

石礫フィルターを用いた洗掘防止策に関する基礎的研究

岡山大学大学院 学生会員 ○和中 隆志
岡山大学環境理工学部 正会員 前野 詩朗

1 研究背景・研究目的

近年、海岸付近や河川内で起こる水理構造物の被災は、構造物そのものの崩壊が原因で起こるのではなく、構造物周辺で発生する変動水圧が地盤に作用することによって起こることが指摘されている。その水理構造物の被災現象の原因のひとつである護床工からの砂の抜け出し現象に着目し、その防止策として捨石工を粒径の異なる多層石礫で構成し、接する層間での石礫の物理的移動をなくす多層石礫フィルターが提案されている。しかし、堰下流部のように強度の変動水圧が生ずる場での設計法は確立されていない。そこで本研究では、石礫フィルターの合理的な設計方法を実験的に検討し、提案することを目的としている。

2 実験概要

本実験は図1に示す、長さ16m、幅0.6m、深さ0.4mの可変勾配式水路を用い、水路勾配 1/200、流量 4.8l/s としている。土砂の抜け出し防止策を検討するにあたり、石礫フィルターの効果を利用した。実験では1時間通水し、その後に河床砂の抜け出しの有無を確認した。そして、使用粒径は、石礫層には平均粒径 1.87cm、

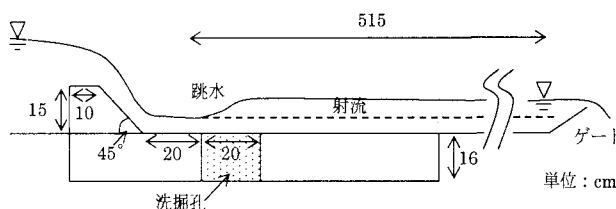


図1 実験装置

表1 実験ケース

1.25cm、0.65cm、0.31cmの自然石礫を、砂試料には平均粒径0.25mm、比重2.65の豊浦標準砂を使用した。この粒径を用いて表1に示すケースで実験を行った。実験条件は、洗掘孔上を射流で流れる場合と洗掘孔中央部で跳水が生起する場合のふたつのケースとし、表1中のsが射流を、jが跳水を表している。また、実験結果の判定基準は、○が「砂の抜け出し、変化河床面になし」、△が「砂の抜け出しはないが、河床面に変化が見られた」、×は「砂の抜け出しが見られる」とした。表1中の△に関して他のところより色が濃いところは、河床面の変化が微小であったことを示す。石礫フィルターの設計方法は表2に示す。この条件のうち、条件(1)と条件(2)または条件(3)のうちどちらかを満たされていれば河床砂の洗掘生じない¹⁾とされているので、本研究の実験では条件(1)と条件(3)を満たすように設計した。

Case	Sa	(L/D)0	D0	(L/D)1	D1	Ln	β	Result	
1a	1	6	1.25	—	—	7.50	0.0150	×	×
1b	1	7	1.25	—	—	8.75	0.0074	×	×
1c	1	8	1.25	—	—	10.00	0.0037	×	×
1f	1	9	1.25	—	—	11.25	0.0018	—	○
1d	1.5	5	1.87	—	—	9.35	0.0302	×	×
1e	1.5	6	1.87	—	—	11.22	0.0150	×	×
2a	1	3	1.25	3	0.31	4.68	0.0150	○	○
2i	1	3	1.25	3	0.65	5.70	0.0150	○	○
2k	1	4	1.25	2	0.65	6.30	0.0150	△	△
2l	1	4	1.25	2	0.31	5.62	0.0150	○	○
2d	1.5	3	1.87	3	0.31	6.54	0.0150	○	○
2m	1.5	4	1.87	2	0.31	8.10	0.0150	○	○
2n	1.5	4	1.87	2	0.65	8.78	0.0150	○	○
2o	1.5	3	1.87	3	0.65	7.58	0.0150	○	○
2p	1	3	1.25	2	0.31	4.37	0.0302	△	△
2q	1	3	1.25	2	0.65	5.05	0.0302	△	△
2r	1.5	3	1.87	2	0.31	6.23	0.0302	○	○
2s	1.5	3	1.87	2	0.65	6.91	0.0302	○	○
2t	1	2	1.25	3	0.31	3.43	0.0302	×	×
2u	1	2	1.25	3	0.65	4.45	0.0302	×	×
2v	1.5	2	1.87	3	0.31	4.67	0.0302	○	○
2w	1.5	2	1.87	3	0.65	5.69	0.0302	○	○

表2 設計方法

(1)	最上層石礫が掃流されない $D_c = \frac{u_{*c}^2}{sg\tau_{*c}} \quad u_{*c} : \text{捨石工表層の摩擦速度}$ $s : \text{水中比重} \quad \tau_{*c} : \text{無次元掃流力}$ $g : \text{重力加速度} \quad D_c : \text{限界粒径}$
(2)	下層砂礫が上層フィルターの間隙を通過しない $D_k / D_{k+1} \leq (D/d)_c \quad \text{かつ} \quad \frac{D_1}{D_2} \frac{D_2}{D_3} \dots \frac{D_n}{d} = a$
(3)	石礫フィルター層下の吸い出し力が河床砂の限界掃流力より小さい $\exp(-a \frac{L_1}{D_1}) \exp(-a \frac{L_2}{D_2}) \dots \exp(-a \frac{L_n}{D_n}) \frac{u_{*0}^2}{sgd} < \tau_{*c}$ $\beta_1 \quad \beta_2 \quad \beta_n$

3 実験結果の考察

図3は横軸を全層厚 L_n を洗掘孔の横の辺の長さ20cmで無次元化した $L_n/20$ とし、縦軸には減衰率 β をとり、実験結果を示している。図3より減衰率 β の条件を満たし

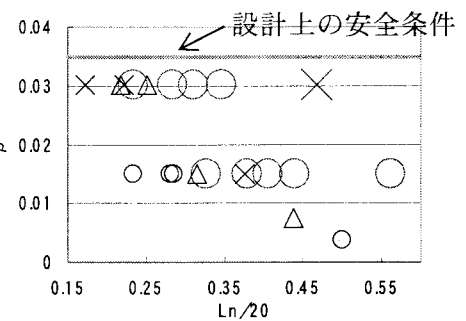
ているにもかかわらず、砂の抜け出しが起こるケースがあることがわかる。このことから、減衰率 β の検討が必要と考えられる。従来、減衰率 β はフィルター層厚と粒径の比 L/D で決まるものとされているが、実験結果より中間砂についてはフィルター層厚よりも粒径が小さい方が砂の抜け出しを抑えていることから、その他の要因が関係すると判断し減衰率 β に透水係数 k を考慮することにした。以上のような観点から、無次元量 Lg/k^2 を用いて、減衰率 β の係数 a を逆算した。このとき表層石の違いによる差異を無くすために粒径1.25cmのみを使用した。逆算した係数 a を用いて、実験結果を判定すると、図4のようになる。実験結果より、単層で砂の抜け出しを抑えるためには、フィルター層厚 L を多層と比較して大きくとらなければならないため、砂の抜け出しを抑える手段としては多層が有効であると判断できる。そのようなことから、多層に関して検討すると、×印を減衰率 β の限界値の危険側または限界値の危険側に近づけることができた。また、安全率を考慮した粒径1.87cmは、減衰率 β の限界値外でも安全であることがわかる。実験結果より摩擦速度を計算した結果、粒径を大きくすることによって摩擦速度は小さくなったので、フィルター層表面に作用する掃流力が小さくなったと判断できる。このことが、粒径1.87cmが砂の抜け出しを抑えられた理由と考えられる。

そして、洗掘孔が局所的なものと広範囲なものとの比較検討については、広範囲にすることによって表層石間のかみ合わせが悪くなり、限界掃流力が小さくなる。また、洗掘孔中央部での水の落ち込みが起こり、流れの集中により砂の抜け出しが促進される。よって、洗掘孔が広範囲になるにつれて表層石の構造を保つことが困難になり、より安全性を考慮しなければならない。

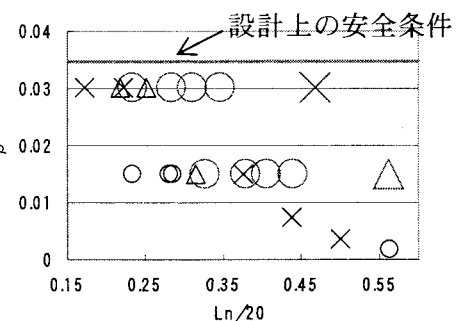
4 結論

本研究により、従来の石礫フィルターの設計方法では、すべてのケースで河床砂の洗掘を防ぐことができず、不十分であることがわかった。そのため、石礫フィルターの合理的な設計を行うためには、条件(1)(2)(3)についての詳しい検討と条件間の相互関係について明らかにし、設計基準に組み込むことが必要となることが示された。

〈参考文献〉1)鈴木幸一、山本裕規、徳安芳典(1997)：逆フィルターを利用した捨石洗掘防止工に関する基礎的研究、土木学会論文集、第45巻,pp.409-414

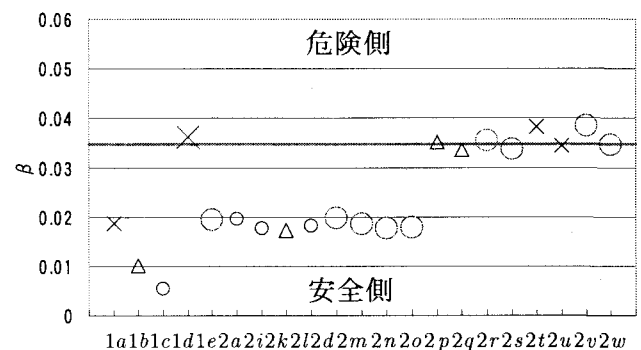


(a) 射流

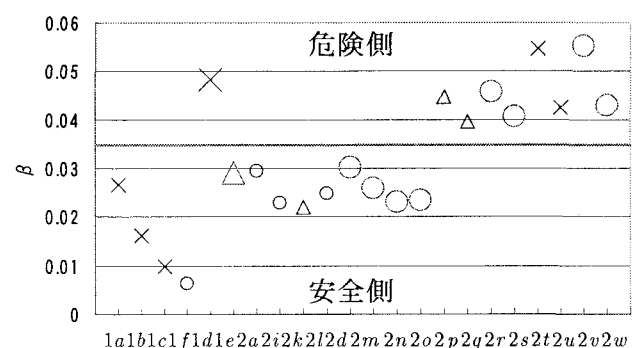


(b) 跳水

図3 実験結果



(a) 射流



(b) 跳水

図4 修正後の実験結果