

掃流区間にある不透過型砂防堰堤の浮遊砂捕捉に関する一次元河床変動計算

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○蔭山 星・吉武 央気・飛岡 啓之・片山 直哉  
国土交通省 国土技術政策総合研究所 泉山 寛明・山越 隆雄・永谷 直昌

1. はじめに

近年、集中豪雨による表層崩壊起因の土石流により巨礫とともに大量の細粒土砂の流出が顕著に見られ、河道の土砂堆積に伴い土砂・洪水氾濫被害が発生している。このような背景から、巨礫だけでなく細粒土砂の流下過程を適切にシミュレートすることも重要と考えられる。土石流から掃流砂・浮遊砂まで連続的に土砂移動形態が遷移するとしてモデルを構築した場合、実現象の再現性からモデルの妥当性を確認する以外に、砂防施設による捕捉過程を精度良く再現できるか確認しておくことが望ましい。そこで本稿では、細粒土砂の流下を考慮した河床変動計算モデルの検証を目的として、別報<sup>1)</sup>の実験結果を再現計算対象とした一次元河床変動計算を実施した。

2. 計算モデル

一次元河床変動計算モデルは「豪雨時の土砂生産をとまなう土砂動態解析に関する留意点（国土技術政策総合研究所資料第874号）」に準拠したモデルを利用した。細粒土砂は、土石流域・土砂流域における粗粒成分の土砂間隙に基準点（土砂流の場合は水流層と砂礫移動層の境界とする）での浮遊砂濃度で一様に存在すると仮定し、平衡基準点濃度と非平衡基準点濃度の差を埋めるように沈降・浮上が発生するとモデル化した<sup>2)</sup>。また土砂流の水流層では浮遊砂がLane-Kalinskeの濃度分布式<sup>3)</sup>で分布するとし、基準点濃度は芦田・道上式<sup>4)</sup>を利用して算出した。間隙流体密度については、「深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算マニュアル（案）（土木研究所資料4240）」に準拠して時空間的に算出した。堰堤地点においては境界条件として、不透過型砂防堰堤上流の河床高がダム天端高さを上回るまで粗土砂は越流しないようにした。一方、細粒土砂は、水流中に分布している分については堰上げ発生時に洪水と一体となって不透過型砂防堰堤下流へ流下するようにした。なお、本計算モデルでは、粗粒土砂を掃流砂成分、細粒土砂を浮遊砂成分として考えた。

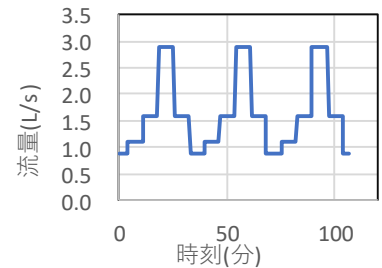


図1 上流端流量

3. 計算条件

計算条件は、実験条件<sup>1)</sup>を参考に設定した。表1に計算条件を示す。上流端流量は階段波形として設定した（図1）。掃流砂・浮遊砂の混合割合は、それぞれ17%、83%とした。粒径は実験条件を参考に掃流砂：1.0mm、浮遊砂：0.1mmとして設定した。なお、実験における掃流砂は $d_{60} = 1.11 \text{ mm}$ 、 $(d_{84} / d_{16})^{0.5} = 1.51$ である。堆積速度係数は表2に示す3パターンを設定し、各設定値による計算結果と実験結果の整合性を確認した。

表1 計算条件

項目		設定方法
河道条件	縦断延長	8.5 m
	セルサイズ	0.1 m
	粗度係数	0.019
	河床条件	固定床
上流端条件	土砂の供給方法	平衡給砂
	給砂土砂の粒径	掃流砂：1.0 mm 浮遊砂：0.1 mm
	給砂土砂の供給割合	掃流砂：17 % 浮遊砂：83 %
パラメータ	河床の堆積土砂濃度	0.6
	内部摩擦係数	35 °
	砂礫密度	2.65 (g/cm <sup>3</sup> )
	堆積速度係数	表2を参照
	侵食速度係数	$7.0 \times 10^{-4}$

4. 計算結果

計算の事前準備として、無給砂条件において、実験結果と計算結果の水面勾配の整合を確認した結果、水面形が再現できていることを確認した。次に、給砂条件での計算を実施し、各計算ケースの土砂収支（図2）・最終河床高（図3）・地点毎の浮遊砂成分の割合（図4）・上流端における掃流砂量（図5）、地点毎の間隙流体密度の最大値（図6）を整理した。図2に示す土砂収支比較図より、計算の土砂収支はCASE2が最も実験結果と整合していた。図3に示す最終時刻における河床高図より、0cm~500cm区間における各計算の堆砂

表2 計算ケース

ケース名	堆積速度係数
CASE1	$1.0 \times 10^{-2}$ ※一般値
CASE2	$2.5 \times 10^{-2}$
CASE3	$5.0 \times 10^{-2}$

勾配は、いずれのケースも実験結果と整合していた。ただし、最終河床高の上流端付近では解析の河床勾配が急激に増加しており、堆積傾向が強い。堆砂形状について、実験では最終的には満砂していた。実験結果と同様に満砂したのは、CASE3であったが、CASE1でも十分に再現できていると考えられる。図4に示す地点毎の堆砂土砂成分の割合より、計算結果は、実験でみられた堰堤地点から離れるほど浮遊砂の堆積割合が減少する傾向を定性的に再現できていた。一方、定量的には、計算結果が全体的に大きい傾向にある。特に堆砂土砂成分の割合は、堰堤から離れるほど実験結果と解析結果の差が大きく、掃流砂の堆積割合の差は特に大きい。この理由としては、図5に示す上流端における掃流砂量より、実験で設定した供給砂量が多いことが挙げられる。実験の供給砂量は芦田・高橋・水山らの掃流砂量式を用いて与えたが、解析の掃流砂量は別の掃流砂量式<sup>2)</sup>によって算定される。両式の係数は若干違うものの、式形が概ね同じであるため大きな差は生じていないと考えられるが、計算によって算定される掃流砂量が若干小さく、土砂の輸送能力が小さいため、計算の上流端で実験より堆積傾向が強くなったと考えられる。実験は、掃流区間を対象とした実験であるため、フェーズシフトは発生しないと考えられるが、図6に示す地点毎の間隙流体密度はそれほど大きな値となっておらず、フェーズシフトは無視できる程度であることが分かる。

## 5. おわりに

本稿では、細粒土砂を考慮した数値解析モデルが細粒土砂の捕捉メカニズムを再現可能か検証した。掃流区間を対象とした本計算条件では、堰堤地点から離れるほど浮遊砂の割合が上昇する傾向を定性的に再現できており、不透過型砂防堰堤による浮遊砂の沈降堆積現象を評価することができた。ただし、堰堤から離れる程堆積する掃流砂・浮遊砂成分の差が実験と解析で大きくなる傾向となったが、境界条件を適切に与えればより計算の再現性が向上すると考える。

## 参考文献

- 1) 吉武央気ら：掃流区間にある砂防施設の浮遊砂捕捉に関する水理模型実験，令和3年度砂防学会研究発表会
- 2) 鈴木拓郎ら：土石流から掃流砂領域までを連続して取り扱う数値シミュレーション手法に関する検討，砂防学会誌（2013年）
- 3) Lane, E. W., and Kalinske, A. A.: Engineering Calculations of Suspended Sediment, Trans. AGU (1941年)
- 4) 芦田和男・道上正規：浮遊砂に関する研究（1），京都大学防災研究所年報（1970年）

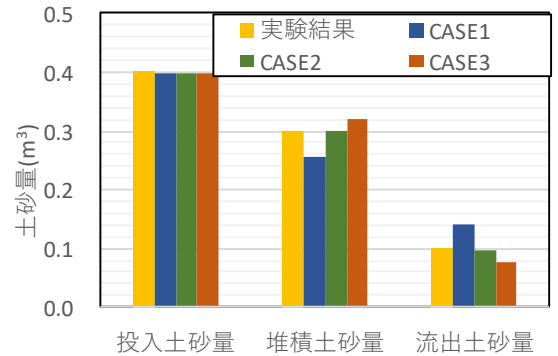


図2 土砂収支

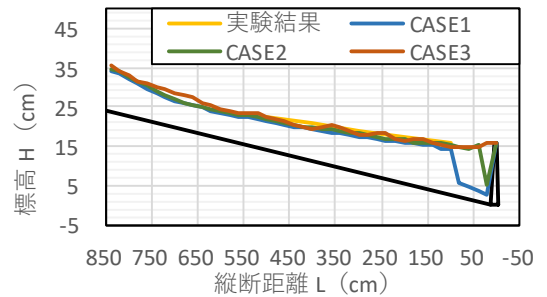


図3 最終河床高

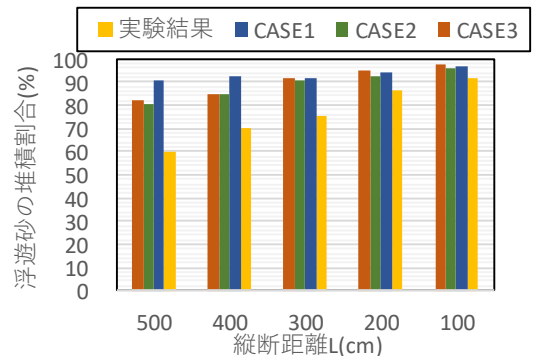


図4 地点毎の浮遊砂の割合

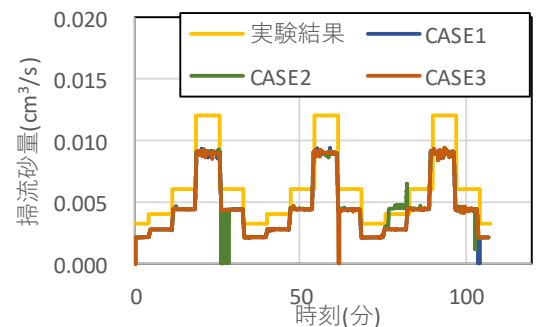


図5 上流端における掃流砂量

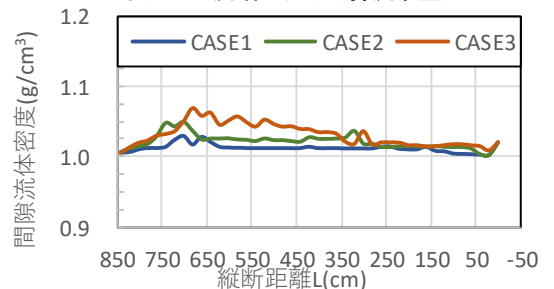


図6 地点毎の間隙流体密度の最大値