

津波の越流洗掘に対する捨石のアーミング効果に関する小型模型実験

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 正会員 ○中村 康大
 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 正会員 鈴木 高二朗

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震の津波では八戸港の八太郎北防波堤において約9割のケーソンが被災した。その中でケーソンの倒壊は全体の4割だったとされている。このケーソン倒壊の一つの要因として津波の越流によるケーソン背後地盤の洗掘があげられている。このような越流洗掘を防ぐため、全国各地の防波堤でケーソン背後のマウンド上に捨石を追加する腹付工や洗掘防止マットなどの対策がとられている。しかし、これらの洗掘対策についてはその効果が十分には明らかになっていない。特に、マウンドや腹付工の捨石が越流で散乱した際、背後の地盤が捨石で被覆され、そのアーミング効果によって地盤の洗掘が抑制されるものと考えられるが、アーミング効果についてはそのメカニズムが未解明である。そこで本研究では越流洗掘に対する捨石のアーミング効果を評価するため移動床水理模型実験を実施した。

2. 実験方法と実験条件

実験は港湾空港技術研究所内の小型水路を用いた。小型水路は長さ12.0m、幅0.5mであり、初期水深を40cmとして実験を行った。図1は実験の断面図であり、水路内に長さ23cm、幅49.8cm、高さ44.5cmの堤体模型を設置して堤体模型内部に十分な質量の錘を入れて水路内に固定した。堤体背後の砂地盤には中央粒径0.2mmのフラタリーサンドを用いた。堤体模型の背後にマウンド及び腹付工を模した砕石を設置した。表1は実験ケースの一覧であり、マウンド砕石が無い砂のみの条件(Case1)とマウンドと腹付工を模した4種類の条件(Case2~Case5)を試した。また、粒径の異なる2種類の砕石(5号砕石(粒径13~20mm)と7号砕石(粒径2.5~5mm))を用いた。マウンドと腹付工の高さはそれぞれ5cmと10cmである。なお、マウンドおよび腹付工は石のみで製作し、ブロック等の被覆工は設置しなかった。

実験には水中ポンプ(最大流量150L/min)を用い、図1のように砂地盤の後部側にポンプを設置し、吸い上げた水を沖側に吐き出して水を循環させて、防波堤内の港内・港外の水位差を発生させることで津波の越流を模擬した。津波の高さは堤体模型前面で48cm、背面で32cm、越流水深は2.5cmとした。この条件で5分間津波を作用させ、越流開始から10秒間隔で砂地盤の洗掘深さを測定

した。

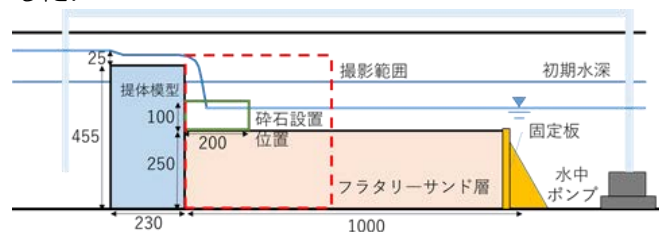


図1 実験概要図

表1 実験条件

Case No.	堤体背面の対策	被覆高さ	水深	提前水深	背面水深	備考
Case1	捨石なし	なし	38cm	48cm	32cm	砂地盤のみ
Case2	7号砕石	5cm				マウンド設置
Case3	5号砕石	5cm				腹付工
Case4	7号砕石	10cm				
Case5	5号砕石	10cm				

3. 実験結果

3-1. 捨石なし

図3はCase1の石を設置しなかった場合の洗掘状況である。越流開始直後から洗掘が進み、広範囲にわたる洗掘が確認された。最終的な洗掘深さは14cmだった。

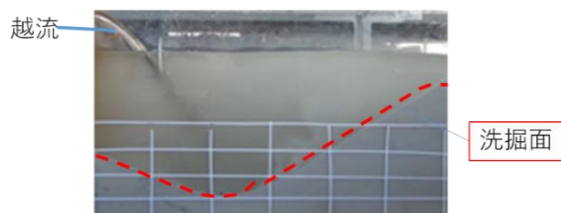


図3 Case1(石の無い条件)での洗掘状況

3-2. マウンドを設置した条件

図4、図5はCase2およびCase3での実験状況である。Case2では越流開始直後に洗掘が大きく進んだが、越流開始から1分経過するとその後2分間は洗掘が停滞する時間帯があった。その後、再び洗掘が進み最終的な洗掘深は12cmだった。なお、越流の延長上に洗掘孔が見られるほかに、堤体直背後にも窪みがみられるが、これはケーソン模型とガラスとの間から流れが発生したために発生した洗掘孔であり、解析の対象外とした。

5号砕石を用いたCase3でも越流開始直後、大きく洗掘が進んだ後、1分経過すると越流水塊によって浮遊した砕石が越流水塊の着地点に沈降して

キーワード 越流洗掘, 津波, 防波堤, アーミング効果, 水理模型実験

連絡先 〒239-0826 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

港湾空港技術研究所 沿岸水工研究領域 耐波研究グループ 研究員 中村 康大

TEL:046-844-5043

E-mail: nakamura-y84t3@p.mpat.go.jp

堆積し、砂地盤を覆うことで洗掘が進行しにくくなり、逆に砂が堆積する時間帯があった。その後、再び洗掘に転じて洗掘が徐々に進行し、最終的な洗掘深は11cmとなった。

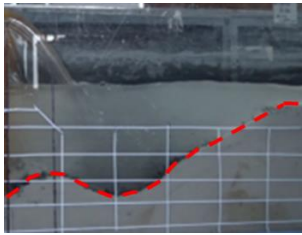


図4 Case2(マウンド7号砕石)の洗掘状況

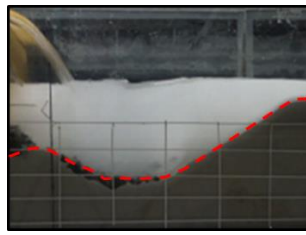


図5 Case3(マウンド5号砕石)の洗掘状況

3-3. 腹付工を施した条件

図6, 図7はCase4およびCase5での実験状況である。Case4では越流開始直後から腹付工を模した7号砕石に水塊が当たって砕石が浮遊した。浮遊した砕石が背後の砂層上に広がって堆積して砂層を被覆したため、洗掘の深さが5cmのまま停滞した。最終的な洗掘深さは5cmだった。

5号砕石を用いたCase3でも越流開始直後から越流水塊が砕石に当たり、広範囲に砕石が飛散したが、粒径が大きいので遠方まで飛散せず、図7に見られるように洗掘孔にそって厚く堆積した。そのため、5号砕石で洗掘孔が被覆されることで砂地盤の洗掘が抑制され、最終的な洗掘深さは2.5cmだった。

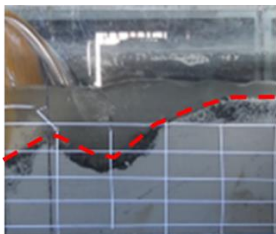


図6 Case4(腹付工7号砕石)の洗掘状況



図7 Case5(腹付工5号砕石)の洗掘状況

図8は洗掘深さの時間変化であり、全てのケースを載せて比較した。洗掘は単調に進むわけではなく、いったん洗掘が落ち着くケースが多く、ケースによってはいったん堆積する場合も見られた。

図9は各ケースの洗掘深さの比較図である。越流開始から1分後の洗掘の深さ(A時点)と越流開始から5分後の洗掘量(B時点)を示している。

洗掘開始から1分後(A時点)では捨石の無いCase1とマウンドのみのCase2およびCase3の洗掘量が大きいに対し、腹付工のCase4とCase5では洗掘量が小さかった。なお、この時点ではCase3の洗掘量が最も大きく、捨石のアーミング効果が小さいように見える。原因の一つとして図3のように洗掘孔背後に砂が堆積し、流れが変化するためと考えられるが、今後の課題である。

また、越流開始から5分経過後の洗掘孔を比較すると捨石が無いCase1では洗掘が進行し続けるのに対して、マウンド(Case2,Case3)、腹付工(Case4,Case5)のケースでは洗掘量が抑制されていた。越流によって砕石が飛散するものの、洗掘孔に砕石が沈降堆積し、砂地盤を被覆することで高いアーミング効果を発揮したものと考えられる。

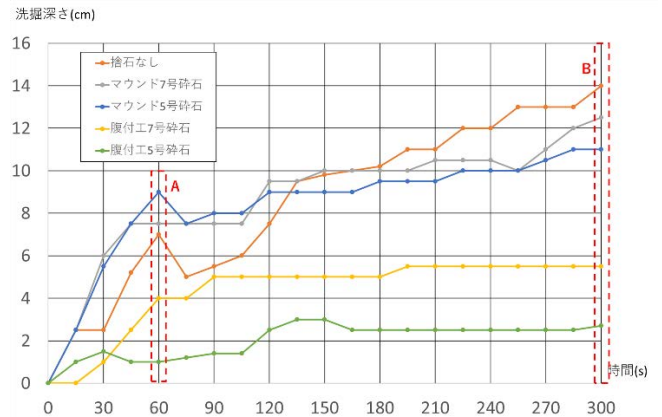


図8 砂地盤の洗掘の比較

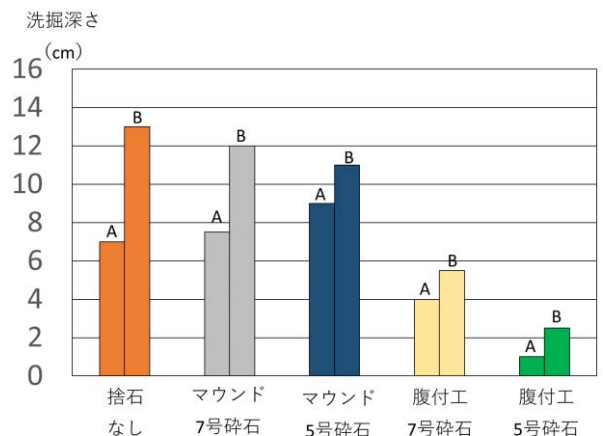


図9 越流開始から1分後の砂地盤の洗掘深さと越流開始から5分後の砂地盤の洗掘深さの比較

4. まとめ

本研究において得られた知見を以下に示す。

- 1) ケーソン背後のマウンドおよび腹付工は、越流によって飛散した場合でも、砂地盤および洗掘孔を被覆することで洗掘を抑制する効果がある。
- 2) 捨石の粒径が小さい場合には、捨石が越流によって飛散して遠方に流されるため、洗掘に対するアーミング効果が低い。
- 3) 腹付工の場合は、ケーソン背後の砂地盤を保護する砕石の量が多くなり、アーミング効果がより発揮され、捨石が無い場合と比較して洗掘を50%以下に抑制する。

参考文献

鈴木 滉平・有川 太郎(2019)：越流による直立型堤防背後洗掘の時系列変化についての検討，土木学会論文集 B2, 75 巻 2 号, p. I_715-I_720