

支川合流部における土砂・洪水氾濫の発生メカニズムに関する基礎的な実験

原田 紹臣(立命館大学理工学部)

○里深 好文(立命館大学理工学部)

辻川 愛, 竹下 耕樹, 藤本 将光(立命館大学理工学部)

水山 高久(京都大学名誉教授)

1. はじめに

気候変動の影響による土砂・洪水氾濫の頻発化が懸念されており、これらのメカニズム解明は重要である。一方、河川合流部は、洪水時に土砂の堆積や、それに伴う水位の上昇などが生じるため、氾濫の危険性が高く、古くから議論されている¹⁾²⁾³⁾。近年、河川合流部の直上流支川において、顕著な河床上昇に伴う河道閉塞や土砂・洪水氾濫による被害が発生した。そこで、本研究では、土砂・洪水氾濫の被災要因の一つとして着眼する下流本川の水位変動に着眼した合流部上流の支川における土砂堆積の影響について、基礎的な実験を行い検証する。

2. 本川水位の変動が上流支川に与える影響の実験

筆者らが、土砂・洪水氾濫メカニズムの一つとして着眼する本川水位上昇による上流支川における背水による影響に関して、水路実験により検証する。

(1) 実験概要

実験に使用した合流部(本川, 支川)を有した水路を図-1に示す。図-1に示すとおり、実規模に対して、1/30程度の縮尺を想定し、幅 $w_1 = 70 \text{ cm}$ 、長さ $L_1 = 1500 \text{ cm}$ 、高さ $h_1 = 25 \text{ cm}$ 、勾配 $\theta_1 = 1/100$ の直線水路に対して、本川下流端から上流 $L_3 = 500 \text{ cm}$ の位置に右岸側から流入角 $\theta_3 = 45$ 度(図-2)で流入させた支川(幅 $w_2 = 40 \text{ cm}$ 、長さ $L_2 = 500 \text{ cm}$ 、高さ $h_2 = 25 \text{ cm}$ 、勾配 $\theta_2 = 1/25$)を有した構造としている。なお、流入角 $\theta_3 = 45$ 度については、既往研究¹⁾²⁾³⁾の流入条件を参考に、新たに45度としている。各水路は固定床とし、水路底面には土砂(一般的な珪砂3号: 粒径1mm程度)を接着させて流れを安定させている。また、本川上流端から水($q_1 = 11 \text{ L/s}$ 、上流端平均水深 $h_{w1} = 2 \text{ cm}$ 、 $Fr = 1.6$)、支川上流端から水($q_2 = 6 \text{ L/s}$ 、平均水深 $h_{w2} = 1.5 \text{ cm}$ 、 $Fr = 2.9$)及び土砂($W_{sm} = 10 \text{ kg}$ 、珪砂3号)を供給し、流砂状況について観察している。給砂方法については、事前に支川上流の底面に土砂を敷き詰め、その上流から給水した流水により侵食させて下流へ運搬させた。一方、給水に

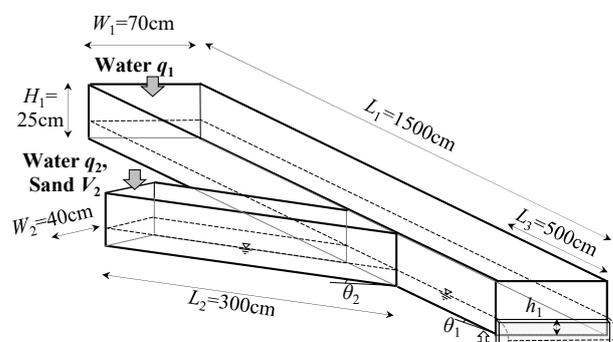


図-1 水路実験の概要(河川合流部の実験水路)

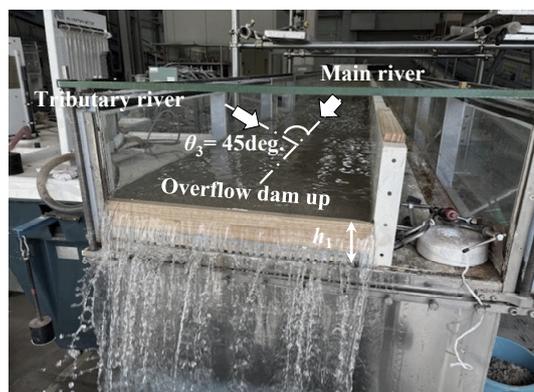


図-2 水路実験の状況(本川下流端における堰)

ついては、支川上流に敷き詰めた土砂が全て侵食し、最終的に、合流部付近において顕著な変化が見られない時点までとし、支川から本川の順で給水を停止させている(最大給水時間: 10分程度)。その際、本川水位の変化に伴う背水による支川への影響を把握するため、本川下流端に可動式の越流堰(図-2, $h_1 = 10 \text{ cm}$)を設けている。ここで、給水量や給砂量などについては、予備実験を参考に設定している。また、実験結果におけるバラツキを考慮するため、同じ条件にて3回実施している。

(2) 実験結果と考察

本川下流端の堰を設けない場合(本川水位: 低)における支川の流砂状況を図-3に示す。図-3に示すとおり、支川から供給された土砂は合流部を通過し、本川の流れの影響を受けて本川中心より右岸側に押し出されながら、下流へ

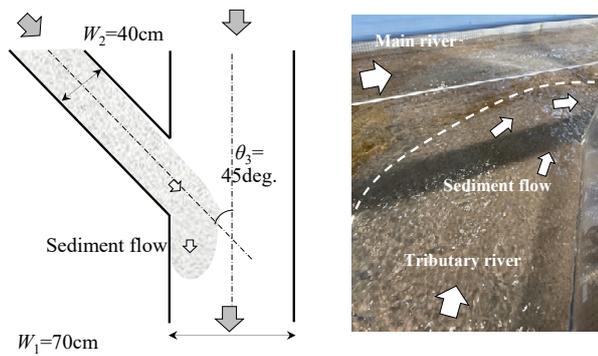


図-3 実験結果 (本川水位: 低, 左: 平面図, 右: 鳥瞰写真)

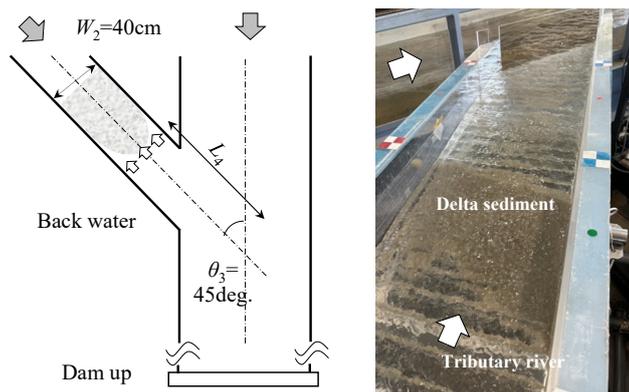


図-4 実験結果 (本川水位: 高, 左: 平面図, 右: 鳥瞰写真)

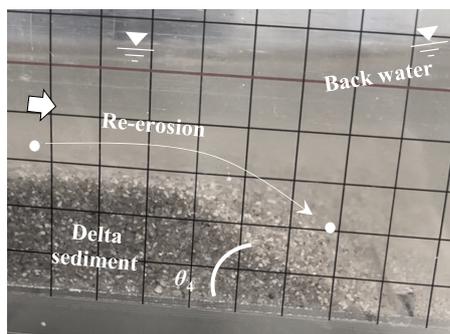


図-5 本川水位上昇に伴った背水による堆砂デルタの移動状況

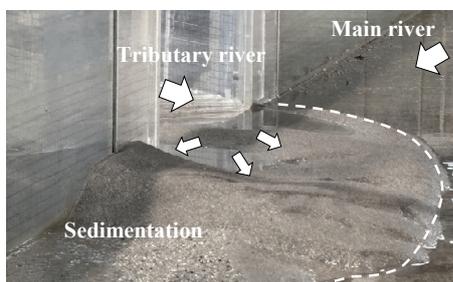


図-6 出水後の水位低下に伴う支川からの土砂流出・堆積状況

流出するのが観察された。なお、最終的には、支川から供給された土砂は概ね本川へ流出した。

一方、本川下流端の堰を設けた場合 (本川水位: 高) における支川の流砂状況を図-4 に示す。図-4 に示すとおり、支川から供給された土砂は、本川からの背水 (合流部付近

における平均水深 $h_{w1_join} = 12\text{cm}$) による影響を受けて、合流部からの距離 $L_4 = 110\text{cm}$ 付近の支川において、一般的に貯水池の湛水部上流において見られる顕著な堆砂デルタ⁴⁾による顕著な河床上昇が確認された。そして、形成された堆砂デルタは、横断方向において、平均的にゆっくりと下流へ移動する傾向が見られた。ここで、支川における堆砂デルタの詳細な状況を図-5 に示す。図-5 に示すとおり、堆砂デルタの下流堆砂勾配 $\theta_4 = 35$ 度程度の形状を保ちながら、堆積した堆砂デルタが後続流からの再侵食により、下流へ再移動の様子が確認された。ただし、合流部からの距離 $L_4 = 70\text{cm}$ 付近の支川において、最終的に、堆砂デルタの下流への再移動は殆ど見られなくなった。これらの結果より、土砂・洪水氾濫の要因の一つとして、下流本川における水位上昇に伴う背水による影響が重要であることが分かった。

ここで、本川下流端の堰を設けた場合 (本川水位: 高) における給水停止後の支川からの流砂状況を図-6 に示す。図-6 に示すとおり、支川からの給水停止後の本川の給水停止による本川水位の低下に伴って、支川内に堆積 (堆砂デルタ) していた土砂が、一度に、本川内に流れ出す現象が見られた。なお、給水停止と併せて本川下流端の可動堰も撤去している ($h_1 = 0\text{cm}$)。これらの堆砂形状は、従来、現地で確認^(例えば³⁾)されている知見と類似するものであった。

なお、実施した実験は、今回の被災で見られた土砂・洪水氾濫メカニズムの一つである河床上昇に関して、仮説の一つとして考察した下流からの背水による影響を検証するために、簡易的に実施したものである。そのため、今後、本川や支川水位条件の違いによる影響や、水位低下時期や給砂条件などの違いによる影響について、更なる検証が望まれる。

参考文献

- 1) Bradbrook, K.F., Lane, S.N., Richards, K. S., Biron, P.M, Roy, A.G: Role of bed discordance at asymmetrical river confluences, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol.127, No.5, pp.351-368, 2001.
- 2) Weber, J. L., Schumate, E. and Mawer, N.: Experiments of flow at a 90° open-channel junction, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol.127, No.5, pp.340-350, 2001.
- 3) 岡野和行, 木下篤彦, 山田 拓, 柴田 俊, 井之本信, 上杉温子, 吉安征香, 山越隆雄, 里深好文: 山地河川の合流部における河床変動に関する実験的研究, *砂防学会誌*, Vol. 74, No. 2, pp. 31-38, 2021.
- 4) 高橋 保, 中川 一, 里深好文: 貯水池逆流システムによるフラッシング排砂, *水工学論文集*, Vol. 46, pp. 785-790, 2002.