

支持地盤の洗掘に影響を及ぼす混成堤捨石内の流速評価

名古屋工業大学 学生会員 ○久泉 友二
 名古屋工業大学大学院 学生会員 伊藤 嘉
 名古屋工業大学大学院 学生会員 今瀬 達也
 名古屋工業大学 正会員 前田 健一

1. 研究背景

混成堤の津波被害について、捨石マウンド内への浸透流に起因する捨石マウンド移動や支持地盤の洗掘・浸食により、防波堤の強度が低下することが懸念されている。近年の研究では、港内外の水位差に起因する支持地盤への透水力が洗掘現象に影響を与えることも指摘されている。詳細については参考文献 1)を参照されたい。

そこで本研究では、混成堤下の洗掘現象について、掃流力に加えて、支持地盤への透水力の作用にも着目した水理模型実験を行った。

2. 実験概要

図-1(a)に実験装置の概略図を示す。実験では長さ 2.0m×幅 0.3m×高さ 0.3m の移動床水路を用いた。土槽区間には、縮尺比 1/100 の混成堤模型を設置した。実験では、防波堤を隔てた水位差 Δh により発生する、捨石マウンド内の浸透流による支持地盤の洗掘を観察するため、防波堤模型は水路に固定した。支持地盤には、豊浦砂を用い、全ケース相対密度 $Dr=40\%$ で堆積させた。捨石マウンドには透水係数が異なる 6 種類の材料を用いた。実験に用いた試料の詳細を表-1 に、粒径加積曲線を図-2 に示す。また、実験ケースを表-2 に示す。マウンドの高さ、実験初期の水位は 20mm とした。実験時には、高速度カメラ(最大 1000fps)およびトレーサー粒子(比重 1.1)を用いて捨石マウンド内の流れの様子を撮影した。

3. 実験結果および考察

3.1 捨石マウンド内の浸透流速について

これまでの実験¹⁾では、捨石マウンド内の浸透流が層流であり、Darcy 則に従うものとして算出した流速($u=ki$)、礫材の間隙率 n_e を考慮した実流速と呼ばれる間隙内の流速($u=ki/n_e$)を用いて評価していた。本稿では、詳細に観察するために高速度カメラで撮

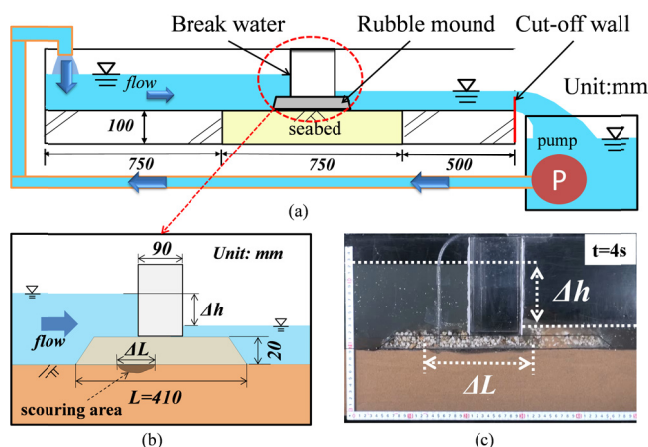


図-1 (a)実験装置概略図, (b)混成堤模型の概略図および記号の定義, (c)case2 における洗掘の様子

表-1 実験に用いた試料の 10%粒径, 平均粒径および透水係数

試料名	D_{10} (mm)	D_{50} (mm)	透水係数 (m/s)
豊浦砂	0.116	0.173	2.210×10^{-4}
Gravel A	5.340	8.570	1.600×10^{-1}
Gravel B	2.320	4.730	5.200×10^{-2}
Gravel C	3.700	5.300	1.510×10^{-1}
Gravel D	0.910	1.300	1.300×10^{-2}

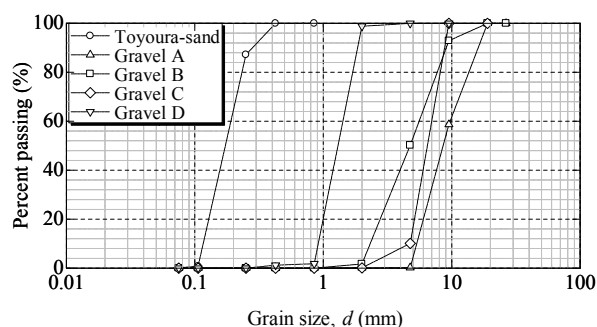


図-2 粒径加積曲線

表-2 実験ケース

case	捨石マウンド・間隙率 n_e		流量 (m^3/min)
1	無	-	0.100
2	Gravel A	0.458	
3	Gravel B	0.422	
4	Gravel C	0.471	
5	Gravel D	0.440	
6	不透水	-	

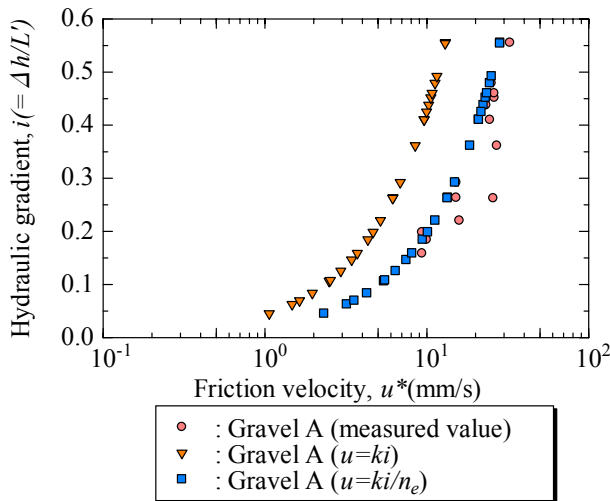


図-3 Gravel A を用いた case2 におけるマウンド内の浸透流速と動水勾配の変動の様子

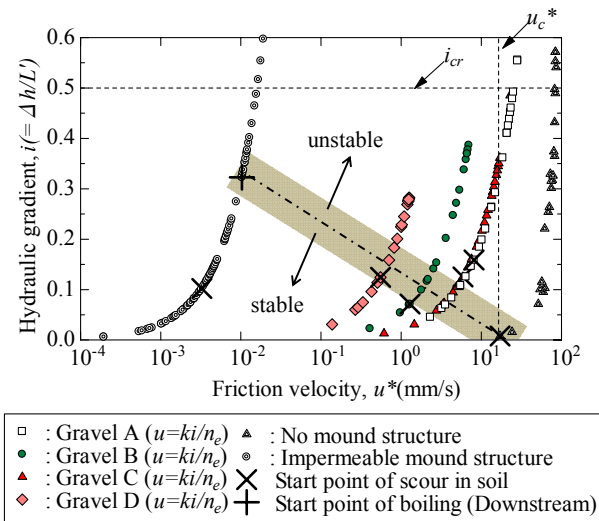


図-4 洗掘に及ぼす動水勾配と摩擦速度の関係

影した画像より、PTV 画像解析することにより流速を算出した。

図-3 に、case2 における流速分布の比較結果を示す。横軸は、流速 u は Prandtl-Karman の対数分布則を用いて摩擦速度 u^* を表示した。縦軸は、水位差 Δh を初期のマウンド幅 L から洗掘された距離 ΔL を差し引いた透水距離 L' で除した動水勾配 i を示した。図より、画像解析による流速が間隙率 n_e を考慮した実流速に近いことがわかる。case3～case5 においても同様の傾向を示した。したがって、マウンド内の浸透流速には、間隙率 n_e を考慮した実流速を用いることが適当であるといえる。

3.2 透水力と掃流力に着目した洗掘要因の分析

図-4 に case1～case6 における動水勾配 i と摩擦速度 u^* の関係を示す。目視による支持地盤の土粒子の移動の開始を×印で示した。一般に、摩擦速度 u^* が限界摩擦速度 u_c^* 以上で洗掘が生じ、動水勾配 i が限界動水勾配 i_c 以上になることで浸透破壊することが知られている。ここで、支持地盤の洗掘の開始（図中の×印）に着目すると、case1 では、 u_c^* に達して洗掘が生じているが、case2～case6 では u_c^* に達していないにも関わらず洗掘が生じた。また、マウンドの透水係数が小さくなるに従って、洗掘が生じる流速は遅くなるが、その時の動水勾配は上昇している。このことから、掃流力の作用に加え、水位差の上昇に伴って支持地盤に透水力が作用することで、土粒子の見かけの重量が減少したために、限界摩擦速度より遅い流速で土粒子の移動が生じたと考える。

以上から、捨石の透水性により支持地盤の洗掘に与える外力要因について、掃流力と透水力の複合的影響を考慮する必要があることがわかり、図内に示すような直線的閾値があると考えられる。

4. 結言

捨石マウンドの透水性の違いによる、支持地盤の洗掘現象に着目した水理実験を行った。その結果、マウンド内の透水性が Darcy 則に従う場合には、間隙内の実流速を用いることが適当であることがわかった。また、水位差に伴う透水力の作用により、土粒子の見かけの重量が減少することで、限界摩擦速度 u_c^* にいたらず洗掘が生じ得ることがわかった。さらに、捨石マウンドの透水性の違いにより、洗掘に与える外力要因が、掃流力から水位差に起因する動水勾配へと変化することが示唆されたため、支持地盤への掃流力および浸透力を考慮した、洗掘量や洗掘速度の違いについて、今後は考察する。

謝辞：本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基礎研究(B)23360203 と特別研究員奨励金(24・9200) の助成を受けており、深謝の意を表す。

参考文献：1)今瀬達也他(2013): 捨石マウンド-支持地盤の透水性の違いに着目した混成堤下の津浪洗掘プロセス, vol.69, No.2, pp.836-840.