

◆ 報 文 ◆

# 涸沼川洪水観測施設における流砂観測結果の評価から 明かになった流砂観測の留意点

諏訪義雄\* 平館 治\*\* 谷口 丞\*\*\*

## 1. はじめに

国土技術政策総合研究所河川研究室では、昭和 61 年から那珂川支川涸沼川に洪水観測施設を設置し、涸沼川をフィールドとして現地観測・調査研究を行っている<sup>1)</sup>。平成 8 年度以降は、掃流砂観測及び浮遊砂鉛直分布の観測が可能な世界的にも珍しい施設を設置して流砂観測を行ってきた<sup>2)</sup>。

一方、平成 10 年 7 月に河川審議会総合土砂管理小委員会がとりまとめた「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」と題する報告等を受け、流域土砂管理に向けた調査研究が関連機関で盛んに実施されるようになっており、それらの中で流砂観測が果たす役割は大きい<sup>3)</sup>。

本報文は、河川研究室が涸沼川で実施した流砂観測結果をもとに涸沼川の土砂移動実態について紹介するとともに、他の河川で実施する流砂観測の参考となるよう、流砂観測の留意点について述べたものである。

## 2. 涸沼川の概要

涸沼川は、図-1 に示すとおり茨城県中央部を流下する一級河川那珂川の右支川であり、流域面積 459km<sup>2</sup>、流路延長 65km の河川である。この河川は、下流部の 8.0~16.4km 区間に涸沼(面積 9.1km<sup>2</sup>)を有するという特徴がある。涸沼流入口(16.4km)より上流の河道縦断面及び河床材料粒径分布を図-2 に示す。図-2 のとおり、涸沼川の河道は 7 つのグメント<sup>4)</sup>に区分できる。代表的なセグメントの地形、涸沼流入口河口テラスを構成する材料の粒径分布を図-3 に示す。図-3 から、各セグメントの河床材料や中水敷、高水敷はある一定の粒径範囲の材料で構成されていることがわかる。このセグメントの地形の主体を構成する粒径範囲をその地形の有効粒径集団<sup>2),5)</sup>と呼ぶ。涸沼川では、粒径集団 1~5 の 5 つの有効粒径集団に区分することができる。粒径集団区分とセグメントとの関係を表-1 に示す。表で、



図-1 涸沼川流域

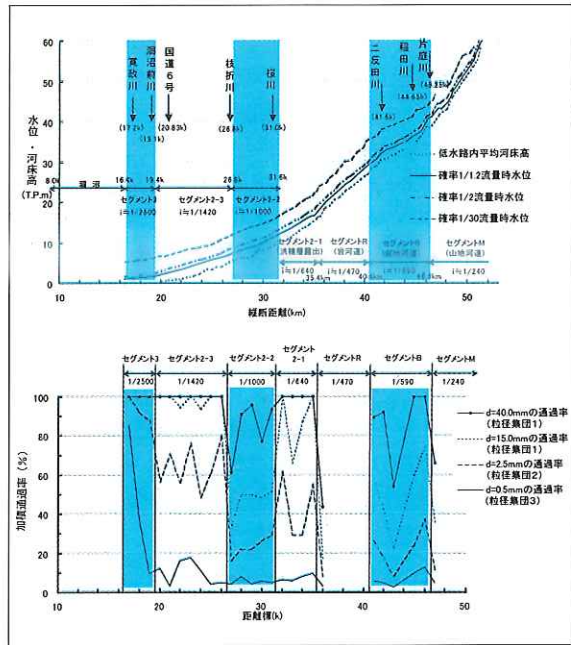


図-2 河床縦断面及び河床材料粒径分布

A (A', A'') 集団とは当該地点材料の主体を構成する粒径集団であることを、B 集団とは A 集団より細かい粒径集団を、C 集団とは A 集団より粗い粒径集団であることを表す<sup>4)</sup>。

## 3. 流砂観測の方法

河川研究室では、涸沼川 28.1km 地点(セグメント 2-2 内)に洪水観測施設を有しており、この地点の低水路中央に、写真-1、図-4 のような浮遊砂、掃流砂採取装置を内蔵した流線形断面の観測

Key Points of Sediment Load Measurement Technique through the Evaluation of Measured Data at Himuma River Flood Observation Site.

柱を設置し<sup>4)</sup>、浮遊砂、掃流砂観測を行っている。浮遊砂観測は、観測柱上流側よどみ点の鉛直方向5点に設置したノズルからポンプで吸引・採水し、各地点の土砂濃度を測定する。この浮遊砂観測はウォッシュロードの観測も兼ねることがで

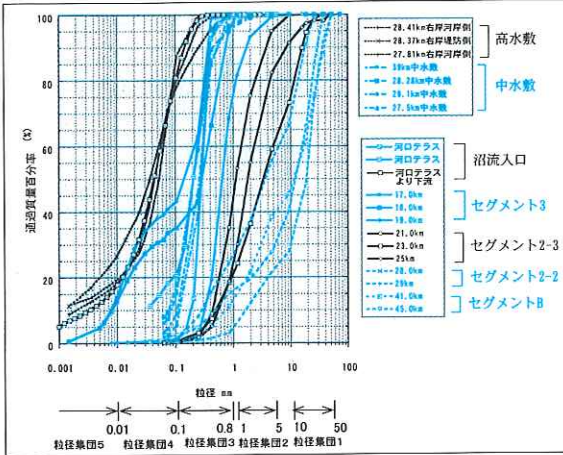


図-3 瀬沼川における粒径集団区分



写真-1 瀬沼洪水観測施設 (28.1km)

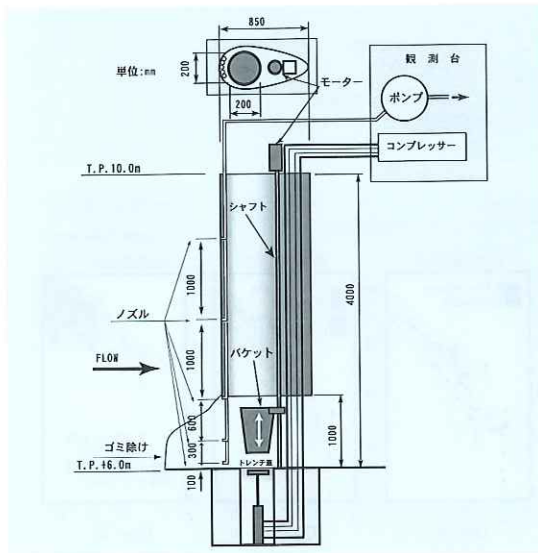


図-4 浮遊砂・掃流砂採取装置 (観測柱)

きる。なお、観測柱設置以前には表面からノズルを突っ込む方法で浮遊砂・ウォッシュロード観測を行っていた。観測柱設置以降も観測柱が水没する水位 T.P.10m 以上についてはこの方法で観測を行っている。また、ウォッシュロードについては、浮遊砂観測を補完するために、1999 年からは、メモリー式濁度計、自動採水器を用いた観測も行っている。浮遊砂・ウォッシュロードの流送土砂量は、観測結果から平均濃度を算出し、流量をかけて算出する。

掃流砂観測は、河床に設置したトレンチ内に昇降可能なバケット (直径 20cm の円形、深さ 26.5cm) を河床と同じ高さになるまで降下させ、バケット内にトラップされる掃流砂を回収する。この他、平水時には、河床にトレンチを埋め込む方法で掃流砂観測を行っている。回収土砂は、ふるい分けを行い、粒径範囲別の回収土砂量をバケット投入時間とトレンチ幅で除して単位幅あたりの粒径別掃流砂量を算出する。

洪水観測施設における水位毎の水理量から、粒径別の運動形態を推定したものが表-2 である<sup>3)</sup>。表より、粒径集団1、2は掃流形態で流送されていることが、粒径集団3は水理量と粒径によって掃流形態の場合と浮遊砂的運動形態の場合があることが、粒径集団4、5はウォッシュロード的運動形態であることが推定できる。

#### 4. 流砂観測の結果とその評価

流砂観測結果を粒径別  $Q-Q_s$  ( $Q_B$ ) 図に整理

表-1 粒径集団とセグメントの関係

	粒径集団1 d=50.0 ~10.0mm (礫)	粒径集団2 d=5.0 ~1.0mm (粗砂・小礫)	粒径集団3 d=0.8 ~0.1mm (細砂・中砂)	粒径集団4 d=0.1 ~0.015mm未満 (シルト)	粒径集団5 d=0.015mm未満 (粘土)
セグメントM (16.4km~)	A 集団	A 集団	日集団		
セグメントB (10.4~16.4km)					
セグメントR (35.4~40.4km)					
セグメント2 2-1 (31.6~ 35.4km)	C 集団	A 集団	日集団		
2-2 (26.8~ 31.6km)	A 集団	A 集団	日集団		
2-3 (19.4~ 26.8km)	C 集団	A 集団	日集団		
セグメント3 (16.4~19.4km)		C 集団	A 集団		
河口テラス (8.0~ 16.4km)			A 集団 (0.1~0.15mm)	日集団	
河口テラス より下流			C 集団 (0.1~0.15mm)	A 集団	日集団
沼心				C 集団(?)	A 集団(?)
沼下流 (0.0~8.0km)			A 集団(?)	日集団(?)	
高水敷形成		C 集団 (0.1~0.15mm)	A 集団	日集団	
中水敷形成			A 集団 (0.1~0.15mm)	日集団	

(?)は図-3の整理が未完了であることを表す

したものを図-5に示す。なお、浮遊砂観測結果の整理にあたって、0.106mm以上の粒径については浮遊砂濃度の鉛直分布の影響が無視できないと考えられることから、水深方向に多点(特に4割水深以下で)観測できたデータのみを用いて整理している(5.(3)参照)。

粒径0.106~0.84mmの粒径集団3は掃流砂、浮遊砂両方の観測で採取された。0.106mm未満の粒径集団4、5は浮遊砂観測のみで採取され、0.84mm以上の粒径集団1、2は掃流砂観測のみで採取された。これは、表-2による運動形態の推定と一致している。

図-5には観測結果を $Q_s(Q_B) = \alpha Q^P$ にあてはめて推定した $Q-Q_s$ (浮遊砂、ウォッシュロード)、 $Q-Q_B$ (掃流砂)線、芦田・道上式(河床波有)による $Q-Q_B$ 、Lane-Kalinske式による $Q-Q_s$ 推定線を合わせて示した。図-5において、粒径19.1mm

以上の芦田・道上式、粒径0.42~0.84mmのLane-Kalinske式、粒径0.015mm未満のLane-Kalinske式以外はいずれの推定線も観測データのバラツキの範囲内に入っており、観測結果との比較だけでは流砂量推定法の適否は判断できない。

そこで、観測結果からの流砂量推定法の妥当性について検証するため、セグメント2-3から涵沼流入口の河口テラスまでの数年間の地形変化量及び粒径分布をもとにマクロな推定法で算出した粒径別年間土砂移動量と図-5で整理した $Q-Q_s(Q_B)$ 関係を年間流況で積分して推定した粒径別年間土砂移動量を比較した。結果を図-6に示す。

粒径0.21mm~9.52mmの粒径集団2、3については地形変化量からの推定値と芦田・道上式+Lane-Kalinske式からの推定値が比較的合う一方、 $Q_s(Q_B) = \alpha Q^P$ をあてはめた $Q-Q_s(Q_B)$ 関係からの推定値は地形変化量からの推定値に

表-2 洪水観測施設における粒径別の運動形態予測

水位	水深	粒径集団1						粒径集団2				粒径集団3						粒径集団4							
		54		38.3		24.2		19.1		9.52		3.38		1.6		0.84		0.42		0.21		0.105		0.075	
		$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$	$u_* / w_0$	$\tau_*$
12.0	22.07	0.13	0.06	0.15	0.08	0.19	0.12	0.22	0.16	0.31	0.32	0.56	0.89	0.92	1.88	1.41	3.59	3.06	7.17	6.13	14.34	16.77	28.69	32.86	40.16
11.5	21.12	0.12	0.05	0.15	0.07	0.19	0.11	0.21	0.16	0.30	0.29	0.53	0.82	0.88	1.72	1.35	3.29	2.93	6.57	5.87	13.14	16.05	26.28	31.45	36.79
11.0	20.13	0.12	0.05	0.14	0.07	0.18	0.10	0.20	0.13	0.28	0.28	0.51	0.74	0.84	1.57	1.29	2.98	2.80	5.97	5.59	11.94	15.30	23.88	29.98	33.43
10.5	19.09	0.11	0.04	0.13	0.06	0.17	0.09	0.19	0.12	0.27	0.24	0.48	0.67	0.80	1.41	1.22	2.68	2.85	5.37	5.30	10.74	14.50	21.47	28.43	30.08
10.0	17.99	0.11	0.04	0.13	0.06	0.16	0.08	0.18	0.10	0.25	0.21	0.48	0.59	0.75	1.25	1.15	2.38	2.50	4.77	5.00	9.53	13.67	19.07	26.79	26.69
9.5	16.82	0.10	0.03	0.12	0.05	0.15	0.07	0.17	0.09	0.24	0.18	0.43	0.52	0.70	1.09	1.08	2.03	2.34	4.17	4.67	8.33	12.78	16.66	25.04	23.33
9.0	15.58	0.09	0.03	0.11	0.04	0.14	0.05	0.15	0.08	0.22	0.18	0.39	0.44	0.65	0.94	1.00	1.78	2.16	3.56	4.32	7.13	11.82	14.26	23.17	19.96
8.5	14.19	0.08	0.02	0.10	0.03	0.12	0.05	0.14	0.07	0.20	0.13	0.36	0.37	0.59	0.78	0.91	1.48	1.97	2.95	3.94	5.93	10.78	11.85	21.12	16.59
8.0	12.66	0.07	0.02	0.09	0.03	0.11	0.04	0.13	0.05	0.18	0.10	0.32	0.29	0.53	0.62	0.81	1.18	1.76	2.36	3.52	4.72	9.62	9.45	18.86	13.23
7.5	10.93	0.06	0.01	0.08	0.02	0.10	0.03	0.11	0.04	0.15	0.08	0.28	0.22	0.48	0.48	0.70	0.88	1.52	1.78	3.04	3.52	8.31	7.04	16.28	9.88
7.0	8.87	0.05	0.01	0.06	0.01	0.08	0.02	0.09	0.03	0.12	0.05	0.22	0.14	0.37	0.30	0.57	0.53	1.23	1.16	2.46	2.32	6.74	4.64	13.21	6.49
6.5	6.16	0.04	0.00	0.04	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.09	0.02	0.16	0.07	0.26	0.15	0.39	0.28	0.85	0.56	1.71	1.12	4.68	2.23	9.17	3.12
	$\tau_{*c}$		0.02		0.02		0.03		0.03		0.05		0.09		0.20		0.37		0.74		1.49		2.97		4.16

- : 移動しない
- : 掃流形態 ( $\tau_* < \tau_{*c}$  かつ  $u_* / w_0 < 0.625$ )
- ▨ : 跳躍を伴った掃流形態 ( $0.625 < u_* / w_0 < 1.25$ )
- ▩ : 上層にほとんど巻き上がらない浮遊砂的運動形態 ( $1.25 < u_* / w_0 < 2.5$ )
- ◻ : 鉛直方向に濃度差のある浮遊砂的運動形態 ( $2.5 < u_* / w_0 < 5.0$ )
- ◻ : 上層下層に多少の濃度分布を有する浮遊砂的運動形態 ( $5.0 < u_* / w_0 < 10.0$ )
- ◻ : ウォッシュロード的運動形態 ( $10.0 < u_* / w_0$ )

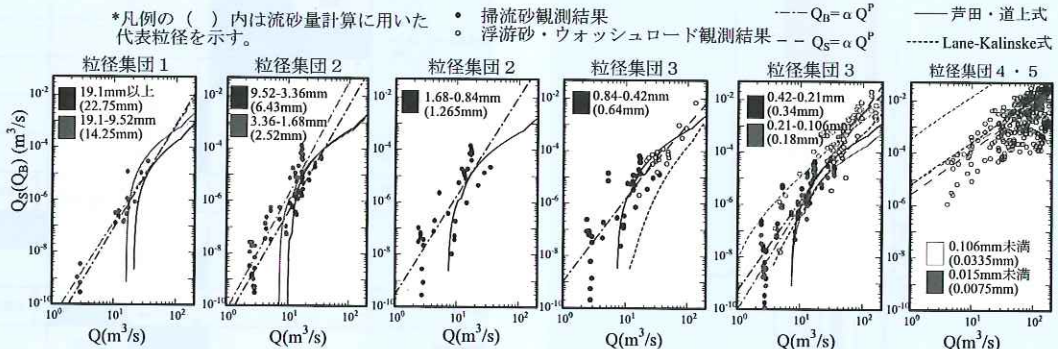


図-5 流砂観測結果と $Q-Q_s(Q_B)$ 推定線

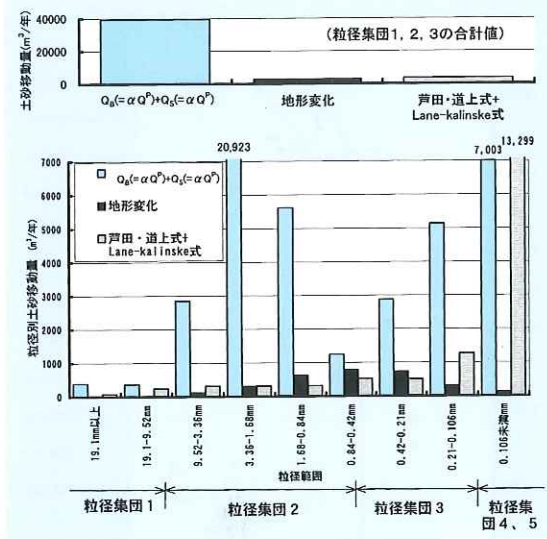


図-6 粒径別年間土砂移動量の比較

対してかなり大きな値を示す。これは、図-5の  $Q_s(Q_B)$  関係の推定で流量が大きい範囲において、 $Q_s(Q_B) = \alpha Q^P$  にあてはめた  $Q-Q_s(Q_B)$  推定線が芦田・道上式による推定線に対して大きいことである。河口テラス周辺の底質粒径分布の調査を行った結果、粒径 0.42mm 以上の土砂は河口テラスより下流にないことが確認されたことから、粒径 0.42mm 以上の地形変化量からの年間土砂移動量推定値の精度は高いと評価できる。したがって、粒径 0.42mm 以上については、芦田・道上式+Lane-Kalinske 式を用いた年間土砂移動量の推定法が妥当と判断される。

粒径 9.52mm 以上の粒径集団 1 の芦田・道上式による年間土砂移動量推定値が地形変化量からの推定値に対して大きいのは、地形変化量を測定した範囲がセグメント 2-3 から下流の粒径集団 1 がほとんど含まれていないセグメントであったため、地形変化量からの推定値の精度が低いことが原因と考えられる。

図-7には、水位と累加土砂移動量の関係、観測結果が得られている範囲を示した。粒径集団 1、2 については、掃流砂観測装置の限界から、芦田・道上式による推定と  $Q_s(Q_B) = \alpha Q^P$  による推定の差が大きくなる流量  $40\text{m}^3/\text{s}$  (T.P.8.1m) 以上での観測結果が得られておらず、粒径集団 1 では、推定年間土砂移動量の 1 割以下、粒径集団 2 では、4 割程度の範囲しかカバーできていない。しかし、信頼性の高い地形変化量からの推定値とよく合っていること (特に粒径集団 2)、掃流形態で移動している粒径集団 1、2 に対しては  $Q_B = \alpha Q^P$  で推

定するよりも芦田・道上式の方が力学的根拠があると考えられることから、芦田・道上式による推定法が妥当と考えられる。

粒径集団 3 については、比較的高い水位まで浮遊砂観測結果が得られていることから、推定年間土砂移動量の 8 割程度まで観測データがある。推定精度が高いと考えられる粒径 0.21mm 以上で地形変化量からの推定値とよく合っていること、浮遊砂的運動形態の粒径集団 3 についても  $Q_s = \alpha Q^P$  で推定するよりも芦田・道上式+Lane-Kalinske 式の方が力学的根拠があると考えられるので、芦田・道上式+Lane-Kalinske 式による推定法が妥当と考えられる。

粒径集団 4、5 については、ウォッシュロード的運動形態で流送される土砂であること、測量範囲よりも下流に流下するため地形変化量からの推定精度が低いこと、観測データが大量に得られていること、Lane-Kalinske 式を適用するにあたって河床における存在確率や代表粒径の取り方などの要因によって値の変動が大きいことから  $Q_s = \alpha Q^P$  による推定法が妥当と考えられる。

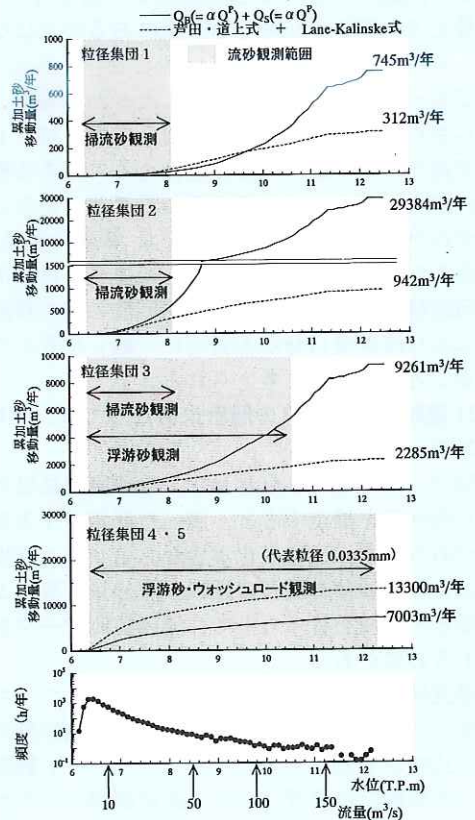


図-7 水位と累加土砂移動量の関係

以上より、流砂観測データは幅を有するものであり、年間土砂移動量の算定方法によっては、流域土砂管理を検討する上で無視できない差が生じることがわかる。

5. 流砂観測実施上の留意点

今後、流域土砂管理計画を検討・立案する、流域土砂管理のためのモニタリングを行う場合に、流砂観測の重要度が増していくと考えられる。その際、流砂観測の留意点、観測データの持つ意味、その適用限界を知っておくことが重要である。ここでは、それらについて整理する。

(1) 観測データには“幅”があり、その“幅”を抑えるにはある程度の観測データ量が必要

図-8は、全粒径の掃流砂観測結果と観測時の水理量の関係を観測洪水別に示したものである。図-9は、浮遊砂観測で得られた流量とSS濃度の関係、濁度計による連続観測で得られた流量とSS濃度の関係を重ねて書いたものである。

図-8から、同じ水理量でも掃流砂量には幅があること、観測する洪水によって水理量と掃流砂量の関係が異なることがわかる。図-9から、流量とSS濃度は1対1の関係にあるのではなく、ある幅の中で変動していること、1洪水の中でループを描く場合があることがわかる。これらから、流砂量は水理量に対して幅を持つものであり、その幅の大きさを抑えるにはある程度の量の観測データを積み重ねる必要があることがわかる。この「幅」の原因は、観測の誤差、上流からの土砂供給タイミングの違い・洪水中の河床材料粒径分布の変化・河床波の発生移動等により流砂量自身が本質的に「幅」を有していること等によると考えられる。

(2) 流砂観測データの解釈にあたっては、クロステックが重要

図-5、6で説明したとおり、流砂観測結果のみから流砂量を推定すると、誤った解釈をするおそれがあるので、地形変化実態からのマクロな推定法による土砂移動量との比較、流砂量計算による試算との比較を行った上で、流砂観測データを解釈する必要がある。

掃流砂観測データ、浮遊砂観測データのうち粗粒分のデータ解釈では、地形変化量、流砂量計算との比較が有効である。ウォッシュロード観測のデータ解釈では濁度計による連続観測データが有効な情報となるであろう。

観測データの解釈を間違えると、年間土砂移動

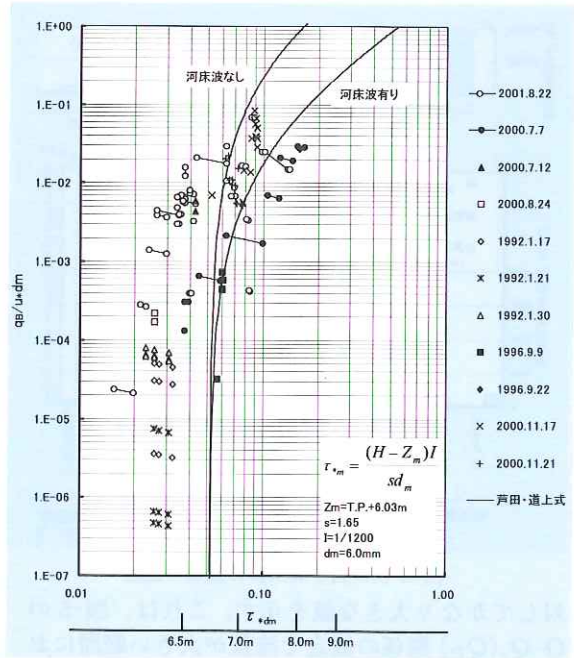


図-8 掃流砂観測結果

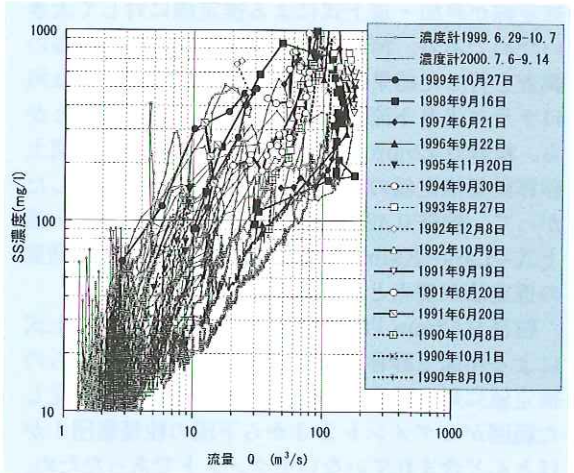


図-9 流量とSS濃度の関係

量で1オーダー以上の違いが生じる。これは、流域土砂管理を検討する上で無視できない差である。

(3) 観測対象河川のセグメント区分、有効粒径集団の設定、粒径別の運動形態の整理は必ず行う  
流砂観測を計画する際あるいはデータを解釈する際には、図-2のセグメント区分、図-3・表-1の有効粒径集団の設定、表-2の流砂運動形態の整理を行っておくと合理的な観測計画の立案に役立ち、観測データの解釈を誤らない。

特に浮遊砂的運動形態で流送される土砂については、観測結果の整理に留意する必要がある。図-10は、図-11のような標準的な流速鉛直分布及び

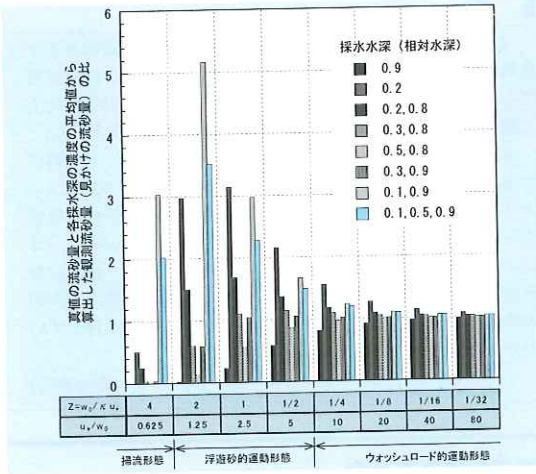


図-10 採水深による観測流砂量の違い

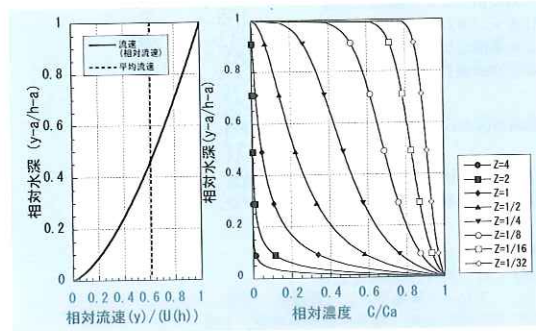


図-11 標準的な土砂濃度と流速の鉛直分布

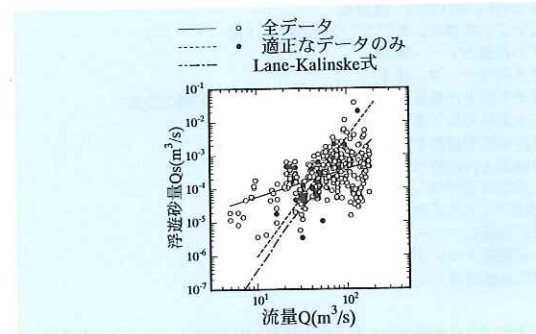


図-12 粒径集団 3 (0.21-0.42mm) の Q-Q<sub>s</sub> 関係

土砂濃度鉛直分布となっている場合に、採水水深の違いによって生じる観測流砂量の差を示したものである。図-10 から、掃流形態及び浮遊砂的運動形態の場合には、採水水深の違いによって観測流砂量に大きな差が生じることがわかる。図-12 は、涸沼川洪水観測施設で浮遊砂的運動形態となる粒径集団 3 について、観測全データを用いて Q-Q<sub>s</sub> 関係を整理した結果と、図-10 を参考に、適切な高さで採水できたデータのみを用いて Q-Q<sub>s</sub> 関係を整理した結果を比較したものである。図-12 から、採水水深を考慮せずにデータ整理を行うと、観測結果のバラツキが大きくなるとともに、大流量時の流砂量を過小評価しやすことがわかる。

## 6. おわりに

本報文は、河川研究室が涸沼川で実施している観測及び調査研究のうち、涸沼川洪水観測施設における流砂観測の結果について述べたものである。詳細な内容及びその他の観測・調査研究結果については、参考文献<sup>6)</sup>を参照されたい。

また、涸沼川における観測・調査・研究にあたっては、国土交通省治水課をはじめとして各地方整備局、茨城県、地元関係者の支援と協力を頂いている。この場を借りて感謝申し上げる。

## 参考文献

- 1) 例えば、福岡他：涸沼川における洪水流と河床変動の研究，土木研究所報告第 180 号，1990.1
- 2) 例えば、望月・藤田・平林・平館：新しい観点からの浮遊砂・ウォッシュロード観測の提案，土木技術資料 38-10，1996.10
- 3) 例えば、河川局治水課他：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測・土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究，第 53 回，54 回建設省技術研究会報告，2000.3，2001.3
- 4) 例えば、山本一：沖積河川学，山海堂
- 5) 宇多・藤田・服部：水系土砂収支分析のための「有効粒径集団」の考え方の提案，土木技術資料 37-12，1995.12
- 6) 藤田他：涸沼川洪水観測レポート [2] 1990~2000，土木研究所資料第 3798 号，2001.3

諏訪義雄\*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室主任研究官  
Yoshio SUWA

平館 治\*\*



独立行政法人土木研究所企画部研究企画課  
Osamu HIRATATE

谷口 丞\*\*\*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室交流研究員  
Susumu TANIGUCHI