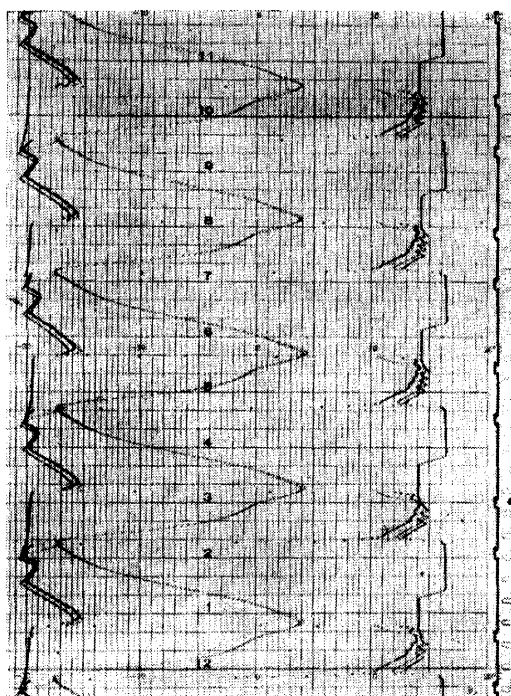




写真—10 記録の一例

図—3は某社試製高炉セメント(スラグ混入量40, 50, 60%の3種)使用のAEコンクリート( $W/C=48\%$ , 供試体寸法 $10\times10\times42$  cm)につき材齢22日から凍結融解を開始した場合の凍結融解の回数と重量減少率, 動弾性係数百分率との関係を表わしている。これより耐久性指数を求めるとスラグ混入量40, 50, 60%のものは夫々88, 63, 24となる。写真—8, 9は凝灰岩を約30%含ん

だ川砂利のコンクリート用骨材としての適否を判定するため行つた試験の結果である。すなわち砂利は原砂利と約30%の凝灰岩を取除いた砂利との2種につき $W/C=46\%$ のAEコンクリートにより材齢28日から凍結融解を開始したものである。写真—8は凝灰岩を含むもの, 写真—9は凝灰岩を取除いたものの凍結融解の進行に伴う供試体の外観の変化を示している。写真—10は6点記録計による記録紙の一部を示し順調な運転を示している。

## 6. 結 語

コンクリートの性質として強度が重要視されることは論ずるまでもないがそれと同時にその耐久性も忘れることができない重要な性質である。場合によつて耐久性の方が強度以上に重要である。このように重要な耐久性について従来充分の試験研究が行われていなかったことは極めて遺憾なことである。終戦後に満州・朝鮮など極寒の地を失つた現在北海道は我が国における最も寒冷な地方であり各所に耐久性が疑問視される構造物が見受けられること, 北海道の開発が国策として取上げられつつあることなどを考えるとき一刻も早くこの問題を解決し耐久的なコンクリートの製造に努力しなければならないと考えるものである。

本文はコンクリートの耐久性試験方法について二, 三紹介した。凍結融解の開始材齢, 凍結, 融解, 乾燥湿潤の方法, 時間等種々の問題が今後に残されているがコンクリートの耐久性に関心を持たれる諸兄の参考となれば幸甚とするところである。

## 石 狩 川 の 浮 泥 に つ い て

北海道大学理学部物理学教室 八 鍬 功

### 緒 言

河川を研究する上に於て, 河水の運搬作用や運搬物質に関する問題は, 河川の蛇行や洪水波等河川の流体力学的な問題と並び, 且つそれと密接な関係にある非常に重要な問題である。

上流から河水によつて運ばれる毎秒何トンといふ膨大な量の砂泥は長い年月の間に流れのゆるやかな所に推積

し続けて, 扇状地やデルタ等の広大な沃野を形成し, 農耕地や都市建設地として人類に多くの利益をもたらすと共に, 他の一面には洪水時の出水に於て, 流域の田畑を埋没して莫大な損害を与へ, 又河の流れによる土地の浸蝕は沿岸の住民にとつて重大な脅威となつていのである。特に最近河口港の埋没が問題となり, この方面の研究が行われつつある。次にこの様に人類に密接な関係のある河水の運搬物質について述べる。

最後に石狩川に就いて簡単に述べると、石狩川は大雪

昭和26年9月から昭和27年11月迄の約1年間は、毎月平均2回づつ、特に洪水期等の河況変化の激しい時には、観測の日数を多くし、且つ変化の時期を逃さぬ様に注意した。観測は多くの場合は碇泊中の船上で行ったものであるが、時には目的地へ船を出してもらつた事もある。

次に観測の内容を述べると、第一に下に詳述する光電池を使用した濁度計を河川中に入れて河水の濁度を各深度にわたって測定し、同時にプライスの流速計によつてその時の河の流速を測定した。又濁度には直接影響は無いが、その時の河況を知る上の参考資料として、風向、風速、気温、水温等の気象条件をも同時に測定した。

以上の観測によつて、その時のその地点に於ける濁りと流速が各深度にわたって測定され、従つて流れの状態と濁りの関係が求められるのであるが、更に濁りと浮泥量との間の詳細な関係を求める為に、観測と同時にその位置の河水を約2ℓ汲み取つて実験室に持ち帰り、その河水中の **suspended load** の量を測る事にした。**suspended load** の濃度が増加すれば濁りも増すのは当然であるが、更にこの関係を詳しく調べると、**suspended load** の粒の大きさが大きくなるにつれて、量が同じでも吸収係数は小さくなるという興味ある結果が得られるのであるが、これに関しては後に詳しく述べる事にする。採水は普通表面からのみ行つたのであるが必要に応じ各深度から、図-2に示す様な特別に設計した採水器によつて採水した。

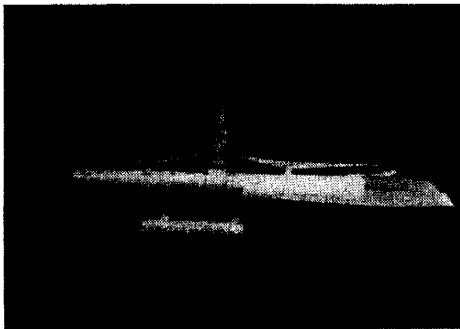


図-2

又同期間中機会ある度に、特別に作った容器に河水を汲み取つて、清水で除々にうすめながら、濁度計を容器中に入れてそのうすめた河水の濁度を連続的に測定した。最初汲み取つた河水中の **suspended load** の量を実験室で測定すれば、加えた清水の量から各測定時のうすめた河水の **load** の濃度が計算によつて求まるから、同一の **suspended load** を含んだ水、即ち **load** の粒の大きさが一定である時の **load** の濃度と濁りとの関係が求められるわけである。なお容器の内側は、濁度計に使用する光源よりの光が容器の内面で反射して光電池に入り、測定値を狂わす事の無い様、黒く塗つて光の反射を防いだ。

以上の1年間にわたる観測によつて大体満足すべき結果が得られたので、次に昭和29年7月より昭和30年5月迄の間には、今迄に得られた結果が果してその年間以

外の河川にも適用出来るものであるか否かを調べる為、適当な間隔を置いて、今迄と同様な観測をもう一度繰り返すと共に、昭和30年3月より5月迄の期間には、特に興味ある問題と思われる融雪洪水期に於ける **suspended load** と濁度との関係を調べる為の観測を、特に多くの日数にわたつて行い、又その方法として、今迄のもの以外に顕微鏡写真による **load** の大きさや形の観測、及び沈降管を使用せる **load** の分析をも併せ行つた。この顕微鏡写真や沈降管による方法は、今迄の方法によつて比較的、間接的に行われた **load** の粒の大きさや形についての観測を、直接的に行わんとするもので、何れも河水を汲み取つて現場で直ちに観測したり、或は河水を実験室に持ち帰つて、実験室で観測したりした。

天塩川に於ては昭和29年7月19日から20日迄及び昭和30年7月22日から23日迄、夫々1時間乃至2時間置きに一昼夜連続観測を行つた。観測内容は濁度計による濁度の測定、及び浮泥量の測定その他流速、水温、気温等を観測したのであるが、更に昭和30年4月13日、14日の両日には顕微鏡写真及び沈降管による **suspended load** の大きさと形状の観測を行つた。

以上述べたのは何れも第一の方法即ち一定地点に於て河況の時間的变化に対して **suspended load** が如何に変化するかを調べる為の観測であつたが、河川全体の状態を調べる為には、更に同じ時期に於ける上流から下流迄の観測を行わなければならない事は前にも述べた通りである。そこで筆者はその第一の試みとして昭和30年4月27日、28日の両日にわたり石狩川縦断観測を行つた。観測内容は、今迄使用した濁度計は大きくて重く且つバッテリーを使用するので持運びには不便であつたので、新に乾電池を使用する小型の携帯用濁度計を製作し、それを各観測地点に携行して濁度を測定した。又それと同時に各地点より約1ℓの河水を2本づつ汲み取つて実験室に持ち帰り1本の河水でその時の浮泥量を測定し、他の1本は沈降管による観測に使用した。顕微鏡写真による観測用として各現場で河水のサンプルをプレパラートにして実験室に持ち帰つたのは今迄の通りである。又参考資料として棒状寒暖計によつて水温を測定し、且つ適当な木片を成る可く河の流心近く投げ込んで約20mの距離を流れる時間をストップウォッチで測るという原始的方法で流速の概略を知る事が出来た。

観測場所としては、4月27日には夫々源を異にする美瑛川、忠別川、牛朱別川、石狩川を旭川市内で観測し、更に4月28日には適当な間隔にあつて測定し易い地点であると思われる神居古潭、深川、砂川、月形に於て観測を行つたのであるが、各測点は図-1にも記入してある。

以上石狩川の浮泥について行つた観測の時期や場所及

び内容の概略について述べたのであるが、昭和26年以前にも洪水その他の時期に石狩川で色々な観測が行われており、又上述の期間中にもここに記されたもの以外の観測が度々行われたのであつて、その結果が観測を計画したり、dataを取つたりする上に大きな役割を果たした事は勿論である。

## 2. 濁度計による濁度の測定

河川の浮泥量を知るには、各時各所から河水を採水して、その中に含まれている **suspended load** の量を直接測れば一番正確ではあるが、長期にわたつて多くの観測を行う場合には資料の整理に膨大な手間と時間を必要とし、且つ他の観測を計画する上にその時の浮泥量の値がすぐ必要な場合には、それに応ずる事が出来ない等の重大な欠点がある。そこで筆者は浮泥の大体の量を直ちに

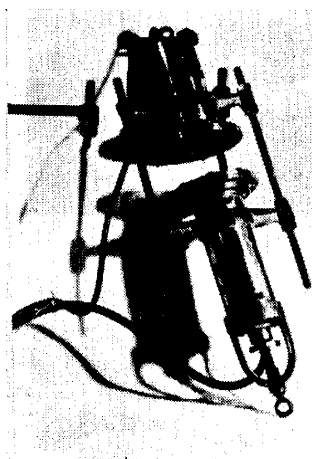


図-3

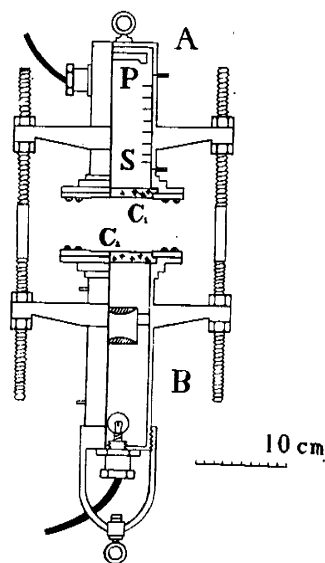


図-4

知る事が出来て、しかも直接測る方法よりは、はるかに多くの **factor** を含み、従つてそれだけ多くの興味ある問題を提供する方法として光電池を使用せる濁度計を使用した。

光電池を海中に置いて海中の明るさを測つたり、又湖沼の透明度を測定する為に光電池を使用する事は以前から行われているのであるが、河川の浮泥量を測る為に用いられた例は今迄に無く、従つて此度の観測によつて色々な新しい事実が見出され、又今迄によく知られた事でも新しい角度から解釈し直された事が多いものと思われる。

筆者が使用せる濁度計は図-3、図-4に示す様に、

A及びBの二つの円筒状の部分から成り二つの部分は2本の棒によつて連結され且つその棒にはネジが刻んであつて、AとBとの距離を任意に変える事が出来る様になつてゐる。各部は何れも真鍮から成り全体の大いさは図からも明らかな様に長さ約60 cm、幅約25 cmである。

B部には円筒の底部に自動車の **tail lamp** が取りつけてあり、又中部には集光レンズが、lampよりレンズの焦点距離だけ離して取りつけてあつて、lampより出た光はレンズによつて平行光線となる様になつてゐる。

A部の底には光電池が取り付けられ、中部には数箇のスリットがあつて、lampからの平行光線以外に外から直接入つて来る日光や、河水や泥によつて反射して来る日光が光電池に入つて測定値に誤差が生ずる事のない様、外からの光をさへぎる様にしている。

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> は夫々A及びB部の頭部にとりつけられた歪の無い光学ガラスであつてパッキングと真鍮の枠により、各部にしっかりとネジ止めし、そこから水が漏る様な事がない様にしている。又A, B両部の内側は光の反射を防ぐ為黒く塗つてあつて、平行光線以外の光はすべて光電池に入らない様になつてゐる。lamp及び光電池は夫々船上のバッテリー、電流計とキャプタイヤードによつて連結するのであるが、そのコードの取り入れ口も **water-tight** となる様考案されてある。又もし水蒸気が円筒の内部に残つてゐると、計器を水中に入れて温度が変化した時にガラスが曇つて測定値が不正確になるので、A, Bの内部には塩化カルシウムと五酸化磷を通して乾燥した空気を封入した。図-4に於て筒の横に出ているのはその封入口である。又図-5には濁度計の原理を簡単に示してある。

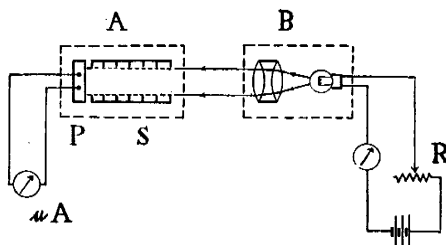


図-5

以上濁度計の構造について述べたのであるが、これを使用する際には、濁度を測定せんとする深度がC<sub>1</sub>とC<sub>2</sub>との丁度中間にある様に船上から計器を河水中に吊り下げるのである。船上に置かれた6Vバッテリーによつて点灯したlampから出た光は集光レンズによつて平行光線となり、ガラスC<sub>2</sub>を通りC<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>間の距離だけの厚さの河水を通過して、更にガラスC<sub>1</sub>を通過し光電池に至る。光が光電池の光電面に当たると、その光の強さに応じた光電圧が生ずるのであるが、温度が一定なる時には光の

強さと光電圧とは比例するものとする事が出来る。従つて船上に置いたマイクロアンメーター (full scale 150  $\mu$ A) と光電池とをキャプタイヤコードで連結して置くと、メーターの読みによつて光電流の強さ、従つて光電池に到達した光の強さを知る事が出来るわけである。一般に浮泥量が多くて河水が濁っている時には lamp から出た光は  $C_1$ ,  $C_2$  間の河水によつて多く吸収されるから光電池に到る光は弱く従つて光電流も弱くなり、又浮泥量が少なくて河水の濁りの少い時には反対に光電流が強くなるから、結局メーターの読みによつて濁度計を入れた深さの濁度即ち浮泥量を知る事が出来ることになる。光電池には履歴現象と云つて同じ強さの光が当つていても、時間がたつにつれて光電流が変化する現象があり、又バッテリーの電圧変化によつて lamp から出る光の強さも変化するので、実際に測定を行う時には、スキッチを入れて lamp を点火してから、光電流が安定する迄しばらく待つとか、又バッテリーは常に充電して消耗を少くする等の注意が必要である。

又浮泥による吸収を知るには吸収の全然ないときの光電流を基準として、その基準からの光電流の減少によつて吸収が分るのであるから、実際に観測を行う場合には、計器を水中に入れる前に先づ計器を船上に置いて lamp を点火した時の光電流をメーターで読みとり、然る後水中に吊り下げて浮泥による吸収が行われた時の光電流を読むのであるが、正確を期する為、引き上げた後に又吸収の行われないメーターの読みを読んで、水中に入れる前の読みの値と比較する事にした。特別な場合を除けば、その値は殆んど同じであつた。

今浮泥による吸収のない時のメーターの読み即ち光電流の強さを  $I_0$  とし、又吸収された時の読みを  $I$  とすれば

$$I = I_0 e^{-kx} \dots\dots\dots (1)$$

なる関係式が成立する。上の式で  $k$  は河水中の浮泥による光の吸収係数で、浮泥の多い程その値は大きくなり又浮泥の粒の大きさにも関係する。 $k$  が大きくなれば  $I$  の値は小さくなり又吸収が全然行われない時は  $k = 0$  であるから  $I = I_0$  となるのは前に述べた通りである。 $x$  は  $C_1$ ,  $C_2$  間の距離即ち光源よりの光が通過して吸収を受ける河水の厚さであつてこれは A B 両部を連結する 2 本の棒に刻んだネジにより任意の大きさにする事が出来るのであるが、筆者の行つた観測では常に  $x = 6 \text{ cm}$  とした。又  $I_0$  はどんな値にしてもよいわけであるが計算を簡単にする為、バッテリーに直列に入れた摺動抵抗 (約 2 $\Omega$ ) によつて電圧を調節する事により、100  $\mu$ A 或は 90  $\mu$ A となる様にした。

今迄述べた所により測定の手順を簡単にまとめると先づ船上で lamp を点火して光電流の安定する迄しばらく待ち、摺動抵抗を動かしてメーターの読みを 100  $\mu$ A (又

は 90  $\mu$ A) に合はせ、然る後 lamp をつけたまま濁度を測定せんとする深さ迄計器を吊り下げてその時のメーターの読み  $I$  を読み、然る後に引き上げて又メーターを読んで  $I_0$  を確かめれば (1) 式を変形して得られる次の式より吸収係数  $k$  が計算出来るわけである。

$$k = -\frac{1}{x} \ln \frac{I}{I_0} \left. \vphantom{k = -\frac{1}{x} \ln \frac{I}{I_0}} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

観測中常に  $x = 6 \text{ cm}$

観測は常に 1 m 毎に河の表面より底迄行い正確を期す為、下に下ろす時と引き上げる時の二回づつ測定した。

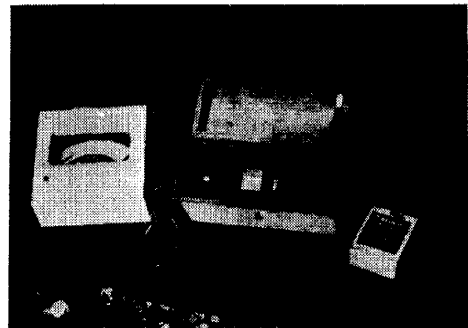


図-6

上に述べた濁度計はこの観測期間中常に用いたのであるが、それ自体が大きくて重く且つバッテリーを必要とするので、持運びには不便である。そこで石狩川の縦断観測の時には図-6 に示す様な携帯用の濁度計を使用した。原理は上に述べたのと同じで、光源から出た光を集光レンズで平行光線とし、河水を通して光電池にあててその時に流れる光電流をマイクロアンメーターで読み取るのであるが、前のと異なる点は電源として 3 V 乾電池を使用し従つて光源としては豆ランプを用いた事と、計器を河の中に入れるのとは逆に両面ガラスの容器に河水を汲み取つて、ガラス面を通して平行光線を送つた事である。図からも明らかな通り光源とレンズ、河水を汲み入れる容器、光電池を一つのケースの中にセットし、ケースの内側は黒く塗つて蓋をしめればすぐ暗箱となる様にした。実際に測定を行う場合には蓋をしめたままランプを点火して、メーターを読み ( $I_0$ )、次に点火したまま河水を汲み入れて又メーターを読む ( $I$ ) ののであるが乾電池の容量が小さい為最後に水を捨てた時の読み ( $I_0$ ) は  $I_0$  の値とは差異があつた。計算には  $I_0$  と  $I_0'$  との平均値を使用した。大体の傾向を知る程度で、前の濁度計の正確さは期し難いと思われる。この場合にも (2) 式より  $k$  が求められる事は同様である。

### 3. 浮泥量の測定

観測と同時に採水して実験室に持ち帰つた河水約 2 l はその時の浮泥量を測定するのに使用した。浮泥の絶対

量と、その河水の吸光係数  $k$  との関係があらかじめ分つていれば、濁度計のメーターの読み  $I$  及び  $I_0$  よりすぐ  $k$  が計算され又  $k$  と浮泥量との関係より直ちに浮泥量を知る事が出来るのであるが、それ以外にも  $k$  と浮泥量との関係は浮泥粒子の大きさによつても左右されるという興味ある結果が得られたのである。

浮泥量を測る方法としては 2ℓ の河水全部を定量用の濾紙 No. 6 にて濾過し、濾紙にたまつた砂泥の量を精密天秤で秤量するのであるが、泥をすつかり濾紙より落す事は出来ないで、乾燥した濾紙と秤量瓶との重さをあらかじめ秤量しておき、次に河水を濾過した同じ濾紙を瓶に入れてサモスタットで充分乾燥して秤量し、その重さと前の濾紙と瓶のみの重さとの差から泥の重さを求めた。

浮泥の量を測る方法としては、各人各様の色々な方法が行われているが、未だ確定した方法が無いのは、浮泥の量を測定すると云う事が簡単な様で割合に色々な細かい注意を必要とするからであつて、上に述べた方法に於ても、サモスタットで水分を除く際には瓶の蓋をあけて濾紙が焦げつかぬ程度の温度で充分乾燥し、乾燥したならばすぐ瓶の蓋を閉めて水分が外から入らぬ様にする等の注意が必要であつた。この方法によれば 1 mg 迄は正確な値が得られるものと思われる。

#### 4. 顕微鏡寫眞による浮泥の観測

河川の浮泥について研究する為には、今迄述べた様に浮泥量とか濁度等の様に浮泥を一つの集合体として取り扱い、その集合体と河の流れとの関係を調べる方法と浮泥の粒の大きさや形状等その個々のものについて調べる方法とが考えられる。勿論両者は密接な関係にあつて、一つ一つの粒子の性質が集合体としての浮泥の性質を左右するのであるから、流れと浮泥との関係を解析する為には浮泥の個々のものについて、その大きさや形状を観測する必要がある。筆者は昭和 30 年 3 月から 5 月迄の観測に於て融雪洪水期の石狩川と天塩川で、浮泥を直接顕微鏡寫眞に撮つてその大きさや形について観察を行つた。

顕微鏡寫眞は普通の顕微鏡に取りつけて小型カメラを使用出来る顕微鏡寫眞撮影装置 homolux によつてマミヤ VI で撮影したのであるが、サンプルとしては河水をそのまま見る為には河水を直接スライドガラス上に数滴垂らしてカバーガラスで覆つて観察し、又河水中の粒子を成る可く多数一度に撮影して粒度分布等を調べる為には下に述べる如き沈降管に約 1ℓ の河水を汲み取つて泥を沈降させた。

沈降管と云うのは 図-7 に示す様に内径 5 cm、高さ 34 cm のガラス管に、真鍮棒の下部に直径 4.6 cm、厚さ 0.15 cm の円形ガラス板をナットで取りつけたものを固

定する。真鍮棒には厚さ 0.2 cm のツバがあつてガラス板はその下に取りつけるのであるが、棒に丁度はまる様な真鍮管がツバの上で廻転出来る様になつている。真鍮管の下端には一箇所に径約 1

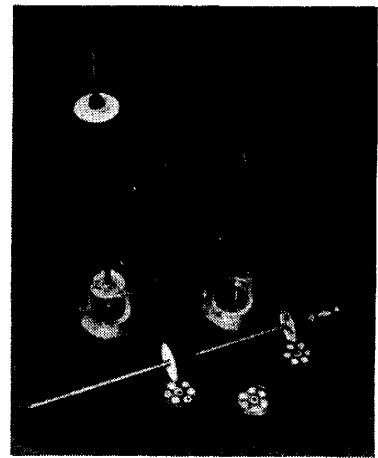


図-7

cm の穴のあいたブリキ板がハング付けしてあるのでガラス管に河水を汲み取つたまま静かにして置くと河水中の浮泥は時間がたつにつれて沈降し、ブリキ板の穴の部分だけガラスの円板上に沈澱する事になる。従つて或る時間を置いて、ブリキ板を穴の大きさだけ順に廻すと、その下にあるガラス板上には、ブリキ板が静止していた間に沈澱した砂泥が、穴の大きさに、廻した数だけ残つてゐる事になる。沈澱が完了する間にブリキ板が一廻転する様にし、沈澱が完了した後、サイフォンで上ずみを静かに吸い取り、ブリキ板を引き上げた後、真鍮棒と共にガラス板を静かに引き上げて棒から取りはずし乾燥すれば、顕微鏡寫眞用のプレパラートが得られた事になる。

今 suspended load の粒径が 0.15 mm 以下であつて個々の粒子にストークスの沈降方則が適用出来るものとすれば、その沈降速度は次の式で与へられる。

$$w = \frac{2}{9} \frac{\rho - \rho_0}{\mu} g \cdot r^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

上の式で  $\rho$  及び  $r$  は粒子の密度と半径、 $\rho_0$  と  $\mu$  は夫々水の比重及び粘性係数で、 $g$  は重力の加速度である。

ガラス管に汲んだ河水の表面からガラスの円板迄の高さを  $l$  とすれば、 $t$  時間に丁度表面からガラス板に到着する粒子の半径は (3) 式より

$$r^2 = \frac{l}{t} \cdot \frac{9}{2} \frac{\mu}{g(\rho - \rho_0)}$$

で与えられる。今の場合には始めは各大きさの粒子がガラス管の中で一様に分布していると考えられる事から、沈降が始まつてから  $t$  時間の後にガラス板上に沈澱し始める粒子の大きさは  $r = 0$  より  $r = \sqrt{\frac{l}{t} \cdot \frac{9}{2} \frac{\mu}{g(\rho - \rho_0)}}$  迄のものであつて、それより大きな粒子は  $t$  時間たつ以前に既に沈降を完了し、このガラス板上には見出し得な

いこととなるのである。

## 観 測 結 果

### 1. 濁度の年変化について

図-8は昭和26年より27年迄に石狩川の濁度を観測した結果の中から、各時期について代表的なものと思われるものを抜き出したものである。縦軸は深さ、横軸は濁度計を河水中に入れる前のメーターの読みを  $100 \mu A$  にした時即ち  $I_0 = 100 \mu A$  としたとき、各深度に於けるメーターの読み  $I$  であつて、数値の多い程河水の浮泥に

よつて吸収される光の量が少くて、光電池に達する光が強く、従つて強い光電流が流れているのである。

次の結果は何れも石狩治水工場に於て測定したものであるが、同じ地点でも時期によつて、その濁度（浮泥の量）に非常に大きな差異のある事が分る。即ち水源地带がすべて雪に覆われ河も結氷して河に流れこむ水量の少い所謂曷水期には70~80%（以下  $I/I_0 \times 100$  をもつて明るさを現す）もあつたのが、3月に入つて少し暖くなると水量が増加し、浮泥の量も多くなつて80%位より3月末には5%に迄濁りを増す。更に気温が上昇して、水

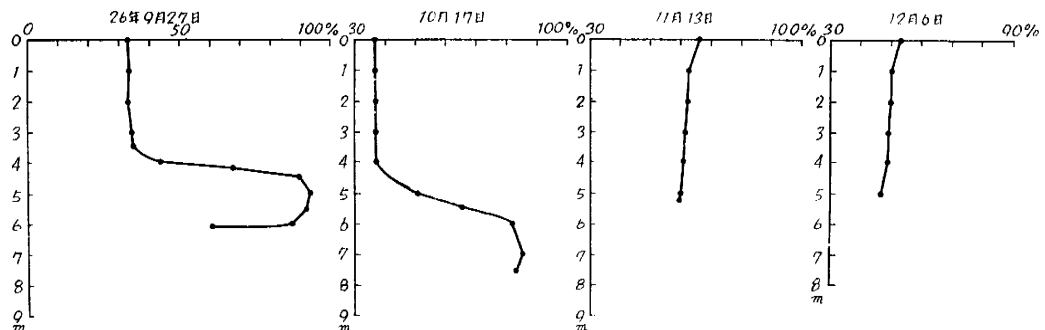
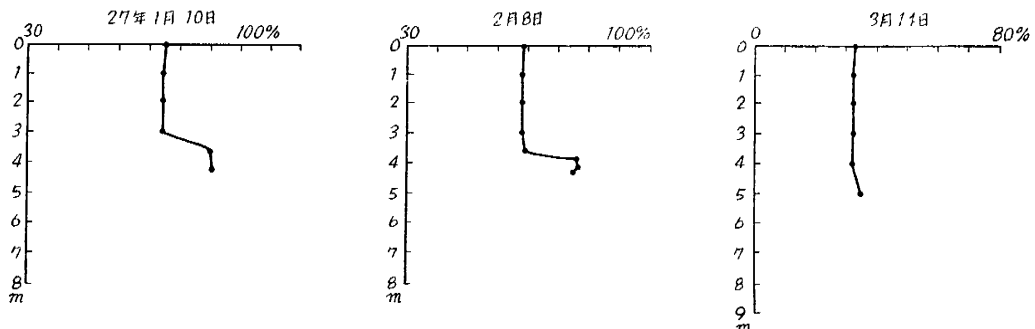
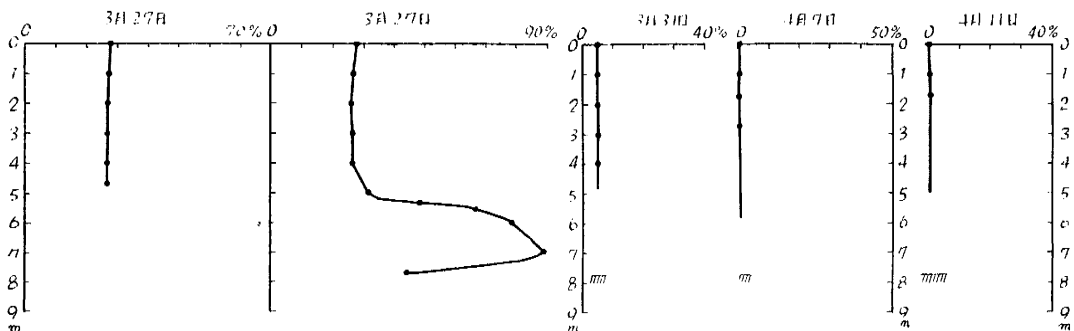


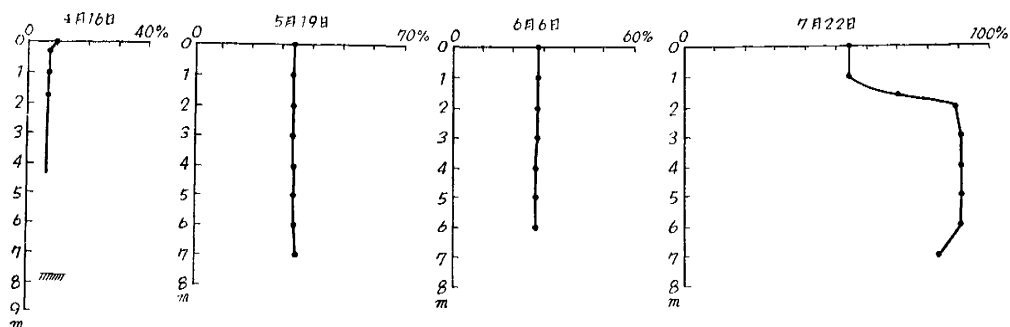
図-8 A



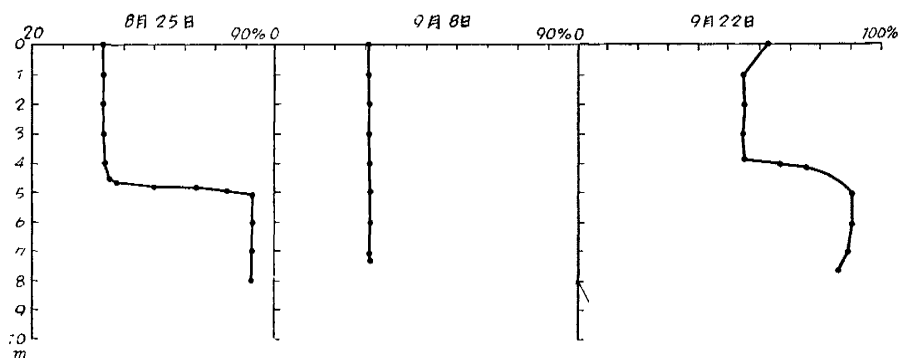
B



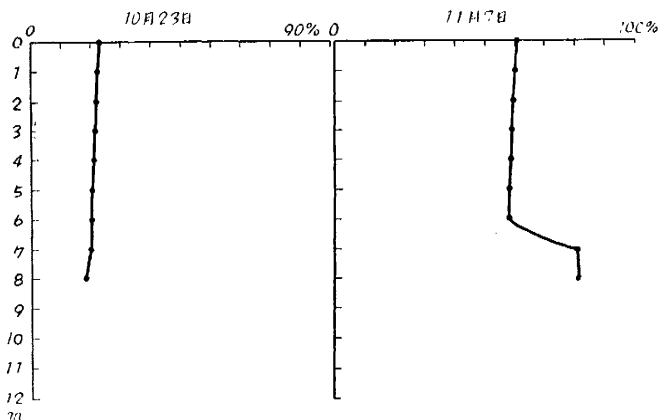
C



D



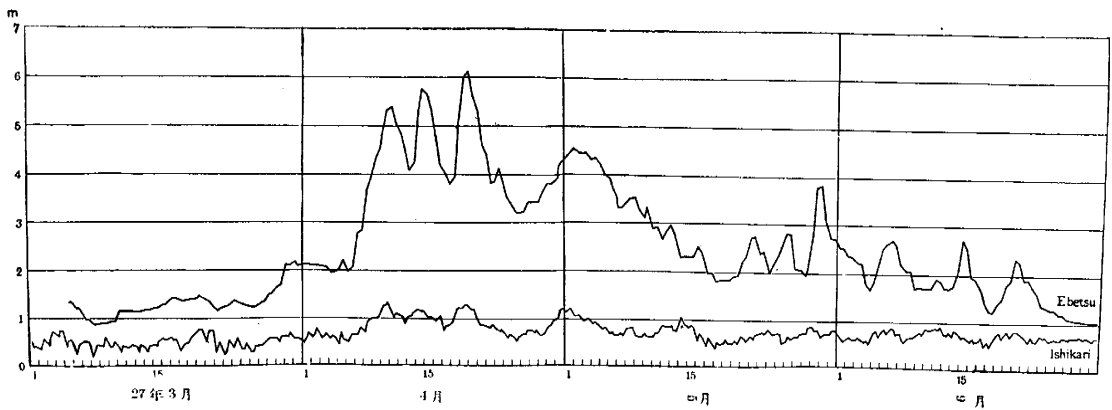
E



F

源及び兩岸の雪が解けると水の量も急激に増加する兆を見せ、一日雨が降つたりすると一挙に融雪水がおしよせて融雪期洪水となるのである。参考迄に昭和27年3, 4, 5, 6月の石狩及び江別に於ける石狩川の水位表を図-9に示すと、図に於ては丁度4月7日が洪水の出つつある時期に当たるわけであるが、浮泥の量も3月末の0.13 g/lより0.40 g/lと急激に増加し、濁度は2~4%位となり、更に洪水量が最大を示した4月11日には浮泥量0.56 g/l、濁度0.2%となつて光源からの光は殆んど光電池に達し

得ない程濁りがひどい事になる。ここで注意すべき事は、水位表からも明らかな様に水位が最高を示して洪水の最盛期である4月16~18日には、前の4月7日、11日と比較すると浮泥量は0.15 g/lとなつて少く従つて濁度も10%となつて前より減少している事である。後に述べる様に浮泥粒子の大きさもこの時期に於ては前より小さいと思われるのであるから結局、洪水で河水の増加しつつある時の方が、増加し切つた時期よりも浮泥の量も多く又その粒子も大きなものが含まれている事が分る。



図—9

とに角4月のこの時期は、真冬の渇水期に  $0.2 \text{ m/sec}$  程度であつた流速が  $1.5 \text{ m/sec}$  といふ非常に大きな値を示し、1年中で最も変動の激しい時期であると共に河川を研究する上に最も興味ある時期と云へるのである。

洪水も4月末になると徐々に減水し始め、気温によつて水位も多少の変動はあるが5月に入るとますます減水し続ける。それと共に濁度も徐々に減少し、上図の例では5月3日に7%, 5月19日に35%, 6月6日には31%を示している。

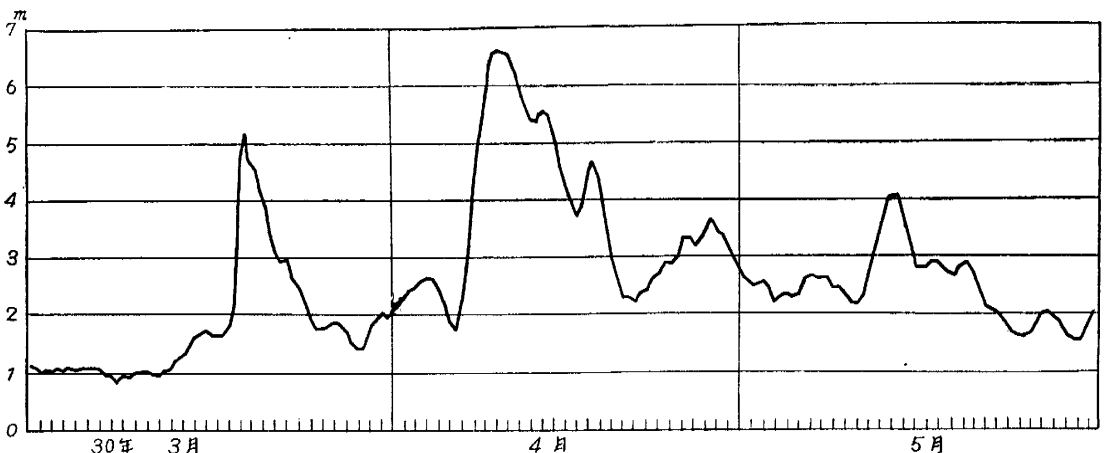
7月、8月は所謂夏季渇水期であつて、浮泥量  $0.03 \sim 0.02 \text{ g/l}$ 、濁度50~60%と極小を示し流れもゆるやかで、雨が降ると多少のピークはあるが、河相も殆んど安定していると云える。図—8に於て河底近くなつて、急に濁りが減少しているのは、この高さ迄海水が入り込んでいるからであつて、冬の渇水期にも見られるのであるがその高さは潮汐によつて常に変動し、又量が増して来ると海水は追いやられて河底迄すべて河水となることは上図によつても明らかである。

9月、10月となると颱風の影響で雨が降ることが多く、従つて出水も多くなつて河相は幾分不安定となる。出水の度に浮泥量も濁度も変動するのであるが、大体の傾向としてこの時期は浮泥について云えば、春の洪水期と渇水期の中間の状態、例えば上図に於ても濁度は20~30%を示している。

11月を過ぎ12月、1月となると河は再び冬季渇水期の状態となつて来るのである。

## 2. 吸光係数と浮泥量との關係

濁度計によつて測定した濁度とその時の浮泥量(以下  $m$  と記す)との關係を調べる事は、濁度より直接浮泥量を求める為に必要な事で、此の観測の一つの目的であるが、ここに浮泥による光の吸収係数  $k$  と浮泥量との關係を述べる。浮泥による吸収以外に水そのものの分子によつても多少光は吸収されるわけであるが、これは前者に比較すると非常に少く、 $k$  を計算する場合は無視する事が出来ると思われ、又実際に実験した結果によつても無視し得る事が確かめられた。



図—10

今昭和26年、27年及び30年の観測のうち浮泥量を測定した時の data を表-1に示す。表中 $k$ は採水した深度の濁度より(2)式によつて計算した。 $V$ はそのときの

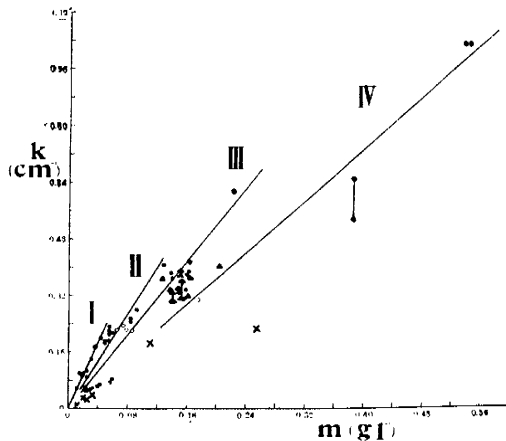
流速である。又図-10は昭和30年3、4、5月の江別に於ける水位を参考迄に示したものである。

表 - 1

|     | 観 測 月 日  | 場 所   | 深度 (m) | m (g/l) | $k \left( \frac{1}{\text{cm}} \right)$ | $V$ (m/sec) |
|-----|----------|-------|--------|---------|----------------------------------------|-------------|
| I   | 27年3月14日 | 石 狩   | 0      | 0.037   | 0.173                                  | 0.42        |
|     | " 27日    | "     | 0      | 0.056   | 0.231                                  | 0.29        |
|     | 5月19日    | "     | 0      | 0.037   | 0.174                                  | 0.45        |
|     | 6月6日     | "     | 0      | 0.055   | 0.219                                  | 0.78        |
|     | 7月22日    | "     | 0      | 0.024   | 0.104                                  | 0.30        |
|     | " 23日    | "     | 0      | 0.017   | 0.098                                  | —           |
|     | " "      | "     | 0      | 0.013   | 0.057                                  | —           |
|     | " "      | "     | 0      | 0.021   | 0.097                                  | —           |
|     | 8月25日    | "     | 0      | 0.031   | 0.139                                  | 0.93        |
|     | 9月8日     | "     | 0      | 0.044   | 0.199                                  | 1.02        |
|     | " 22日    | "     | 0      | 0.020   | 0.092                                  | 0.98        |
|     | 11月7日    | "     | 0      | 0.024   | 0.086                                  | 0.60        |
| II  | 27年3月31日 | 石 狩   | 0      | 0.129   | 0.407                                  | —           |
|     | 4月21日    | 江 別 川 | 0      | 0.032   | 0.057                                  | —           |
|     | " "      | "     | 2      | 0.022   | 0.059                                  | 0.38        |
|     | " "      | "     | 4      | 0.024   | 0.060                                  | 0.28        |
|     | 6月6日     | 石 狩   | 0      | 0.055   | 0.192                                  | 0.48        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.060   | 0.215                                  | 0.84        |
|     | " "      | "     | 1      | 0.086   | 0.221                                  | 0.75        |
|     | " "      | "     | 2      | 0.066   | 0.222                                  | 0.81        |
|     | " "      | "     | 5      | 0.078   | 0.223                                  | 0.75        |
|     | " "      | "     | 8      | 0.074   | 0.236                                  | 0.81        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.055   | 0.209                                  | 0.59        |
|     | 7月2日     | "     | 0      | 0.050   | 0.185                                  | 0.47        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.050   | 0.191                                  | —           |
|     | 10月23日   | "     | 0      | 0.084   | 0.255~0.249                            | 1.01        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.091   | 0.279                                  | —           |
|     | 30年5月6日  | "     | 0      | 0.080   | 0.227                                  | 0.77        |
|     | 5月27日    | "     | 0      | 0.044   | 0.160                                  | 0.32        |
| III | 27年4月17日 | 石 狩   | 0      | 0.160   | 0.381~0.376                            | 1.38        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.162   | 0.387                                  | 1.18        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.139   | 0.382                                  | 1.16        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.140   | 0.368                                  | —           |
|     | 4月18日    | "     | 0      | 0.159   | 0.338                                  | —           |
|     | 4月21日    | 江 別   | 0      | 0.153   | 0.363~0.316                            | 1.58        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.128   | 0.364                                  | 1.36        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.141   | 0.330~0.302                            | 1.28        |
|     | " "      | "     | 0      | 0.138   | 0.336                                  | 1.10        |

|     | 観測月日          | 場所  | 深度 (m) | m (g/l) | $k \left( \frac{1}{\text{cm}} \right)$ | V (m/sec) |
|-----|---------------|-----|--------|---------|----------------------------------------|-----------|
| III | 27 年 4 月 21 日 | 江 別 | 0      | 0.150   | 0.330                                  | 1.02      |
|     | " "           | "   | 0      | 0.161   | 0.316                                  | 1.13      |
|     | " "           | "   | 0      | 0.149   | 0.339                                  | 1.63      |
|     | " "           | "   | 0      | 0.164   | 0.374                                  | 1.45      |
|     | " "           | "   | 0      | 0.152   | 0.391~0.379                            | 1.53      |
|     | 5 月 2 日       | 石 狩 | 0      | 0.224   | 0.651                                  | 0.48      |
|     | " 3 日         | "   | 0      | 0.164   | 0.436                                  | 1.45      |
|     | 30 年 4 月 1 日  | "   | 0      | 0.111   | 0.268                                  | —         |
|     | " 16 日        | "   | 2      | 0.140   | 0.347                                  | 1.20      |
|     | " 19 日        | "   | 0      | 0.173   | 0.401                                  | 0.99      |
| IV  | " "           | "   | 0      | 0.180   | 0.401                                  | —         |
|     | " 26 日        | "   | 0      | 0.159   | 0.345                                  | 0.67      |
|     | 27 年 4 月 7 日  | 石 狩 | 0      | 0.385   | 0.652~0.537                            | 1.03      |
|     | " 11 日        | "   | 0      | 0.545   | 1.036                                  | 1.45      |
|     | " 21 日        | "   | 5      | 0.205   | 0.401                                  | 1.49      |
|     | 6 月 6 日       | "   | 5      | 0.176   | 0.309                                  | 0.78      |
|     | 30 年 4 月 7 日  | "   | 0      | 0.144   | 0.258~0.249                            | 0.76      |
|     | " "           | "   | 3      | 0.155   | 0.315~0.310                            | 0.67      |
|     | " 10 日        | "   | 0      | 0.767   | 1.535                                  | 1.78      |
|     | " 12 日        | "   | 0      | 0.277   | 0.577                                  | 2.19      |
|     | " "           | "   | 3      | 0.333   | 0.622                                  | 2.10      |

今、上の表中に示されている各 sample の  $k$  と  $m$  との値を  $m$  を横軸、 $k$  を縦軸に取ったグラフ上に、plot すれば、図—11 の様な全 sample の点の分布が得られ



図—11

- …石狩 (表 面)
- …石狩 (深い所)
- ▲…江別 (表 面)
- △…江別 (深い所)
- ⊕…十 勝 川
- ×…縦断観測 (右端が月形)

る。図から明らかな如く全 sample の点は大体に於て図中に示した四直線 I, II, III, IV によつて代表される四つのグループに分ける事が出来る。各グループに属する点のデータは上の表に示した通りであるが、各グループの点は夫々河川の或時期を代表していることが分る。即ちグループ I の点は多少の例外はあるが何れも夏や春の洪水前の湧水期に於ける観測値であり、グループ III の点は融雪洪水最盛期の観測値である。又グループ II の点は I と III の中間の時期とも云うべき、融雪洪水で増加した水位が減少しつつあるとき、又は秋の出水で水量が少し増した時等の観測値である。表からも明らかな様にグループ IV の点は融雪による洪水で水量が増加しつつある時の観測値で、この時期は前にも述べた様に洪水最盛期とは趣きを異にし、浮泥量も濁度も最も多いのである。

次に浮泥粒子の簡単な関係式から四直線の性質を調べて見る。Richardson によれば、直径  $d$  が  $10 \mu$  よりも大きい粒子による吸光係数  $k$  は次式で与えられる。

$$k \approx Nd^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで  $N$  は単位体積中の粒子の数であつて、粒子の大きさはすべて同じであると仮定する。又もし単位体積中の浮泥の量を  $m$  とすれば  $m$  は次式によつて与えられる。

$$m \approx \frac{4}{3} \pi r^3 N \rho \dots\dots\dots (4)$$

$\rho$  は半径  $r$  の粒子の密度であつてここでも粒子の大きさは一定と仮定してある。

今  $m = \text{const}$  として (3) (4) 両式より  $N$  を消去すれば

$$k \approx \frac{1}{r} \dots\dots\dots (5)$$

となる。これは  $m$  が一定、即ち横座標が同一ならば粒子の大きさが大きい程  $k$  が小となる事であつて、 $k-m$  グラフ上の直線に於ては横軸となす角即ち傾斜の小さなもの程大きな粒子を含んだ浮泥に関するデータである事が分る。結局グループ IV に属する点、即ち洪水の増加しつつある時の粒子が一番大きなものを含んでいる事になり、以下 III, II, I の順に小さくなつて、I の濁水期に於ける粒子が一番小さなものであることが分る。

又同じ地点、同じ時期に於ける採水では表面から深い所の浮泥の方が表面に較べて大きな粒子を含むことは、深い所の点が表面の点よりもすべて傾斜の少い線上にあることより明らかである。

図-11 には又一例として十勝川の data が plot してあるが、これによつて明らかな様に浮泥の量や大きさ等は各河川について非常に差異のあるもので、これを総合的に調べる事は非常に興味ある問題であると思われる。

又直線の長さが I, II, III, IV の順で長くなつてゐるのは、この順で浮泥量  $m$  の大きな点を含んでいるのであるから当然である。

今迄は粒子の大きさも量も色々な点の分布について述べたのであるが、前に述べた様に河水を容器に汲み取つて清水でだんだんうすめる時の  $m$  と  $k$  との関係を 図-12 に示す。A は昭和 27 年 7 月 23 日、B は 5 月 2 日、C は 10 月 23 日、D は 4 月 17 日に測定したものであつて各グラフの最も原点より遠い点はその時の浮泥量と、 $k$  を表はし、原点に近づくにつれて徐々にうすめて行つた状態を表はしているのであるが、この場合には各グラフ

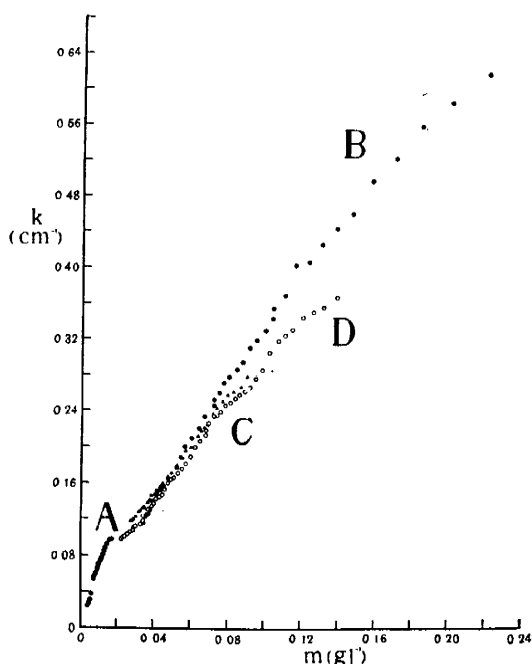


図-12

A … 27 年 7 月 23 日    B … 27 年 5 月 2 日  
C … 27 年 10 月 23 日    D … 27 年 4 月 17 日

については浮泥粒子は変らないのであるから  $r = \text{const}$  となる。従つて (3) 及び (4) 式より  $N$  を消去すれば

$$k \approx m \dots\dots\dots (6)$$

なる関係式が得られる。これは直線を表はす式であるから、A, B, C, D の各グラフは直線である事が式の上からも説明されるわけである。

### 3. 石狩川縦断観測の結果

昭和 30 年 4 月 27 日及び 28 日に行つた石狩川縦断観測の測定的位置は 図-1 に示してある。河川の浮泥について研究を進める為にはどうしても上流から下流に到る

表 - 2

| 観 測 月 日       | 場 所          | 深 度 | $m$ (g/l) | $k \left( \frac{1}{\text{cm}} \right)$ | $V$ (m/cm) |
|---------------|--------------|-----|-----------|----------------------------------------|------------|
| 30 年 4 月 27 日 | 美 瑛 川 (旭川)   | 0   | 0.019     | 0.025                                  | 1.70       |
|               | 忠 別 川 (旭川)   | 0   | 0.009     | 0.0—                                   | 1.60       |
|               | 牛 朱 別 川 (旭川) | 0   | 0.033     | 0.024                                  | 1.60       |
|               | 石 狩 川 (旭川)   | 0   | 0.014     | 0.0—                                   | 1.40       |
| 4 月 28 日      | 神 居 古 潭      | 0   | 0.035     | 0.013                                  | 1.10       |
|               | 深 川          | 0   | 0.038     | 0.139                                  | 0.80       |
|               | 砂 川          | 0   | 0.093     | 0.156                                  | 0.70       |
|               | 月 形          | 0   | 0.262     | 0.224                                  | 1.90       |

観測を精密に行わなければ、興味ある結果は期待出来ないものであるが、筆者はその第一の試みとしてこの観測を行つたのである。その結果の概要を表—2に示す。記号は表—1と同じである。

前の表中の  $k$  と  $m$  との関係は又 図—11 に plot してあるが一般に石狩、江別に於ける data の点よりは傾斜が非常に少い線上にあり従つて粒子の大きさも大きいものを含んでいるものと思われる。特に注意すべきことは月形に於て表に浮泥量、濁度共に大きくなつていて、何かこの辺りに石狩川の一つの変移点があると思われることである。

#### 4. 顕微鏡写真による浮泥の観測

図—13 には河水を直接プレパラートに取つて撮影した顕微鏡写真のうちの若干を撮影した場所及び日附と共に示してある。この写真からも明らかな様に石狩川の浮泥は所謂砂や泥粒ばかりではなく、非常に多くの植物繊維や動物の死骸を含んでいることである。これは天塩川の浮泥についても全く同様であつて、果して北海道の河川特有のものであるか否かは、本州の河川について観測を行つて見なければ分らないが、この様な浮泥の質が濁りや河水の色に密接な関係のあることは明らかである。

#### 結 言

以上石狩川に於て、特に濁度(浮泥)の問題を中心に

して筆者が行つた観測について、その方法、結果を述べたのであるが、この問題は色々の factor を含んでいるので、あらゆる方面から研究を進めなければならず、多くの手間と時間を必要とする事は明らかである。

特に結果については、尙、補助実験や整理を必要とするものが残つており、ここに述べたのはその一部に過ぎないのであるが、いづれ又機会を見て報告したいと思う。

最後に筆者の観測について常に指導激励された北海道大学工学部理学第一研究室の福島教授並びに各種観測の便宜を与えられた同水工学研究室の真島、尾崎両助教授に対し厚く感謝の意を表する。又長い期間にわたつて種々御世話下さつた石狩治水事業所の方々には衷心から感謝する次第である。なを本文中の採水器は同じく理学第一研究室の大川原教務職員の考案製作によるものである事、及び研究費は一部を昭和 29 年度科学研究助成金によつたものである事を附記する。

#### 文 献

- 1) 福島久雄：石狩川河口の観測。日本海洋学会誌、第 1 巻、第 1 号。
- 2) Hisao Fukushima and Isao Yakuwa: On the Photo-Electric Measurement of the Concentration of Suspended Load, 北海道大学工学部紀要、第 9 冊、第 3 号。

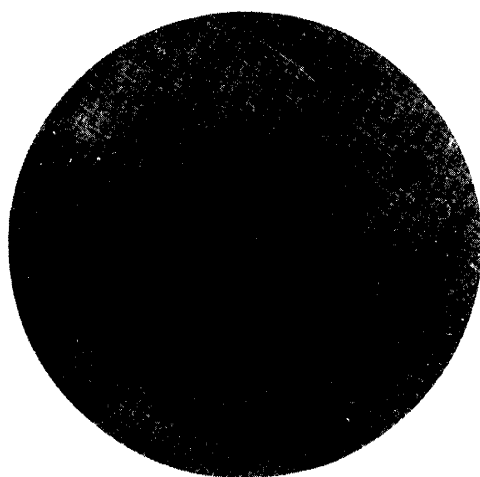
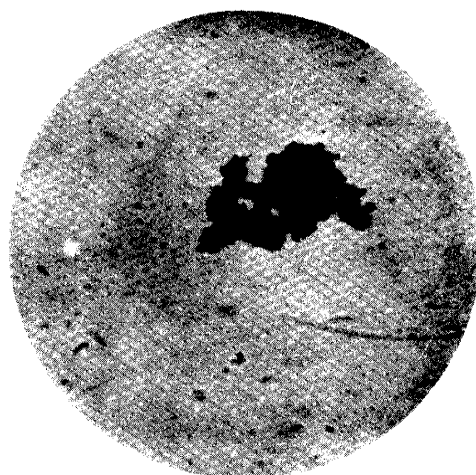
(94 頁より続く)

### 昭和 30 年度北海道主要土木工事

北海道庁関係

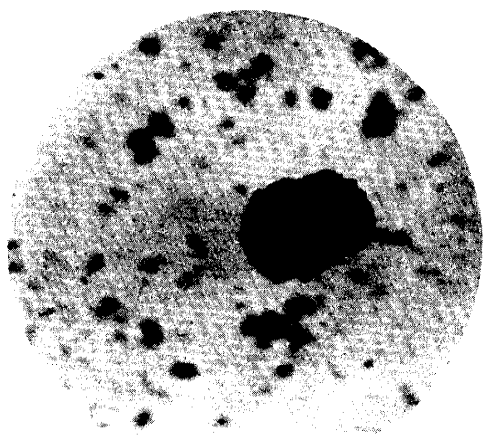
漁港(工費 1 千万円以上のもの)

| 漁港名  | 地名        | 工種                 | 工事量                                                                                      | 期間                           | 事業費<br>千円 |
|------|-----------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------|
| 常呂漁港 | 常呂郡常呂町    | 防波堤, 岩盤浚渫, 岩盤爆破    | 北防波堤 (堤体 16.0 m, 胸壁 53.5 m)<br>岩盤浚渫 9455.4 m <sup>3</sup><br>岩盤爆破 14089.4 m <sup>3</sup> | 昭和 30. 4. 1<br>至昭和 31. 3. 31 | 23,700    |
| 鹿部漁港 | 茅部郡鹿部村字鹿部 | 防波堤                | 防波堤 20 m                                                                                 | 昭和 30. 4. 1<br>至昭和 31. 3. 31 | 10,000    |
| 抜海漁港 | 稚内市       | 防波堤, 物揚場<br>浚渫     | 西防波堤 12.5 m, 物揚場 (軀体のみ)<br>40 m<br>浚渫 15150 m <sup>3</sup>                               | 昭和 30. 4. 1<br>至昭和 31. 3. 31 | 26,082    |
| 厚田漁港 | 厚田郡厚田村    | 防波堤 (堤体及び胸壁) 岩盤浚渫  | 西防波堤 (堤体 5.0 m, 胸壁 82.0 m)<br>浚渫 18753 m <sup>3</sup>                                    | 昭和 30. 4. 1<br>至昭和 31. 3. 31 | 19,300    |
| 豊浜漁港 | 爾志郡乙部村字豊浜 | 岩盤及び砂礫浚渫, 防波堤, 物揚場 | 岩盤及び砂礫浚渫 8210 m <sup>3</sup><br>西防波堤 40.0 m<br>物揚場 (軀体のみ) 30 m                           | 昭和 30. 4. 1<br>至昭和 31. 3. 31 | 16,151    |
| 落石漁港 | 根室郡和田村字落石 | 防波堤, 埋立            | 東防波堤 A 部 (堤体 3.2 m, 胸壁 50.0 m)<br>" B 部 (堤体 35.0 m)<br>埋立 1878 m                         | 昭和 30. 4. 1<br>至昭和 31. 3. 31 | 15,401    |



1  
20 mm

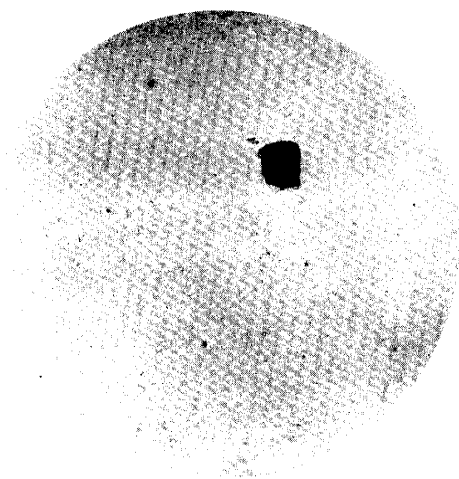
図—13(1) 天塩川 30 年 4 月 15 日何れも表面より採水



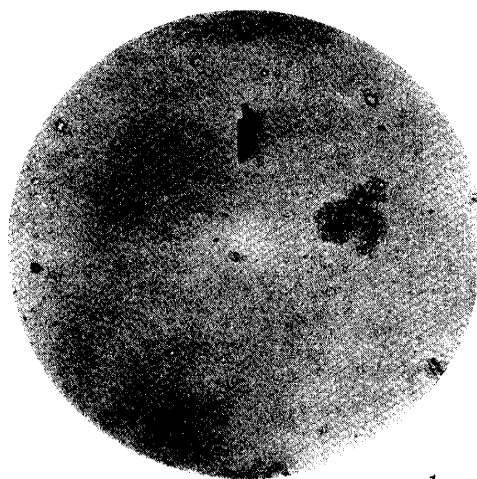
30年4月7日



4月7日



4月12日



4月26日

1  
20 mm

図-13(2) 石狩川何れも表面より採水