波浪により誘発される地盤透水力が土砂移動に与える影響に関する造波水路実験

豊橋技術科学大学 学生会員 ○高柳林太郎, 穴井啓太, 澤田弥生 豊橋技術科学大学 正会員 松田達也, 三浦均也

1. 研究背景と目的

沿岸域における土砂移動は、構造物の不等沈下等、重 大な被災をもたらす.また、構造物の安定性だけでなく 沿岸域の安全・環境問題においても重要な課題である.

例えば、波浪場における土砂移動の要因として水工学 的視点からは、土粒子を移動させる掃流力に着目し、土 砂移動現象を検討してきた.一方、地盤工学的視点から は波浪による海底面に作用する地盤内の応力変化に着目 した検討がされてきた.しかし、波浪場における土砂移 動については、地盤表層の掃流力と地盤内の透水力が複 合的に作用することで相乗効果を生み、土砂輸送量が変 動すると考える.近年の松田ら¹⁾の研究では、重力場の 造波水路実験において、Prototypeの地盤材料に対して Dean Number を適用して地盤材料を選定することで、地 盤内部で発生した過剰間隙水圧比が数式解と非常に近い 応力変化が生じていることを示している.

そこで本研究では、Dean Number を適用した地盤材料 を用いた造波水路実験において、海底表層の流速に起因 して生じる掃流力と地盤内の水圧変動による有効応力変 化に着目した土砂移動現象について検討することを目的 とした.

2. 造波水路実験概要

2.1 実験装置および計測機器

本実験では、全長 25m の造波水路内に長さ 2.5m, 幅 0.6m, 高さ 0.2m の移動床区間を設け、地盤材料を実験 条件に応じて堆積させた.移動床より沖側には長さ 5m, 高さ 0.2m, 勾配 1/25 の不透水スロープを設置する.

実験時は、波高計と流速計を図-1の示す地盤材料の中 央の位置で計測した.また、地盤内の水圧変化を計測す るため、移動床中央部に小型間隙水圧計を後述する Case1条件では地盤深度 z=0.0,0.025,0.05,0.075,0.10 m, Case2条件では地盤深度 z=0.0,0.05,0.10,0.15,0.20 mの計5か所設置した.土砂移動を観察するため、ビデ オカメラと高速度カメラを用いて撮影した.

2.2 水理模型実験における縮尺

水理模型実験においてフルード相似則を適用し、想定





している実物条件に対し、縮尺比λとして重力場での造 波水路実験を実施した.

2.3 侵食・漂砂における縮尺

地盤材料の選定には、地盤内応力変化の再現性の高い ことから、次式に示す Dean Number を適用した.

$$\left\{\omega/\left(H/T\right)\right\}_{m} = \left\{\omega/\left(H/T\right)\right\}_{m}$$
(1)

ここで、Hは波の波高、Tは波の周期、 ω は土粒子の沈降 速度を表している。下添え字のpは prototype を、mは model を示している。

Prototype を平均粒径 $d_{50}=0.2 \text{ mm}$ の細砂とした場合, Dean Number を用いて沈降速度をフルード相似則に適用 し、逆算して実験で用いる地盤材料の平均粒径を算出す ると $d_{50}=0.08 \text{ mm}$ となる。そこで、この条件に比較的近 い地盤材料が珪砂 8 号に該当するため、本実験では珪砂 8 号を地盤材料として用いることとした。

2.4 実験条件

波浪場の条件は参考文献²⁾を参考に、水深 *h*=0.50 m, 波高 *H*=0.14 m, 波の周期 *T*=1.6 s とした. 地盤の相対密 度 *D*_r を 40% とした場合を Case1, 70% とした場合を Case2 とし、水中落下法で飽和地盤を作製した.

3. 実験結果と考察

3.1 過剰間隙水圧比の時間応答

図-2 に造波開始から 90 秒の過剰間隙水圧比を示す. Casel では間隙水圧変動の位相差による過剰間隙水圧の 上昇に加え,残留間隙水圧が蓄積していることが確認で きる.これにより, z=0.10 m までは液状化していること がわかる.一方で, Case2 では,間隙水圧変動の位相差に よる過剰間隙水圧が発生しており, z=0.05 m 付近では,



最大で 0.83 付近まで過剰間隙水圧比が上昇している.

3.2 土砂の挙動

図-3,4に造波開始60秒後の波高下降時と上昇時の様子を示す.本実験では画像の右から左へ波が進行している.また,写真中央に初期地盤面の線を引いてある.

Casel では、実験開始 60 秒以前においては、過剰間隙 水圧の変動は位相差に伴って生じる過剰間隙水圧の上昇 の影響を受けて変化していた.一方で、60 秒後において は液状化が生じ、地盤深部まで完全液状化することに伴 い、地盤は水粒子の楕円運動と同様の挙動を示した.ま た、地盤が初期地盤面よりも沈下して土砂が波の進行方 向と同じ方向に移動しているのが観察でき、減衰帯付近

(岸側)に流動した土砂が多く堆積していることを確認 した.しかしながら, Case2 は表層の粒子のみが移動し た.これにより,過剰間隙水圧比が 1.0 に達し,液状化 状態に至る地盤では,液状化状態となる際の底面の流れ 方向に土砂が流動しやすい可能性を定性的に明らかとし た.

4. 結論

波浪外力によって海底地盤における土砂の移動方向は 全体的に波の進行方向と同一方向に移動し,液状化が生 じる場合地盤全体で土砂が移動し、土砂の移動量は増加 することが確認できた.本実験では、波浪外力によって 地盤内の水圧が変動し、液状化が生じた際は表層の土砂 が大きく移動し、地盤表層の流速にも変化が生じた.波 浪場における地盤内の水圧変動によって液状化が生じる 際、層単位で地盤が移動するため、地盤表層の流速と透 水力に影響が相互に関係しているといえる.

謝辞:本研究は,日本学術振興会科学研究費補助金研究 活動スタート支援 26889035,基盤研究(C)17K06553 の助 成を受けている.ここに記し感謝の意を表す.

参考文献:1) 松田達也他:土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.73, No.2, pp. I_1117-I_1122, 2017.2) 海岸工学 委員会:海岸波動,土木学会, pp.481-490, 1994.



図-3 完全液状化状態での地盤変動(Case1):波高上昇時,(上);波高下降時,(下)



図-4 完全液状化状態での地盤変動(Case2):波高上昇時,(上);波高下降時,(下)