

流砂に關する研究 (第3編)

遼河及び松花江に於ける流砂に就て

准會員 永井莊七郎*

要 旨 水路に於ける流砂に關しては既に實驗的並に理論的に研究を行つたのであるが、その結果を河川に於ける實測により比較検討するため、昭和18年7月及び8月、遼河及び松花江に於て實測を行つた。本文はその結果を記したものである。

目

次

第10章 實測方法	第1節 緒 言
	第2節 測定方法
	第3節 流砂率の測定方法
	第4節 膠質粒子量の測定
第11章 遼河水系に於ける實測	第1節 營口に於ける實測
	第2節 双太子河に於ける實測
	第3節 遼河河水中に浮遊せる膠質粒子の量
第12章 松花江に於ける實測	

第1節 哈爾濱に於ける流砂
第2節 松花江江水中に浮遊せる膠質粒子の量
第13章 浮遊土砂の含水率及び比重
第1節 含水率
第2節 眞比重
第3節 見掛の比重
第14章 結 論
第1節 流砂量式に就て
第2節 流砂の分布及び平均流砂點
第3節 河水中に浮遊せる膠質粒子の量

第10章 實測方法

第1節 緒 言

昭和16年以來、水路に於ける流砂に就て實驗的並に理論的に研究を行ひ、その結果は既に本誌昭. 18. 4及9月號に「流砂に關する研究」第1編及び第2編として發表して來たのである。而して之等の結果を自然河川に於ける實測結果と比較検討するの必要を痛感し、その準備を行ひつつあつたところ、幸ひ日本學術振興會及び京城帝國大學内大陸文化研究會より研究費の補助を得、又滿洲國交通部治水調査處より實測に就ての多大の援助を受けて、昭和18年7月中旬より8月20日に至る約40日間、滿洲國の遼河及び松花江水系に於てその流砂狀況を調査した。

實測の時期に就ては、遼河及び松花江の出水期である7月及び8月を撰び、その期間に於て、洪水期から洪水期に至る流砂の狀況を測定せんと考へたのである。然るに昭和18年の夏は珍しい旱魃にして、特に遼河水系は最も甚しかつた。これがため諸種の流量時に於ける流砂量の變化を調べんとする目的は果すことは出来なかつた。しかし一定の流量時に於ける流砂の

分布及び時間的變化等は十分に調べる事が出来た。

又流砂の中で特に微小なる膠質粒子の浮遊は河川の水質と重要な關係にあるを以て、流砂の測定と同時に、河水の濁度、浮遊粒子の沈澱狀況、水素イオン濃度(pH價)をも測定した。

實測に當つては京城帝大理工學部土木工學科學生平岡儀三郎、赤尾親助、水野俊一、森 宜制、當時理學部化學科學生であつた岡野 平**の5君及び教室の渡部隆昌君の援助を得た。又交通部技士鈴木志誠氏を班長とする交通部の流量測量班(10名)の援助を得た。之等の諸君の御援助に對しては茲に記して以て衷心より感謝する次第である。

第2節 測定方法

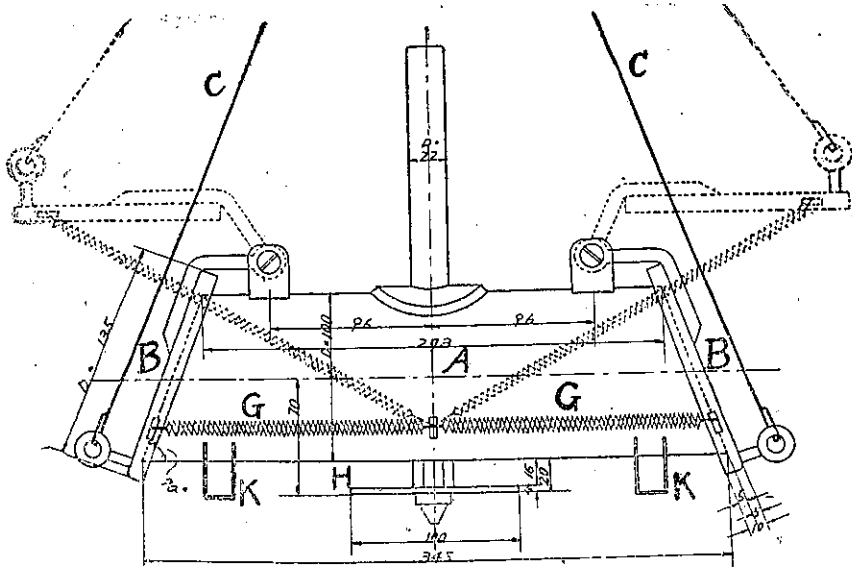
1) 測定器 從來自然河川に於ける流砂の實測は甚だ稀である。之は流砂測定器に適當なるものが考案されなかつたために、流砂の測定が流速の測定に如く簡單ではなく、その上採水後試料水を水と土砂に分けて乾燥計量するのに相當な時間と手数を要するためであらうと考へられる。それ故著者は本實測を計畫するに當つて先づ第一に此の流砂測定器に就て考究した。而して流砂測定器として具備すべき條件は

* 工學士 京城帝國大學助教

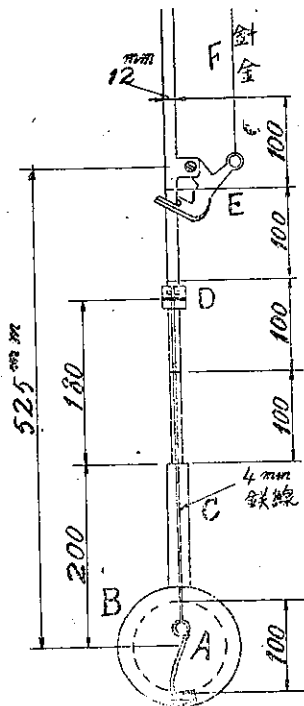
** 川西飛行機製作所員

圖-28. 流砂測定器

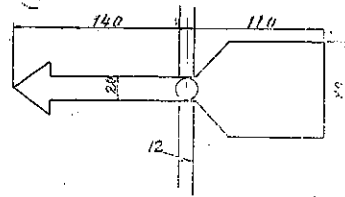
(a) 正面圖



(b) 側面圖



(c) 方向指示器



(1) 任意の水深に於て成る可く自然の流れの儘で流水を採取出来ること。

- (2) 河床附近を僅かに浮遊して洗れてゐる砂礫をも流水と共に採取出来ること。
 - (3) 流速が相當大なる場合にも餘り押し流されず數米の深さまで測定可能であること。
 - (4) 操作が簡單で頑丈であること。
- 等である。之等の條件を備へたる測定器として圖-28 (a) 及び (b) の如きものを作製した。

測定器は堅牢で相當重く、而も時局柄なる可く入手し易きもので作る必要があつたので、その大部分を鐵製とした。圖中 A は直径 10 cm の圓罎にして、兩端は水平に對して 70° の角度を以て斜に切られてゐる。圓罎中心部の長さ 31 cm, その容積は 2433.5 cm^3 である。即ち殆んど漏水がなければ大體 2.4 l の流水を採り得る。B は蓋で、その中心部より下方、直径の約 $1/4$ の兩側に鋼製の強い「ばね」がついてゐる。採水せんとする時は兩側の蓋 B を開き、D を E に掛け

ると B は鐵線 C によつて開いた儘で固定する。次に所定の水深で採水を終へると針金 F を引張る。すると D は E から離れて滑り落ち B は圓罫 A の兩端を強く蓋する。蓋 B の内面にはゴム板を張り、又蓋の周圍が圓罫の周圍を 1cm 咬み合ふ如くなつてゐるので殆んど漏水しない。測定器の支持棒は 12mm 鐵筋を 1m 宛に切り、各棒は 10cm 毎に目盛が刻んである。此の支持棒は更に太い頑丈な圓管を使用したいと思つたのであるが、時局柄斯る圓管は入手し難かつたので、その代用として、手近にある 12mm 鐵筋を使用したのである。A の下部に取附け板 H は河床の流水を採取する時、A の下端が河床の土砂中に入らぬやうにしたもので、その兩側にある K は、その時 A が河床の傾斜に對し平行に位置するためのものである。又濁流中では A の方向がわからないので、A と同方向に方向指示器 (圖-28 (c)) を棒の上部 (水中に入らざる部分) に「ねち」で締付け、之を流れの方向に平行にすれば A は同時に流れの方向に平行になる如くした。此の測定器を實際に使用したるに、上記の諸條件を良く満し、流速が 1m/sec 位なれば數米の深さまで測定が可能であつた。

從來河川の流砂量を測るのに屢々ビールの空瓶が使用されてゐるが、之は流入口が小さくて流砂が入り難いから、之で測ると實際よりも流砂の割合が小さく出て来る。又河床附近の流砂は採取出来ず、その上輕いので (3) の條件を具備しない。

2) 運搬用水槽 河川に於て採取した河水は濾過して土砂と水とに分けなければならないが、之には試料水を濾過場所まで運ぶ必要がある。一般に測定を行ふ

地點の附近には人家は稀にして、又あつても濾過を行ふには不適當な場合が多いので、止むを得ず相當の距離へ試料水を運ぶ必要がある。此の試水の運搬用水槽として著者は圖-29 の如き鐵力製の罐を作製した。

此の水槽は容積により 1 號より 5 號までに分けられ、その内 5 號が最小で 4 號, 3 號, 2 號, 1 號と順次大きくなる。最小なる 5 號水槽の容積は約 2.6l にして流砂測定器の容積より僅かに大である。その次に小なる 4 號水槽は 5 號水槽を丁度その中に入れ得るだけの容積を有してゐる。他の 3 種の水槽も夫々 3 號は 4 號を、2 號は 3 號を、1 號は 2 號を丁度入れうる如く作つてある。それ故之等 5 種の水槽が全部重ね合さつて 1 個になる。之を旅行中或は試水を入れずに河川まで運ぶ時に多數の水槽を別々に運ぶ煩雜を避けるためである。又試水を入れて後、船中或は運搬中に傾斜した際、試水が漏れるのを防ぐため、蓋を 3~4 cm 2 重に重ね合せてある。今回の實測には此の水槽を 25 個用意した。それ故 1 日の測定に於て最大 25 箇所の流水をとりえたわけである。

3) 實測 河川の一横斷面を單位時間に (普通は 1 秒間に) 流過する流砂量を測定するには、その横斷面内に於て適當數の鉛直線上の流砂率 (重量比) の分布を測定し、同時にそれと同一の點に於て流速計により流速を測り、之と流速の略等しい小區劃の流水斷面積を之にかけて流量を求め、此の流量に流砂率をかけて各區劃の流砂量を出し、之等を加へ合せて一横斷面全體の流砂量 (噸/秒) を求めるのである。

一鉛直線上に於ける流砂率の分布を測定するには、船を所定地點に錨で固定し、流砂測定器により水面より水底まで適當な水深にて流水を採取し、之等を運搬用水槽に入れ、全部の測定が終了して後濾過場所に運搬し、其所で試水を濾過により水と土砂に分け、土砂と全試水との重量比を求めるのである。

流砂測定器により流水を採取するには、圓罫 A の兩側の蓋 B を開き D を E にかけたままで所定の深さに沈める。その時の A の中心線の深さは支持棒に刻まれた目盛を讀めばわかる。測定器を所定の深さに沈めてから、その點の流速の大小に應じて 20~40 秒位經過して後、針金 F を引張つて D を E から放すと蓋 B が閉じる。以上の操作を行つて一地點に於ける流水を採取し水槽に收めるのに大體 1 分以内で出来る。此の測

圖-29. 運搬用水槽

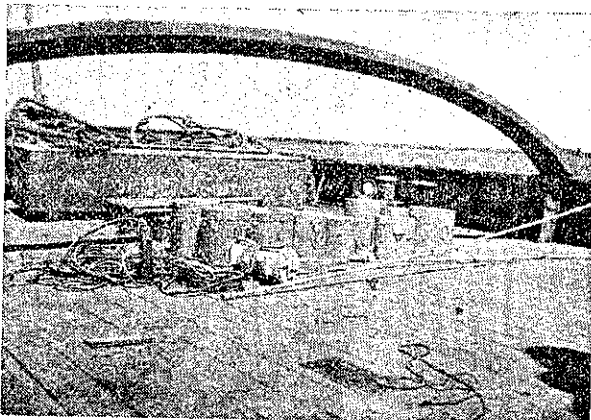


圖-30. 測定 の 状 況

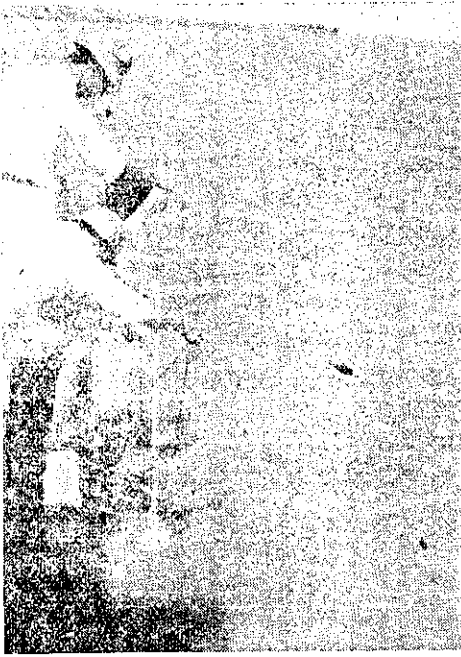
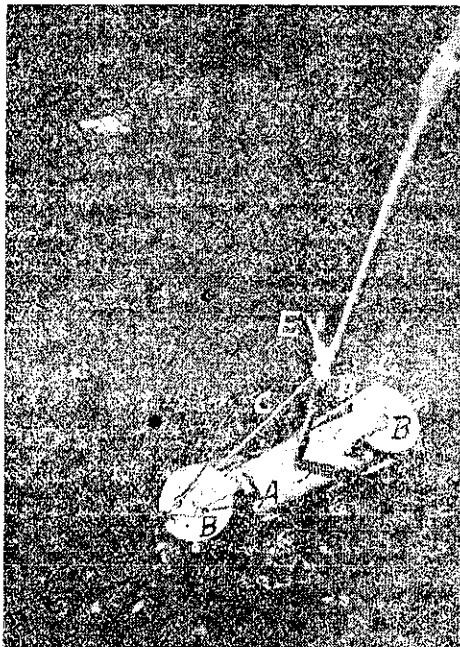


圖-31. 水面の流水を採取中の測定器



定には測定器保持者 1 名、針金 F を引張る者 1 名 (此の 2 人で試水を測定器より水槽に移す) 及び野帳

をつける者 1 名、計 3 名を要する。流速が大體 0.8 m/sec 位になると測定器が押し流されるから、H の上部に綱を付け、他の 1 人が引張つて測定器の棒を水面に垂直に保ち乍ら沈める。従つて此の測定には少くとも 3~4 名を要し、又流速及び水深が大なる河川に於ては成る可く大きな船を使用することが望ましい。著者は營口に於て 75 噸の船を使用して測定を行つたが流速が 1 m/sec 位以下なれば 5~6 m の水深まで正確に測定が可能であつた。しかし哈爾濱の松花江では 4 人乗りボートを 2 艘用ひたが、流速が約 1 m/sec 位の時は水深が 4 m 以上になると危険で測定が困難であつた。圖-30 は 3 人 (此の外に野帳をつける者が 1 人) で測定中の状況を、圖-31 は水面 (厳密には水面下 0.05 m) の流水を採取中の測定器を示す。

第 3 節 流砂率の測定方法

河川に於て採取した試料水中に含まれる土砂を乾燥し、その重量を測定し、之と全試料水の重量との比を重量流砂率 (以後單に流砂率と記す) と稱し、之を測定することが流砂量測定の見目である。而して試料水中に含まれてゐる土砂の重量は、試水を濾紙により濾過し、濾紙に残つた土砂を定温乾燥爐中で重量が一定になるまで乾燥し、その時の重量を計るのである。しかし電気、瓦斯は勿論木炭さへない滿洲の田舎等に於ては、一定温度に於て乾燥することが不可能である。それ故、著者は現地に於て乾燥することを断念し、土砂が水を飽和したままの状態に於て重量を計り、その重量と全試水の重量との比を求めて假の流砂率とした。此の方法では眞の流砂率は知りえないが、相對的な流砂率は知り得るから、流砂の分布状態、時間的變動の状況、水位、流量等の變化による流砂量の變化の状态等は實測中に知りうるから測定を行ふ上には之で十分であつた。濾紙に残つた土砂は實驗室に持歸り、定温乾燥爐内で重量が一定になるまで乾燥してその時の重量を計り、次に再びその土砂に水を飽和させた時の重量を計つて含水率を求め、之と現地で求めた假の流砂率とから眞の流砂率を求めた。此の方法は餘り嚴密な方法ではないが、上記の如く極めて不完備な現地の事情のため止むを得なかつた。後に記する如く、流砂率は殆んど時々刻々に變化してゐる上に、掃流力、流速、河床土砂の種類、流路の状态等々極めて多くの事情によつて種々に變化するものであるから、餘り嚴密に測定しても意義が少く、寧ろ流砂の大體の状況を知り得れば實測の目的は達せられたと考へてよい。尙著者が

使用した濾紙の目の粗さの程度は、濾過水の濁度が流水を採取後一晝夜静置した時の上澄水の濁度と略同一であつた。

第4節 膠質粒子量の測定

著者が河川の流水に就て試みた結果によると、流水中に浮遊してゐる粒子の中で自重により沈澱するものは、流水を採取後約一晝夜静置してをけばその殆んど大部分が沈澱してしまふと考へられる。それ故、流水を採取してから一晝夜静置して後尙水中に浮遊してゐる微粒子は大體廣い意味に於ける膠質粒子であると見做し、その粒子の重量を測定して流水中に含まれる膠質粒子の重量とした。而して此の浮遊微粒子の重量を測定するには、日本水道協會協定の上水試験法により

圖-32. 濁度標準液及び pH 測定器



作りたる濁度標準液を濁度 0° から 100° まで 10° 毎に 10 種類準備し、之を試験管に入れ、比色により水の濁度を測定した。而して N° の濁度の標準液とは、蒸留水 1 l 中に N mg の白陶土の微粒子が浮遊してゐる液である。圖-32 は濁度標準液 (中央の試験管) 濁度測定箱 (左端) を示す。

又膠質粒子の浮遊は水の水素イオン濃度 (pH 價) と深い関係を持つてゐるので、同時に水の pH 價を測定した。圖-32 の右端は遼河で使用した水素イオン濃度比色計である。松花江では電気式測定器を用いた。

第 11 章 遼河水系に於ける實測

第 1 節 營口に於ける實測

昭和 18. 7. 20. より 23. までの 4 日間、遼河河口の營口に於て測定を行つた。營口に於ける測定は今回の實測に於て最初であつたので、流砂の測定以外に 2, 3 の目的があつた。即ち (1) 濾過水の濁度測定, (2) 濾過時間の測定, (3) 流砂率の鉛直分布の測定。

1) 濾過水の濁度測定 先づ濾紙の目の粗さの程度を測る必要があつたので、採取した流水を濾過した後の水の濁度を測定した。その結果は既に第 10 章第 3

節に於て記した如く、濾過水の濁度は流水を採取後一晝夜静置した後の上澄水の濁度に略等しいことが知られた。それ故、この濾紙によつて流水中に浮遊する粒子の中で膠質粒子より大なる粒子は大體凡て捕捉されると考へて差支ないことがわかつた。

2) 濾過時間の測定 水槽に採取して来る流水は約 2 l であるが、之を濾紙により濾過するに何時間を要するかを測つた。之は濾過時間が餘り長いと、蒸發の激しい夏季に於ては、濾過の初めと終りに於て濾紙の濕りの程度が異つて来るから、土砂の重量を測る時このことを考慮に入れる必要がある。又濾過時間の長短は調査の日程及び能率に關係して来る。測定の結果、流水を採取して後直に濾過を行ふと、涵濁が著しいた

め 1 水槽の水を濾過するに 1 時間或はそれ以上を要した。従つて 20 個餘りの水槽の水を濾過するに約 1 晝夜を要し、實験者の疲勞のためその後の調査の能率を低下した。それ故、流水を採取した當日直に濾過することを止め、成る可く朝の間に流水を採取し、之を水槽に密閉したまま約 1 晝夜静置し、その上澄水を取つて濁度を測り、それが濾過水の濁度と略同一であれば (多くの場合略同一であつた)、上澄水は濾紙を通さず、残りの濁のみを濾過することとした。此の方法によると 1 水槽の水を濾過するに約 20~40 分、平均 30 分にして、實験者の能率上にも好結果を與へた。又濾過前後に於ける濾紙の濕り程度も略同一と見做して差支ないと考へられた。

3) 流砂率の鉛直分布 營口附近は感潮部であるため正確な流量測量を行ひ難く、従つて 1 断面全體の流砂量も測り難いので、唯満潮時、干潮時及び干潮の中間時に於る流砂率の鉛直分布のみを測定した。表-18 は河口より約 5 km 上流の横断面に於て、満潮時で河水が全断面に互り強く逆流してゐる時の流砂率の鉛直分布にして、之を圖示したのが圖-33 である。又表-19 は同一横断面の他の地點に於て、干満潮の中間時に於る流砂率の鉛直分布を測りたる流砂率の鉛直分布である。圖-34 は之を圖示したものである。表-20 は干潮時に於ける分布である。

表-18 及び圖-33 によれば、流砂率は水底に行くに従つて増加してゐる。此の増加の模様から考へると此の時の河床の土砂は恐らく移動してをつたであらう。表-19 及び圖-34 は干満潮の略中間時に於て流速は極めて僅かしかなく、而もその渦亂が恐らく水面から

表-18. 満潮時, 水深 5.80 m

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.07	逆流 0.8
1.0	0.11	" 0.9
2.0	0.34	
3.0	0.30	
4.0	0.32	
5.0	0.51	
平均	0.28	

表-19. 干満潮の中間, 水深 4.6 m

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.32	僅かに上流に
1.0	0.27	逆流
2.0	0.34	
3.0	0.21	
4.0	0.28	
4.5	0.36	
平均	0.30	

表-20. 干潮時, 水深 5.7 m

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.10	1.3
1.0	0.25	1.2
2.0	0.15	1.1
3.5	0.10	
4.0	0.20	
5.0		
平均	0.18	

水底まで略一様であつたため、流砂の鉛直分布も略一様であつたものと考へられる。此の場合は丁度第1編(82)式に相當し、且浮游粒子が微小で沈降速度 u_0 が非常に小さかつたため、 $u_0=0$ 故に $c=c_0=$ 一定となつたものであらう。

尙實際に河口に於て、海水による膠質粒子の鹽析現象がどのやうに行はれてゐるかを調べる事が出来れば興味深いと思つたのであるが、河口に於ける膠質粒子量の變化に就ては、鹽析に基く沈澱と海水そのもの

圖-33. 満潮時

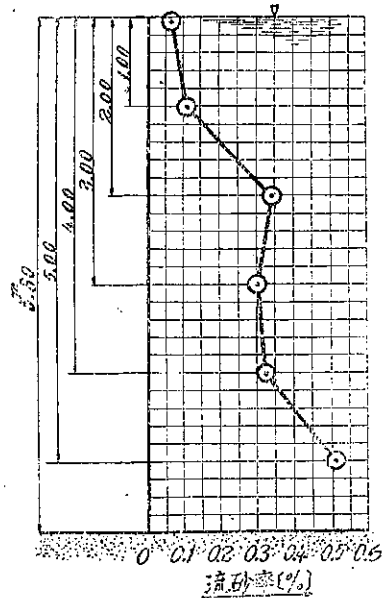
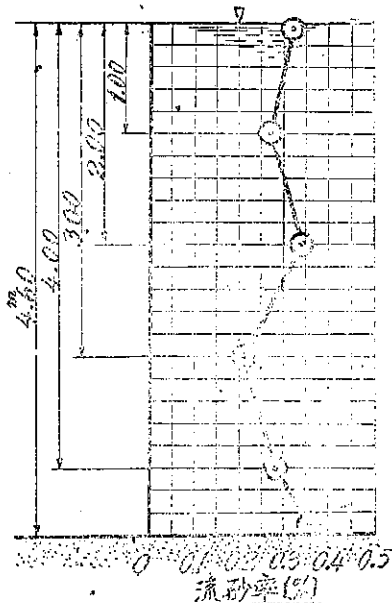


圖-34. 干満潮の中間時

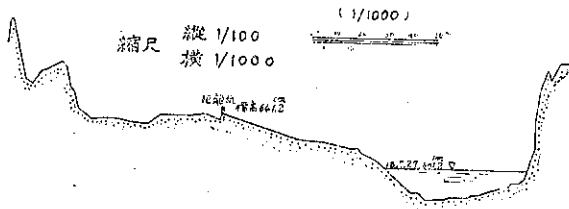


の混入による河水の稀釋、並びに干満潮により反覆激成される渦亂のために粒子の沈降の防害等の諸作用が極めて複雑に入りまじつて、鹽析現象の調査は甚だ困難であるので、今回は之を斷念した。

第2節 双太子河に於ける實測

1) 測定地點 双太子河の上流端、即ち遼河本流が裏遼河と双太子河とに分岐する地點の六間房村に於て7月25日より8月8日まで15日間測定した。この地點は河北線盤山驛より東北へ約60km、馬車で約11時間の行程にある寒村にして、電氣は勿論、木炭、清水等もなく、測量上並びに生活上非常に困難を感じた。特に此の地點を擇んだのは、裏遼河と双太子河との流砂状況を同時に測定せんと考へたからであつた。然るに昭和18年の夏は珍しい旱魃で、滞在中1日も裏遼河には流水を見ず、又双太子河も流量僅かに14~22 m³/sec 位にして、出水を待望しつつ遂に洪水に會ふことが出来ずして引揚げた次第である。それ故、水深、水面勾配等の變化、従つて流量の變化による流砂量の變化を調べることは出来なかつたが、その代り水深、水面勾配の略一定なる時、従つて流量の略一定なる流れに於ける流砂の時間的變動は詳細に調査する

圖-35. 測定地點の横断面圖



ことが出来た。

測定地點の横断面は圖-35の如くにして、流砂率は左岸より15m前後、30m前後(略流心部)及び45m前後の3點に於て測定した。

2) 河床の状態 測定地點附近に於ける河床の砂は非常に微細にして平均直徑 $d_m=0.12\text{ mm}$ であつた。その篩分結果は表-21の如くである。尙此の砂の上部に泥土が薄く冠ぶさつてゐるやうであるが、それは非常に浮游し易く、水と一緒になければ採取が困難であつた。著者等が測定した期間は濁水期にして流れが非常に緩かであつたので、流水中に浮游して流れてゐるのは殆んど此の泥土であつた。

測定断面の上下流500mに就て水面勾配を測りたるに $I=1/14\ 300\sim 1/25\ 000$ にして極めて緩かであつた。又流心部に於ける掃流力 F を求めたるに、 $F=44\sim 91\text{ gr/m}^2$ であつた。表-21より明かな如く、此の地點の河床砂は先に實驗に使用したる柳河筋新民に於ける河

表-21. 双太子河六間房に於ける河床砂

通過篩目 (mm)	残留篩目 (mm)	重量 (gr)	重量百分率 (%)
0.60	0.30	0.34	0.17
0.30	0.15	97.07	48.46
0.15	0.088	89.16	44.51
0.088	0.00	13.75	6.86
平均直徑 $d_m=0.122\text{ mm}$ 比 重 = 2.6			

床砂⁵⁴⁾に良く類似してゐるから、 $I\geq 1/3\ 000$ なる範圍ならば、その限界掃流力も大體 $F_0\approx 33\text{ gr/m}^2$ 位であると考へられる。然るに測定期間中の水面勾配 I は $1/3\ 000$ より遙かに緩かであつたから F_0 は多少異つて来る。先に小水路に於て著者が實驗した時は、限界掃流力は I が $1/3\ 000$ より緩かになれば減少する如く思はれたが、今回の測定中、双太子河の河床砂は餘り強くは移動してゐなかつたことより考ふれば、自然河川に於ては、水面勾配が $1/3\ 000$ 位より緩かになれば寧ろ F_0 が反對に増す如く思はれるのである。

3) 流砂率の鉛直分布 横断面内の上記3測點に於て流砂率の鉛直分布を測りたるに表-22~24の如くである。之等の表によれば、流砂率は水面も水底附近も大した變りはない。即ち河床の砂礫が浮游せざる如き緩かな流れに於ては、流砂

表-22. 左岸より15m、水深1.2m

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.13	0.38
0.4	—	0.40
0.8	0.29	0.32
1.2	0.28	0.25

の鉛直分布は水面から水底まで略一様であると見做して差支ないと考へられる。

次に同じく左岸より15mの測點に於て連続して3回鉛直分布を測りたるに表-25(a)~(c)の如くである。此の時の水深は1.05mであつた。

54) 永井：「移動床を有する小水路及び自然河川に於ける新流速公式(前編)」，昭.17.6.，土木學會誌，594頁

表-23. 左岸より 30 m, 水深 1.1 m

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.11	0.43
0.4	0.28	0.36
0.8	0.25	0.36
1.1	0.12	0.26

表-24. 左岸より 45 m (右岸より 10 m) 水深 0.7 m

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.20	0.34
0.35	0.20	0.31
0.70	0.25	0.24

表-25 (a). 1 回目

水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	7 時 16 分	0.22
0.3	" 21 "	0.11
0.6	" 22 "	0.13
1.0	" 25 "	0.11

表-25 (b). 2 回目

水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	7 時 26 分	0.47
0.3	" 27 "	0.55
0.6	" 28 "	0.35
1.0	" 31 "	0.53

表-25 (c). 3 回目

水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	7 時 36 分	0.13
0.3	" 38 "	0.15
0.6	" 39 "	0.26
1.0	" 41 "	0.04

表-26 (a).

左岸より 15 m, 水深 1.1 m 1 回目

水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	17 時 09 分	0.07
0.3	" 10 "	0.18
0.6	" 12 "	0.29
1.1	" 14 "	0.40

表-26 (b). 同 2 回目

水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	17 時 51 分	0.11
0.3	" 52 "	0.13
0.6	" 53 "	0.11
1.1	" 54 "	0.20

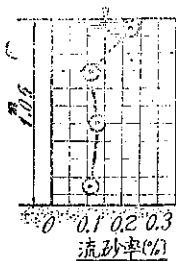
表-27 (a).

左岸より 30 m (流心部) 水深 1.05 m 1 回目

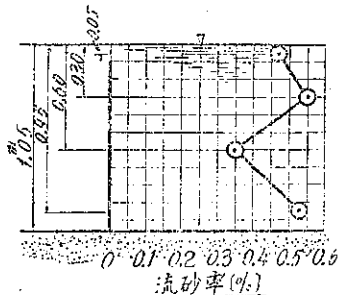
水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	17 時 21 分	0.09
0.3	" 22 "	0.09
0.6	" 24 "	0.16
1.0	" 25 "	0.14

圖-36.

(a) 1 回目



(b) 2 回目



(c) 3 回目

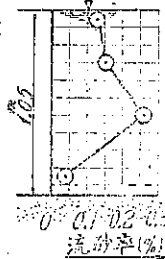


表-25 (a)~(c) を圖示すれば、圖-36 (a)~(c) の如くである。之等の圖及び表によれば、流砂率は同一地點に於ても採取の時刻により變化し、從つて鉛直分布も時刻により變ることが知られる。

念のため更に 1 日置きに 2 日間同様の測定を 3 つの測點に於て行つた。その結果は表-26 (a), (b); 表-27 (a), (b); 表-28 (a), (b) の如くである。表-26 (a), (b)

表-27 (b). 同 2 回目

水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	17 時 42 分	0.13
0.3	" 43 "	0.13
0.6	" 45 "	0.11
1.0	" 46 "	0.11

表-28 (a).

左岸より 45m (右岸より 10m) 水深 0.6 m 1 回目

水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	17 時 31 分	0.13
0.6	" 32 "	0.09

表-28 (b). 同 2 回目

水深 (m)	測定時刻	流砂率 (%)
0.05	17 時 37 分	0.07
0.6	" 38 "	0.22

圖-37. 左岸より 15m 水深 1.1 m

(a) 1 回目 (b) 2 回目

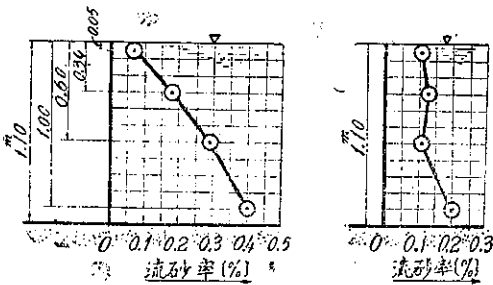
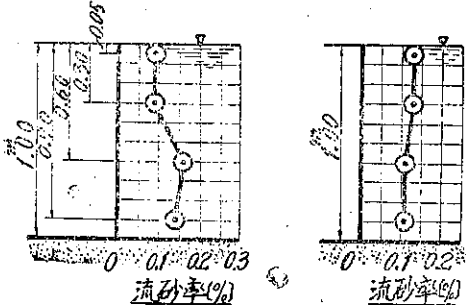


圖-38. 流心部

(a) 1 回目 (b) 2 回目



及び表-27 (a),(b) を圖示すれば圖-37 (a),(b) 及び圖-38 (a),(b) の如くである。

以上の圖及び表より、又その後 1 日をきに 2 日間行ひたる測定の結果、並びに後に示す表-29~32 より、一地點の流砂率及び一鉛直線上の流砂率の分布は何れの場所でも又何れの時でも絶えず變化してゐるのであること、又流水が非常に緩かで、河床流砂が浮游流砂に比して極めて僅少である場合には、流砂率は水面から水底まで餘り變化なく、その鉛直分布は略一様であると考へて差支ないことが確められた。之は流水が緩かな場合には、流速の鉛直方向の勾配が少いたため、渦亂が水底より水面まで略一様であること、及び浮游粒子が細かく且比較的輕いためであると考へられる。即ち第 1 編 (78) 式に於て、 $\bar{u} = \text{一定}$ $\frac{\partial c}{\partial x} = 0$ なる場合に於て、(78) 式は $\bar{u} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + u_0 \frac{\partial c}{\partial z} = 0$ となり、之を解くと (82) 式 $c = c_0 e^{-\frac{u_0 z}{\bar{u}}}$ となる。此の式にて沈降速度 u_0 が非常に小さいから $u_0 = 0$ とをくと $c = c_0 = \text{一定}$ となる。尙此の浮游土の比重を測りたるに 2.2 にして、河床の砂 (比重が 2.6) よりは稍輕かつた。

4) 流砂率の時間的變動 流砂率が時間的に如何なる變化をしてゐるかを調べるために、流心部 (水深 1.25 m) に於て、先づ水面と水底で 1 分毎に流水を 9 回採取しその流砂率を測つた。その結果は表-29 及び表-30 の如くである。

表-29. 流砂率の時間的變化 (水面に於て)

測定時刻	流砂率 (%)	3 回宛の平均 (%)
8 時 35 分	0.13	0.11
" 36 "	0.10	
" 37 "	0.11	
" 38 "	0.11	0.12
" 39 "	0.11	
" 40 "	0.15	
" 41 "	0.09	0.11
" 42 "	0.13	
" 43 "	0.10	
9 回の平均 = 0.11		

表-29 及び表-30 によれば、流砂率は時々刻々變化してゐるが、その 3 回宛の平均を比較すると略同一にして、而も 9 回の平均に略等しいことが知られる。更に 2 日後同一測點 (水深は 1.1 m) に於て、水

表-30. 流砂率の時間的變化 (水底に於て)

測定時刻	流砂率 (%)	3 回宛の平均 (%)
8 時 45 分	0.16	0.12
" 46 "	0.12	
" 47 "	0.09	
" 48 "	0.13	0.10
" 49 "	0.05	
" 50 "	0.13	
" 51 "	0.08	0.11
" 52 "	0.09	
" 53 "	0.16	
9 回の平均 = 0.11		

面下 0.3 m 及び 0.9 m の點で 1 分毎に 6 回宛流砂率を測定したるに、表-31 及び表-32 の如くにして、やはり表-29 及び表-30 と同様、流砂率は刻々變化してゐるが、1 分毎に 3 回測つてその平均をとれば、その點に於ける平均流砂率を知り得ることが考へられる。

表-31. 流砂率の時間的變化 (水面下 0.3 m)

測定時刻	流砂率 (%)	3 回宛の平均 (%)
10 時 15 分	0.08	0.09
" 16 "	0.07	
" 17 "	0.13	
" 18 "	0.07	0.07
" 19 "	0.07	
" 20 "	0.08	
9 回の平均 = 0.08		

表-32. 流砂率の時間的變化 (水面下 0.9 m)

測定時刻	流砂率 (%)	3 回宛の平均 (%)
10 時 21 分	0.08	0.08
" 22 "	0.09	
" 23 "	0.06	
" 24 "	0.14	0.11
" 25 "	0.09	
" 26 "	0.09	
9 回の平均 = 0.09		

第 3 節 遼河河水中に浮遊せる膠質粒子の量

河水中に浮遊せる膠質粒子は粘土類の如き疎水膠質にしても、又腐植土の如き親水膠質にしても、粒子の周圍に薄い或は厚い水の皮膜を冠つてゐるが、之に脱水性の他の溶液を加へるか、又は電解質を加へると脱水されて沈澱する。若し河水中に斯る脱水性の他の液體或は物質が融けこんでゐなければ、河水を長時間放置してもその中の膠質粒子のみは決して沈澱しない。それ故、河水を長時間静置し、その中に含まれてゐる土砂の粒子を凡て沈澱させてしまつて後、尙河水中に浮遊してゐる粒子は大體膠質粒子であると考へて差支ないであらう。

著者が双太子河の水に就てその沈澱の程度を調べたるに、採取後 6 時間静置した時の濁度は 210° であつたが、19 時間後には濁度は急激に減少して 65° になつた。しかしその後は餘り減少せず 24 時間後には 55° になり、30 時間後に於ても同じく 55° にして、48 時間後に於て 52°~53° 位になつたに過ぎない。之以上長く置いても殆んど變化はないと考へられた。此の結果によれば、河水中に含まれる粒子で静置することにより沈澱する粒子は、採取後略 24 時間でその大部分が沈澱するものと考へてよい。

六間房附近の河水は海水の影響は勿論なく、又人工的にも汚染もされてゐないから、膠質粒子に脱水作用を及ぼす如き他の液體或は物質は先づ存在しないと考へてよい。又 pH を計りたるに 7.0 にして中性であつた。

又此の河水より採つた多數の試水に就て、採水後略 24 時間の時の濁度を計りたるに略 50° であつた。従つて此の河水中に含まれてゐる膠質粒子の重量は、水の重量の約 50/1000000 即ち 0.005% であると考へられる。今此の期間の平均流砂率を 0.1% とすれば、流砂に對する膠質粒子の重量比は 0.05、即ち 5% である。これだけの膠質粒子が河口に於て海水に接し、その大部分が沈澱するものとすれば、長年月には相當莫大なる數量に達する。

第 12 章 松花江に於ける實測

第 1 節 哈爾濱に於ける流砂

昭和 18 年 8 月 13 日より 18 日まで、松花江本流筋の哈爾濱市に於て流砂の測定を行つた。今回の實測を計畫した當初は、双太子河に於ける實測終了後、渾河筋に於て實測を行ふ豫定であつたのでその方に準備

をしてゐた處、渾河が甚だしい渦水になつたため、急に予定を変更し、哈爾濱市に於て測定を行ふことにしたのである。従つて哈爾濱では實測に對する準備が出来てゐなかつたので、唯任意の地點に於る流砂の鉛直分布と時間的變動及び河水の水質検査のみを行ふに留めた。尙測定船は4人乗りのボート2艘であつたので、流速及び水深の大なる地點に於る測定は困難であつた。

1) 流砂の鉛直分布 沱州線の鐵橋附近に於て測定

表-33. 流砂の鉛直分布 水深約 7 m

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.12	0.90
2.0	0.10	0.89
4.0	0.05	
7.0	0.14	

表-34. 流砂の鉛直分布 (水深 3.3 m)

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.07	0.80
1.0	0.05	0.81
2.0	0.06	0.57
2.8	0.07	
3.2	0.22	

した結果は表-33 の如くである。それより3日後約1km 上流で測定した結果は表-34 及び表-35 である。

表-34 及び表-35 を圖示すれば圖-39 及び圖-40 の如くである。

表-35. 流砂の鉛直分布 水深 3.65 m

水深 (m)	流砂率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.04	0.83
1.0	0.09	0.83
2.0	0.13	0.60
3.0	0.05	
3.55	0.11	

表-36. 流砂の時間的變動 (水面に於て)

測定時刻	流砂率 (%)	3回宛の平均流砂率 (%)
16時50分	0.07	0.08
" 51 "	0.09	
" 52 "	0.07	
" 53 "	0.07	0.06
" 54 "	0.05	
" 55 "	0.07	
6回の平均 = 0.07		

圖-39. 流砂の鉛直分布
河床砂僅かに浮游

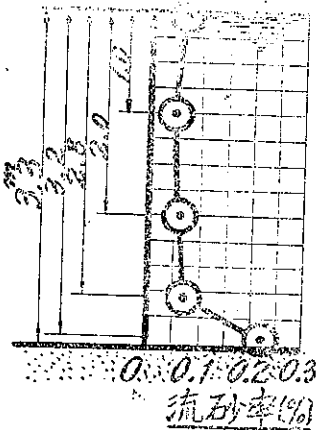


圖-40. 流砂の鉛直分布

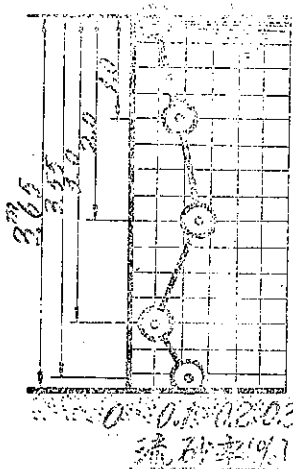


圖-39 (表-34) の地點では、河床砂と同大の砂が流水と共に採取されたから、河床砂が僅かに浮游してゐたと考へられる。以上の表及び圖によれば、河床の砂が浮游してゐない場合には、双太子河に於ると同様松花江に於ても、流砂の鉛直分布は水面から水底まで略一様であると思へて差支ないことが知られる。

2) 流砂の時間的變動 松花江に於て双太子河に於ると同様 1分毎に6回流水を採取して流砂の時間的變化を調べたに、表-36 及び表-37 の如くであつた。

此の結果によれば、松花江に於ても双太子河に於ると同様に流砂

表-37. 流砂の時間的變動 (水面下 1 m に於て)

測定時刻	流砂率 (%)	3 回宛の平均流砂率 (%)
16 時 58 分	0.05	0.08
〃 59 〃	0.11	
17 時 00 〃	0.07	0.06
〃 01 〃	0.07	
〃 02 〃	0.08	
〃 03 〃	0.04	
6・回の平均 = 0.07		

は時間と共に變化してゐるが、1 分毎に 3 回測定し、その平均をとれば略その點に於る平均流砂率が得られることがわかる。

第 2 節 松花江江水中に浮遊せる膠質粒子の量

松花江の江水中に浮遊せる粒子の沈澱の程度を調べたるに、流水を採取して後 10 時間静置した時の濁度が 80°, 22 時間の時が 80°~75°, 24 時間の時がやはり 75°であつた。此の結果によれば、松花江の流水中に含まれてゐる浮遊粒子で、静置することにより沈澱するものは 24 時間以内に殆んど沈澱してしまふと考へられる。それ故、遼河に於けると同様、數個の試水に就て約 24 時間静置後、その上澄水の濁度を測りたるに 75°であつた。従つて測定期間中、松花江江水中に含まれてゐた膠質粒子の重量は水の重量の 75/1000000、即ち 0.0075% である。今此の期間に於ける松花江の平均流砂率を 0.07% とすれば、江水中には浮遊土砂の重量の約 10% の膠質粒子が浮遊してゐたことが知られるのである。同時に江水の pH 價を測りたるに 7.2~7.5 にしてアルカリ性であつた。又淡黄色の色度を有してゐた。

従來哈爾濱市で松花江水の水質試験を行つた 2~3 の人により、江水中に浮遊してゐる微粒子が特に沈澱し難いことが言はれてゐたのであるが、今回の測定に於ても確認された。同時に特に沈澱し難い理由も膠質學的に説明することが出來た。即ち一般に哈爾濱附近の松花江流域には、砂礫質の土壤と共に腐植土が多いと言はれてゐる。従つて江水中には腐植土の粒子が多いと考へられる。而して腐植土の微粒子は親水膠質にして、その粒子の周圍に厚い水の皮膜を冠つてゐるため、粘土の如き疎水膠質に比して凝結し難い。その上江水がアルカリ性にして負イオンの OH⁻¹ が正イオ

ンの H⁺ より多いため、負イオンなる膠質粒子が水中に安定であるから沈澱し難いのである。

第 13 章 浮遊土砂の含水率及び比重

第 1 節 含水率

遼河及び松花江の河水中に浮遊して流れてゐる土砂を實驗室に持ち歸り、先づその含水率を測定した。即ち土砂が水を飽和した時の重量を計り、之を W_{sw} とする。次に之を電氣定温乾燥爐内で 110° の温度で乾燥し、土砂の重量が一定になりたる時の重量を計り、之を W_s とすれば、含水量 W_w は

$$W_w = W_{sw} - W_s$$

にして、含水率 γ_w は

$$\gamma_w = \frac{W_w}{W_{sw}}$$

である。斯様にして各土砂に就て γ_w を求めた結果は表-38 の如くである。此の結果によれば $\gamma_w = 0.45 \sim 0.56$ にして平均 $\gamma_w = 0.50$ である。

表-38. 浮遊土砂の含水率及び比重

地 點	含水率	真比重	水中に於ける見掛の比重
營 口 I	0.51	2.3	
〃 II	0.47	2.3	
六 間 房 浮 遊 土	0.56	2.2	0.55
〃 河 床 砂		2.6	1.50
哈 爾 濱 浮 遊 土 I	0.45	2.5	0.66
〃 II	0.47	2.7	
〃 河 床 砂	0.56	2.6	

第 2 節 真 比 重

各土砂の真比重を比重瓶により測定したるに表-38 の如くにして、 $w_s = 2.2 \sim 2.7$ であつた。

第 3 節 見掛の比重

土砂を乾燥した時の重量 W_s を、それが水中で堆積した時の體積 V_s で除したものを w_s' とし、之を假りに水中に於る見掛の比重と名付ける。

我々が河川の流砂量を知らんとする究局の目的は、多くの場合、一定期間に堆積する土砂の容積を知ることである。之を知るためには、流砂量 (重量) と共に水中に於ける見掛の比重 w_s' を知る必要がある。而してこの見掛の比重は土砂の壓縮の程度により甚だしく異なるため、一定の土砂に就ても一定ではない。

著者は流出土砂が沈澱堆積した時の見掛の比重を近似的に求むるため、水を入れた目盛り試験管中に土砂を入れ、試験管を鉛直に立てた儘 3~10 時間静置し、その時の體積を計つて w_s' を求めた。斯くして求めた w_s' は、双太子河浮游土は $w_s'=0.55$ 、松花江浮游土は $w_s'=0.66$ 、双太子河河床砂は $w_s'=1.59$ であつた。従つて流出土砂が一定期間に靜かに沈澱堆積した時の體積 V_s はその期間の流砂量 (重量) を G_s (ton) とすれば、

$$V_s = G_s / w_s' \quad (\text{m}^3),$$

$$\text{土の } w_s' = 0.6, \quad \text{砂の } w_s' = 1.6$$

である。然し既述したる如く、 w_s' は土砂の堆積状態、例へば、下部に堆積して固くなつたものと上部に軽く堆積したものとでは可なり相違して來るから、 w_s' の値には各場合に就て十分考慮する必要がある。

第14章 結 論

第1節 流砂量式に就て

河川の流砂には、河床土或は河床附近を轉動、跳動或は僅かに浮游して流れる河床流砂と、相當長い時間或は距離、水中を浮游して流れる浮游流砂とがあるが前者を支配する力は流水の掃流力にして、後者を支配する要素は流速であると考へられる。従來流砂問題の研究の大部分は河床流砂のみを對稱として考へてゐたのであるが、自然河川に於ては河床流砂のみならず浮游流砂が非常に多いのである。それ故河川の流砂量を算定する公式としては、掃流力と同時に流速を加味しなければならないと考へられるのであつて、此の考へ方より著者は實用公式として (53) 式 $g_s = \varphi \cdot (P - P_0) \cdot v$ を提案したのである。式中の流砂係數 φ は河床砂礫の種類により一定の値をとるべき係數であるが、此のことは唯實際により確めたのみで、昭和 18 年夏の實測に於ては、生憎濁水のため検討することが出来なかつた。従つて此の式に就ては今後多數の實測資料に就て検討する考へである。

第2節 流砂の分布及び平均流砂點

1) 流れが緩かな場合 流水の掃流力及び流速が小なる時、即ち流水が緩かにして、河床の砂礫が河床上を轉動或は滑動するのみで殆んど跳動又は浮游せざる場合には、流砂率 (此の時は寧ろ流泥率) は水面より水底まで餘り變化はなく、大體一樣であると考へて差支ない。従つて水面から水底まで何處を測つてもよい

のであるが、何れの點でも流砂率は時々刻々變化してゐるから、一點で 1 分毎に 3 回測り、その平均をとつてその點に於る平均流砂率としなければならない。

2) 流れが強い場合 掃流力及び流速が大なる時、即ち流れが強い場合には、河床の砂礫は卷上げられて多數の砂が流水中に浮游して流れる。斯る場合には、流砂率は水面から水底に行くにつれて略直線的に増加する。而してその平均流砂點 (重量流砂率の平均點) は水深の約 60% (水面から) の點に存し、流出土砂の粒徑或は比重が小なる時は 60% より稍上方にあり、粒徑或は比重が大なる場合には 60% より稍下方にある。此の平均流砂點に於て 1 分毎に 3 回測定しその平均値をとれば、その鉛直線に沿つた平均流砂率を求め得る。

3) 横斷面の平均流砂率 一横斷面に於て流砂率の横斷方向の分布は、流路の状態及び斷面の形状等により異なるが、直流部に於ては河岸の直ぐ近く以外は餘り大した變化はないやうである。それ故、河川の一横斷面を洗過する流砂量を知らんとする時は、成る可く直流部を選び、その略中央でなる可く形が正常なる斷面に於て、流心及び左右兩岸から夫々河幅の略 1/4 の點で、上記の方法により水面から水底までの平均流砂率を測り、その 3 箇の流砂率を平均した値を以て横斷面の平均流砂率 λ_m とし、(98) 式 $G_s = \lambda_m Q$ より流砂量 G_s (毎秒重量) を求むればよい。若し河幅が數百米或はそれ以上もある大河川なれば、横斷方向に於る測點の數を適當に増す必要がある。

第3節 河水中に浮游せる膠質粒子の量

従來河川の流砂問題の研究に於ては、土砂礫の流出量のみを考へ、粒徑が 1μ 以下と言ふ如き極めて微細なる膠質粒子に就ては全く考慮してゐなかつた。然るに著者が遼河及び松花江に於て河水中に浮游せる膠質粒子の重量を調べたるに、流水の重量 0.005~0.0075%、流出土砂重量の約 5~10% であつた。此の量は洪水時には更に増大するであらう。従つて之を 1 年間或はそれ以上の長年月に就て考ふれば相當莫大な量になる。例へば遼河河口の營口に於て、年流出水量を 80 億噸とし、膠質粒子の年平均含有率を 0.01% とすれば、膠質粒子の年流出量は 80 萬噸に達する。今之が河床に沈澱堆積した時の見掛の比重を 0.5 とすればその容積は 160 萬 m^3 となる。今此の膠質粒子の 1/3 が河口附近の 50 km の間 (平均河幅を 1 km とする)

に堆積するものと假定すると、10 年間には厚さ約 11 cm の層になる。

附記 本實測に関する費用は主として文部省學術振興會及び京城帝國大學大陸文化研究會より補助

を受けた。又實測に際しては、滿洲國交通部治水調査處の絶大なる援助を得た。之等の援助に對して深甚なる謝意を表す。

(昭. 18. 10. 30. 受付)