、取入水中の土砂の一部は此の部分に沈砂した。又沈砂池内でも各所に乱流を生じ、一様な流速分布を得られなかつた。且つ沈砂池内の隔壁によつて分かれる水量が中央部が全水量の44%、左右が28%となり中央部が非常に多くなつている。次に溢流部の水深を左右六等分して六ヶ所にてポイントゲージを使つて測定した結果は次の様になつた。（mm単位）

A	B	C	D	E	F	G
0.87	0.80	0.77	0.48	0.16	0.05	0
A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'
0.53	0.56	0.45	0.37	0.31	0.19	0.08

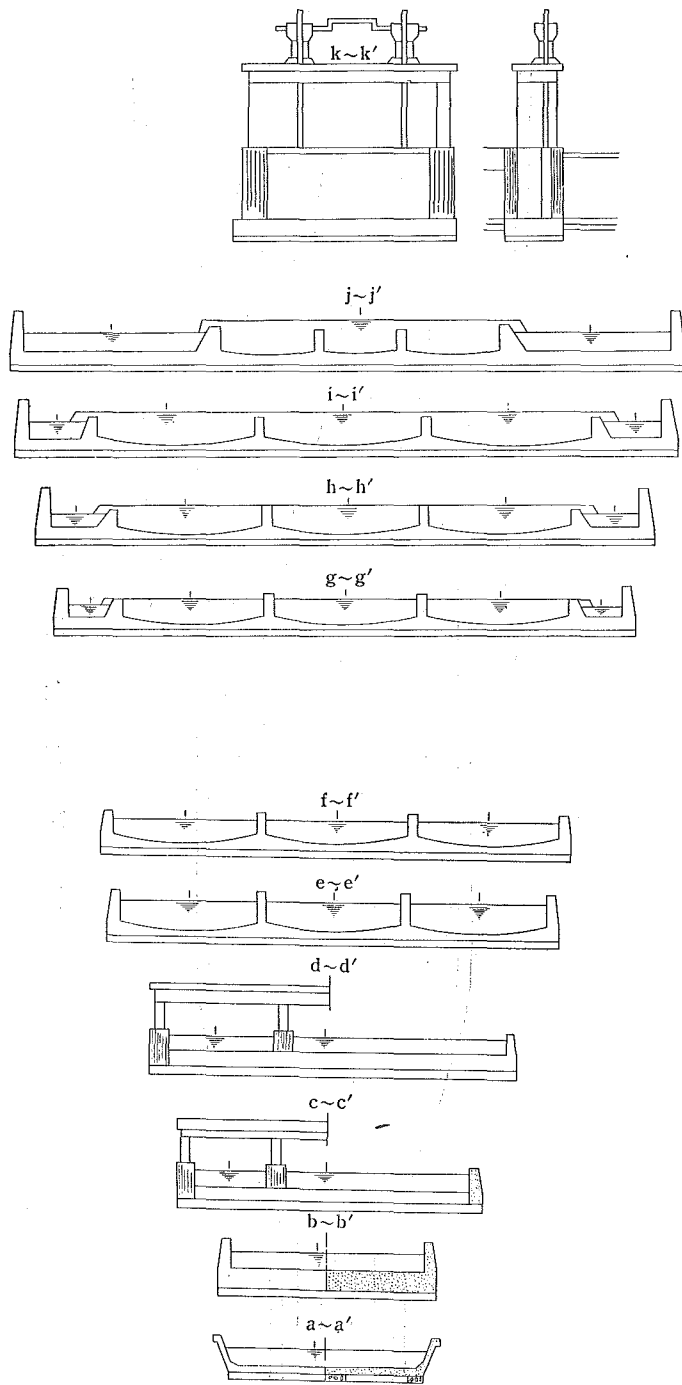
之は沈砂池末端になる程水深が多くなつているが、Back Water の影響があるのではないかと思われる。従つて分水も左岸が全水量の51.7%、右岸が48.3%に行われていない（写真XVI, XVII）。

〔Ⅳ〕 改良Ⅰ型について行つた実験結果

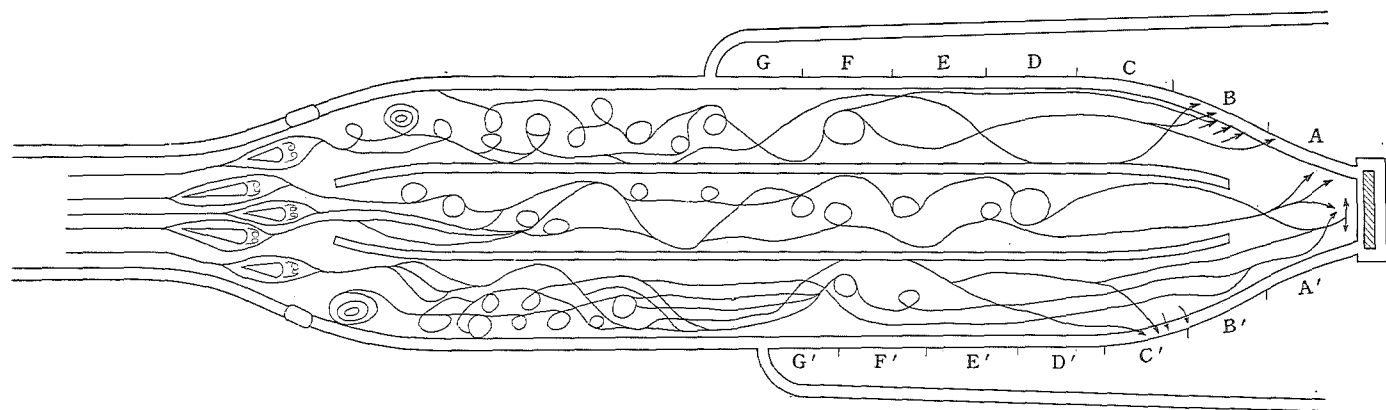
整流壁（阻水壁）を全部除去し、之を改良Ⅰ型とし（第Ⅳ図）、その流線を調査したのが第Ⅴ図である。此の場合には原型に比して流れは大分整流されて来たが、溢流部に於ける水深差は未だ除去されていない（写真XVIII）。



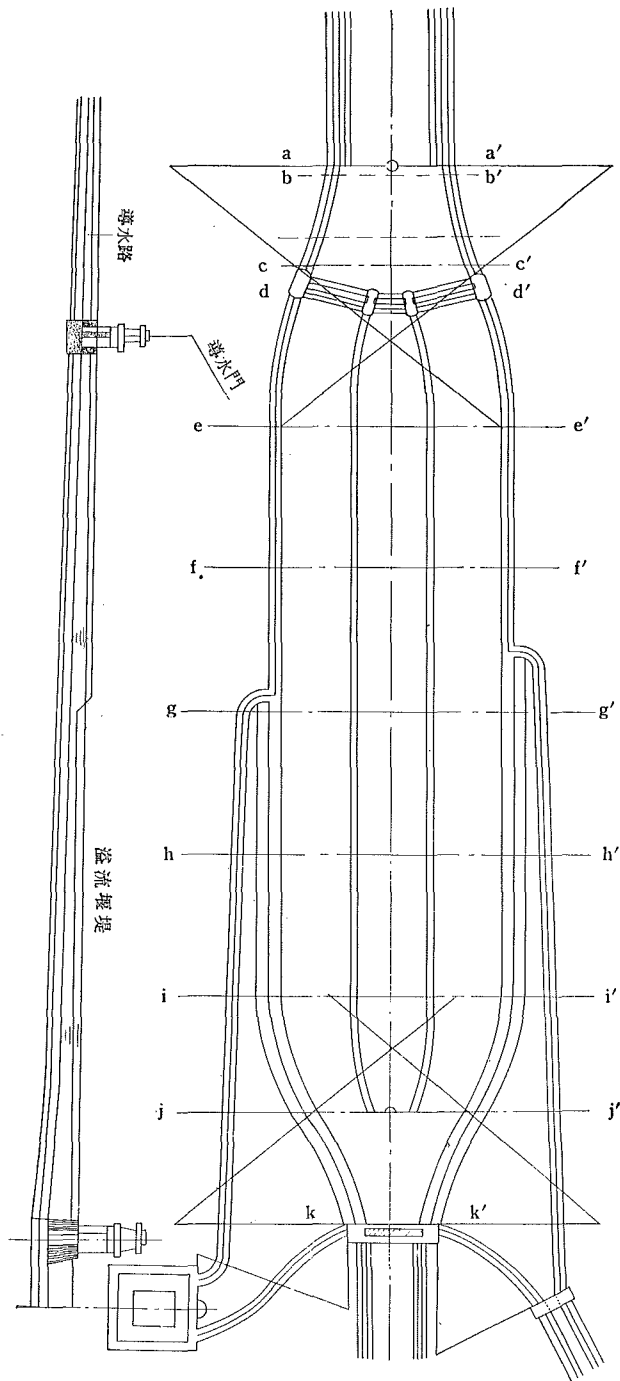
第 I 圖 原設計平面圖及び縦斷圖



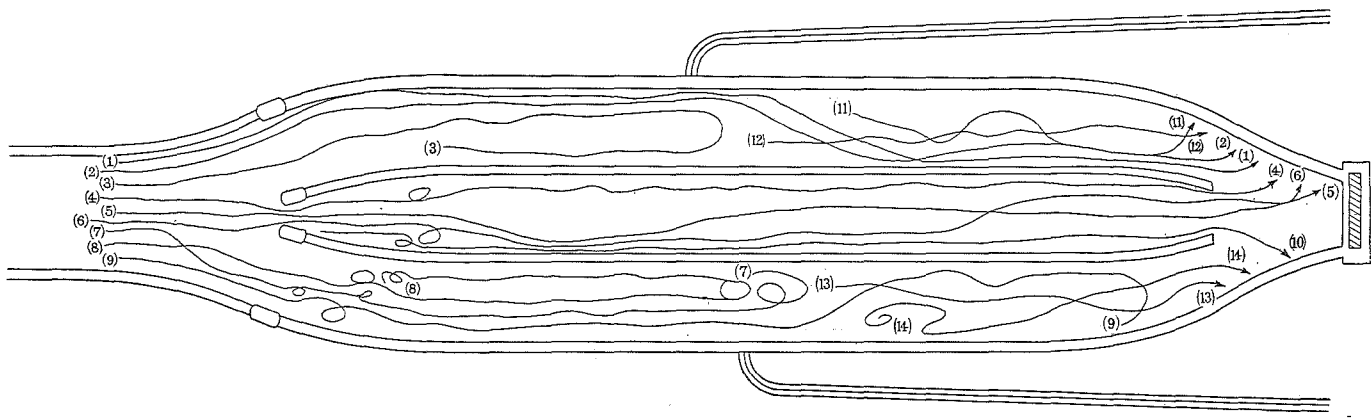
第Ⅰ圖原設計横断圖



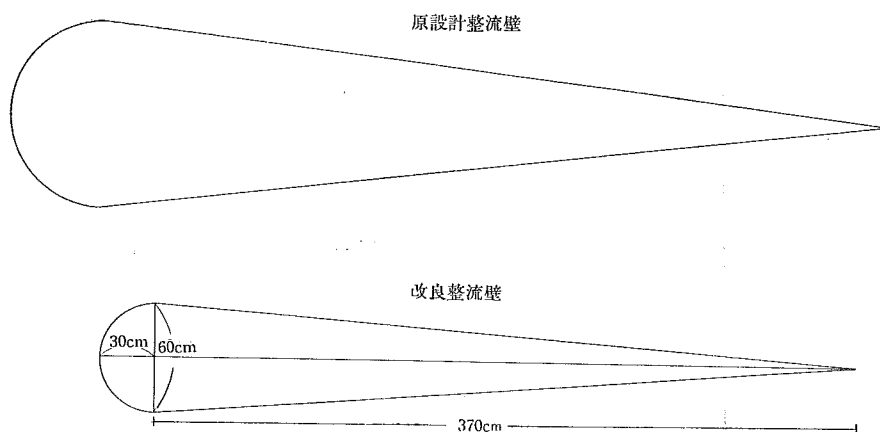
第Ⅱ圖 原 設 計 流 線



第 IV 図 改良 I 型平面図及び縦断図



第V図改良I型流線



第VI図 改良整流壁(下)

〔V〕 改良Ⅱ型について行つた実験結果

整流壁の中，前2ヶを改良し第VI図に示す様に薄くし，且つ後部3ヶを除去し第VII図の如くしたのを改良Ⅱ型とし，その流線を調査したのが第VIII図である。その結果隔壁によつて中央部40%，左右30%に分流され，此の点は大分改良されたが，依然として溢流部の改良即ち分水が完全に行われてない(写真XIX)。

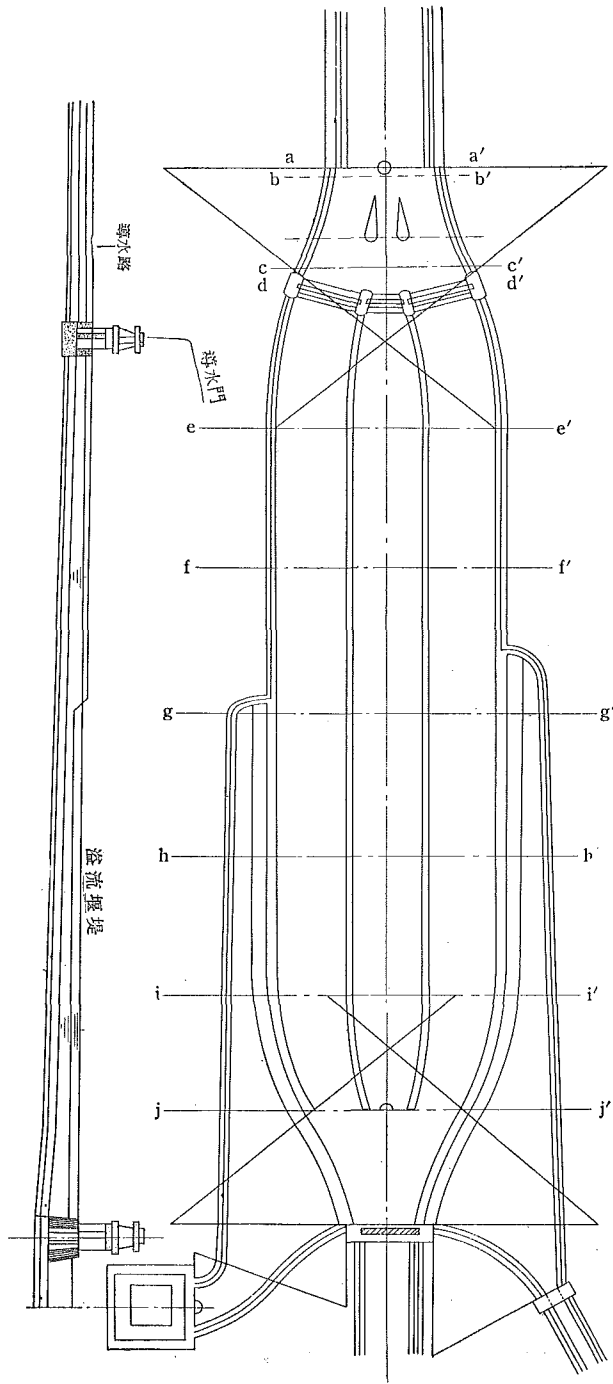
〔VI〕 改良Ⅲ型及びⅣ型について行つた実験結果

改良Ⅲ型平面図は第VII図と同じであるが，沈砂池内の隔壁を右側は右溢流部初めに平行に，左側は左溢流部初めに平行な位置まで第IX図横断面図に示す様に切り取り，隔壁上部が水面と同じ高さになる様にしたのが改良Ⅲ型であるが，之の場合の流線は第VIII図と全く同じである。

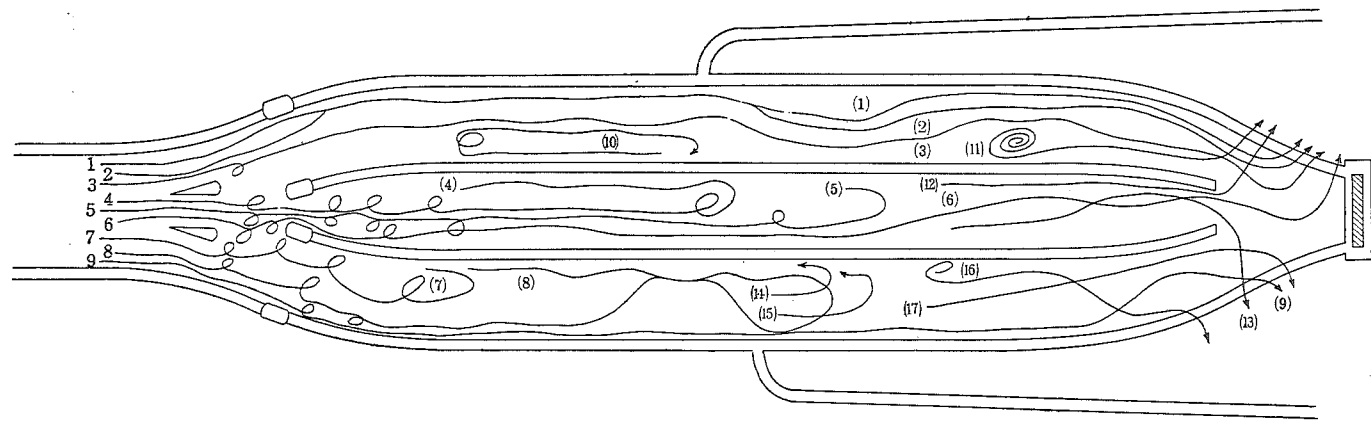
次に隔壁を更に下げて第IX図に示す様に隔壁末端と同じ高さにしたのが改良Ⅳ型である。之の場合の流線は第X図に示す通りであり，沈砂池末端で中央部の水が左右にも分流する様になり，従つて Back water の影響も少なくなり，溢流部の溢流水深も可成り均一化されて来た。併し溢流部の長い事は溢流水深差の完全なる除去に対しては，完全ではない(写真XX, XXI)。

〔VII〕 改良Ⅴ型について行つた実験結果

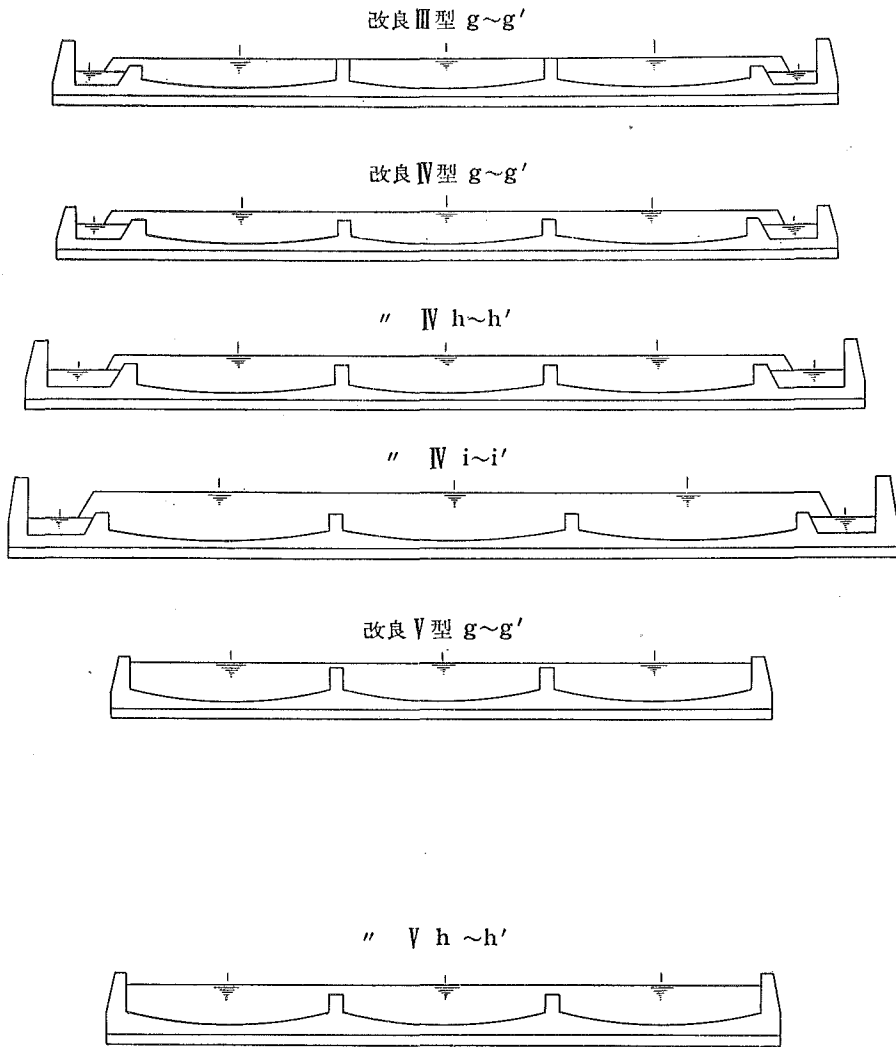
溢流部改良の為に，左右溢流部共狭くして左溢流部を末端より18.7m(模型では93.5cm)，右溢流部は17.3m(模型では86.5cm)としたのが改良Ⅴ型であり，その平面図，縦断面図は第XI図に示してある。流線は第XIII図の如し之で見ると明らかな様に左右の分水



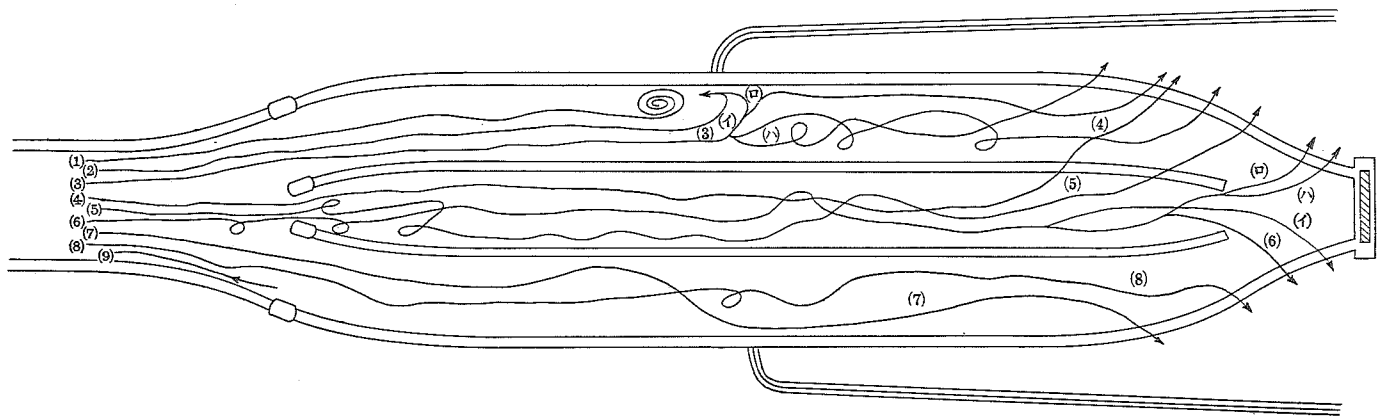
第Ⅶ圖 改良Ⅱ型平面図及び縦断図



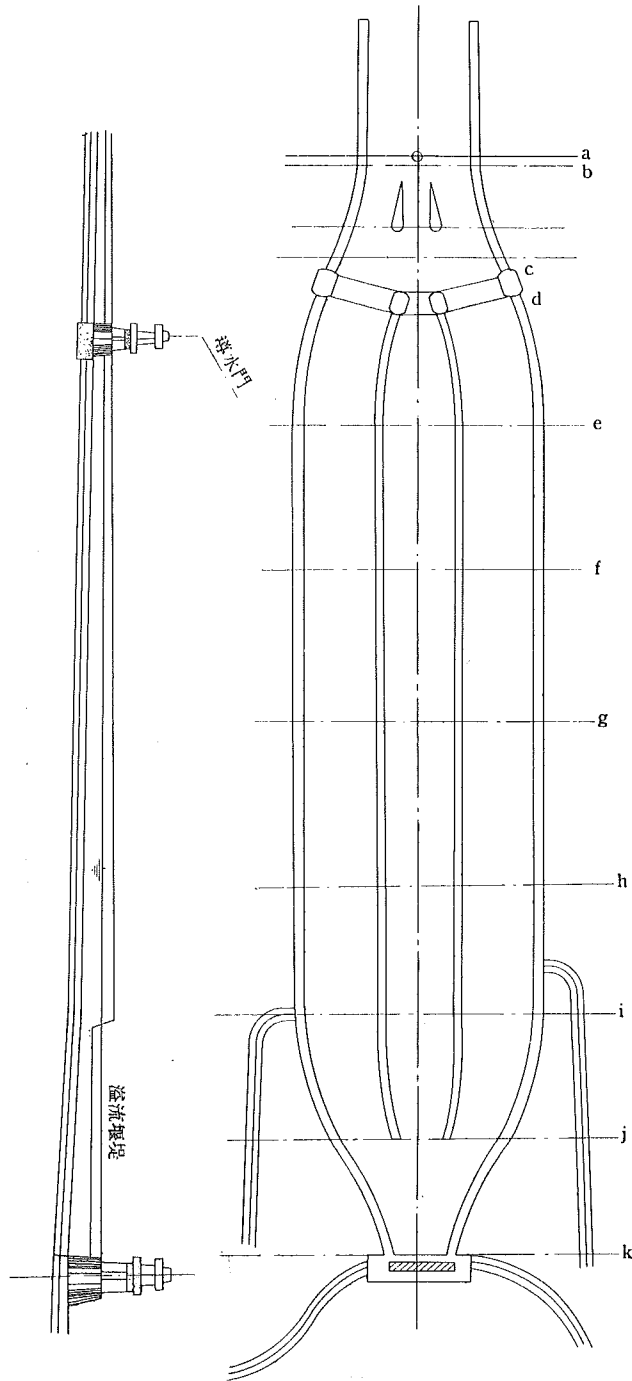
第Ⅷ圖 改良Ⅱ型流線



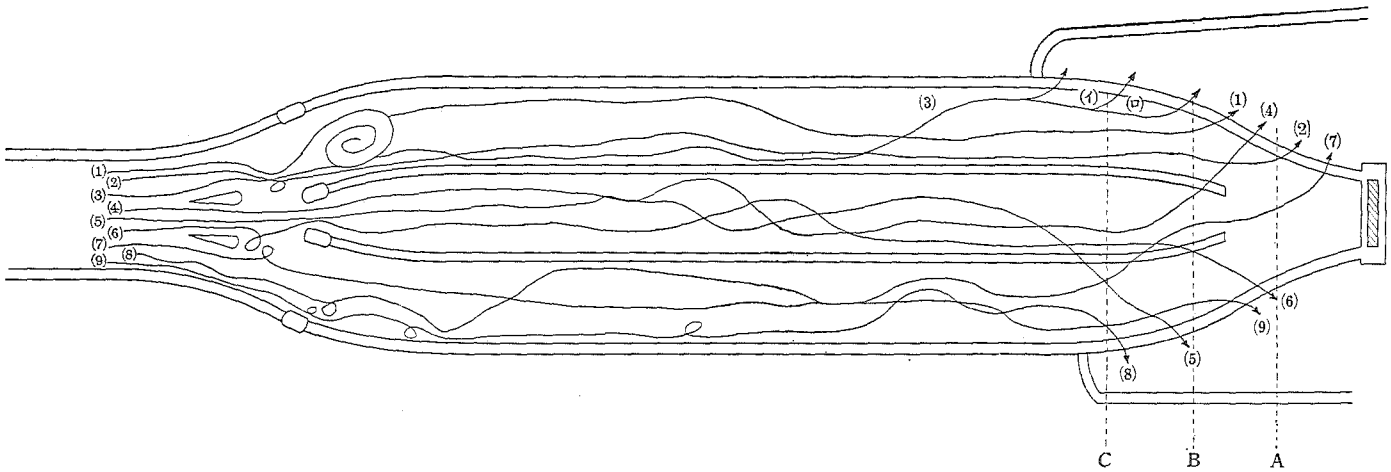
第Ⅹ圖 改良ⅢⅣⅤ型橫斷圖



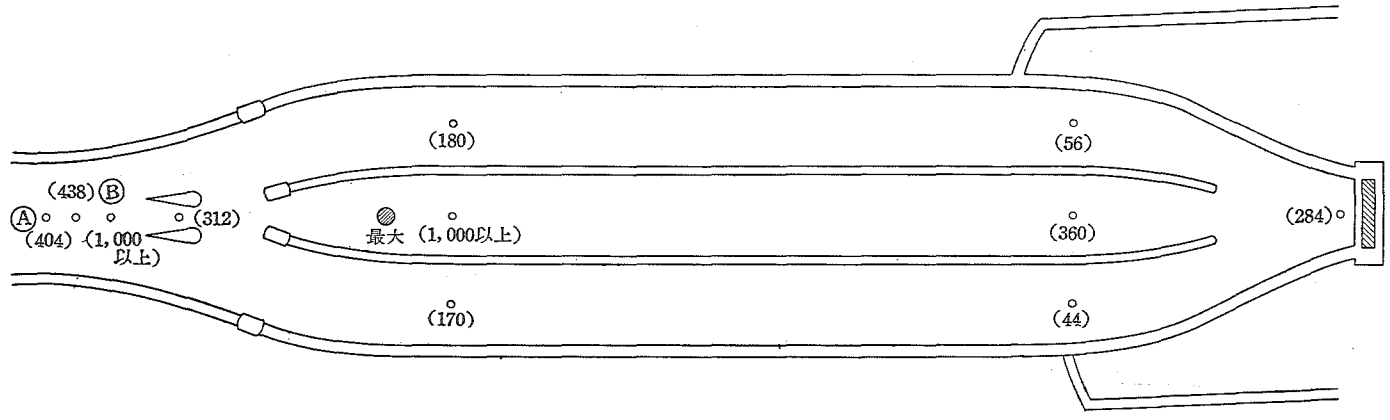
第 X 圖 改 良 IV 型 流 線



第 XI 図 改良 V 型平面図及び縦断図



第Ⅳ圖 改良 V 型流線



第 XIII 図 ラジオアイソトープ実験結果

が良好で、溢流部における左右三分点の水深は次の如し。(mm単位)

A	B	C
0.41	0.47	0.45
A'	B'	C'
0.47	0.51	0.52

此の様に水深が一様化されて来たのは Back water の影響が均一にわたるものと思われ分水上から言つて非常に良い事である。又溢流部が沈砂池末端に近附いた事は原型の場合より表面浮遊土砂が更に沈砂する効果をもたらす。

次に天竜川水中の浮遊土砂中最も多い 0.25mm~0.05mm の土粒子にアイソトープ P^{32} をまぜて㊤地点に投下して流し、投下15分後の放射能は第XIII図の如し。数字は count/minute を示す。㊤地点の放射能の高いのは此の位置に藻が生えていて土粒子が相当量引かつた為と思われるが斜線の部分が最も大なる放射能を示した。

之は投下粒子の中比較的大なるものが此の位置に多量に沈砂した為と思われる。続いて排砂門を開いて排砂を行つた後測定した結果は自然放射能数しか示さず、此の沈砂池が充分排砂機能のある事が示された。尙 P^{32} は土粒子表面に対する吸着が良いので、沈砂排砂実験の指標として使用し、機能を確かめるに役立つ事が明瞭となつた(写真 XXII, XXIII)。

〔VIII〕 模型内に於ける流速分布と堆砂分布

先にも述べた通り模型内の流速を測定するには色々な方法を用いたが、流線図を見ても分る様に、表面流に於て乱流を生じたり、渦流を生じたり或いは又 Back-water の現象を生じたりしている。従つて流速も位置に依つて相当異なる値を示している。併し改良 V 型に於ては流線も相当落着き流速も一様化して来ている。改良 V 型に於て差動マノメータを使用して流速測定した結果は次の通りである。

第1表 改良 V 型 流速

導水路 50.84cm/sec		制水門位置			
		左 12.69cm/sec	中 15.21cm/sec	右 13.66cm/sec	
沈砂池内	1.				
	2.				
	3.				
	左	f	8.20cm/sec	8.20cm/sec	7.78cm/sec
		g	7.33	7.33	7.33
		h	7.78	8.20	7.33
	i	7.33	7.78	8.20	
	j	8.20	7.78	8.20	
中	f	7.33	7.33	7.33	
	g	7.33	8.20	8.20	
	h	7.78	7.33	8.20	
	i	7.33	7.33	6.85	
	j	8.20	8.20	7.33	

右	f	6.85	6.35	7.33
	g	6.85	7.78	7.78
	h	8.20	6.85	7.33
	i	7.33	7.33	7.85
	j	8.20	8.20	7.33

第Ⅺ図に示す f, g, h, i, j の位置に於て夫々 3 等分して測定せり。

之よりすると沈砂池の中央水路が制水門位置に於ては最も流速が大であるが f の位置に於ては中央も右、左もそれ程の差は見られない。制水門位置に於ける流速は導水路に於ける流速の $1/3 \sim 1/4$ 、沈砂池内の流速は導水路に於ける流速の $1/6 \sim 1/7$ に低下し、且つ沈砂池内では f, g, h, i, j 点で余り大きな流速の差は見られない。次に模型内堆砂分布の状況はアイソトープ実験結果の様に比較的大粒子 (0.25mm 前後) の土砂を流した場合は e の位置……中央水路が大……に最も多く分布し、比較的小粒子 (0.1mm 以下) を流した場合は f の位置より下流側に主として堆積する。

〔K〕 水理学的考察

模型内に於ける流速測定に差動マノメーターを使用せる場合は

$$v = \sqrt{2gh}$$

v ……流速 g ……重力の加速度 h ……水頭差

の公式を使用して算出するのであるが、本実験の様に沈砂池内流速 9cm/sec ~ 6cm/sec の如き場合は 14.6 倍に倍率を増加しても水頭差として表われるのは 0.5cm 前後であり、測定に誤差を生じ易い。従つて緩流速測定器については早急に目的に合う様なものが必要である。又模型内の流速分布に於て導水路の流速に対して沈砂池内流速は $1/6 \sim 1/7$ であるが之は計算上に於ては $1/5$ 程度を採用する方が安全である。従つて設計上では導水路内流速が 1.10m/sec であるから沈砂池内では 22cm/sec 程度に流速が減じると考へる。

次に砂が静水中を沈澱する時には、始めは重力のために加速されるが、速度と共に流体抵抗も増して、間もなく重力と抵抗とが釣合うような状態となり、その後は一定の速度、即ち限界沈降速度で沈下する。砂の比重を d 、形は直径 r の球体と見なし、限界沈降速度を v 、液の比重を d' 、液の粘性係数を η 、重力の加速度を g とすると Stokes 氏の式で

$$v = \frac{2}{9} r^2 \frac{d-d'}{\eta} g$$

となる。此の場合上式で明らかな様に v は温度によつて或る程度変化する。今各種直径 (r) 及び比重 (d) を有する砂の水中に於ける沈降速度は第Ⅱ表の如し。

第Ⅱ表 各種直径(r)及び比重(d)を有する球体の水中に於ける沈降速度

r (mm)	Tem(°C)	v(cm/sec)		
		d=2.7	d=2.5	d=2.3
0.5	5	4,226	3,928	3,611
	10	4,322	4,023	3,705
	15	4,403	4,104	3,784
	20	4,467	4,167	3,845
	25	4,527	4,227	3,908
	30	4,578	4,277	3,956
0.2	5	1,714	1,555	1,389
	10	1,850	1,685	1,511
	14	1,973	1,802	1,623
	20	2,076	1,902	1,711
	25	2,176	1,998	1,812
	30	2,260	2,080	1,889
0.1	5	0.570	0.506	0.442
	10	0.647	0.577	0.505
	15	0.726	0.649	0.569
	20	0.799	0.716	0.628
	25	0.878	0.788	0.696
	30	0.950	0.855	0.755
0.05	5	0.151	0.133	0.116
	10	0.175	0.154	0.134
	15	0.200	0.177	0.154
	20	0.226	0.199	0.173
	25	0.253	0.225	0.196
	30	0.281	0.249	0.217
0.02	5	2.55×10^{-2}	2.15×10^{-2}	1.89×10^{-2}
	10	2.90	2.55	2.16
	15	3.30	2.90	2.49
	20	3.75	3.25	2.81
	25	4.20	3.65	3.19
	30	4.65	4.10	3.55
0.01	5	6.09×10^{-3}	5.38×10^{-3}	4.66×10^{-3}
	10	7.07	6.24	5.41
	15	8.13	7.16	6.22
	20	9.18	8.10	7.02
	25	10.39	9.17	7.48
	30	11.61	10.25	8.89

従つて粒径 0.2mm (沈澱せしめる最小粒径0.4mmの1/2) 比重 2.5 の砂が15.5cm沈降するには 10秒を要する訳である。沈砂池制水門より溢流堰始点までの距離は改良Ⅳ型で25.50m-3.20m=22.30mであるから此の間の平均流速を 22cm/sec とすると、完全なる浮遊物が制水門より溢流堰始点まで到達するに≒100secを要する。

処が流速のある水中に於ては砂は浮揚力を受ける。此の浮揚力によつて各粒径の砂粒が浮遊を続けるに必要な流速は次式より得られる。

$$v = \left[\frac{8}{3} \frac{g}{\eta} (d-1) r \right]^{0.5}$$

v ……流速 η ……係数≒0.3 d ……砂の比重 r ……砂の半径 g ……重力の加速度
上式より求めた各粒径の流速は第Ⅲ表の如し。

第Ⅲ表 砂粒が浮遊を続けるに必要な流速

粒 径(r) mm	流 速(v) cm/sec
0.1	11.8
0.2	16.7
0.3	20.4
0.4	23.6
0.5	26.4
1.0	37.3
2.0	52.8
3.0	64.6

従つて 0.4mm の粒径の砂粒は導水路中では浮遊を続けるが、沈砂池内に入ると沈澱し始める。

〔X〕 結 論

原設計に対して改良すべき点は、

1. 整流壁(阻水壁)は二枚とし且つ薄くする事。
2. 隔壁は末端を更に低くし水の移動を容易ならしむる事。
3. 溢流部は狭くする事。
4. 沈砂、排砂は原設計にても概ね良好。
5. 上記の事より沈砂池としては改良Ⅴ型を採用する事が最も望ましいが、実際施工の際に水頭が充分取れない為、本地区に於ては改良Ⅳ型を採用する事に決定した。

尙本実験実施に際しては長野県耕地課福井課長、板倉係長、耕地課職員、小池伊那農業水利改良事務所長及び事務所職員の御協力を得た事を深く感謝致します。又観測、分析、実験、資料の整理等に努力戴いた信大農業土木研究室の皆様にも厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 本間 仁；水理学 1952 丸善
 物達長穂；水理学 1950 岩波
 狩野徳太郎；農業水利 1952 養賢堂
 中谷 強；急流河川に設けられる頭首工の取水方法について
 農林省東京農地事務局技術課；見沼代用水取入口の流砂量調査
 出口利祐；竜西農業水利頭首工水利模型実験概要 1955 23巻2号 農土研
 種田行男；塩速法による流量測定方法 1955 22巻6号 農土研
 清水邦夫；逆サイフォンの水頭損失に就いて 1955 4号 信大農学術報告
 農林省農地局；土地改良事業計画設計基準 3部3篇5章
 同上；同上 3部5篇4章
 Davis；Handbook of applied hydraulics 1942 Mc Graw-Hill Book Company
 H. Addison；Hydraulic measurements 1946 Chapman and Hall
 Rouse；Engineering hydraulics 1949 John Wiley

Summary

**Report of Sand Basin Hydraulic Model Test of
 The Ina Diversion Works**

Kunio SHIMIZU

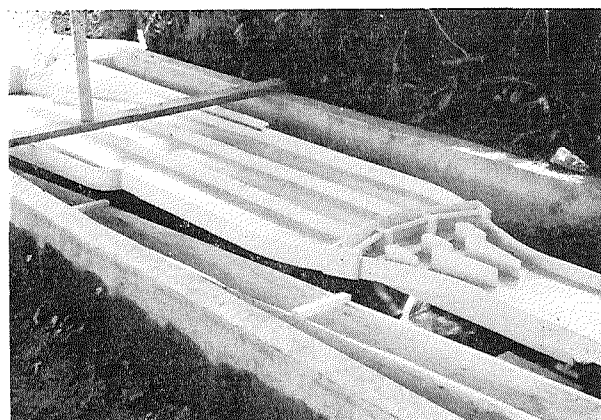
(Institute of Agricultural Engineering Faculty of
 Agriculture, Shinshu University)

I got next results by sand basin hydraulic model test,

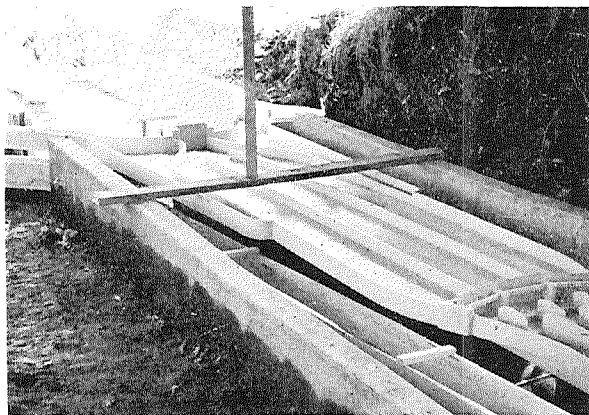
- 1) I got good sedimentation of Sand and diversion of water by Type V (Fig. XI).
- 2) Type V is reclamation of original Type (Fig I, II) on laminar wall, diversion wall and overflow weir.
- 3) But we cannot get enough head in this position, so we decide to adopt Type W (Fig IX).



I 模型設置



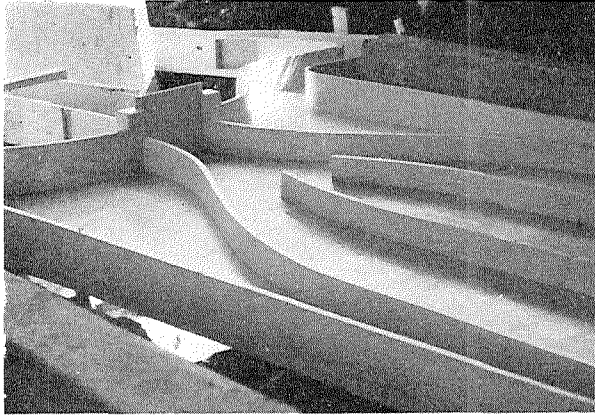
II 模 型



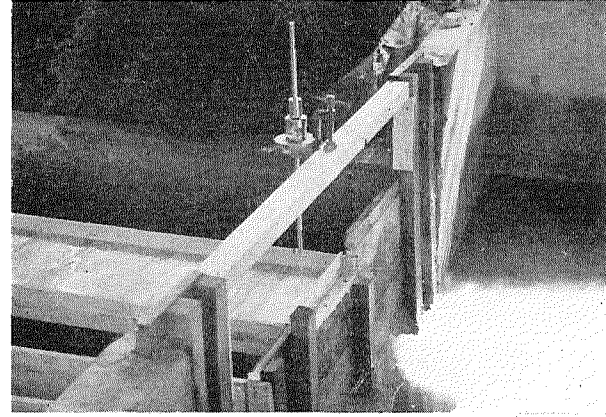
III 模 型



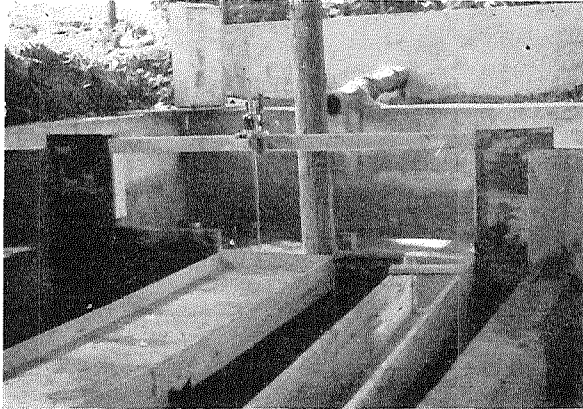
IV 自記水位計



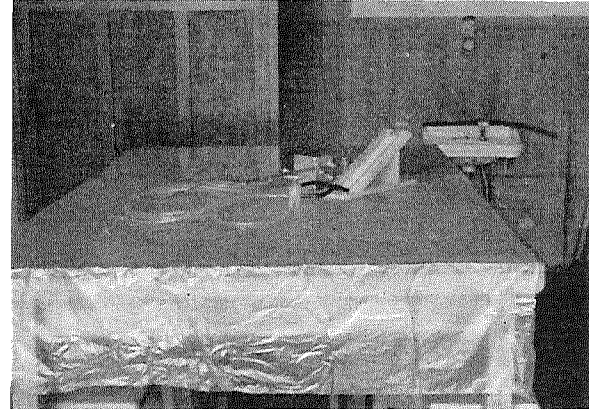
V 溢流部



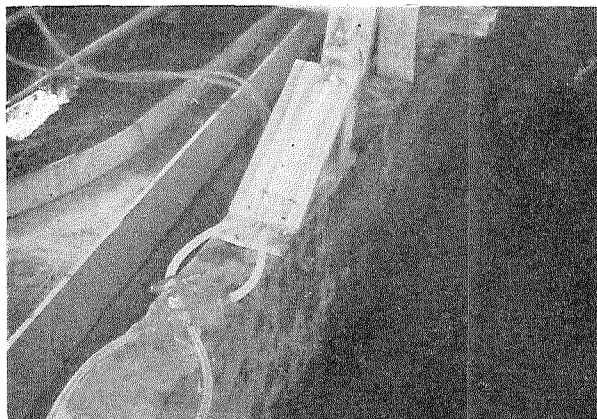
VI ポイントゲージ



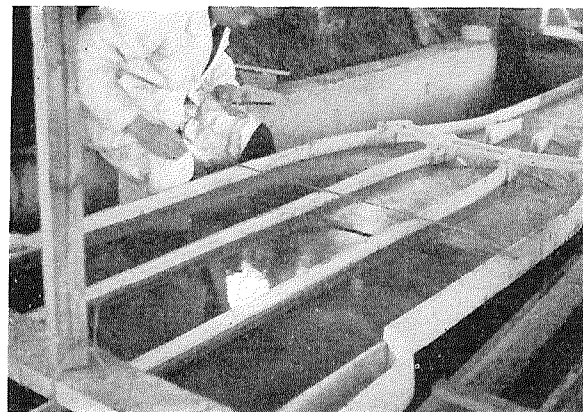
VII ポイントゲージ



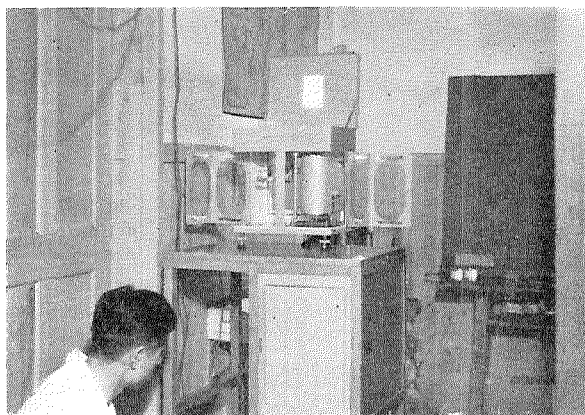
VIII 差動マンノメーター



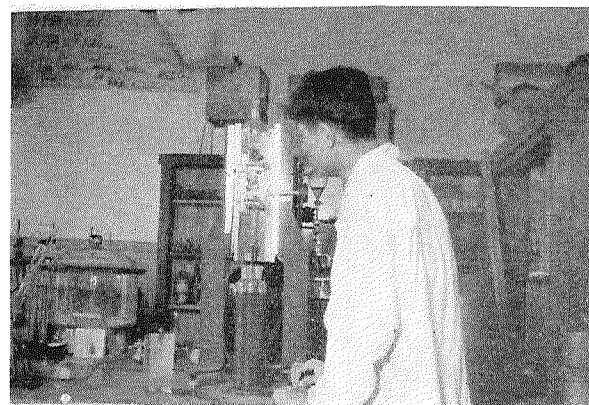
XI 差動マンノメーター設置



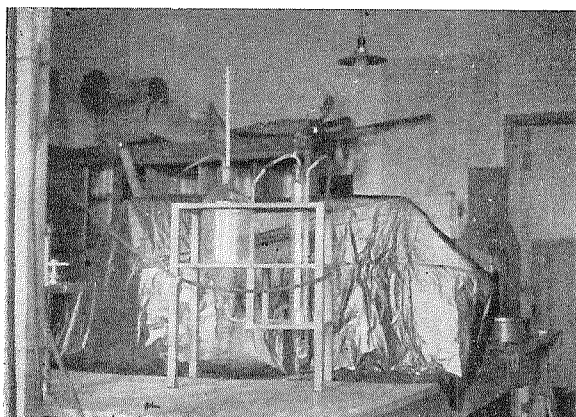
X 浮玉にて流速測定



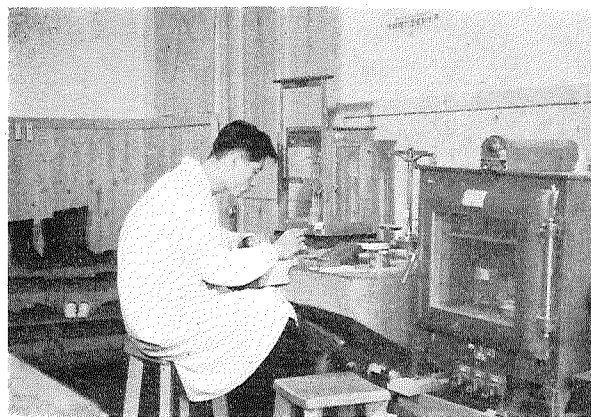
XI 自動粒度測定器



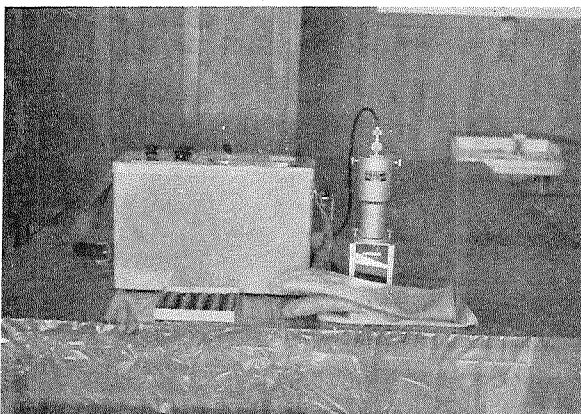
XII ピペット法測定器



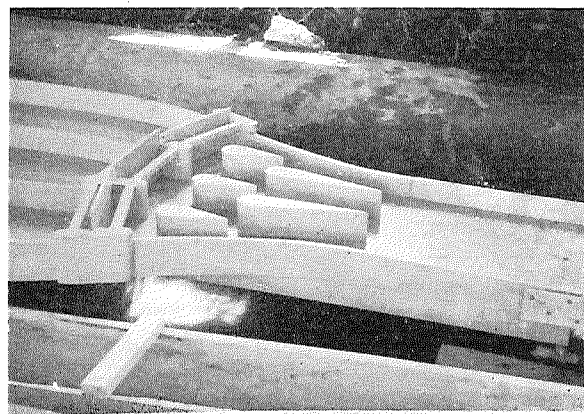
XIII A. S. K法測定器



XIV 化学天秤及恒温槽



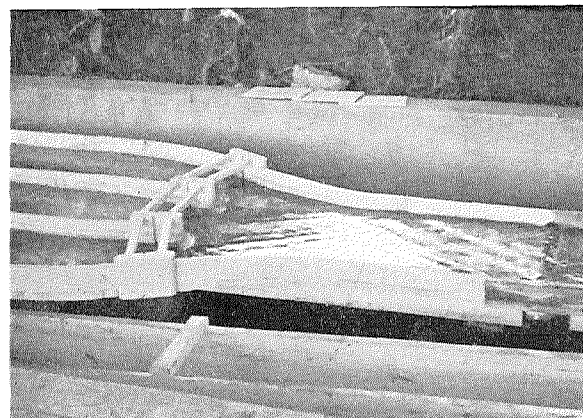
XV 放射能測定器



XVI 原設計整流壁



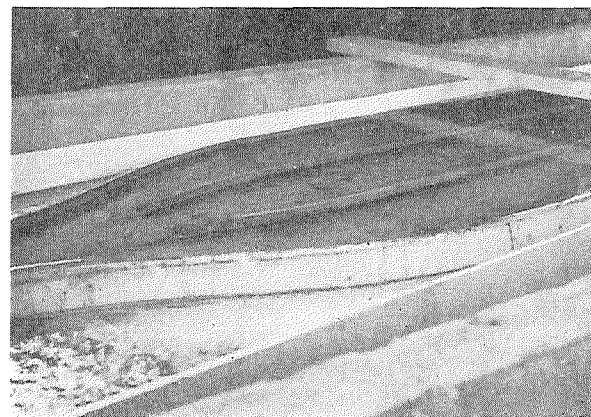
XVII 原設計沈砂池末端



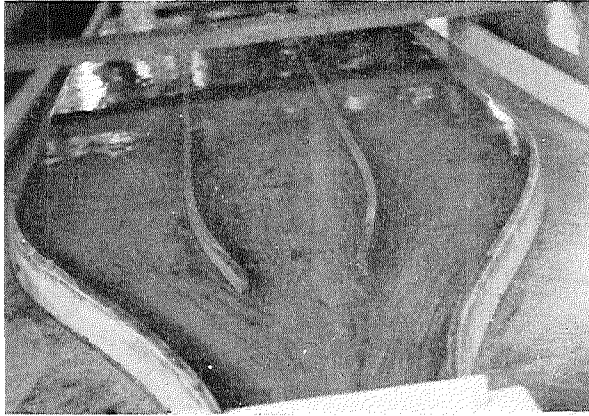
XVIII 改良Ⅰ型沈砂池入口



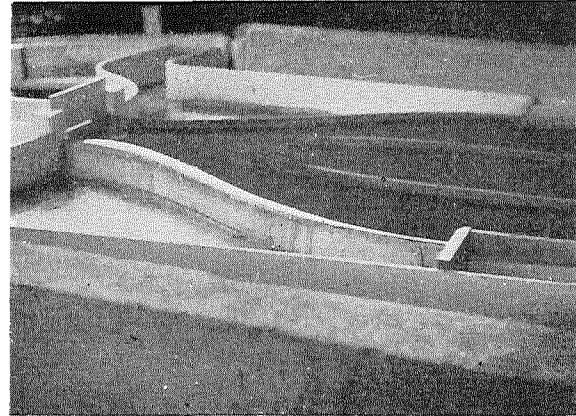
XIX 改良Ⅱ型整流壁



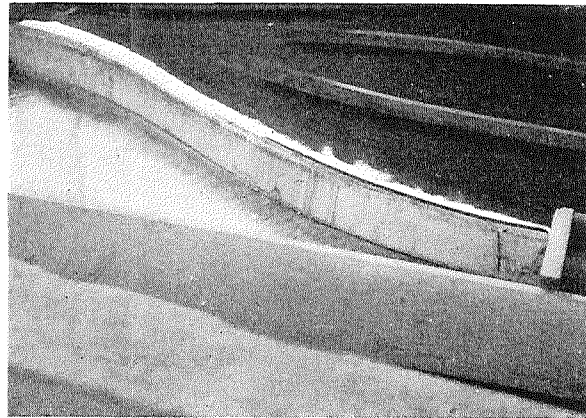
XX 改良Ⅲ型沈砂池末端



XXI 改良Ⅳ型沈砂池末端



XXII 改良Ⅴ型沈砂池末端



XXIII 改良Ⅴ型沈砂池溢流部