

空石積み護岸の吸い出し現象に関する水理実験

九州大学工学部 学生員 大石 銀司

九州大学工学部 正会員 竹内 えり子

九州大学大学院工学研究院 正会員 林 博徳

九州大学大学院工学研究院 フェロー会員 島谷 幸宏

1.背景および目的

空石積み護岸は、現在多く使用されているコンクリート護岸や練石積み護岸が普及するまで日本の伝統的河川護岸として長く使われてきた。また近年、歴史的な価値だけでなく景観デザインやエコロジカルという視点でも注目されている。しかし、空石積み護岸の施工には熟練の技術が必要であり、その設計法や設計基準に関する知見が少ないことから護岸工法として選択しにくい状況にある。

護岸の力学設計法によると、空石積み護岸を含む積みモデルに分類される河川護岸は、主に土圧・水压による護岸の滑動、転倒によって破壊されるとされている。しかし実際には、護岸背後の砂が吸い出されることによる地盤の陥落被害の事例も多数みられる。この吸い出し現象のメカニズムを明らかにし、これを防ぐための対策を考えなければならない。既往の研究をレビューすると、海岸分野では、波による吸い出しの研究が近年行われている。例えば、五百蔵ら(2012)は、海岸堤防のコンクリート護岸における吸い出し現象を検証し、吸い出し現象は護岸背後に裏込め材を充填することで防止できることを示している。一方、流水を対象とした河川護岸の吸い出し現象についての研究は行われていない。

そこで本研究では、空石積み護岸を対象に吸い出し現象を記述し、裏込めの厚さや裏込め材の粒径による違いを実験的に明らかにすることを目的とした。

2.実験内容

(1)実験水路

実験は、水路長 30m、水路幅 30cm の水路を用いて行い、流れが安定する下流部に実験区間 120cm を設置した(図 1)。水路の側面および実験区間両端の断面は透明なアクリル張りにし、吸い出しの様子を

視覚的に確認できる。

(2)実験条件

実験ケースを示した(表 1)。護岸の法面勾配は 1:0.3、護岸の直高は 10cm で固定し(図 2)、実験区間の上下流には、同じ法面勾配のベニヤ板を設置した。積み石は短径 2cm、長径 4cm 程度のものを使用し、石積みの熟練の経験を有する竹内が積んだ。

(3)実験方法

吸い出された砂の量を把握するために、流水開始から 4 分から 5 分の 1 分間、9 分から 10 分の 1 分間というように、5 分毎に 1 分間砂を収集した。これを 30 分間続け、乾燥後重さを計測した。1 分間に収集できた砂の量 (g/min) を Q_s とした。また、吸い出し現象時の堤内の様子をタイムラプス写真によって記録した。

表 1 実験ケース

ケース	水路勾配	流量 (L/s)	裏込め有無	裏込め材平均粒径 (mm)	裏込め厚さ (mm)
1	1/100	10	無	—	—
2			有	12.8	20
3					40
4					60
5				5.9	20
7					60
8					10
9				3.3	20
10					60

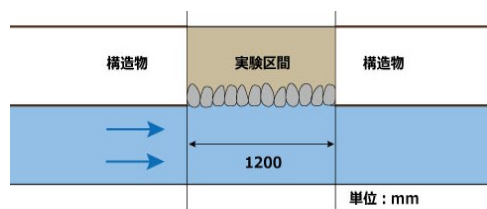


図 1 実験水路の平面図

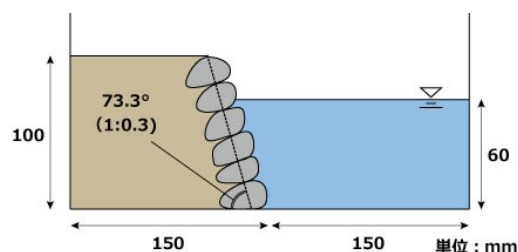


図 2 実験水路の断面図

3.実験結果

(1)吸い出された砂の量 Q_s

各ケースの Q_s を(表 2)に示した。また、裏込め材の粒径を 12.3mm とし、厚さを変化させた場合の Q_s のグラフと、厚さ 20mm とし、裏込め材の粒径を変化させた場合の Q_s のグラフを(図 3)に示した。裏込め材を入れなかったケース 1 は他のケースに比べ明らかに Q_s の値が大きく、裏込めの厚さが大きいほど、裏込め材の粒径が小さいほど Q_s は減少している。また、裏込めの材の粒径が 3.3mm の場合、厚さを小さくしても吸い出し現象は確認できなかった。

(2)吸い出し現象の様子

ア) ケース 1 について

水が流れ始めると直ちに吸い出しが発生し、護岸下部から砂が吸い出される。護岸背後下部に空洞が発生し、時間と共に拡大する。空洞が大きくなると上部の砂が陥落し、再び護岸下部から吸い出される。これを繰り返す。ある一定量の空洞ができると砂が一定の角度で安定する。安定した斜面の上部から砂が落下し、安息角斜面上を砂が移動し、護岸下部より河川に流出する(図 4)。

イ) ケース 2,3,5 について

ケース 1 と同様に砂が護岸下部から吸い出され空洞ができ、裏込め背後の砂が一定の角度の斜面で安定する。安定した角度はケース 1 とほぼ同じであった。空洞の大きさや侵食スピードはケース 1 に比べて著しく小さい。

ウ) ケース 4,6,7,8,9 について

吸い出しは発生しなかったが砂はわずかに移動し、裏込め背後の砂の斜面に凸凹が生じた。

4.考察

裏込め材の粒径が大きい(12.8mm)場合、図 3 に示すように裏込めが厚くなるほど Q_s は小さくなり、60mm で吸い出しは微量となった。また、裏込め材の粒径が小さい(3.3mm)場合、裏込めの厚さが 10mm と薄い場合も吸い出しは起きなかった。

このことから、裏込め材には粒径の大小に関係なく吸い出しを防止する効果があり、粒径によって適

切な厚さが存在すると考えられる。

5.結論および今後の課題

裏込め材の粒径や厚さを変え、各ケースについて吸い出しの様子を記録することができた。粒径の大きさによらず、裏込め材には吸い出し防止の効果があること、粒径ごとに適切な厚さが存在することが確認できた。今回は流速が一定の条件で実験を行ったが、今後は流速を変えたケースや、根入れ下からの吸い出し現象を記録する実験を行い、吸い出し現象に関しての理解を深める必要があるだろう。

表 2 各ケースの時間ごとの Q_s

	4-5分	9-10分	14-15分	19-20分	24-25分	29-30分
ケース1	243.3	68.4	62.7	52.6	54.3	58.7
ケース2	38.5	24.6	15.9	13.9	12.6	12.5
ケース3	3.7	4.4	3.4	2.8	3.5	3.3
ケース4	微量	微量	微量	微量	微量	微量
ケース5	3.1	2.5	3	2.9	1.9	1.6
ケース6	0	0	0	0	0	0
ケース7	0	0	0	0	0	0
ケース8	0	0	0	0	0	0
ケース9	0	0	0	0	0	0

各ケースの流出土砂量 (g)
※ケース4では吸い出し現象が視認できたが、土砂量が微量だったため収集できなかった

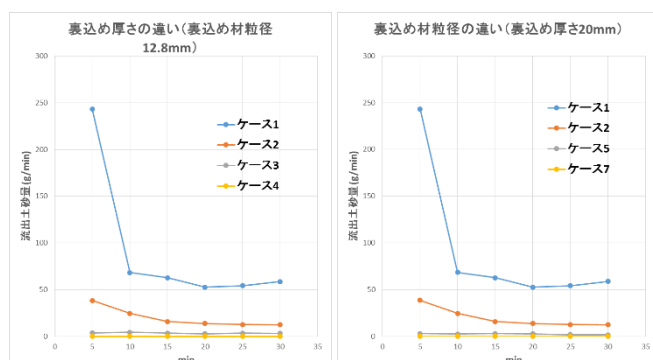


図 3 時間ごとの Q_s の変化

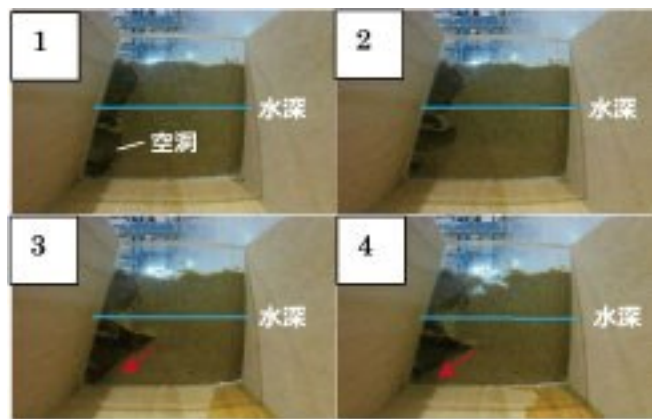


図 4 横断方向から撮影した吸い出しの様子(ケース 1)