

## 粒子スケール効果を考慮した造波水路実験による土砂動態分析

豊橋技術科学大学 正会員 松田 達也, 三浦 均也, 内藤 直人  
豊橋技術科学大学 学生会員 ○岡本 遥河, 鈴木 陸斗

### 1. 緒言

波浪による海底地盤の土砂動態は主として地盤表面の流れによる底面せん断力によって発生する。一方で、海底地盤面には波浪の繰り返し波圧が作用し、地盤深度方向への水圧伝播の位相差や減衰による変動水圧が発生すると考えられており<sup>1)</sup>、特に、砂地盤では変動水圧によって発生した浸透力により地盤の有効応力が低下する<sup>2)</sup>。

本研究では、波浪による地盤表面に作用する流速に起因した底面せん断力と変動水圧に伴う地盤の有効応力変化に着目した土砂動態について、造波水路実験により2つの異なる地盤材料を用いて影響を分析した。

### 2. 造波水路実験の概要

2次元造波水路を用いて、想定する実物スケールに対し縮尺比1/25の実験を行った。水路内に長さ2.5m、幅0.6m、高さ0.2mのメインの移動床区間を設けた。また、固定床と移動床の境界部における土砂動態への影響を緩和するため、メインの移動床から両端に0.5mの区間において、深さ0.05mの移動床区間を設置した。実験時は容量式波高計(KENEK)と電磁流速計(KENEK)を用いて波動を計測した。地盤内には地盤深度 $z=0\text{ m}$ ,  $0.05\text{ m}$ ,  $0.10\text{ m}$ ,  $0.15\text{ m}$ ,  $0.20\text{ m}$ の計5か所に小型間隙水圧計(P306:SSK製)を設置し、間隙水圧変動を計測した。波载荷に伴う地形変化を把握するため、超音波式砂面計(ANT)を用いて0波、600波、1200波、1800波、2400波の各造波後に砂面を計測した。

移動床には想定する実物と同等サイズの地盤材料として豊浦砂( $D_{50}=0.189\text{ mm}$ )を、また、土粒子の沈降速度がフルード則に従い実物と相似になるよう<sup>3)</sup>、沈降速度より逆算して得た粒径と同等サイズの珪砂8号( $D_{50}=0.109\text{ mm}$ )を用いた。各材料ともに相対密度 $D_r=80\%$ となるように水中落下法で突き固めながら堆積させた。波浪外力は模型値(実物値)で、波高 $H=0.06\text{ m}$ (1.5m)、 $0.12\text{ m}$ (3.0m)、周期 $T=1.6\text{ s}$ (8s)の規則波を载荷した。移動床区間の水深は $h=0.4\text{ m}$ (10m)とした。はじめに、 $H=0.06\text{ m}$ の波浪外力を2,400波载荷したのち、 $H=0.12\text{ m}$ の波浪外力を2,400波载荷した。本稿では $H=0.12\text{ m}$ を対象に説明する。

### 3. 造波水路実験の結果

#### 3.1 過剰間隙水圧比—シールズ数関係と局所的な土砂移動

変動水圧に伴う地盤内の有効応力変化を過剰間隙水圧比で評価する。また、地表面に作用する流れに伴う底面せん断力としてシールズ数を算出し、過剰間隙水圧比とシールズ数の関係を踏まえて土砂移動を分析する。移動限界シールズ数<sup>4)</sup>は、豊浦砂で $\pm 0.075$ 程度、珪砂8号で $\pm 0.10$ 程度である。

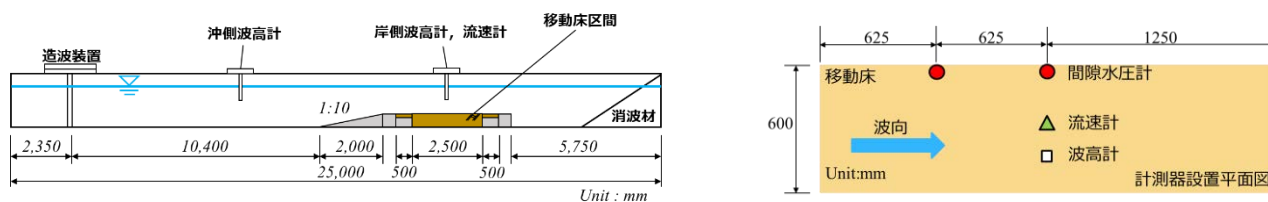


図-1 造波水路実験の概要：造波水路断面図(左)および移動床領域における各計測器の設置位置(右)

キーワード 波浪, 土砂動態, 底面せん断力, 間隙水圧応答, 粒子スケール効果

連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 豊橋技術科学大学 TEL0532-44-6849

図-2 に過剰間隙水圧比とシールズ数の関係を示す。また、図-3 に砂漣の移動状況を示す。図-2 より、両ケースともに移動限界シールズ数を超えており、そのうえで、豊浦砂の場合、岸沖方向の流速が同程度発生し、かつ、地盤内に発生する過剰間隙水圧比が小さいため、軌道に幅や傾斜がなく水平に近い。一方、珪砂 8 号でも岸沖方向の流速が同程度発生しているが、過剰間隙水圧比が最大で+0.3 程度まで上昇しており、軌道に幅を有した傾きが生じた。しかし、図-3 より形成された砂漣が岸向きに移動している。両ケースともシールズ数が岸沖方向で同程度にも関わらず、また、珪砂 8 号では沖向き流速の増加とともに上向き浸透力が作用するが、土砂動態に偏りが見られた。

### 3. 2 空間的な土砂移動

図-4 に初期状態 ( $H = 0.06$  m の波浪を 2,400 波載荷後) から実験終了後 ( $H = 0.12$  m の波浪を 2,400 波載荷後) の移動床の地形変化量 (正: 堆積, 負: 侵食) を示す。豊浦砂では移動床全体に規則的な砂漣が形成された。一方で、珪砂 8 号では豊浦砂に比べ局所的な堆積が多く、砂漣は見られたものの不規則な形状を形成した。波高 0.06 m の波を 2400 波載荷後にはこのような形状は現れておらず、重複波による地形変化ではなく、粒径の違いが地形形状に影響をもたらした可能性が考えられる。

### 4. 結言

底面せん断力と変動水圧に伴う地盤の有効応力変化に着目した土砂動態について実験的に検討した。その結果、地盤材料による過剰間隙水圧比-シールズ数の軌道および空間的な移動形態の違いが見られた。特に、最大シールズ数が岸沖方向で同程度にも関わらず、移動方向に偏りが見られたことから、今後は移動限界シールズ数を超える範囲の軌道面積に着目した土砂動態の検討を進める。

**謝辞:** 本研究は、日本学術振興会学術研究助成基金助成金基盤研究(c) 17K06553, 若手研究 20K14824, および、公益財団法人土科学センター財団の助成を受けています。ここに記して謝意を表します。

**参考文献:** 1) 松島亘志他: 土砂動態学, 共立出版, 2020. 2) 松田達也他: 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, p.I\_1117-I\_1122, 2017. 3) Dean, R. G.: Proc. Conf. Eng. Dyn. in Surf zone, pp. 208-214, 1973. 4) 岩垣雄一: 土木学会論文集, 第 41 号, pp.1-21, 1956.

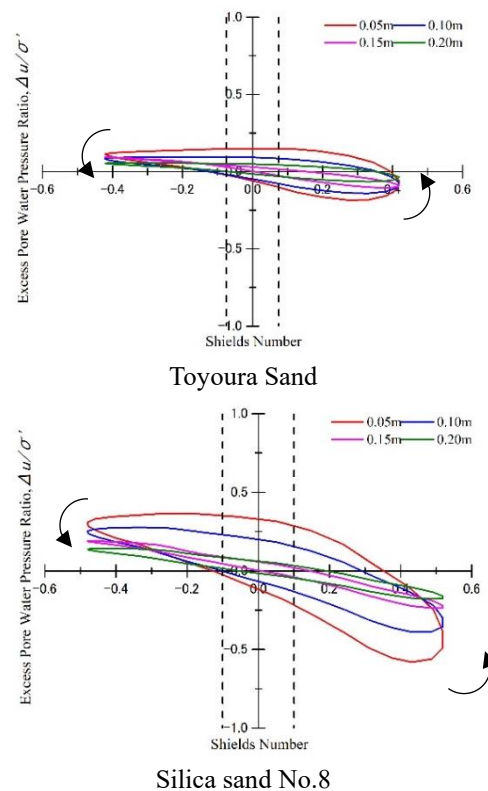


図-2 過剰間隙水圧比-シールズ数の関係: シールズ数は正が沖向き。

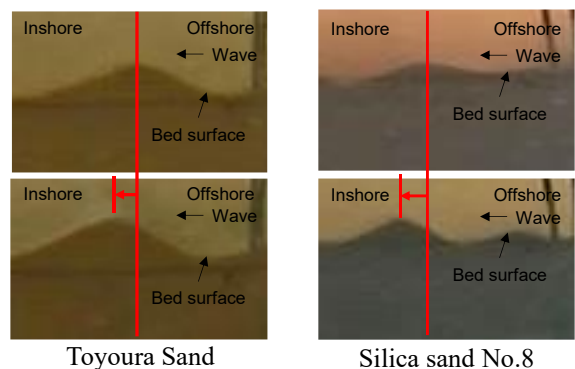


図-3 移動床表面の土砂動態 (断面)

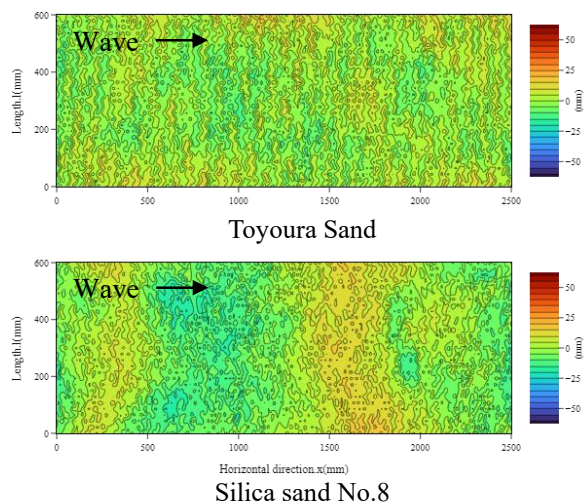


図-4 移動床表面の土砂動態 (平面)