

堰堤の堆砂・排砂に関する平面二次元解析と三次元解析の比較検討

一般財団法人電力中央研究所 正会員 ○太田 一行
中部電力株式会社 非会員 後藤 孝臣
株式会社建設技術研究所 正会員 五島 暢太
株式会社電力計算センター 非会員 坂本 晶子

1. はじめに

土砂生産量の多い山地河川に利水用の堰堤を設置する際、取水口埋没を防ぐためには排砂ゲート等の排砂設備による堆砂対策が必要となる。排砂設備の水理設計を行うためには、構造物付近の複雑な流れおよび粒度分布を考慮可能な三次元河床変動解析が望ましいと考えられる。しかし、現状では平面二次元解析が実用されることが多く、実河川に混合粒径の三次元解析を適用した事例はあまり報告されていない。また、三次元解析と平面二次元解析によって、結果にどのような差異が生じるかは不明である。本研究では、混合粒径の河床変動を行う三次元解析と平面二次元解析を用いて、実河川への堰堤設置前後を対象とした解析を行い、平面二次元解析および三次元解析の特性を議論する。

2. 解析モデルおよび解析対象

平面二次元解析および三次元解析¹⁾の数値解析モデルの概要を表1に示す。いずれも、混合粒径の掃流砂・浮遊砂を対象としている。解析対象は湾曲部を持つ山地河川であり、河床形状について航空測量データが取得されている。湾曲部の直下流において、排砂ゲート(2門)を持ち、洪水吐きゲートを持たない堰堤を検討対象とする。本検討ではまず、堰堤の無い条件(以下、「堰堤無し」)において平面二次元解析および三次元解析を行い、河床変動高の実測値を用いて再現性を検証した。そして、堰堤を設置した条件(以下、「堰堤有り」)での解析を行い、両解析モデルの結果の差異について考察した。流入流量については、「堰堤無し」のケースでは解析対象年に記録した最大の出水波形を与えて、「堰堤有り」の計算では堆砂・排砂の評価を行うため流量確率1/50程度の流量波形を与えた。下流端条件については、平面二次元解析と三次元解析で扱い方は異なるが、越流部および排砂ゲートからの下流端水位に応じた放流量が考慮されている。排砂ゲートは全開の条件であるため排砂ゲートから常に流下するが、越流部では水位に応じて越流の有無が決まる。流入土砂量については、広域を対象として事前に実施された一次元河床変動解析の結果を基に粒径毎に与えた。

3. 解析結果および考察

図1は「堰堤無し」のケースについて、解析および実測の河床変動高を比較している。平面二次元および三次元の数値解析はともに、蛇行部での洗掘・堆積箇所などについて測量結果と概ね一致した。一方、湾曲部の上流では解析結果のみに土砂堆積が見られる。この要因については、実測は1年おきでの河床位の差分であるのに対して、解析では1出水を対象としている期間の相違が影響している可能性がある。図2は「堰堤有り」のケースについて、平面二次元および三次元解析の河床変動高を示している。平面二次元解析に比べて、三次元解析では流入部付近で多く堆積している。この傾向は、「堰堤無し」の場合でも同じで

表1 数値解析モデルの概要

	平面二次元解析	三次元解析 ¹⁾
流れ	浅水流方程式 ²⁾ (二次流考慮)	RANS 方程式 (k- ω SST モデル)
掃流砂	平衡流砂モデル 流下方向: 芦田・道上式 横断方向: 長谷川式	Lagrange 型非平衡流砂モデル
浮遊砂	移流拡散モデル 基準面濃度: 芦田・道上式	移流拡散モデル 基準面濃度: Garcia and parker 式
河床砂との交換	交換層モデル 交換層厚: 0.5m	確率論的 Euler モデル

キーワード 河床変動解析, 三次元解析, 平面二次元解析, 堰堤, 排砂, 堆砂
連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電力中央研究所 地球工学研究所 TEL04-7182-1181

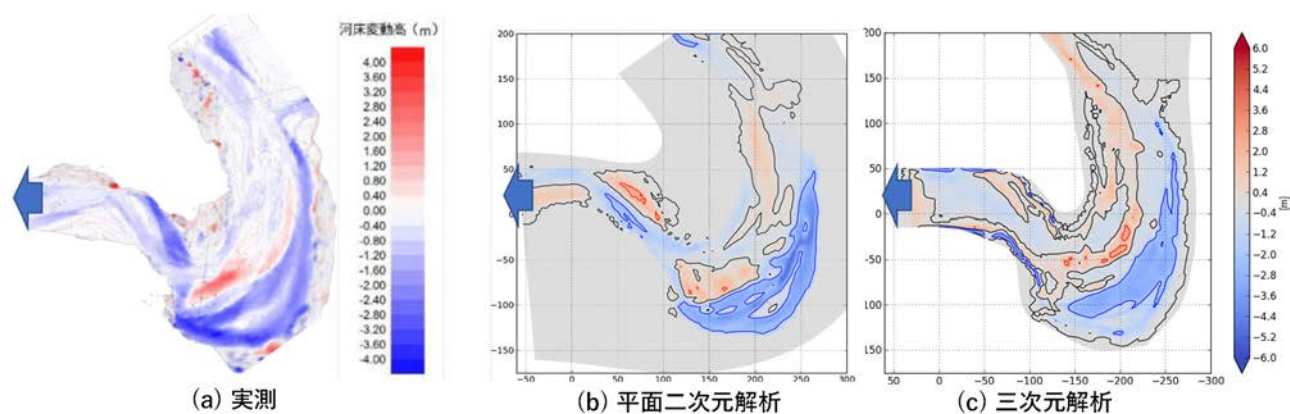


図1「堰堤無し」のケースに関する実測および解析の河床変動高（暖色：河床上昇，寒色：河床低下）

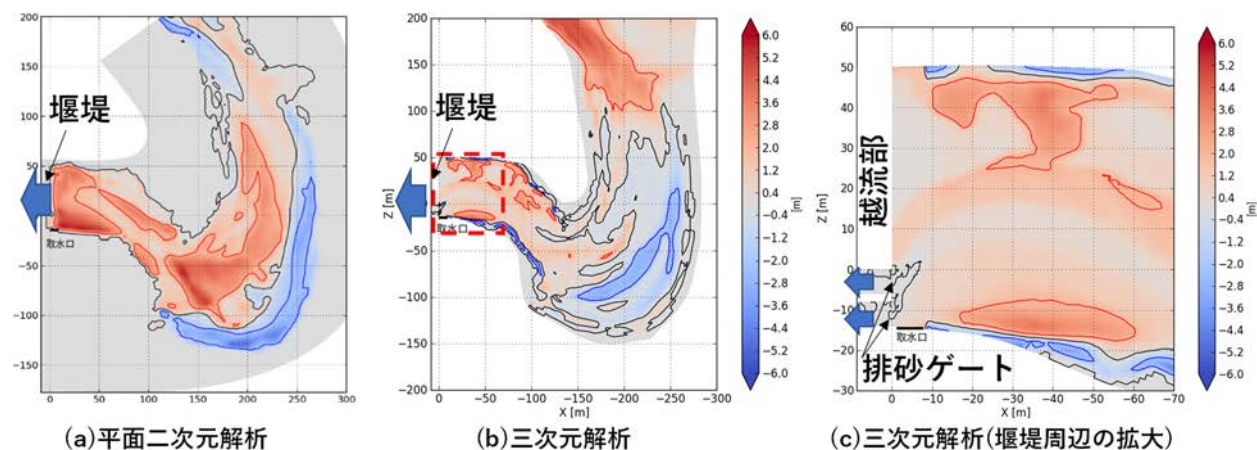


図2「堰堤有り」のケースに関する平面二次元・三次元解析の河床変動高．(c)は(b)の破線内の拡大を示す．

ある．流入境界ではいずれの解析モデルでも同様流速で流入させているため，流れの三次元性は小さい．このため，流入部付近での堆積量の差異は数値解析モデルの次元の影響ではなく，使用された流砂モデルの影響が大きいと考えられる．一方，堰堤付近については，平面二次元解析の方が堆積している．この理由として，数値解析モデルの構造物近傍への適用性が考えられる．図3は三次元解析における堰堤付近の高水位時（増水期）の河床形状および流線を示している．図3の流線より，高水位時には排砂ゲート付近に掃流力の強い馬蹄形渦を形成し，右岸側では死水域を形成していることが分かる．これらの三次元解析における局所流は堰堤付近の流路形成および堆積を生じさせている（図2(c)）．一方，平面二次元解析では高水位時での局所流の表現が不十分であるために³⁾，排砂ゲート付近の掃流力不足によって浮遊砂の堆積量が大きくなり，最終的に三次元解析に比べて堰直上流の河床位が高くなる結果となった．従って，高水位の条件を持つ排砂の解析では，局所流の再現レベルに起因して，平面二次元解析および三次元解析で差異が大きくなる．

4. おわりに

堰堤の無い条件下では，平面二次元解析と三次元解析は比較的近い河床変動高の解析結果が得られた．一方，堰堤の有る条件下では堰堤付近の局所流の再現レベルに起因して，両者の解析結果に顕著な差異が生じることが示された．

参考文献

1)太田一行他,土木学会論文集 B1(水工学),75(2),I_901-I_906, 2019. 2)長田信寿他,水工学における計算機利用の講習会講義集,1999. 3)後藤孝臣他,河川技術に関する論文集,6,327-332,2000.

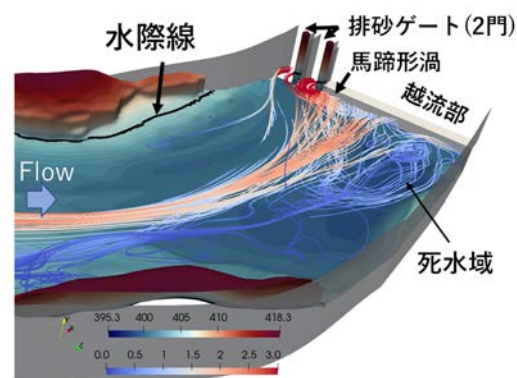


図3「堰堤有り」のケースでの三次元解析の河床形状および流線．越流部と排砂ゲートから流下している．流線の色は流速の大きさを示す．