

土砂・洪水氾濫対策における遊砂地の土砂処理機能に対する数値解析モデル構築に関する一考察

○原田 紹臣 (三井共同建設コンサルタント株式会社)
 中谷 加奈 (京都大学大学院)
 里深 好文 (立命館大学)
 水山 高久 (京都大学名誉教授)

1. はじめに

土砂・洪水氾濫被害に対して、今後、遊砂地や最下流の基幹堰堤の整備等による対策の推進が示された。これまで、筆者らは土砂等の輸送を調節させる遊砂地を対象に、水路を用いた基礎的な水理実験により、遊砂地の細部構造等の違いが土砂の処理機能に与える影響について考察している¹⁾。

一方、近年の河川砂防技術基準 計画編の改訂に伴って、土砂・洪水氾濫対策における土砂処理計画は、流出解析、河床変動計算、氾濫解析により策定することとされており、災害等を再現できることを確認した計算条件、数値解析手法を用いて計算することが望ましいとされている。そのため、土砂の輸送調節等を考慮した遊砂地の土砂処理機能に関する数値解析モデルの開発が望まれている。

本研究では、今後の下流域において懸念される土砂・洪水氾濫対策として、土砂等の輸送を調節させる遊砂地を対象に、筆者らの水路を用いた既往の基礎的な水理実験結果 (例えば、図-1、図-2)¹⁾を用いて解析モデル (一次元)^{2,3)}を構築し、その再現性や適用性について考察している。

2. 遊砂地の土砂処理機能に関する数値解析

数値解析により遊砂地の土砂処理を計画するため、数値解析手法の一つとして提案する。なお、本稿では紙面の関係より示さないが、事前の予備検討において、数値解析モデルに関して、一次元^{2,3)}と二次元モデル⁴⁾とを概略的に比較したところ、一次元解析モデルの方が適用性において有意である可能性が示唆されたため、本検討では、簡単のため一次元解析モデルにより検討している。

流動層における流れの基礎方程式は、一様砂礫を対象とした一次元非定常流れ^{2,3)}のものを用いる。流れの運動方程式、全容積の連続式、流水中の土砂の連続式及び河床の連続式は、それぞれ次のように表される。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_b}{\rho_m h} \tag{1}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} = i_b \tag{2}$$

$$\frac{\partial (Ch)}{\partial t} + \frac{\partial (uhC)}{\partial x} = i_b C^* \tag{3}$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i_b = 0 \tag{4}$$

ここに、 h は流動深、 u は断面平均流速、 g は重力加速度、 H は流動面標高、 z は河床高、 C は流動層の土砂濃度、 t は時間、 C^* は堆積層の土砂濃度、 ρ_m は細粒子を含む液体相の単位体積重量、 τ_b は河床面せん断応力、 i_b は侵食速度である。なお、その他の詳細については、既往文献^{2,3)}を参照されたい。以降に、実験結果¹⁾について再現計算を行う。

解析条件としては、砂粒子の単位体積重量 $\sigma = 2,650\text{kg/m}^3$ 、細粒子 (細粒礫) を含む液体相の単位体積重量 $\rho_m = 1,100\text{kg/m}^3$ 、砂礫の内部摩擦角度 $\phi = 37^\circ$ 、堆積層の土砂濃度 $C^* = 0.65$ 、重力加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$ 、侵食速度係数 $\delta_e = 0.0007$ 、堆積速度係数 $\delta_d = 0.1$ 、 $\Delta t = 0.001\text{s}$ 、 $\Delta x = 0.5\text{m}$ (5mm)、マニングの粗度係数 $n_m = 0.01\text{m}^{-1/3}\text{s}$ として設定し、その他の条件を変化させて検討した。

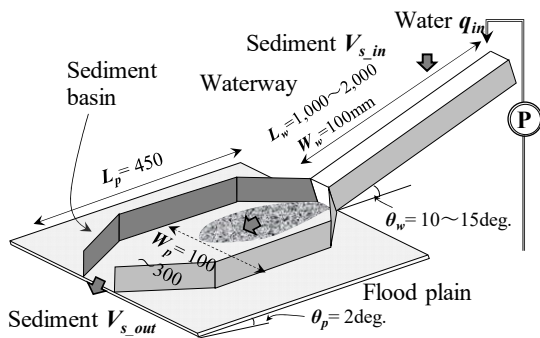


図-1 実験概要 (実験水路の概要)

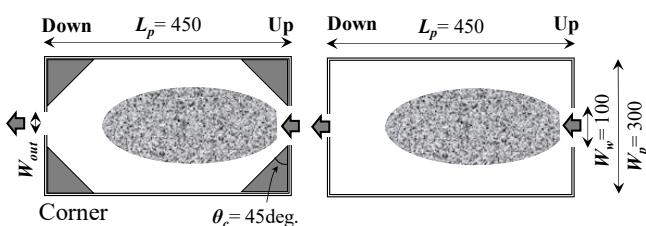


図-2 遊砂地平面図 (左：隅角部有、右：隅角部無)

遊砂地の土砂処理機能（土砂捕捉）に対して構築した解析モデル（一次元）を用いて、実験結果¹⁾（縮尺：1/100）を対象に再現計算し、それらの比較により提案する解析モデルの適用性について考察する。

直線水路幅 W_w に対する遊砂地幅 W_p （図-1：拡幅有無）の変化が土砂捕捉 f_s （ $(V_{s, in} - V_{s, out}) / V_{s, in}$ ：図-3）に与える影響に関する実験結果に対して、再現計算により比較した結果を図-3に示す。図-3に示すとおり、概ね、再現できることが分かった。なお、実験結果と比較して、解析結果の方が拡幅有無の影響を受けやすいことが分かった。この要因の一つとして、一次元的な解析モデルのため、拡幅に伴う流速変化の影響を顕著に受けたものと考えられる。

一方、遊砂地下流出口の開口幅 W_{out} （図-2）の変化が土砂捕捉 f_s に与える影響に対する比較を図-4に示す。図-4に示すとおり、同様に概ねの再現性について確認された（相関係数:0.98）。なお、下流側の開口幅の変化に伴う土砂捕捉の影響は、図-3に示される傾向とは異なり、実験結果に比べて小さい傾向であることが分かった。この要因の一つとして、一般的な開口幅の縮小に伴う上部への影響（背水効果）とそれに伴う土砂捕捉機能に与える局所的な影響について、同様に、今回構築した一次元的な解析モデルでは十分に考慮できなかったことによるものと考えられる。

最後に、遊砂地の隅角部設置（図-2）有無の違いが土砂捕捉 f_s に与える影響に対する比較を図-5に示す。図-5に示すとおり、これまでの傾向と異なって再現性が低下した。特に、下流隅角部設置（Down）時の結果については再現性が低下した。この要因の一つとして、同様に、一次元的な解析モデルを用いているため、隅角部設置等の局所的な遊砂地内における平面流の変化（例えば、遊砂地内の横断方向への流れ）が考慮できないことによるものと考えられる。

以上までの結果より、今回提案する一次元解析モデルによる遊砂地の土砂捕捉機能（土砂捕捉）に関する実験結果の再現性について、一部の局所的な流れの変化（例えば、背水効果や横断方向への流れ）については課題が残るが、遊砂地幅や下流出口の開口幅、流量の変化が土砂処理機能に与える影響については、概ね再現できることが分かった。

ただし、今後、二次元解析モデル⁴⁾や三次元解析モデルの適用性や再現性について更に詳細に検討するとともに、本検討において課題となった下流開口部での縮流による背水の影響や下流隅角部設置による流れの変化に関して、一次元解析モデルにおける対応（例えば、補正係数やパラメータ設定）について、検討していく予定である。

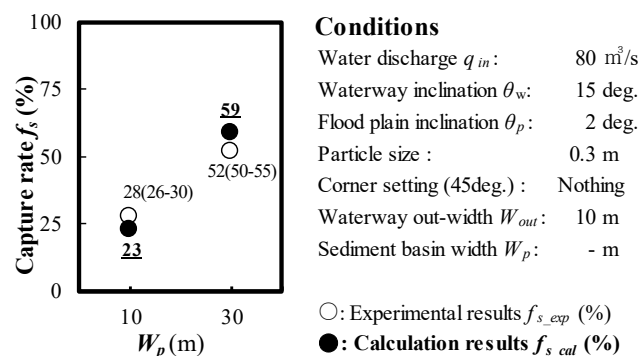


図-3 遊砂地幅（拡幅有無）の違いによる土砂捕捉率の変化における実験結果と数値解析結果との比較

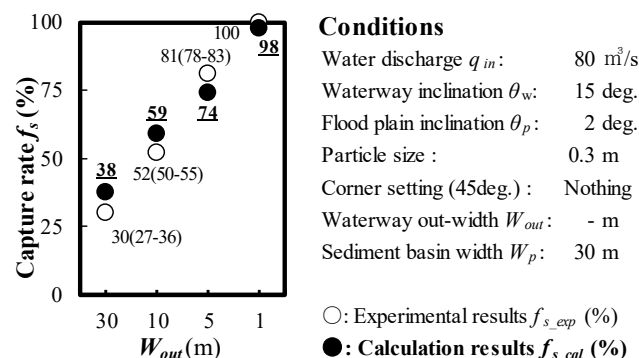


図-4 遊砂地（下流）開口幅の違いによる土砂捕捉率の変化における実験結果と数値解析結果との比較

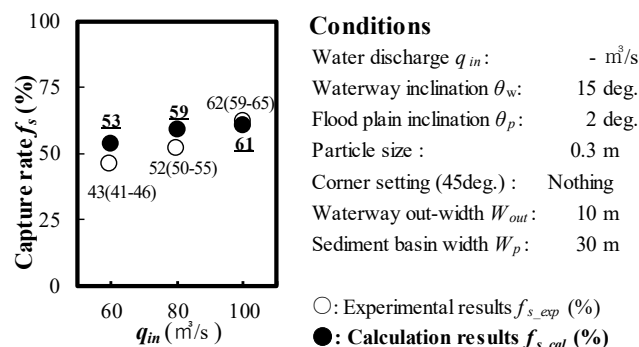


図-5 隅角部設置有無の違いによる土砂捕捉率の変化における実験結果と数値解析結果との比較

参考文献

- 1) 原田紹臣・中谷加奈・里深好文・水山高久他：遊砂地における土砂及び流木捕捉機能の高度化に関する基礎的な実験，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.76，No.2，pp. I_1453- I_1458，2020.
- 2) 里深好文・水山高久：砂防ダムが設置された領域における土石流の流動・堆積に関する数値計算，砂防学会誌，Vol. 58，No.1，p.21-27，2005.
- 3) 高橋 保・中川 一：豪雨に発生する石礫型土石流の予測，砂防学会誌，Vol. 44，No.3，p.12-19，1991.
- 4) 原田紹臣・赤澤史頭・里深好文他：ため池決壊に伴う洪水流出過程に関する研究，Vol. 69，No.2，pp. I_1213-I_1218，2013.