

砂防堰堤下流の長期における河床変動に関する水理実験

日本工営(株) ○小林 結, 村松広久, 長山孝彦, 杉山 実, 後藤 健, 貝塚和彦, 渡部春樹, 伊藤隆郭
京都大学大学院 水山高久

1 はじめに

砂防堰堤の不安定化を招く要因として、堰堤下流域の河床変動や砂防施設直下の侵食(洗堀)があげられる。これらは砂防分野における古くからの課題であり、実験に基づいた既往研究^{1)~4)}がなされている。近年では、平成23年9月の佐陀川のK4堰堤、平成23年7月の魚野川流域登川等において砂防施設下流の河床低下が発生している。このような砂防構造物直下の河床変動に対して、出水のスケールに応じた対策(重複高、適切な根入れ、本副間距離等)を考える必要がある。加えて、竣工から年月を経た歴史的砂防堰堤の長寿命化を図る上では、上記のような出水毎の河床変動に関する知見が必要である。

本研究では、砂礫層上の砂防堰堤の河床変動及び洗堀の機構、規模を把握し、河床変動に対して安全性の高い砂防堰堤設計に資することを目的として、河床変動、出水規模、出水時間スケール、粒径に着目し、①出水規模に応じた土砂の移動性、②1出水における河床変動に関する水理実験を行い、粒径、河床侵食、侵食に起因する流速等に関する土砂水理的な基礎的データを得た。

2 水路実験

本研究では、土砂移動が活発な場に存在する砂防堰堤として富士川流域の土石流区間に位置する歴史的砂防堰堤であるT堰堤をモデルケースとした。

- 流域諸元:平均河床勾配 1/20, 平均谷幅 45m, 流域面積 21km²
- 堰堤諸元:堤高 10.0m, 本副間距離 14.1m, 本副重複高 2.5m
- 河床材料:7.5mm~800mm
- 模型縮尺:1/75
- 流量規模:既往最大規模程度(Run1), d_{95} に対する移動限界流量(一樣砂)定常流(Run2), 1出水のハイドログラフ(既往最大規模:図-1)(Run3)
- 水理条件(実験条件)

表-1 水理条件

Run No.	流量		通水時間	
	原型 m ³ /s	模型 Q / s	原型 hr.	模型 min
1	230	4.70	39.0	270
2	127	2.61	34.6	240
3	ピーク流量 230	ピーク流量 4.70	12.0	83.3

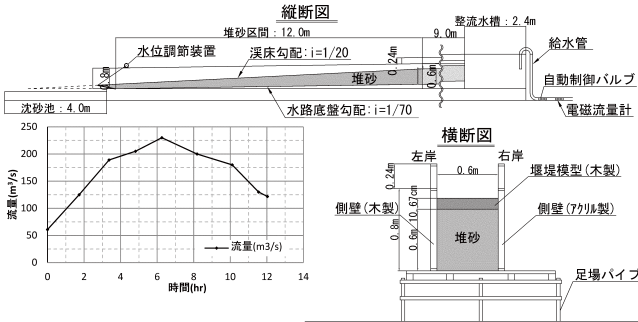


図-1 Run3 ハイドログラフ 図-2 実験水路模式図

3 砂防堰堤下流の河床変動

3.1 本堤副堤間の洗堀

本堤副堤間の河床変動については図-3 に示すように、Run1 は副堤背面に落下水脈が衝突³⁾し、既往研究の指摘する結果のとおり、副堤背面に本副間の最大洗堀深(7.96m)が位置する。Run2 は凹上の洗堀形状を成し、Run1 よりも最大洗堀深(9.49m)が大きい。Run3 は流量の増減に応じ洗堀形状が変化している。また、3 ケースとも土砂が副堤を乗り越えられず約 10m で洗堀の進行は頭打ち(静的平衡状態)になる。従って、流量(水脈飛距離)と本副間距離、重複高により本副間の洗堀深及び形状が異なり、流水の減勢のための本副間距離、重複高を適切な設計流量の設定により決定する必要があることを示している。一方で、砂礫地盤において前庭保護工(水叩き)を設置するか本副間の土砂越流を抑制する副堤高を設定しない限り、本副間の局所洗堀は必至の現象であると考えられ、局所洗堀を考慮した根入れの確保が必要であり、水理現象に基づく設計が行われることが望まれる。

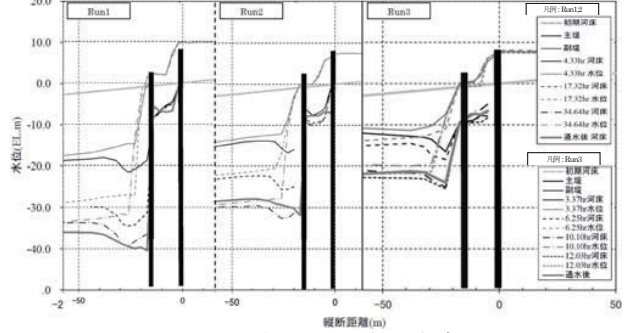


図-3 堰堤付近の平均河床変化

3.2 副堤下流の河床変動

1) 副堤直下の洗堀

無給砂の定常流による水理実験(Run1,2)の結果、砂礫上の砂防堰堤に規模の大きい一定流量の清水を流し続けた場合、流量が大きいほど水脈落下地点での落水(ナップ)流速が大きく、限界水深(h_c)に対する最大洗堀深(初期河床からの低下量)は約 30 倍であった(表-2)。洗堀の進行に伴い、副堤天端と河床との落差が拡大、水脈の飛距離が大きくなり、落水流速が増加(図-4)し、最大洗堀深は下流へ遷移する(図-3)。また、流量・流速が大きいことで落水に伴う噴流の影響³⁾が大きくなり、洗堀の進行速度が速く、最大洗堀深も大きくなると考えられる。

副堤直下の洗堀は、本堤の落下水脈の減勢効果が副堤で十分でないためと考えられるが、本堤落水の減勢を目的とした副堤高の嵩上げは天端・河床間の落差が拡大し、副堤直下の洗堀を助長してしまう。従って、適切な設計流量に応じ、本堤から副堤下流を含めた前庭保護工を設定し、副堤直下の洗堀に対しては、帯工や床固工等の河床との落差を抑えた河道横断構造物の配置を想定されるシナリオのもとに実施される必要性が示されている。

表-2 越流水深と最大洗堀深の関係

Run No.	①限界水深 h_c	②初期河床からの最大洗堀深	②/①
1	1.39	39.69m	28.6
2	0.93	31.29m	33.6

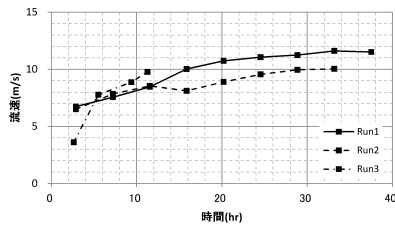


図-4 落水(ナップ)の流速変化

2) 下流域の河床低下

砂防堰堤における無給砂の定常流による水理実験 (Run1,2)の結果, 落水流速・河床低下の進行速度・流砂量は概ね流量と相関が強い。一方, 時間の経過(河床低下の進行)とともに河床勾配は緩く, 河床低下の進行速度, 流砂量は, 小さくなり, 通水後期, 落水流速は Run1 が 11.5m/s, Run2 が 10.0m/s 付近で収束状態(図-4)になった。最終的に河床低下が停止し, 静的平衡状態に近づいていく。通水後の河床勾配をみると, Run1: 1/83.4, Run2: 1/46.0であり, d_{95} , d_{60} の一様砂の移動限界勾配は, それぞれ 1/28.2, 1/141 (Run1), 1/19.8, 1/99 (Run2)であり, 今回の通水後河床は, $d_{95} \sim d_{60}$ の中間的な移動限界勾配になっている。また, 流出土砂の粒度分布の経時変化は d_{60} で初期河床粒度分布と同程度であるのに対し, d_{30} , d_{60} では粗粒化傾向が認められる(図-8)。静的平衡状態に至るまでの河床低下の過程を踏まえると河床低下を決定する要素は, 流量(流速), 河床勾配, 礫径と考えられる。

定常流(Run1,2) の河床低下特性として, 河床低下の速度が上流域ほど大きく下流域ほど小さく, Rotational degradation であり, 砂防堰堤の河床低下の影響は下流約 1,000m(実験水路下流端)まで及ぶ。

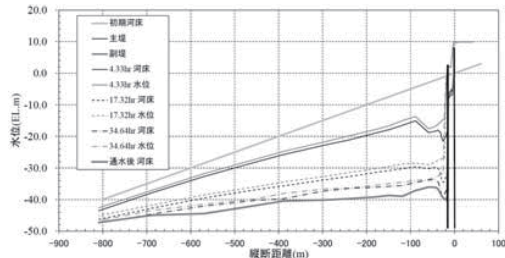


図-5 平均河床変化 Run1

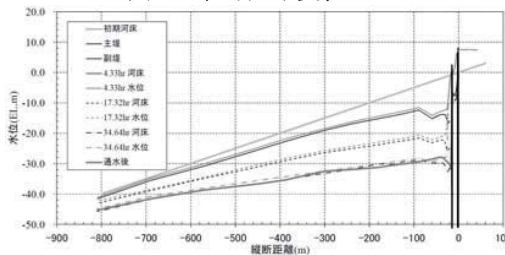


図-6 平均河床変化 Run2

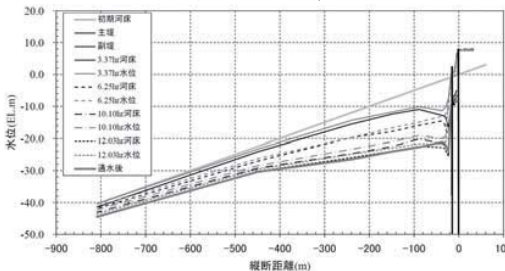


図-7 平均河床変化 Run3

3.3 1 出水の中での河床変動

無給砂のハイドログラフによる水理実験(Run3)の結果, ハイドログラフのピーク流量時に流砂量(7.1m³/s)が最大になった(図-1, 図-9)。また, ピーク流量以降は河床低下の進行は緩やかになるが, 通水中は河床低下が進行する。1 出水による最大洗堀深は副堤直下(-23m 地点)の 22.76m であり, 中流域(下流 450m 付近まで)においては Rotational degradation 傾向が, 下流域(450m 以降)は Parallel degradation となり, 河床が約 6.0m 一様に低下する傾向(図-7)が認められる。砂防堰堤が計画規模程度をピークとする1回の出水イベントを経験するだけで, 洗堀は著しく進行し, 堰堤の安定性に影響を及ぼす可能性があると考えられる。なお, 本研究は清水実験であるため, 過大な河床低下が生じている可能性があるが, 堰堤直下の局所洗堀は約 23m であり, その下流においても上流からの流砂がないことに起因する河床侵食が進むことを示している。今後は計画洪水ハイドログラフにこだわらずに, 適切な流量規模・頻度のもとで施設下流の河床変動を把握することが課題である。

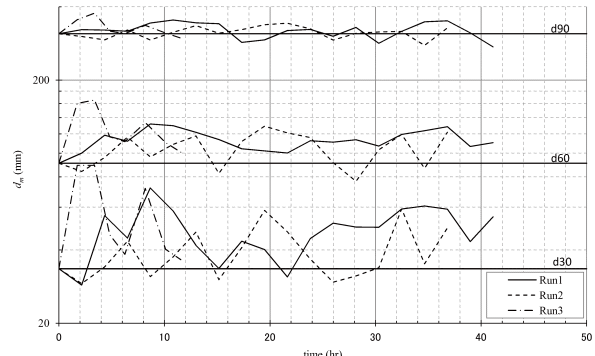


図-8 流出土砂の粒度構成(d_{30} , d_{60} , d_{90})

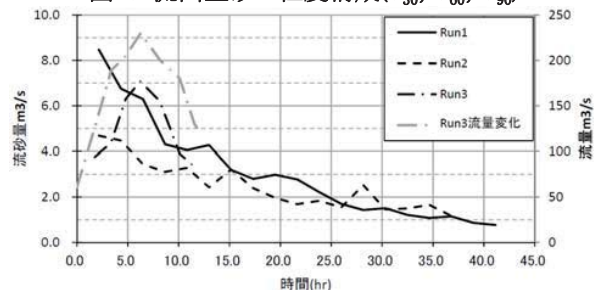


図-9 流出土砂量変化

4 おわりに

砂礫層上の砂防堰堤の河床変動に関して, 出水規模に応じた土砂移動性と 1 出水における河床変動に着目した基礎的な水理実験を行った結果, 下流域の河床変動は流量等の水理量と河床勾配, 粒径に依存し, 長期の河床変動は出水時間経過に伴い静的平衡状態に近づくことが明らかになった。1 出水の河床変動はピーク流量以降も緩やかであるが進行する。今後も引き続き水理実験等による河床変動の把握を進めるとともに, 砂防施設設計に反映されるべき基礎データを蓄積する予定である。

本研究を遂行するにあたりご協力頂いた日本工営(株)中央研究所, 河川砂防部の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1)建設省土木研究所:第 42 回建設省技術研究会報告, 1988.
- 2)尾張・安治:新砂防, Vol.41, p.23-41, 1961.
- 3)林拙郎:新砂防, Vol.91, p.10-19, 1974.
- 4)大河内慎二:新砂防, Vol.36, p.1-11, 1960.