

石狩川の浮遊流砂に関する調査研究

古谷 浩三* 服部 博**

Investigation on the Suspended Load in the Ishikari River

By

Kōzō FURUYA, Hiroshi HATTORI

Synopsis

The authors have observed the amounts of suspended load to investigate the characteristics of the suspended load of the Ishikari River at Kitamura and Nishi-Bibai which are located at 55.5 km~58.8 km from the river-mouth.

In this paper the authors compiled the data above mentioned supplented with the data of the subsequent investigations at fourteen observation stations which are located between Asahikawa and the river-mouth of the Ishikari River and more twelve stations of main tributaries of the river.

By these results, they could make some approaches on the sediment problems of this river such as the vertical distribution of concentration of the sediment, the relation between the discharge and the amounts of the sediment, the variation of concentration of the sediment in the longitudinal direction of the river, the changes of hydraulic amounts during flood and the relation between Kármán's constant and concentration of the sediment, etc.,

要 旨

石狩川における浮遊流砂の実態を把握するため、先に石狩川の北村、西美唄地点（河口より約 55.5~58.8 km）において調査を行ってきたが、ここではその後の調査結果（石狩川本流旭川~河口間 14 箇所とこれに合流する主な支川 12 箇所）により以前の試料不足を補足しつつとりまとめたものである。

この結果流砂濃度の垂直分布、流量と流泥量の相関関係、河川の縦断方向における変化、洪水時における水理量の時間的変動、カルマン常数と流砂濃度の関係などについて若干知ることができた。

目 次

ま え が き	2
I. 調 査 概 要	2
1. 観測地点と測定方法	2
2. 観 測 器 械	3
II. 調査結果と考察	4
1. 水位、流量曲線	4
2. 平均流速の測定法	15
3. 流砂濃度の垂直分布	17
4. 浮 遊 流 砂 量	21
5. 流泥量の河川の縦断方向における変化	29
6. 洪水時における水理量の時間的変化	32
7. 平 均 流 砂 点	35

* 土木試験所次長

** 水工研究室、現室蘭開発建設部調査係長

8. 平均浮遊流砂量と表面浮遊流砂量との関係	37
9. 河床構成材料	37
10. カルマン常数	40
あとがき	42

まえがき

自然河川における流送土砂の源として Brown によれば¹⁾, (1) 雨水の表面流出に基因する農牧地, 森林, 荒地の層状侵食, (2) 流出雨水の集中流下によるガリ侵食, (3) 堤防法面の崩落や河床の低下を含む流路侵食, (4) 山崩れや地這りなどの土砂の集団移動, (5) 洪水による氾濫地域の表土喪失である洪水侵食, (6) 文化の発展に伴う侵食, (7) 鉱工業や下水の廢物, をあげている。

石狩川における浮遊流砂に関する調査研究は過去においてもしばしば行なわれてきたが^{2)~5)}, 主に局部的な箇所における解析に重点がおかれ, 河道全搬にわたっての調査研究は実施されていないようである。当所水工研究室では昭和 30 年度から石狩川本流篠津頭首工計画地点(河口より 55.5 km) と西美唄地点(河口より 58.8 km) に観測施設を設け, ここで継続して浮遊流砂に関する種々の調査を実施してその実態の把握に努めてきた。

一方上記の流送土砂の原因から考えると, 流水によって懸濁しつつ運ばれる浮遊流砂の量は, 水量のほかに河水の流勢あるいは地質などによって左右されることが考えられ, 同一河川であっても地域により大きな差異の生ずることが予想される。従って河川全体についての浮遊流砂の実態を把握するには河道の縦断方向における観測が必要である。そこで昭和 33 年度から石狩川本流河口より旭川までの河道延長距離約 160 km 間に 14 箇所と, 石狩川に流入する主な支川 12 河川にそれぞれ 1 箇所の観測点を設けた。すなわち石狩川水系については計 26 地点における調査を実施してきた。これらについては第

1 報~第 3 報^{6)~8)}までそのつど発表してきたが, ここではその後の調査により判明した点, あるいは過去の調査における試料の不足な点などを補いながら, 一応石狩川の浮遊流砂についてとりまとめた。

I. 調査概要

1. 観測地点と測定方法

本調査の観測地点を表-1 および図-1 に示す。観測項目は(1)水位, (2)流速, (3)流積, (4)水面勾配, (5)浮遊流砂量の 5 種である。

観測地点は河の断面形状が正常であり, かつ流れに影

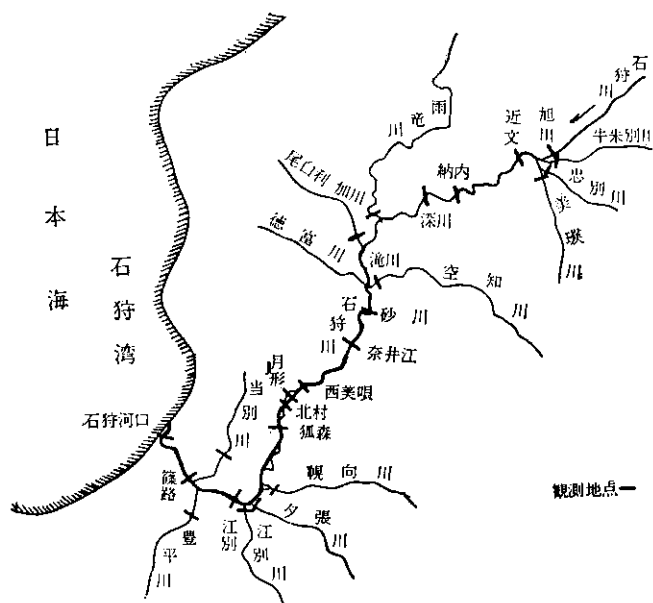


図-1 観測地点

表-1 石狩川水系観測地点

No.	河川名	観測地名	幹程 河口から (km)	No.	河川名	観測地名	幹程 河口から (km)	No.	河川名	観測地名	幹程 河口から (km)
1	石狩川	旭川	158.0	10	石狩川	北村	55.5	19	尾白利加川	尾白利加	100.0
2	"	近文	154.2	11	"	狐森	50.0	20	徳富川	徳富	92.8
3	"	納内	130.0	12	"	江別	24.6	21	空知川	滝川	91.0
4	"	深川	122.0	13	"	篠路	15.0	22	幌向川	幌向	35.3
5	"	新十津川	94.0	14	"	石狩	4.0	23	夕張川	江別	31.0
6	"	砂川	87.0	15	牛朱別川	旭川	157.2	24	江別川	"	29.0
7	"	奈井江	77.0	16	忠別川	"	154.8	25	豊平川	雁来	18.0
8	"	西美唄	58.8	17	美瑛川	"	154.8	26	当別川	当別	16.0
9	"	月形	58.3	18	雨竜川	追分	107.0				

響を及ぼす障害物のない箇所が理想的であるが、本調査のように観測地点が多い場合 (26 箇所) は、観測施設費の面から考えてもとうてい無理なことである。従って橋を利用したわけであるが、橋脚の与える影響などを考えると定量的な面では精度の面で幾分難点のある調査であった。

しかし北村 (5/55) 地点は篠津頭首工の計画地点であったためと、西美唄地点 (8/58)、狐森地点 (0/50) は捷水路の河道に及ぼす影響を調べるために、橋によらず観測施設を新設し精度の高い観測を行なった。これは川の横断方向に $\phi 9 \text{ mm}$ のワイヤーを張り渡し、これに目盛りをつけて巻取器によって製作できるようにした。この地点には常時軽舟をそなえ付けておいた。測定は各断面においてなるべく数多くの測点について行なうことが好ましいが、種々の制約を受け全観測点について精密に測定することは困難であった。そこで西美唄、北村、狐森地点をモデル地点として垂直方向、横断方向に対して精密測定を行ない、これより平均流砂点の位置、あるいは断面内における場所の相違が水量と流砂量との間にどのような関係があるかを調べた。この結果より他の各観測点では浮遊流砂については流心部からは垂直方向に数個の試料を取り、横断方向については川幅に応じて数箇所からは水深の $1/2$ の点から 1 個ずつの試料を採取した。モデル地点とした西美唄、狐森地点は新水路であるが、北村地点は平水時における流量約 $400 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、川幅約 150 m 、水深約 2.5 m 程度で河床は横断方向にほぼ一樣であり観測地点としては良好であった。

2. 観測器機

(1) 水位計

水位記録は石狩川治水事務所および旭川開発建設部が既設している前記観測点、または観測点に最も近いところの値を使用した。記録は自記水位あるいは定時観測であるが、自記水位計は主に堀井戸式によるロール式水位計、電気抵抗式水位計である。われわれは前記観測点のうち西美唄、月形、北村、狐森の 4 地点に自記水位計を新設したが、これは当試験所村木応用理化学研究室長の考案になる「サイフォン式自記水位計」⁹⁾ であり、設置がわずか 3~4 人で 2 時間程度で行なうことができ、かつ低廉でしかも所要の精度は十分得られる特徴を持っている。

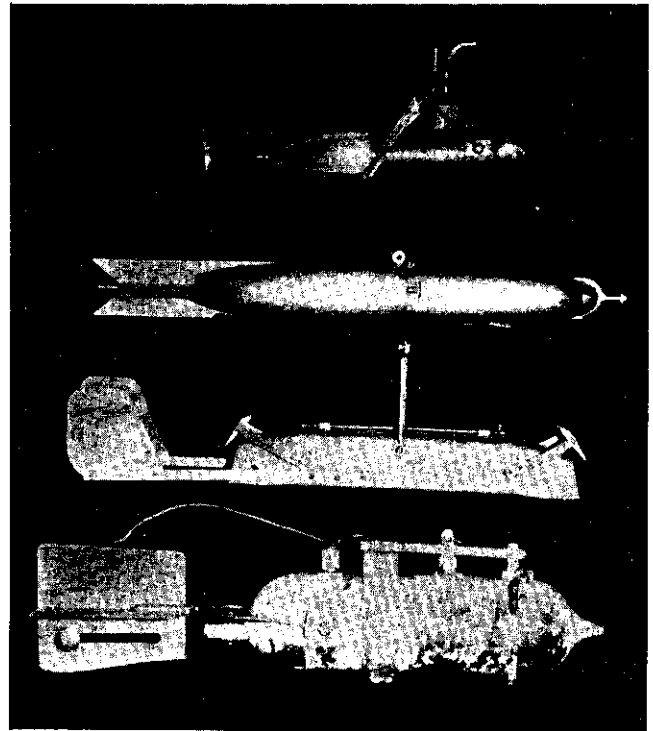
(2) 流速計

プライス型電音流速計を使用し、測定には約 60 秒間の流速の平均値を取るようにした。

平均流速測定法は垂直流速曲線法、2 点法、3 点法をそれぞれの目的に応じ採用した。

(3) 浮遊流砂採取器

浮遊流砂採取器については古くから色々なものが発表され、また種々改良が加えられてきた。主なタイプを示すと写真-1 のとおりである。(a) は「簡易吸引型採水



上より (a) (b) (c) (d)
写真-1 浮遊流砂採取器

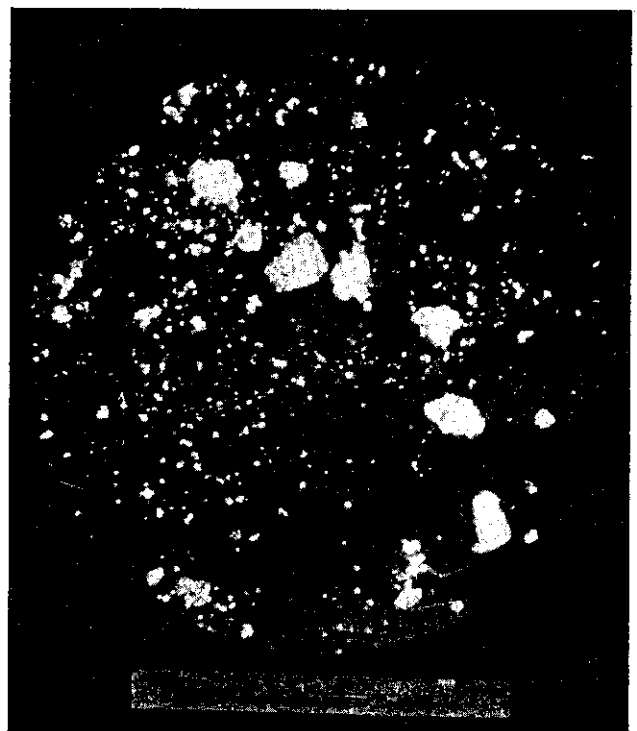


写真-2 浮遊流砂の顕微鏡写真

器」(菅谷重二博士考案)で、所要の水深で上部の直立管からコルクを抜くことにより、上部の曲管より河水が内部へ吸引される。(b)は「流線形型採水器」(土木試験所考案)で、流れの抵抗を小さくして流水の乱れを防ぐように考えている。(c)は「平底型採水器」(土木試験所考案)で、河底に静置させ河床付近の流砂を採取する。(d)は「管易B型採水器」(建設省土木研究所考案)で、口径が小さく、従って採水時間が長いので浮遊流砂量が平均化されて採取される。

われわれはこれらすべての採水器を使用して見たが、それぞれ一長一短があって優劣はつけがたいが「管易B型採水器」がこの中では最も使いやすいようであった。この略図を図-2に示す。この性能を簡単に説明すると

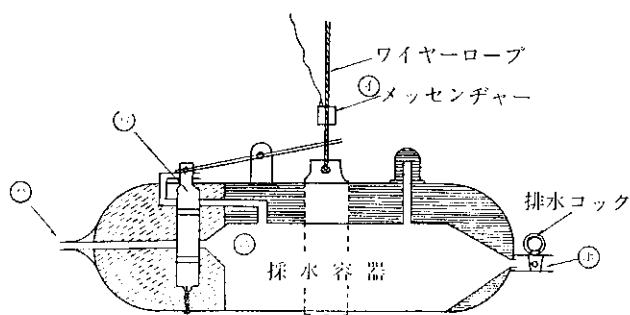


図-2 簡易B型採取器

器械を所定の深さに入れ、ワイヤーロープをつたわらせてメッセンジャー①を落とすと②の部分を持ち上り、外部と容器内③が1本の孔④によって連絡される。採水

時間は流速の大小により異なるが約1分前後であり、採水層にはコック⑤部より移す。この器械の特徴は口径10mm(5mmにもできる)で非常に小さいため、時々刻々変動しつつ流れている浮遊流砂量が平均化されて採取できることにある。実際に使用してみて操作が簡便であり、適度の堅固さをもちかつ相当の精度が得られる採水器であった。

II. 調査結果と考察

1. 水位流量曲線

河道のある地点の横断面を単位時間ごとに流過する水の量すなわち流量は河の状態を正しく把握し、かつ水を研究する上には欠くことのできない重要な要素の一つである。しかし一般に測定された流量値は、河川などでは常に流量が変動するものであるからそのみでは利用価値はあまり大きくなく、流量は常にその場合の水位と関連させなければならない。

最低から最高に至るまでの各段階における水位と流量との関係を知ることは、河川の性状すなわち最高、最低水位および流量、年間流量の変化、河道周辺の抵抗係数、あるいは土砂運搬の解明などを明瞭ならしめる1助となることであろう。石狩川の各地点における水位、流量、平均流速、流積、水面勾配、平均浮遊流砂量、流泥量、川幅の実測値を表-2に示す。更にこの数値より最小自乗法により水位流量曲線式を各地点ごとに算出し、これを表-3および図-3に示す。

表-2 石狩川の各地点における実測値

No.	年 月 日	水 位 H (m)	流 量 Q (m^3/sec)	平均流速 v (m/sec)	流 積 A (m)	水面勾配 I ($\times 10^{-3}$)	平均浮遊 流 砂 量 q_s (gr/l)	流 泥 量 Q_s (kg/sec)	川 幅 B (m)
石狩川旭川(金星橋)0/158 地点									
1	S. 33. 9. 12	105.15	40.0	0.87	46.0		0.012	0.480	41.5
2	S. 34. 6. 12	105.50	32.0	1.11	28.9	1.02	0.012	0.384	40.0
3	7. 10	105.09	30.0	0.87	34.5	3.39	0.139	4.170	78.0
4	8. 18	104.88	6.3	0.85	7.4	3.30	0.017	0.107	46.0
5	9. 16	104.95	47.1	1.17	40.1	2.10	0.033	1.554	75.5
6	10. 31	105.07	52.4	1.27	41.2	2.11	0.026	0.136	75.0
7	S. 35. 6. 11	105.26	85.9	1.31	65.7	1.79	0.009	0.773	79.0
8	7. 12	104.82	36.0	0.81	44.4	1.16	0.007	0.252	86.0
9	8. 2	104.92	19.4	0.62	31.5	1.33	0.085	1.650	83.0
10	8. 23	104.75	15.5	0.49	31.7	1.83	0.017	0.263	81.0
11	10. 18	104.72	16.2	0.50	32.7	1.50	0.016	0.259	84.0

No.	年 月 日	水 位 H (m)	流 量 Q (m ³ /sec)	平均流速 v (m/sec)	流 積 A (m)	水面勾配 I ($\times 10^{-3}$)	平均浮遊 流 砂 量 q_s (gr/l)	流 泥 量 Q_s (kg/sec)	川 幅 B (m)
-----	-------	-------------------	-------------------------------------	------------------------	-------------------	-------------------------------------	----------------------------------	----------------------------	-------------------

石狩川近文 (江神橋) 2/154 地点

12	S. 33. 9. 12	98.75	81.0	0.82	98.6		0.015	1.215	110.0
13	S. 34. 6. 12	98.55	120.0	1.11	108.2	1.70	0.029	3.480	114.0
14	7. 10	98.57	150.0	1.29	116.8	1.49	0.050	7.500	114.0
15	8. 18	97.86	45.0	0.75	60.4	1.50	0.034	1.530	114.0
16	9. 16	98.38	84.6	0.84	100.6	2.06	0.029	2.450	114.0
17	10. 31	98.42	75.8	0.91	83.4	2.56	0.011	0.835	114.0
18	S. 35. 6. 11	98.90	207.8	1.34	154.7	1.63	0.017	3.540	113.0
19	7. 12	98.16	90.2	0.98	92.1	1.19	0.023	2.070	112.0
20	8. 2	98.50	72.4	0.85	85.4	1.72	0.042	3.040	112.0
21	8. 23	98.20	43.4	0.64	67.2	1.77	0.036	1.563	112.0
22	10. 18	98.20	46.5	0.71	65.6	1.90	0.012	0.558	112.0

石狩川納内 (納内橋) 1/130 地点

23	S. 33. 9. 12	55.21	82.0	0.74	111.2		0.015	1.230	110.0
24	S. 34. 6. 12	55.38	135.0	1.00	135.6	1.05	0.031	4.190	115.0
25	7. 10	55.75	160.0	1.16	137.6	1.24	0.044	7.040	79.0
26	8. 18	55.07	55.0	0.58	95.6	0.12	0.036	1.980	108.0
27	9. 16	55.58	90.2	0.76	119.3	0.53	0.013	1.170	108.0
28	10. 31	55.64	90.5	0.90	100.6	0.78	0.008	0.724	109.0
29	S. 35. 6. 11	56.28	250.0	1.60	156.4	2.13	0.037	9.250	115.0
30	7. 12	55.90	117.2	0.98	119.2	0.68	0.031	3.630	114.0
31	8. 2	55.33	72.7	0.84	87.0	0.66	0.019	1.380	113.0
32	8. 23	55.01	67.5	0.64	105.1	0.40	0.023	1.550	81.0
33	9. 27	55.26	91.7	0.85	108.4	0.22	0.015	1.375	89.0
34	10. 18	55.04	70.9	0.71	99.3	0.50	0.008	0.567	77.0

石狩川深川 (深川橋) 0/122 地点

35	S. 33. 9. 12	47.50	82.0	0.40	203.0		0.015	1.230	102.0
36	S. 34. 6. 11	47.59	145.0	0.71	204.4	0.05	0.021	3.050	103.0
37	7. 11	47.82	178.0	0.84	212.3	0.20	0.070	12.500	93.0
38	8. 16	47.38	97.3	0.52	187.6	0.16	0.136	13.230	100.0
39	9. 17	47.62	93.0	0.65	142.6	0.09	0.015	1.395	99.0
40	11. 1	47.64	91.8	0.58	157.1	0.08	0.005	0.459	99.0
41	S. 35. 6. 10	48.27	461.9	1.45	318.8	0.86	0.082	3.785	135.0
42	7. 13	47.06	37.8	0.28	132.7	0.16	0.014	0.530	75.0
43	8. 3	47.80	267.6	1.00	267.9	0.78	0.141	37.700	125.0
44	8. 24	46.99	22.9	0.16	139.0	0.23	0.015	0.344	78.0
45	9. 28	47.64	142.1	0.66	216.3	0.32	0.018	2.560	99.0
46	10. 18	47.24	84.9	0.40	211.6		0.013	1.105	91.0

No.	年 月 日	水 位 H (m)	流 量 Q (m ³ /sec)	平均流速 v (m/sec)	流 積 A (m ²)	水面勾配 I ($\times 10^{-3}$)	平均浮遊 流 砂 量 q_s (gr/ℓ)	流 泥 量 Q_s (kg/sec)	川 幅 B (m)
-----	-------	-------------------	-------------------------------------	------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	----------------------------	-------------------

石狩川新十津川 (石狩川橋) 0/94 地点

47	S. 33. 9. 13	21.91	100.0	0.39	258.0		0.018	1.800	112.0
48	S. 34. 6. 11	22.25	218.0	0.75	291.3		0.036	7.850	110.5
49	7. 11	22.59	315.0	0.91	346.3	0.20	0.057	18.000	113.0
50	8. 19	22.30	214.2	0.72	296.4	0.08	0.101	21.650	112.0
51	9. 17	22.06	135.3	0.60	225.5	0.05	0.026	3.520	110.0
52	11. 1	22.08	142.6	0.89	180.9	0.14	0.012	1.710	110.0
53	S. 35. 6. 10	23.34	661.1	1.46	451.8	0.31	0.125	82.700	119.0
54	7. 13	21.90	89.2	0.44	204.0	0.24	0.024	2.140	80.0
55	8. 4	22.66	429.2	1.20	357.1	0.11	0.151	64.800	117.0
56	8. 24	21.70	63.6	0.33	194.6	0.14	0.027	1.715	80.0
57	9. 28	22.30	216.6	0.72	302.9	0.30	0.064	13.900	112.0
58	10. 19	21.80	73.5	0.36	204.3	0.50	0.015	1.100	85.0

石狩川砂川 (砂川橋) 0/87 地点

59	S. 33. 9. 13	15.22	190.0	0.87	218.8		0.042	7.980	142.0
60	S. 34. 6. 10	16.91	300.0	0.77	391.2	0.60	0.050	15.000	272.0
61	7. 12	16.75	263.0	0.86	305.6	0.40	0.099	26.000	199.0
62	8. 20	17.16	568.7	1.22	467.7	0.58	0.240	136.500	284.0
63	9. 17	16.40	220.0	0.95	232.5	0.29	0.029	6.380	282.0
64	11. 2	16.49	173.8	0.78	224.1	0.22	0.018	3.130	280.0
65	S. 35. 7. 14	15.85	125.7	0.64	196.5	0.09	0.034	4.270	146.0
66	8. 4	16.55	426.3	1.17	364.0	0.25	0.152	64.800	241.0
67	8. 25	15.82				0.22	0.049		130.0
68	9. 29	16.55	228.0	0.80	285.0	0.40	0.072	16.400	200.0
69	10. 19	16.20	94.2	0.64	147.1	0.10	0.029	2.730	155.0

石狩川奈井江 (奈井江橋) 0/77 地点

70	S. 33. 9. 14	11.50	190.0	1.50	127.0		0.059	11.200	100.0
71	S. 34. 6. 10		350.0	0.92	379.0	0.15	0.064	22.400	107.5
72	7. 12	11.80	323.0	0.96	335.2	0.07	0.071	22.900	106.0
73	8. 20	12.24	570.0	1.61	353.7	0.23	0.214	122.000	111.0
74	9. 19	11.16	289.4	0.96	300.4		0.145	42.000	105.0
75	11. 2	11.66	192.1	0.75	241.5	0.13	0.035	6.370	86.0
76	S. 35. 6. 10	12.70	889.1	1.46	608.7	0.11	0.190	169.000	167.0
77	7. 14	11.15	104.4	0.65	161.8	0.17	0.052	5.430	80.0
78	8. 5	11.55	237.1	0.90	262.5	0.32	0.067	15.900	118.0
79	8. 25	10.83					0.082		97.0
80	9. 29	11.42	236.9	0.89	265.5	0.38	0.068	15.900	119.0
81	10. 20	10.93	98.1	0.65	151.4	0.13	0.079	7.750	99.0

No.	年 月 日	水 位 H (m)	流 量 Q (m ³ /sec)	平均流速 v (m/sec)	積 流 A (m ²)	水面勾配 I (10 ⁻³)	平均浮遊 流 砂 量 q_s (gr/ℓ)	流 泥 量 Q_s (kg/sec)	川 幅 B (m)
-----	-------	-------------------	-------------------------------------	------------------------	---------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	----------------------------	-------------------

石狩川西美唄 8/58 地点

82	S. 30. 7. 3	6.09	148.9	0.73	205.5	2.41	0.093	13.854	145.0
83	9. 9	7.76	500.2	1.04	479.4	1.74			154.0
84	9. 11	7.34	434.8	1.00	434.5	1.79			151.3
85	9. 14	6.88	285.4	0.82	349.8	1.66			156.5
86	9. 16	6.62	257.1	0.83	312.6	1.86	0.067	17.299	147.7
87	10. 10	8.56	863.6	1.41	614.2	2.36	0.204	176.072	158.0
88	11. 12	7.41	434.8	1.00	434.5	1.90	0.109	47.346	158.0
89	S. 31. 6. 21	6.05	265.7	1.09	244.8	4.47	0.096	25.633	150.0
90	6. 22	6.61	382.0	1.19	320.4	3.85	0.364	138.753	152.5
91	7. 20	9.48	1,083.6	1.34	806.9	1.55	0.252	272.872	162.5
92	8. 21	8.29	862.4	1.39	622.3	2.23	0.628	541.288	157.0
93	8. 22	7.41	612.6	1.24	494.5	2.35			153.5
94	10. 12	7.01	487.7	1.17	417.2	2.71	0.322	156.983	157.0
95	11. 7	6.01	266.9	0.76	244.5	2.22	0.250	66.727	152.5
96	S. 32. 8. 14	9.70	1,361.7	1.64	830.4	2.25	0.595	810.674	164.0
97	8. 15	10.61	1,662.7	1.68	992.5	1.96	0.292	486.820	166.5
98	9. 10	6.48	409.0	1.14	360.1	2.82	0.061	24.792	146.0
99	9. 12	5.94	328.8	1.06	310.5	3.17	0.064	21.040	152.0
100	9. 25	6.53	407.0	1.08	376.7	2.59	0.082	33.321	155.0
101	9. 26	6.47	404.7	1.03	393.0	2.25	0.085	34.402	155.0
102	9. 27	6.93	516.1	1.15	449.1	2.37	0.105	54.194	157.0
103	10. 11	6.21	333.8	1.05	318.0	3.03	0.067	22.362	152.7
104	10. 12	6.22	283.6	0.87	327.0	1.99	0.067	19.046	152.5

石狩川月形 (月形大橋) 3/58 地点

105	S. 33. 7. 10	4.57	109.8	0.60	183.1		0.059	6.430	55.5
106	7. 25	9.44	660.0	1.29	512.8	0.41	0.228	150.400	72.0
107	8. 19	5.15	244.4	1.18	216.9	0.92	0.085	20.700	57.0
108	8. 20	7.99	531.9	1.50	355.2	1.42	0.602	320.000	68.0
109	8. 21	9.26	738.2	1.49	494.9	1.49	0.252	186.000	73.0
110	S. 34. 6. 9	6.39				0.36	0.103		108.0
111	7. 12	5.62	480.0	1.11	432.0	0.26	0.088	42.300	100.0
112	8. 21	5.70				0.14	0.199	91.500	105.0
113	9. 20	5.13					0.072		104.0
114	11. 4						0.102		
115	S. 35. 6. 9	5.93	430.7	1.20	362.5	0.31	0.064	27.600	108.0
116	7. 15	5.30	408.1	1.32	309.3	0.42	0.497	203.000	105.0
117	8. 5	5.58	266.3	1.09	243.4	0.32	0.118	31.400	103.0
118	8. 26	4.08				0.22	0.072		99.0
119	9. 30	5.20	210.9	1.03	205.0	0.43	0.080	16.900	105.0
120	10. 20	4.33	123.0	0.79	156.5	0.28	0.061	7.500	101.0

No.	年 月 日	水 位 H (m)	流 量 Q (m ³ /sec)	平均流速 v (m/sec)	流 積 A (m ²)	水面勾配 I ($\times 10^{-3}$)	平均浮遊 流 砂 量 q_s (gr/ℓ)	流 泥 量 Q_s (kg/sec)	川 幅 B (m)
-----	-------	-------------------	-------------------------------------	------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	----------------------------	-------------------

石狩川北村 (頭首工) 5/55 地点

121	S. 30.	6. 3	5.59	419.9	1.236	339.7	3.65		147.0
122		9. 12	5.21	333.6	1.077	309.9	3.21	0.073	149.8
123		9. 12	5.08	288.9	0.905	304.6	2.31		149.3
124		9. 13	5.18	277.3	0.871	318.5	2.02		149.8
125		9. 17	5.06	307.9	0.900	308.3	2.25	0.175	149.3
126		10. 11	6.43	657.3	1.245	528.1	2.14	0.195	154.5
127	S. 31.	5. 29	5.17	355.6	0.900	396.3	1.73	0.140	153.0
128		8. 21	7.69	948.9	1.345	705.3	1.92	0.031	166.5
129		8. 22	6.37	645.9	1.196	540.0	2.11	0.243	163.0
130		10. 12	5.85	447.2	1.061	421.5	2.18		156.0
131	S. 32.	8. 15	9.55	1,555.1	1.520	1,026.5	1.44	0.125	164.0
132		9. 11	5.30	356.4	0.990	361.4	2.25	0.076	152.5
133		9. 13	6.51	625.7	1.130	552.6	1.69	0.195	157.0
134		9. 26	5.44	382.7	1.020	376.8	2.28	0.086	154.0
135		9. 27	6.16	572.7	1.190	483.0	2.25	0.084	155.0
136		9. 28	5.44	436.5	1.190	367.8	3.20	0.057	154.0
137		10. 10	5.13	324.1	0.980	331.6	2.50	0.076	153.0
138		10. 11	5.25	317.3	0.920	345.6	2.10	0.060	154.0
139	S. 33.	7. 12	3.72	115.9	0.750	155.4	4.40	1.220	146.8
140		7. 24	11.87	2,830.0	1.930	1,478.0	1.40	0.500	176.0
141		7. 26	5.69	434.0	1.030	419.1	5.70	0.240	156.0
142		8. 19	4.70	262.8	0.940	279.8	4.40	0.352	151.0
143		8. 20	7.74	1,240.0	1.570	787.8	7.80	0.575	165.0
144		8. 21	9.21	1,588.4	1.520	1,041.8	8.00	0.351	170.0
145		8. 22	7.18	869.7	1.280	679.8		0.242	165.0
146		9. 14	4.20	190.0	0.840	236.0		0.078	150.0
147	S. 34.	8. 20	5.79	462.6	1.090	425.9	4.02	0.191	149.0
148		9. 19	4.73	280.2	1.040	270.1	4.60	0.115	153.0
149		11. 4	5.50	400.0	1.020	390.4		0.143	149.0

石狩川狐森 (渡舟場) 0/50 地点

150	S. 38.	7. 11	2.53	94.7	0.57	166.4	0.69	0.084	52.0
151		7. 26	4.96	473.8	1.55	306.3	0.22	0.144	68.0
152		8. 18	3.04	172.8	0.90	192.4	0.70	0.337	58.4
153		8. 21	7.97	808.8	1.60	505.1	0.41	0.098	79.5
154		9. 14	3.27	190.0	0.95	199.1		0.075	
155	S. 34.	6. 10	4.67	441.0	1.55	284.7	0.13	0.126	64.0
156		7. 13	4.89	577.0	1.89	304.6	0.30	0.302	65.0
157		8. 21	3.98	353.3	1.17	301.4	0.22	0.160	72.0
158		9. 20	4.06				0.13	0.071	
159		11. 4	5.50				0.10	0.139	

No.	年 月 日	水 位 H (m)	流 量 Q (m ³ /sec)	平均流速 v (m/sec)	流 積 A (m ²)	水面勾配 I ($\times 10^{-3}$)	平均浮遊 流 砂 量 x_s (gr/l)	流 泥 量 Q_s (kg/sec)	川 幅 B (m)
-----	-------	-------------------	-------------------------------------	------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	----------------------------	-------------------

石狩川江別 (石狩大橋) 6/24 地点

160	S. 33. 9. 14	0.72	258.0	0.46	556.0		0.052	13.400	198.0
161	S. 34. 6. 9	1.14	560.0	0.87	643.5	0.14	0.090	50.400	213.5
162	7. 14	1.28	641.0	0.86	742.8	0.33	0.154	98.700	215.0
163	8. 22	0.50	339.4	0.57	598.5	0.05	0.118	40.010	211.0
164	9. 21	0.96	440.0	0.64	619.7	0.08	0.092	40.500	211.0
165	11. 5	0.95	444.9	0.72	615.7	0.10	0.087	38.700	212.0
166	S. 35. 6. 8	1.09	595.4	0.91	657.8	0.20	0.067	39.900	215.0
167	7. 15	0.82	465.0	0.81	572.7		0.597	277.000	188.0
168	8. 6	0.80	262.1	0.47	559.1	0.18	0.112	29.400	194.0
169	8. 26	0.88				0.06	0.080		197.0
170	10. 1	0.72	309.4	0.57	543.9		0.101	31.200	199.0
171	10. 21	0.32	189.2	0.41	464.9	0.05	0.072	13.600	168.0

石狩川篠路 (鉄橋) 0/15 地点

172	S. 33. 9. 15		290.0	0.32	895.4		0.035	10.150	287.0
173	S. 34. 6. 8		600.0	0.59	1,010.8		0.086	51.600	287.5
174	7. 14		660.0	0.70	950.3		0.159	105.000	287.0
175	8. 22		236.0	0.26	905.9		0.044	10.400	287.0
176	9. 22		492.9	0.63	784.9		0.110	54.300	282.0
177	11. 5		404.6	0.47	859.9		0.126	51.000	284.0

石狩川河口 (渡船場) 0/4 地点

178	S. 33. 9. 15	0.18					0.034		
179	S. 34. 6. 8	0.45					0.073		
180	7. 14	0.24					0.076		
181	8. 22	0.40					0.031		
182	9. 22	0.52					0.063		
183	11. 5	0.23					0.064		

牛朱別川 (中央橋) 地点

184	S. 33. 9. 12	137.30	13.0	0.50	26.0		0.068	0.834	50.0
185	S. 34. 7. 10	137.44	50.0	1.10	45.5	2.66	0.048	2.400	53.0
186	6. 12	137.44	40.0	1.05	38.2	2.59	0.050	0.200	52.0
187	8. 18	137.28	24.9	2.92	27.2	2.63	0.061	1.520	49.0
188	9. 16	137.48	13.4	0.50	26.8	2.86	0.068	0.912	47.5
189	10. 31	137.30	17.3	0.80	21.7	2.78	0.009	0.156	47.0

忠別川 (忠別橋) 地点

190	S. 33. 9. 11	111.94	14.0	0.57	24.8		0.022	0.308	38.0
191	S. 34. 7. 10	112.14	35.0	0.95	37.0	4.90	0.013	0.460	48.0
192	6. 12	112.08	24.0	0.91	26.5	4.76	0.011	0.264	44.5
193	8. 18	111.66	4.0	9.35	11.3	9.00	0.013	0.052	16.0
194	9. 16	111.87	9.2	4.47	19.6	5.55	0.022	0.202	25.0
195	10. 31	111.99	23.8	1.05	22.6	6.67	0.012	0.276	23.0

No.	年 月 日	水 位 H (m)	流 量 Q (m ³ /sec)	平均流速 v (m/sec)	流 積 A (m ²)	水面勾配 I ($\times 10^{-3}$)	平均浮遊 流 砂 量 q_s (gr/l)	流 泥 量 Q_s (kg/sec)	川 幅 B (m)
美瑛川 (両神橋) 地点									
196	S. 33. 9. 11	106.30	14.0	0.58	24.0		0.021	0.294	49.0
197	S. 34. 7. 10	106.52	20.0	1.28	15.6	4.47	0.030	0.600	33.5
198	6. 12	106.44	20.0	1.11	18.0	4.17	0.026	0.520	29.0
199	8. 18	106.31	8.5	0.80	10.6	3.85	0.014	0.119	18.0
200	9. 16	106.48	10.1	0.46	22.0	4.17	0.017	0.172	25.0
201	10. 31	105.18	24.4	1.06	23.1	3.70	0.010	0.244	24.0
雨竜川追分地点									
202	S. 33. 9. 13	27.63	18.0	0.22	89.0		0.025	0.450	65.0
203	S. 34. 7. 11	34.40	70.0	0.58	120.8	0.07	0.060	4.200	56.0
204	6. 11	34.22	47.0	0.48	97.5	0.15	0.040	1.880	67.5
205	8. 19	31.18	57.4	0.52	111.0	0.07	0.123	7.060	65.0
206	9. 17		25.0	0.31	81.2	2.08	0.017	0.170	64.0
207	11. 1	31.19	34.0	0.39	88.3	1.70	0.021	0.714	64.0
尾白利加川尾白利加地点									
208	S. 34. 7. 11		4.0	0.70	5.7	2.27	0.021	0.080	14.0
209	6. 11		3.0	0.61	4.9	3.45	0.023	0.069	14.0
210	8. 19		4.2	0.59	7.1	7.69	0.166	0.487	14.0
211	9. 20		6.8	0.72	9.5	4.35	0.018	0.122	20.0
212	11. 1		4.8	0.65	8.5	3.57	0.004	0.0192	33.0
徳富川徳富 (徳富橋) 地点									
213	S. 34. 7. 11		18.0	0.87	20.8	1.19	0.027	0.490	48.0
214	6. 11		12.0	0.71	16.8	1.07	0.011	0.132	41.0
215	8. 20		3.6	0.39	9.3		0.060	0.216	45.0
216	9. 20		11.4	0.67	16.9	1.85	0.025	0.285	38.0
217	11. 2		10.0	0.65	15.4	1.76	0.007	0.070	45.0
空知川滝川 (空知橋) 地点									
218	S. 33. 9. 13	22.45	86.0	0.72	118.8		0.088	7.570	66.0
219	S. 34. 7. 12	22.34	151.0	1.19	126.3	7.94	0.115	17.400	65.0
220	6. 11	22.16	55.0	0.56	98.1	1.30	0.021	1.155	63.0
221	8. 19		269.2	1.46	182.4	12.60	2.061	269.000	126.0
222	9. 17	22.12	56.9	0.78	73.1	3.45	0.056	3.190	65.0
223	11. 1	22.07	85.4	8.84	101.2	4.76	0.091	7.770	64.0
224	S. 35. 7. 13		5.3	0.62	20.1	13.50	0.026	0.138	51.0
225	8. 3	22.05	62.5	0.71	87.8	3.33	0.083	5.180	55.0
226	8. 24		25.9	0.41	62.9	1.00	0.067	1.735	52.0
227	9. 28	22.28	137.2	1.18	116.4	5.88	0.256	35.100	73.0
228	10. 19		26.4	0.34	77.6	0.10	0.072	1.900	53.0

No.	年 月 日	水 位 H (m)	流 量 Q (m ³ /sce)	平均流速 v (m/sce)	流 積 A (m ³)	水面勾配 I (10× ⁻³)	平均浮遊 流 砂 量 (q_s) (gr/l)	流 泥 量 Q_s (kg/sce)	川 幅 B (m)
-----	-------	-------------------	-------------------------------------	------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	----------------------------	-------------------

幌向川幌向地点

229	S. 34. 7. 13		23.0	0.34	67.9	7.70	0.188	4.320	30.0
230	6. 9		37.0	0.55	66.9	7.15	0.152	5.620	27.5
231	8. 21		20.5	0.44	46.7	1.89	0.297	6.080	28.0
232	9. 21		6.4	0.36	18.0	3.23	0.174	1.113	21.0
233	11. 4		5.0	0.14	35.3	1.30	0.265	1.325	28.0

夕張川江別 (江別大橋) 地点 (水位は合流点より 9 km 上流)

234	S. 33. 9. 14	10.19	20.0	0.33	59.9		0.076	1.520	57.0
235	S. 34. 7. 13	10.27	17.0	0.17	99.3		0.124	2.110	60.0
236	6. 9	10.25	22.0	0.31	70.5	0.60	0.053	1.170	60.0
237	8. 21	10.65			54.1		0.103		58.0
238	9. 21	10.98	31.7	0.52	61.5		0.205	6.500	58.0
239	11. 4	11.20	39.1	0.51	77.2		0.373	14.600	60.0

江別川江別 (江別橋) 地点

240	S. 33. 9. 14	1.92	46.0	0.92	50.2		0.038	1.750	48.0
241	S. 34. 7. 13	1.10	35.0	0.48	72.8	1.47	0.070	2.450	53.0
242	6. 9	1.33	51.0	0.70	73.2	1.79	0.075	3.830	51.0
243	8. 21	1.06	48.0	0.80	60.2	0.64	0.069	3.310	50.0
244	9. 21	1.08	49.0	0.93	52.8	5.00	0.093	4.560	48.0
245	11. 5	0.96	54.6	0.87	62.8	5.55	0.041	2.240	50.0

豊平川雁来 (雁来橋) 地点

246	S. 33. 9. 15	4.50	10.0	0.92	109.2		0.070	0.700	36.0
247	S. 34. 7. 14	4.60			155.7	0.20	0.025		41.0
248	6. 8	4.80	21.0	0.13	162.0	5.00	0.132	2.770	25.0

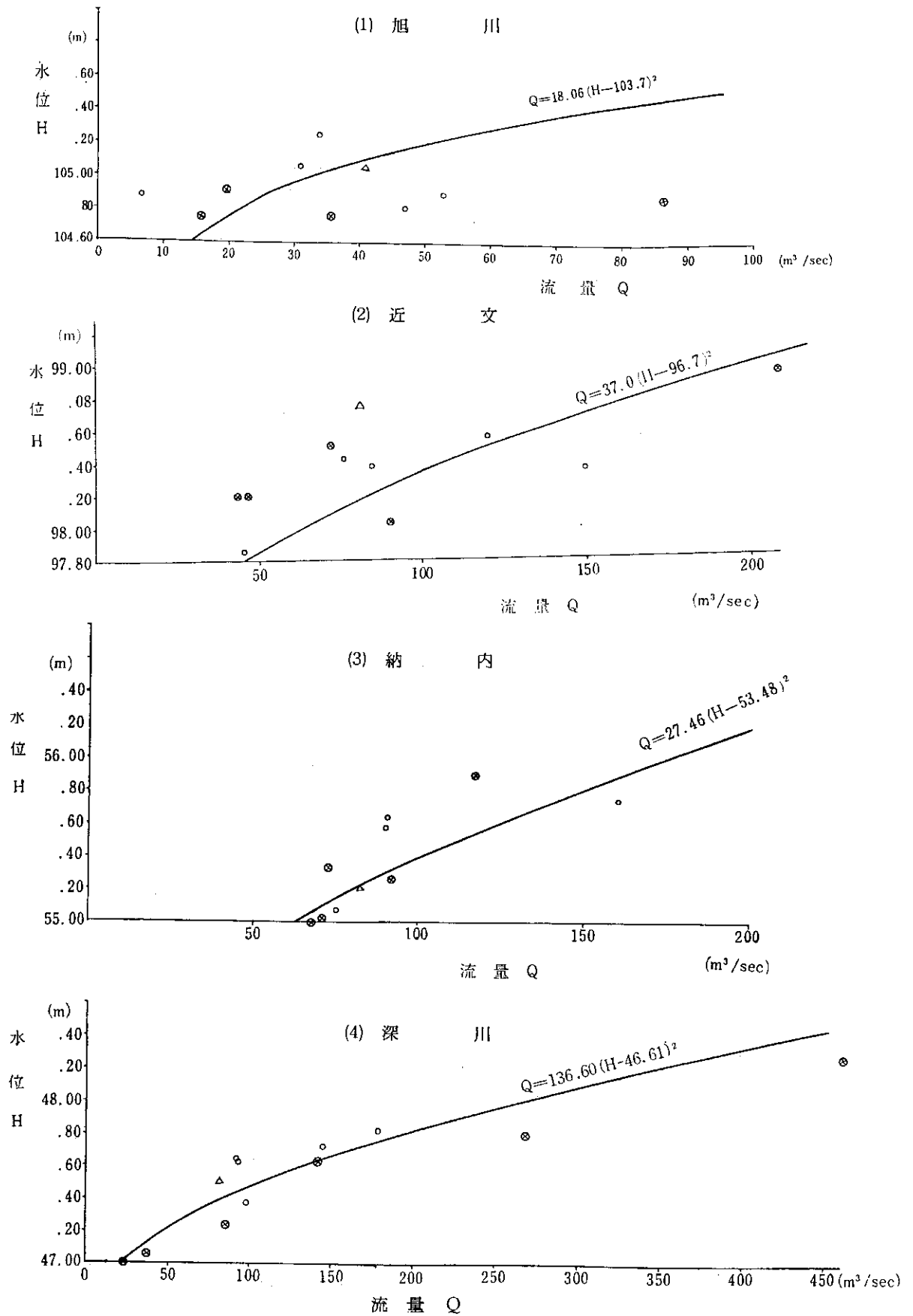
当別川当別 (幸橋) 地点

249	S. 33. 9. 15		1.60	0.83	19.3		0.005	0.080	24.0
250	S. 34. 7. 14		11.0	0.44	25.3	4.00	0.069	0.760	31.0
251	6. 9		11.0	0.37	29.4		0.027	0.297	46.3
252	8. 22					1.16	0.230		25.0
253	9. 22		20.3	0.68	29.8	3.85	0.114	2.315	28.5
254	11. 5		17.1	0.68	25.2	5.88	0.036	0.615	27.0

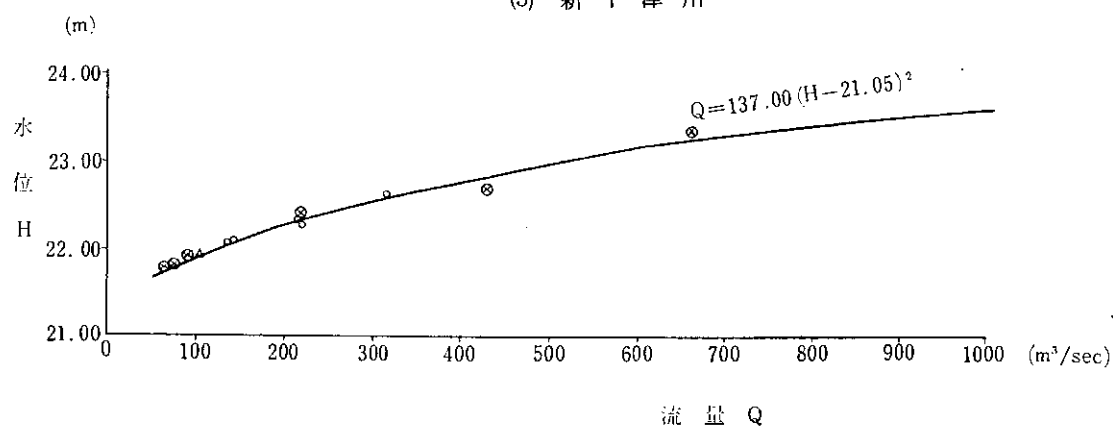
表一3 各地点における水位流量曲線式

No.	河川名	地 名	$Q=a(H\pm b)^2$	No.	河川名	地 名	$Q=a(H\pm b)^2$
1	石 狩 川	旭 川	$Q=18.06 (H-103.70)^2$	7	石 狩 川	奈 井 江	$Q=100.00 (H-10.00)^2$
2	"	近 文	$Q=37.00 (H-96.70)^2$	8	"	西 美 唄	$Q=26.51 (H-2.61)^2$
3	"	納 内	$Q=27.46 (H-53.48)^2$	9	"	月 形	$Q=7.33 (H+0.74)^2$
4	"	深 川	$Q=136.60 (H-46.61)^2$	10	"	北 村	$Q=27.66 (H-1.60)^2$
5	"	新十津川	$Q=137.00 (H-21.05)^2$	11	"	狐 森	$Q=8.89 (H+1.93)^2$
6	"	砂 川	$Q=24.60 (H-13.27)^2$	12	"	江 別	$Q=143.71 (H+0.82)^2$

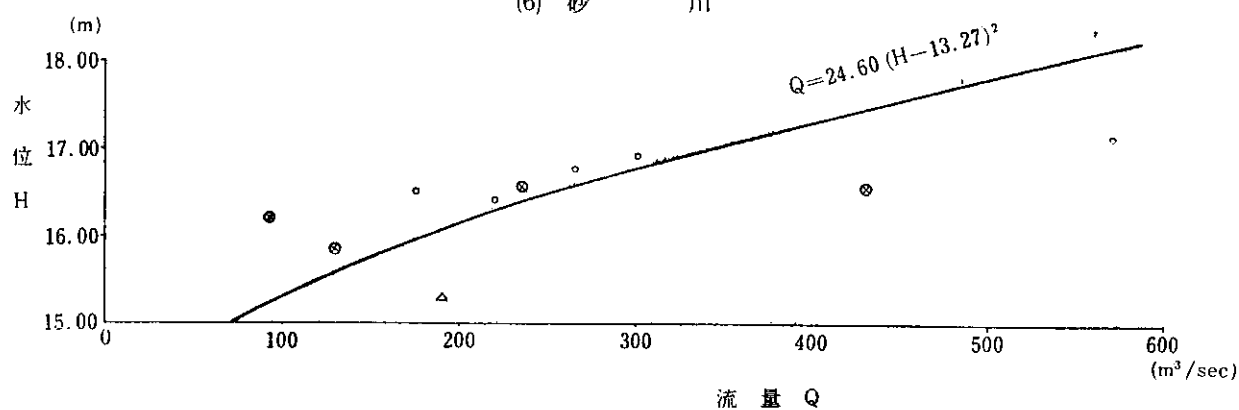
图-3 水位流量曲线图



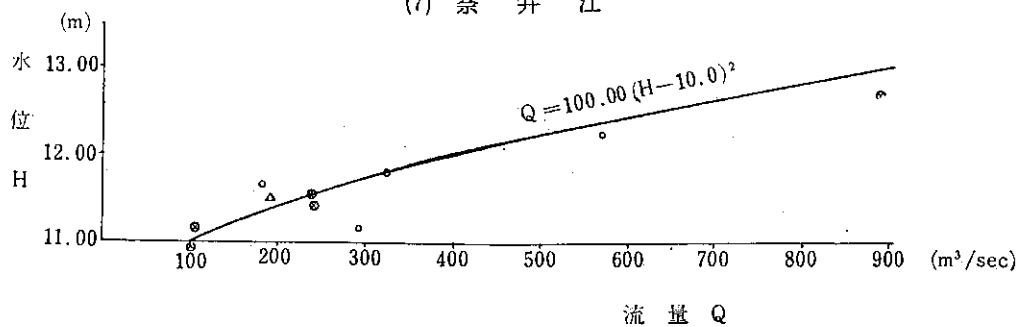
(5) 新十津川



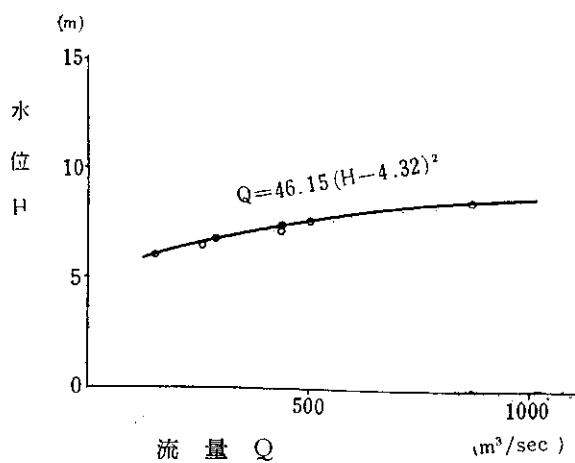
(6) 砂川



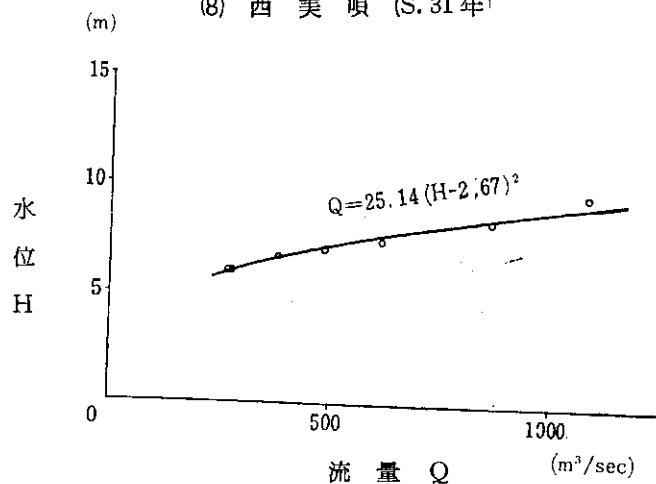
(7) 奈井江

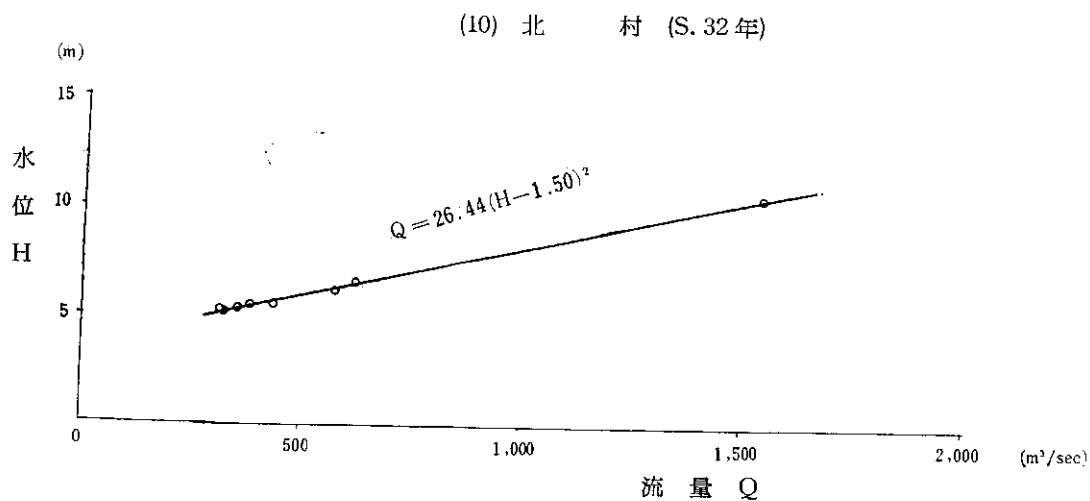
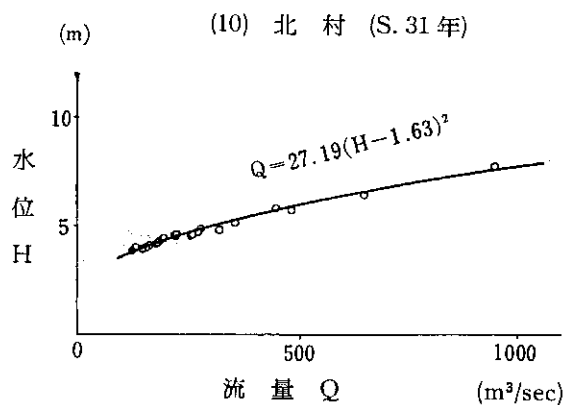
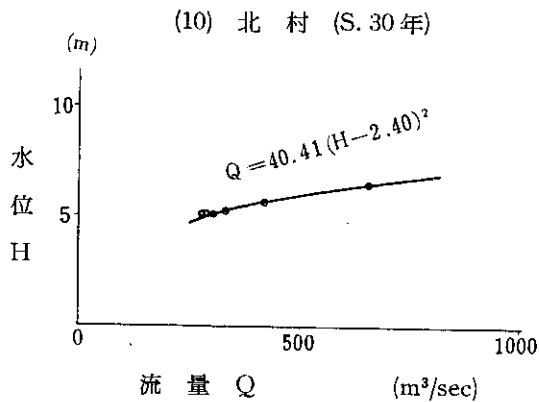
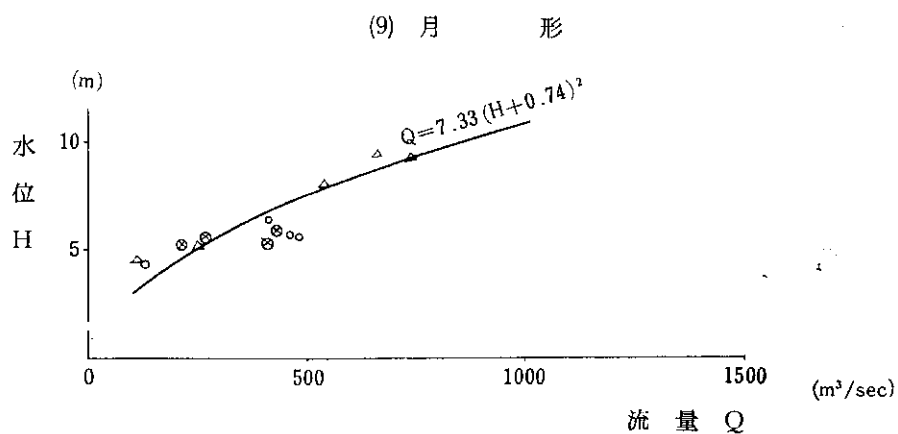
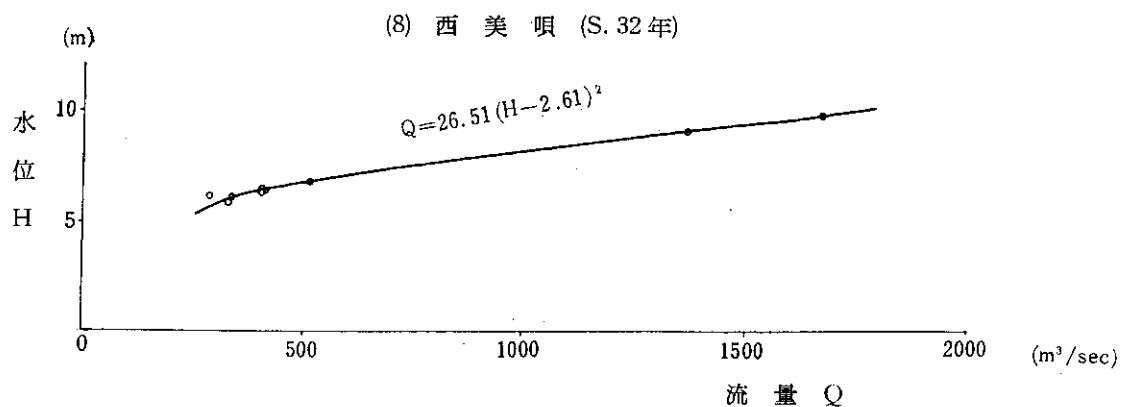


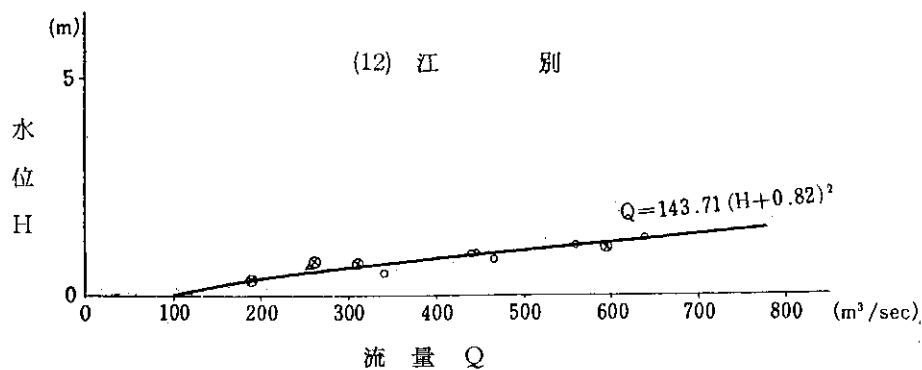
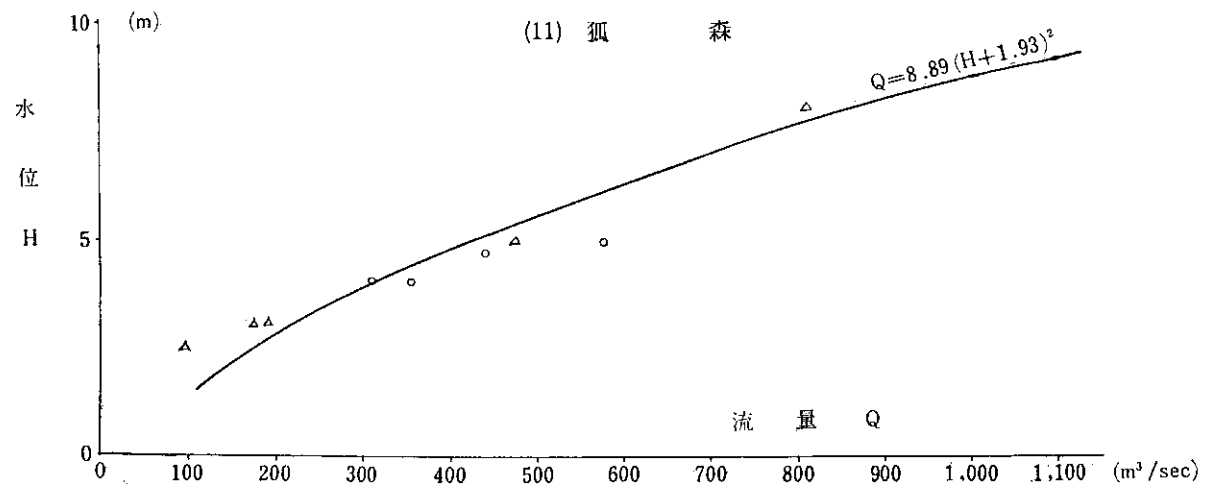
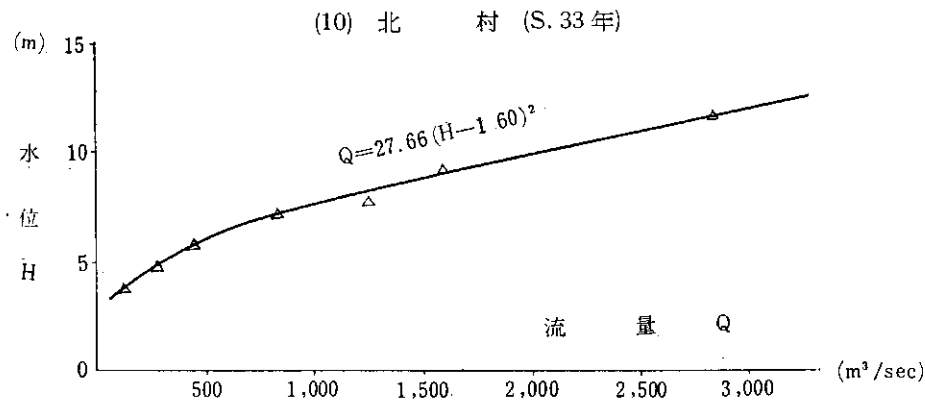
(8) 西美唄 (S. 30年)



(8) 西美唄 (S. 31年)







2. 平均流速測定法の比較¹⁰⁾

開水路において深さに沿って z 軸をとり、その観測点下の水深を h とすれば平均流速 v_m は (1) 式で表わされる。

$$v_m = \frac{1}{h} \int_0^h v dz \quad (1)$$

流速計を用いてこの平均流速を求める方法としては垂直流速曲線法、4点法、3点法、2点法、1点法、成全法などがあり¹¹⁾、更に理論的には中央大学春日屋助教授が Gauss の平均値法を用いて平均流速の算定法¹²⁾を発表されている。これらを列記すると次式のとおりである。なお式中の Suffix 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 は水深に対する水面からの深さ(%)である。

a) 従来から行なわれている算定式

① 垂直流速曲線法

水面と河底を大体 10 等分し、その各点の流速を求めて垂直流速曲線図を描く。この線に囲まれた面積を計算し水深で除して考える垂直線上の平均流速とする。

② 4 点 法

$$v_m = \frac{1}{5} \left\{ (v_{0.2} + v_{0.4} + v_{0.6} + v_{0.8}) + \frac{1}{2} \left(v_{0.2} + \frac{v_{0.8}}{2} \right) \right\} \quad (2)$$

③ 3 点 法

$$v_m = \frac{1}{4} (v_{0.2} + 2v_{0.6} + v_{0.8}) \quad (3)$$

④ 2 点 法

$$v_m = \frac{1}{2} (v_{0.2} + v_{0.8}) \quad (4)$$

⑤ 1 点 法

$$v_m = v_{0.6} \quad (5)$$

⑥ 成 全 法

1 垂線上に流速計を等速度で水面から漸次衝動のかからぬよう沈めてゆき、河床に達してからまた同様に引き上げてその間の流速計の回転数と経過時間から求める。

b) 平均値法による算定式

① 4 点 法

$$v_m = 0.174 (v_{0.070} + v_{0.930}) + 0.326 (v_{0.330} + v_{0.670}) \quad (6)$$

② 3 点 法

$$v_m = \frac{1}{18} (5v_{0.113} + 8v_{0.500} + 5v_{0.887}) \quad (7)$$

③ 2 点 法

$$v_m = \frac{1}{2} (v_{0.211} + v_{0.789}) \quad (8)$$

従来から行なわれている測定法と平均値法による測定法を比較すると 2 点法が特に類似しているのが注目される。

ここでは従来から行なわれてきた測定法のうち 1 点法 2 点法, 3 点法と, 平均値法による測定法のうち 2 点法 3 点法, 4 点法について検討してみた。石狩川の実測値と, 更にスケールの異なる河川の例として石狩川 (計画洪水量=8,350 m³/s) の大に対して中河川の例として沙流川 (計画洪水量=4,200 m³/s), 小河川の例として勇払川 (計画洪水量=273 m³/s) の実測値を用いそれぞれの測定法による平均流速を算定した。いずれの測定法が最も精度が高いかは大いに議論の予知があるが, 理論的に導かれた平均値法による算定式は別として従来までに行なわれてきた方法の中では, 垂直流速曲線法が (1) 式の形に最も近く一番精度が大であると考えられる。しかしこの方法は観測に多大の時間を要し能率的でなく, かつ増水時などに多くの観測点における資料が要求される時は機動性に欠けるうらみがある。また水位との相関のみを知ることが目的であるならば, 河床の変動ということを考慮するとこのような測定法も一考を要するのではないかと思われる。

ここでは垂直流速曲線法による平均流速を一応基準としてこれを v_m であらわし, 各種の計算により求められた平均流速を v であらわして 誤差率 = $\frac{v_m - v}{v_m}$ を求めこれからいずれの方法が精度と能率の点で最も実用的であるかを検討してみる。各種計算による平均流速の誤差率を表-4 に示す。

表-4 各種計算による誤差率

測 定 法	試 料 数	従 来 の 測 定 方 法			平 均 値 法		
		1 点 法 (%)	2 点 法 (%)	3 点 法 (%)	2 点 法 (%)	3 点 法 (%)	4 点 法 (%)
石狩川 (北村)	13	3.8	2.2	2.7	2.2	1.7	1.5
沙流川 (日高)	31	6.3	3.3	4.8	3.3	3.6	2.4
沙流川 (平取)	25	7.2	3.4	5.6	3.4	4.6	3.3
勇払川 (稔橋)	9	9.0	2.3	6.3	2.3	2.8	3.6
平 均	(78)	6.5	3.0	4.6	3.0	3.5	2.7

表-4 の結果をみると従来行なわれてきた測定法はいずれの河川の場合でも 2 点法が誤差は最も小さく, ついで 3 点法, 1 点法の順である。石狩川の場合はこの 3 種の誤差にそれほど差は認められないが, 沙流川, 勇払川の場合は 2 点法に比較して相当の開きがある。これから考えると, 従来行なわれていた方法では 2 点法が最も誤差が少ないが, 石狩川のような水深の十分ある大河川では他の方法でもそれほど誤差は生じないのではないかと思われる。

平均値法による平均流速は 2 点法, 3 点法, 4 点法と

も誤差はきわめて小さい。ここでも石狩川の場合が最も精度良く水深の大なる場合には良結果が得られることを示している。4 観測点における平均値法の誤差率を更に平均して精度の順位をつけると, 4 点法, 2 点法, 3 点法の順になるがその間の誤差は僅少である。またそれぞれの河川で順位が異っているが, このことは平均値法で求められた誤差率の差には観測上における誤差あるいはそれぞれの河川自体の特性によるいわゆる外的な誤差がここに現われたものと思われる。したがって平均値法による測定法は, 2, 3, 4 点法いずれによっても良結果が

得られるのではないと思われる。

われわれが平均流速を求めるのは水位と流量との相関関係を知ることが主目的であるが、流れが非定常でありかつ河床の変動ということを考慮に入ると多少の誤差は問題とならない。どの位が許容値であるかはわからないが、従来行なわれてきた2点法それから平均値法の各方法による誤差は、すべて許容誤差内に入るのではなかろうかと思われる。

したがって精度、能率(観測の手数、計算の煩雑)など

を考慮した時、2点法(従来行なわれてきた2点法も平均値法による2点法も実用面ではほぼ同じ)が自然河川における平均流速測定法としては最も妥当であると考えられる。

3. 流砂濃度の垂直分布

石狩川における浮遊流砂の垂直分布の主な実測例を図-4(a), (b), (c), (d)および図-5(a), (b), (c)に示す。図-4(a), (b), (c), (d)は石狩川本流の各地点および支流の流心部における例である。

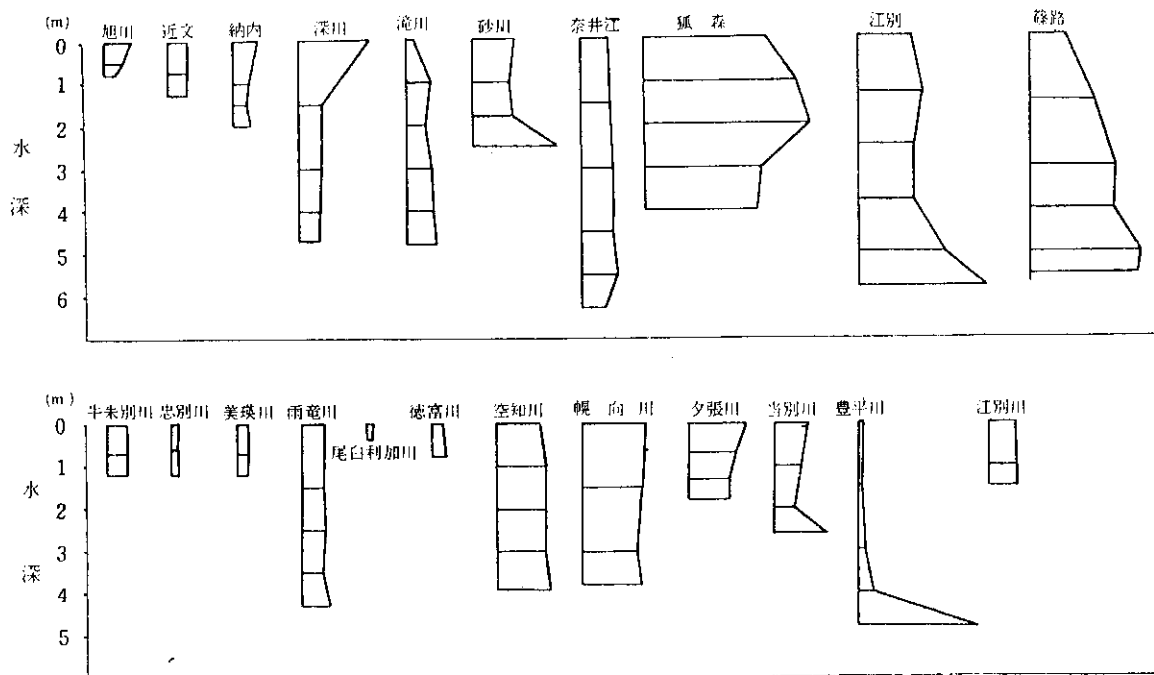


図-4(a) 石狩川水系の各地点における浮遊流砂の垂直分布 (昭和34年7月10~14日)

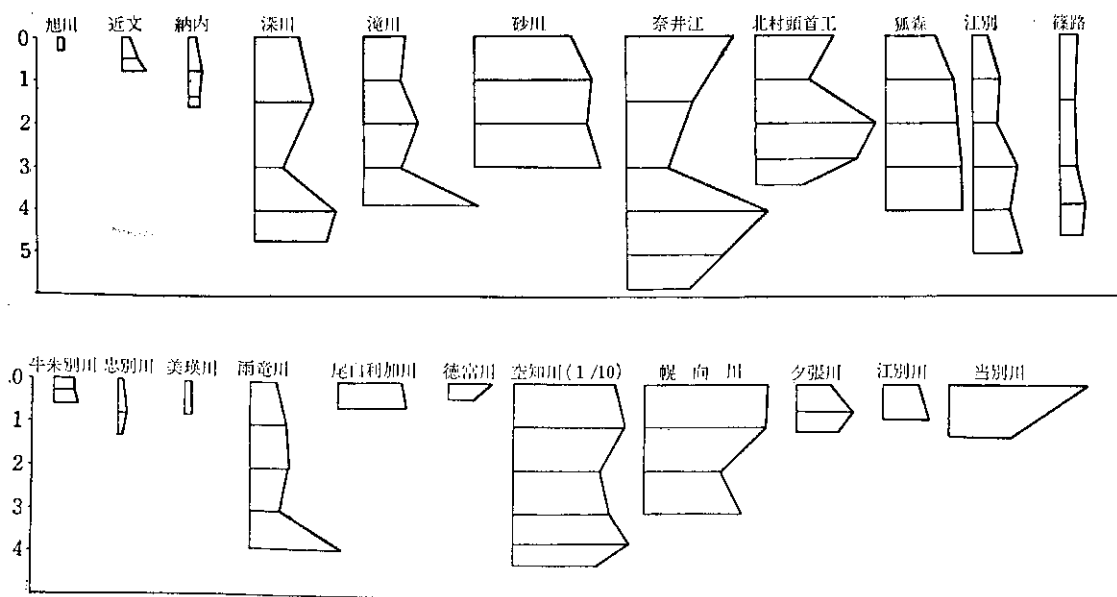


図-4(b) 石狩川水系の各地点における浮遊流砂の垂直分布 (昭和34年8月18~22日)

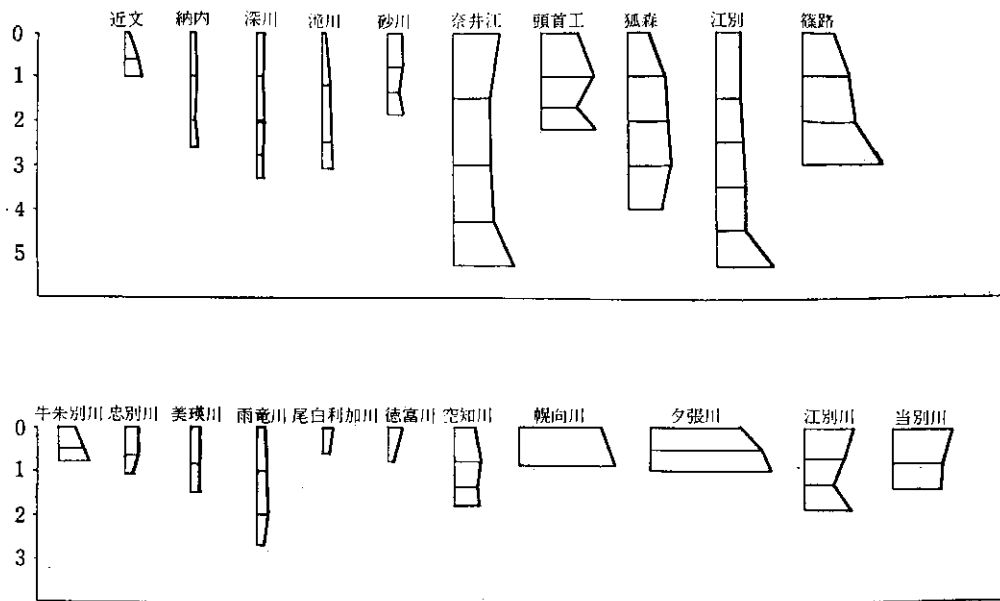


図-4(c) 石狩川水系の各地点における浮遊流砂の垂直分布
(昭和34年9月16~22日)

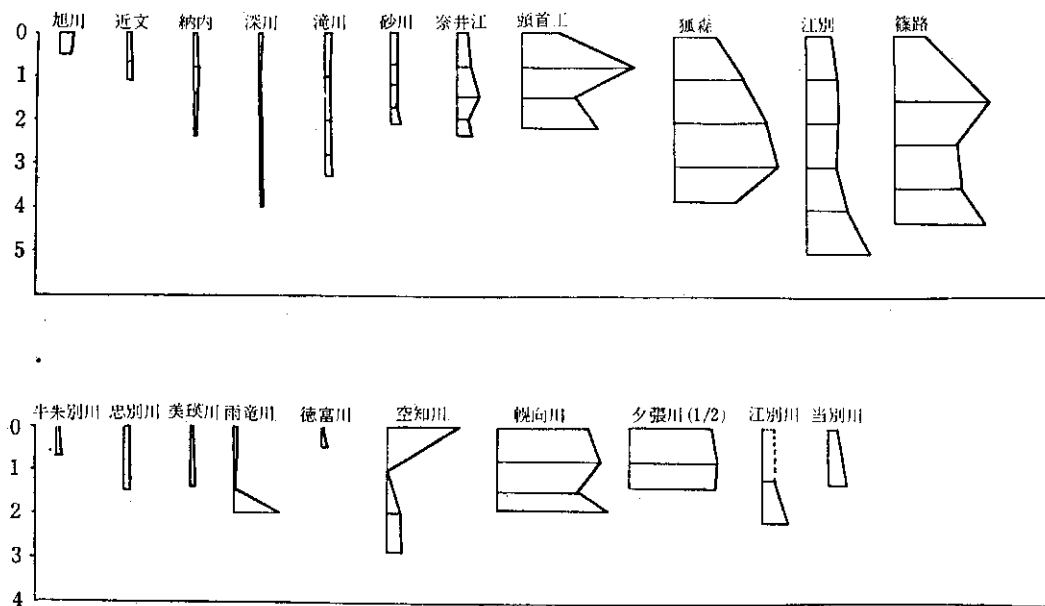


図-4(d) 石狩川水系の各地点における浮遊流砂の垂直分布
(昭和34年10月31日~11月5日)

図-5は本流北村地点(55.5 km)における小洪水時の時間的変化を追跡した例である。図-5によると第1回目および第3回目の垂直分布は、水位の上昇時には不規則な分布をなしているが、ピークを境としてほぼ直線的におさまっている。第2回目の観測では出水を通じて含砂量の鉛直分布には、顕著な変化は認められずほぼ直線的に変化している。これらの少ない試料から一定の傾向を結論づけることはできないが、水位の上昇時には浮遊流砂量は相当攪乱されながら運搬されているが、水位のピ

ークにはすでに含砂量も減少しており、減少時には鉛直方向の分布も平水時における分布に復しているものと想像される。

今流速分布が対数分布則に従うとし、渦動拡散係数 ε_s を

$$\varepsilon_s = Ku_* H \left(1 - \frac{z}{H}\right) \quad (9)$$

K : カルマン常数 (純水の場合 0.4)

u_* : $\sqrt{gHI}$

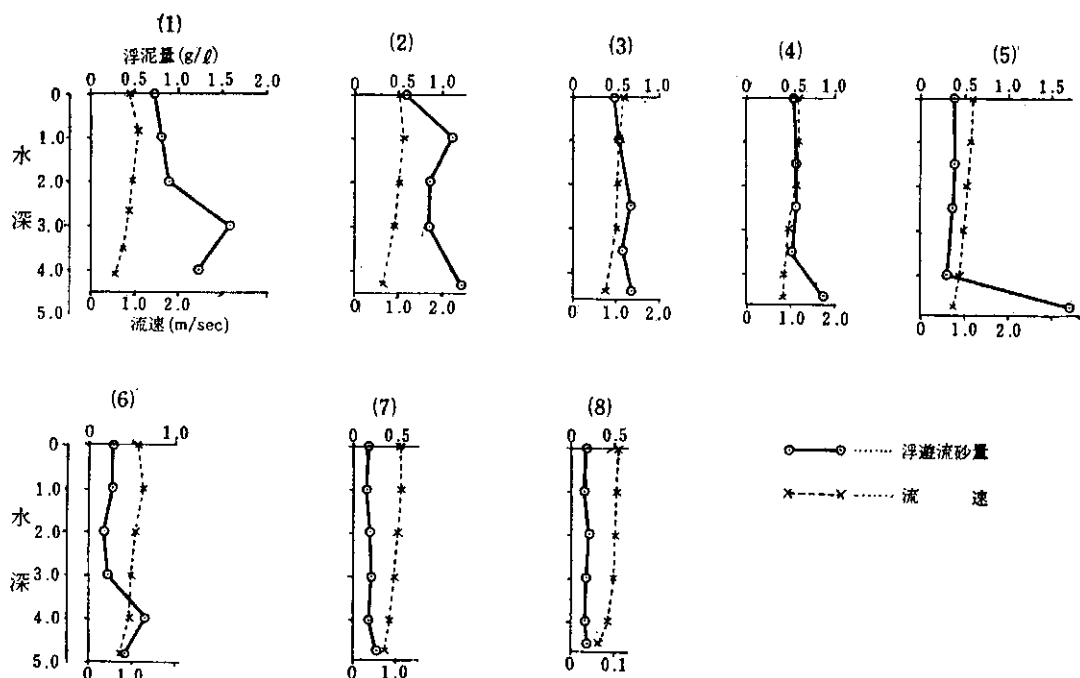


図-5(a) 洪水時における浮遊流砂の垂直分布 (第1回目)
(昭和33年10月2~3日)

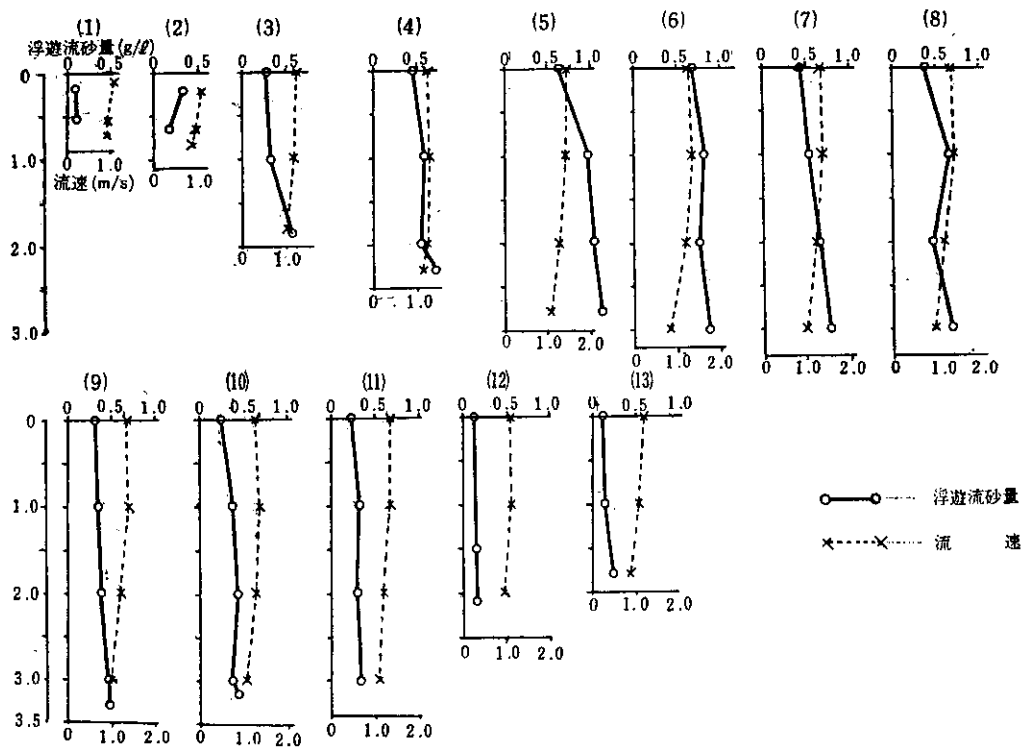


図-5(b) 洪水時における浮遊流砂の垂直分布 (第2回目)
(昭和33年8月27~29日)

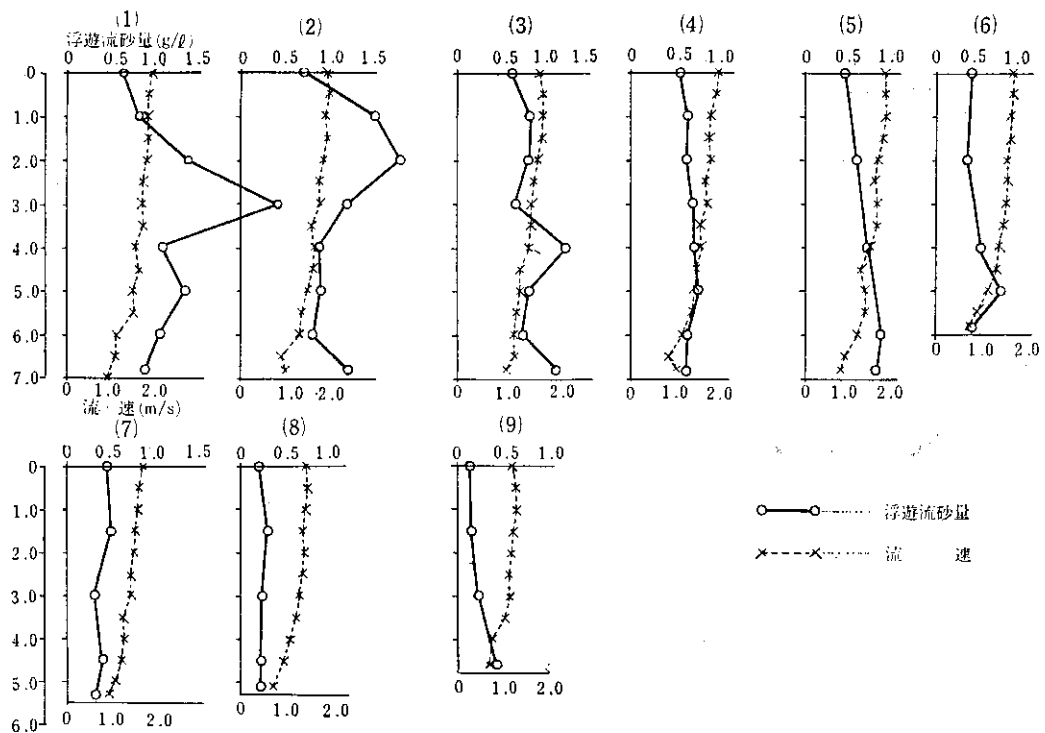


図-5(c) 洪水時における浮遊流砂の垂直分布 (第3回目)
(昭和34年9月7~8日)

とし密度勾配の影響を無視すれば浮遊分布は

$$\frac{m}{m_0} = \left(\frac{1-\zeta}{\zeta} \cdot \frac{\zeta_a}{1-\zeta_a} \right)^\xi \quad \xi = \frac{c}{Ku_*} \quad (10)$$

$$\zeta = \frac{z}{H}$$

$$\zeta_a = \frac{a}{H}$$

であらわされる¹³⁾。ここに

m : 浮遊流砂量

m_0 : $z=a$ 点における m の値

a : 土砂が浮遊形式で運動する底面付近の限界点における z の値

z : 底面よりの高さ

m_0 を実測値の最深部の値を用い (河床上10~20 cmの値) 図-4(b), 図-5(a), (c), (d) に示した資料について, $\frac{m}{m_0} \sim \frac{1-\zeta}{\zeta}$ の関係を求めこれを 図-6 に示す。採水器はいずれも土研簡易B型採水器を使用した。

図-7 は河水を瞬間的に採取した場合とやや時間をかけて採取した場合の比較例である。前者には土試作「流線形型採水器」を使用し、後者には土研試作「簡易B型採水器」(写真-1 参照) を使用した。採取方法は2種の採水器を同一箇所に同時に入れて試料を採取したものである。垂直分布の比較をみると分布は必ずしも同形で

はなく、したがって浮遊流砂は時々刻々変動しつつ運搬されていることがうなづける。両者の試料から平均浮遊

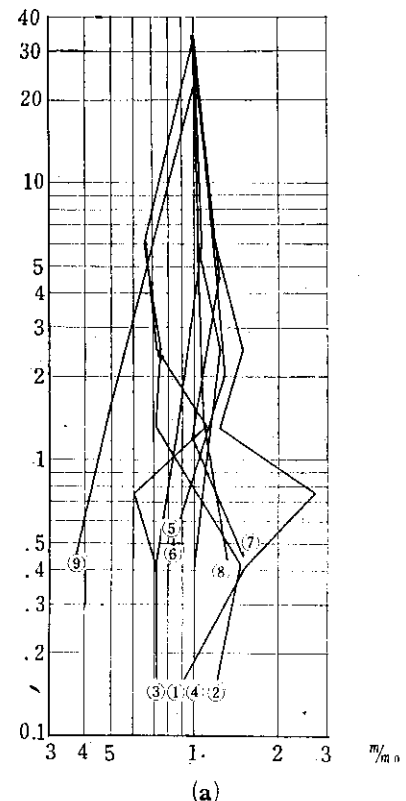


図-6 浮遊流砂の垂直分布

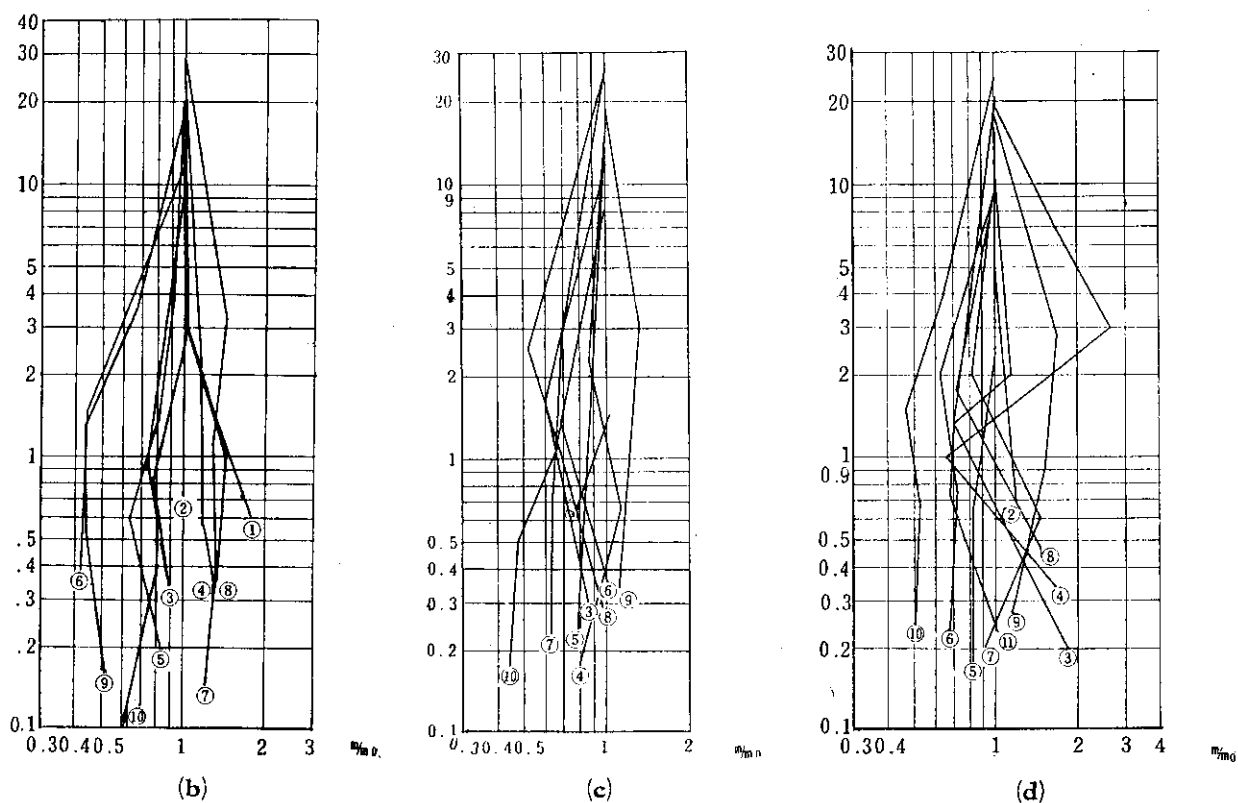


図-6 浮遊流砂の垂直分布

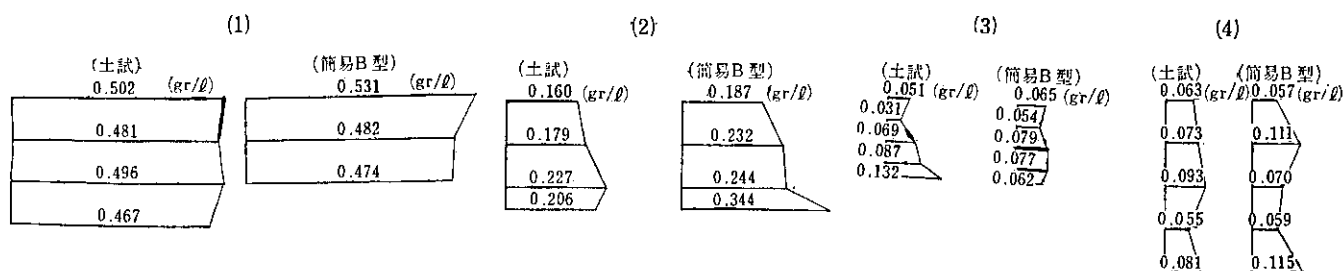


図-7 2個の採水器による同時測定

表-5 2個の採水器による浮遊流砂量の比較

試料 No.	年 月 日	地 点 (km)	水 位 (m)	平均浮遊流砂量 (g/l)		誤差率 (研一試)/研 (%)
				土 試 型	土 研 型	
1	S. 33. 7. 24	55.5	11.87	0.488	0.486	-0.4
2	7. 26	55.5	5.69	0.193	0.238	+1.9
3	8. 19	55.5	4.70	0.065	0.068	+0.4
4	8. 19	58.3	5.15	0.073	0.082	+1.1

流砂量を算出すると表-5のとおりである。

これより 誤差率=(土研型-土試型)/土研型 を求めると表-5のとおりである。4個のみの試料から誤差率を云々することはもとよりできないが、一応これによると±2%程度の誤差の範囲に収まりそうであり、平均浮遊流砂量の算出にはどちらのタイプの採水器を用いてもそ

れほど差異はないようである。

4. 浮遊流砂量

浮遊流砂量 Q_s と流量 Q との関係は古くから研究され、(11)式のような関係があってさらに b の値は1.77~2.50の範囲内にあることが知られている。

$$Q_s = aQ^b \quad (11)$$

a : 河状係数

b : 常 数

石狩川の各地点における実測により $Q_s = aQ^b$ の関係を示すと表-6および図-8のとおりである。

図-8によると旭川地点は点がばらつき相関関係を求めることは無理と考えた。また支流についても空知川を

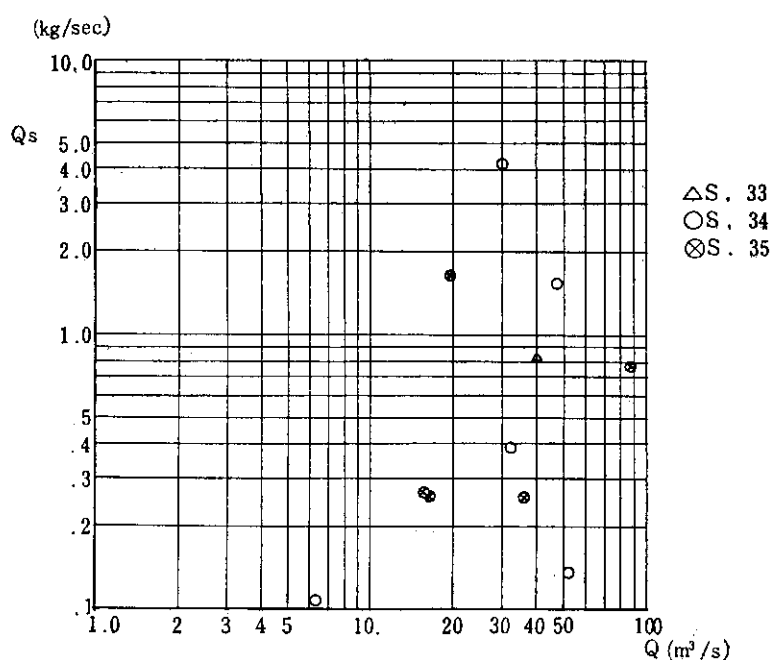
除き他はやはり点がばらつき係数を求めることは無理であった。これは比較的流量の小さい河川では、浮遊流砂量の増減に対して流量はそれほど増減しないためか、あるいは浮遊流砂処理上の誤差が相対的に小さい浮遊流砂量に大きく効いてきたためだろうと思われる。表-5によると河状係数 a の値は各地点によりさまざまな値を取っているが、常数 b の値は 1.70~2.93 の範囲内にあり、

表-6 各地点における流量と浮遊流砂量の関係

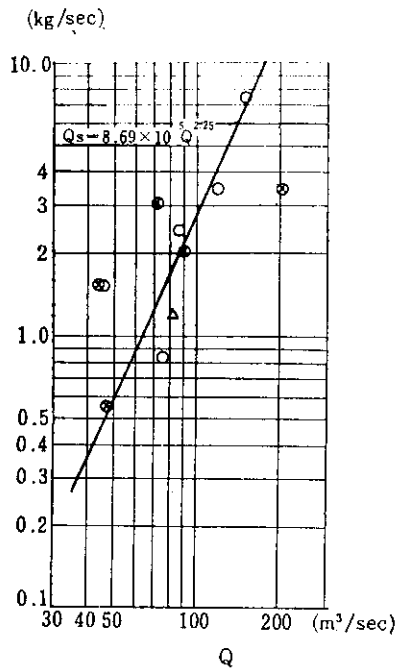
No.	河川名	地 名	$Q_s = aQ^b$
1	石 狩 川	旭 川	
2	"	近 文	$Q_s = 8.69 \times 10^{-5} Q^{2.25}$
3	"	納 内	$Q_s = 1.16 \times 10^{-4} Q^{2.14}$
4	"	深 川	$Q_s = 2.37 \times 10^{-4} Q^{2.08}$
5	"	新 十 津 川	$Q_s = 1.83 \times 10^{-4} Q^{2.05}$
6	"	砂 川	$Q_s = 1.15 \times 10^{-5} Q^{2.93}$
7	"	奈 井 江	$Q_s = 5.18 \times 10^{-4} Q^{1.90}$
8	"	西 美 唄	$Q_s = 1.62 \times 10^{-4} Q^{2.10}$
9	"	月 形	$Q_s = 1.71 \times 10^{-4} Q^{2.13}$
10	"	北 村	$Q_s = 3.66 \times 10^{-4} Q^{1.95}$
11	"	狐 森	$Q_s = 2.57 \times 10^{-3} Q^{1.70}$
12	"	江 別	$Q_s = 8.51 \times 10^{-4} Q^{1.78}$
13	"	篠 路	$Q_s = 1.23 \times 10^{-5} Q^{2.45}$
14	空 知 川	滝 川	$Q_s = 3.13 \times 10^{-3} Q^{1.95}$

図-8 $Q_s = aQ^b$

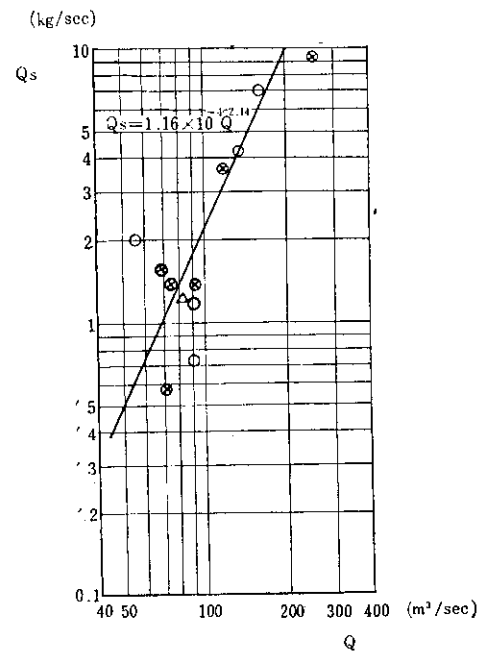
(1) 旭 川 (0/158)



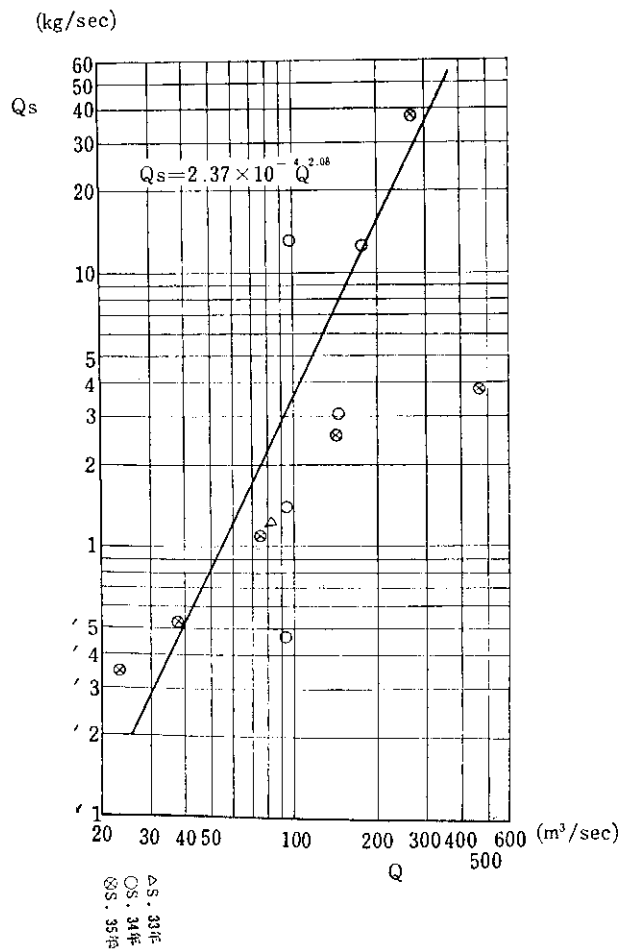
(2) 近 文 (2/154)



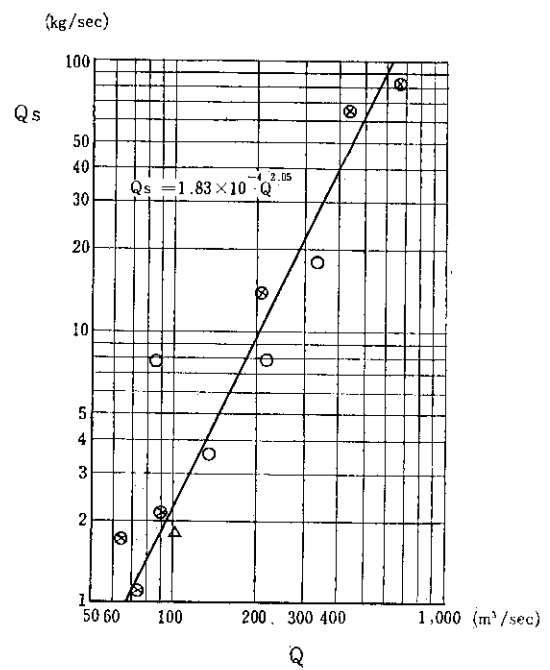
(3) 納 内 (0/130)



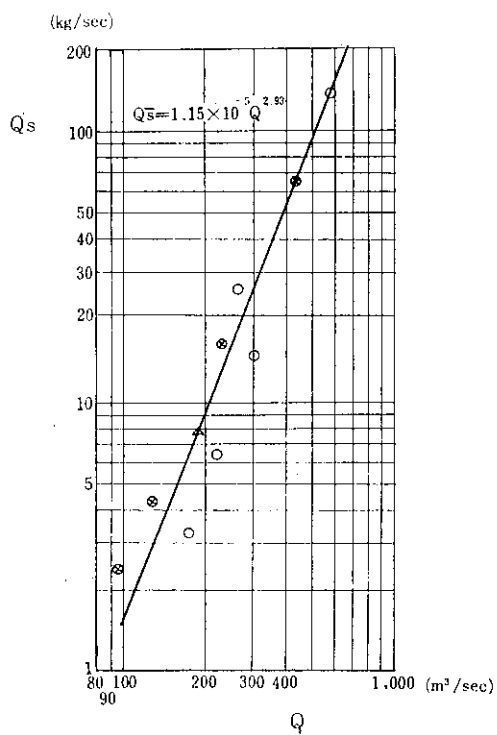
(4) 深 川 (0/122)



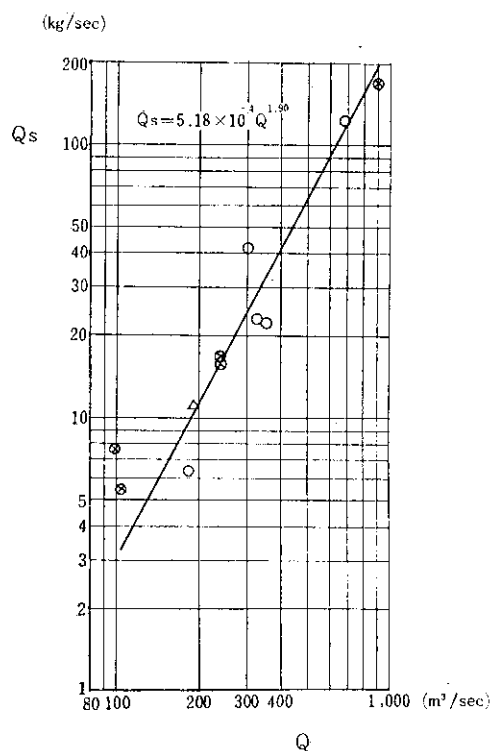
(5) 新十津川 (0/94)



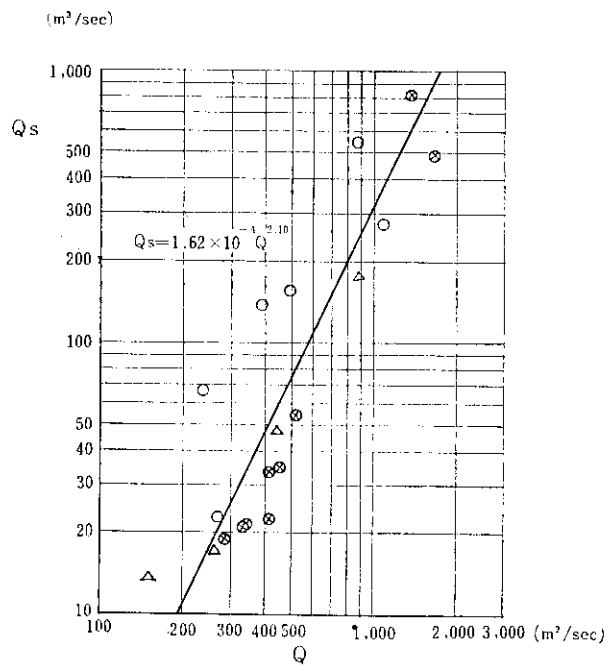
(6) 砂 川 (0/87)



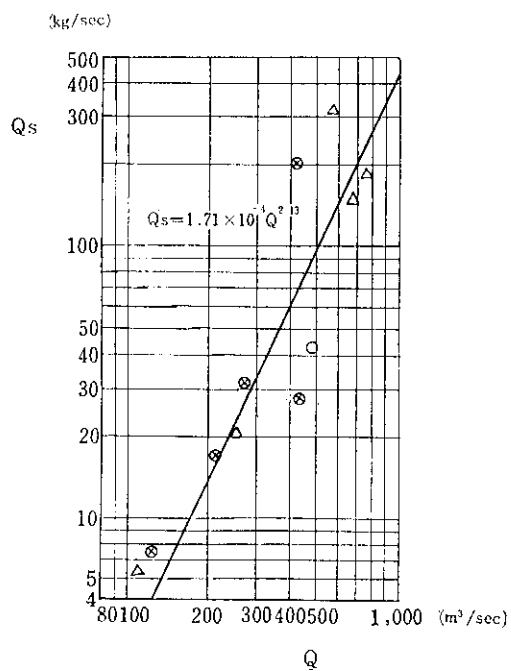
(7) 奈 井 江 (0/77)



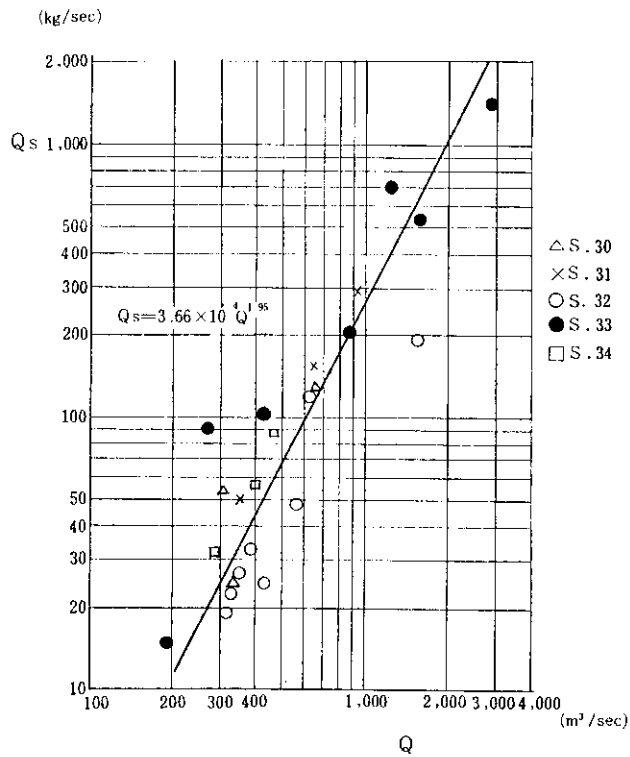
(8) 西 美 川 (8/58)



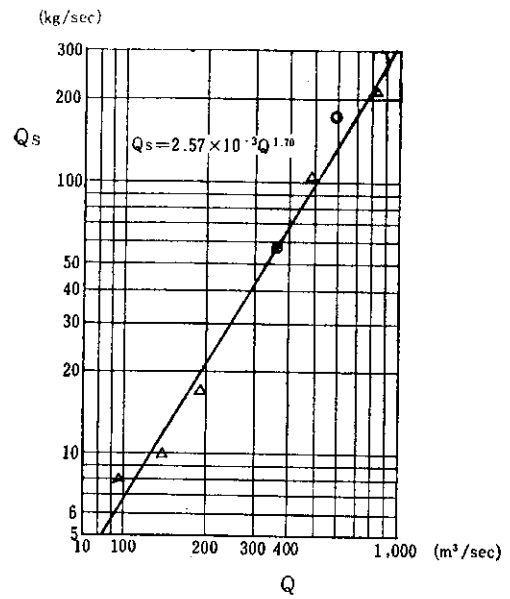
(9) 月 形 (3/58)



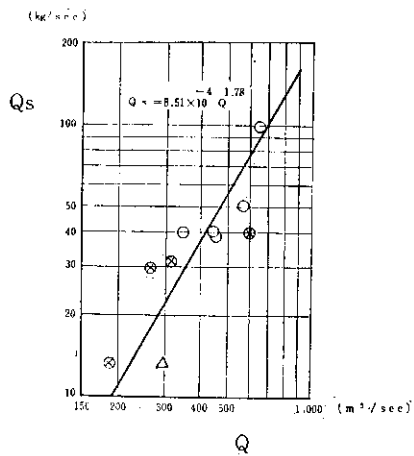
(10) 北 村 (5/55)



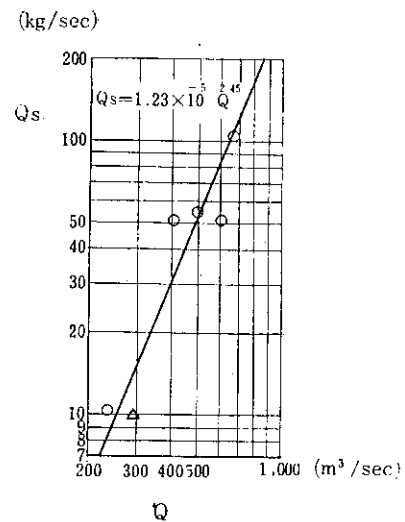
(11) 狐 森 (0/50)



(12) 江 別 (6/24.6)



(13) 篠 路 (0/15)



(14) 空知川 (0/91)

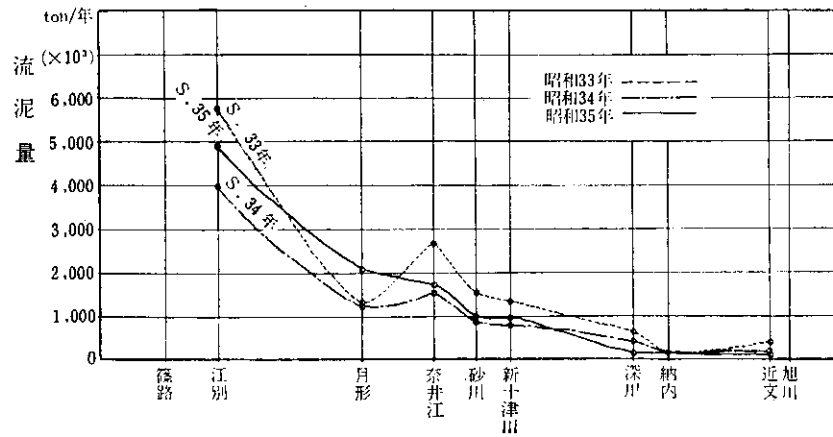
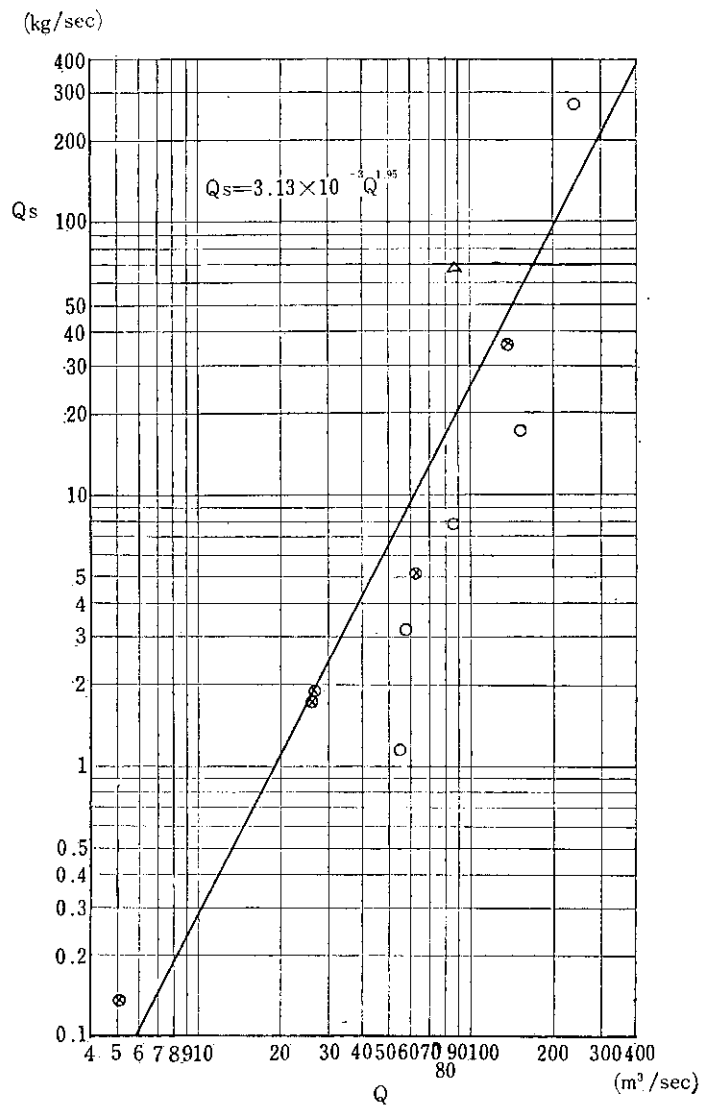


図-9 年間流泥量

その大半は2.0付近である。

この曲線を使用して各地点における昭和33年、34年、35年の月別流泥量を計算すると表-7および図-9のとおりである。なおこれに使用した月別平均水位は、旭川開発建設部および石狩川治水事務所の記録によるものである。

各地点における水位～流量曲線がまだ不完全なものであるから、精度の点で幾分難点はあるが、これによると上流部近文付近では年度に約30万トンの浮遊流砂が運ばれ、中流部奈井江付近で約200万トン、下流部江別付近では年間約500万トン運搬されるようである。ただしここに現われた数値は、そのまま同地点における洗掘あるいは堆積を示すものではなく、浮遊状態のまま運搬されるいわゆる wash load が多分に含まれていることはもちろんのことである。流泥量の月別推移をみるため、月形地点の昭和35年の数値を図示すると図-10のとおりである。

これによると1年間に運搬される流泥量の大部分は4～5月のいわゆる融雪出水期に流出されるようである。

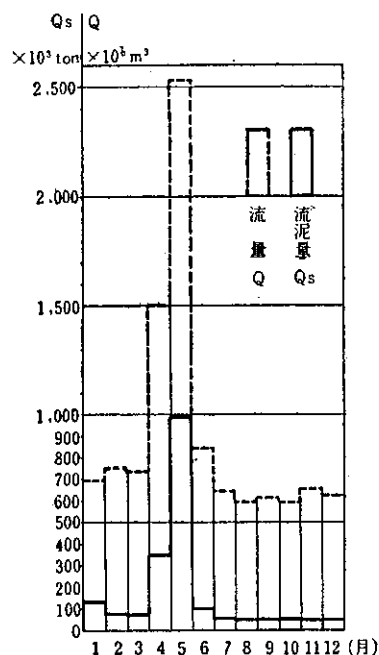


図-10 月別流泥量 (月形地点)
(昭和35年)

表-7 月別流泥量

単位: $H=m$, $Q=m^3/月$, $Q_s=ton \times 10^3/月$

箇所	年度	種別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
旭川	33	H	194.99	104.95	105.00	105.61	105.68	105.41	105.28	105.42	105.20	105.06	105.06	104.95	1,349
		Q	80	68	82	171	193	137	121	143	105	88	86	75	
		Qs													
	34	H	104.86	104.85	104.93	105.57	105.46	104.99	105.19	105.04	105.21	104.95	104.93	104.83	1,070
		Q	66	58	73	163	150	78	107	86	82	75	70	62	
		Qs													
近文	35	H	104.80	104.80	104.86	105.37	105.64	105.19	104.91	104.88	104.78	104.71	104.76	104.71	942
		Q	59	55	66	131	182	104	71	67	54	50	53	50	
		Qs													
	33	H	98.69	98.61	98.65	99.28	99.26	99.11	98.89	99.11	98.84	98.77	98.69	98.64	5,520
		Q	396	331	380	638	547	552	477	570	441	426	384	378	
		Qs	18	13	16	53	37	40	27	42	23	21	17	16	
	34	H	98.51	98.44	98.60	99.23	99.00	98.53	98.47	98.19	98.67	98.38	98.40	98.32	4,156
		Q	329	273	362	614	525	324	313	222	376	281	277	260	
		Qs	12	9	14	49	33	11	10	5	17	8	8	7	
文	35	H	98.12	98.01	98.22	98.87	99.19	98.86	98.29	98.40	98.36	98.27	98.25	98.02	3,544
		Q	201	158	230	451	605	448	252	287	264	246	231	171	
		Qs	4	3	5	25	46	24	6	9	8	6	6	3	

箇所	年度	種別	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10月	11月	12月	計
納 内	33	H	56.18	56.25	55.61	56.17	55.95	55.65	55.43	55.66	55.30	55.27	55.27	55.18	
		Q	530	504	335	511	447	337	279	352	233	233	226	209	4,196
		Qs	25	25	10	24	17	10	7	11	5	4	4	4	146
	34	H	55.91	55.75	55.24	56.09	55.78	55.54	55.95	55.36	55.81	55.56	55.59	55.39	
		Q	434	345	225	482	391	303	447	257	389	319	319	267	4,178
		Qs	16	11	4	21	13	8	17	5	13	9	9	6	132
	35	H	56.38	56.36	55.73	55.98	56.27	56.07	56.01	55.27	55.20	55.06	55.15	55.04	
		Q	608	561	375	443	565	474	469	233	207	182	196	177	4,490
		Qs	34	31	12	18	29	21	19	5	4	3	3	3	182
深 川	33	H	48.12	47.81	47.72	48.16	48.09	47.82	47.66	47.81	47.63	47.66	47.65	47.61	
		Q	830	484	455	1,063	798	526	404	536	368	329	384	364	6,541
		Qs	102	36	29	181	94	40	22	40	19	14	20	18	615
	34	H	47.76	47.75	47.65	48.26	47.83	47.57	47.59	47.40	47.82	47.64	47.66	47.78	
		Q	490	435	396	954	554	324	351	228	526	388	389	509	5,544
		Qs	33	29	21	150	44	15	17	7	40	20	21	36	433
	35	H	47.78	47.84	47.78	48.19	48.22	47.69	47.18	47.22	47.40	47.25	47.33	47.40	
		Q	509	526	509	881	943	415	123	139	220	150	181	228	4,824
		Qs	36	43	36	121	134	24	2	2	7	3	4	7	419
新 十 津 川	33	H	22.15	22.16	22.32	23.62	23.49	22.50	22.29	22.62	22.09	22.25	22.16	22.08	
		Q	442	411	589	2,332	2,196	739	562	897	389	536	441	402	9,936
		Qs	17	16	31	544	482	51	28	74	13	25	17	14	1,312
	34	H	22.36	22.16	22.31	23.49	22.59	22.19	22.23	22.03	22.50	22.13	22.19	22.20	
		Q	355	702	576	2,125	817	467	516	362	739	435	467	489	8,050
		Qs	8	56	29	467	62	19	24	11	51	17	19	21	784
	35	H	21.92	21.88	22.09	23.23	23.51	22.51	22.04	21.96	22.01	21.85	22.10	21.98	
		Q	281	244	402	1,698	2,303	518	362	308	324	241	395	328	7,404
		Qs	7	6	14	285	522	25	11	8	9	5	14	9	915
砂 川	33	H	16.56	17.09	17.25	18.49	18.21	16.89	16.50	16.96	16.62	16.47	16.49	16.22	
		Q	730	877	1,051	1,737	1,560	842	683	904	719	670	661	569	11,003
		Qs	54	102	134	518	375	80	44	91	53	43	43	28	1,565
	34	H	15.58	16.70	16.55	18.15	17.07	16.35	16.38	16.03	16.72	16.43	16.56	16.58	
		Q	355	702	703	1,479	964	596	643	502	758	656	706	723	8,787
		Qs	8	56	48	350	107	47	39	20	62	40	52	51	880
	35	H	16.29	16.02	16.38	17.99	18.04	16.80	16.21	16.21	16.38	16.22	16.46	16.32	
		Q	596	464	636	1,393	1,466	797	562	562	616	569	648	603	8,912
		Qs	32	18	37	285	321	67	27	27	36	28	41	32	951

箇所	年度	種別	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10月	11月	12月	計
奈井江	33	H	11.21	11.05	11.43	13.72	13.24	12.10	11.97	12.49	11.90	11.94	11.78	11.56	14,830
		Q	388	266	549	3,587	2,812	1,140	1,031	1,674	920	991	816	656	
		Q _s	17	9	32	1,115	696	130	104	262	86	96	70	46	
	34	H	11.27	11.19	12.35	13.50	12.24	欠測	11.50	11.17	11.48	11.47	11.65	11.52	10,207
		Q	429	351	1,473	3,175	1,339		603	375	570	576	700	616	
		Q _s	20	15	204	907	171		39	16	36	36	52	40	
	35	H	11.39	11.01	11.51	13.21	13.31	12.02	11.34	11.14	11.19	11.00	11.40	11.16	10,345
		Q	522	251	616	2,671	2,934	1,050	442	348	376	268	505	362	
		Q _s	29	8	40	648	750	114	21	14	16	9	29	14	
月形	33	H	5.69	5.54	5.56	8.04	7.30	5.47	5.23	6.04	5.05	5.17	4.97	4.63	9,988
		Q	817	702	777	1,452	1,272	739	723	911	661	696	635	603	
		Q _s	91	73	80	324	230	75	70	112	60	64	54	48	
	34	H	5.91	4.50	5.48	8.40	6.21	5.28	5.21	4.71	6.02	5.32	5.46	5.89	9,900
		Q	870	508	763	1,581	951	700	710	603	868	737	739	870	
		Q _s	104	36	78	389	126	67	67	48	106	72	75	104	
	35	H	6.27	5.63	5.34	8.17	10.48	5.89	4.87	4.63	4.81	4.60	5.02	4.75	10,753
		Q	694	752	737	1,503	2,531	842	643	589	609	589	648	616	
		Q _s	131	78	72	350	991	101	55	46	51	46	57	51	
江別	33	H	1.25	0.82	1.16	3.37	2.53	1.17	1.30	1.84	1.11	1.15	1.05	0.86	26,423
		Q	1,701	931	1,540	6,532	4,312	1,529	1,768	2,724	1,426	1,540	1,335	1,085	
		Q _s	225	85	190	2,501	1,178	192	244	522	168	190	150	102	
	34	H	1.03	0.60	1.22	3.20	1.36	0.91	0.83	0.60	1.48	0.91	1.01	1.26	20,657
		Q	1,366	702	1,674	6,013	1,861	1,140	1,058	750	1,944	1,178	1,257	1,714	
		Q _s	153	51	220	2,229	268	114	96	54	298	118	135	230	
	35	H	0.96	0.73	1.20	3.00	2.87	1.45	1.10	0.87	0.84	0.66	0.78	0.92	22,837
		Q	1,219	877	1,607	5,443	5,236	1,918	1,473	1,085	1,024	844	946	1,165	
		Q _s	126	74	204	1,866	1,687	293	174	102	93	75	83	115	

しかしこの曲線はすべて夏期間における調査試料に基づいて作成されたものであり、北海道特有の融雪出水期にもこの曲線を採用できるかどうかは疑問である。これは今後の課題としてここでは一応同曲線で処理した。

5. 流泥量の河川の縦断方向における変化

河川の各地点を毎秒流下する流泥量（平均浮遊流砂量×流積）の定量的な変化を比較するには各観測地点における同時観測が望ましいが、本調査のように観測地点の多い（26箇所）場合には困難なことである。車を常時利用した本調査の場合でも1観測隊（4人）で実施すると約1週間の日数を要した。この河道の縦断方向における

観測は11回行なったがそのうちの数例を図-11(a), (b), (c), (d)に示す。図においてH: 水位 (m), Q: 流量 (m³/sec), q_s: 平均浮遊流砂量 (gr/l), Q_s: 流泥量 (kg/sec) である。

なお、観測時における水位状態の見取図も図示したがこのうち矢印は時間の経過する方向を示している。また篠路および河口地点の諸量は、潮汐の影響を受け精度が劣ると考えられたので点線で表わしておいた。観測期間が約1週間にもわたるため水位の状態が各地点において同一ではなく、したがって条件がおのおの異なるためこれから河道内の洗掘あるいは堆積を論ずることは困難で

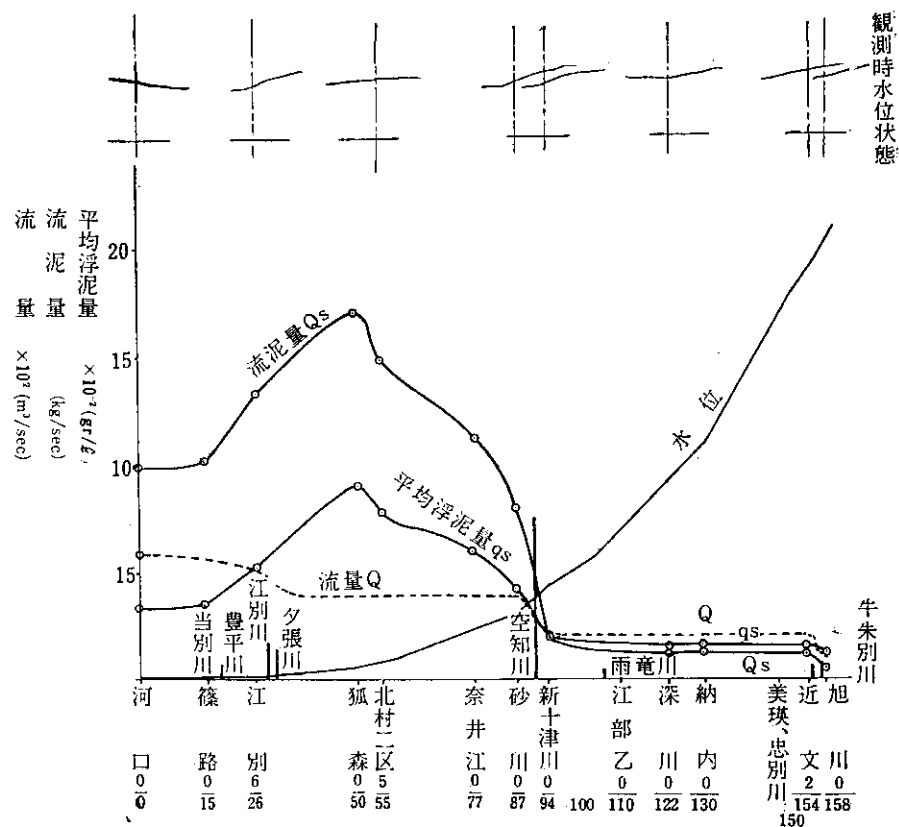


図-11(a) 縦断方向における比較 (S. 33. 9. 11~9. 15)

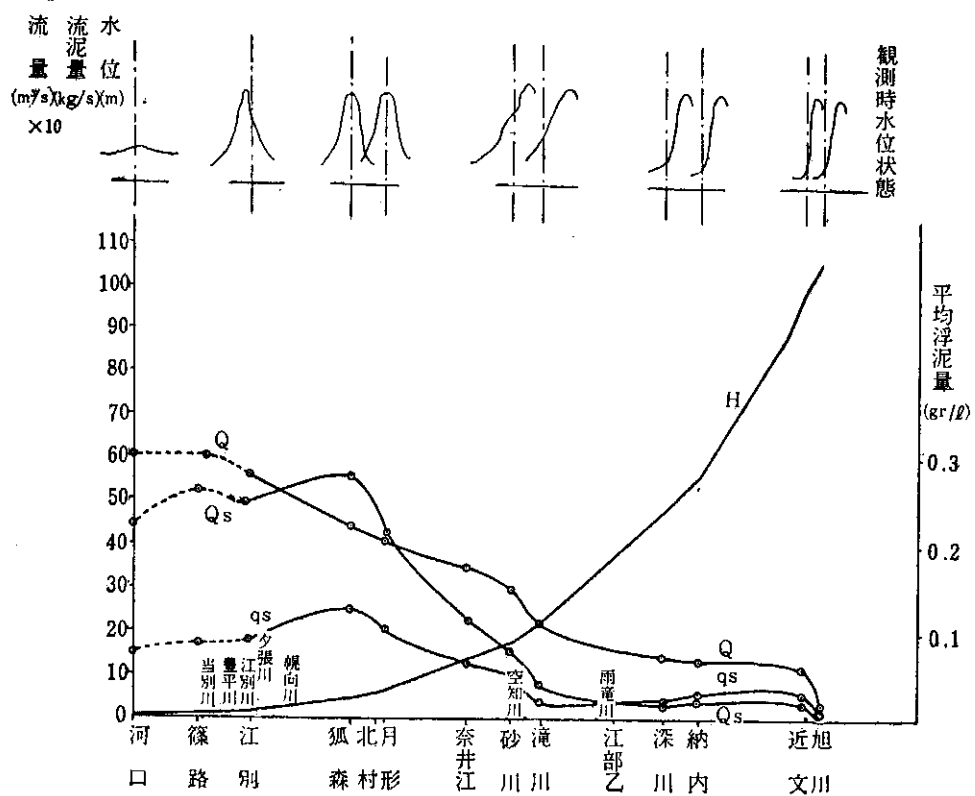


図-11(b) 縦断方向における比較 (S. 34. 6. 8~6. 12)

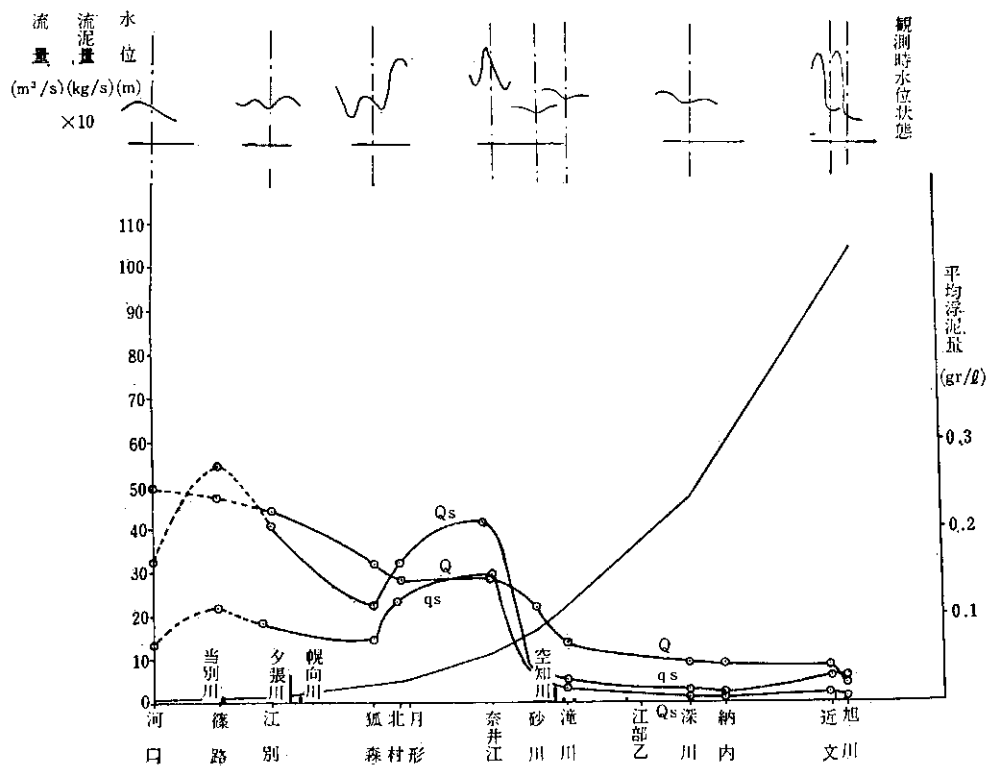


図-11(c) 縦断方向における比較 (S. 34. 8. 18~8. 22)

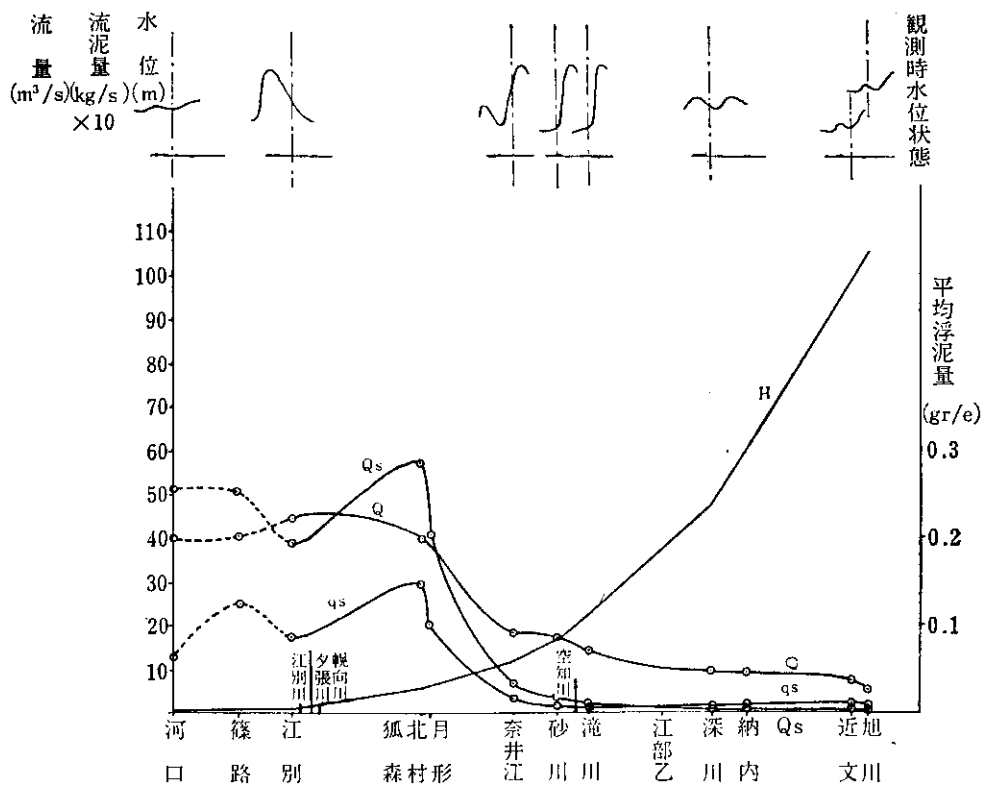


図-11(d) 縦断方向における比較 (S. 34. 10. 31~11. 5)

ある。

ただ昭和33年9月(図-11(a))の観測は観測期間が低水時であり、しかも降雨が無かったのであるから、支流空知川からの土砂の供給を除けば他支川からの供給は微々たるものと思われ、また丘陵地帯あるいは耕地地帯からの土砂の供給はまず考えられない。したがって本調査期間における各地点の浮遊流砂量の増分あるいは減少はそれぞれの地点における河道内の侵食あるいは堆積と考えてよいのではなかろうか。この考えに基づいて旭川から石狩河口までを縦断的に概観し、図-11(a)に示された流泥量の輸送現象から低水位時における河床の変動状況を推定してみる。

流泥量は上流から90km付近まではほぼ同量であり、これより下流に進むにしたがい急増し50km付近が最大となる。これより下流は20km付近まで減少しここより河口まではほぼ同量である。この現象より推定して、浮遊流砂に関しては上流から90km付近の区間および20km付近から河口までの河道はほぼ安定しているものと考えられる。また90km付近の区間は浮遊流砂の変動が最も激しく行なわれており、このうち90kmから50km付近までの河道は洗掘(浮遊流砂の)を、また50kmから20km付近までは堆積現象を起していると考えられる。

6. 洪水時における水理量の時間的変化

河川洪水期間中における浮遊流砂の変動状況すなわち浮遊流砂量の時間変化あるいは水理量との関係を知るとは、河川の洪水処理上重要な問題であると思われるので、石狩川において2,3の出水時について浮遊流砂量の実測を行なった。

観測場所は当初橋を利用することを考えたが石狩川の中、下流部に架設されている橋の上から水面までの高さ

は約15~20mであり、このため生ずるであろう測定誤差あるいは橋脚の流れに与える影響などを考慮して、観測地点は橋脚がなく流れの良好な場所を1箇所選んだ。地点は河口から55.5km上流の北村地点である。測定は1横断面内において数多くの測点について行なうことが望ましいが、流木などの流れてくる洪水時は照明施設のない深夜、1本のワイヤーを頼りに軽舟を対岸まで出すことは人命に危険を生ずるおそれがある。そこで岸より川の中央へ約50m出た箇所1測点で測定を行なうことにした。この測定における単位川幅当りの浮遊流砂量および水理量を測定することにより、洪水時における浮遊流砂量の定性的な変化を知る目的は十分達せられるものと思う。観測項目は、①水位、②水面勾配、③水深、④流速、⑤浮遊流砂量の5種で、水面勾配はあらかじめ設置してある水位標により測定し、水深はポールと測錘を併用した。

一洪水を通じて浮遊流砂量の実測例はきわめて少ない。わが国の河川では降雨があつてから洪水のピークまでの時間が非常に短いため増水時における観測が不成功に終わるためと思われる。わずかに吉川秀夫博士が木曾川¹⁴⁾において、また堂腰純氏が十勝川¹⁵⁾においてこの観測に成功されている。外国の例としてはBenedictが米国の諸河で実測したものと、Soil Conservation ServiceがEnoree Riverにおいて実測した例がある¹⁶⁾。なお実測記録ではないが吉川博士の模型実験と理論とによる研究結果では、最大が生ずる順序は水面勾配、流速、浮遊流砂量、水位の順になっている。

石狩川において観測した諸量の時間的変化を示すと表-8および図-12(a), (b), (c)のとおりである。図において H : 水位、 v : 平均流速、 q : 流量、 q_s : 浮遊流砂量、 H^2I : 水理量を示した。

表-8 洪水時における実測値

No.	年月日	時 分	水 位 (m)	水 深 H (m)	H^2	平均流速 u_m (m/sec)	単位幅 流 量 q (m ³ /sec)	単位幅 平均 浮泥量 q_s (gr/ℓ)	単位幅 平均 浮泥量 q_s (kg/sec)	水面勾配 I ($\times 10^{-4}$)	H^2I ($\times 10^{-3}$)
185	33. 10. 2	22.00	6.99	4.40	19.36	0.941	6.99	4.14	1.095	4.02	7.78
186	10. 3	0.10	7.05	4.50	20.25	0.960	7.05	4.32	0.913	4.02	8.13
187	"	2.00	7.21	4.60	21.16	0.999	4.60	4.60	0.580	4.60	9.73
188	"	4.00	7.35	4.70	22.09	1.030	4.70	4.84	0.593	3.45	7.63
189	"	7.00	7.49	4.90	24.01	1.020	4.90	5.00	0.364	3.45	8.29
190	"	11.00	7.52	5.00	25.00	1.014	5.00	5.07	0.373	3.45	8.63
191	"	15.30	7.40	4.90	24.01	0.966	4.90	4.74	0.187	3.45	8.29
192	"	18.00	7.29	4.70	22.09	0.968	4.70	4.55	0.178	2.87	6.34
193	34. 8. 27	16.00	3.96	0.90	0.81	0.97	0.90	0.87	0.108	3.45	0.289
194	"	20.00	4.22	1.10	1.21	0.95	1.10	1.05	0.257	4.60	0.557

No.	年月日	時分	水位 (m)	水位 H (m)	H^2	平均流速 u_m (m/sec)	単位巾 流積 a (m ²)	単位巾 流量 q (m ³ /sec)	単位巾 平均 浮泥量 (gr/ℓ)	単位巾 流量 q_s (kg/sec)	水面勾配 I ($\times 10^{-4}$)	$H^2 I$ ($\times 10^{-3}$)
195	34. 8. 28	1.00	5.04	2.00	4.00	1.16	2.00	2.32	1.350	0.812	5.17	2.068
196	"	3.00	5.55	2.50	6.25	1.21	2.50	3.03	0.567	1.715	5.75	3.594
197	"	5.00	5.94	3.00	9.00	1.30	3.00	3.90	0.966	3.765	5.17	4.653
198	"	7.00	6.13	3.20	10.24	1.25	3.24	4.00	0.791	3.160	5.17	5.294
199	"	9.00	6.25	3.30	10.89	1.23	3.30	4.06	0.603	2.450	4.60	5.109
200	"	11.00	6.31	3.30	10.89	1.22	3.30	4.03	0.556	2.240	4.60	5.109
201	"	14.00	6.41	3.50	12.25	1.22	3.50	4.27	0.393	1.680	4.60	5.640
202	"	17.00	6.41	3.50	12.25	1.24	3.50	4.34	0.367	1.592	4.02	4.920
203	"	20.00	6.35	3.40	11.56	1.23	3.40	4.18	0.293	1.225	4.02	4.650
204	8. 29	8.00	5.47	2.50	6.25	1.04	2.50	2.60	0.144	0.374	4.02	2.510
205	"	14.00	5.24	2.00	4.00	1.04	2.00	2.08	0.149	0.310	4.02	1.608
206	34. 9. 7	15.00	9.30	7.00	49.00	1.61	7.00	11.28	0.932	10.500	5.75	28.20
207	"	17.00	9.50	7.00	49.00	1.64	7.00	11.48	1.024	11.750	6.32	31.00
208	"	20.00	9.55	7.00	49.00	1.62	7.00	11.35	0.860	9.760	4.60	22.50
209	"	22.00	9.51	7.00	49.00	1.56	7.00	10.92	0.682	7.450	4.60	22.50
210	34. 9. 8	0.00	9.43	7.00	49.00	1.49	7.00	10.43	0.703	7.340	4.02	19.70
211	"	3.00	9.16	6.00	36.00	1.47	6.00	8.82	0.494	4.350	4.02	15.70
212	"	8.00	8.68	5.50	30.25	1.42	5.50	7.80	0.415	3.235	4.02	12.10
213	"	11.00	8.25	5.30	28.09	1.29	5.30	6.84	0.258	1.763	3.45	9.70
214	"	16.00	7.58	4.80	23.04	1.15	4.80	5.52	0.242	1.335	3.45	7.95

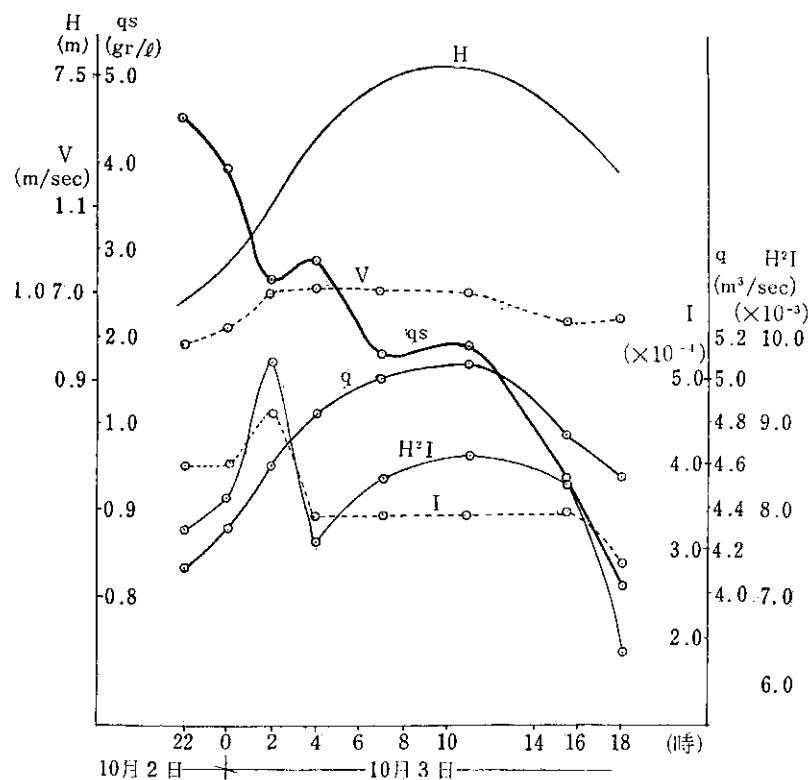


図-12(a) 水理量の時間的変化 (S. 33 年)

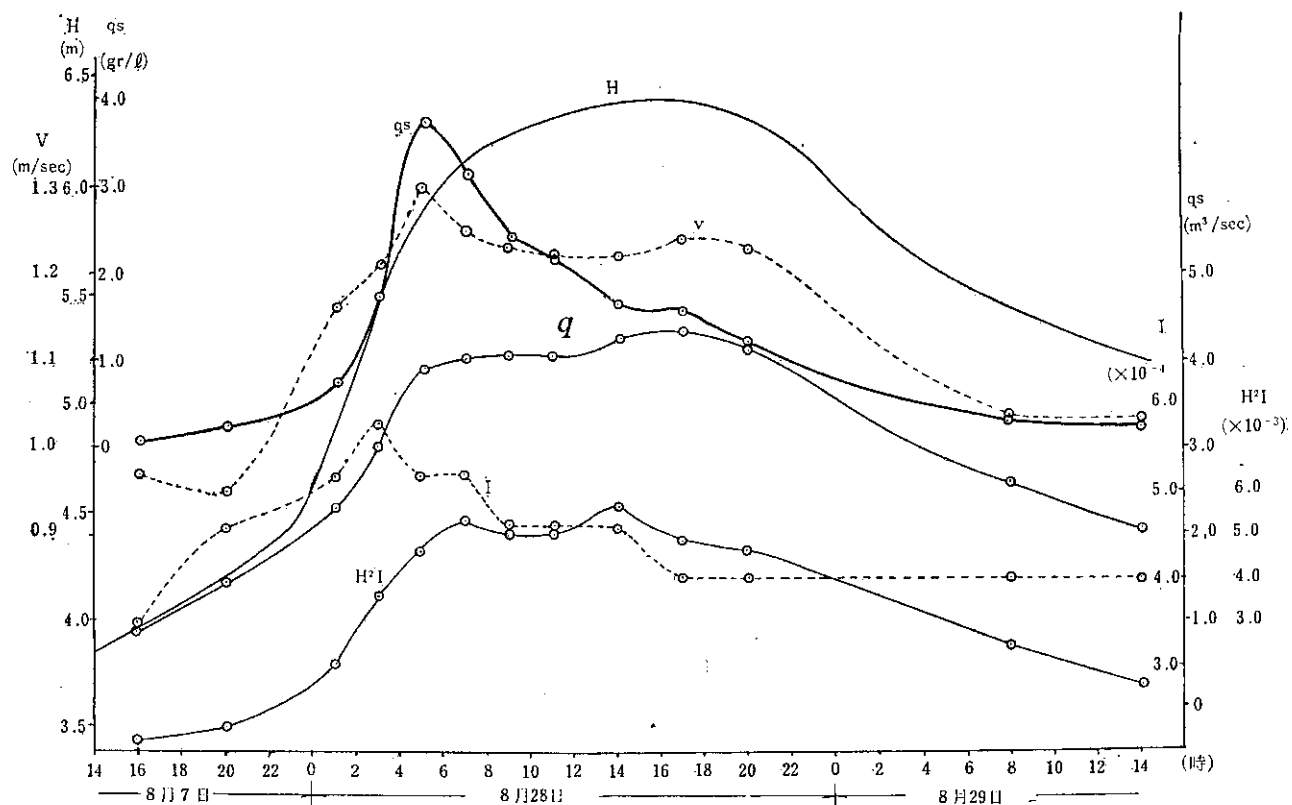


図-12(b) 水理量の時間的变化 (S. 34 年)

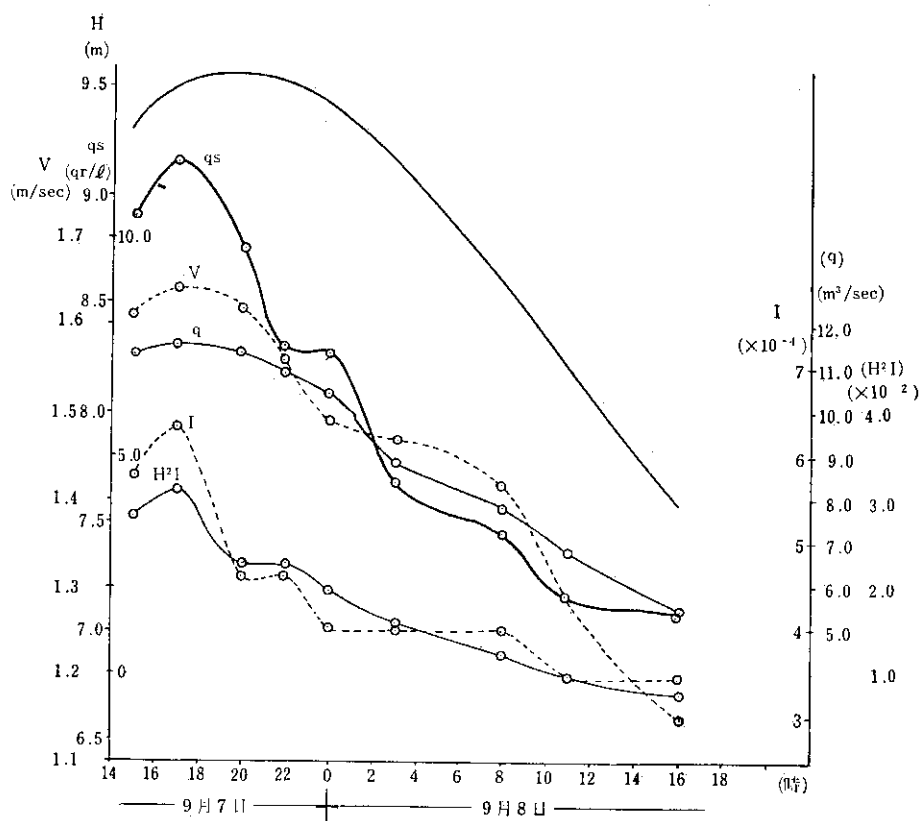


図-12(c) 水理量の時間的变化 (S. 34 年)

図-12 (a), (b), (c) の3図から共通していえることは、浮遊流砂量、流速、水面勾配の最大は水位の最大より早く現われ、流量の最大は水位の最大付近もしくはそれ以前に現われるということである。しかしこのような観測は相当の誤差が含まれるためか、各値の最大が現われる順

序についてはまちまちであり明確に実証するまでには至らなかった。しかし木曾川および十勝川の実測例を参考にして最大の表われる順序を検討すると、水面勾配、流速、浮遊流砂量、流量、水位の順に生ずるのではないかと考えられる。

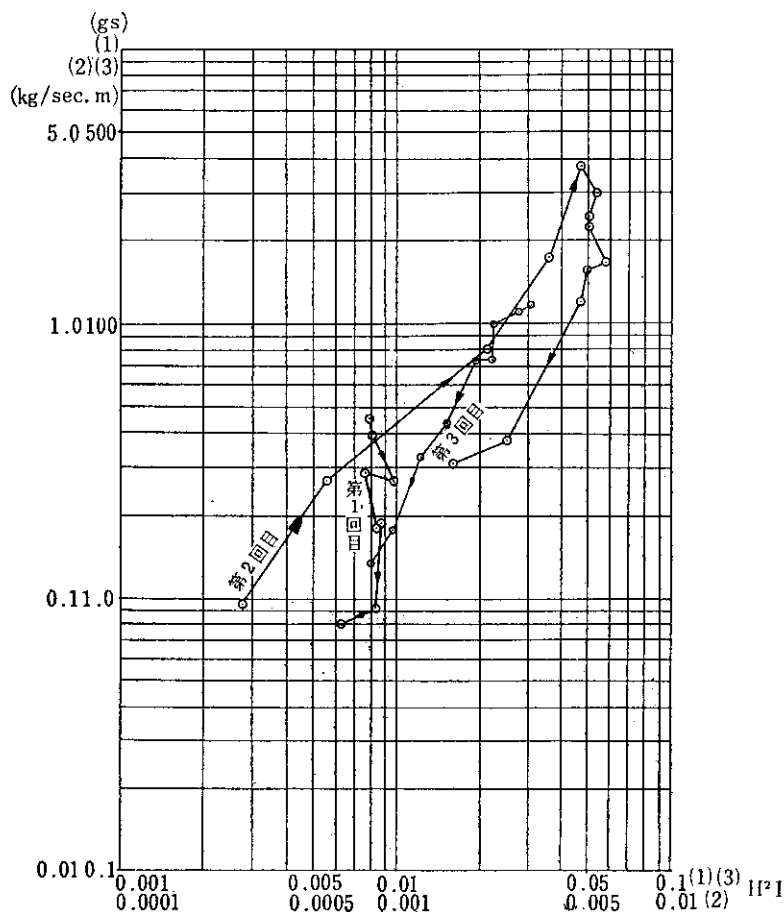


図-13 浮遊流砂量の時間的变化

流れが定常状態の場合には、浮遊流砂量 q_s は水理量 $H^2 I$ に比例することは理論的に解かれているが¹⁷⁾、これが洪水時のように非定常の場合にはどのように変化するかを調べてみた。これを図-13に示す。図において矢印は時間の経過する方向を示している。明らかにループが描かれているのは第2回目の観測のみであるが、曲線の形からみて他の2回の観測値もそれぞれ同じ方向にループを描くものと推定される。このことから浮遊流砂量 q_s は洪水のピーク以前には水理量 $H^2 I$ に対して、定流の場合に生ずると考えられる q_s とほぼ等しい値かそれよりもいくらか大なる値をとり、洪水のピーク以後は逆に定流の場合の q_s より小なる値をとるものと考えられる。すなわち洪水波が到達すると浮遊流砂量は増大し洪水のピーク以後は定流の場合における水理量 $H^2 I$ に対して急激に減少するものと思われる。

7. 平均流砂点

自然河川においてあらかじめ平均流砂点がわかっておれば、この点の浮遊流砂を採取することにより、近似的に断面全体の浮遊流砂量を求めることができる。このことについては永井荘七郎博士の研究がある¹⁸⁾。石狩川の平均流砂点については先に発表した¹⁹⁾、この時は平均浮遊流砂量が約 0.4 gr/l 以下の場合だけであったことと、観測地点が1断面だけであったためその後の調査により幾分訂正された。ここでは平均浮遊流砂量約 1.2 gr/l 以下場合についてであり、観測地点は旭川から下流部全体を対称としている。

石狩川の実測試料から平均流砂点の位置 H_m/H を求めると表-9のとおりであり、さらにこれを平均浮遊流砂量 $\bar{m}$ と対応させると図-14のとおりである。

表-9 平均流砂点と表面浮泥量

No.	平均 浮泥量 $\bar{m}$ (gr/ℓ)	表面 浮泥量 m' (gr/ℓ)	H_m/H (%)	No.	平均 浮泥量 $\bar{m}$ (gr/ℓ)	表面 浮泥量 m' (gr/ℓ)	H_m/H (%)	No.	平均 浮泥量 $\bar{m}$ (gr/ℓ)	表面 浮泥量 m' (gr/ℓ)	H_m/H (%)
2	0.012	0.033	0.46	60	0.050	0.065	0.179	190	0.350	0.264	0.683
3	0.139	0.062	0.63	61	0.099	0.098	0.760	191	0.207	0.198	0.870
4	0.017	0.014	0.50	62	0.240	0.220	0.577	192	0.178	0.170	0.773
5	0.033	0.039	0.50	63	0.029	0.030	0.526	193	0.108	0.100	0.667
6	0.026	0.029	0.40	64	0.018	0.016	0.571	194	0.257	0.337	0.667
13	0.029	0.028	0.42	155	0.126	0.102	0.40	195	0.373	0.255	0.689
14	0.050	0.043	0.308	156	0.302	0.284	0.663	196	0.571	0.450	0.565
15	0.034	0.017	0.662	157	0.160	0.118	0.275	197	0.946	0.638	0.329
16	0.029	0.010	0.40	158	0.071	0.045	0.300	198	0.788	0.677	0.297
17	0.011	0.010	0.318	159	0.139	0.101	0.447	199	0.603	0.429	0.500
24	0.031	0.025	0.652	161	0.090	0.091	0.687	200	0.549	0.383	0.457
25	0.044	0.054	0.395	162	0.154	0.125	0.784	201	0.393	0.316	0.645
26	0.036	0.014	0.325	163	0.118	0.034	0.490	202	0.362	0.239	0.351
27	0.013	0.010	0.481	164	0.092	0	0.887	203	0.290	0.239	0.267
28	0.008	0.010	0.583	165	0.087	0.062	0.74	204	0.144	0.130	0.595
36	0.021	0.024	0.50	174	0.086	0.068	0.73	205	0.155	0.150	0.689
37	0.070	0.166	0.50	175	0.159	0.085	0.482	206	1.226	0.643	0.575
38	0.136	0.101	0.34	176	0.044	0.042	0.70	207	1.152	0.725	0.466
39	0.015	0.016	0.393	177	0.110	0.073	0.824	208	0.862	0.626	0.488
40	0.005	0.007	0.31	178	0.126	0.078	0.528	209	0.673	0.580	0.371
48	0.036	0.037	0.626	185	1.056	0.747	0.658	210	0.689	0.445	0.562
49	0.057	0.015	0.510	186	0.923	0.577	0.372	211	0.476	0.414	0.629
50	0.101	0.091	0.835	187	0.580	0.479	0.341	212	0.412	0.463	0.440
51	0.026	0.008	0.470	188	0.616	0.538	0.833	213	0.251	0.208	0.588
52	0.012	0.015	0.848	189	0.631	0.371	0.898	214	0.259	0.143	0.696

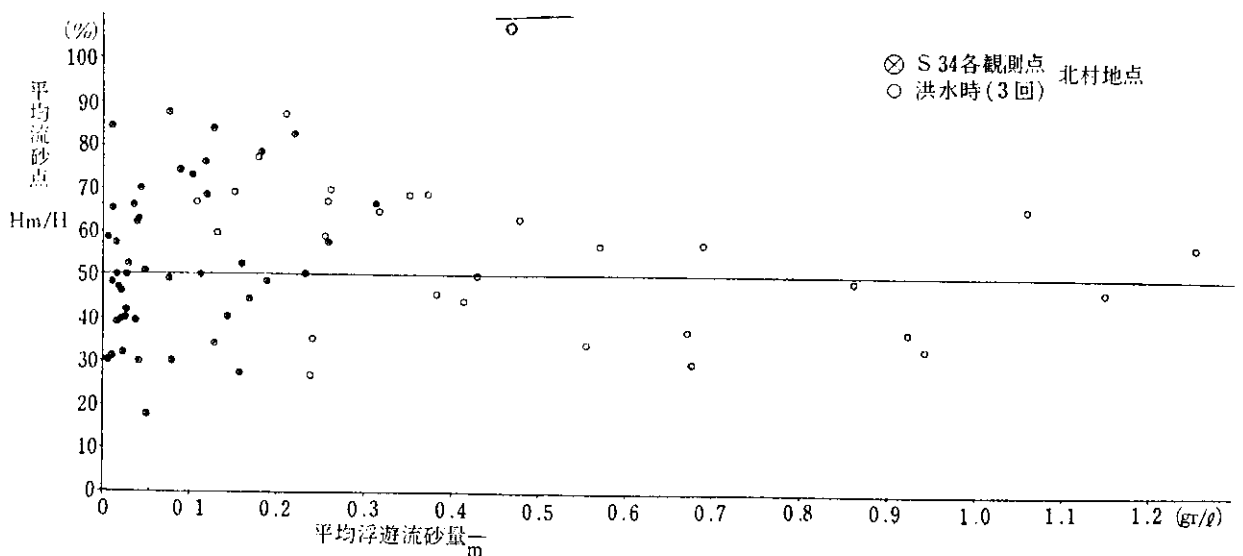


図-14 平均流砂点の位置

ここには北村地点における小洪水時の場合と昭和34年の各観測点における場合の例を載せた。これによると浮遊砂量が少ない場合はばらつきが大きく、平均流砂点は水深の何%と決定づけることはできない。これは低水位時などで濁りの少ない場合は、浮遊流砂が表面も底面もそれほど差がないためではないかと思われる。したがって水深のどの点から採取してもあまり大きな誤差はないものと思われる。浮遊流砂量が増大するにしたがって平均流砂点は水深のほぼ中央より採水すれば大体その測点の平均浮遊流砂量を知ることができよう。ただし断面

内における測点はできるだけ多くとることが好ましい。

8. 平均浮遊流砂量と表面浮遊流砂量との関係

洪水時などにおける浮遊流砂の採取が困難な場合、平均浮遊流砂量と表面浮遊流砂量との関係があらかじめわかっているならば、表面浮遊流砂の採取により近似的に断面全体の浮遊流砂量を知ることができる。これについても先に発表した、前節に述べたと同様の理由によりその後の調査により幾分訂正された。

石狩川における洪水時および昭和34年度の各観測点における実測値より、両者の関係を示すと表-9および

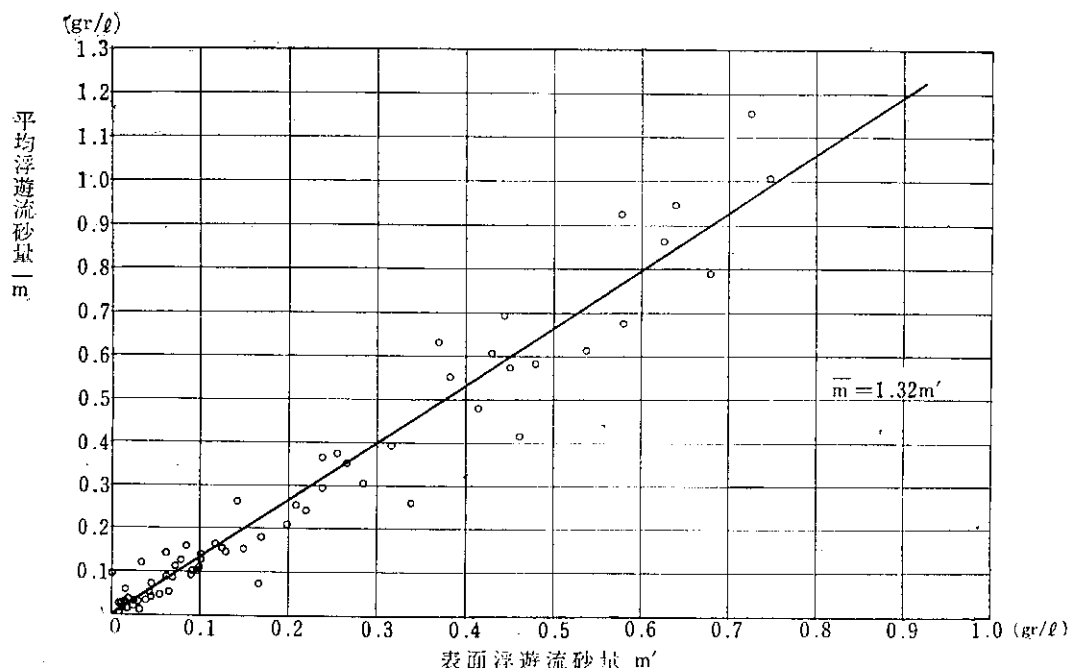


図-15 $\bar{m}$ と m' との関係

図-15 のとおりである。これより次式が得られる。

$$\bar{m} = 1.32 m' \quad (15)$$

ここに $\bar{m}$: 平均浮遊流砂量 (gr/l)

m' : 表面浮遊流砂量 (gr/l)

9. 河床構成材料

各観測点における河床材料を採取し、標準板篩により篩分けて各篩目に止った重量の百分率によって整理したものを、表-10に示す。このうちの1例を図示すると図-16のとおりである。また、河床材料平均粒径の距離的变化を整理すると表-11および図-17のとおりである。

図-16より河床砂礫混合状態の距離的变化をみると、上流旭川から深川付近までは

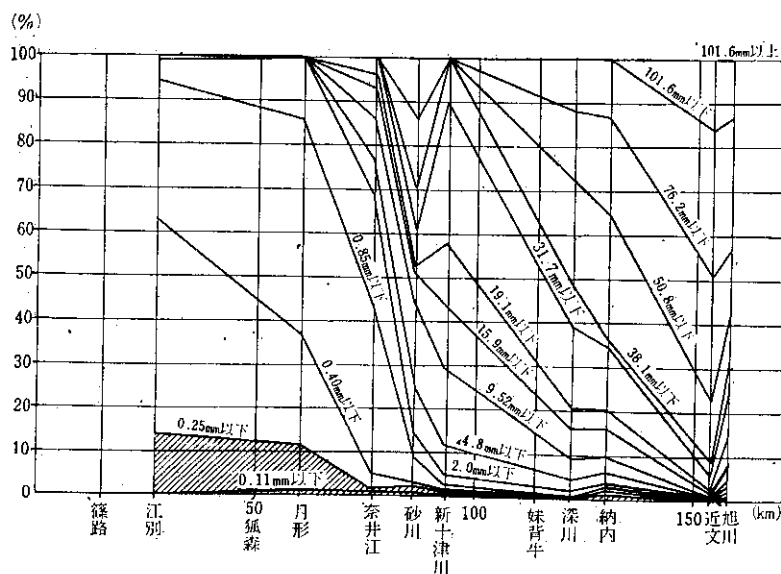


図-16 河床砂礫混合状態 (各篩目に止った試料の重量百分率) (昭和35年6月の例)

表-10 河床砂礫混合状態 (各篩に止った試料の重量百分率)

地 点	年 月	重 量 (kg)	平均 粒 径 (mm)	(0.0375) 0.075 以下	(0.0925) 0.075 ~0.11	(0.18) 0.11 ~0.25	(0.325) 0.25 ~0.40	(0.625) 0.40 ~0.85	(1.425) 0.85 ~2.0	(3.40) 2.0 ~4.8	(7.16) 4.8 ~9.52	(12.71) 9.52 ~15.90	(17.5) 15.90 ~19.10	(25.40) 19.10 ~31.70	(34.90) 31.70 ~38.10	(44.45) 38.10 ~50.80	(63.5) 50.8 ~76.2	(88.9) 76.2 ~101.6	101.6 以上
旭 川	S. 34	2,810	34.48	0.5	0.7	1.7	2.8	4.6	7.4	10.2	13.7	18.2	23.2	40.4	51.0	85.4	100.0		
	S. 35	12,786	63.96	0.13	0.22	0.64	1.09	1.94	3.36	4.92	7.93	11.63	15.06	25.19	32.23	42.37	56.76	86.40	100.01
	S. 35. 7	13,338	46.34	0.21	0.41	1.34	2.52	4.92	11.40	15.88	21.50	27.26	30.33	39.54	42.43	48.94	77.43	100.00	
	S. 35. 8	16,855	53.69	0.29	0.46	1.42	2.75	3.95	9.26	14.79	20.84	26.62	29.84	38.62	42.43	56.71	78.05		100.00
	"	15,054	50.72	0.18	0.29	0.89	1.73	3.09	6.54	12.07	16.97	21.63	24.92	33.36	36.77	48.66	80.21	88.25	100.01
近 文	S. 35. 10	15,219	38.53	0.51	0.79	2.03	3.23	5.33	9.41	12.58	17.14	22.63	27.68	43.16	47.80	70.48	91.86	99.99	
	S. 34	1,934	28.13	0.1	0.2	0.8	1.2	2.2	8.1	14.6	21.3	27.0	33.4	52.2	71.3	76.8	99.8		
	S. 35	12,605	76.19	0.14	0.22	0.32	0.35	0.37	0.44	0.59	0.89	1.74	2.74	5.82	8.70	24.25	50.75	84.78	100.01
	S. 35. 7	14,571	47.68	0.14	0.25	0.75	0.99	1.35	6.27	11.38	16.63	22.63	26.83	37.28	44.40	66.68	81.03	85.11	100.00
	S. 35. 8	14,532	60.78	0.17	0.25	0.59	0.84	1.20	6.37	12.77	18.01	23.65	26.44	35.13	39.51	51.75	60.01	80.65	99.97
納 内	"	14,983	40.35	0.22	0.34	0.92	1.15	1.43	4.77	16.36	22.94	30.63	35.17	47.72	56.56	65.50	78.31	100.00	
	S. 35. 10	14,736	52.82	0.21	0.33	1.02	1.34	1.74	4.95	10.41	16.76	22.97	27.18	36.44	40.63	50.54	75.51	88.27	100.01
	S. 34	2,333	28.99	0.3	0.6	2.9	5.6	9.6	12.6	17.1	26.2	34.9	38.9	57.1	63.6	83.4	100.1		
	S. 35	9,665	43.34	0.13	0.25	1.20	2.12	2.63	3.88	6.01	9.77	16.03	20.33	34.49	46.49	65.32	87.15	99.98	
	S. 35. 7	13,427	51.51	0.17	0.27	1.04	2.27	3.42	4.86	7.00	10.96	16.14	18.61	30.32	36.40	50.21	71.71	99.99	
深 川	S. 35. 8	15,236	25.98	0.23	0.34	1.06	3.80	8.68	18.10	25.99	35.41	45.24	51.00	63.27	68.99	96.29	95.85	100.02	
	"	12,280	35.19	0.42	0.66	4.67	6.87	10.38	13.43	18.25	27.64	36.84	41.84	56.23	59.67	68.99	86.09	100.02	
	S. 35. 9	13,774	42.58	0.35	0.57	1.87	4.10	6.80	8.88	11.62	15.42	18.80	20.80	29.89	39.16	53.83	100.0		
	S. 35. 10	13,368	39.28	0.43	0.65	1.93	3.82	6.98	9.65	13.20	19.61	27.12	31.97	41.61	46.20	62.36	93.33	100.00	
	S. 34	2,699	25.12	0.1	0.2	1.0	2.2	5.0	14.9	24.9	35.2	45.2	50.5	65.2	77.4	80.9	100.0		
川	S. 35	7,374	42.10	0.03	0.07	0.16	0.25	0.55	2.18	4.53	9.25	15.89	20.50	38.94	48.70	67.85	88.19	99.99	
	S. 35. 7	13,383	24.65	0.11	0.42	2.69	5.34	7.72	14.85	23.64	33.76	43.47	38.51	65.42	73.71	86.86	100.01		
	S. 35. 8	14,357	32.32	0.38	0.64	1.62	2.17	3.04	7.81	14.22	21.97	29.85	36.08	55.32	66.18	66.98	94.96	100.00	
	"	14,266	18.46	0.39	0.71	5.03	10.41	19.40	31.20	52.35	55.15	61.53	65.57	73.77	77.60	87.33	99.99		
	S. 35. 9	12,320	26.68	0.37	0.69	2.22	2.99	3.99	10.16	16.61	24.28	32.40	38.71	59.21	67.89	93.98	100.03		
雑 草	S. 35. 10	15,728	22.38	0.18	0.42	2.37	4.75	7.52	18.93	30.41	41.88	51.32	56.28	70.92	75.28	85.99	100.01		
	S. 34	1,777	32.80	0.3	0.6	2.1	3.7	5.8	8.3	10.6	14.7	19.1	27.4	49.2	58.4	83.8	100.1		

新	S. 34	2,115	25.23	0.4	0.8	1.3	1.8	2.9	5.9	9.9	16.5	26.5	33.1	62.7	82.7	99.9		
十	S. 35	4,967	17.51	0.12	0.32	1.06	1.62	2.45	4.83	11.57	28.88	43.50	57.92	90.29	99.99			
津	S. 35. 7	14,939	27.72	0.27	0.46	1.44	2.46	6.25	17.41	24.37	32.47	41.77	46.85	63.79	72.29	85.12	91.27	100.00
川	S. 35. 8	12,504	10.67	0.28	0.42	1.64	4.35	16.97	32.53	44.51	58.73	66.54	82.37	92.73	100.00			
	S. 35. 10	15,661	28.61	0.44	0.76	1.85	2.83	7.24	21.50	29.35	38.85	48.79	54.26	62.96	66.48	74.72	91.85	99.99
砂	S. 34	2,711	20.06	0.6	1.2	4.6	8.3	14.9	21.7	29.6	42.0	52.5	58.3	72.4	85.6	90.5	100.0	
	S. 35	8,736	24.30	0.30	0.73	2.87	5.22	9.18	14.43	25.57	44.47	51.01	52.60	60.89	70.57	86.14	100.22	
	S. 35. 7	14,154	21.46	0.26	0.46	1.87	6.50	20.43	33.90	49.05	62.78	67.35	68.49	70.69	74.67	79.14	93.32	100.01
	S. 35. 8	12,359	12.63	1.49	2.70	9.01	15.78	23.24	34.06	45.49	58.91	69.19	76.97	85.08	88.35	100.00		
	S. 35. 9	12,605	15.77	0.69	1.04	3.30	6.55	13.48	19.56	28.22	41.60	57.08	65.54	83.47	92.21	99.98		
	S. 35. 10	14,904	22.71	0.65	1.09	4.06	6.60	13.96	21.91	28.99	37.79	46.72	52.47	67.00	78.29	88.25	100.01	
奈	S. 34	2,502	9.48	0.2	0.6	2.9	4.7	9.5	28.1	45.6	63.8	78.9	88.3	96.1		100.0		
	S. 35	5,940	3.91	0.30	0.64	1.58	4.95	43.05	69.50	77.46	86.05	93.00	96.42	100.01				
	S. 35. 6	1,546	0.78	0.13	0.45	4.27	31.18	85.77	96.44	97.25	100.00							
	"	2,095	1.20	0.10	0.53	1.25	22.20	76.71	90.79	94.90	98.53	100.01						
	S. 35. 7	13,926		0.07	0.15	0.51	3.16	19.37	33.34	43.85	59.06	73.57	81.93	95.57	99.99			
井	S. 35. 8	14,799	10.99	0.05	0.10	0.49	5.98	19.66	27.01	36.52	53.56	71.30	85.59	91.77	99.64	100.00		
	"	12,505		0.13	0.23	0.62	2.67	6.87	31.58	56.12	75.56	89.76	94.58	98.55	100.00			
	S. 35. 9	11,889	9.15	0.19	0.32	0.87	3.85	21.05	30.13	44.48	62.77	78.54	87.46	97.39	98.99	100.02		
	S. 35. 10	11,764	7.61	0.19	0.37	0.86	2.96	14.10	38.78	61.73	78.22	84.99	88.42	94.06	97.38	100.00		
月	S. 34	1,726	0.47	3.0	8.2	35.7	55.7	93.8	100.0	100.1								
	S. 35. 6	683	0.62	0.29	0.88	11.57	36.90	85.66	99.72	100.01								
	S. 35. 10	13,582	6.72	0.25	0.74	2.97	7.62	22.60	40.18	58.68	74.66	86.68	91.85	99.16	100.00			
	"	12,772	6.68	0.22	0.48	2.57	9.41	24.83	43.32	59.56	75.04	86.21	91.71	98.52	100.01			
	S. 35. 11	11,213	8.12	0.17	0.17	2.39	7.31	23.36	37.99	53.51	68.67	79.70	86.01	98.72	100.00			
形	"	12,522	7.16	0.10	0.10	1.86	4.18	19.91	38.88	56.89	73.54	85.35	89.6	99.08	100.01			
江	S. 34	2,526	7.98	0.5	2.1	11.9	16.1	20.6	28.4	41.7	63.2	87.5	94.3	98.7	99.9			
	S. 35. 6	366	0.66		0.27	14.20	62.83	94.25	99.17	99.72	99.99							
	S. 35. 10	7,840	1.76	0.29	0.52	1.35	4.69	44.15	81.99	93.00	98.91	99.75	99.80	99.99				
别	"	6,454	1.19	0.28	0.84	3.07	11.96	71.92	92.71	96.66	98.86	99.50	99.72	100.00				
篠路	S. 34	1,431	0.96	0.3	1.0	8.3	48.2	88.7	96.0	97.4	98.1	98.8	99.2	100.0				

表-11 河床材料平均粒径 (mm)

年 月	旭 川	近 文	納 内	深 川	新十津川	砂 川	奈井江	月 形	江 別	篠 路
S. 34	34.5	28.1	29.0	25.1	25.2	20.1	9.5	0.5	8.0	1.0
S. 35. 6	64.0	76.2	43.3	42.1	17.5	24.3	3.9	0.6	0.7	
" 7	46.3	47.7	51.5	24.7	27.7	21.5	13.9			
" 8	53.7	60.8	26.0	32.3			11.0			
" 8	50.7	40.4	35.2	18.5	10.7	12.6	6.8			
" 9			42.6	26.7		15.8	9.2			
" 10	38.5	52.8	39.3	22.4	28.6	22.7	7.6	6.7	1.2	
" 11								8.1	1.8	
" 11								7.2		
平 均	47.9	51.0	38.2	27.4	21.9	19.5	8.8	4.6	2.9	1.0

約 90% 位までが粒径 10 mm の河床材料によって構成されているが、中流部新十津川から奈井江付近になるとやや平均化されて構成される。下流部月形付近以下になると逆に約 90% までが粒径 1 mm 以下の河床材料によって構成されている。

さて石狩川を流下する浮遊流砂量は河床材料と交換することなく、そのまま海まで運搬される、いわゆる wash load なのか、あるいはその一部が河床材料と交換されながら運ばれるのかを図-16 より推定してみる。われわれの調査によると石狩川下流部における浮遊流砂の最大粒径は約 0.25 mm 位であった。仮にこの値を全区間に採用すると大体図中斜線の部分が、その時の水理条件により浮遊されながら運ばれる粒子と考えられる。したがって石狩川を流下する浮遊流砂の一部は河床材料と交換されながら運搬されるものと推定される。

10. カルマン常数

開水路における抵抗法則として次式が成立する。

$$\frac{u_m}{u_*} = A_r - \frac{1}{K} + \frac{2.3}{K} \log_{10} \frac{R}{k_s} \quad (16)$$

ここに

u_m : 水路の平均流速

u_* : $\sqrt{gRI}$

R : 径 深

I : エネルギー勾配

K : カルマンの常数 (純水の場合 0.4)

A_r : 常 数 (粗面水路の場合 8.5)

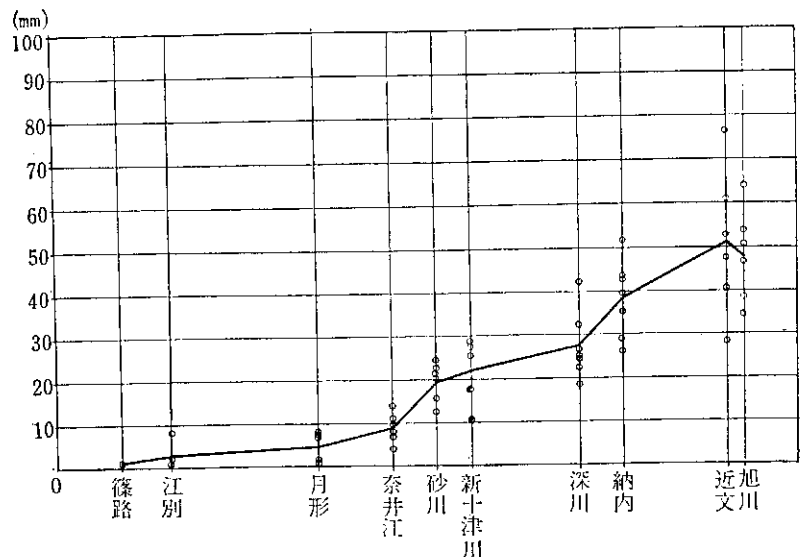


図-17 河床材料平均粒径の路離的变化

k_s : 相当粗度

(16) 式におけるカルマン常数 K は、純水の場合には 0.4 であるが土砂の流送がある場合は浮遊流砂の影響により濃度が増すにつれカルマン常数 K は減少するといわれている。Vanoni の研究によれば

$$\left(1 - \frac{\rho}{\sigma}\right) \frac{m \cdot c}{u_m \cdot I} \quad (17)$$

(17) 式と K との関係を図-18 のように示しており、また佐藤博士らの利根川における実測結果でもこれが実証されている²⁰⁾。

ここに

m : 平均浮遊流砂量

ρ : 水の密度

σ : 浮粒子の比重

c : 浮遊砂の沈降速度

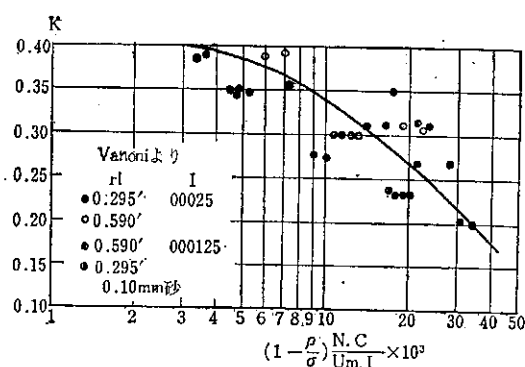


図-18 浮遊砂濃度と K との関係 (Vanoni)

図-18によると浮遊流砂量の増加とともに K の値は減少しているが、これは流水中に粒子を浮遊させるに必要なエネルギーが渦乱から奪われ、したがって浮遊流砂の存在によって流れにおける渦乱が減少して浮遊流砂量とともに乱流の規模が減少することを意味する。

石狩川は常に相当量の浮遊流砂を含んでいるので、カルマン常数として純水の場合における 0.4 を用いるのは厳密には正しくないと考えられる。そこで石狩川におけるカルマン常数がどのような値であるかを実測試料によって検討してみる。ここでは $\left(1 - \frac{\rho}{\sigma}\right) \frac{m \cdot c}{u_m \cdot I}$ を計算

表-12 Kármán 常数 K 計算書

(昭和 33, 34 年度, 小洪水時)

年月日	地点	u_m (m/sec)	I ($\times 10^{-4}$)	u_m/u_*	m (gr/l)	$a \left(\frac{m}{u_m \cdot I} \right)$ ($\times 10^3$)	K	$1/K$
S. 33. 10. 2 } S. 33. 10. 3	北村	0.94	4.02	10.99	1.095	13.36	0.31	3.22
		0.96	4.02	10.86	0.913	10.90	0.32	3.12
		1.00	4.60	10.12	0.580	5.81	0.38	2.63
		1.03	3.45	11.63	0.593	7.70	0.36	2.78
		1.02	3.45	11.10	0.364	4.64	0.39	2.56
		1.01	3.45	10.84	0.373	4.91	0.39	2.56
		0.97	3.45	10.79	0.197	2.73	0.40	2.50
		0.97	2.87	12.36	0.178	2.95	0.40	2.50
S. 34. 8. 27 } S. 34. 8. 29	北村	0.97	3.45	59.15	0.108	1.48	0.40	2.50
		0.95	4.60	41.30	0.257	2.71	0.40	2.50
		1.16	5.17	23.67	0.350	2.69	0.40	2.50
		1.21	5.75	18.33	0.567	3.76	0.40	2.50
		1.30	5.17	16.71	0.966	6.63	0.37	2.70
		1.17	5.17	15.38	0.791	6.03	0.38	2.63
		1.23	4.60	15.67	0.603	4.91	0.39	2.56
		1.22	4.60	15.60	0.556	4.57	0.39	2.56
		1.22	4.60	14.72	0.393	3.23	0.40	2.50
		1.24	4.02	15.88	0.367	3.40	0.40	2.50
		1.23	4.02	16.27	0.293	2.73	0.40	2.50
		1.04	4.02	20.35	0.144	1.59	0.40	2.50
		1.04	4.02	25.43	0.149	1.71	0.40	2.50
S. 34. 9. 7 } S. 34. 9. 8	北村	1.61	5.75	7.56	0.932	4.64	0.39	2.56
		1.64	6.32	7.28	1.024	4.55	0.39	2.56
		1.62	4.60	8.47	0.860	5.32	0.36	2.78
		1.56	4.60	8.32	0.682	4.38	0.39	2.56
		1.49	4.02	8.70	0.703	5.41	0.38	2.63
		1.47	4.02	10.08	0.494	3.85	0.40	2.50
		1.42	4.02	10.81	0.415	3.35	0.40	2.50
		1.29	3.45	11.54	0.258	2.67	0.40	2.50
		1.15	3.45	12.03	0.242	2.81	0.40	2.50

し、Vanoniによって示された図-18を用いて K を求めた。

濁りの大きい小洪水時における実測値（北村地点）を用いて図-18よりカルマン常数を求めると表-12のとおりである。

これによると時間の経過すなわち水位の上昇ピーク、減少にともないカルマン常数 K は0.4より減少し、あるところまでゆくと再び増加して0.4に復するようである。これは濁度の変化につれ K もそれにともなって変化することを意味する。 K は m あるいは $\frac{u_m}{u_*}$ と単純な関係で表わすことはできないが、一応の目安を簡略に見つけるために K と浮遊流砂量 m および $\frac{1}{K}$ と $\frac{u_m}{u_*}$ との関係を図示すると図-19および図-20のとおりである。

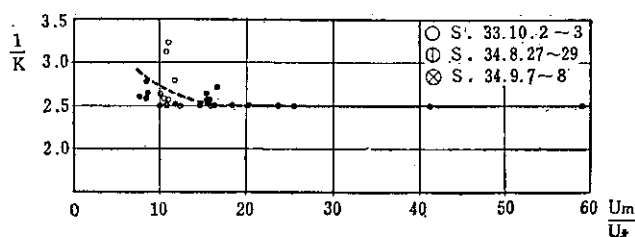


図-20 カルマン常数と $\frac{u_m}{u_*}$ の関係

図-19によると濁度が0.4 g/lより小なる時は K 純水の場合と同じく0.4と考えてさしつかえないようであるが、濁度が0.4 g/lより大きくなると K は減少するようである。また図-20によると $\frac{u_m}{u_*}$ が20より小なる時は K は0.4より減少するが、20より大なる時は K は純水の場合と同じく0.4と考えてよいようである。石狩川の各地点における種々の水量の時のカルマン常数 K を計算したところ、旭川から奈井江付近までは浮遊流砂量は0.4 gr/lに達することがなく、したがって K はすべて0.4であった。奈井江より下流部では幾分 K が0.4より減少する場合があったが大部分は0.4であった。したがって石狩川のカルマン常数については、洪水時における水位の上昇時を除いては純水の場合と同様0.4を使用してもそう大きな誤差はないと考えられる。

あとがき

昭和30年から35年までの6年間にわたり石狩川の浮遊流砂について調査を行ない、これらの試料を用いて一応まとめてみたが、必ずしも満足すべきものではなかった。たとえば水位～流量あるいは流量～流泥量曲線にしても、一応本流の各地点においては作成したが、なかに

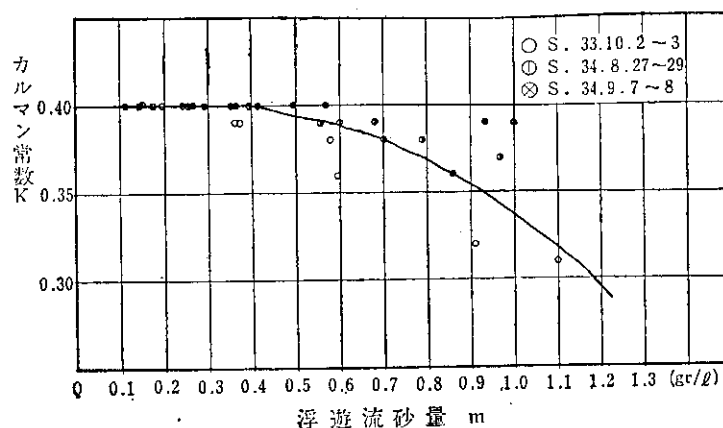


図-19 カルマン常数と濁度の関係

は曲線式で表わして妥当かどうか疑問の残るものもあり、また支流については試料不足とばらつきが大きく曲線式の作成を断念した。しかし今後どなたかさらに調査をされた場合や、石狩川における観測試料を必要とされる方の参考のために、実測試料のすべてをここに掲載しておいた。よろしく取捨選択の上御使用され幾分なりともお役に立てれば幸甚のいたりである。終りに本調査に種々の御便宜と御協力を戴いた石狩川治水事務所妹背牛、新十津川、奈井江、月形各事業所長および職員各位、資料の蒐集に御協力下された旭川開発建設部治水課、石狩川治水事務所調査課の各担当官、ならびに現地調査、試料の集計整理などを担当した当研究室宮田技術員に厚く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 石原藤次郎編：応用水理学一中 I (1958).
- 2) 古谷浩三・村木義男：石狩川の流泥量調査に関する報告（その1）—融雪期における石狩川の流量および流泥量—土木試験所報告，第6号（1950）.
- 3) 菅谷重二・棟方一彦：河川の横断面における浮泥量の分布と平均浮泥量が現われる位置の決定，農業物理研究所報告，水害の総合的研究，第2輯，（1950）.
- 4) 菅谷重二・村木義男・棟方一彦：石狩川における融雪期の運搬物質とその流出源について，農業物理研究所報告，水害の総合的研究，第2輯（1950）.
- 5) 八鍬 功：石狩川の浮泥について，技術資料第11号（1955）.
- 6) 古谷浩三・服部博：石狩川の浮遊流砂について，その1），土木試験所報告，第20号（1959）.
- 7) 服部博・宮田巖：石狩川の浮遊流砂について（その2），土木試験所月報，第68号（1959）.
- 8) 服部博・宮田巖：石狩川の浮遊流砂について（その3），土木試験所月報，第79号（1960）.

- 9) 村木義男：取付簡易なサイフォン式自記水位計について，土木学会北海道支部，技術資料，第9号，(1956).
- 10) 服部博・上居洋勇：自然河川における平均流速測定法の比較について，第4回開発局技術研究発表会 (1961).
- 11) 安芸皎一：流速測定法 (1954).
- 12) 春日屋伸昌：平均値法による流量算定式について土木学会誌，第38巻，第7号 (1953).
- 13) 佐藤清一・吉川秀夫・芦田和男：河川の土砂流送に関する研究，土木研究所報告，第101号 (1959).
- 14) 吉川秀夫：洪水時の河川浮遊流砂量の変化について建設省土木研究所報告，第87号 (1954).
- 15) 堂腰 純：十勝川水系の流送浮泥と流域との関連について，北海道総合開発委員会事務局 (1954).
- 16) 前出 14).
- 17) 吉川秀夫：浮遊流砂に関する二，三の考察，建設省土木研究所報告，第83号の2 (1952).
- 18) 永井荘七郎：流砂に関する研究 (第3編)，土木学会誌，第30巻，第2号 (1944).
- 19) 前出 6).
- 20) 前出 13).