

# 大洪水時における急流石礫河川の 上流端流入土砂量ハイドログラフの推算

## A study on the estimation of the sediment hydrograph of the upstream boundary condition for gravel bed river during large-scale flood

19N3100009G 岡山 士朗 (河川工学研究室)

Shiro Okayama/ River Engineering Lab.

**Key Words :** sediment hydrograph, Kamanashi River, flood flow, bed variation

### 1. 序論

釜無川昭和 57 年 8 月洪水は戦後最大規模の洪水で、豪雨により直轄区間上流端から約 10km 上流の砂防区間から大量の土砂が流出した。流出土砂は、検討対象河道に流入、堆積し、平均約 0.5m の河床上昇が生じた。こうした上流山地流域からの流出土砂の量的・質的な予測は河道管理上重要な課題である。特に、豪雨による山地からの大量の流出土砂を伴う洪水流による河床変動解析を行う際、土砂の上流端境界条件が、解析精度に大きく影響する。しかし、豪雨時に山地から河道に流入する各粒径の流入土砂量ハイドログラフの推定は、実測データの不足のために、その重要性にもかかわらず、これまで十分検討されていない。本研究では、8 月の大洪水時に上流山地流域から釜無川に流入した土砂量ハイドログラフの推定を行う。

### 2. 昭和 57 年 8 月洪水の実態

流入土砂量ハイドログラフ推定の第一段階として、まず、実測データから釜無川昭和 57 年 8 月洪水と土砂移動の実態把握を行った。

急流石礫河川である釜無川は、通常時は、図-1(a)に示す複列砂州が形成されている。昭和 57 年 8 月洪水時には上流山地から大量の流入土砂により、図-2に示すよう

に、河道に堆積し、河床が平坦化した。大量の土砂流入・堆積を伴う洪水は、主流路位置を変化させ(図-1)、著しい河岸侵食をもたらした。図-3は、痕跡水位縦断面分布と実測の洪水前後の平均河床高の縦断面分布を示す。本洪水の水位は計画高水位を上回るほどの大洪水であった。10km より下流では、笛吹川の合流や兎之瀬の狭窄部による背水の影響により水位が堰上げられ、水面形が緩やかになっている。洪水前後の測量結果より、検討対象区間に約 220 万 m<sup>3</sup>の土砂が堆積した(図-2)。特に、14km~5km の下流区間は、平均河床勾配が約 1/580 と上流区間(約 1/110)と比べて緩く、土砂堆積量が多くなっている。図-4は、洪水前後の河床材料粒度分布を示す。

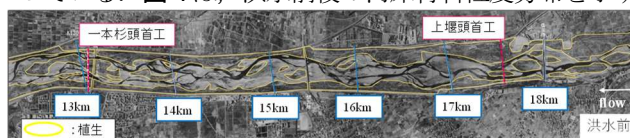


図-1(a) 洪水前

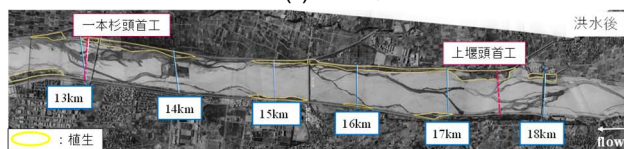


図-1(b) 洪水後

図-1 洪水前後の航空写真

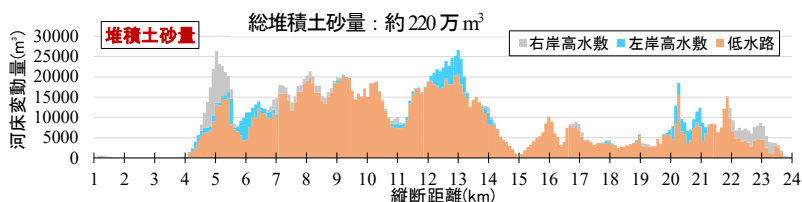


図-2 直轄区間の土砂堆積量縦断面図

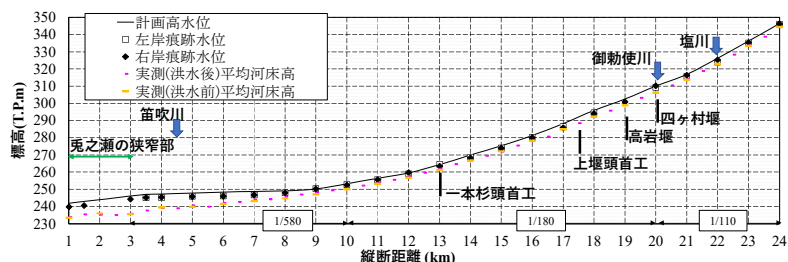


図-3 痕跡水位と洪水前後の平均河床高縦断面分布

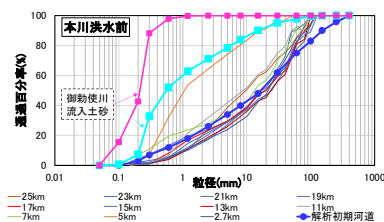


図-4(a) 本川の実測洪水前と御勅使川の流入土砂の粒度分布

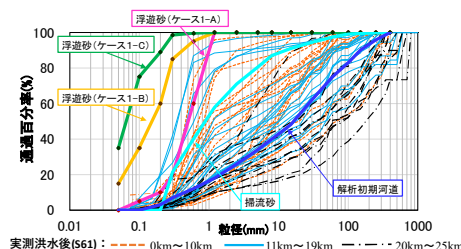


図-4(b) 本川の実測洪水後と流入土砂の粒度分布

洪水前の河床材料粒度分布は、対象区間では縦断的にあまり変化しておらず、D60で30mm程度である。しかし、洪水後では、河床材料分布は縦断的に大きく変化しており、土砂が縦断的に分級しながら下流に輸送されていたことが分かる。平均河床勾配が約1/110である上流区間(24km~20km)では、河床材料が粗粒化し、D60が100mmを超える粗い土砂となっている。河床勾配の緩くなる14km~5kmの下流区間では、D60が3mm程度となり、洪水前の河床材料に比べて細粒化している。

### 3. 流入土砂量ハイドログラフの推定方法

#### (1) 流入土砂量ハイドログラフ推定の流れ

洪水時の水面形の時間変化には流れや河床変動の情報が反映されている。福岡ユニットでは、観測水面形の時間変化を説明するように解析法を工夫することで、洪水流と河床変動を精度よく推定している。本研究では、この考え方を釜無川昭和57年8月洪水に適用する。すなわち、図-5に示すように、観測された痕跡水位の縦断形や河床高の縦断分布、土砂の河床での総堆積量を説明するように流入土砂量ハイドログラフを求める。

#### (2) 解析方法

土砂移動の多い河川の河床変動を準定常一次元解析法を用いて解く。一次元解析で検討した理由は、本研究の目的が、幅広い粒径集団からなる流入土砂量の時間分布を明らかにすることにあるため、分かりやすく物理的で理解しやすい形で流入土砂量ハイドログラフを推定するためである。河床変動は、式(1)で計算され、浮遊砂の輸送は、式(2)の移流方程式で計算した。掃流砂は芦田・道上の式<sup>1)</sup>、浮遊砂の浮上量は、板倉・岸の式<sup>2)</sup>で算定した。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{1}{1-\lambda} \sum_k \left( \frac{\partial q_{bk}}{\partial x} + q_{suk} - C_{bk} w_{gk} - q_{ber} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_k h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial C_k Q}{\partial x} = q_{suk} - C_{bk} w_{gk} \quad (2)$$

ここで、 $z_b$ ：河床高、 $h$ ：水深、 $Q$ ：流量、 $\lambda$ ：空隙率(=0.4)、 $q_{bk}$ ：粒径 $k$ の単位幅掃流砂量、 $q_{suk}$ ：粒径 $k$ の河床からの単位面積当たりの浮上量、 $q_{ber}$ ：河岸侵食による横流入流砂量、 $C_k$ ：水深平均浮遊砂濃度、 $g$ ：重力加速度である。 $w_{gk}$ は沈降速度を示し、Rubeyの式を用いた。 $C_{bk}$ は浮遊砂の底面濃度を示し、鉛直濃度分布にRouse分布を仮定した。各粒径の限界掃流力は、岩垣の式と修正Egiazaroff式で評価した。流砂量算定に用いる無次元掃流力は、24kmから13kmの急勾配区間では全せん断力を、13mから下流では河床波の影響を考慮するために有効掃流力を用いた。

#### (3) 解析区間と解析条件

解析区間を図-6に示す。図-7には各河川の上流端に与

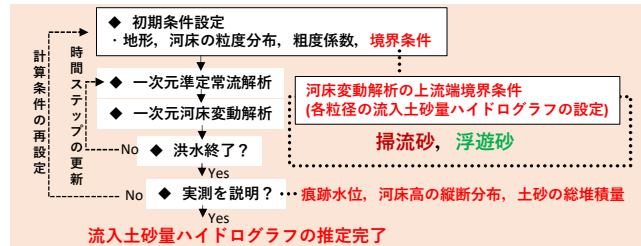


図-5 流入土砂量ハイドログラフ推定の流れ



図-6 解析検討区間

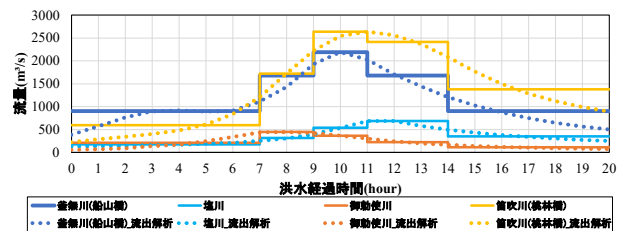


図-7 各河川の上流端に与えた流量ハイドログラフ

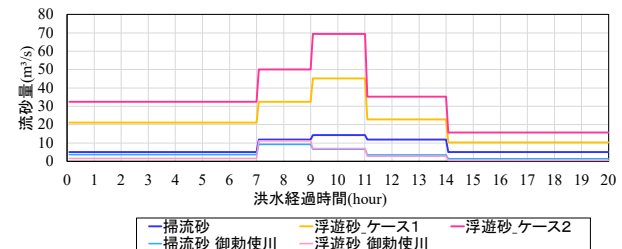


図-8 釜無川と御勅使川の流入土砂量ハイドログラフ

えた流量ハイドログラフとそれを準定常的に扱う方法を示す。流出解析から得られた非定常流量ハイドログラフの波形に基づき、階段状の準定常流量ハイドログラフを設定した。本川上流端は船山橋(23.8km)とし、下流端は清水端(2.7km)とし、観測水位より準定常水位ハイドログラフを作成し与えた。支川は塩川、御勅使川、笛吹川、芦川を考慮した。

図-8には、土砂流入が顕著であった釜無川本川と御勅使川の準定常流入土砂量ハイドログラフを示す。図-4に、本川と支川の流入土砂の粒度分布を示す。掃流砂の流入土砂量ハイドログラフの粒度分布は、用いた河床の粒度分布と比べ、比較的小さくなるよう与えた。これは洪水発生前の初期河床が粗粒化していることに加え、山地から河川への流入土砂のうち、大粒径石礫は上流山間部で堆積し河川検討区間までそのほとんどが到達せず、中小粒径の集団が流入土砂の粒度を構成してい

ると考えたためである。掃流砂の総土砂量は、上流端付近で過剰な堆積や洗掘が起こらない量と質を計算により試行錯誤的に求め、約50万m<sup>3</sup>とした。

浮遊砂は、洪水中に著しい土砂堆積が生じた下流区間の実測河床変動や粒度分布をみて決めた。また、浮遊砂の流入土砂量ハイドログラフの波形は、洪水上昇期に多く流入するとして、洪水上昇期に多めに流入させた。それぞれのケースで与えた各粒径の浮遊砂の流入土砂量は表-1に示す。

支川からの流入土砂量に関しては、計算により塩川から3万m<sup>3</sup>、御勅使川から47万m<sup>3</sup>を与えた。

図-9は、実測洪水前後の横断測量データと航空写真から算出した河岸侵食量を示す。河岸侵食土砂は、河床変動に関係する量であり、各地点の河岸侵食が7~14時間の時間帯に発生するとし、横流入流砂量 $q_{ber}$ で与え解析した。解析初期河床の粒度分布は、実測洪水後の粒度分布を参考に図-4で与えた。

#### 4. 流入土砂量ハイドログラフの推定

##### (1) 粒度分布と土砂量の検討

流入土砂量ハイドログラフの推定結果を示す。今回は、図-10に示す手順で流入土砂量ハイドログラフの推定を行った。流入土砂の粒度分布に関して、ケース1-Aは、実測洪水後の粒度分布を参考に設定し、ケース1-Bとケース1-Cはそれぞれ、ケース1-Aよりも細かい粒度で設定した。流入土砂量は、洪水後の実測総堆積土砂量の220万m<sup>3</sup>に基づき、総流入土砂量が220万m<sup>3</sup>になるよう、浮遊砂の流入土砂量を120万m<sup>3</sup>とし、3ケースで統一した。最初に総流入量よりも粒度分布を検討するその理由は、実測洪水後の粒度分布は4年後に測量されたものであり、洪水後の出水の影響を受け、本洪水で堆積した土砂の粒度とは異なる可能性が高いこと、流入土砂の粒度分布が河床の堆積量に支配的と考えたためである。

各ケースの解析河床変動高の縦断分布を図-11に示す。ケース1-Aの粒度分布は、上流端付近に4m近い土砂堆積が発生し、実測と比較し多くの土砂堆積が生じている。一方、ケース1-Bや1-Cは、13km-6km区間の土砂堆積が実測よりやや小さいものの、比較的良好な解析結果を示した。

この結果を踏まえ、ケース2では、ケース1-Bとケース1-Cの粒度分布を用いて、流入土砂量を増加させた検討を行った。ケース1-Bとケース1-Cで13km-6km区間の堆積土砂量を概算すると、実測と比べ60万~90万m<sup>3</sup>程度少なく計算されていた。これより、ケース2では、流入土砂の粒度分布はそれぞれケース1-Bとケース1-Cの条件のまま、浮遊砂量を120万m<sup>3</sup>増加させ240万m<sup>3</sup>と

表-1 各粒径の流入浮遊土砂量

ケース	粒径	総流入土砂量(浮遊砂)						
		0.05mm	0.1mm	0.2mm	0.3mm	0.6mm	1.2mm	
ケース1	1-A	1,200,000	0	60,000	60,000	120,000	480,000	480,000
	1-B	1,200,000	180,000	240,000	300,000	300,000	120,000	60,000
	1-C	1,200,000	420,000	480,000	168,000	114,000	12,000	6,000
ケース2	2-B	2,400,000	360,000	480,000	600,000	600,000	240,000	120,000
	2-C	2,400,000	840,000	960,000	336,000	228,000	24,000	12,000

単位：(m<sup>3</sup>)

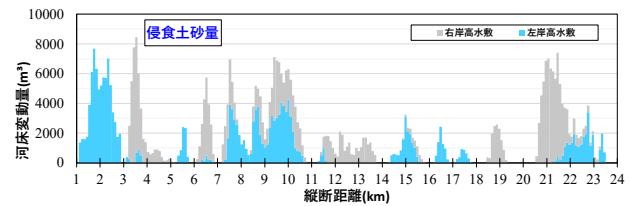


図-9 河岸侵食量の縦断分布

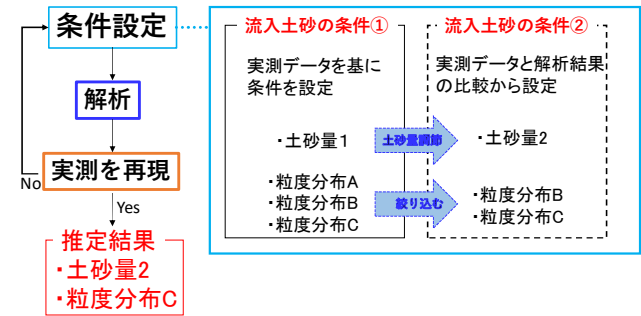


図-10 流入土砂量ハイドログラフの検討フロー

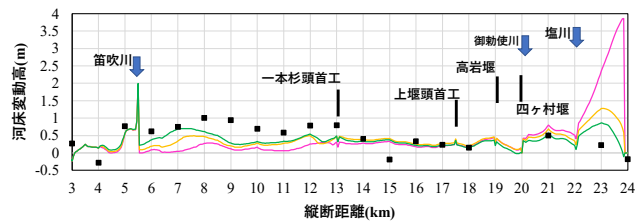


図-11 解析河床変動高の縦断分布の比較(ケース1)

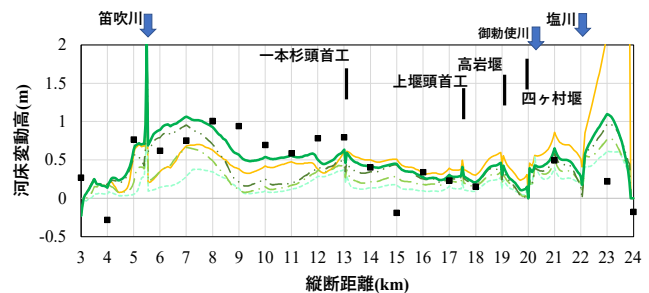


図-12 解析河床変動高の縦断分布の比較(ケース2)

し与えた。

ケース2-Bとケース2-Cの洪水後河床変動高の縦断分布を図-12に示す。ケース2-Bは、上流区間に堆積が生じており、13km-6km区間の土砂堆積も実測と比べ小さい。一方ケース2-Cは、実測の堆積傾向を良く説明している。以上の検討から、流入土砂の量と粒度分布が河床変動に与える影響は大きく、これらを推定するためには、まず流入土砂の粒度分布を絞り込み、その後、

実測の土砂堆積を説明するように流入土砂量を調節し推定することが有効なことを示した。

## (2) 実測データと解析結果の比較

図-13にはケース2-Cの流量ピーク時の解析水面形を示す。縦断的な痕跡水位の傾向を説明している。

図-14は、23kmと8km地点における実測と解析の洪水後粒度分布の比較を示す。23km地点の粒度分布に関して、4年経過した実測洪水後の粒度分布は、洪水前と比べ粗粒化している。しかし、図-15に示す洪水直後の航空写真より、河床表層は細かい粒径で覆われており、解析結果と同じ傾向が見られた。一方、8km地点において、解析洪水後の粒度分布は、実測洪水後の粒度と同様に細粒化しており、上流端から流入した細粒土砂が堆積したためである。

## (3) 下流区間の土砂堆積の考察

検討対象区間で著しい土砂堆積の生じた13km-6kmの河床変動について考察する。図-12には、ケース2-Cの河床変動高の時間変化を示す。図-16は、流量ピーク付近と洪水減水における浮遊砂の河床への堆積量(沈降量-浮上量)の縦断分布を示す。これらの図より洪水ピーク付近の11時間経過時では、背水の影響で水面勾配の緩くなる8kmから6kmにかけて0.1mmの土砂が大きく堆積したことが分かる。洪水減水期の16時間経過時には、掃流力が低下するために、浮遊砂の堆積が生じる地点が上流側に移動し、12kmから9km区間に0.1mm~0.3mmの土砂が多く堆積し、9kmから7km区間に0.05mmの土砂が堆積した。

## 5. 結論

本検討では、釜無川昭和57年8月大洪水を対象に、準定常一次元洪水流・河床変動解析を用いて、複雑な土砂移動と河床状況の変化が生じた大洪水時の流入土砂量分布を、洪水後に測量された河床形状を再現するよう試行錯誤的に推算した。

その結果、推定した各粒径集団の流入土砂量ハイドログラフが、洪水痕跡水位や実測洪水後の土砂堆積傾向を説明することを確認した。釜無川昭和57年8月大洪水では、下流河道の河床変動に大きな影響を与える流入土砂の量と粒度分布を推定する際は、まず流入土砂の粒度分布を絞り込み、その後、実測の土砂堆積を見て流入土砂量を調節することが有効なことを示した。

今後、他の洪水の河床変動についても検討し、この推算手法の妥当性を実証することが重要である。また、本稿では流入土砂量ハイドログラフの波形は、全てのケースで同一に設定し検討しており、今後本川上流端からの流入土砂の波形変化や支川群からの流入土砂の与え方が、河床変動や粒度分布に及ぼす影響について

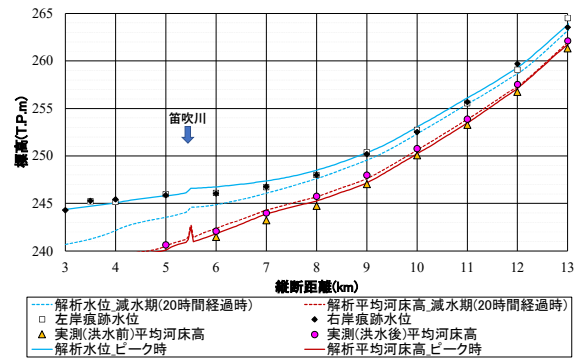


図-13 流量ピーク時の解析水面形(ケース2-C)

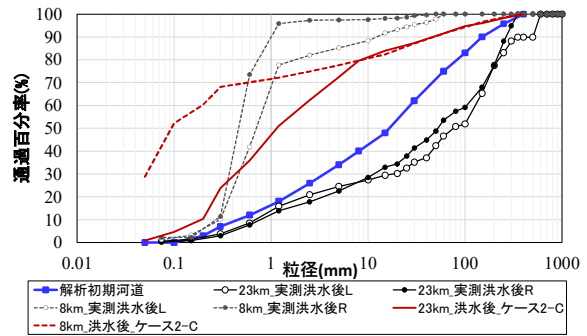


図-14 実測と解析の洪水後粒度分布の比較



図-15 洪水直後の航空写真(23km付近)

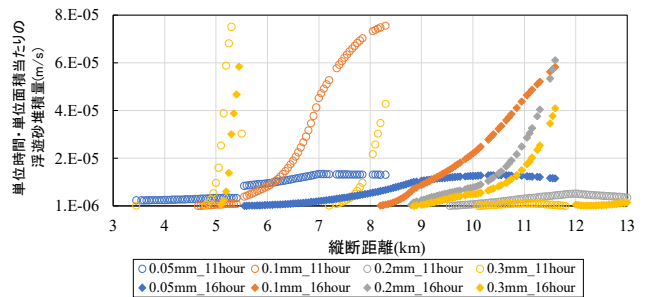


図-16 浮遊砂の河床への沈降量の縦断分布(ケース2-C)

検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69, 1972.
- 2) 板倉忠興: 河川における乱流拡散現象に関する研究, 土木試験所報告, 第83号, 1984