

フラッシュ放流による河床環境改善効果と放流波形の重要性

椿涼太¹・河原能久¹・中土井佑輔¹・岩苔和広²・吉武央気¹
¹ 広島大学大学院, ² 中国電力株式会社

概要

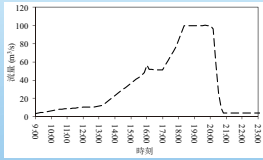


図-1 灰塚ダムからの放流パターン

広島県北部を流れる江の川水系上流の灰塚ダムにおいて2009年3月に実施されたフラッシュ放流について、現地観測と数値計算を実施して、河川環境のフラッシュ効果について考察を行った。具体的には放流中の流水のchl_a濃度を藻類剥離の指標として用い、その濃度変化と流量変化の時間差に着目し分析・考察を行った。この時間差により、剥離された藻類等は洪水に取り残される。よって、短い放流波形では剥離・巻き上げた藻類や堆積有機物は直ぐ下流に堆積することとなる。

目的

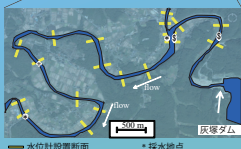


図-2 観測河道区間

本研究では、灰塚ダムにおいて2009年3月に実施されたフラッシュ放流を対象に、現地観測および流れの数値解析を実施してフラッシュ放流の効果の算定を行うこととする。また、フラッシュ放流により、ダムからある程度離れた下流区間では、有機物や微細土砂等の堆積することが問題となっており、この点に関連して、放流波形の及ぼす河床環境改善効果に関する考察を行う。

観測概要

本研究では、灰塚ダム下流約1kmから約9km区間を観測対象とした。灰塚ダムは集水面積217.0km²の多目的ダムであり、ダム地点における洪水流量1150m³/sのうち、750m³/sの洪水調節を行う。観測区間の河床勾配は約1/300であり、河床は0.01mから1m程度の礫で構成されている。

観測区間の約70断面において横断観測を実施した。またフラッシュ放流前後に、低高度からの航空写真撮影を実施し、植生繁茂状況および倒伏状態を記録した。放流実施中に、20箇所での圧力式水位計による水位ハイドログラフの計測を実施した。また、観測区間の中間地点の堰直上流で、ADCPによる流量計測と、洗掘深計による河床変動計測を実施した。また、観測区間中の2断面で、30分毎の定期採水を実施し、chl_a濃度およびSS量を室内分析により計測した。また、中国地方整備局により、ほぼ同様の地点において放流波形をカバーする7時刻において採水がなされchl_a濃度およびフェオフィチン濃度が室内分析により計測された。

数値計算

支川合流直後の採水地点でのchl_a濃度実測値を流入境界条件とし、それ以降の区間での放流中のchl_aの移流を数値計算により評価し、下流側の採水地点でのchl_a濃度実測値と計算値を比較することにより、この区間中での実質的なchl_aの増加量を算定するとともに、剥離された付着藻類と放流波形の関係について論ずることとする。

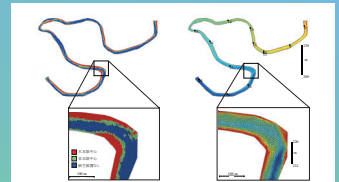


図-3 計算格子 (図中の白丸と数字は水位計設置位置を示す。)

数値計算の検証

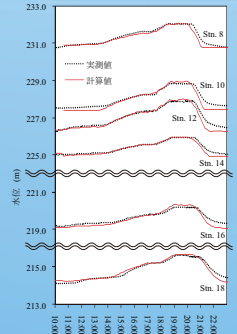


図-4 水位の再現性

物質輸送を、平面二次元非定常浅水方程式を用いて評価することとする。すなわち、

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} = S + \nabla D$$

である。ここに、

$$U = (hu, hv, hc)^T,$$

$$E = (hu^2 + \frac{1}{2}gh^2, huv, huc)^T,$$

$$F = (hu, huv, hv^2 + \frac{1}{2}gh^2, huc)^T,$$

$$S = (0, gh(S_{0x} - S_{rx}) - D_x, gh(S_{0y} - S_{ry}) - D_y, 0)^T$$

$$D = (0, K_x h \nabla_x, K_y h \nabla_y, K_h \nabla_h)^T$$

であり、また h 水深、 u, x 方向流速成分、 v, y 方向流速成分、 c 物質濃度、 g 重力加速度、 K_x, K_y, K_h 運動量および物質濃度の拡散係数行列であり、水深平均運動粘性係数 αu を用いて評価する。ここに α 係数、 u 底面摩擦速度である。また河床勾配は次式で評価する。

$$S_{0x} = -\frac{\partial z}{\partial x}, S_{0y} = -\frac{\partial z}{\partial y}$$

$$S_{rx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, S_{ry} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$D_x = 0.5 C_d \alpha u \sqrt{u^2 + v^2}, D_y = 0.5 C_d \alpha v \sqrt{u^2 + v^2}$$

と評価する。ここに n 単位面積に占める遮蔽長さである。

以上の式を、三角形非構造格子を用いた有限体積法により離散化する。移流・発生消滅項は二次精度 MUSCL 法により、拡散項は二次精度中心差分により評価し、時間進行は Adams-Bashforth 法による二次精度で離散化を行った。計算格子は、延長約7kmの観測区間を一边の長さが約6mの24294個の三角形により構成される。

計測結果

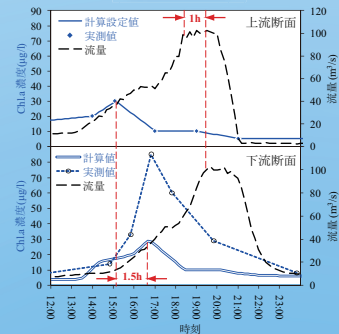


図-5 上流断面と下流断面でのchl_a濃度の比較

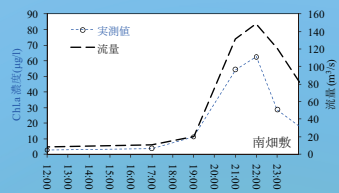


図-6 南畑敷地点 (ダムから約9km下流)での流量とchl_a濃度の変化

chl_a濃度の計算値と流量の波形を見比べると、chl_a濃度については上流断面の波形が約1.5時間経過したのち、下流断面に現れるのに対し、流量のピーク位置を比べると、上流から下流断面に伝わるのに約1時間程度かかっており、濃度の移流に比べ、洪水波形の伝播が速いことが確認できる。このようなchl_a濃度と流量(水位)のピークの伝達速度の関係は、より下流の計測地点での結果(南畑敷)に下流断面から約10km下流の地点でのchl_a濃度と流量(水位)をより顕著に確認することができる。

数値計算と物質輸送

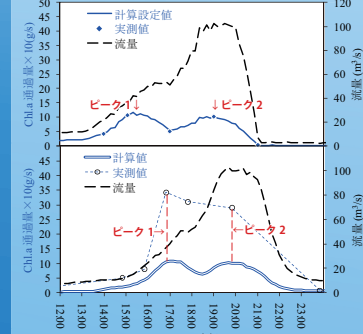


図-7 上流断面と下流断面でのchl_a通過量の比較

chl_aを断面通過量という観点からみると、流量が40m³/s程度まで上昇した時期に一度目のピークが確認でき、さらに、流量がピークに達し、100m³/sを維持している段階でchl_aの通過量が二つ目のピークを示す、二山型の分布となっている。洗掘深センサーが、最大流量時点で15cm程度の深さの河床洗掘を示したことなどから、100m³/s程度の流量において、河床の主要な構成材料である直径15cm程度の礫が若干移動することが示唆される。逆に、40m³/s程度の流量では、河床材料に付着して生息している藻類はほとんど剥離しておらず、礫表面や、淵等に堆積・沈殿した藻類やデトリタスが巻き上げられているのではないかと推察される。一方、二つ目のchl_a通過量のピーク時には河床の礫の移動がみられ、礫の移動に伴い、その間隙に堆積していた、より粒径の小さな土砂も活発に移動したものと考えられ、河床材料の移動に伴い、河床に生息する付着藻類の剥離が促進されたものと予想される。よって、灰塚ダムにおけるフラッシュ放流を設計する上では100m³/s程度の流量は河床材料の交換や藻類の剥離を扱う上で目安となる流量といえる。

放流波形と放流効果

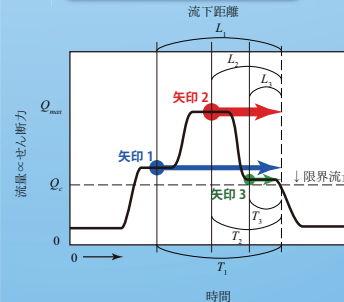


図-8 放流流量波形と物質流下の概念図

放流初期に巻き上げられた物質は、矢印1に相当する時間スケールの期間中、この時間スケールに比例する距離を流下することができ、その後河床に沈降することとなる。矢印2では、大きな流量によって、より多くの有機物等を巻き上げることができるが、残りの継続時間が矢印1に比べ短いため流下距離は短くなる。

放流の継続時間の目安となる目安としては、河床環境改善効果を狙う区間の延長を L 、継続時間を T 、洪水伝播速度を C 、物質輸送速度を U とすると、 $L = \frac{1}{U-C}T$ と評価できる。

2009年に実施されたフラッシュ放流について評価すると、計測結果より洪水伝播速度を2.5m/s程度、物質輸送速度を1.6m/s程度と評価でき、ピーク継続時間を1.5時間と評価すれば流下距離は37km程度となる。

流量が漸増してピークに至り、急激に流量を落とす放流波形では、ピークで剥離・巻き上げられた物質を長距離流下させることができない。逆に、流量を急激に増加させたあと、漸減させた方が、物質を効果的に流下させることが可能である。