

湫沼川における流砂観測

Sediment Transportation Survey at Hinuma River

望月達也*・藤田光一**・松尾和巳**・平林桂**・坂野章***・

服部敦***・塚原隆夫***・梅野浩一***・平舘治****・堀謙吾*****

By Tatsuya MOCHIZUKI, Koh-ichi FUJITA, Kazumi MATSUO, Katsura HIRABAYASHI, Akira SAKANO,
Atsushi HATTORI, Takao TSUKAHARA, Koichi TOGANO, Osamu HIRATATE, and Kengo HORI

In general, river sediment is classified according to its motion into three categories which consist of washload, suspended load, and bed load. The role of each category is different in the process of topographical growth of river. For instance, a part of washload is caught by vegetation on a sand bar and makes a new flood plain. But bed load never behave as washload, but it plays only a role of the bed material. This fact shows the significance of the actual survey for the each flux of these categories.

Authors conducted sediment transportation survey on Hinuma River during the flood caused on Aug. 22nd, '96. This paper describes the outline of newly developed devices for sediment transportation survey, and some hydraulic topics recognized through the survey.

Keywords: Sediment transport, actual river survey, wash load, suspended load, bed load

1. はじめに

近年は河岸に繁茂した植生の土砂トラップ機能、ひいては高水敷の形成機構について多くの知見が得られている。一方で、洪水時に発生する外力に大きな差異がない二河川の高水敷の粒度組成がかなり異なる事例もある。このことは、供給土砂の粒度組成が河川ごとにより異なる場合もあることを示唆するものであり、今後、洪水時における供給土砂観測を行えば多くの知見が得られる可能性がある。

土木研究所では、湫沼川において流域スケールでの土砂動態を把握する観測手法の開発に取りこんでおり、その一環として浮遊砂&ウオッシュロード、および掃流砂を効率的かつ精度良く採取するための計測器の開発を行っている。本論では、開発した計測器の概要、平成8年9月22日台風17号によりもたらされた洪水に対する観測の概要、および得られた資料から明らかにされた水理現象について報告するものである。

2. 湫沼川の概要

図-1に湫沼川の流域図を示す。湫沼川は茨城県中央部を流下し、湫沼を介して那珂川に注ぐ流域面積459m²の1級河川である。土木研究所の洪水観測施設は中流域である28.1km地点に設置してある。

*	正会員	建設省土木研究所	河川部河川研究室長
**	正会員	建設省土木研究所	河川部河川研究室 主任研究員
***	正会員	建設省土木研究所	河川部河川研究室 研究員
****	正会員	建設省土木研究所	河川部河川研究室
*****	正会員	建設省土木研究所	河川部河川研究室 交流研究員

(〒305 茨城県つくば市旭1番地)

涸沼川流域を踏査した結果、土砂の主たる供給源は本川および支川稲田川と片庭川であると推定される。なお、下流域で涸沼川と合流する涸沼前川も多くの土砂供給があると考えられるが、その合流点が土砂動態観測実施地点よりも下流であるためにここでは検討の対象とはしていない。

本川の主たる土砂供給源は最上流域で、河道が台地ののり尻を流れる場所での側岸侵食によりもたらされている。崩壊面への植生繁茂は少なく、土砂供給は継続して行われているようである。しかし、近傍の河床では若干のアーミングが進んでいることから、土砂生産量自体は減少傾向にあるものと推定される。

支川稲田川は、その上流域に採石場を有していること、河床材料が数ミリオーダーのマサ土でかつ河床勾配が約1/380と急で洪水時には流砂量が非常に多いと予測されること、砂州表面に繁茂する植生は少なくしかも単年草であり砂州の移動頻度は高いと考えられること等から、涸沼川への供給土砂量はかなり多く、流域土砂動態へのインパクトが特に大きい河川であると考えられる。

支川片庭川は稲田川に比べて規模は小さいものの、上流に採石場を有し、洪水時にはウオッシュロードとなるような微細砂が河道の採石場より下流の全区間に大量に沈殿していることから、洪水時には涸沼川に大量のウオッシュロードを供給するものと思われる。

飯田川は稲田川や片庭川に比べ規模が小さく供給土砂量は小さいと考えられる。しかし図-1に示すように飯田川は涸沼川の洪水の一部を飯田ダムに貯留させるための放水路の役割を有しており、涸沼川の洪水流量に与えるインパクトは大きい。

次に、涸沼よりも上流の涸沼川の縦断形を図-2に示す。河床勾配の急変はなく上流に行くに従い徐々に勾配が急になる縦断形をなしている。36km～42km 区間は笠間盆地の出口であり、岩河道でやや狭窄した区間となっている。

河道縦断方向に掃流力の変化が少ないことから、上流から供給される土砂のうち、特に大きな粒径のものを除いた多くは洪水観測施設まで到達するものと考えられ、洪水時における土砂動態観測では粗礫からウオッシュロードに至る幅広い土砂を採取できるものと期待される。

3. 観測装置の概要

2項で述べたような涸沼川の土砂動態に鑑み、土木研究所では図-3に示すような観測体制をしいている。28.1km 地点には写真-1に示す洪水観測施設があり、ここでは浮遊砂とウオッシュロード

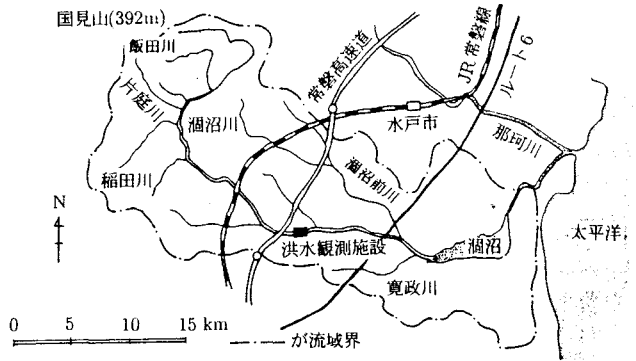


図-1 涸沼川流域図

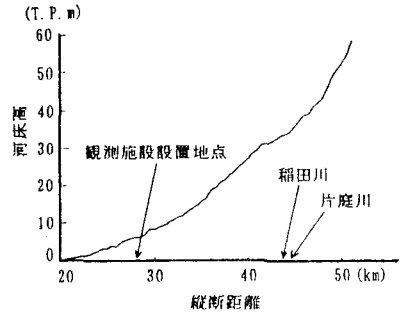


図-2 涸沼川河床縦断面図

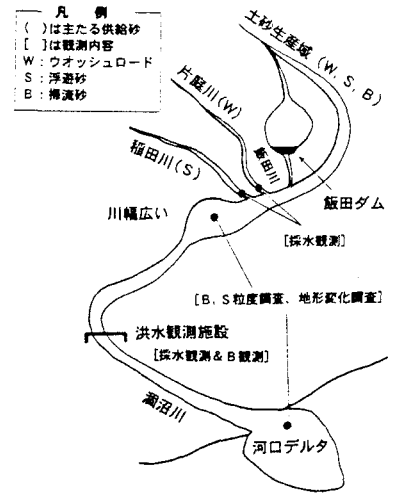


図-3 観測体制

観測、掃流砂観測、流量観測、および水位・水面勾配観測が可能である。

一方、稲田川、片庭川では涸沼川との合流点付近で流量観測、浮遊砂&ウオッシュロード観測が可能である。

涸沼川 28.1km に設置された観測施設は、観測台および流砂測定用観測柱から構成されている。これらの構造および機能は次の通りである。

写真-1 に示した観測台は、低水路をまたいだ橋梁状の構造を有し、低水路部には昇降台が設置されている。この昇降台に観測員が乗り、台を水面近傍に近付けつつ種々の観測を実施する。

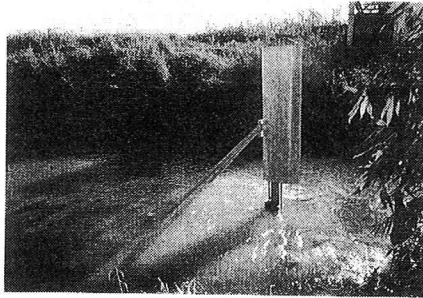


写真-2 観測柱の外観

写真-2 には流砂測定用観測柱を示す。この観測柱は洪水時の河道内の流砂を測定するためのものであり、低水路中央部に設置されている。柱の高さは4m であり、周囲には流体力を軽減するためステンレス製の流線形のカバーが取り付けられている。カバー内部には筆者らが開発した浮遊土砂採取装置および掃流砂採取装置が据え付けられている。なお、ここでいう浮遊土砂とは浮遊砂およびウオッシュロードを合わせたものを表している。両装置の概念的な構造を図-4 に示す。浮遊砂採取装置は、基本的には観測柱に取り付けた複数のノズル、水中ポンプ、およびそれをつなぐホースから構成されている。浮遊土砂の採取はノズルから水中ポンプで浮遊砂を水ごと吸い込むことによって行う。なお、粒径の粗い砂が水中ポンプに入ると故障しやすいので、ノズルと水中ポンプとの間に粗流砂沈降装置を設置している。その概念的な構造は図-5 に示すとおりで、一時的な滞留を起こして粒径の粗い土砂を沈降させるものである。ノズルは鉛直方向に5箇所設置しており、その設置高さは河床面から0.1、0.4、1.0、2.0、および3.0m である。2.0m および3.0m のノズルは流線形カバー先端（最上流端）のよどみ点に設置している。ノズルの内径を決定する際には以下の点に留意した。すなわち、(1)ノズル内の流速は採取されるであろう最大粒径の土砂の沈降速度よりも十分速くなくてはならないこと、(2)ノズル内に土砂が詰まらないだけの内径が必要なこと、(3)引き込み流速がその場所の洪水流速と一致する必要があること、の3点である。ただし、現実的にはこれらを同時に満足するのは難しく、(1)(2)を満たすようノズルの吸い込み流速が接近流速よりも少し大きくなるように設定した。

このようにして採取した試料は洪水後にふるい分け試験および比重浮ひょうによる沈降試験に供され、粒径ごとの浮遊砂濃度が求められる。

この装置で求められるのは浮遊土砂濃度であり、これを浮遊土砂量に換算するためには濃度測定点での流

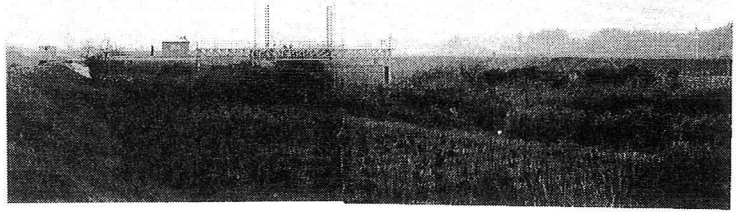


写真-1 涸沼川の洪水観測施設

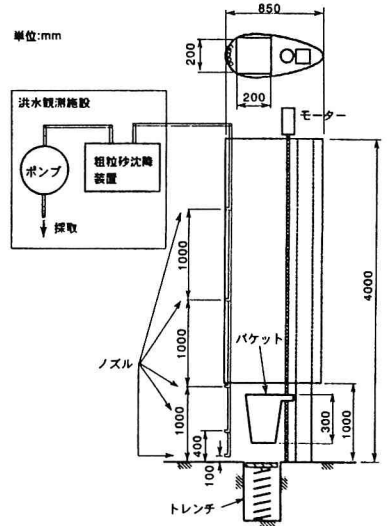


図-4 浮遊砂採取装置および掃流砂採取装置の構造

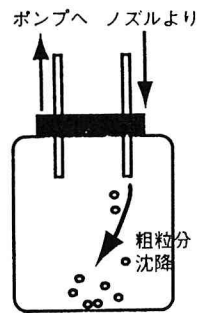


図-5 粗流砂沈降装置の概念図

速を乗じる必要がある。本システムではノズル近傍に流速計を差し出して流速を測定している。

掃流砂採砂器の概要は以下の通りである。観測柱に取り付けられた20cm 四方、高さ30cm のバケットをモーターで下降させ、河床に設けられた蓋付きのトレンチに差し込み掃流砂をバケット内に転落・堆積させる。一定時間後バケットをモーターで引き上げ堆積した土砂を採取し、計測時間で除して掃流砂量を求める。トレンチの蓋はトレンチ下部よりスプリングで押し上げられており、バケット昇降の際に土砂がトレンチ内へ入り込まないように設計されている。

バケットの大きさは saltation 運動する粒子までも正確に捕らえるために本来ならばなるべく大きくあるべきである。しかし、観測柱に作用する流体力に対する耐力の面からやむなく20cm とした。一般に Step length は粒径の100 倍程度とされており、粒径2mm 以上の砂が転動状態から Saltation 運動に変化する大洪水時には観測精度が低下する可能性がある。

表-1 観測結果

日時	水位 T.P.m	流量 Q m ³ /s	平均流速 V m/s
9/22 11:24	7.86	38.9	1.24
13:10	8.86	69.01	1.37
14:40	9.61	101.63	1.5
15:48	10.09	133.97	1.85
16:20	10.36	138.29	1.70
17:22	10.86	177.75	2.00
19:00	11.37	174.11	1.79
20:00	11.57	174.55	1.73
21:00	11.66	150.28	1.43
22:00	11.664	154.42	1.46
22:55	11.645	153.39	1.49
9/23 15:21	7.82	34.09	1.11
17:16	7.71	34.16	1.19
19:21	7.59	26.7	0.99

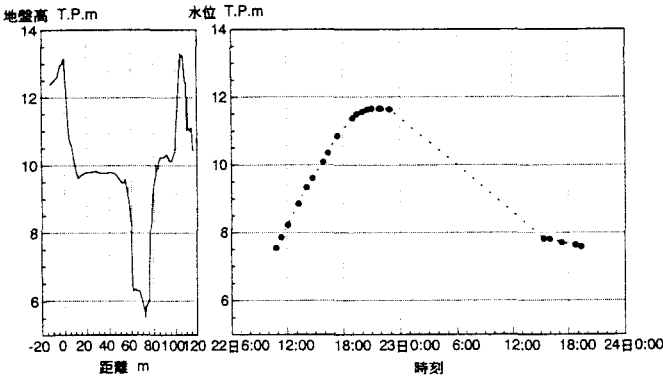


図-6 28.1km 地点の横断面図および
水位ハイドログラフ

4.観測結果

1996年 9 月 22 日、台風 17 号がもたらした大雨により潤沼川に大規模な洪水が発生した。図-6 に 28.1km 地点の横断面図と同地点で観測された水位ハイドログラフを示す。

この洪水に対し、土木研究所では洪水観測を実施した。ただし、観測人数の関係で当初予定していた観測項目のうち、稲田川での浮遊土砂観測を実施していない。28.1km 地点では浮遊土砂観測、掃流砂観測、流量観測および水面勾配を観測した。流量観測は浮子によるもので、水面勾配は 28.08km と 27.90km に設置してある量水標を用いて測定した。表-1 には、参考までに測定された流量、平均流速を示す。

4.1 浮遊土砂の観測結果

浮遊砂の観測回数は増水期に 11 回、減水期に 3 回行っている。なお、22 日 16:32 から 22 日 23:00 に関しては観測柱が水中に没してしまい鉛直濃度分布の測定が不可能となったため、水面付近の浮遊砂観測に切り替えた。浮遊砂の採取時間は原則として 3 分間である。観測結果について以下に述べる。

1) 粒径別浮遊土砂濃度の経時変化と水位ハイドログラフとの関係

ここでは粒径別浮遊土砂濃度の経時変化と水位ハイドログラフとの関係について調べてみる。図-7 に水位ハイドログラフと粒径別浮遊土砂濃度の時間変化

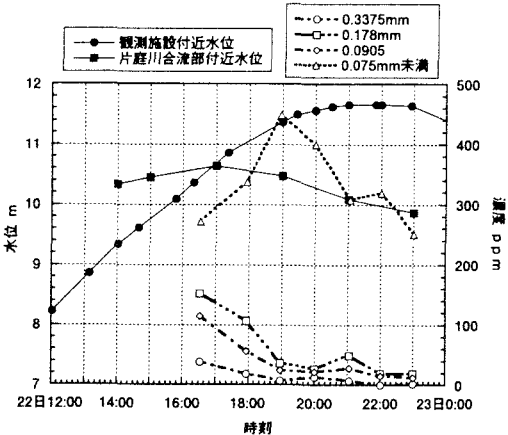


図-7 水位ハイドログラフと
粒径別浮遊土砂濃度の時間変化

を示す。これによると、粒径 0.075mm 未満の材料は他の粒径の材料に比べて遅れてピークを迎えていることがわかる。この粒径の材料は、支川片庭川から大量に供給されることがあらかじめわかっているため、この原因について、支川片庭川で行った浮遊砂観測結果から以下に説明を試みる。

片庭川が流量ピークを迎えたとき、片庭川のウオッシュロード（粒径 0.075mm 以下）濃度は 2190.9p.p.m.、片庭川合流前の濁沼川のそれは 587.5p.p.m.、合流後のそれは 1422.3p.p.m.であった。片庭川が合流する前後の濁沼川の流量を測定していないのでウオッシュロードの明確な収支関係はわからないが、この観測結果から、濁沼川下流域における粒径 0.075mm 以下のウオッシュロード濃度に関しては片庭川が支配的な役割を担っていることが容易に推定される。

以上から、図-7にみられる粒径別濃度の時間変化特性の違いは、支川および本川の土砂供給特性の違いを反映したものであると推定することができる。

2) 浮遊砂濃度の粒径別鉛直分布特性

次に、測定された浮遊砂濃度の鉛直分布特性について調べてみる。図-8に浮遊砂の粒径別鉛直濃度分布を示す。なお、参考までに次式で示されるラウス分布を重ね書きしてある。

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{h-z}{z} \cdot \frac{a}{h-a} \right)^P \tag{1}$$

$$P = w_0 / \kappa u_*$$

ここに、 z ：流路床からの距離、 h ：水深、 C_a ： $z=a$ における浮遊砂濃度、 κ ：Karman 定数、である。ラウス分布の計算に際し、基準点濃度は底面付近での実測値を与えた。しかし、測定によっては底面付近の測定精度が低いこともあり、その場合はそれより上層の実測値を与えている。これによれば、各粒径ともおおむねラウス分布と傾向が一致していることがわかる。なお、図中*印のあるものは、観測時にノズルへのゴミ詰まりが原因と考えられる引き込み流量の低下を引き起こしたもので、いずれも全ての粒径階層に対し濃度低下が生じている。この原因は、ゴミがノズル内もしくはノズル前面に引っかかり、フィルターとなって浮遊土砂を遮断したためと考えられる。今後、ノズル内にゴミが付着しないような工夫を行う必要がある。

以上、浮遊砂観測結果を粒径別に整理することにより、
(1)本川ピーク流量とウオッシュロード量のずれ具合は、粒径別に明確な違いがみられる。

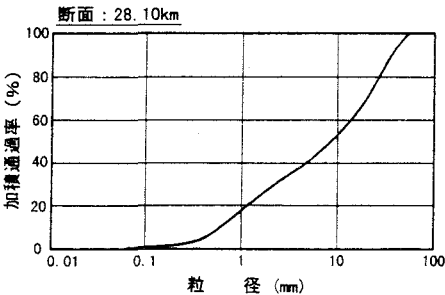


図-10 粒度分布調査結果 (28.1km 地点)

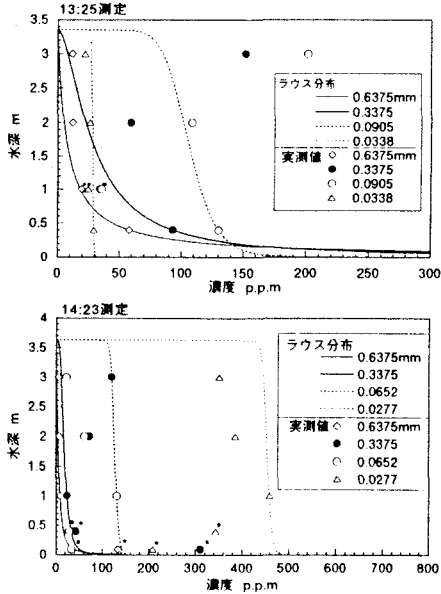


図-8 浮遊砂の粒径別鉛直濃度分布

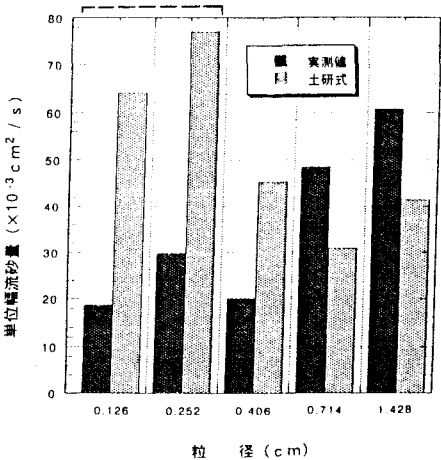


図-9 粒径別流砂量図

(2) ずれの原因の一つに、特定の粒径集団を供給する支川があって、ここからの土砂供給が本川の流砂に大きなインパクトを与える場合がある。

の2点が明らかになった。

4.2 掃流砂観測結果

掃流砂観測は、増水期の水位が平常時よりも1.88m上昇したところ(22日AM11:45)で1回測定した。その後はトレンチの蓋に砂が噛み合い、バケットを河床まで降下させることができず測定不能となった。測定時間は、バケットが5分目程度以上にならない範囲でなるべく長時間になるようにした。実際には5分25秒間の測定を行った。

粒径別の流砂量を図-9に示す。図には観測精度の確認のために次式に示す粒径別の佐藤・吉川・芦田の式による計算結果を対照してある。

$$q_{bi} = r_i \cdot \frac{u_*^3}{s \cdot g} \cdot \varphi \cdot F(\tau_0 / \tau_{ci}) \quad (2)$$

ここに、 q_{bi} : 粒径 d_i に対する流砂量, r_i : 粒径 d_i の河床面における存在確率, u_* : 摩擦速度, s : 河床材料の水中比重, g : 重力加速度, である。摩擦速度の算出に際しては掃流砂採取地点の水深、および水面勾配(=1/1200)を用いた。また、 r_i については掃流砂採取装置近傍で実施した粒度分布調査結果(図-10 参照)から求めた。限界掃流力の評価には $egiazaroff$ 式を用いた。

図-9によれば、観測値と計算値はおおむね一致している。しかし、1.26mm～2.52mmの粒径階層においてやや差異が大きく2.5倍程度の差がみられる。この階層(図の点線区間)は $w_o/u_* = 0.83 \sim 1.2$, $\tau_* = 0.34 \sim 0.75$ であり、掃流砂としての動態を示していたと考えられるが、砂が Saltation 運動によりバケットを飛び越えてしまう場合があり、計算値と差異が生じたものと推定される。

以上の結果から、洪水規模が大きくなると saltation 形態の流砂が捕らえにくくなる欠点を有するものの、それ以外の領域ではおおむね高い精度での観測が可能であると考えられる。今後観測結果を積み上げていけば潤沼川に適應する流砂量式の提案が可能であり、さらには潤沼川流域全体における土砂収支予測に威力を発揮するものと期待できる。

掃流砂採取器の今後の改良点としては、トレンチの蓋に砂が噛み合ってしまうことによる故障を起こさないようにすることが挙げられる。

5. 結論

潤沼川の洪水観測を通じ、以下の点が明らかになった。

- (1) ウオッシュロードの濃度ピークと洪水ピークとの間にずれのあることを確認した。また、ウオッシュロードを粒径別にみると、それぞれずれの度合いに違いがあること、ある特定の粒径についてはずれの発生がその粒径を多く供給する支川の流量変動に関連のあることをみいだした。
- (2) 掃流砂の採取については、バケット長などに若干の問題はあるものの、おおむね精度の良い観測が可能であることが可能となった。

今後は、観測機器の改良を行うとともに、さらにデータを積み上げて粒径別に生産源、フラックスと洪水規模との関連を明らかにしていきたい。

<参考文献>

1. 建設省土木研究所河川部河川研究室: 潤沼川洪水観測所レポート [1] 1988～1989, 土木研究所資料, (1990)
2. 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, 101, (1959)
3. 芦田和男, 沢田豊明ほか: 山地流域における出水と土砂流出, 京都大学防災研究所年報
4. 朴 鍾瑄: 筑波山の山口川流域における浮流土砂の流出量について, 筑波大学水理実験センター報告, NO.14, p.p.99～108, (1990)