

河川からの流出土砂量 (最終報告)

土屋昭彦・星畑国松・本間勝一・本間久枝

建設省土木研究所河川研究室

Estimation of Sediment Discharge Through Rivers (Final Report)

By

Akihiko Tsuchiya, Kunimatsu Hoshihata, Katsuichi Homma and Hisae Homma

Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Tokyo

Abstract

This paper describes the calculating methods and results of the estimation of river sediment discharges for the rivers Jōganji, Kurobe, Hayatsuki, Katakai, Ogawa, Jinzu, Shō and Oyabe which flow into Toyama Bay.

The bed load is calculated by the Sato-Kikkawa-Ashida formula, and the suspended load is obtained by the Laursen's formula using the data of discharge for the periods of 5-10 years.

The total mean of annual bed load discharges is calculated to be 1,077,000 m³/year. The mean of annual sediment discharges supplied by rivers which are closely related to the coastal sand drift is estimated to be 1,242,000 m³/year.

1. まえがき

富山湾海岸侵食の原因の一つとして、河川改修や砂防工事の進ちょく、或は河川の砂利採取に伴う流出土砂量の減少が考えられている。本調査では、富山湾に流入する河川のうち常願寺川、黒部川、庄川、小矢部川、神通川、早月川、片貝川、小川の8河川について、河川からの流出土砂量を推定することを目的としている。45年度の調査報告では、流出土砂量の推定方法に対する考察と常願寺川、黒部川における掃流土砂量について報告したが、今回は上記2河川も含めて掃流及び浮流砂量の推定、並びにその粒度分布について計算した結果を報告する。

2. 流出土砂量の算定について

前回にも述べたように、流出土砂量の推定は、河川の縦横断測量と、河床材料の粒度分布、及び流量資料とから計算により年平均流出土砂量を推定する方法をとった。

掃流砂量の算出には佐藤、吉川、芦田公式を用い、浮流砂量の算出はLaursen公式を用いた。

$$Q_B = \frac{B \cdot \varphi \cdot F \cdot \bar{U}_*^3}{(\sigma/\rho - 1)g} \quad (1)$$

$$\varphi = 0.623 \quad n \geq 0.025$$

$$\varphi = 0.623 (40n)^{-3.5} \quad n \leq 0.025$$

ここに、 Q_B ：単位時間当りの掃流砂量、 σ, ρ ：河床粒子及び水の密度、 G ：重力の加速度、 F ： τ_0/τ_c (掃流力と限界掃流力の比)により定まる値、 \bar{u}_* ：流れの摩擦速度、 B ：水面幅

$$Q_s = \frac{Q}{2.65 \varphi (\sigma/\rho - 1)} \left(\frac{d}{h_0}\right)^{1/6} \left(\frac{\tau'_0}{\tau_c} - \frac{\tau_c}{\tau_0}\right) f \cdot l$$

$$\tau'_0 = 0.017 \cdot U^2 \left(\frac{d}{h_0}\right)^{1/2} \quad (\text{cm-sec 単位})$$

$$\tau_0 = \rho \bar{U}_*^2$$

ここに、 Q_s ：単位時間当り浮流砂量、 Q ：流量、 σ, ρ ：粒子及び水の密度、 l ：エネルギーこう配 φ ：限界掃流力公式の係数 (≈ 0.05) d ：河床材料の平均粒径、 h_0 ：水深、 τ_0 ：流れの掃流力、 τ_c ：河床材料の限界掃流力、 $f = \bar{u}_*/w_0$ の関数、 v ：平均流速。

表1-1 早月川流量流下時間

単位:時間

年	代表流量				
	40m ³ /s	60	85	125	175
年範囲	30~50	50~70	70~100	100~150	150~200
S34	232.0	28.8	16.0		
35					
36	52.04	23.8	24.2		
37	47.77	20.2			
38	33.60				
39	45.30	190.6	114.3	220.2	72.3
40	70.91	276.1	63.7	2.6	
41	70.60	120.2	27.2	5.8	1.7
42	44.27	9.0	2.7	1.0	
43	77.7	3.7			
平均	395.46	67.19	24.81	22.96	7.40

表1-3 小川流量流下時間

単位:時間

年	代表流量			
	25m ³ /s	45	65	85
年範囲	15~35	35~55	55~75	75~95
S34	26.9	2.8	3.0	0.9
35	16.6			
36	44.9	12.9	10.5	0.9
37	125.2			
38	169.7			
39	200.2	20.4		
40	101.3	17.8	28	0.9
41	171.8	46.8		
42	140.4	1.7		
43	24.7			
平均	102.11	102.4	1.63	0.3

表1-2 片貝川流量流下時間

単位:時間

年	代表流量									
	35m ³ /s	55m ³ /s	75m ³ /s	90m ³ /s	125m ³ /s	166.09	186.01	250.22	324.01	500.84
年範囲	25~45	45~65	65~80	80~100	100~150					
S34	68.11									
35										
36	339.59	172.01	453.1	434.1	19.86					
37	313.50	229.6	215.0							
38	722.07	73.12	235.3	214.0	48.77					
39	5244.6	207.59	70.78	51.17						
40	440.28	98.29	6.48	14.29	15.85	2.0				
41	211.86	71.44	283.7	6.45	5.85		1.0		2.0	1.0
42	136.09	5.90	38.5	0.96	2.18			1.0		
43	117.50	2.62								
平均	237.85	65.39	199.8	13.77	9.20	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1

表1-4 神通川流量流下時間

単位:時間

年	代表流量							
	200m ³ /s	400m ³ /s	750m ³ /s	1250m ³ /s	1750m ³ /s	2500m ³ /s	3500m ³ /s	
S34	5960.0	1149.1	402.3	16.3	12.5	8.0		
35	512.29	472.2	72.1	5.5	2.0	3.0		
36	4904.8	1275.5	301.9	70.0	22.0	27.8	4.6	
37	2205.0	1075.8	277.0	18.3	13.2	9.2		
38	3014.4	1712.9	616.0	66.0	9.1	9.7		
39	4143.4	714.6	466.2	32.4	33.6	29.8	5.4	
40	4455.8	326.2	300.1	96.8	40.7	22.1	2.7	
41	5130.0	792.4	178.5	20.4				
平均	4367.0	1002.3	325.5	47.0	16.6	13.7	1.6	

表1-5 庄川流量流下時間

単位:時間

代表流量 年	75m ³ /s	150m ³ /s	300m ³ /s	500m ³ /s	800m ³ /s	1250m ³ /s
S 34	1495.8	1688.6	575.2	63.8	33.1	19.4
35	2790.9	889.9	145.6	16.6	17.7	24.5
36	2970.7	1828.9	302.2	74.5	55.0	6.2
37	3301.4	797.7	72.2			
38	2915.7	1005.63	227.9			
39	3132.9	256.2	107.3			
40	4058.2	374.1	109.6	46.8	22.6	
41	5004.4	862.3	52.4	43.2	36.5	9.3
平均	3208.8	962.9	200.3	30.6	20.6	7.4

表1-6 小矢部川流量流下時間

単位:時間

代表流量 年	75m ³ /s	125m ³ /s	175m ³ /s	250m ³ /s	400m ³ /s	600m ³ /s	850m ³ /s	1150m ³ /s
S 34	3064.28	6740.9	725.2	1366.9	907.1			
35	4406.84	419.17	82.3	8.85				
36	4540.3	473.2	119.8	63.0	59.8	1.75		
37	2877.98	4796.0	443.4	277.8	19.18			
38	1411.50	790.4	325.6	86.6	32.6	6.0	49.8	7.15
39	2674.87	508.4	930.6	76.2	32.2	15.5	13.6	8.24
40	2943.6	619.0	89.3	61.7	60.5	15.0	6.1	4.53
41	3655.72	560.32	932.4	461.5				
平均	3196.89	565.52	1150.2	633.7	368.7	4.78	30.9	2.49

(1)及び(2)式を用いる場合に \bar{U}_* は $\bar{U}_* = \sqrt{ghT}$ の関係より平均水深とエネルギーこう配から算出される。従って各河川について流量を変化させて不等流計算を行いこれを求めた。この場合、各年の流出記録から、代表流量のクラス分けを表1の様に定めた。なおこれらの流砂量は、空隙のないものとしての量であるから、これが堆積する場合の容積は空隙分だけ増大する。

3. 早月川の流出土砂量

図1は早月川の河床縦断面であり河口から上流まで約1/50の様なこう配となっている。従って流れは射流と考えられるので、水面形は等流計算で

求めた。なお、断面特性は井田の方法により断面補正を施した。河床の粒度構成は図2のごとくであり、流出計算は表2の様な区分で行った。図3は、10年間の流量資料から求めた流砂量を年平均として求めたもので、河口付近の流砂量としては、掃流砂量は約8万m³/年、浮遊砂が約30万m³/年と推定される。河口付近における流出土砂量の粒度構成は掃流砂については図4に、浮遊砂については図5に示す如くで、掃流砂については2.1.2mm以下の粒径のものがその大部分を占める。浮遊砂については0.6mm以下のものが殆んどであり、海岸の粒度構成から考えると浮遊砂はそのまま沖に流出するものとしてよさそうである。

4. 片貝川の流出土砂量

片貝川の河床縦断及び河床材料分布を図6, 7に示す。片貝川は下流部が1/150, 上流部が1/65のこう配であり, 早月川と同様に水面計算は等流計算によった。年平均流砂量は図8に示すごとくで, 河口部での流出土砂量としては, 掃流砂が3,500m³/年, 浮遊砂が9,000m³/年と推定される。

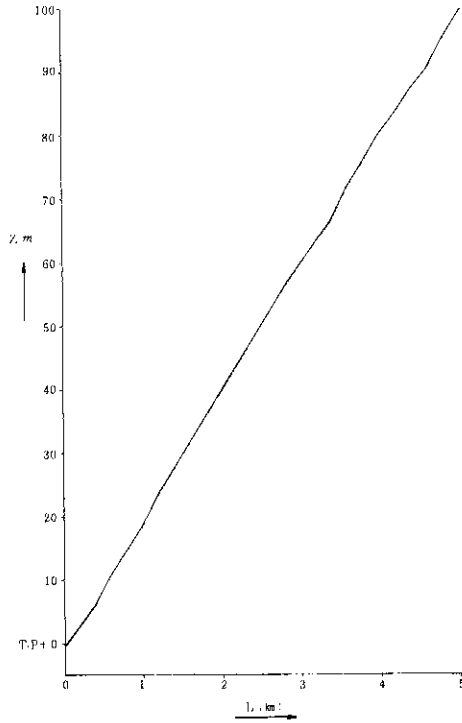


図1 早月川最低河床高

5. 小川の流出土砂量

小川の河床縦断及び粒度分布を図9, 10に示す。縦断こう配は下流部が1/120で上流部は1/85程度である。10年間の平均年間流砂量は図11の如くであり河口部1km区間ではほぼ一様の流出土砂量となっている。これより年平均の流出土砂量は, 掃流砂が1,500m³/年, 浮流砂が8,000m³/年程度と推定される。

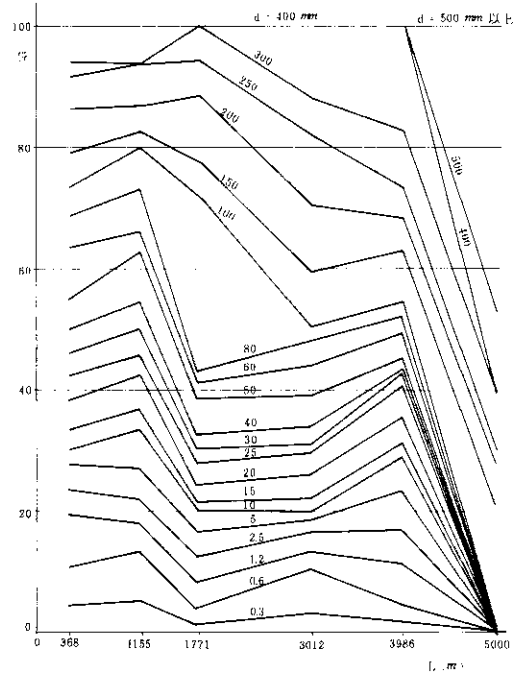


図2 早月川粒度分布

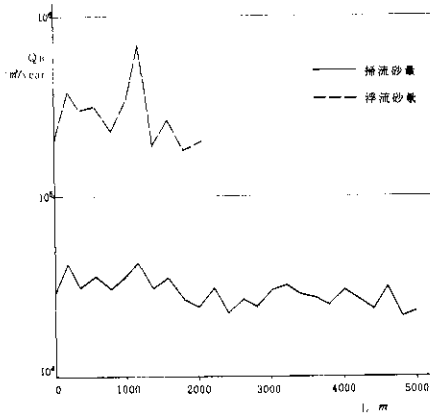


図3 早月川年平均流砂量縦断分布図

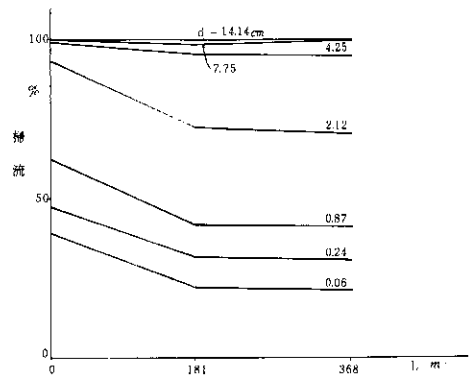


図4 早月川掃流砂量粒度分布

表 2-1 小川, 片貝川粒径範囲

代表 粒度	0.06	0.24	1.00	2.45	4.25	7.75	12.25	19.35
範囲	0.03 0.12	0.12 0.50	0.5 2.0	2.0 8.0	3.0 6.0	6.0 10.0	10.0 15.0	15.0 25.0

表 2-3 神通川, 小矢部川, 庄川粒径範囲

代表 粒径	0.015	0.021	0.042	0.064	0.106	0.354	0.707	1.414
範囲	0.015 0.015	0.03 0.03	0.08 0.08	0.12 0.12	0.25 0.25	0.5 0.5	1.0 1.0	2.0 2.0

表 2-2 早月川, 粒径範囲

代表 粒度	0.06	0.24	0.84	2.12	4.25	7.75	14.14	28.28
範囲	0.03 0.12	0.12 0.50	0.5 1.5	1.5 3.0	3.0 6.0	6.0 10.0	10.0 20.0	20.0 40.0

代表 粒度	2.449	3.47	4.48	5.48	6.93	8.95	14.14	24.49	34.6
範囲	2.0 3.0	3.0 4.0	4.0 5.0	5.0 6.0	6.0 8.0	8.0 10.0	10.0 20.0	20.0 30.0	30.0 40.0

表 2-4 黒部川粒径範囲

代表 粒径	0.010	0.012	0.030	0.085	0.173	0.354	0.707	1.414	2.828	4.899	6.928	10.954	17.320	22.361
範囲	0.01 0.01	0.01 0.015	0.015 0.06	0.06 0.12	0.12 0.25	0.25 0.50	0.5 1.0	1.0 2.0	2.0 4.0	4.0 6.0	6.0 8.0	8.0 15.0	15.0 20.0	20.0 25.0

表 2-5 常願寺川粒径範囲

代表粒径	0.010	0.012	0.030	0.085	0.173	0.354	0.707	1.414	2.449	3.464	4.472	5.477	6.928	8.944	14.142
範囲	0.01 0.01	0.01 0.015	0.015 0.06	0.06 0.12	0.12 0.25	0.25 0.50	0.5 1.0	1.0 2.0	2.0 3.0	3.0 4.0	4.0 5.0	5.0 6.0	6.0 8.0	8.0 10.0	10.0 20.0

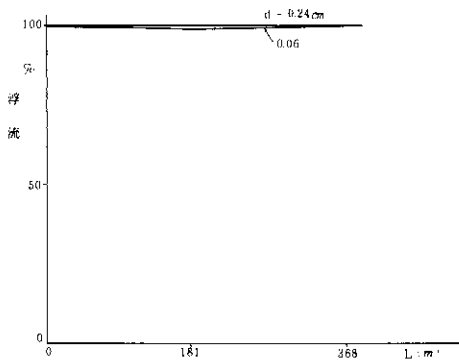


図 5 早月川浮流砂量粒度分布

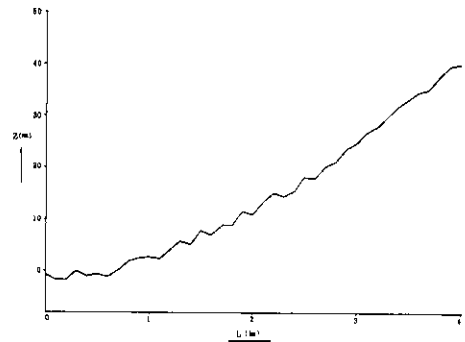


図 6 片貝川最低河床高

図7 片貝川粒度分布図

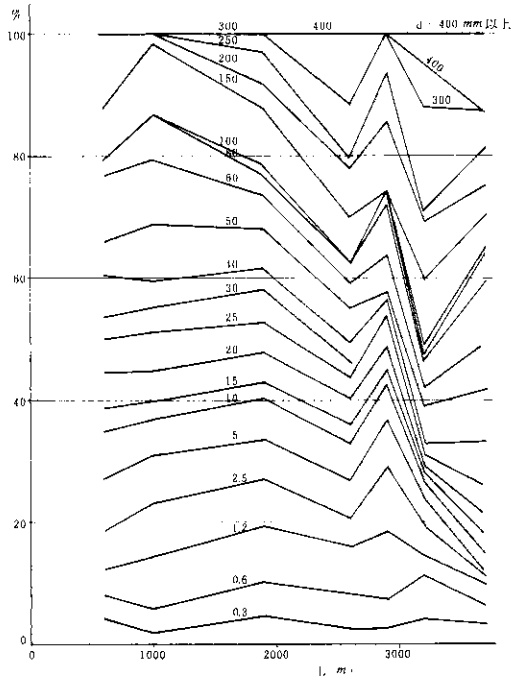


図7 片貝川粒度分布図

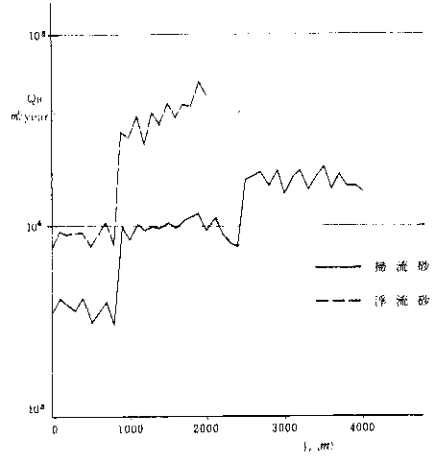


図8 片貝川年平均流砂量横断分布図

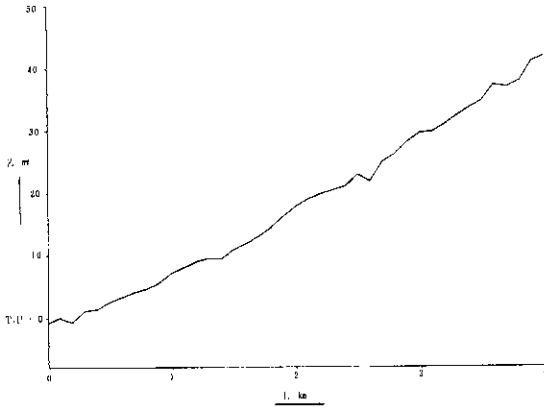


図9 小川最低河床高

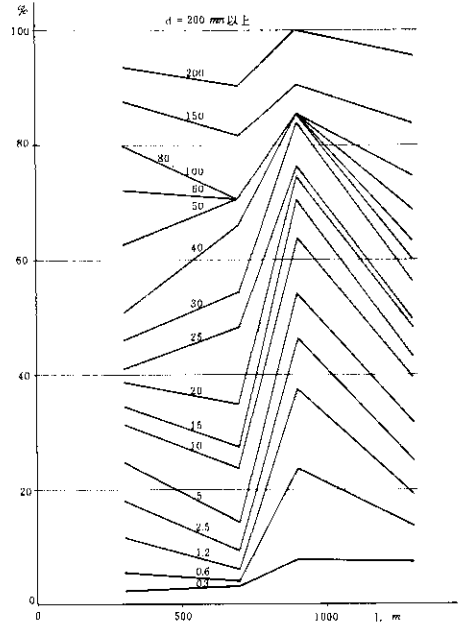


図10 小川粒度分布

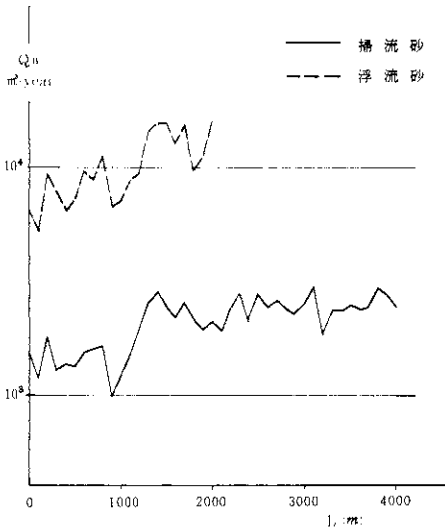


図 1.1 小川年平均流砂量

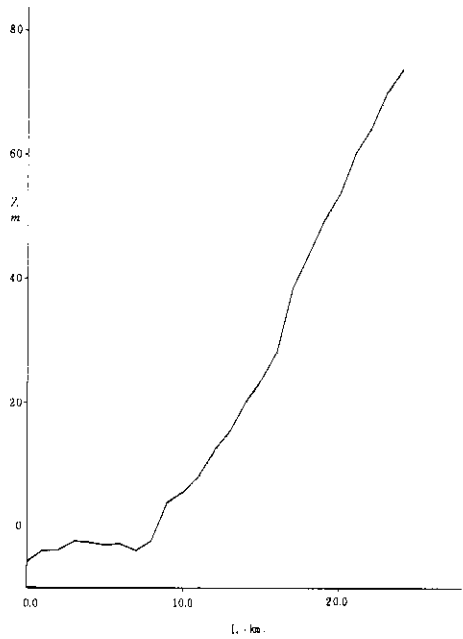


図 1.2 神通川最低河床高

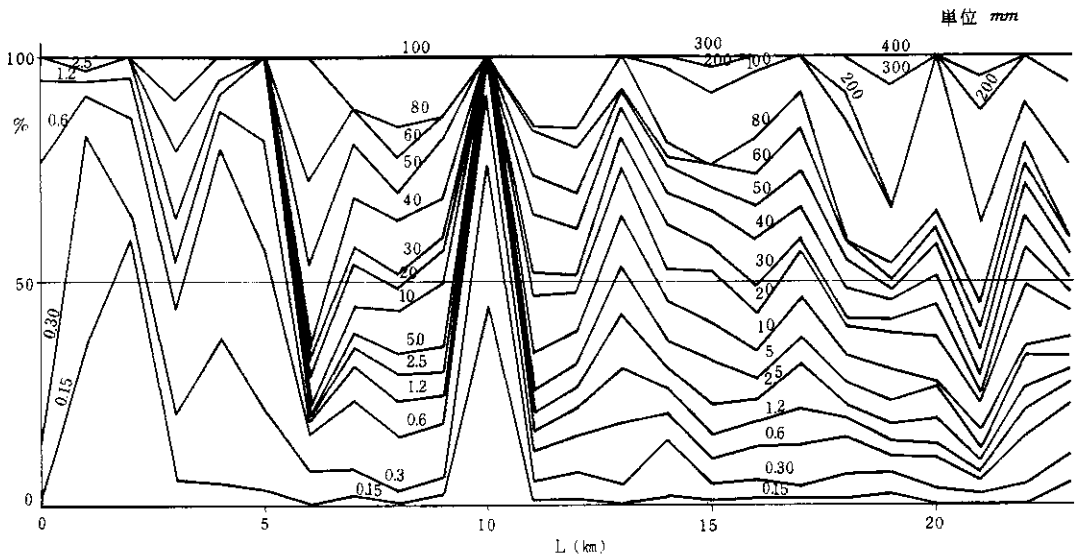


図 1.3 神通川粒度分布図

6. 神通川の流出土砂量

神通川の流域面積は2.718km²で富山湾に流入する河川のうちではもつとも大規模な河川である。その河床縦断は図12に、粒度分布は図13に示すが、河口より6km付近まではこう配もゆるく1/1200位である。1.2km位から約1/200と急流河川となり、ほぼ一定のこう配を示す。河床材料も6km付近までは1mm以下の砂であるが、これより上流ではれきの多い砂利河川となる。

10年間の流量資料より求めた流砂量の年平均流砂量分布は図14に示すごとくで、掃流砂量は河口より6km位まではほぼ一定で $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{年}$ 程度であるが、これより上流部では次第に増加し、1.0kmより上流ではまたほぼ一様となる。これは河床の縦断形状と対応したもので5~1.0km区間に相当な土砂の堆積を生ずることを示している。河口部での浮流砂量は $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{年}$ 程度である。

河口付近の掃流砂及び浮流砂の粒度構成は図15, 16に示す様に0.4mm以下のものが大部分を占めておりかなり細かい。浮流砂の50%は0.2mm以上の粒径のものでありこの程度のもが河口部付近に堆積するものとすれば、その量は $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{年}$ 程度となる。

7. 庄川の流出土砂量

庄川の流域面積は1.182km²で神通川に次いで大きな河川である。その河床縦断は神通川と似ており、河口部は1/1000程度であるが1.3km位から上流は約1/200のほぼ一様な急こう配となる。河床材料の縦断分布は図18のごとく河口部でも平均粒径が2mm程度で富山湾西部に流入する神通川、庄川、小矢部川3川のうちでもつとも粗い粒度を示している。

庄川の年平均流出土砂量は図19に示すごとくで0.2, 0.4km付近の流砂量が少ないのは河幅が広がっていることによる。河口部での平均的な流出土砂量は、掃流砂量が $2.000 \text{ m}^3/\text{年}$ 、浮流砂が $1.000 \text{ m}^3/\text{年}$ 程度と推定される。

8. 小矢部川の流出土砂量

小矢部川は富山湾への流入河川のうちでもつともこう配のゆるい緩流河川で河口より1.0kmまでは1/1500~1/3000程度である。また河口には伏木港があり、河口部では-1.5m, 0.6kmで-1.1mと深くしゅんせつされている。このため、河川

の流出土砂は、この深くなった河口部に落ち込む形で堆積すると考えられる。図21は、河床材料の粒度分布を示す。6km位までは砂河川であるがこれより上流で急に変化し、平均粒径2.0mm程度となる。

流送土砂量の縦断分布を図22に示すが1.2kmより下流では流砂量が急激に低下し、掃流、浮流とも0に近くなる。従って河口から湾への流入土砂はwash loadを除いて殆んどないものと考えられる。

9. 常願寺川、黒部川の浮遊砂量と粒度分布

常願寺川、黒部川での浮遊砂量の影響をみるために、0.0km~2.0kmの区間について粒径別の計算を行った。期間は、掃流砂と同様常願寺川が昭和37~41年、黒部川が昭和35年~41年をとった。計算結果を図23, 24に示すが常願寺川では約15,000m³、黒部川では0.0kmで200万m³、2.0kmで6,000万m³と急激に増加している。掃流砂の傾向から判断すると黒部川の浮遊砂量は6,000万m³を採用すべきであろう。

流出土砂の粒度分布は図25~28に示すが常願寺川では、1mm以下の砂が大部分であり、浮遊砂の粒径も0.3mm程度で掃流砂とあまり変わらない。黒部川の掃流砂の平均粒径は1.0~2.0mm程度であるのに対し、浮遊砂の粒径は0.1mm以下で非常に細かく、沿岸漂砂に容与する流砂源とはなり得ないものと考えられる。

10. 洪水時における流出土砂量

河口部での流出土砂は、平水時にはせき上げ背水となるため比較的少なく、高水時には低下背水となるため上流部に比べて多くなる性質がある。また、各河川における流出土砂量は過去10年間程度の実測流量資料から求めたものであってあまり大流量のものは含まれていない。従って、特に大出水のさいの流出土砂量は把握しておくことは上記計算結果を評価する上でも重要なことである。

そこで、常願寺川および黒部川について、44年8月洪水の記録を用い、河床変動計算により河口から海への流出土砂量(掃流砂のみ)の推定を行った。

10.1 常願寺川における流出土砂量

常願寺川流域は8月7日朝から降雨が始まり、11日には千寿ヶ原で最大時間降雨59mm/hrを

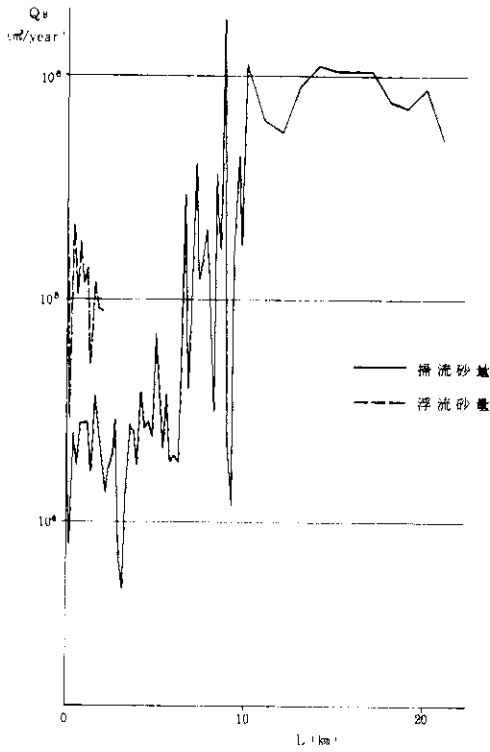


図 14 神通川年平均流砂量縦断分布図

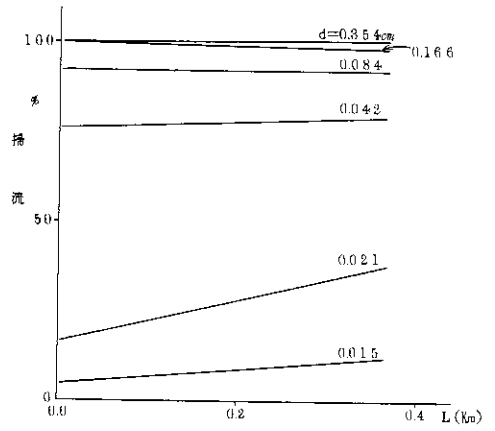


図 15 神通川掃流砂量粒度分布

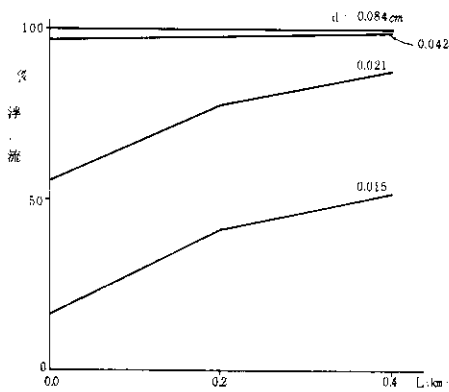


図 16 神通川浮流砂量粒度分布

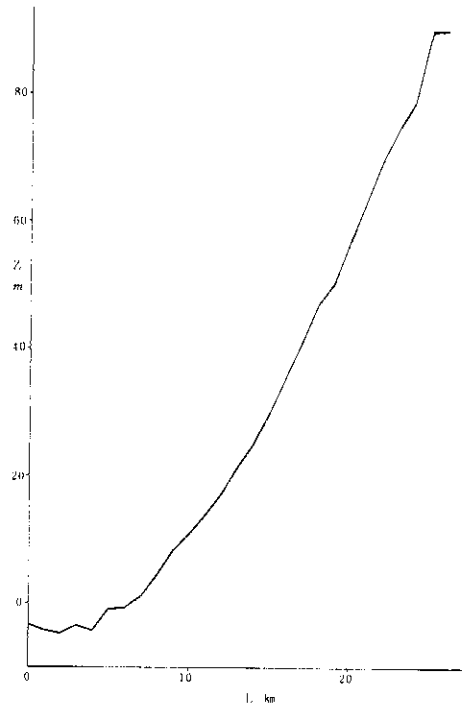


図 17 庄川最低河床高

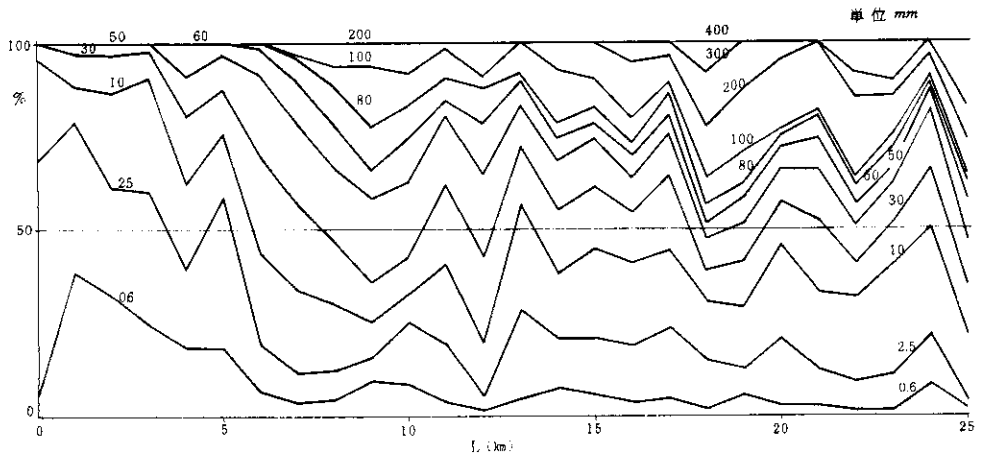


図 18 庄川粒度分布図

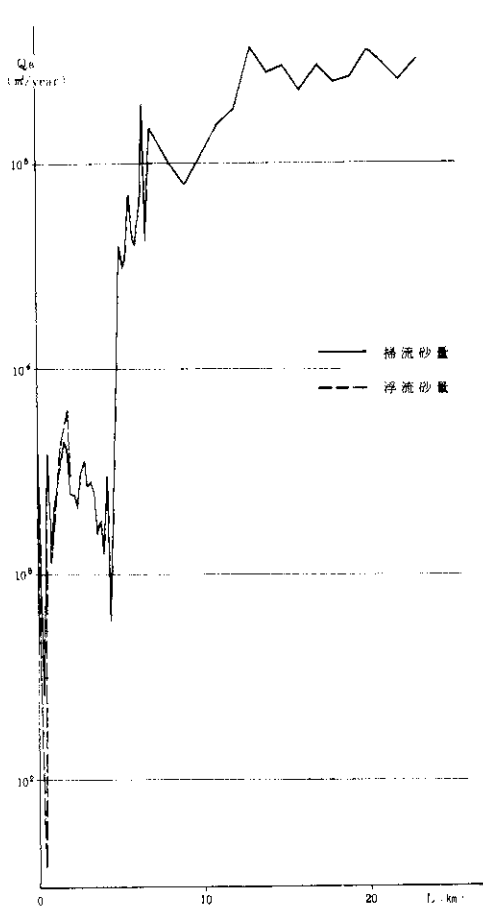


図 19 庄川年平均流砂量縦断分布図

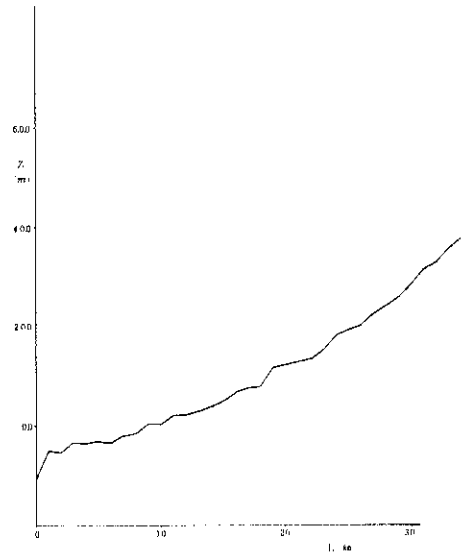


図 20 小矢部川最低河床高

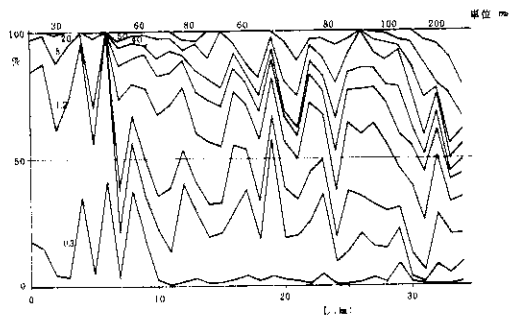


図 21 小矢部川粒度分布図

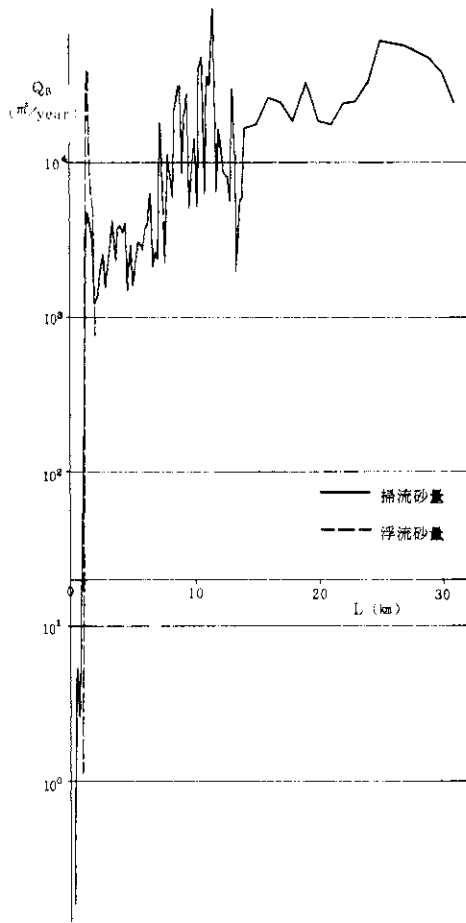


図 2 2 小矢部川年平均流砂量縦断分布図

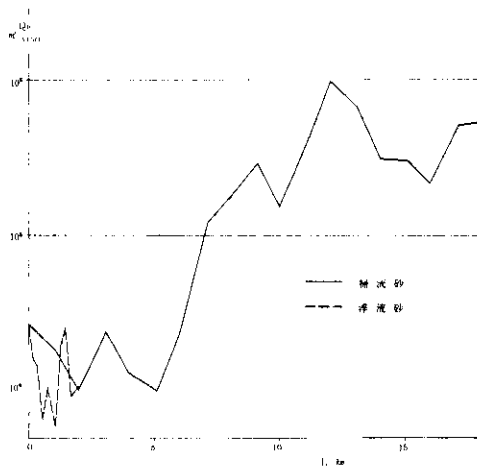


図 2 3 常願寺川年平均流砂量縦断分布図

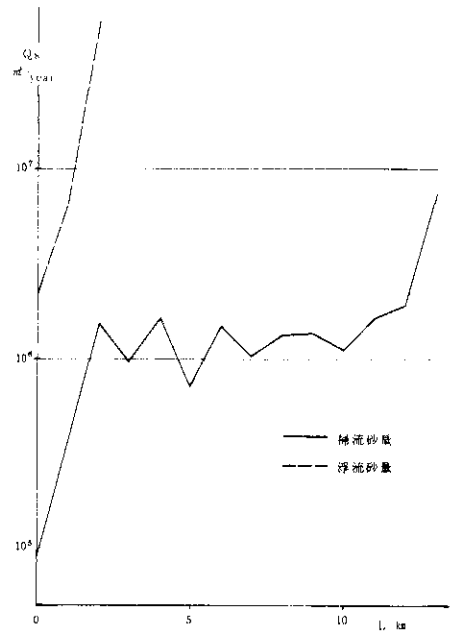


図 2 4 黒部川年平均流砂量縦断分布図

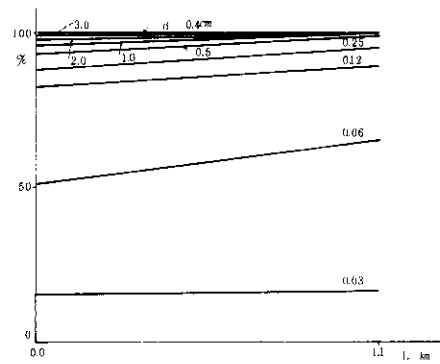


図 2 5 常願寺川掃流砂量粒度分布

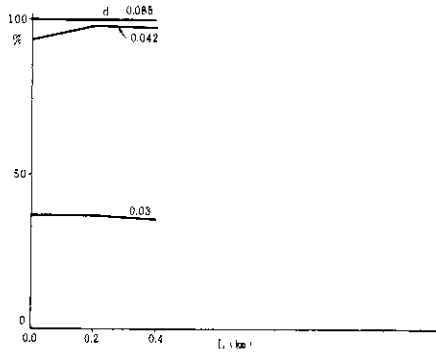


図 26 常願寺川浮流砂量粒度分布

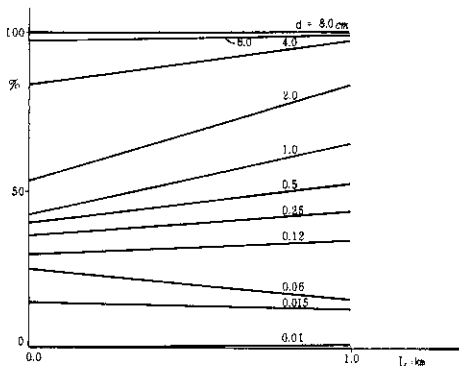


図 27 黒部川掃流砂量粒度分布

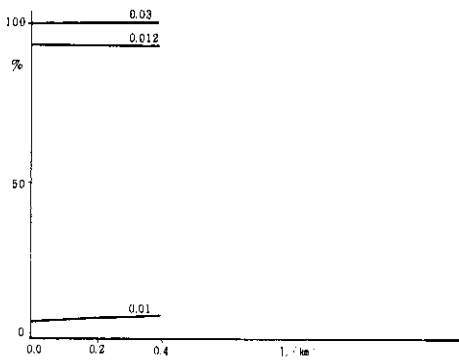


図 28 黒部川浮流砂量粒度分布

表-3 年平均流出土砂量 (m³/year)

河川名	掃流砂	浮流砂	海岸漂砂に寄与する流砂量
黒部川	1,000,000	60,000,000	1,000,000
常願寺川	20,000	15,000	85,000
小川	1,500	8,000	1,500
早月川	80,000	300,000	30,000
片貝川	35,000	9,000	35,000
神通川	20,000	150,000	170,000
庄川	2,000	1,000	2,000
小矢部川	0	0	0
計	1,077,000	60,483,000	1,242,000

記録した。その影響をうけ常願寺川は11日12時には史上2番目の2,760m³/sec(計画高水流量3,100m³/sec)のピーク流量を記録した。そこで計算は出水の前後を入れて9日から16日までの間を求めた。

計算区間は常願寺川が7.0kmを境として河床こう配および河床材料が変化している所から0.0~7.0までとし粒径別の掃流砂量を求めた。

その結果、この出水については常願寺川から海への掃流砂流出量は52,000m³程度であり、昭和37年~41年の平均流出量20,000m³に対して約2.5倍の流出土砂があったこととなり、洪水の際の流出土砂量はかなり多いことが分る。

10.2 黒部川における流出土砂量

黒部川流域も常願寺川流域と同様に8月7日から強度の降雨にみまわれた。そのため、11日の17時には計画高水流量4,200m³/secをはるかに上回る5,200m³/secのピーク流量を記録し、破堤溢水等の多大な被害をもたらした。計算は常願寺川と同様に洪水の前後8日から16日までとし、計算区間は0.0km~8.0kmまでとし粒径別の掃流土砂量を求めた。

その結果、黒部川の流出土砂量は80,000m³程度であった。また前報の黒部川の年平均流出土砂量は100万m³程度であったから、常願寺川と異なり洪水時の流出土砂量の占める割合はそれほど大きくないことが分った。

11. 結 論

富山湾に流入する諸河川の年平均流出土砂量を流砂量公式を用いて計算したところ表8のような結果を得た。海岸浸食に係る沿岸漂砂量に直

接影響する流出土砂は、掃流砂が大部分であって浮遊砂は殆んど関係しないといえる。ただし、常願寺川と神通川は河口付近で粒径が大きいために浮遊砂も沿岸漂砂となり得るであろう。

また、小矢部川は河口部が深く浚渫されていて上流からの流出土砂はここに堆積し河口から海へは流出しないと考えられる。

掃流砂の年間総流出量は約108万 m^3 である。また沿岸漂砂に寄与すると考えられる流出土砂量の年間総量は約124万 m^3 である。

大洪水による1回の流出土砂量を掃流砂につい

て黒部川と常願寺川で検討したところ、常願寺川では年平均流出量の2.5倍、黒部川では約1/12となり河川によってかなり異っている。このことを更に詳しく検討するためには、長期間にわたる流況について大出水のひん度数と低水流量以下の流況についての調査が必要である。

最後に、本調査を行うに当たり、水文、水理資料および河床変動実績等の資料を提供していただいた富山工事事務所、黒部工事事務所に対し感謝の意を表します。