

異なる地盤条件下の洗掘現象に及ぼす間隙圧の影響

洗掘 掃流力 間隙圧

名古屋工業大学

学○伊藤 嘉 学 今瀬 達也

国 前田 健一

東洋建設㈱ 総合技術研究所

国 三宅 達夫 国 鶴ヶ崎和博

正 澤田 豊 正 角田 絃子

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災において、津波により海岸構造物に甚大な被害が発生した。(写真-1)津波による被害要因のひとつに洗掘現象があり、大規模な地形変化や構造物の支持力低下をもたらし、甚大な被害を発生させる。そこで本研究では、洗掘メカニズムを解明するため、水平堆積地盤および越流力の作用する堆積地盤について、従来から考慮されてきた掃流力に加え、新たに地盤内部の応力変化にも着目した高速流動実験を実施した。本稿では、その実験結果について示す。



写真-1 東日本大震災における護岸の被災 (石巻市)

2. 地盤条件が異なる水平堆積地盤の洗掘現象

2.1 実験装置概要

実験では、長さ2.0m×幅0.3m×高さ0.3mの亚克力水路を用いた(図-1a)。地盤内部の間隙水圧を計測するために、間隙水圧計を設置した(図-1b)。流体挙動は、ポンプを用いて水路内に循環流を形成し、定常流を再現した。地盤には豊浦砂および礫材($D_{50}=4.73\text{mm}$)を用い、密度・飽和度を変化させて考察した(表-1)。流体の流入条件についてはすべて同一とし、フルード則を満足するよう相似則を考慮した。

2.2 実験結果

1) 掃流力 τ_c^* の算出

掃流力 τ_c^* および限界掃流力 τ_{lc}^* を評価するため、ピトー管を用いて流速の鉛直分布を計測し、掃流力を算出した。限界掃流力の算出については岩垣の式¹⁾を用いた。

豊浦砂については、 $\tau_c^*=1.03>\tau_{lc}^*=0.30$ となり、掃流力により地盤表面が洗掘される条件であることは確認した。礫材については、 $\tau_c^*=0.0025<\tau_{lc}^*=0.05$ となり洗掘が発生しない条件となった。実験でも、礫材の洗掘が発生しなかったため、豊浦砂による実験ケースのみについて述べる。

2) 洗掘の様子

(i)飽和度の違い:地盤の初期飽和度に起因する洗掘への影響について考察する。図-2にケース1における実験時の様子を示す。ケース1の乾燥地盤では、地盤内部の間隙空気が地盤表層からの浸潤水に置換されて吹き出す様子を確認した。この間隙空気の吹き出す箇所は、洗掘の発生および拡大の切欠となった。さらに、地盤が浸潤する過程において、地盤内部に間隙空気が閉じ込められる現象を確認した。この現象は、ケース2の不飽和地盤でも確認している。

(ii)密度の違い:地盤の密度に起因する洗掘への影響について考察する。本実験では、豊浦砂の相対密度を $Dr=40\%$ および 70%

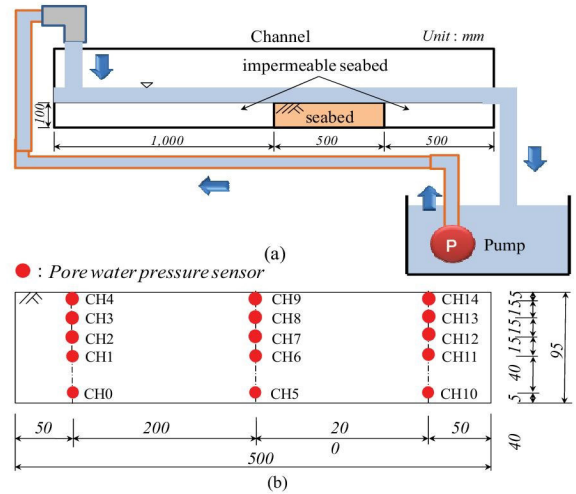


図-1 (a)実験水路と水循環図, (b)間隙水圧計の配置

表-1 実験条件

ケース	地盤条件
1	豊浦砂：乾燥状態： $Dr=60\%$
2	豊浦砂：不飽和状態($w=5\%$)： $Dr=60\%$
3	豊浦砂：飽和状態： $Dr=40\%$
4	豊浦砂：飽和状態： $Dr=70\%$
5	礫材($D_{50}=4.73\text{mm}$)：飽和状態



図-2 ケース1における実験時の土槽の様子

に変化させて実験を行った。実験時に撮影した土槽の様子を図-3に示す。密度の違いによる洗掘現象を比較すると、鉛直最大洗掘深に若干の差が見られた。さらに、洗掘箇所の進行速度が $Dr=40\%$ は $Dr=70\%$ に比べて速くなることを目視にて確認した。

3) 地盤内部の応力変化

図-4(a)に $Dr=40\%$ 、(b)に $Dr=70\%$ における間隙水圧計により計測した水圧増分を示す。図示したデータは土層中央におけるCH5~CH9である。(図1-b)。地盤に流体力が作用すると、 $Dr=40\%$ 、 70% ともに地盤表層部に水深上昇以上の過剰間隙水圧が発生した。この過剰間隙水圧の発生について $Dr=40\%$ と $Dr=70\%$ を比較すると、 $Dr=70\%$ に比べて 40% の方が、より地盤深部にまで過剰間隙水圧が発生していることがわかる。また、洗掘が進行し間隙水圧計の設置位置付近まで達した際に、過剰間隙水圧が上昇することがわかった。そこで過剰間隙水圧が地盤洗掘に与える影響について、 $Dr=40\%$ における土被り厚から計算した鉛直有効応力と過剰間隙水圧により、過剰間隙水圧比を算出した。(図-5)。実験開始から30秒後に過剰間隙水圧が上昇を開始し、実験開始から90秒のあたりで土被り厚より計算した有効応力を上回る。また、このときの撮影画像から、間隙水圧計が露出した時間は開始から約105秒であり、地盤が洗掘される以前において流体力の作用により地盤表層部では液状化しているといえる。以上の結果より、地盤表層部が液状化状態となり、抵抗力を失い土砂移動を助長させるのではないかと考える。

3. 越流力が作用する堆積地盤の洗掘現象

本実験では、図-1(a)で示した実験装置に海岸構造物を模擬した越流堰を設け、越流堰から津波をオーバーフローさせることで越流現象を再現した。実験では、地盤の条件および越流堰前面と背後の水位差を変化させて、その影響を考察した。実験の一例として地盤条件を変化させて実験を行った様子を図-6に示す。実験結果の詳細については紙面の都合上、本稿には記載せず発表時に報告する。

4. おわりに

高速流体による洗掘現象は、地盤表面に作用する掃流力のみではなく、地盤内部の応力変動も影響を与えることがわかった。今後は数値解析においても検討する予定である。

謝辞

本研究では、日本学術振興会科学研究費補助金基礎研究(B)23360203と基礎研究(B)21360222の助成を受けたものであり、深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 岩垣雄一：限界掃流力に関する基礎的研究(I)限界掃流力の流体力学的研究，土木学会論文集，第41号，pp.1-21,1956
- 2) 芦田和男，道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文集，第206号，pp59-69, 1972
- 3) 三宅達夫他：遠心力場における津波による洗掘の相似則に関する一考察(その2)，第46回地盤工学研究発表会講演要旨集，pp2013-2014, 2011

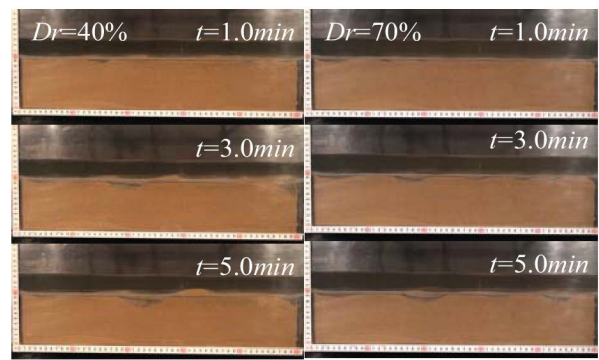


図-3 堆積土砂の洗掘の様子(飽和状態)

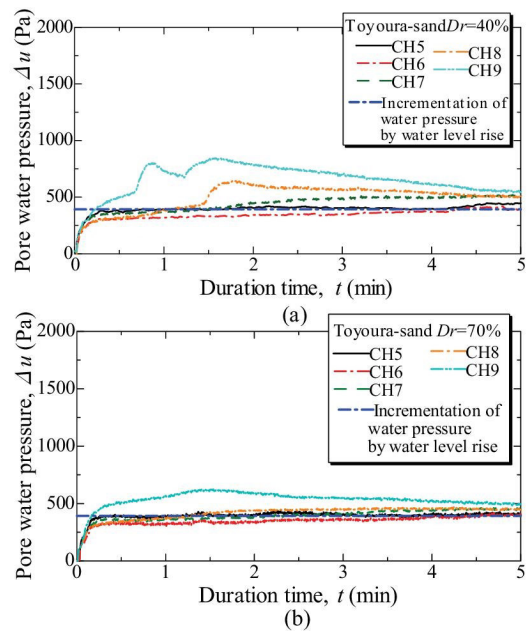


図-4 土槽内部の間隙水圧の時刻変化
(a) $Dr=40\%$ (b) $Dr=70\%$

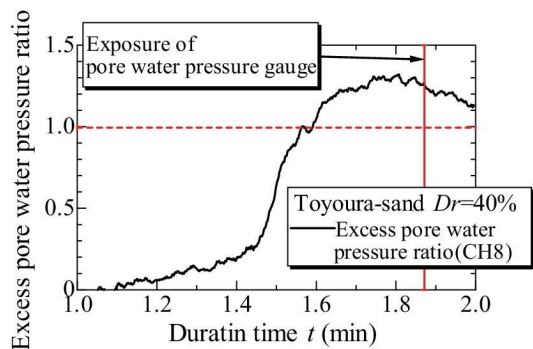


図-5 CH8における過剰間隙水圧比の時刻変化

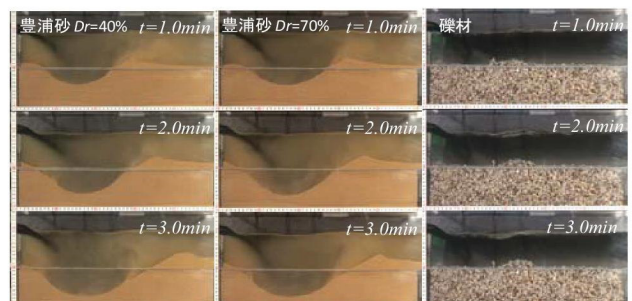


図-6 堆積土砂の洗掘の様子(越流実験)