

活発な土砂移動を伴う釜無川の洪水流・河床変動解析法に関する研究 ～石礫粒子の衝突を考慮した離脱量の評価について～

中央大学大学院 学生会員 ○岡山 士朗
国土交通省甲府河川国道事務所 正会員 内藤 ゆう子

中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二
中央大学研究開発機構 正会員 後藤 岳久

1. 序論

釜無川において戦後最大の洪水となった昭和57年8月洪水では、上流山地流域から大量の土砂が流入し、図-1に示す対象区間の河道に合計約200万 m^3 の土砂が堆積した。その結果、河床材料の粒度分布は、洪水前は縦断的にほぼ一様であったが、洪水後には上流区間に粗い粒径の土砂が堆積し、河床勾配の緩くなる笛吹川合流までの区間では細かい土砂が大量に堆積し、縦断的に河床材料の分級が生じた(図-2)。本研究では縦横断的な土砂堆積と分級現象の生じた昭和57年8月釜無川洪水の流れと河床変動を説明するための洪水流・河床変動解析法について検討した。

2. 解析方法

洪水流解析には準三次元解析法であるQ3D-FEBS¹⁾、河床変動解析には長田・福岡の石礫河川の河床変動解析法²⁾を用いた。長田・福岡の解析法では流砂の非平衡運動を考慮しており、粒子の移動速度、堆積割合をsaltation解析を用いて計算し、流砂量と堆積量をそれぞれ式(3)、式(6)で算出している。離脱量は、図-5に示すように固定粒子に対して離脱粒子が流体力の作用により固定粒子を乗り越えるまでの時間 t_{pick} から算出している(式(7))。

一方、活発な土砂移動の生じる釜無川では、石礫粒子が河床の粒子に衝突することで離脱する現象を考慮することが重要と考えられる³⁾。そのため本検討では、石礫粒子の衝突を考慮した新たな離脱量の評価方法について検討した。以下にその評価方法を示す。

図-5は衝突力を考慮した離脱時間の評価方法を示す。離脱粒子に作用する水平方向の流体力を F_s 、鉛直方向の流体力を F_z 、重力を W 、離脱粒子と固定粒子間に働く摩擦力を F_f 、衝突力を F_p とす

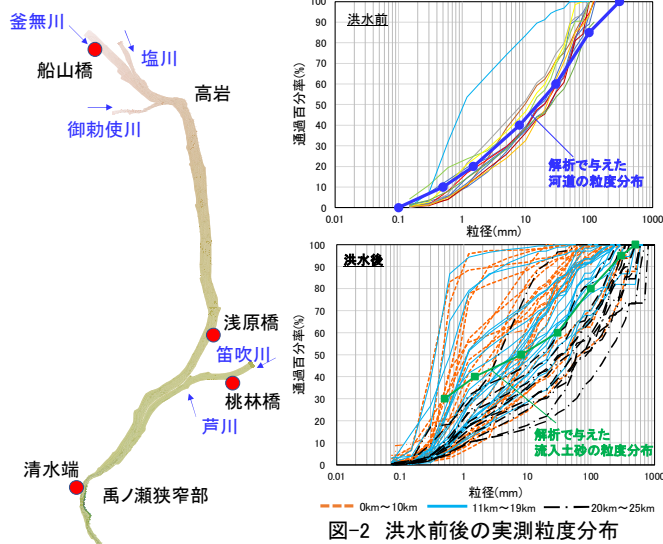


図-1 解析区間平面図

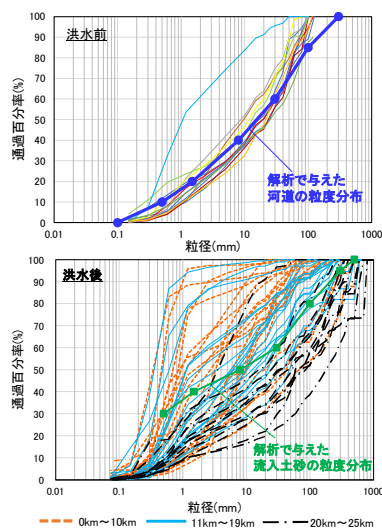


図-2 洪水前後の実測粒度分布

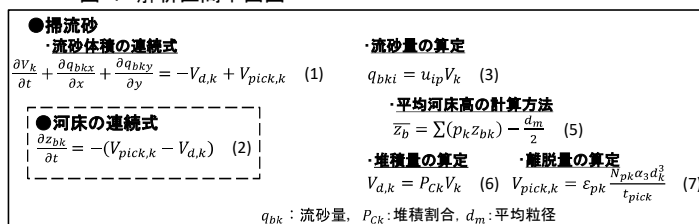


図-3 長田・福岡の河床変動解析法の枠組み

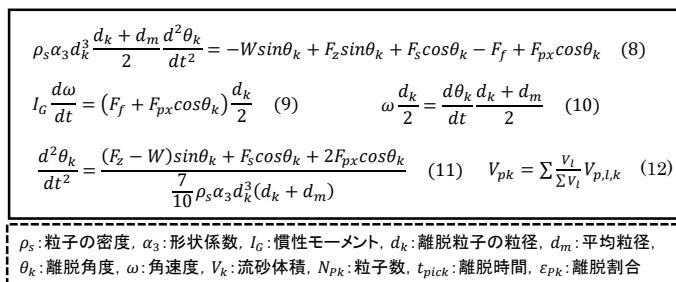


図-4 離脱量の算出方法

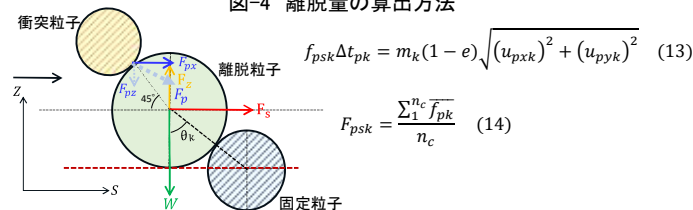


図-5 衝突力を考慮した離脱時間の評価方法

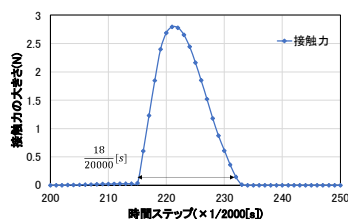


図-6 接触により作用する力が働く時間

キーワード 釜無川, 石礫河川, 離脱量, 衝突力, 洪水流河床変動解析

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL: 03-3817-1615

る。離脱粒子の接線方向の運動方程式は式(8)となり、離脱粒子まわりの回転の運動方程式は式(9)となるため、回転による移動距離と接線方向の移動距離の関係である式(10)を用い、式(11)が得られる。この式から粒子の離脱時間 t_{pick} を求め、式(7)で離脱量を算出している。最終的な粒径 d_k の粒子の離脱量は式(12)のように重みをつけて評価した。

次に離脱粒子に作用する衝突力の算定方法を示す。saltation 運動する粒子が河床と衝突することによる運動量変化から離脱粒子が受ける力積 $f_{pk}\Delta t_{pk}$ は、衝突前の粒子速度 u_{pk} と反発係数 e を用いて式(13)と表される。ここで、衝突時間 Δt_{pk} は田所らが行った数値移動床実験⁴⁾から求めた。数値移動床実験では個別要素法を用いて個々の粒子が衝突して接触している時間と作用する力を計算しており、本研究ではこの力が作用している時間を計測し衝突時間を求めた(図-6)。その結果、衝突時間 Δt_{pk} は約 1/1000~1/2000(s)であることから、本研究ではその平均的な値として衝突時間 Δt_{pk} を 3/4000(s)と設定した。以上より求められた衝突力 f_{pk} を saltation 運動で粒子が河床と衝突する回数 n_c で平均化した(式 14)。なお、衝突力の作用する位置は、水平方向から上向き 45° の地点とし、衝突力の水平方向 F_{ps} のみを考慮しており、この評価法については今後の課題である。

3. 解析条件

釜無川の昭和 57 年 8 月洪水を対象に、解析区間は船山橋(23.8k)から清水端(2.7k)とし、支川は御勅使川、塩川、笛吹川、芦川を考慮した(図-1)。上流端境界条件には流出解析から求めた流量ハイドログラフ、下流端境界条件には観測水位を与えた(図-7)。解析で用いた粒度分布は図-1 に示す通りであり、上流からの細粒土砂は浮遊砂として 2 次元の移流拡散方程式で計算している。

4. 解析結果

図-8 は、衝突未考慮の場合と考慮した場合の流砂量縦断面図を示す。衝突を考慮したことで流砂量が大きく増加し、土砂が活発に移動するようになったことが分かる。図-9 よりピーク時の解析水面形は痕跡水位を説明している。図-10 は 21km, 23km の横断面図を示す。衝突未考慮の場合と比較すると一部実測に見られる清水での土砂堆積が計算されているものの、横断的に局所的な土砂堆積が発生しており、解析法には課題が残されている。

5. まとめと今後の課題

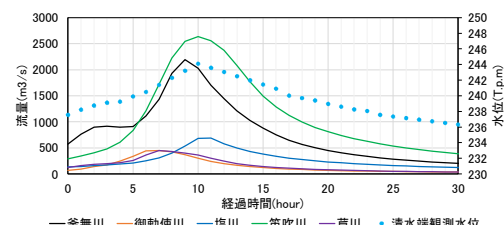


図-7 流量ハイドログラフと水位ハイドログラフ



図-8 釜無川 掃流砂量縦断面図 1時間経過時

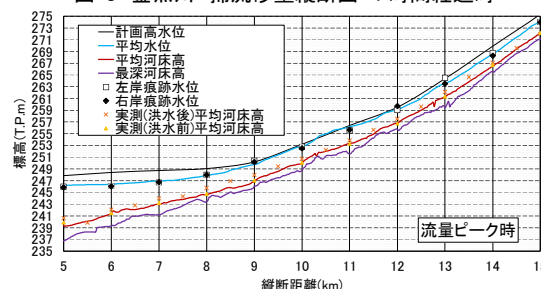


図-9 痕跡水位・河床高縦断面図

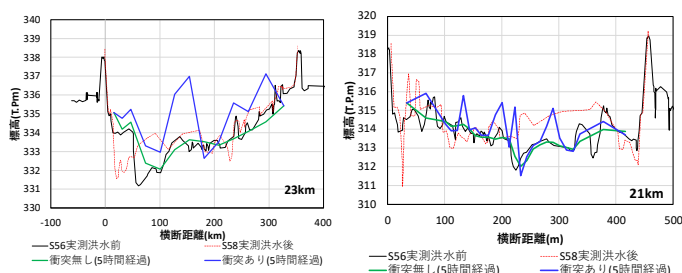


図-10 実測と解析の横断面図比較

従来の石礫河川の河床変動法に粒子の衝突による離脱量の増加の影響を考慮したことによって、流活発な土砂移動が計算され得る可能性を示した。今後、様々な移動速度、粒径の粒子が河床の粒子に衝突した際に作用する衝突力の大きさや作用する方向、衝突時間、また離脱に対する衝突力と流体力の割合とその評価法について、数値移動床実験を用いて調べ、適切な衝突力の評価法を検討していく。

参考文献

- 1) 竹村吉晴・福岡捷二：波状跳水・完全漲水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析 (Q3D-FEBS) 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.1, 2019.
- 2) 長田健吾・福岡捷二：石礫河川の河床変動機構と表層石礫の凹凸分布に着目した二次元河床変動解析法, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.1, 2012.
- 3) 熱海孝寿・福岡捷二：石礫粒子形状の違いが流れ場と河床形状に及ぼす影響の研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.5, 2018.
- 4) 田所弾・福田朝生・福岡捷二：等価な粒度分布を有する球と石礫で構成される二つの数値移動床上の粒子運動の比較検討, 水工学論文集, 第 58 巻, 2014.