

論 說 報 告

第十八卷第十二號 昭和七年十二月

螺旋形排砂池模型實驗報告

會員 工學士 石 井 穎 一 郎

Report on the Experiment of the Spiral Sand Separator

By Eiichiro Ishii, C. E., Member.

内 容 梗 概

本編は先づ彎曲水路内に於ける水の運動を論じ、次でこれに關する諸外國に於ける實驗例を舉げ進んで著者が庄川水力小牧堰吳魚道内に於て米人 Karl Enz 君考案の螺旋形排砂池模型に就て行つた各種實驗の結果を報告したものである。

第 一 章 緒 論

近來水力發電用フランス水車の構造は逐次改良されて益々高落差の發電に使用される様になつた。元來此水車は非常に能率の低い丈に構造繊細で機械の磨損は直に能率に影響し其甚しきは機械据付け後 16 箇月にして砂による磨滅の爲、出力を 65% に減じた實例さへあると云ふ。

故に高落差の場合は水車中の水速大なるを以て水流中に含まるゝ砂礫は出來得る丈に除去して機械の磨損を防ぎ能率の低減を來さぬ様心掛ねばならぬ。即ち取入口に於て土砂の流入しない様に設備するは勿論、一旦水路に入つたものも之を完全に排除することを工夫しなければならない。

我國に於ては河川の性質上發電用水流中に相當多量の土砂を含むを常とする。従て流速を減緩して水中の砂粒を沈澱せしめべき沈砂池を築造するを常とするも、之を完全に施設する事は調整池等を有する特殊の水路を除いては地形上頗る困難である。換言すれば在來の沈砂池にあつては池内の流速を所要の低速度迄低下せしむる爲には相當大きな水路斷面を必要とし多額の工事費を作らねばならず、流水斷面の急激な變化により動もすれば各種の渦巻を生じ沈澱作用を阻害し又一旦沈澱した土砂を再び動揺せしめて豫期の効果を收める事の出來ない場合が尠くない。

此式の缺點を除く爲に從來普通に用ひられた沈砂池と異り水路を彎曲せしめ遠心力に因る橫流 (cross current) を利用して相當速い流速に於て沈澱作用を促進せしめる螺旋形排砂池が考案せられた。此型式に依る離砂の原理は彎曲水路内にて連續した橫流を生ぜしめ含有土砂を内壁に沿ふ敷上に分離し沈澱させるものである。然し此者が實地に於て果して幾何の効果を有するかに就ては机上論に斷定する事が出來ない。

茲に於て昭和 5 年 10 月螺旋形沈砂池の模型を作り京都帝國大學中央實驗所に於て試験せんとしたが偶々ポンプに故障を生じ流量の調整が不便だつたので、11 月に至り此模型を庄川水力電氣會社小牧堰吳魚道内に移し約 2 箇月間に亘り各種の試験を成し該型式の性能を實驗した。之と同時に直線型沈砂池模型に就ても種々の實驗を行ひ從來行はれて居る沈砂池の効果を明確にし螺旋型との比較を行つた。

就ては本實驗のみを以て斷定的な結論を下す事は尙早計の識を免れないと思ふが一先づ其記録を蒐集し多少の推論を加へてみたから茲に報告する事にした。大方の御叱正を得れば幸甚である。

第二章 彎曲水路内に於ける水の運動

本章は Dr. Ing. A. Hinderks の "Der Bauingenieur, 25. April 1930" 誌上に發表せられたものに依る所が多い。今摩擦のない彎曲管を水平に置いたものとし其管内に於ける完全液體の運動を考へる時は Bernoulli's energy equation から

$$h + \frac{v^2}{2g} = \text{const.} \dots\dots\dots (I)$$

即ち $dh + \frac{v dv}{g} = 0 \dots\dots\dots (II)$

- 茲に h : 静水頭即ち水柱の高を以て示めされた内壓力 (m)
 v : 管内の流速 (m/sec)
 g : 重力による加速度 (m/sec²)

今彎曲管の流入口側面に働く静水頭 h_0 は水流全體に一樣に及ぼすのでこれを無視し單に流速と遠心力との關係のみを考へれば、 dh なる壓力の變化は質量 $dm = \frac{\gamma}{g} r d\alpha \Delta r h$ なる水片に働く遠心力により生ず。即ち遠心力は

$$dz = \frac{\gamma}{g} r d\alpha \Delta r h \frac{v^2}{r} \dots\dots\dots (III)$$

- h : 水片 (Wasserteilchen) の高
 r : dm 迄の彎曲半径 γ : 水の單位重量
 F : 面積

故に質片 (Massenteilchen) dm の作用により生ずる單位面積に於ける壓力増加は

$$d\gamma = \frac{dz}{dF} = \frac{dz}{r d\alpha h} = \frac{\gamma v^2 \Delta r}{g r} \text{ kg/m}^2$$

即ち

$$dh = \frac{v^2 \Delta r}{g r} \dots\dots\dots (IV)$$

これを (II) 式に代入すれば

$$\frac{dv}{v} = -\frac{\Delta r}{r} \dots\dots\dots (V)$$

これを積分すれば $v r = \text{const.}$

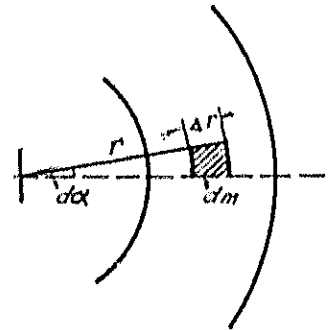
故に摩擦のない彎曲管に於ける完全液體の彎曲運動に於ては半径の一番小さい内層に於て流速は最大で、半径の増加と共に流速を減少するのである。即ち水平面上の流速分布は双曲線となる (第二圖 (a) 參照)。

此双曲線狀の流速變化の場合には、 $v r = \text{const.}$ を出した根據の通り流速の大きい端は遠心力が大きく、従て遠心力より生ずる内壓力は大きい。然しそれだけ静水頭は減少する。又流速の小さい端では遠心力に依る内壓力は小さいがそれだけ静水頭が増加すると言ふ事を前提として居るから總々の部分に同一壓力となるので副流を生じない。

然し實際に於ては壁の摩擦と水の粘性とにより、水平面上の流速分布は双曲線より多少變化し又垂直面上に於ける流速分布は中點に於て最大となり、敷及上壁に於て著しく減少する (第二圖 (b) 參照)。

この圖に於て F_{cent} 並に F_{st} は X-Y に於ける紙面に直角な方向の流速を示すものである。故に外壁附近に於て遠心力から生ずる壓力は中點 A に於て最大にして、上方及下方の隅に向つて漸次減少する。

第一圖



茲に於て外壁に沿ふては壓力の高い中央から壓力の低い上下の隅の方へ即ち A から B の方へ副流を生ずる [第二圖 (o) 参照]。

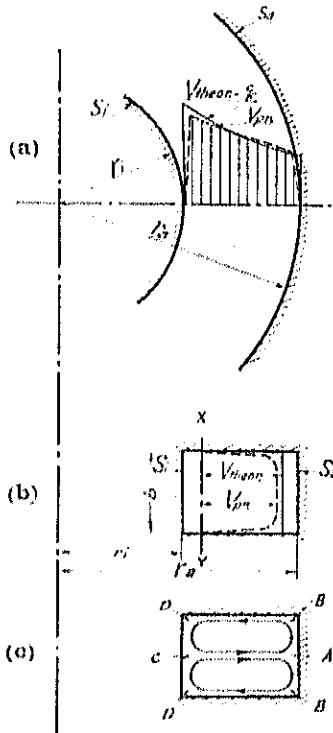
又 A 點の水が移動すれば C 附近から水は遠心力により補給される。次に流速の大きい D 點に於ては流速の小さい B よりも摩擦による損失水頭が大きいから D に於ける壓力は B に於ける壓力よりも小さくなる。それで B から D へ副流を生ずる。

又 D に達した水はすでに水の移動せる C に向つて補給される。

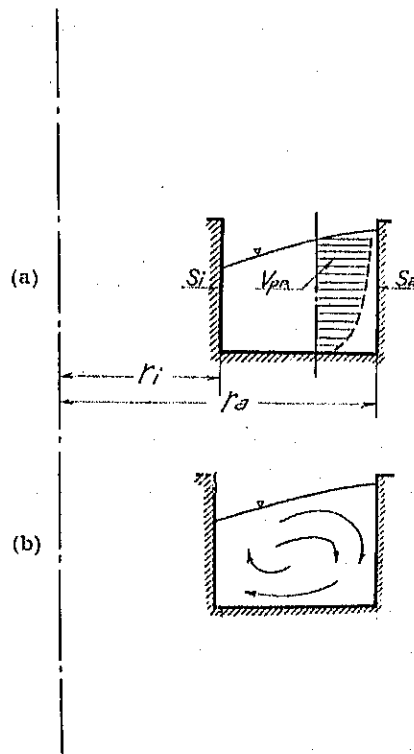
故に彎曲管内に於ける合成流は互に重つた二つの螺旋運動 (screw motion) をなし、底並に天井に沿ふては外側から内側の方へ流れ、中層に於ては内側から外側へ流れる、この有様は第二圖 (o) によつて示される。

上と同様の推論に依り彎曲した閉環に於ては遠心力により水路曲線の外壁に沿ふ水壓の増加 (dh) は唯水面の上昇となる。従つて外壁に於て水面を高め内部水壓を増加せしめる。摩擦の無い場合を考へればこの状態に於て總て

第二圖



第三圖



の層は平衡を保つ。然し實際の場合には水の粘性の結果第三圖 (a) に示す様に流速が大體拋物線に従て變化する。故に外壁に沿ふては上層に於て遠心力が大にして下層に於て小となる。茲に下向きの副流を生じ次で彎曲管の場合に説明したと同じ様な流を生ずる。この有様は第三圖 (b) によつて示される。

第三章 外國に於ける實驗例

第一節 M. Möller 氏の實驗

(A) 圓形タンクによる實驗

實驗模型として直徑 1 米第四圖の如き鐵板製の圓形タンクを造りこれに水を入れて回転運動を與へる時は、水

は欠線方向の運動をなし含有物はこの水流により漸次誘導されてタンク中央部分の敷土に沈澱した。圖中 σ は表面の水流, π は底面の水流を示すものである。

(B) 環状水路による実験

直徑1米のタンクの内に他の小さなタンクを挿入し環状水路を作り、この中に於て水に回轉運動を與へたるに第五圖に示す如き水流を生じ含有物は内側の壁に沿ふて沈澱した。

第二節 University at Iowa に於ける
實驗

實驗水路は 26 尺の導入水路と 30 尺の放出水路とを内壁の半徑 5 吋なる 180 度の彎曲水路を以て聯絡したもので水路斷面積は 10 吋角である。彎曲部分並に其前後 8 尺の水路はセルロイドを以て製作して内部を透視し得る様にした。此水路中 300 部に於ける壓力と 700 部に於ける流速とを測定したが、彎曲部に於ける水流の方向は第六圖 (a) に示す様に方向反對な二重の環狀對流を生じた。

又天井に比し敷面に於ける摩擦を大ならしめた場合には第六圖 (b) に示す様な一重の環狀流を生じた。

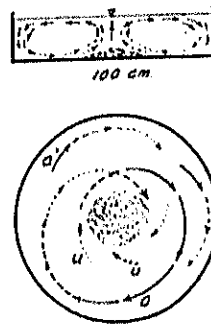
尙内壁附近に於ける流速は外壁附近に於けるものよりも大きかつたと云ふ。

第三節 Technische Hochschule, Hannover に於ける實驗

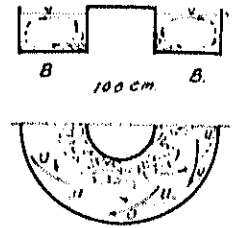
第七圖に示す如き漸次幅員を増大した螺旋形水路模型を筒を作り、之に水を一は中央から他は外方から導くものであつて、水路の敷面は内側に向つて傾斜し内壁と敷との連絡點に間隙を作りこれより沈澱した土砂を下部の留砂室に導く裝置である。尙其他に留砂室を有しない水平な敷を有する模型も使用した。

之等の模型に就き過マンガン酸加里の粉末を水路の外壁に沿ふて散布しこれが漸次溶解して着色した水の流れにより水路敷上の水流の方向を観測したが、其結果は第二章に述べた理論と一致した。又紙屑 (papierbrei) を流水中に混入してその沈澱

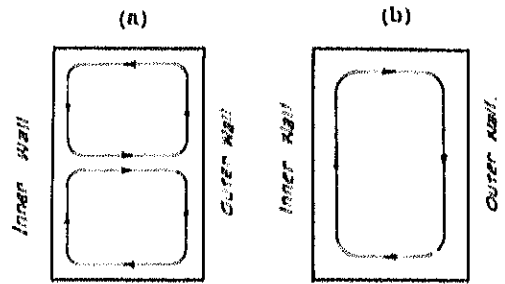
第四圖



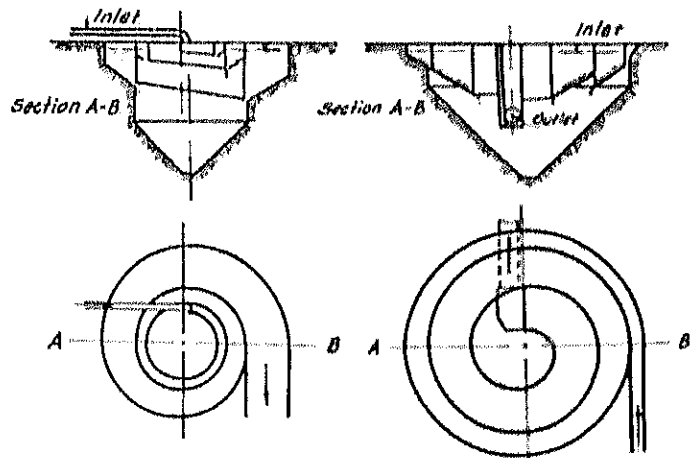
第五圖



第六圖



第七圖



状態を試験したが含有物は表面に於て漸次内壁から外壁に近づき次で上層から下層へ誘導され敷の上を横切り内層附近へ集中し沈澱するに至つた。

第四章 著者の實驗

第一節 實驗設備概要

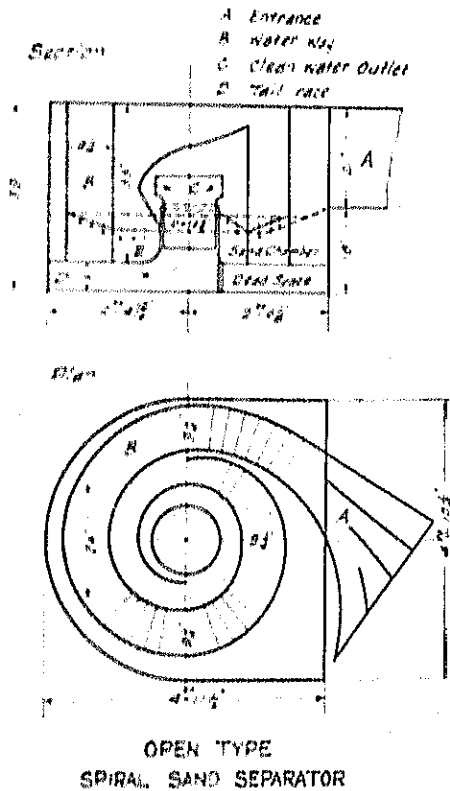
實驗に用ひた模型は米人 Karl Euz 君の發案に係るものである。同君は目下顧問技師として東京に在住してゐるが水理學實驗に多年の經驗を有し水力學の實際に通曉した篤學の人で水力原動機械の領域に於て同君の創案に係るものも尠くない。

個々日本電力株式會社に於て黒部川水力地點の水路設計に際し同川が周知の如く激流で地勢が急峻狭小で而も積雪が多い等の爲、沈砂池としては最も有效な最も小ぢんまりとしたものを設備したいと苦心してゐたところへ同君が數年前に考案した此螺旋形排砂池を推薦して來たので、先づ模型實驗を行つてその性能を研究し將來沈砂池設計上の參考としやうと云ふ運びになつて、同君に其模型の設計製作を委嘱した譯である。

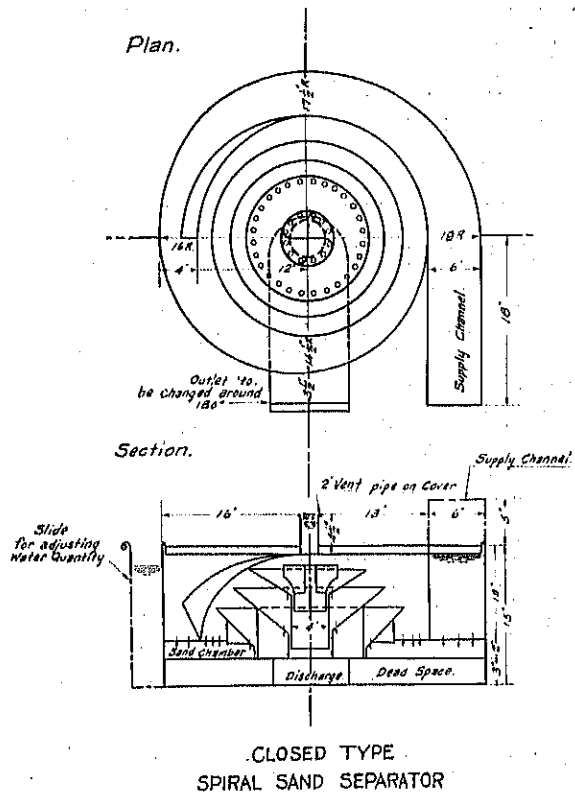
實驗に使用した模型(下流)は三種である。

- (A) 閉型式螺旋形排砂池模型
- (B) 開方式螺旋形排砂池模型
- (C) 直線形排砂池模型

第八圖



第九圖



(A) 開渠式螺旋形排砂池模型

本模型は第八圖に示す様な直徑約 5 尺、高約 3.5 尺の鐵板製である。A は喇叭狀の入口にして水路 B は幅 9 寸の螺旋形を成して中心に達し、呑口 C から底鐵の下を潜る尾管を経て D なる流出口に通ず。

又水路數は 3 時幅の内側に傾斜した鐵板の鐵張りであつて約 1/10 時の隙間がある。而して水流から分離した土砂は此隙間を通じて E なる留砂室へ落下する。

中央呑口は水位の高低に応じて上下に調整し得る様に設備してある。又 D なる螺旋形水路は取外しの出来得る様に作られ、之をチェン・ブロックに依り引き揚げる時は E なる留砂室内部の沈砂状態を検し得る様にしてある(寫眞第三及第四参照)。使用水量は 0.5 個~2.0 個で、模型の上下流の水位を調整する事によつて毎秒 0.5 呎~2.3 呎迄の流速を使用した。

尚流入口に於て砂を混入する落樋を設け之にゴム・ホースを以て水を導き充分水と砂とを混合して均等に水路入口に落下する様にした。この試験用濁水は螺旋形水路を流し、この間に砂の分離沈澱作用をなし、清水は中央呑口から流出する、故に中央呑口に流入する前に於て直徑 1 吋位の絹布製の袋を以てその時の含有土砂を採取した(寫眞第五参照)。

(B) 壓力式螺旋形排砂池模型

本模型は第九圖に示す如く直徑約 2.5 呎、高約 1.5 呎の亜鉛鍍鐵板製であつて自由に取外し事の出来る蓋を有し 3 吋位の水壓に耐へるものである。中央呑口の下方に 3 枚の蓋狀の皿を重ね中央部附近に浮遊してゐる砂を漸次集中して下方の留砂室に導くものである。又蓋を外し次に水路數を引き揚げ留砂室を検し得る事前者に同じ(寫眞第六参照)。

使用水量は約 0.15 個にして流出口に於て前述の如く絹布製の袋に依り含有砂を採取した。

(C) 直線形沈砂池模型

之は Enz 君の發案のものでない。普通用ひられて居る沈砂池の理論を實驗せん爲と爲り、且つ開渠式螺旋形模型と比較研究する爲螺旋形模型と同一の幅員並に延長を有するものとした。即ち幅 9 吋、長 18 呎の水路數は鐵張り二重底である(寫眞第七参照)。

使用水量、流量並に混入砂量は螺旋形の場合と同一とした。

之等の模型を第十圖に示す様に庄川水力電気會社小牧堰堤附屬魚道内に設けた本類の中に排列して實驗を行つたのである(寫眞第一及第二参照)。

試験に用ひた砂は庄川産砂を豫め 1 分目の篩を通したものを用ひた。實際試験に従事した者は日本電力會社土木部藤井雄之助及高木健吉の兩君である。

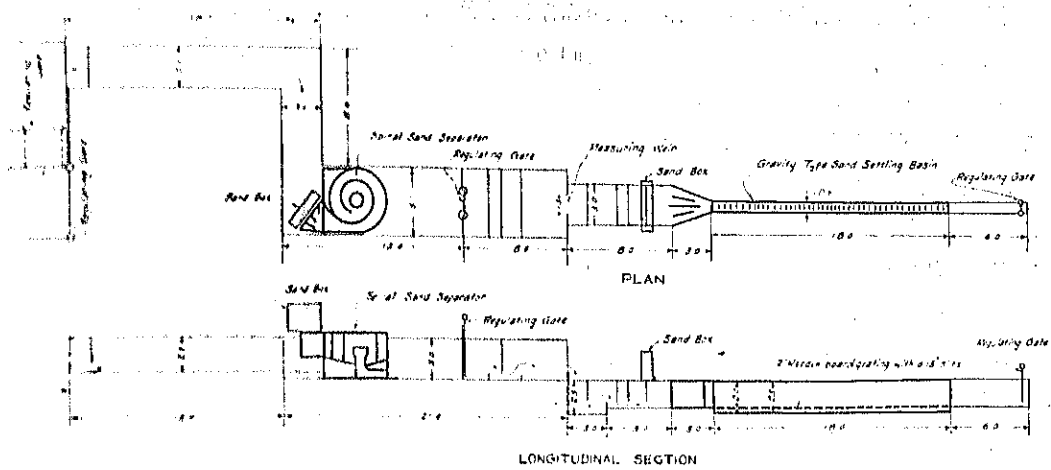
第二節 開渠式螺旋形水路内に於ける流速分布の測定

水路内各部の流速を測定せんとして最初ピト・チューブを用ひたが、讀みが困難なる、故に之を繼ぎ第十一圖の如く細い絲の先端に錘を結びその絲の垂直線となす角度を測定し流速を比較した。此装置により流量 3 個の場合に於て平均流速が 3.0 呎並に 1.0 呎の時の表面流速を測定した結果は第十二圖及第十三圖に示す如し。圖中 P₁, P₂, P₃ 等は各點の流速を最大流速の比で示したものである。

この測定の結果から見ると流速は内側より 1.5 吋又は 3.0 吋附近に於て最大で外側に至るに従ひ漸次減少する。前記の如くピト・チューブが不結果に了つた爲、單に表面流速のみが知る事を得なかつたのは遺憾である。

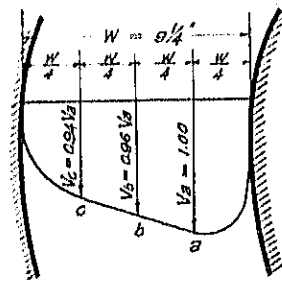
自然の河川の場合に於ては彎曲部に於ける流速は其外側が大きく、内側が小さい、之は我々の懸々目撃する所で

第十圖



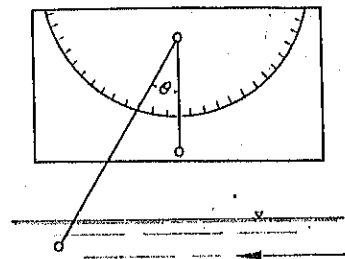
あつて又之が實測の結果を發表されたものもある。而して此場合には原則として内側に寄洲が發達して居る。此測實から見て我々の實驗に於ける彎曲水路内の水の運動状態と全く反した結果に見える。普通河川彎曲部に於ける流水に對しては内側に於ける流速が緩いから寄洲が出来反對に外側が速いから砂を常に流出して深淵となるかの如く考へられ易い。之は原因と結果とを取違へた議論であつて實は河川の場合と雖水理學の原理に何等變りある譯はなく矢張り我々の實驗と一致して居る譯である。何となれば河川の横断面が正確なる扇形である場合は矢張り内側が速い譯であつ

第十二圖

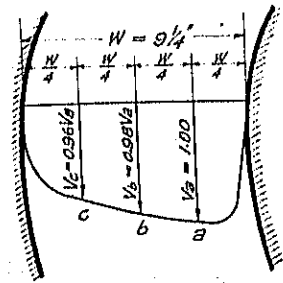


$Q = 2 \text{ ft}^3/\text{sec}$
 $V_{\text{mean}} = 2.0 \text{ ft}/\text{sec}$
 V_a, V_b, V_c : Surface Velocity

第十一圖



第十三圖



$Q = 2.0 \text{ ft}^3/\text{sec}$
 $V_{\text{mean}} = 1.6 \text{ ft}/\text{sec}$

て、従て前述彎曲水路の實驗に於けると同様に渦流作用によつて内側の底部に砂が沈澱する、即ち處に寄洲が發達する譯である。

而して寄洲のよる所即ち淺淵は摩擦に依り流速が異なる。

故に結果から見れば自然河川に於ては外側が内側より流速の大きい事は事實だが、我々のこゝに研究して居る理論には何等抵觸するものではない。

第三節 開渠式螺旋形水路内に於ける横流 (Cross current) の測定

(A) 浮子による測定

多數の浮子を水路の表面に浮べたるに内壁附近のものは壁に沿つて流下し中央並に外壁附近のものは漸次水路を横切り内壁に死づくを見た。

(B) インク流による測定

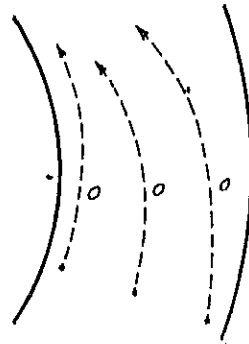
内径3分の硝子管で噴管 (nozzle) を作り之より赤若くは青色のインクを水路各層に於て放出したるにインクの尾は表面層に於ては内壁へ近づく。これに反し表面より約5分以下、数より5分以上の中間層に於ては外壁へ近づく。又数に近い最下層に於ては内壁へ近づくを見た。

但し敷上の摩擦を増加し且つ水深を浅くした場合には表面に於けるインクも外壁に向ふを見た。

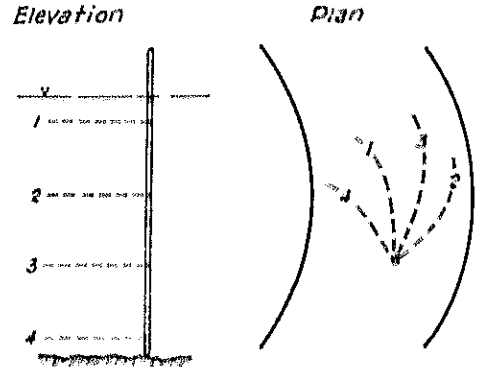
(C) 紐による測定

八番線針金を以て棒を作り、これに上より下に1寸間隔に長1尺の色糸を結び付け水路中に立てたるに 第十五圖 に示す

第十四圖

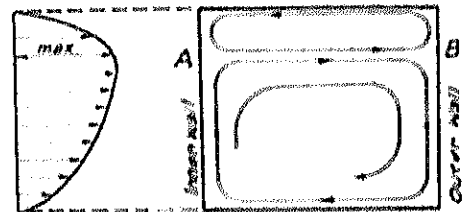


第十五圖



如く最上部は内側へ中間部は外側へ最下部は内側へ向ふを見た。尚数に於ける摩擦を増加する、最下層の紐の内側に向ふ角度は著しく増加した。之等の観測の結果から推定すると開渠式水路に於ても水深相當なる時は第十六圖に示す如き二重の環状對流が起るのである。然し本実験に於ては圖に於て A, B なる位置は如何なる深であるかは正確に知る事が出来なかつたが、インクの流から見て上部の環状對流は表面に極めて近い事を知つた。即ち水路各點の横断面に於ける流速分布は表面より少しく下層に於て最大であるから此點に於て 最大遠心力を受け最大内壓を生じ、外壁に沿ふて上下に横流を起すものと考え得る。

第十六圖



但し敷面を粗にしてその摩擦を大きくし且つ水深を浅くした場合には最大流速は表面層に接近し下層の流速を認め難い様になるのである。

第四節 開渠式螺旋形排砂池模型沈砂成績

(A) 流出砂粒の粒度

螺旋形排砂池放水口に於て水中から採取した砂粒のサンプルは毎回乾燥の Tyler 標準篩に依り篩過した。例へば流量1個、平均流速1呎の試験に於ては砂粒は篩 No. 25 を通過し篩 No. 40 (1) に多少残留した。又流量2個、流速2.3 呎の試験に於ては砂粒は篩 No. 14 を通過し篩 No. 25 (1) に多少残留した。

今流速を毎秒 0.5 呎~2.3 呎の間に變化せしめ 70 數回 (C) の計測の實驗の平均を最初、殘留した篩番號により示せば第一表中篩番號 (S. N.) の項に記載の如し。此表を見るに同一流速に對しては流速ゆるい水深の小なる程採取した砂粒は細少となり又同一流量に對しては流速の緩慢なる程細微となる。換言すれば流速等しき時は流量少き程即ち水深淺き程、又流量等しき時は流速の緩かなる程沈砂の完全に行はれる。故に今水路の幅員を一定とし、これに或一定の流量を流す場合に流速を余りに緩慢にすると水深の増加を來し、砂粒の沈下に多量の時間を要す。従て完全に土砂を沈澱せしむるには沈砂池を長くするを要する理である。

第一表 Head Loss and Sample Findings

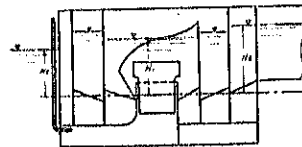
Flow Rate (CFS)	DISCH. 0.5 CFS				DISCH. 0.75 CFS				DISCH. 1.0 CFS				DISCH. 1.3 CFS				DISCH. 1.6 CFS				DISCH. 1.8 CFS				DISCH. 2.0 CFS								
	H ₁	H ₂	H ₃	h ₁	H ₁	H ₂	H ₃	h ₁	H ₁	H ₂	H ₃	h ₁	H ₁	H ₂	H ₃	h ₁	H ₁	H ₂	H ₃	h ₁	H ₁	H ₂	H ₃	h ₁	H ₁	H ₂	H ₃	h ₁					
23																					1.03	1.04	.61	.43	2.0	1.12	1.14	.72	.42	2.0			
22																						1.07	1.08	.69	.39	2.0	1.18	1.20	.92	.38	2.0		
21																						1.12	1.13	.70	.34	2.0	1.23	1.24	.69	.35	2.0		
20																						1.05	1.05	.77	.28	2.0	1.17	1.18	.87	.31	2.0		
18																						1.16	1.16	.93	.25	2.0	1.20	1.20	1.02	.29	2.0		
16																						1.44	1.45	1.10	.26	2.0	1.56	1.60	1.32	.26	2.0		
14																						1.46	1.47	1.20	.10	2.0	1.63	1.65	1.23	.27	2.0		
12																						1.60	1.60	1.35	.16	2.0							
10																						1.67	1.67	1.53	.15	2.0							
08																																	
05																																	

REMARKS

THE FOLLOWING STANDARDS SCREEN SCALE

100	1/16"	1.18
200	1/32"	2.36
400	1/64"	4.75
600	3/128"	7.12
800	1/16"	9.50
1000	3/32"	11.88
1200	1/8"	14.25
1400	3/64"	16.63
1600	1/32"	19.00
1800	3/64"	21.38
2000	1/16"	23.75
2200	3/64"	26.13
2400	1/8"	28.50
2600	3/64"	30.88
2800	1/32"	33.25
3000	3/64"	35.63
3200	1/16"	38.00
3400	3/64"	40.38
3600	1/8"	42.75
3800	3/64"	45.13
4000	1/32"	47.50
4200	3/64"	49.88
4400	1/16"	52.25
4600	3/64"	54.63
4800	1/8"	57.00
5000	3/64"	59.38
5200	1/32"	61.75
5400	3/64"	64.13
5600	1/16"	66.50
5800	3/64"	68.88
6000	1/8"	71.25
6200	3/64"	73.63
6400	1/32"	76.00
6600	3/64"	78.38
6800	1/16"	80.75
7000	3/64"	83.13
7200	1/8"	85.50
7400	3/64"	87.88
7600	1/32"	90.25
7800	3/64"	92.63
8000	1/16"	95.00
8200	3/64"	97.38
8400	1/8"	99.75
8600	3/64"	102.13
8800	1/32"	104.50
9000	3/64"	106.88
9200	1/16"	109.25
9400	3/64"	111.63
9600	1/8"	114.00
9800	3/64"	116.38
10000	1/32"	118.75

- H₁ EL. AT CLEAN WATER INLET
- H₂ EL. AT ENTRANCE
- H₃ RIGID TUBE EL. AT TAILRACE
- h₁ HEAD LOSS = (H₂ - H₁)
- SN NO. OF SCREEN IN WHICH SAND FIRST REMAINED
- VERY LITTLE QUANTITY



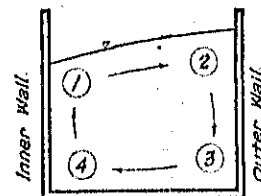
(B) 水路内各部に於ける水中含有砂量及砂の粒度

水路中に含有砂量は入口附近に於て最も多く下流に至るに従ひ漸次細微となり、且つ少量となる事は普通直線式洗砂池の場合に同じ。

然し横断面に就ては第十七圖に示す如く (1) 即ち内壁附近の上層に於て含有砂粒最も微細で且つ小量である。

(2) 及び (3) の附近と (4) に次ぎ (4) 即ち内壁附近の下層に於て最も大なる砂粒を最も多量に含有するを見た。

第十七圖



(C) 沈殿状態

今水信濃試験に於ける洗砂を見るに、水路内流速が 0.6 呎~0.7 呎以下の緩慢の場合に於ては數回日に多量の砂を堆積するも、漸次流速の増加と共にその量を減少し流速が 1.5 呎~1.6 呎以上に及ぶと數日に殆ど砂が残留しない様になる。想はれ此場合に於ては底部に到達した砂粒の大部分は鉸張を通して二重旋に洗滌するも一部は渦流の作用に依り再び水中に捲き込まれ下流に流失したものと想はれる。

次に螺旋形水路鉸張下にある留砂室の土砂堆積の状態を見るに、第十八圖に示す如く螺旋形水路に沿つて入口附近に堆積した砂粒は粗大の漸次下流に至るに従ひ細微となる。又之を横断面的に見るに内壁附近に高く洗滌し外壁に向つて減少する。又砂粒も内側は外側に比して粗大なるものが多い。而して流速が大きい程沈殿の總量は少量となるも内側に沿つて一層高く堆積する(寫眞第八及第九参照)。

(D) 沈砂量

次に之等の沈澱砂粒を採取し木製の枴を以て其量を測定し混入した土砂の量とを比較し沈澱効果を知らんとしたがその測定法の不完全に依り一般的結果を得る事が出来なかつたが、流量1個、流速1呎の試験に於ては混入砂量と沈澱砂量との比は約 75%、又流量2個、流速2呎の場合に於ては約 67% である。

本試験に於ける 20 數回の結果から推定するに約 75%~65% の砂を沈澱せしめた。

(E) 内壁に金鋼を張りその摩擦を増加した場合

内壁上に時目の金鋼を張り付け内壁附近に於ける流速を減殺して 20 數回に亘り實驗を行つたが、其結果は單に内側の局部的流速減少を來すのみで流水中に於ける横流の状態に對しては何等影響を認めず、又水中に含ま砂粒並に沈澱状態に對しても著しい差異を認めなかつた。

(F) 水路敷の摩擦を増加した場合

約3分の1の木片を約2時間隔に梯子状に水路敷上に布設し敷の摩擦を増加して 10 數回の試験を行つたがこの場合の留砂室に於ける堆積土砂の状態は内側壁附近に於て沈澱土砂の量を著しく増加した。然しその總量に却て多少減少した(寫眞第十參照)。且つ出口に於ける水中から採取したサンプルの粒度は大となつた。此木片を鋪設しに並べた爲横流の生成は大いに盛になり砂の分離も早くなつたが、又一方水路下層に於ける水流を濯濯せしめ分離した砂の留砂室に落下するを妨害した爲と想像する。

之から見ても普通の排砂池に於て敷に急激な凹溝を設ける事は得業でない事を知る。

第五節 損失水頭

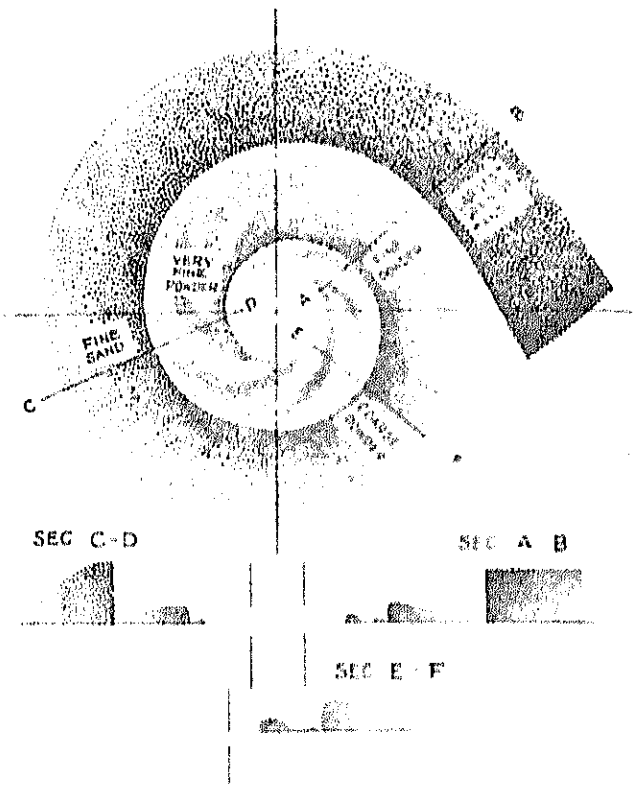
通水後水位並に流量の一定するを待ち入口、中央出口並に管内ドブ・チューブの水位を測つた結果は第一表に記載せる如し。

而して模型内總損失水頭即ち水路入口水位と管内ドブ・チューブ内水位との差を曲線を以て示せば第二表の如し。例へば流量1個、流速1呎の場合に於ては損失水頭は約 0.85 寸と流量2個、流速2呎の場合には約 3.4 寸である。

第六節 壓力式排砂池模型試驗

約 0.15 個の水を流し實驗を行つたが模型出口に於ける水中に含ま砂の最大粒は直徑約 0.2 粒位で大部分の土

第十八圖

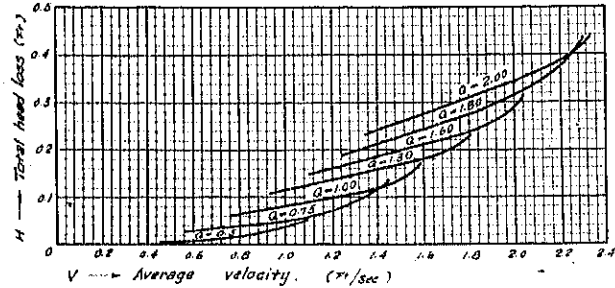


砂は模型中に於て分離沈殿した。

但しこの場合は流速の小さなりしのみならず水深が浅かつた爲、砂は横流に依り分離するよりも寧ろ重力の作用に依り直に沈殿したるものと想像する。尚器中に於ける水流の様態等は内部を見透し得る装置とならなかつたので、これを知ることが出来なかつた。

要するに壓力式 (close type) の模型は余りに小形だったので内部を見透す設備が缺けてゐた爲充分の試験効果が得られなかつた。

第二表 Curve Showing Head Loss



第七節 直線形沈砂池模型試験

上記開式螺旋形排砂池試験の場合と同一量の砂を混入して40数回の試験を行ひ兩者の成績を比較研究した。今模型水路出口に於て水中より採取した砂粒を標準篩に依り篩別したが、水量1個、流速1呎の場合に篩 No. 28 を全部通過し、篩 No. 48 上に多少残留した。又水量2個、流速2呎の場合に篩 No. 14 を全部通過し篩 No. 28 上に多少残留した。

第三表 Sample Findings

REPRESENTED BY TYLER'S STANDARD SCREEN SCALE

VELOCITY ft./sec	DISCH. 0.5 C.F.S.	DISCH. 0.75 C.F.S.	DISCH. 1.0 C.F.S.	DISCH. 1.3 C.F.S.	DISCH. 1.6 C.F.S.	DISCH. 1.9 C.F.S.	DISCH. 2.0 C.F.S.
	SCREEN NO.	SCREEN NO.	SCREEN NO.	SCREEN NO.	SCREEN NO.	SCREEN NO.	SCREEN NO.
2.6					20	20	20
2.4				20 *	20 *	20	20
2.2				20 *	20 *	20	20
2.0			40	20 *	20 *	20	20
1.8		20 *	40	20 *	20 *	20 *	20 *
1.6		40	40	40	20 *	20 *	20
1.4		40	40	40	20 *	20 *	20
1.2		40	20 *	40	20 *	20 *	
1.0	40 *	40	40	40			
0.8	40 *	40	40				
0.6	40 *						

Remarks: * - Very little quantity

之等の結果を最初に残留した篩番號即ち最大粒度に依り表示すれば第三表に示す如し。この表を第一表と比較すれば大體に於て一致するが沈澱作用は直線形の方が多少良好の模様である。又沈澱量に就ては正確な結果を得なかつたが大體に於て螺旋形排砂池の場合と著しい相違を認めなかつた。

尙この實驗に際しインクを放出し其長さ及形狀に依り水流の狀態を調査したが例へば流量2個、流速1.6呎の場合に於てインクの長さ最上層に於て5呎~6呎、中層に於ては3呎~4呎、最下層に於ては1呎位流下し遂に淡くつて消滅した。而して下層に至るに従ひインクの尾は烈しく動揺した。これ水流は下層に於ては數回の摩擦により攪亂され流速を減殺される事を示す。

第五章 結論

以上述べた百數十回に亘る實驗から得た結果を綜合し尙多少の推論を加へる。

螺旋形沈砂池の特長は

1. 横流に依て水中に含有された砂を速に内壁下層部分に集め得ること
2. 砂溜りが固く纏つてゐるから排砂に便なこと
3. 内壁は兩側の水深が平均してゐるから構造が簡單で済むこと

等である。

先づ横流に依て水中に含有された砂粒が速に内壁下層部分に集まることは既述の通り實驗で證明された。

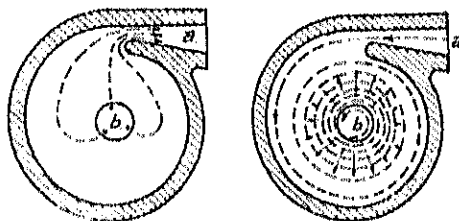
處で此砂を集める作用をなす横流の生成は水の彎曲運動に依る遠心力と水路底の摩擦による流線の不平均から由來するものであるから、彎曲半径の小さい程又直線流速の大なる程、横流の生成即ち砂粒の分離は盛となる。然るに一旦内壁下層に集められた砂が底の slot を通して溜砂室に入るには重力の作用が、又は溜砂室から排砂弁で砂を吐いてゐる時(普通土砂の流入多い洪水時には排砂弁を開いて砂を吐き乍ら通水せしむべきである)は其砂吐の水の吸引作用が、横流の上向の横流に打勝つ必要のある。此點重力作用又は吸引作用のみで沈澱する直線型沈砂池に比して不利な譯である。それで此點から考へて横流の生成には或有效限度のなければならぬ。流速を大にすること、水路底の摩擦を大にすることは此砂の沈下を妨げる上から自ら或限度がある。彎曲半径は容量から自然に決定される。即ち砂を水から分離する作用と、砂を溜砂室に導く作用とは相矛盾してゐる。後者の作用に對して此型は缺陷をもつてゐるのである。既述の實驗で螺旋型沈砂池の實驗に於て折角砂は早く内壁下層部分に分離され乍ら、最終の結果即ち水の清浄さは直線型沈砂池と殆ど大差なかつたと云ふ事は、此理由によるものであると思ふ。

次に模型實驗ではなく實地に使用する場合はどうか。發電水路用として 1000 個とか 2000 個とかいふ大きな水量の場合内徑 80 呎とか 120 呎とかいふ場合を想像するに、斯る場合には彎曲半径が大なる爲に直線流速を餘限大きくしなければ角速度は至つて小さなものになる。即ち彎曲運動の影響從つて横流の生成を盛ならしむる爲には流速を大きくしなければならぬ。流速を大きくすれば折角内壁下層部に誘導され砂を溜砂室に入るを妨げる。夫で結局螺旋形排砂池といふものは其大さを増すに従つて次第に其本質を失ふのではないかと懸念される。果して然りとすれば上水道下水道又は小規模の發電水路等水量の比較的小さいものに對しては上記の如き特長を發揮し得るだらうが、使用水量の大なる發電水路に於ては若し之を採用するとすれば小形のもの多數多く用ひなければならぬことになつて、當初の目的即ち成可く小ぢんまりと造り度いといふ目的は適はなくなる様に思へるのである。

尚今回使用した螺旋形排砂池模型の缺點は損失水頭の大きな事であつて、使用水量が大を落差の小なる發電水路にとつては重大問題である。若し實物が此模型の様に落差の損失大きかつたとして假に水量 2000 個とすれば 1 尺の水頭損失は少くとも約 120 K.W., 1 箇年約 1000000 K.W.H. の電力損失、假に 1 K.W.H. 1 錢として 1 箇年 1 萬圓の減收を意味する。

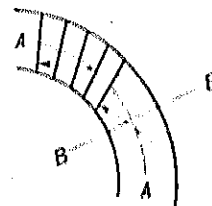
之今回の實驗は螺旋水路の外方から水を導入した爲中央存田に於て存田へ流入せんとする水流は、回轉により生ずる遠心力に逆つて流れなければならぬ故である。此點につき Technische Hochschule, München に於ける R. Heim 氏の實驗によれば、

第十九圖



第二十圖

Section A-A



Section B-B

Side Grating
Bottom Grating
Sand Chamber

第十九圖に於て a より b へ流入する場合の損失水頭は b より a へ流出する場合に比し最大 45 倍にも相當するといふ。上述の特長、缺點等を綜合して之が改良私案を述べる。

1. 構造の難易は別として水を螺旋形の中央より流入せしめ、即ち現在のもと反對の方向に水を導くときは、損失水頭を大いに減少せしめ得るのみならず、流入口附近に於ける大なる角速度により最初に於て横流を生じ含有土砂を更に池に内壁下部部分に誘導せしめ得るであらう。

2. 二重底の鉛張を第二十圖の如く變更すること、即ち現在の如く放射狀でなく底に於ける水流に略直角の方向にする。而して gouting は又同の如く砂粒が衝突したら下に落ち易い様な方向とする。

又内壁の下部にも底と同様な gouting を附すること、折くときは留砂室への砂の入り具合を著しく改善し得ることと思ふ。砂の分離は細に速いのであるから何とかして早く之を留砂室に入れさへすれば完全なものになるのである。此點尙大方の御高見に俟つべき處多しと思ふ。

附 記

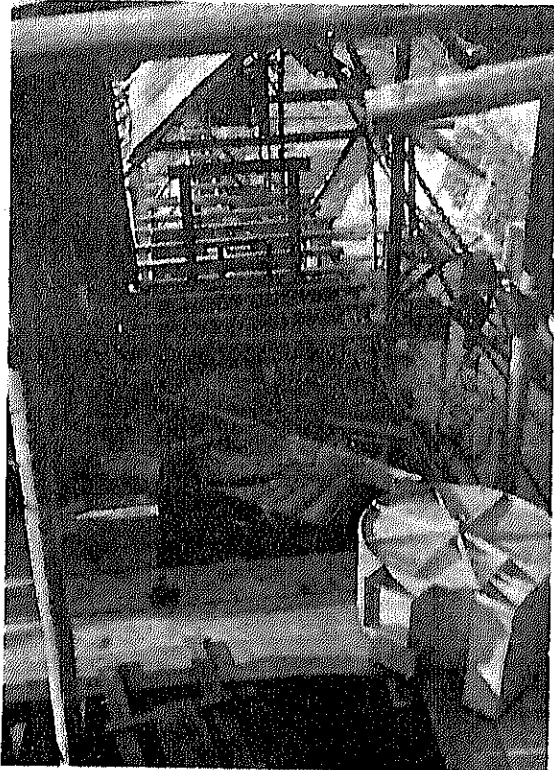
本文起草後發明者 Karl Benz 君は再度考案を新にし新しい模型を以て實驗を重ねられた由である。尤も著者の用いた模型は最初の試みでもあり、且つ京都大學の實驗所の水路に適合する様に作つた爲 design にも無理があつたと Benz 君は言つてゐる。夫で今度の新しい模型は餘程改良されてゐる筈だし、又此報告書に對して考案者として意見大ありの由で其端に就ては Benz 君自身近々の中に本誌上を借用して大方の御批判を乞ふと言つてゐるから豫め前に御紹介して置く。

寫眞第一 小牧堰堤に於ける模型實驗場全景

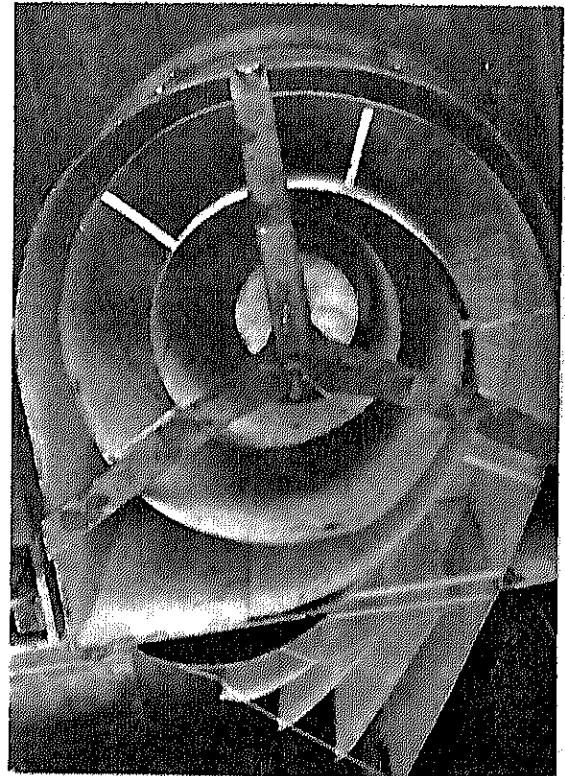


取堤上より模型を設置した魚道を望む

寫眞第二 実験室内全景

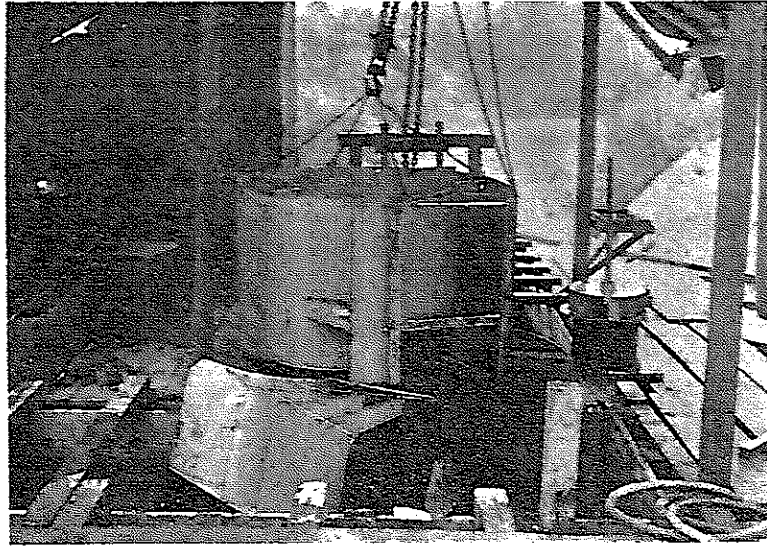


寫眞第三 上方より見た開渠式螺旋形排砂池

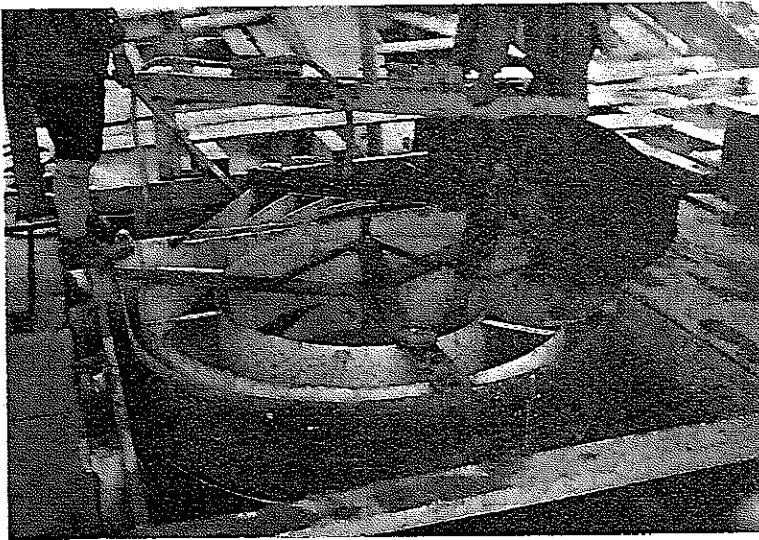


中央のものは開渠式螺旋形排砂池であつて手前右寄のものは階方式螺旋形排砂池である。又遙か遠方に見ゆる本橋は直線形沈澱池である。

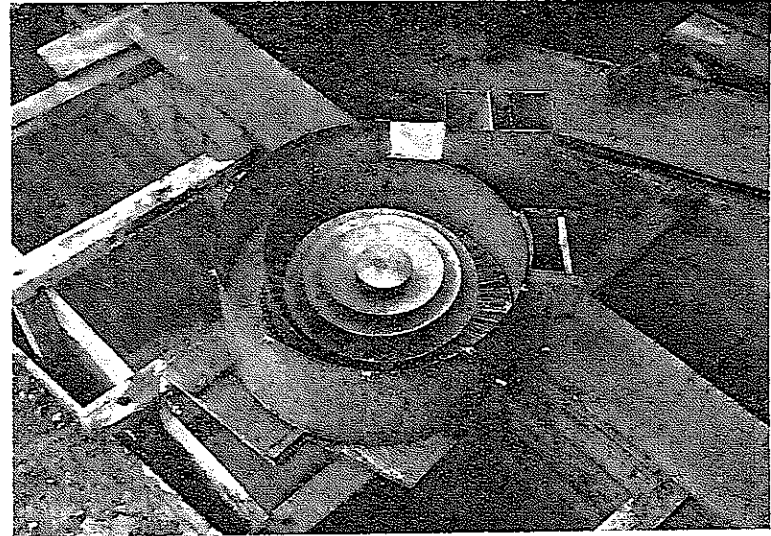
寫眞第四 排砂池の分解



寫眞第五 實驗狀況



寫眞第六 壓力式螺旋形排砂池の蓋を取り除き其内部を示す



寫眞第七 直線形沈澱池模型



寫眞第八 流量1個, 流速1呎の場合に於ける
留砂室内土砂堆積状態



寫眞第九 流量2個, 流速2.2呎の場合に於ける
留砂室内土砂堆積状態



寫眞第十 流量2個, 流速2.2呎敷面の摩擦を増
加せる場合の堆積状態

