

縦断的に連続配置された固定堰の同時撤去が周辺土砂動態に及ぼす影響

鳥取大学大学院工学研究科 学生会員

○大門駿斗

鳥取大学学術研究院 正会員

和田孝志, 三輪 浩

国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所 非会員

小島 亨, 加納頌大

1. はじめに 鳥取県中央部を流れる天神川(図-1)では, 数多くの固定堰によって河道内の土砂移動が遮られ, 滞筋の深掘れによる堤防・橋梁脚部の不安定化や河川環境の画一化が懸念されている. このことから, 天神川流域では土砂移動の連続性を回復するために固定堰の統廃合が検討されているが, 固定堰の統廃合によって周辺河道の土砂動態がどの程度活性化するかについて事前に把握することが重要となる. 昨年度は北条堰(小鴨川2.38 kp)を対象に固定堰撤去の影響を検討したところ, 当該堰撤去によって周辺河道形状に大きな変化がないことが示唆された. しかし, この結果は単一の固定堰の撤去



図-1 本研究の対象範囲

に対するものであり, 天神川流域に縦断的に連続配置されている複数の固定堰を同時撤去した場合の河道内土砂動態への影響については検討できていない. 本研究では, 昨年度適用した多粒径砂礫を対象とした平面2次元河床変動計算モデル¹⁾を用いて, 縦断的に連続した固定堰の同時撤去が周辺土砂動態に与える影響について検討した. なお, 本研究では, 河床粒度構成で重要な要素となる浮遊砂成分の流送も考慮している.

2. 検討対象範囲および検討の流れ 検討対象範囲(図-1)は, 昨年度の検討対象である北条堰を含む小鴨川下流域および小鴨川上流域である. どちらの範囲も複数の固定堰が配置され, 支川との合流部を有しており, 複雑な洪水流および土砂動態が形成されている. 本研究では, このような平面的に複雑な流れ場における河床変動状況を把握するため, Kajikawa and Hinokidaniが開発した混合砂礫対象の平面2次元河床変動計算モデル¹⁾を用いる. また, 図-2に示す植生高分布(UAV写真測量より得られた表層高分布(DSM)とLP測量による地盤高分布(DEM)との差分により得たもの)から, 河道内の各計算メッシュにおける植生抵抗を富所らの手法²⁾により合成粗度係数として取り入れる. さらに, 浮遊砂輸送の考慮においては, 梶川ら³⁾が行った千代川での流出土砂量予測と同様に, 4つの浮遊砂浮上量式(Itakura and Kishiの式(IK式), Lane-Kalinskeの式(LK式), 芦田・道上式(AM式), 芦田・岡部・藤田式(AOF式))を採用し, これらの浮遊砂浮上量式の違いが土砂動態へ及ぼす影響を踏まえながら検討した. 本計算モデルを用

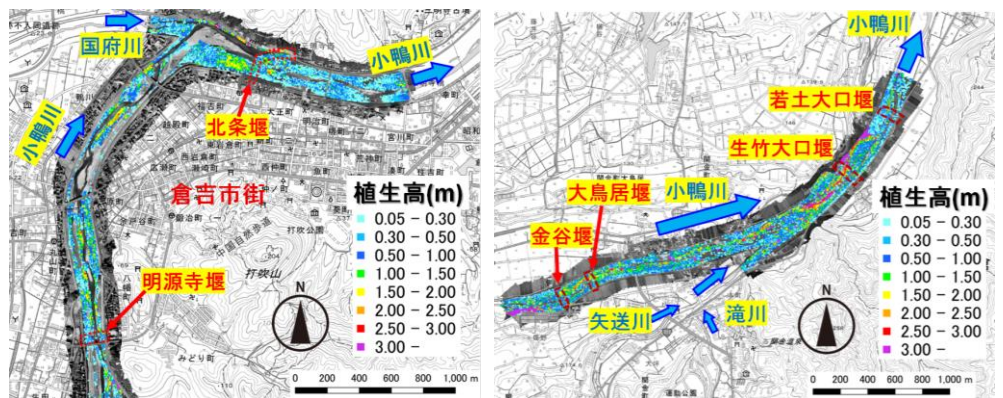


図-2 UAV写真測量DSMとDEMの差分から求めた固定堰周辺の河道内植生高分布 (左図: 小鴨川下流域【2021/8/26, 9/6, 11/29撮影】, 右図: 小鴨川下流域【2022/8/26撮影】)

キーワード 平面2次元河床変動計算, 浮遊砂, 連続配置された固定堰

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101 鳥取大学工学部社会システム土木系学科 水工学研究室 TEL0857-31-5284

いて、固定堰の有無，使用する浮遊砂浮上量式，出水流量規模，計算対象範囲を組み合わせて表-1に示す40ケースを設定し，浮遊砂の考慮と連続配置された固定堰の同時撤去が周辺土砂動態に及ぼす影響について検討した。

3. 計算結果および考察

3-1.浮遊砂の考慮が土砂動態・河床変動に及ぼす影響

図-3 および図-4 は小鴨川下流域を対象とした場合の6時間経過後（計算終了時）の浮遊砂考慮の有無，浮遊砂浮上量式別の計算結果であり，図-3は縦断距離200m区間で平均した河床変動高，図-4は河床表層平均粒径を示している。これらの図に示されるように，本対象流域では浮遊砂考慮の有無や使用する浮遊砂浮上量式によらず河床変動傾向は同じであるが，河床の表層粒度構成変化については使用する浮遊砂浮上量式によって傾向が異なった。この傾向は，対象とする小鴨川下流域が平均河床勾配約1/220と比較的急勾配な河道で，浮遊砂よりも掃流砂が卓越する河道特性であり，浮遊砂の影響が相対的に小さくなったことによるものと考えられる。図-5は既往最大流量規模での浮遊砂浮上量式AOF式の考慮有無別の河床表層平均粒径の平面分布である。浮遊砂を考慮した場合のほうが全体的に河床表層平均粒径が粗くなったことから，浮遊砂成分の移動が考慮されることで，移動開始した浮遊砂が計算対象範囲内で停止することなく計算範囲下流端まで流送された可能性が示唆される。

以上より，浮遊砂考慮によって河床変動には大きな影響は見られないが，河床表層粒度構成変化には影響があることが確認された。この結果は小鴨川下流域のものであるが，さらに勾配が急となる小鴨川上流域でも同様の傾向であることが推察される。

3-2.連続した固定堰の同時撤去が周辺の土砂動態・河床変動に及ぼす影響

(1) 連続した2つの堰の同時撤去

図-6～図-8は小鴨川下流域を対象とした場合の6時間経過後（計算終了時）の固定堰有無別の計算結果であり，図-6は既往最大流量規模での縦断距離200m区間で平均した河床変動高，図-7および図-8は平均年最大および既往最大流量規模での縦断距離200m区間で平均した河床表層平均粒径を示している。図-6より，上流側固定堰（明源寺堰）の撤去による河床変動高へ

表-1 計算条件

case 番号	浮遊砂浮上量式	計算対象区間	固定堰考慮	対象流量(m³/s)*				
				①小鴨川, ②国府川, ③富海川, ④矢送川, ⑤滝川	平均年最大流量 既往最大流量 平成30年9月相当			
1	なし(掃流砂のみ)	小鴨川下流域 (北条堰・明源寺堰)	○	①242.11 ②142.51 ③9.18	①721.60 ②451.01 ③27.36			
1_IK	Itakura and Kishiの式[IK式]							
1_LK	Lane-Kalinskeの式[LK式]							
1_AM	芦田・道上式[AM式]							
1_AOF	芦田・岡部・藤田式[AOF式]							
2	なし(掃流砂のみ)							
2_IK	Itakura and Kishiの式[IK式]	×	①242.11 ④33.33 ⑤13.31	①721.60 ④99.34 ⑤39.66				
2_LK	Lane-Kalinskeの式[LK式]							
2_AM	芦田・道上式[AM式]							
2_AOF	芦田・岡部・藤田式[AOF式]							
3	なし(掃流砂のみ)				小鴨川上流域 (福山堰・若土大口堰・生竹大口堰・大鳥居堰・金谷堰)	○	①242.11 ④33.33 ⑤13.31	①721.60 ④99.34 ⑤39.66
3_IK	Itakura and Kishiの式[IK式]							
3_LK	Lane-Kalinskeの式[LK式]							
3_AM	芦田・道上式[AM式]							
3_AOF	芦田・岡部・藤田式[AOF式]							
4	なし(掃流砂のみ)	×	①242.11 ④33.33 ⑤13.31	①721.60 ④99.34 ⑤39.66				
4_IK	Itakura and Kishiの式[IK式]							
4_LK	Lane-Kalinskeの式[LK式]							
4_AM	芦田・道上式[AM式]							
4_AOF	芦田・岡部・藤田式[AOF式]							

*①小鴨川流量は河原町観測所の平均年最大流量，②国府川流量は福光観測所の平均年最大流量
 ※③富海川，④矢送川，⑤滝川流入量は小鴨川流量から流域面積率により算定
 ※6時間一定供給とする。

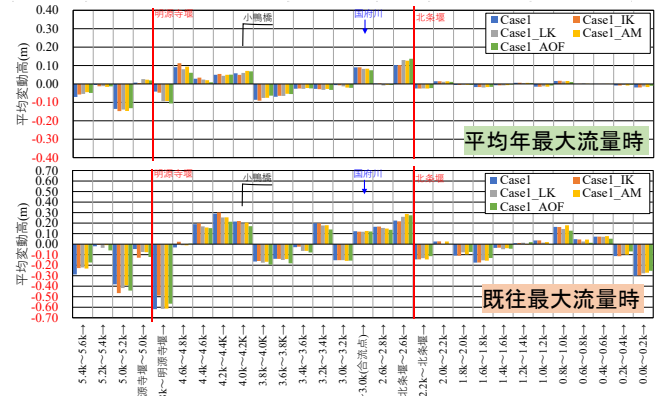


図-3 浮遊砂考慮有無・浮上量式別の200m区間平均の河床変動高

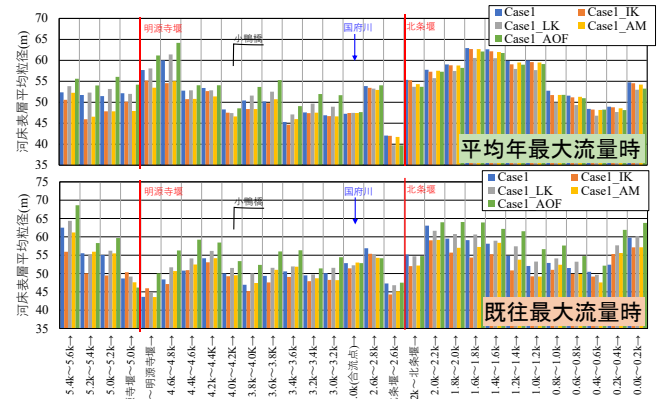


図-4 浮遊砂考慮有無・浮上量式別の200m区間平均の河床表層平均粒径



図-5 浮遊砂考慮有無別の表層平均粒径平面分布(既往最大流量)

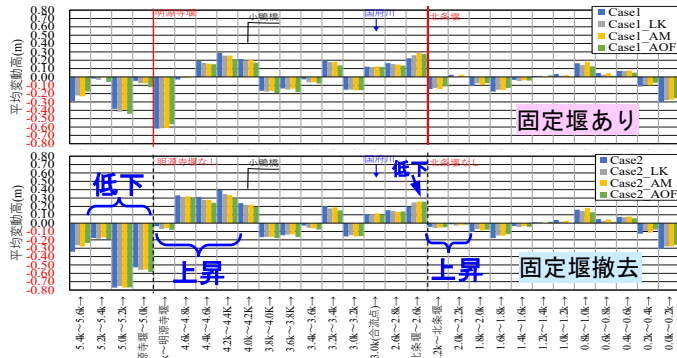


図-6 固定堰有無別の200m 区間平均の河床変動高 (小鴨川下流域・既往最大流量)

の影響範囲は 600~800 m 程度であり、既往最大規模であっても 1 回の出水では下流側固定堰 (北条堰) 周辺の河床変動に及ぼす影響は小さいと推察された。一方、図-7 および図-8 より、上流側固定堰の撤去による河床表層粒度構成への影響範囲は、平均年最大流量規模では 800 m 程度、既往最大流量規模では 1800 m 程度となり、河床変動に関する影響範囲よりも大きくなると推察された。これは、上流側固定堰の上流部に堆積していた細粒分が堰撤去によって下流側へ流下し、下流側固定堰周辺まで影響を及ぼす可能性を示していると思われる。以上より、小鴨川下流域では、上流側固定堰の撤去は 1 回の出水で下流側固定堰周辺の河床高に影響を及ぼす可能性は小さいが、河床の表層粒度構成に対しては、既往最大流量規模で下流側固定堰まで影響が及ぶ可能性があることが示された。

(2) 連続した複数の堰の同時撤去

図-9 および図-10 は小鴨川上流域を対象とした場合の 6 時間経過後 (計算終了時) の固定堰有無別の平均年最大流量および既往最大流量規模での縦断距離 200 m 区間で平均した河床変動高を示している。なお、これらの図に示す結果は、浮遊砂浮上量式として LK 式, AM 式, AOF 式を用いたケースである。図に示すように、固定堰撤去に伴う周辺河道の河床変動において使用する浮遊砂浮上量式による違いはほとんど見られなかった。固定堰撤去による河床変動への影響について見ると、平均年最大流量規模では、固定堰撤去の影響範囲は 400 m~600 m 程度であるのに対して、既往最大流量規模では影響範囲が 1000 m 以上となり、下流側の堰撤去による影響範囲と重複している可能性が考えられる。既往最大流量規模において、小鴨川下流域では上流側固定堰撤去が下流側固定堰周辺の河床変動に及ぼす影響は小さかったのに対し、小鴨川上流域では上流側固定堰撤去の影響が下流側固定堰周辺ま

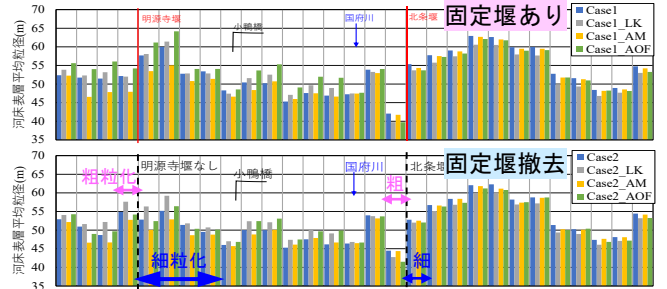


図-7 固定堰有無別の 200m 区間平均の表層平均粒径 (小鴨川下流域・平均年最大流量)

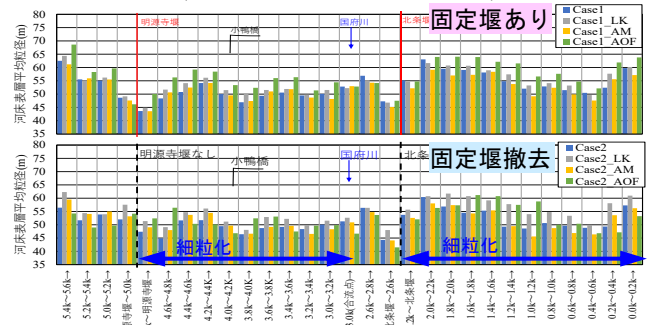


図-8 固定堰有無別の 200m 区間平均の表層平均粒径 (小鴨川下流域・既往最大流量)

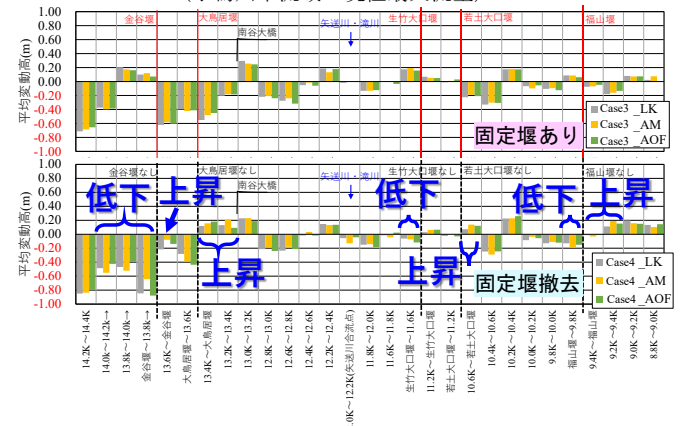


図-9 固定堰有無別の 200m 区間平均の河床変動高 (小鴨川上流域・平均年最大流量)

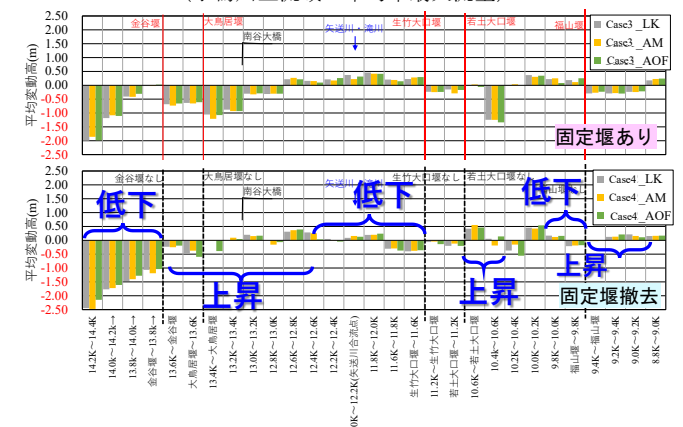


図-10 固定堰有無別の 200m 区間平均の河床変動高 (小鴨川上流域・既往最大流量)

で及んだ要因は、上流域のほうがより急勾配(約 1/80)であったことが考えられる。図-11 は既往最大流量規模での浮遊砂浮上量式 AOF 式を用いた場合の固定堰有無別の河床変動高の平面分布である。固定堰ありの条件をみると、平成2年9月に発生した河岸侵食箇所(大鳥居堰下流), 生竹大口堰上

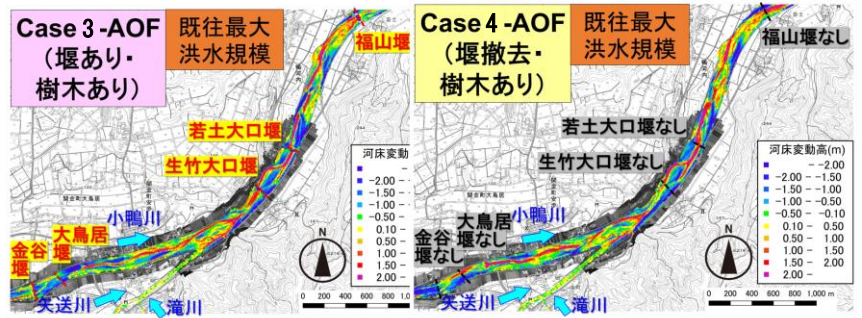


図-11 固定堰有無別の河床変動高平面分布(小鴨川上流域・既往最大流量)

流右岸側の根固工区間で河床低下が顕著となったことから、本計算結果は定性的には小鴨川上流域の実際の土砂動態を反映できていると思われる。図-12 および図-13 は6時間経過後(計算終了時)の固定堰有無別の計算結果を表しており、それぞれ平均年最大流量および既往最大流量規模での縦断距離200m区間で平均した河床表層平均粒径を示している。図-12より、平均年最大流量規模では固定堰撤去による堰上下流の河床表層粒度構成の変化傾向および影響範囲が対象とする固定堰ごとに異なり、対象とする固定堰によっては隣接する固定堰の影響範囲と重複する可能性があることが示唆された。図-13より、既往最大流量規模では固定堰撤去によって対象区間の河床表層粒度構成が対象区間全体で粗粒化して連続的な縦断分布となることが示唆された。以上より、小鴨川上流域では、固定堰撤去に伴う河床表層粒度構成への影響は、河床変動への影響範囲よりも広がる傾向があり、対象流量が増大すると、それぞれの固定堰撤去による河床表層粒径への影響範囲が顕著に重複することで、縦断的かつ連続的な河床表層の粗粒化が発生することが推察された。これは小鴨川上流域が急勾配であるため、対象流量の増大により下流側へ影響範囲が拡大しやすい河道条件であるためと考えられる。

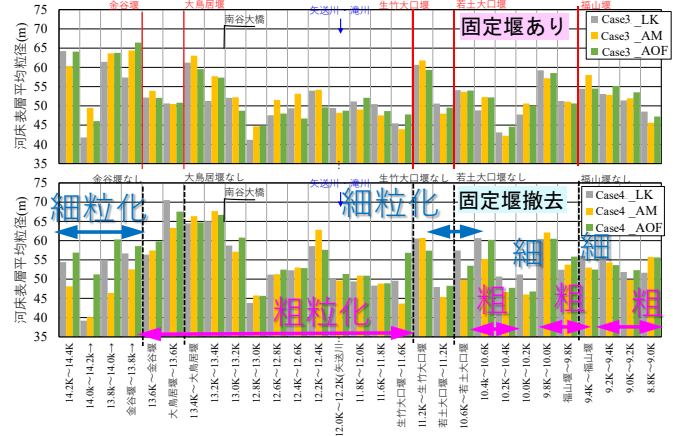


図-12 固定堰有無別の200m区間の平均の表層平均粒径(小鴨川上流域・平均年最大流量)

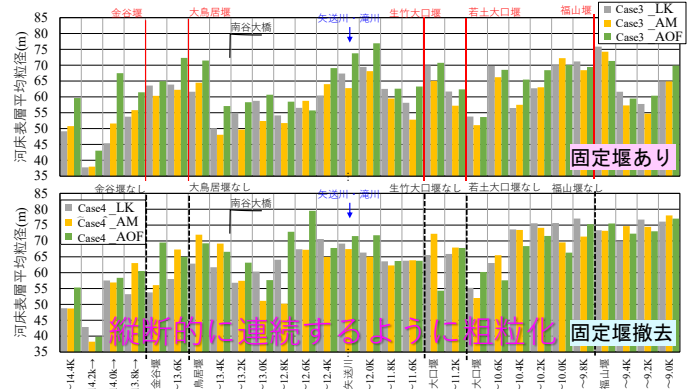


図-13 固定堰有無別の200m区間の平均の表層平均粒径(小鴨川上流域・既往最大流量)

4. おわりに

本研究により、対象範囲では河道が急勾配であり、浮遊砂よりも掃流砂が卓越していると考えられるため、浮遊砂考慮によって河床変動には大きな変化がないと推察されるが、使用する浮遊砂浮上量式によっては河床表層粒度構成変化の傾向が異なることがわかった。一方、連続した固定堰の同時撤去では、より急勾配、より大きな流量規模になるほど、河床変動、河床表層粒度構成へ及ぼす影響範囲は広がるということが推察される。河床表層粒度構成へ及ぼす影響は河床変動よりも影響範囲が広く、対象流量の増大によって隣接する固定堰の影響範囲が重複することから、対象区間全体で河床表層粒径が粗粒化すると推察された。本推察の妥当性を検証するため、今後、洪水波形を有する流量条件での解析による出水前後の細かい土砂の移動などを把握する必要がある。

参考文献 1)Kajikawa, Y. and Hinokidani, O., Proceedings of the 35th IAHR World Congress, Chengdu, China, A11452, 2013, 2)富所 五郎・後藤和也・石原祐樹・松本明人, 水工学論文集, Vol.45, pp.775-780, 2001, 3)梶川勇樹, 梶本健介, 黒岩正光, 三輪 浩, 和田孝志, 河川技術論文集, Vol.28, pp.271- 276, 2022.