

小河川の堆砂除去のための円筒状移動堰の設置条件の検討

山口大学 ○柳賢次郎、大阪市 加藤和幸、山口県河川課 松田幸祐、山口大学 正会員 関根雅彦

1. 背景・目的

河道内の堆砂上に草本が繁茂しその周辺にさらに堆砂が発生し草本繁茂が拡大するといった悪循環が見られる¹⁾。過剰に繁茂した植生は洪水時において流向の急激な変化を引き起こす危険性や、水位の上昇を引き起こし、河川を洪水氾濫させる可能性を高めてしまう危険性がある。草本の繁茂は堆砂を制御することで抑制できるため、一昨年度の研究において、堆砂を洗掘するような流れを作る固定された堰型の構造物を設置し、堆砂が洗掘されることを実証した。

しかし、固定された堰ではある程度の洗掘が進んで、堆砂と構造物の距離が広がると効果が低下するため、今回の研究では二年にわたり円筒状堰を設置し観察した。円筒状堰は洗掘により堆砂が除去されるにつれて、堆砂側の堰の先端が自動的に位置を変えるため、洗掘効果を一定時間維持することができる。

また、円筒状堰が意図通り移動するための水理的条件を記述した設置条件式を構成し、堆砂除去性能の向上と設置条件式の普遍性の検証を行うこととした。



図1 固定された堰の図



図2 自動的に回転する堰の図

2. 方法

堰が移動するためには堰が水平に移動する条件と堰が浮き上がらない条件を満たす必要がある。水平移動させるための式(1)は円筒状堰にかかる増水時の抗力が、堰と河床との摩擦抵抗より大きくなる時、水平移動が生じることを示す。

$$\frac{\rho_w}{2} C_d U^2 (D - H) B + \frac{1}{2} \gamma_m H^2 B K_A > C_f (Mg - F_b) \dots (1)$$

ここに、 ρ_w :水の密度 C_d :抵抗係数 U :流速 A :埋没深を考慮した側面積 H :埋没深 B :幅 K_A :主動土圧係数 γ_m :土の水中単位体積重量 C_f :摩擦抵抗係数 g :重力加速度 F_b :浮力 M :堰自体と堰内部の石を含めた全体質量である。

また、堤体の浮力と増水時に生じる揚力が、堰にかかる重力より小さければ浮上しない。この条件は式(2)で表される。

$$Mg > \frac{\rho_w}{2} C_L U^2 (D - H) B + F_b \dots (2)$$

ここに、 ρ_w :水の密度 C_L :揚力係数 U :流速 A :埋没深を考慮した側面積 g :重力加速度 F_b :浮力 M :堰自体と堰内部の石を含めた全体質量 B :幅 H :埋没深である。

本年度設置する堰3は、外径を過去の堰1,2より約0.2m拡大しており、洪水時の落水流速を高めて洗掘力を上げることなどを意図した。堰は固定側が金具とチェーンによって岸に打ちつけられた杭につながれていて、対岸側は土砂の侵入を防ぐために蓋が取り付けられている。側面と蓋には空気を逃すための穴が設けられている。固定側には、堰内に侵入した土砂を自動的に排出し重量増加を防ぐことを意図して昨年までと異なり蓋を設置しなかった。堰3は昨年度の堰1の位置に設置し、堰2の設置位置は変更せず、それぞれについて設置条件式を用いて内部に詰める石重量を変更し、フィールドカメラによる10分毎の画像を記録した。

また、目立った降雨の前後で手持ちカメラにより多数の写真を撮影し、UAV測量に用いられる3D空間データ生成ソフトを用いてDEMを作成した。流速は一昨年度作成したタンクモデルから算出した流量を、DEMの断面とフィールドカメラ画像読み取った降雨時の水面高により算出した流水断面積で除すことで算出した。

3. 結果

表1 降雨における堰1堰3の推定流速

円筒状堰1					
日付	水深[m]	流水断面積[m ²]	流量[m ³ /s]	流速[m/s]	埋没深[m]
2020年5月15日	0.57	1.55	2.21	1.43	0.25
2020年6月18日	0.49	1.30	1.62	1.25	0.25
2020年6月25日	0.4	1.02	1.03	1.01	0.2
2020年7月6日	0.92	2.68	2.70	1.01	0.2
2020年7月24日	0.83	2.38	4.17	1.75	0.2
2020年9月12日	0.55	1.49	2.84	1.91	0
2020年10月22日	0.43	1.11	1.64	1.48	0
円筒状堰3					
日付	推定水面標高[m]	流水断面積[m ²]	流量[m ³ /s]	流速[m/s]	埋没深[m]
2021年6月4日	14.5	2.12	1.55	0.73	0.00
2021年7月9日	14.6	1.97	2.56	1.30	0.00
2021年8月2日	14.1	0.82	0.41	0.50	0.00
2021年8月9日	14.7	2.56	1.98	0.77	0.00
2021年8月14日	15.1	4.27	3.77	0.88	0.00

表2 降雨における堰2の推定流速

円筒状堰2					
日付	水深[m]	流水断面積[m ²]	流量[m ³ /s]	流速[m/s]	埋没深[m]
2020年6月11日	0.63	1.76	1.83	1.04	0.00
2020年6月14日	0.57	1.64	1.79	1.09	0.00
2020年6月18日	0.77	2.04	1.51	0.74	0.00
2020年6月25日	0.52	1.55	0.96	0.62	0.05
2020年7月6日	0.73	1.96	2.70	1.38	0.05
2020年7月10日	0.56	1.62	1.28	0.79	0.25
2020年7月14日	0.63	1.76	2.19	1.25	0.25
2020年7月24日	1.03	3.75	4.17	1.11	0.20
2020年9月12日	0.76	2.02	2.84	1.41	0.00
2020年10月22日	0.50	1.51	1.13	0.75	0.00
日付	推定水面標高[m]	流水断面積[m ²]	流量[m ³ /s]	流速[m/s]	埋没深[m]
2021年6月19日	14.50	2.12	1.55	0.73	0.00
2021年7月9日	14.56	1.97	2.56	1.30	0.00
2021年8月9日	14.10	0.82	0.41	0.50	0.00
2021年8月14日	14.70	2.56	1.98	0.77	0.00
2021年9月17日	15.10	4.27	3.77	0.88	0.00

水理条件式から各降雨時での堰の移動条件を計算し、実際の堰の挙動と比較した結果を表3表4に示す。

表3 堰1堰3の計算結果と移動状況

日付	滑る条件(マイナスで移動せず満たさない)		浮き上がらない条件(マイナスで浮き満たさない)		実際に堰が移動したか(堰ビデオからの目視) 式と字補する場合は赤色
	抵抗力-摩擦抵抗[N]	堰重量-揚力+浮力[N]	堰重量-揚力+浮力[N]	式と字補する場合は赤色	
堰1	2020年5月15日	-499	1287	1320	移動していない
	2020年6月18日	-577	1320	1309	移動していない
	2020年6月25日	-613	1309	1299	移動していない
	2020年7月6日	-589	1299	1056	移動していない
	2020年7月24日	-1	1056	964	移動していない
	2020年9月12日	1943	-964	-225	浮き上がり堆積土砂を超えて移動した
	2020年10月22日	1134	-225	230	浮かず移動した
堰3	2021年6月4日	314	230	二輪浮いたようにも見えるが堆砂を削った	
	2021年7月9日	1662	-241	浮かず移動した	
	2021年8月2日	-131	502	(堆砂が堆積し入り込んだ)	
	2021年8月9日	308	320	浮かず移動した	
	2021年8月14日	611	195	浮かず移動し回転した	

表4 堰2の計算結果と移動状況

日付	滑る条件(マイナスで移動せず満たさない)		浮き上がらない条件(マイナスで浮き満たさない)		実際に堰が移動したか(堰ビデオからの目視) 式と字補する場合は赤色
	抵抗力-摩擦抵抗[N]	堰重量-揚力+浮力[N]	堰重量-揚力+浮力[N]	式と字補する場合は赤色	
堰2	2020年6月11日	213	213	195	少し移動した
	2020年6月14日	257	195	316	少し移動した
	2020年6月18日	-36	316	458	移動していない
	2020年6月25日	-209	458	400	移動していない
	2020年7月6日	262	400	881	少し移動した
	2020年7月10日	-461	881	842	移動していない
	2020年7月14日	-363	842	820	移動していない
	2020年7月24日	-354	820	240	移動していない
	2020年9月12日	669	-240	384	浮き上がり堆積土砂を超えて移動した
	2020年10月22日	-85	384	419	移動していない
	2021年6月19日	-235	419	146	移動していない
	2021年7月9日	427	146	161	移動していない
	2021年8月9日	390	-161	-75	浮かず移動し片方の先端が壊れた
	2021年8月14日	615	-75	224	移動していない
2021年9月17日	1321	224			

測量し作成した DEM を降雨後に減算し堆砂の洗掘量を計算した。昨年度の堰と比較した結果を表5、表6に示す。設置してから回転した2021年6月8日～8月14日の設置前後における堰3付近のDEMの減算結果を図3に示す。

表5 円筒状堰1堰3の土砂洗掘量

堰	日付	洗掘量[m ³]	一度の設置における洗掘量の合計[m ³]
堰1	2020年6月9日~8月19日	2.62	2.62
	2020年8月19日~10月8日	0.17	0.17
	2020年10月8日~11月6日	0.20	0.20
	2020年11月6日~2021年5月25日	0.29	0.29
堰3	2021年5月25日~6月8日	1.43	1.43
	2021年6月9日~7月8日	0.42	4.13
	2021年7月9日~8月1日	0.06	
	2021年8月2日~8月8日	0.91	
	2021年8月9日~8月14日	2.73	

表6 円筒状堰2の土砂洗掘量

堰	日付	洗掘量[m ³]	一度の設置における洗掘量の合計[m ³]
堰2	2020年6月9日~8月19日	1.05	1.05
	2020年8月19日~10月8日	0.39	0.39
	2020年10月8日~11月6日	0.17	0.17
	2020年11月6日~2021年6月8日	0.34	0.34
	2021年6月8日~7月9日	0.13	2.36
	2021年7月10日~8月14日	1.66	
	2021年8月15日~9月17日	0.57	

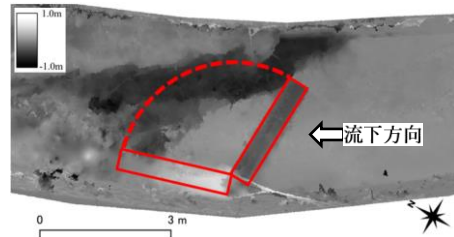


図3 一度の設置における堰3付近DEM減算結果

4. 考察

昨年度設置した堰1に比べて堰長を長く堰径を大きくし、堰の埋没を防ぐために下流端の蓋を省略した今年度の堰3で堆積土砂を効果的に除去することができた。また、作成した堰の設置条件式は堰1堰3におおむね適用できることが示された。一方、堰2は2年に渡る設置期間中、所期の効果を発揮せず、洲の固定力に場所的な違いがあることが示唆された。

今後は、砂州固定力の変化とそれへの対策法を明らかにするとともに、堰を固定する支点や鎖に求められる力学的な条件を明らかにし、円筒状移動堰の設置マニュアルとしてとりまとめる必要がある。

謝辞：本研究は、山口県官学共同研究の支援を受けた。また研究室の柳洋平氏、川野聖竜氏の多大な協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省 北陸地方整備局：
http://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/mb2_jigyo/river/plan/commit4/com4_09.pdf