

流砂に関する研究(第4編)

黄河筋包頭に於ける流泥に就て

正員 永井 莊七郎*

要 旨: 本文は昭和19年8月黄河筋包頭に於て實施したる流泥に関する測定結果を、昭和16年に行ひたる實驗結果及び昭和18年夏に行ひたる遼河及び松花江に於ける實測結果と比較検討し、以て河川に於ける土砂流送の状況を更に明確に示したものである。

目 次

第15章 黄河筋包頭に於ける測定

第1節 概 説

第2節 包頭に於ける流泥

第3節 包頭に於ける水質

第4節 結 言

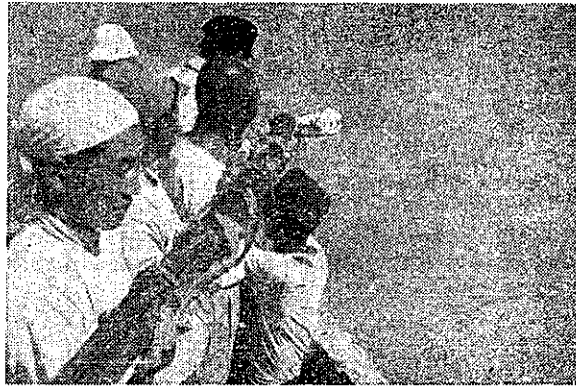
第15章 黄河筋包頭に於ける測定

第1節 概 説

昭和18年7月及び8月、滿洲の遼河及び松花江水系に於て、濁水期から洪水期に至る種々なる流況に於ける流砂の状態を測定する積りであつたが、生憎同年夏は甚だしい旱魃にして河川の流量、流速共に小さく、ために流速、水深の大なる流れに於ける流砂の状態を測定することが出来なかつた。然るに幸ひにも昭和19年8月、蒙疆地區の黄河に於て流速、水深共に希望通りの流況で土砂流送の状態を測定することが出来た。即ち包頭に於ける黄河は河幅約290m、水深最大約7m、流速最大約1.50m/sec、断面の平均流速約1m/sec前後、流量約700~900m³/secにして、河床土砂の移動、浮游も激しかつた。

この地點に於て先づ流泥の時間的變動を調べ、次いで流泥の鉛直及び横斷方向の分布を測定し、同時に流量をも測定して断面を單位時間に流過する流泥量を求めた。扱て一點の流泥率(重量比)を求むるには、遼河及び松花江に於て行つたと同様の方法により(永井、『流砂に関する研究(第3編)』土木學會誌、昭19.2月號、88~91頁参照)、著者考案の流砂測定器を用ひて所定地點の流水を採取し、之を運搬用水槽に入れて濾過場所まで運び、其處で濾紙により含有土砂を濾過し、濾紙に残つた土砂を110°Cの定温乾燥爐内で乾燥

圖-1. 採水せんとする時の狀況



し、その重量と試水全重量との比を算出した。唯今回は官立包頭病院長の絶大なる御好意によりその病室を借用することが出来たので、濁水の濾過には水流ポンプを用ひてそれに要する時間を短縮し、又乾燥、計量、水質検査等他の地點では望み得ない程正確に行ふことが出来た。又黄河から包頭病院までの數軒は數名の入夫に運搬用水槽を徒歩で運ばせて試料水の漏出を防いだ。

黄河は上記の如く流速及び水深が相當大であつたため、水深1.5m以下の採水の時には支持棒が甚だしく曲るので、太さ數纏、長さ5m餘の木棒で補強して使用した。圖-1は採水のため測定器を河流中に挿入せんとする時の狀況である。斯様に流速及び水深の大なる場所では、支持棒を更に健全なる鐵管の如きものに代へ、採水器も更に縮小し且抵抗を減ずる如く改良する必要あるを痛感した。

* 工學士 舊京城帝國大學助教授、現運輸省第三港灣建設部(神戸)

第2節 包頭に於ける流泥

(1) 流泥率の時間的變動 昨年夏遼河及び松花江に於て行つた實測の結果、『河川の流泥率(或は流砂率)は何れの地點に於ても時々刻々に變化してゐる。しかし一點に於て大體 1~3 分毎に 3 回測定し、その 3 回の値を平均すればその點に於ける平均流泥率が得られる。』ことが明かになつたのであるが、黄河に於ても

水深は 5.20 m である。その結果は表-1 及び表-2 の如くである。

翌日同一横断面の左岸より 80 m の地點 (水深 5.40 m) で水面下 0.05 m 及び 3.00 m の 2 點に於て 1~3 分毎に各々 9 回測定した。その結果は表-3 及び表-4 の如くである。

表-1~4 を見ると、遼河及び松花江に於けると同様に黄河に於ても、『流泥率は時々刻々に變化してゐるが、

表-1. 流泥率の時間的變動 6 K (水面下 0.05 m)

測定時刻	流泥率 (%)	3 回宛の平均流泥率 (%)
13 時 03 分	0.42	0.36
〃 04 〃	0.25	
〃 05 〃	0.40	
〃 06 〃	0.75	0.53
〃 07 〃	0.22	
〃 08 〃	0.63	
〃 09 〃	0.40	0.40
〃 10 〃	0.43	
〃 11 〃	0.38	

9 回の平均流泥率=0.43

表-2. 流泥率の時間的變動 (水面下 2.5 m)

測定時刻	流泥率 (%)	3 回宛の平均流泥率 (%)
13 時 17 分	—	0.63
〃 18.5 〃	0.60	
〃 20 〃	0.66	
〃 21.2 〃	0.62	0.67
〃 22.4 〃	0.72	
〃 24 〃	—	
〃 25 〃	0.66	0.65
〃 26.1 〃	0.60	
〃 27.5 〃	0.68	

9 回の平均流泥率=0.65

先づこのことを確める必要があつたので實測の初めの 2 日間、4 點に於て流泥率の時間的變化を調べた。

即ち第 1 日目には、河幅 286 m なる断面の左岸より 111 m の地點で、水面下 0.05 m 及び 2.5 m の 2 點で 1 分毎に各 9 回宛測定した。但しこの地點の

1 點に於て大體 1~3 分毎に 3 回測定し、その 3 回の値を平均すれば略その點に於ける平均流泥率が得られる』ことを確認した。

表-3. 流泥率の時間的變動 (水面下 0.05 m)

測定時刻	流泥率 (%)	3 回宛の平均流泥率 (%)
11 時 05 分	0.35	0.30
〃 06 〃	0.28	
〃 07 〃	0.28	
〃 08 〃	0.29	0.30
〃 09 〃	0.27	
〃 10 〃	0.33	
〃 11 〃	0.28	0.27
〃 12 〃	0.26	
〃 13 〃	0.26	

9 回の平均流泥率=0.29

表-4. 流泥率の時間的變動 (水面下 3.000 m)

測定時刻	流泥率 (%)	3 回宛の平均流泥率 (%)
11 時 26 分	0.50	0.44
〃 27 〃	0.44	
〃 30 〃	0.38	
〃 31 〃	0.32	0.40
〃 32 〃	0.45	
〃 33 〃	0.43	
〃 34.4 〃	0.42	0.47
〃 35.6 〃	0.45	
〃 36.6 〃	0.53	

9 回の平均流泥率=0.44

(2) 流泥率の鉛直分布 次に4日間、流泥率の水
面から水底までの鉛直分布を測定した。又同時に同一

地点で流速の鉛直分布をも調べた。その結果は表-5、
6, 7, 8 の如くである。

表-5. 流泥率の鉛直分布 (水深 4.40 m)

水深 (m)	各回の流泥率 (%)	3 回平均の流泥率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.30	0.29	1.20
"	0.30		
"	0.27		
1.00	0.30	0.36	1.22
"	0.42		
"	0.37		
2.00	0.39	0.39	1.44
"	0.37		
"	0.41		
3.00	0.39	0.41	1.29
"	0.40		
"	0.45		
4.00	0.38	0.41	1.19
"	0.43		
"	0.43		

表-6. 流泥率の鉛直分布 (水深 3.50 m)

水深 (m)	各回の流泥率 (%)	2 回平均の流泥率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.29	0.30	1.20
"	0.30		
"	0.31		
1.00	0.37	0.37	0.96
"	—		
"	0.36		
2.00	0.47	0.48	0.98
"	0.41		
"	0.41		
3.00	—	0.66	0.95
"	0.62		
"	0.69		
3.50	0.64	0.66	0.69
"	0.67		
"	—		

表-7. 流泥率の鉛直分布 (水深 4.15 m)

水深 (m)	各回の流泥率 (%)	3 回平均の流泥率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.27	0.24	1.18
"	0.24		
"	0.21		
1.00	0.27	0.33	1.10
"	—		
"	0.39		
2.00	0.43	0.47	1.34
"	0.52		
"	0.45		
3.00	—	0.60	1.09
"	0.58		
"	0.61		
3.50	0.53	0.53	0.96
"	0.53		
"	—		
4.1b	0.76	1.07	
"	0.92		
"	1.52		

表-8. 流泥率の鉛直分布 (水深 2.80 m)

水深 (m)	各回の流泥率 (%)	3 回平均の流泥率 (%)	流速 (m/sec)
0.05	0.37	0.35	0.63
"	0.35		
"	0.34		
1.00	0.52	0.56	0.97
"	0.63		
"	0.54		
1.50	0.73	0.63	1.06
"	0.66		
"	0.51		
2.00	0.73	0.64	0.87
"	0.56		
"	0.64		
2.80	1.55	1.27	0.42
"	1.17		
"	1.08		

流泥の鉛直分布

圖-2.

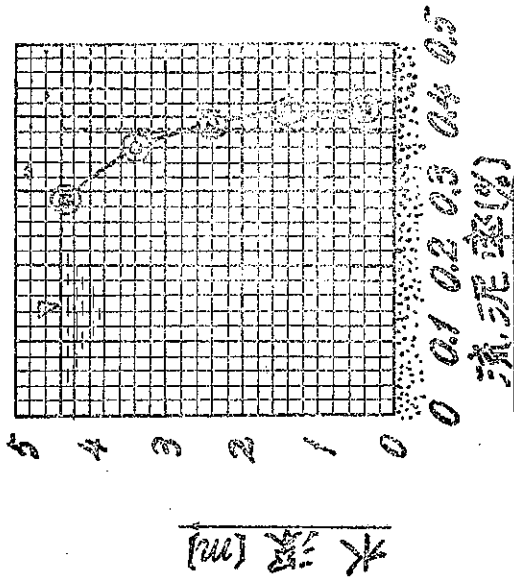


圖-3.

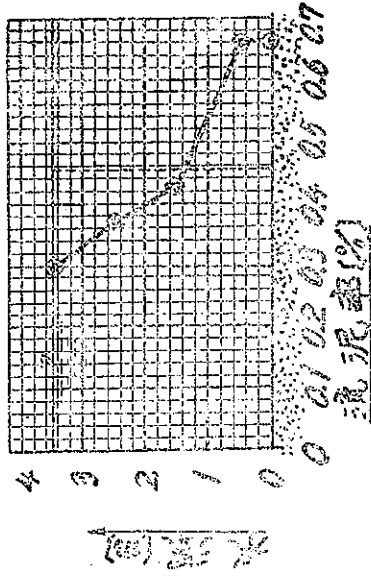


圖-4.

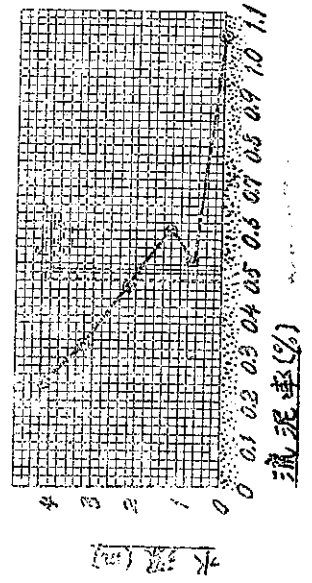
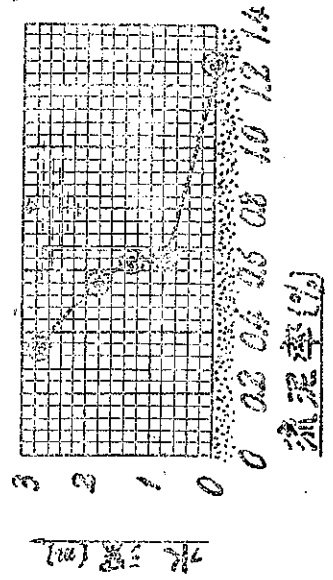


圖-5.



之等を圖示すれば圖-2, 3, 4, 5 の如くである。

之等の圖より平均流泥率の點を求め、その點までの水深 H_m と測點の水深 H との比を求めれば

$$H_m/H = 1.7/4.4 = 0.39, \quad 2.15/3.50 = 0.61, \quad 2.0/4.15 = 0.48 \quad \text{及び} \quad 2.05/2.80 = 0.73$$

である。この中で $H_m/H = 0.39$ は、黄河の河床土砂の移動及び浮游が相當激しかつたと判断された状況より考へて過小であると思はれる。今之等4ヶの値を平均すると $H_m/H = 0.55$ である。従つて流泥の鉛直分布に於て平均流泥率の點は水深の大體 55% 或はそれより稍下方にあることが考へられる。このことは先に

表-9. 流泥率の横斷分布(河幅=289 m)

測點	水深(m)	採水點の水深(m)	各回の流泥率(%)	3回平均の流泥率(%)
1	5.30	3.20	0.39	0.39
			0.37	
			0.40	
			0.39	
2	6.50	4.00	—	0.40
			0.40	
			0.41	
3	6.20	3.70	0.47	0.45
			0.46	
			0.57	
4	5.50	3.30	0.48	0.52
			0.52	
			0.53	
5	2.70	1.60	0.56	0.55
			—	
6	0.30	0.20	1.46	1.34
			1.22	

著者が昭和16年に行つた流砂の實驗に於て得た値 $H_m/H = 48 \sim 74\%$ 、平均 57% に略々同じく、又ドイツ、アメリカの河川に於ける實測結果の $H_m/H = 56 \sim 62\%$ にも近い。(永井:『流砂に關する研究(第1編)』, 土木學會誌, 昭和18年4月號, 369~370頁参照) 以上の黄河及び他の河川に於ける實測結果、著者の實驗結果等より考へて、測定斷面に於ける鉛直方向の平均流泥率の點は大體水深の 60% の深さにあるものと假定した。

(3) 流泥率の横斷方向の分布 鉛直方向に於ける平均流泥率の點が水深の約 60% の深さにあるものと假定し、左岸より略 40m 間隔に6ヶ所に於て各々水深の約 60% の深さで流泥率を測定し、横斷方向に於ける流泥の分布を調べた。その結果は表-9 及び表-10 の如くである。

表-9 及び表-10 に依れば、表-9 の測點6を除けば、横斷方向に於ける流泥率の分布は鉛直方向に於ける如き變化はなく、近似的には大體一樣に分布してゐると見做しても差支ない程度である。唯右岸に進むにつれて流泥率が少し宛増し、且表-9 の測點6のみが

表-10. 流泥率の横斷分布

測點	水深(m)	採水點の水深(m)	各回の流泥率(%)	3回平均の流泥率(%)
1	6.50	3.90	0.39	0.33
			0.32	
			0.33	
2	7.00	4.20	0.33	0.35
			0.38	
			0.33	
3	7.00	4.20	0.37	0.40
			0.43	
			0.39	
4	6.00	3.60	0.48	0.45
			0.45	
			0.41	
5	3.10	1.90	0.45	0.54
			0.68	
			0.54	
6	0.20	0.10	0.38	0.34
			0.33	
			0.34	

著しく大なるは、測定期間中、測定斷面の上流數百米附近で河床土砂が甚だしく移動し、その掃流された土砂が流速の小なる右岸附近に堆積しつゝあつたためであらうと考へられる。

著者は昭和16年に行つた流砂に關する實驗に於て(永井:『流砂に關する研究(第1編)』, 土木學會誌, 昭和18年4月), 水路幅方向の流砂率の分布を近似的に一樣であると假定して、掃流力及び流速を種々に變化した時の流砂量の變化を調べたのであつたが、今回

の實測結果に依れば、この假定は大體認容してよいことが明かになった。

第3節 包頭に於ける水質

(1) 含有土の沈澱試験 日本水道協會協定の上水試験法により作りたる濁度標準液を用ひて、黄河河水中に含まれる土粒子の沈澱状況を調べた。その結果は表-11 (a)~(b)の如くである。

表-11. 黄河水の沈澱試験

(a) 流泥率 0.39% の流水 (b) 流泥率 0.62% の流水

静置時間	濁度	静置時間	濁度
0 時間	3900°	0 時間	6200°
1 時間半	200°	1 時間半	100°
2 時間半	90°	2 時間	約 80°
3 時間	60°	3 "	50°
17 "	10°	17 "	約 10°
24 "	約 8°	24 "	約 8°

(c) 流泥率 0.41% の流水 (d) 流泥率 0.57% の流水

静置時間	濁度	静置時間	濁度
0 時間	4100°	0 時間	5700°
1 時間半	約 150°	1 "	200°
2 時間	100°	2 "	80°
3 "	80°	16 時間半	約 10°
17 "	10°		
24 "	約 8°		

以上4種の沈澱試験の結果より、黄河河水中に含まれてゐる土の粒子の殆んど大部分が静置後1時間乃至1時間半にして沈澱してしまふ。又静置後17時間乃至24時間を経過すれば、残りの浮遊微粒子の殆んど全部が沈澱し、その上澄水は外見上は蒸溜水と餘り變らぬ位に澄明になることが知られる。

今沈澱試験に使用したるガラス圓壺内の水温は大體20°Cにして、河水中に含まれてゐる浮遊土の比重 $\gamma = 2.6$ とすれば、Stokes の式

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{\gamma - 1}{\eta} \cdot r^2 g \quad (\text{cm/sec})$$

に於て $\gamma = 2.6$ 、動粘性係數 $\eta = 0.010 \text{ gr/sec/cm}$ である。然る時は静置後1時間乃至1時間半以内に沈澱する粒子の直径は、ガラス圓壺の深さを10cmとすれ

ば、 $d = 0.0050 \sim 0.0056 \text{ mm}$ 及び之以上である。又静置後24時間以内に沈澱する粒子は直径 $d = 1.1 \sim 1.2 \mu$ (ミクロン) 及之以上のものである。それ故、包頭附近の黄河河水中に浮遊してゐる土の粒子の殆んど大部分は直径が0.005~0.0056mm以上にして、又粒径が1.1~1.2 μ より小なる極微粒子及び膠質粒子の量はそれより粒径の大なる粒子の量に比して極めて微量であることが考へられるのである。著者は一年前、遼河及び松花江の河水に就てその中に含まれてゐる土砂粒の沈澱状況を測定したが、流水時は遼河河水の方が松花江江水より一般に濁濁の度が甚だしいに拘らず、一旦静置すれば遼河河水中の浮遊土砂粒子は早く沈澱して清澄になることを知つたのであつた。而して今度黄河河水中に含まれてゐる浮遊粒子の沈澱状況を調べて、流水時は前二者より遙かに濁濁の甚だしい黄河河水が、静置すれば逆に最も速かに清澄になり、又膠質粒子の量も最も僅少なることを知り非常に興味深く感じたのである。

(2) 水素イオン濃度、硬度及び色度 8月中に2回黄河河水の水素イオン濃度(pH價)を比色計により測りたるに8.0及び8.2にして弱アルカリ性であつた。斯くの如く黄河河水が弱アルカリ性になつた原因が或は河水中に含まれてゐる黄土に基くものではないかと考へて、現在の黄河から相當遠く離れてゐる陰山山脈中の大青山中腹の黄土を採り、之をpHが6.9なる蒸溜水に重量比で約0.4%の割合に混じ、その上澄水のpHを測りたるに7.8~7.9にして、この水を一晝夜放置後再び測りたるにやはり同一のpH價を呈した。又包頭市郊外の別の黄土を同じくpHが6.9なる蒸溜水に重量比で0.4%の割合に混じてその上澄水のpHを測りたるに7.6であつた。以上2種の黄土に就ての實験結果によれば、黄河河水のpHが8.0附近になる原因が或は黄土中に含まれる水溶性物質に基くのではなからうかと考へられるのである。

尙河水の硬度を測りたるに5.5にして案外軟かいのに驚いた。又色度は認められなかつた。

第4節 結言

黄河はその流送土砂量の大なる點で古來世界的に有名である。數千年來黄河の治水を力説して、尙今日に至るも之を治むることの出來なかつた最大の原因の一つも實にこの著しい流送土砂にあると言はれてゐる。而してその流出土砂の主なる源は山西及陝西兩省の黄

土地帯を流れる渭河及び汾河にして、その中でも黄河下流の流出土砂に最も甚大なる影響を與ふるものは渭河流域より流送される土砂であると言はれてゐる。それ故、流送土砂量の特に大なるは龍門或は達關より下流にして、それより上流に於ては流送土砂量は餘り大ではないと考へられる。著者が測定したる地點も龍門より可なり上流であつたから、黄河水系では流出土砂量の餘り大ならざる部分である。然し滿洲の遼河、松花江等と比較すれば河水の濁濁の程度は餘程大である。

著者が測定したる時の流量は其の地點に於ける過去5ヶ年間の略々平均流量であつたが、その時の断面全體の平均流泥率は0.4~0.5%位(重量比)、河床近くの流泥率の最も大なる點で1.3%位にして豫想外に僅少であつた。洪水時には流泥量は更に増大するであらうが、5ヶ年間の最大流量が測定時流量の約5倍に過ぎなかつたこと等より、包頭附近に於ける黄河の流出土砂量は左程大なるものではなからうと考へられるのである。

又黄河河水中に含まれてゐる黄土は静置すれば1~2時間でその大部分が沈澱し、一晝夜も経過すれば非常に清澄になることより判断すれば、龍門より上流の峽谷に於て黄河を高堰堤で堰止めたる如き場合は、流出土砂は池底に沈澱堆積し、池内の水は清澄になるから、その上澄水を使用して發電しても水車に損障を與へる如き懼れはないであらう。又貯水池が流送土砂により速かに埋まる如きこともないであらうと考へられるのである。

今回の測定は唯包頭の一ヶ所に於て而も僅かの日數の間測定したに過ぎないから、この結果のみを以て黄

河全般を判断することは出来ない。今後引續き要所々々に於て且成る可く長期間に亘り水理的調査を行ひ、以て黄河の根本的治水及び利水の計畫樹立に資する必要があるを痛感する次第である。

扱て昭和18年以來繼續して來たる、流砂に關する實驗的及び理論的研究、並びに河川に於ける實地測定に依り、河川に於ける土砂流送の狀況を略究明することが出來た。而して流出土砂の量を正確に知るには、種々なる流況に於て實地に測定するの外ないと考へられるのであるが、その實測方法は『流砂に關する研究(第3編)』(土木學會誌、昭和19年2月)及び本文に於て記述した如くである。唯著者が行つた測定方法は嚴密なる方法にして相當面倒であるから、斯る方法を長期間に亘り實施することは中々困難である。それ故現地では一晝夜沈澱後の體積と全試驗水の體積との比を以て表はす等の簡便なる方法を行ひ、之を著者が實施したる嚴密法との聯連を付けてをけば好都合であると考へられる。然し將來更に此の研究を進め流砂量公式に依り掃流力、流速及び河床土砂の性質を知れば直に流砂量を算出し得る如くならねばならぬと考へてゐる。

附記 今回の黄河に於ける實地測定に對しては、京城帝國大學總長山家信次博士を始め、蒙疆電業會社包頭測水班員、包頭市立病院長獅目慶三博士、現地交通部の人々京城帝國大學理工學部土木工學科學生相澤一男、岩淵達也及び藤田圭一の3君等より絶大なる御援助を得た。又その費用は京城帝國大學及び日本學術振興會より援助を受けた。茲に記して以て衷心より感謝の意を表する次第である。

(昭. 19. 12. 12 受付)