

海岸堤防を越流する津波を想定した鉛直噴流に対する洗掘対策の実験的検討
 Experimental investigations on scour countermeasures against vertical jet assuming tsunami
 overflowing coastal dikes

竹川尚希* ○戸田茉優** 澤田 豊* 河端俊典*

Naoki TAKEGAWA, Mayu TODA, Yutaka SAWADA and Toshinori KAWABATA

1. はじめに 津波越流による海岸堤防陸側地盤の洗掘は、破堤要因として指摘されている。南海トラフなど巨大災害の脅威が迫る中、海岸堤防の安定性は危機管理上重要である。既往研究では小型模型実験に基づき様々な洗掘対策が提案されているものの、実験時の圧力レベルが実現象と比較して著しく低いという問題が存在し、縮尺効果に関する議論を引き起こすのが常である。そこで、本研究では、鉛直噴流を地盤に作用させることで圧力レベルを増大させ、様々な洗掘対策の効果について検証を行った。

2. 実験概要 既往研究¹⁾を参考に実験装置を作製した (**Fig. 1**)。模型地盤は、高さ 600mm、幅 700mm、奥行き 350 mm で 6・7 混合珪砂を用いて相対密度が 30%になるよう作製した。また、外部に設置した水槽を上昇させることで地盤内に動水勾配 i ($i=H/L$) を作用させ、過剰間隙水圧の増加により液状化地盤を再現した。実験時は、装置上方に設置した管より津波越流を模擬した鉛直噴流 (流量 190 L/min., 流速 4.2 m/s) を地盤表層に 1 分間作用させた。対策工として、メンブレン、ジオグリッド (目合い 2.5 mm×2.5 mm)、砕石 (平均粒径 15 mm) を地表面に設置した。使用したメンブレンには直径 1 cm の水圧消散孔を設け、模型地盤以上の透水性を確保した (**Fig. 2**)。実験ケースを **Table 1** に示す。

3. 実験結果 **Fig. 3** に各対策工における洗掘深の変化を示す。メンブレンとジオグリッドを用いた場合、 $i=0.0$ における実験終了時の洗掘深は、対策なしと比較してそれぞれ 48%, 24%減少した。砕石を用いた場合、実験開始より 5 秒後以降、周囲の砕石が洗掘孔内へ局所的に埋め戻ることによって洗掘深が減少したため、洗掘深を過小に評価している可能性が考えられる。

対策なしとメンブレンを用いた場合、 $i=0.0$ と $i=1.0$ で各時刻の洗掘深が同程度の値を示している。この理由として、過剰間隙水圧は地表面で完全に消散するため、液状化が地表面の土粒子に与える影響は小さいことが挙げられる。ジオグリッドを用いた場合、 $i=1.0$ の洗掘深は飽和地盤よりも小さい。これは、液状化に伴い地盤内の有効応力が低下し、洗掘孔の斜面崩壊により大規模な埋戻りが生じたためである。

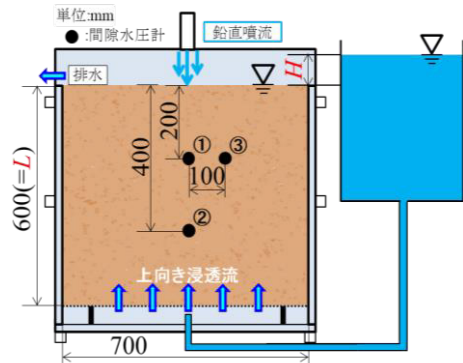


Fig. 1 実験装置概要
Experimental apparatus

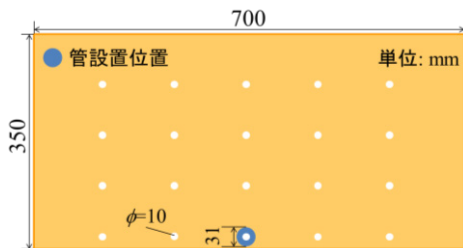


Fig. 2 本実験で使用したメンブレン
Membrane used in the experiments

Table 1 実験ケース
Experimental Cases

対策工	対策厚さ	動水勾配 i
なし		0.0, 1.0
メンブレン	1 mm	0.0, 1.0
ジオグリッド	1 mm	0.0, 1.0
砕石	10 cm	0.0, 1.0

*神戸大学農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University **神戸大学農学部 Faculty of Agriculture, Kobe University キーワード：津波，海岸堤防，洗掘，水理模型実験

る。一方、碎石を用いた場合、液状化に伴い有効応力が減少し、碎石が砂地盤内に沈み込むため、最大洗掘深は $i=1.0$ の方が大きいことがわかる。

Fig. 4 に $i=0.0$ における間隙水圧の変化を示す。**Fig. 4** より、対策なしにおける間隙水圧の増分は、水位上昇による間隙水圧の増分よりも大きいことがわかる。これは、地盤内における過剰間隙水圧の発生を意味する。実験開始直後において、鉛直噴流の作用により地盤内の土粒子が圧縮およびせん断変形することで過剰間隙水圧が生じ、その後、時間経過に伴い水圧が消散したと考えられる。一方、メンブレンを用いた場合、鉛直噴流の減勢に伴い過剰間隙水圧の発生が抑制されることが明らかとなった。

各対策工の効果について、鉛直流速の低減率を用いて定量的に評価する。**Fig. 5** に計測した鉛直流速と水深の関係をプロットした。鉛直流速は模型地盤が存在しない状況で計測した。また、計測の妥当性を検証するため、数値解析 (MPS 法) により対策なしの鉛直流速分布について計算を行った。得られたプロットから直線近似より関係式を導出した。メンブレンとジオグリッドでは、安全側でプロットを包絡することとした。**Fig. 5** に示す鉛直流速と水深の関係式における係数より、鉛直流速の比は以下のように導ける。

$$\text{対策なし:メンブレン:ジオグリッド} \quad (1) \\ = 1.0 : 0.61 : 0.73$$

上式の流速比に、対策なしにおける実験終了時の洗掘深を乗じた結果を **Table 2** に示す。鉛直流速の低減率から各対策工の洗掘深を概ね予測できることがわかる。

4. まとめ 洗掘対策としてメンブレンを用いた場合、実験終了時の洗掘深は、対策なしと比較して約 50% 減少した。対策工が流速を低減することで洗掘深は減少し、鉛直流速の低減率から洗掘深を予測できる可能性が示唆された。碎石を用いた場合、流亡や沈み込みが生じることから、ジオグリッドなどで一体化する必要があることがわかった。

参考文献 1) 松田ら (2016) : ジェット流による二層地盤の洗掘メカニズムに関する実験的考察, 土木学会論文集 B2, 72(2), I_1195-I_1200.

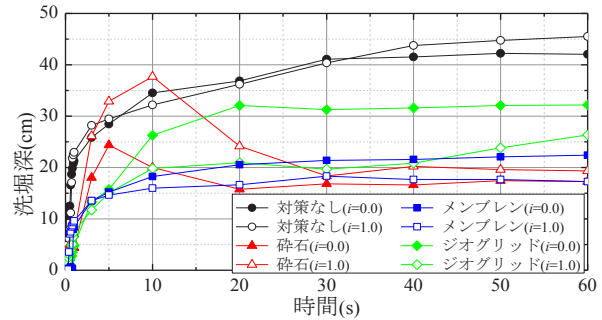


Fig. 3 各対策工における洗掘深の変化
Variation of scour depth with each countermeasure

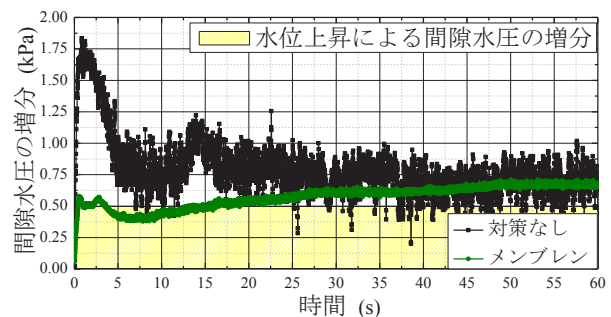


Fig. 4 $i=0.0$ における間隙水圧の変化
Variation of water pressure in saturated bed

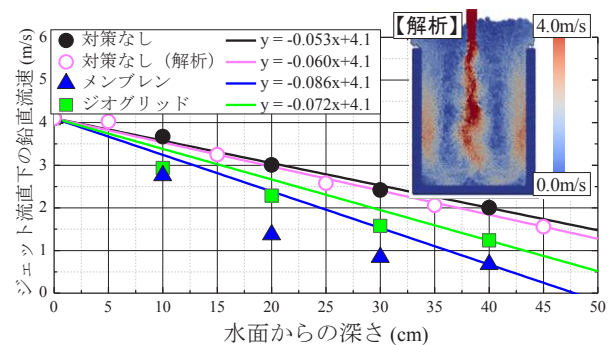


Fig. 5 鉛直流速と水深の関係
Relationship between vertical velocity and water depth

Table 2 鉛直流速の低減率に基づく洗掘深予測
Scour depth prediction based on reduction rate of vertical flow velocity

対策工	実験値	予測値
対策なし	42 cm	
メンブレン	22 cm	26 cm
ジオグリッド	32 cm	31 cm