

砂防堰堤の施設配置の下流域の河床変動と粒径別流砂量に及ぼす実験的研究

日本工営(株) ○渡部春樹, 三池 力, 松山洋平, 村松広久, 長山孝彦, 松田 悟, 宮本 歩, 伊藤隆郭
政策研究大学院大学 水山高久

1. はじめに

砂防堰堤直下の局所洗掘や堰堤下流域の河床変動が砂防堰堤の不安定化を招く要因として考えられる¹⁾。砂防堰堤の施設配置のパラメータとして本副間距離や重複高が挙げられるが、これらは経験式を基に設計されている。ハイダム、かつ、施工時期の古い堰堤であるが、副堤の底抜けや本副間の顕著な局所洗掘が見られる場合もあり²⁾、本副間の配置諸量の設定において、本堤からの落水による本副間の局所洗掘や副堤下流域の河床変動等が考慮されていないことが多いため、各施設の流砂環境に応じて、土砂水理学的な面も踏まえた設計が求められている。過年度までに本堤副堤間距離や重複高及び水叩きの本副間や堰堤下流域の河床変動に及ぼす影響について実験的に検討を行ってきた^{3)~6)}。本副間距離は、大流量時に本堤からの落水脈の位置に副堤の設置や、重複高の小さい設定が局所洗掘や副堤下流域の河床変動に対して、水叩きは中小規模流量時に本副間の局所洗掘に対して有効であった。

本検討では、砂防堰堤の施設配置の違いや底抜けの有無が堰堤下流域の河床変動及び粒径別流砂量に与える影響を実験的に検討した。

2. 実験条件

流量・流砂の条件はフルード相似により設定し、模型縮尺、施設配置や実験ケース、計測項目は次の通りである：(1) 模型縮尺：1/75に設定、(2) 粒径：7.5mm~800mm ($d_{30}=34\text{mm}$, $d_{60}=91\text{mm}$, $d_{95}=428\text{mm}$)、(3) 流量：230 m^3/s (既往最大規模相当, 1/150確率)、127 m^3/s (d_{95} =の移動限界流量)、(4) 河床勾配：対象地域の計画河床勾配を参考とし1/20 ($=2.86^\circ$)、(5) 輸送濃度：河床勾配に対する平衡輸送濃度 $c_f=0.012$ 、(6) 平均谷幅：45m、(7) 実験ケース：表-1に示すように6ケース、(8) 本堤高さ：10m (有効高さ：8m, 根入れ：2m)、(9) 重複高：2.5m (経験式より設定, $1/4 \times$ 本堤高さ10m = 2.5m)、(10) 本副間距離：14.1m (経験式より設定, $1.5 \times$ (有効高さ8m + 越流水深1.39m) = 14.1m)、9.5m (大流量時の落水脈が衝突する位置)、28.2m (14.1mの2倍)、(11) 計測項目：水位 H 、河床位 z_b 、輸送濃度 c_f 、粒径 d (c_f 及び d は水路下流端での計測)である。

3. 施設配置が副堤下流域に与える影響

施設配置の違い (本副間距離と水叩きの有無) による副堤下流域の河床変動や粒径別流砂量の違いに着目して検討した。

3.1 本副間距離

本副間距離の副堤下流域の河床勾配に与える影響を既往検討⁶⁾で示した。落水脈が当たる位置に副堤を設置すると、副堤下流域の河床勾配は大きくなり、輸送濃度と整合しない結果が得られた。Run1とRun2を比較すると、河床勾配は前者の方が大きい (図-1) にも関わらず、輸送濃度は共に平衡状態に達し、時系列データは殆ど変わらない (図-2)。また、Run1において通水8時間後と通水後の副堤下流域の河床縦断面分布は殆ど変わらない。副堤直下の洗掘部の下流勾配は安息角程度に安定しており、洗掘深はRun1に対してRun2の方が大きい。図-3に示す副堤直下の粒径の時間変化をみると、Run1では4時間後まではバラつきがあるが、それ以降で粒径変化が凡そ一定となった後に12時間後付近で粒径が漸増する。4時間後までは本副間や副堤直下の侵食に伴って粒径

表 - 1 実験ケース

Run No.	流量 (m^3/s)	重複高 (m)	本副間距離 (m)	水叩き	局所洗掘	
					本堤	副堤
Run1	230 (定常流)	2.5	9.5	×	×	×
Run2	230 (定常流)	2.5	14.1	×	×	×
Run3	230 (定常流)	2.5	28.2	×	×	×
Run4	230 (定常流)	2.5	9.5	○	×	×
Run5	127 (定常流)	2.5	14.1	×	底抜け	底抜け
Run6	230 (定常流)	2.5	14.1	×	×	×

○：設置、×：未設置又は底抜けしない

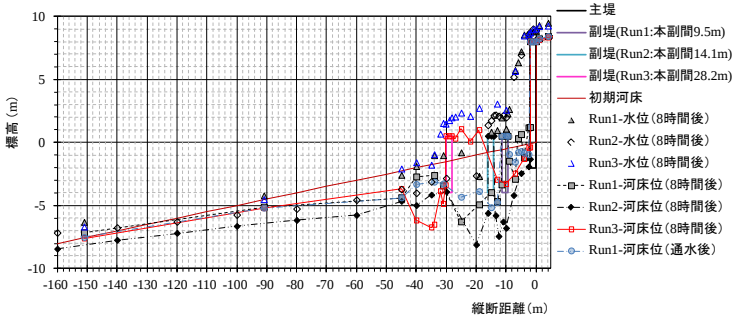


図 - 1 水位・河床縦断 (Run1, Run2, Run3 の比較, 8 時間後)

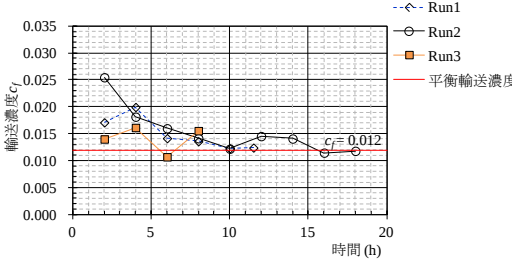


図 - 2 輸送濃度の時間変化 (Run1, Run2, Run3 の比較)

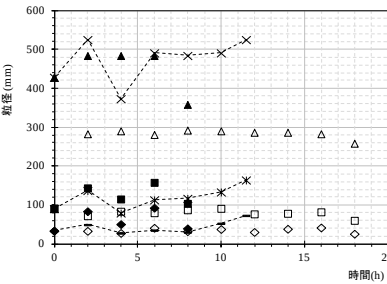


図 - 3 粒径の時間変化 (Run1, Run2, Run3 の比較)

がバラつく。6時間後以降では、粒径の小さな土砂が副堤下流へ流出するため、粒径の大きな土砂が洗掘部に多くなり、これらの土砂が洗掘孔から下流へ流出するため、粒径が漸増する。Run1では落水脈の位置に副堤を設置しているためRun2よりも副堤直下の洗掘深が小さくなり、粒径の大きな土砂が流出しながら輸送濃度が平衡状態に近づく。施設下流域の縦断河床の安定のためには、Run1の結果が良いと考えられる。

3.2 水叩きの有無

水叩きの有無により本副間や副堤直下の洗掘深に対しての違いはあるが、副堤下流全域でみるとRun1とRun4で河床勾配はほぼ等しく、輸送濃度の大きな違いは見られない(図-4、図-5)。ただし、副堤下流(直下流)の洗掘深と洗掘部の形状の違いが輸送土砂の粒径のバラつきを生む。水叩きがある場合は、副堤直下の洗掘孔が縦断方向及び深さ方向に大きくなるため、粒径の大きな土砂が下流へ流出し難くなる(図-4、図-6)。本副間の水叩きの有無が下流域の河床縦断と粒径別流砂量に及ぼす影響は大きい。従って、下流域の施設配置も考慮した上で、水叩きの有無を考えることが望ましいという結果が得られた。

4. 底抜けによる副堤下流域への影響

堰堤直下の底抜けの有無が副堤下流域に与える影響を検討した。底抜けの発生しないRun6では本副間や堆砂域の土砂が流出しないため輸送濃度が平衡状態に近づいていき、通水2時間後以降は粒径変化も殆どみられない(図-7、図-8)。一方、底抜けが発生するRun5では本副間の底抜けの再現に着目したため、Run6と流量が異なり、本副間距離も経験式で設定される間隔での値(14.1m)とした。本副間や本堤上流に堆積していた土砂が流出するため輸送濃度が大きくなる(図-7)。また、粒径の時系列は底抜けが生じるRun5において、特に、 d_{95} のバラつきが大きい、他の粒径階の時間変化は底抜けしないケースと殆ど変わらない(図-8)。これは本堤の堆砂域の巨礫等を含む土砂が底抜けの際に流出することが原因である。

5. おわりに

施設配置の違いや底抜けの有無が副堤下流域の河床変動や粒径別流砂量に与える影響を実験的に検討した。本副間距離について見ると、Run1(本副間距離: 9.5m)では通水4時間後まで、副堤天端に落水脈が衝突することによる局所洗掘により、巨礫成分の粒径がバラつく。一方、洗掘孔の形状に依存した礫成分の流下特性により、6時間以降で全粒径成分の粒径が漸増し、縦断的な安定河床が得られる。また、水叩きの有無は副堤下流域に流出する土砂の輸送濃度に大きな影響を及ぼさず、平衡状態に達するものの、粒径の違いを生む。水叩きによる水褥池の水はねによる副堤直下流の洗掘孔により、下流域に流下する巨礫成分の粒径が小さくなり、河床勾配が緩くなる方向に、河床縦断分布が安定する。底抜けした場合は、本副間や本堤上流の堆積土砂が下流へ流出し、本堤下流の河床縦断分布が全く異なるステージに移行し、土砂輸送や粒度特性が変化してしまう。これについては、今後、更なるデータの蓄積によって、施設下流域の流砂環境について議論する予定である。

参考文献: 1)林拙郎:三重大学農学部学術報告, 66, p.101-189, 1983, 2)酒谷幸彦ら:平成20年度砂防学会研究発表概要集A, p.A-416-A-417, 2008, 3)小林結ら:平成25年度砂防学会研究発表概要集B, p.B-288-B-289, 2013, 4)山田勇智ら:平成27年度砂防学会研究発表概要集B, p.B-28-29, 2015, 5)宮本歩ら:平成28年度砂防学会研究発表概要集A, p.A-134-135, 2016, 6)Watabe et. al.: Proceedings of Symposium on River Sedimentation, p.471-477, 2017.

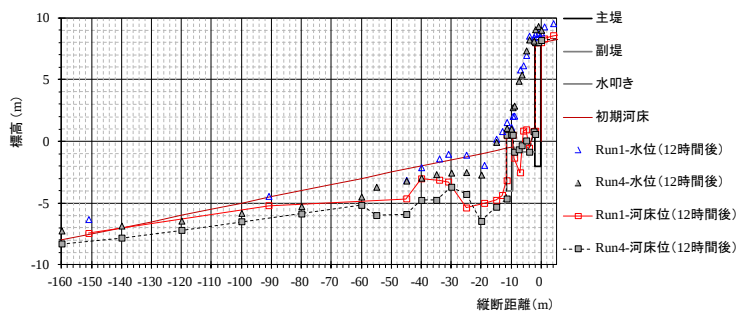


図 - 4 水位・河床縦断 (Run1, Run4 の比較, 12 時間後)

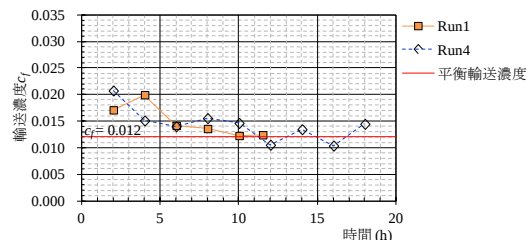


図 - 5 輸送濃度の時間変化 (Run1, Run4 の比較)

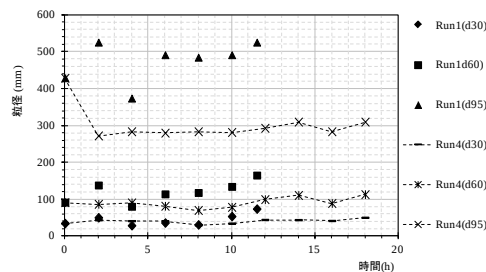


図 - 6 粒径の時間変化 (Run1, Run4 の比較)

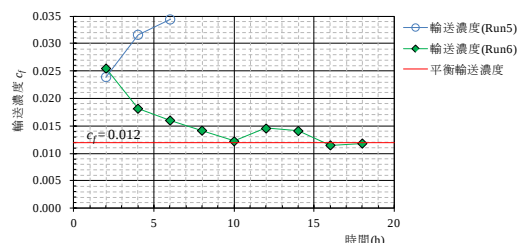


図 - 7 輸送濃度の時間変化 (Run5, Run6 の比較)

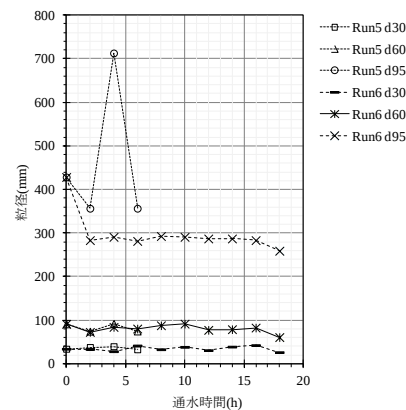


図 - 8 粒径の時間変化 (Run5, Run6 の比較)