

## 河道内堆積土砂が土砂・洪水氾濫に及ぼす影響について

広島大学大学院 先進理工系科学研究科 社会基盤環境工学プログラム水工学研究室  
 内田 龍彦 Adel Ahmed Mahmoud 三谷 龍之祐  
 (一財)砂防・地すべり技術センター ○嶋 大尚 藤田 正治 志水 宏行

## 1. はじめに

近年、気候変動の影響により豪雨災害が頻発し、土砂・洪水氾濫による被害が深刻化している。土砂・洪水氾濫の予測には河床変動計算を用いている。特に掃流区間での水位を精度よく算定することが重要となる。水位計算の精度は設定される粗度係数に大きく影響を受けるが、粗度係数は一般的に河床材料から算定される。実際の洪水時には河床に砂堆(デューン)が形成され、流れに対する抵抗が大きくなるため、河床材料から算定された粗度係数より大きくなるということが知られている。しかし、洪水中は流量や河床形状等が変化するため、砂堆の位置や形状も変化する。そのため洪水中の砂堆の発生・発達・移動・消滅などが数値計算により評価できれば、洪水中の水位をより精度よく表現することができる。実際の河川で洪水中の砂堆発生のきっかけとなる箇所としては、河床の局所的な凹凸、橋脚、落差、狭窄部などがあるが、本研究では砂堆の発生・発達のきっかけとして土砂を河道内に堆積させた。また、堆積物や発生した砂堆の形状を考慮した計算を実施するために、堆積物や砂堆の形状を適切にとらえる十分細かい計算格子を設定した。さらに、砂堆の発生・発達に大きく影響する底面付近の流れや局所的に変化する流速分布を精度よく評価するために、非静水圧条件下で流速の鉛直分布と底面近傍流速の強い非平衡性が考慮できる、底面流速計算法(Bottom Velocity Computation method)と非平衡粗面抵抗則(Dynamic Wall Law)を統合したBVC-DWL法(内田ら)<sup>1)</sup>を用いた。また、この新たなアプローチにより、より精緻な土砂・洪水氾濫予測モデルを構築するための検討を行った。

## 2. 河床変動計算条件

河床変動計算の計算条件を表1および図1に示す。河道の流れは等流状態で常流( $Fr:0.81$ )であり、横断形状は矩形、河道内に長さ60m、高さ57cmの三角柱状の堆積土砂を配置した。全区間移動床(侵食可能深2.5m)で十分な侵食が可能な値に設定した。また、河床材料は粒径1cm(単粒径)とし、上流端からは河床材料と同じ1cmの粒径の土砂を平衡給砂した。計算格子は堆積土砂の長さ60mに対して十分小さな1m格子とした。

## 3. 計算手法

一般に河床変動計算では計算負荷が小さい浅水流方程式が多く用いられている。これは鉛直方向の流速分布や圧力分布を詳細に評価できないが、これを克服するためにBVC法という計算方法が提案されている。

表1 計算条件

項目	設定値
河床勾配	1/100
流量	30(m <sup>3</sup> /s)
マンギングの粗度係数	0.04
川幅	10m
河床材料の粒径(単粒径)	1cm
フルード数	0.81(常流)
計算格子(m)	1
上流端からの土砂供給	平衡給砂
河床の状態	全区間移動床(侵食可能深2.5m)
河道横断形状	矩形

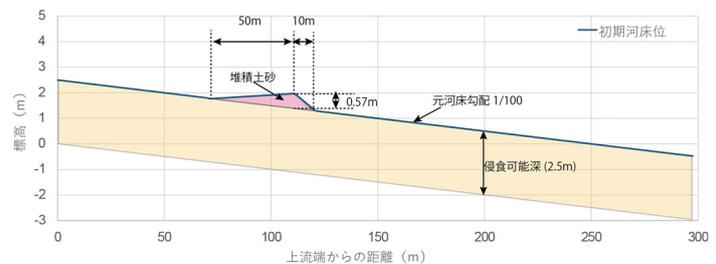


図1 初期河床

土砂粒子の移動は河床近傍の流体力(掃流力)に直接支配されており、河床底面近傍の流速が土砂の移動開始条件や移動量を決定する。特に土砂が局所的に河道内に堆積しているような場合、河床底面の流速は場所によって異なる。そのため、浅水流方程式から解かれる水深流速のみでは土砂移動を精度よく表現できない可能性がある。局所的な侵食・堆積を予測するには堆積土砂などによる局所的な底面流速の変化を捉える必要がある。BVC法は局所的な堆積形状による河床底面近傍の流速変化を正確に捉えられる手法である。3次元計算でも底面近傍の局所的な流速変化を計算できるが、鉛直方向に計算格子を設け3次元のポアソン方程式を運動方程式と合わせて解く必要がある一方、BVC法は2次元計算をベースに底面流速を効率的に算出でき、計算コストを大幅に削減できるというメリットがある。また、非平衡粗面抵抗則(DWL)は洪水時の急激な河床変動時に特に重要であるため、BVC法とDWLを組み合わせることで、これらの過渡的な状態をより正確にモデル化できる。以下では、浅水流方程式とBVC-DWL法で河道内堆積土砂の影響を比較する。

## 4. 浅水流方程式を用いた堆積土砂の影響計算結果

土砂移動に大きく関与する河床付近の底面流速ではなく、断面平均流速で求めた掃流力、平衡流砂量による1次元河床変動解析手法で河道内に堆積した土

砂が下流の河床変動に及ぼす影響を数値実験により調べた。

計算格子間隔は堆積物の縦断的な長さを考慮し、十分な解像度を得るため1mとした。計算結果を図2に示す。水色は初期河床位と初期水位、赤は750秒後の河床位と水位である。図2より、河道内堆積土砂は初期の堆積土砂の下流側の勾配が急であるため掃流力が増加し、堆積土砂は徐々に侵食されている。しかし、時間経過とともに堆積土砂下流側の勾配が元河床勾配と同程度に緩やかになると堆積土砂の侵食速度も遅くなり、堆積土砂から離れた下流にはほとんど河道内堆積土砂の影響が及んでいないことが分かる。このように、浅水方程式を用いた計算では局所的な擾乱のきっかけとなる堆積土砂を配置しても砂堆の発生・発達などの現象は評価できず、下流河道への影響は小さいという結果となった(図2)。

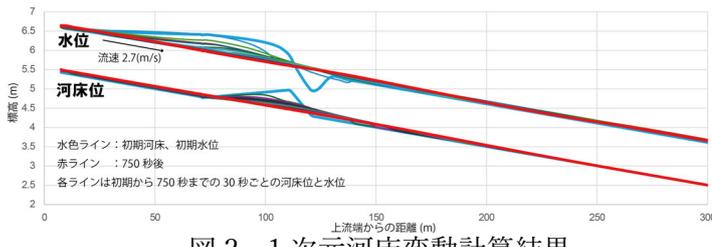


図2 1次元河床変動計算結果

### 5. BVC-DWL 法での堆積土砂の影響計算結果

BVC-DWL 法による河床変動計算結果を図3～図5に示す。本計算は2次元河床変動計算を実施しているが、計算条件が1次元(直線矩形河道)であり、横断的な河床変動がほぼ同様であることから、水路の中心線上の河床位と水位を図に示した。計算格子は1mである。

BVC-DWL 法による計算結果を見ると、4節に示した1次元河床変動計算結果と明らかに異なっており、特に堆積土砂が初期配置された位置より下流側の河床変動に大きな違いがみられる。図3に示すように計算初期は、4節の1次元河床変動計算と同様に堆積土砂が徐々に侵食されているが、堆積土砂が平滑化されている下流端に局所的な侵食・堆積が発生しているところの違いがみられる。

較的大きな砂堆に成長し、その成長した砂堆の影響で、またその下流側に新たな局所侵食・堆積が発生している。この新たな局所侵食・堆積も下流へ移動しながら砂堆へ成長していく。成長した砂堆自体も0.1～0.2(m/s)で下流へ移動している。ただし、この計算はフルード数0.81の常流であるため、河道内堆積土砂を配置した位置の上流側への影響は少ない結果となっている。そして、砂堆の成長は止まり、下流へ移動が続く、これら複数の砂堆の影響で水位が0.21m上昇している(図5)元河床での等流水深が1.1mであることから、19%の水位上昇となる。これを堆積土砂が無い河床での流量に換算すると40(m<sup>3</sup>/s)の水位に相当する。

これらのことから、BVC-DWL 法では堆積土砂による局所的な擾乱をきっかけにした堆積土砂の下流側での砂堆の発生・発達、それによる水位上昇を評価できることが分かった。掃流区間において多くの土砂供給がある洪水中では水理条件によっては砂堆が発生・発達する可能性があるため、砂堆による水位上昇の影響を考慮することは重要である。今後は水理実験などで検証する必要があるが、砂防事業の効果を精度よく評価するために、BVC-DWL 法は有効であると考えられる。

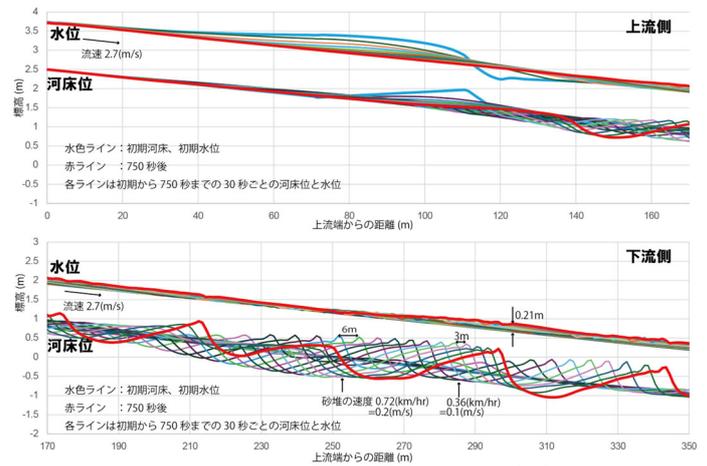


図5 初期～750秒間の全体の河床変動状況 (上段：上流側、下段：下流側)

### 6. 今後の展望

本研究では常流区間における砂堆の発達について検討を行ったが、射流区間で河道に局所的な擾乱を与えた場合の砂堆の発生・発達・移動、河道に与える擾乱の程度と砂堆積の発生、砂堆が発生・発達する水理条件や粒径との関係などについて研究を進めていきたい。

### 7. 参考文献

1) 内田龍彦, 福岡捷二(2017)一般底面流速解析法と非平衡粗面抵抗則に基づく水深積分型二相流解析法の適合性の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, pp.I\_937-I\_942.

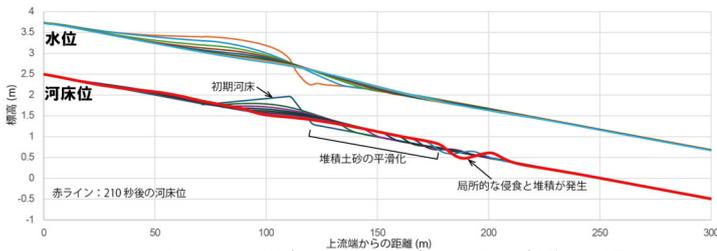


図3 初期(0～210秒)の河床変動状況

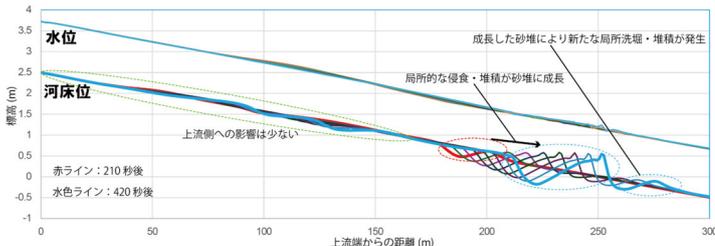


図4 中期(210～420秒)の河床変動状況

つぎに、図4の中期的な変動を見ると、初期に発生した局所的な侵食・堆積が下流へ移動しながら比