

浮遊砂輸送を考慮したバンドル型水制工群周辺での3次元河床変動解析 Three-Dimensional Numerical Simulation on Riverbed Deformation Considering Suspended Load Transport around Bandal-Like Structures

○奥平雅樹・太田一行・山野井一輝・川池健司・中川一

○Masaki OKUDAIRA・Kazuyuki OTA・Kazuki YAMANOI・Kenji KAWAIKE・Hajime NAKAGAWA

Bandal-like structure is permeable-impermeable hybrid spur dykes traditionally used in Bangladesh. This study performed numerical simulation on riverbed deformation around bandal-like structures under rigid bed conditions. The simulation results were compared with the past experimental data to verify the accuracy of the model. In addition, some applicational simulations on the open ratio of the permeable part of bandal-like structures have been conducted to clarify the effects on sedimentation. The results implied that the permeable part of bandal-like structures plays an important role in effective sedimentation not only as the inlet for suspended load but also as resistance to flow.

1. 序論

バンドルとは、バングラデシュ等の大陸河川において乾季の舟運改善を目的に伝統的に用いられてきた水制工の一種である。特徴は上部が不透過型、下部が透過型の構造をしている点である。近年はバンドル周辺に生み出される複雑な流れ場による土地創生の効果にも注目が集まっている。これまでバンドルに関する研究としては、実験水路における模型実験が行われ、土砂堆積の傾向や浮遊砂の挙動などが解明されてきた¹⁾。一方で数値解析によりバンドル周辺の河床変動を再現した研究例は少なく、今後実河川への導入を視野に入れた場合、現地の地形や条件に即したバンドルの設計を行うためにも数値解析によるバンドル周辺の河床変動計算は重要になると考える。

本研究では3次元河床変動解析により、過去に西尾ら¹⁾により行われたバンドル周辺の固定床実験の再現 (Case0) を行った。また Case1~Case3 では土砂の堆積特性に大きく関係すると考えられる設計項目の1つである透過部の透過割合 (≡開度) が土砂堆積へ及ぼす影響について数値解析による考察を行った。なお、本研究ではバンドルと水理特性が類似した上部が不透過、下部が透過の構造物をバンドル型水制工と呼称する。

2. 数値解析概要

数値解析では数値流体力学ツールボックス OpenFOAM を用いて計算を行った。ただし OpenFOAM 自体には河床変動を考慮するソルバ

が存在しないため、Ota ら²⁾によって開発された河床変動計算を組み込んだ改良ソルバを用いて計算を行った。土砂供給は上流端境界から浮遊砂濃度として与えた。計算領域は幅 0.4m、流下方向長さ 2.0m の領域とした。上流端から 0.5m の位置を起点にアスペクト比 (水制間隔/水制長) が 2.0 となるように合計 4 基のバンドル型水制工を水路右岸側に設置し、上流から順に A から D とする。計算条件を表 1 に示す。Case0 は西尾¹⁾の実験の再現計算である。また Case1~Case3 は上流端境界での浮遊砂濃度を変えたもので、それぞれ図 1 に示す水制工 8 形状を考慮して計 24 通りの計算を行った。

表 1 計算条件

	Case0	Case1	Case2	Case3
水路勾配	1/1280			
流量 (1/s)	5.7	4.0		
上流端浮遊砂濃度 (ppm)	140	140	300	450
土砂粒径 (μm)	92.9			
水制長 (m)	0.1	0.15		
計算時間 (s)	10800	600		

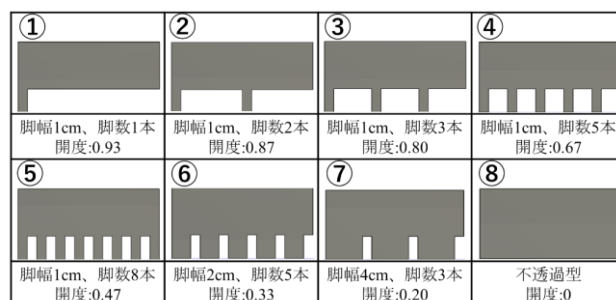


図 1 Case1~Case3 で考慮した水制工形状

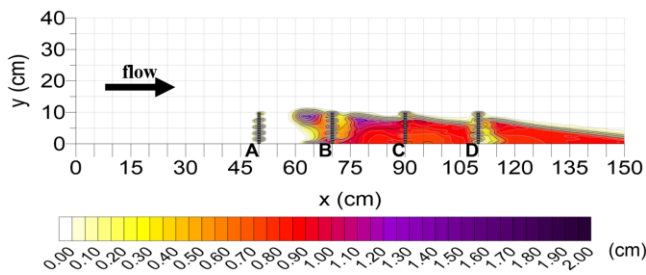


図 2 河床変動 (数値解析 Case0 結果)

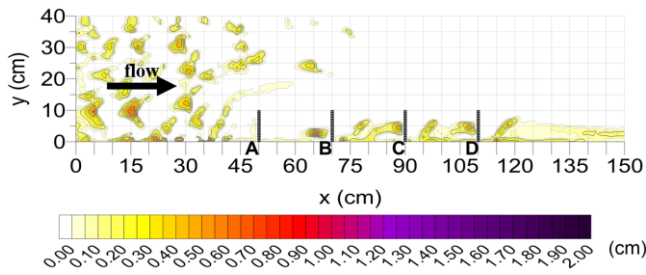


図 3 河床変動 (実験結果、西尾ら¹⁾より作成)

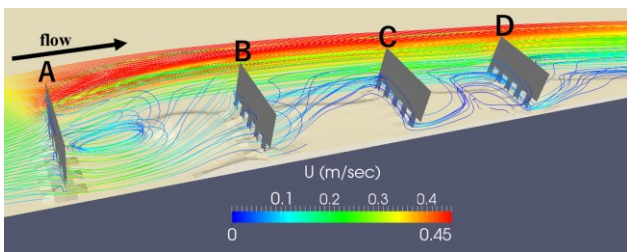


図 4 流線 (数値解析 Case0 結果)

3. 結果と考察

(1) Case0 (水路実験の再現計算)

図 2、図 3 にそれぞれ数値解析、水路実験の河床変動図を示す。なお結果はいずれも通水後 3 時間経過後のものである。水制周辺の土砂堆積は数値解析では全体的に過大評価となつてはいるものの、堆積の傾向や形状については概ね水路実験を再現できている。図 4 の流線図を見ると、A 後方では透過部を通り抜けた流れによる縦渦の発生により土砂堆積が抑制され、B 前方で流速が低下することで土砂堆積が生じていることが確認できる。また BC 間では右岸側から主流方向へ合流するような流れが生じており、この流れに沿って筋状の堆積が形成されている点も実験結果と合致している。以上の結果から今回用いたソルバである程度の精度を持ってバンダル型水制工群周辺での河床変動を再現することができることが確認された。

(2) Case1~Case3

図 5 に各ケースの通水後 600 秒経過後における土砂堆積量を示す。なおこの土砂堆積量は、流下方向には水制 A から D の間、水路横断方向には右岸壁から水路中央までの領域に堆積した土砂の体

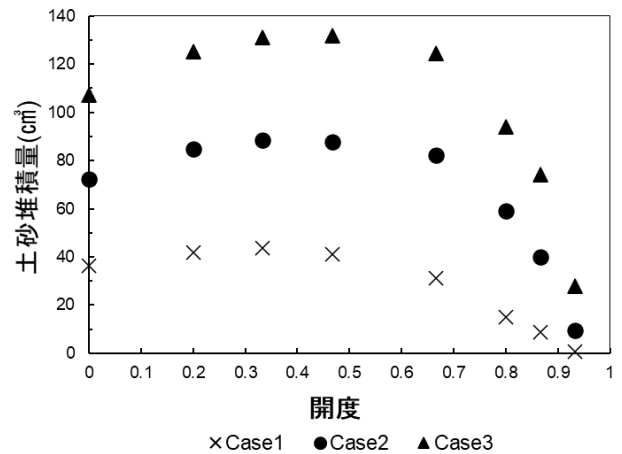


図 5 土砂堆積量 (A-D 間)

積である。ここで開度とは、バンダル型水制工の脚を含めた透過部の総面積に占める実際の開放部面積の割合と定義する。図 5 の結果より、透過部の開度が 0.4 程度の際に土砂堆積量がピークとなることがわかる。この結果から、ある程度の開度までは透過部を通過して輸送される浮遊砂が供給されることでバンダル型水制工周辺の土砂堆積は増加するが、開度を大きくしすぎると水制工間の掃流力が増加し、土砂堆積が減少する可能性が示唆される。このことから、土砂堆積に対する透過部の流速低減作用の重要性も改めて示された。

4. まとめ

本研究では固定床条件下におけるバンダル型水制工群周辺での 3 次元河床変動解析を行い、模型実験との比較を行うことでモデルの再現精度を検証した。また、透過部の開度毎に水制工周辺の土砂堆積量を計算した。その結果、透過部の存在によって浮遊砂を背部へ取り込むだけでなく、水制工間の流速を低下させることで効率的な土砂堆積を実現していることが示された。今後は移動床条件や実河川の地形など、より実際に近い条件での数値解析を行い、バンダルの実河川への適用に向けた総合的な評価が進められることが必要となる。

参考文献

- 1) 西尾慧, 中川一, 川池健司, 張浩: バンダル型水制群周辺における浮遊砂を伴う流れの特性に関する研究, 水工学論文集, 第 60 巻, 2016
- 2) Ota, K. and Sato, T., Three-dimensional numerical simulation of sediment control at lateral diversion, Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress, 2020