

# 波浪による底面流速と地盤内応力変化に着目した底質移動に関する実験的考察

豊橋技術科学大学 学生会員○加藤 悠貴, 佐藤 隼可  
 豊橋技術科学大学 正会員 松田 達也, 三浦 均也

## 1. 研究概要

既往の研究<sup>1),2)</sup>により海底地盤の液状化による不安定化が議論されてきた。一方で、波浪場における土砂の流動方向については、液状化に伴う地盤内の応力変化に加え、地表面に作用する掃流力が複雑に影響しあうことが考えられるが、表面流速に起因する掃流力と地盤内部の透水力の相互作用による土砂流動については、これまで十分な議論がなされていない。そこで本研究では、海岸工学と地盤工学との知見を融合させ、掃流力と透水力との影響を考慮した波浪場における土砂流動について検討する。

本稿では、移動床を設置した造波水路を用いてフルード則に従った波浪場における土砂流動実験を実施し、土砂流動について観察した結果を示す。また、現象の妥当性を検討するために、[u-p]formulationを用いた理論解と比較した。造波水路における波浪場の評価については、海岸工学分野で広く用いられている数値波動水路<sup>3)</sup>(CADMAS-SURF)を用いて、その妥当性を検討したので報告する。

## 2. 実験概要

本章では実験に使用した実験装置及び移動床模型について述べる。各装置の位置関係を図-1に示す。

本実験では、 $L=25m$ ,  $W=0.60m$ ,  $H=1.00m$ の造波水路内に $L_s=2.50m$ ,  $W_s=0.60m$ ,  $H_s=0.20m$ の移動床区間を設けた。水理条件はフルード則に従い、1/25の縮尺条件で実験を実施した。詳細を表-1に示す。

平坦な造波水路内に深さ 0.2m の砂層を設けるため、長さ 5.0m, 勾配 1/25 の緩やかな斜面を作製し床部分の高さを確保した。実験試料には珪砂 8号を使用した。地盤作製条件としては、水路内に水を張った状態で砂を投下する水中落下法を採用した。

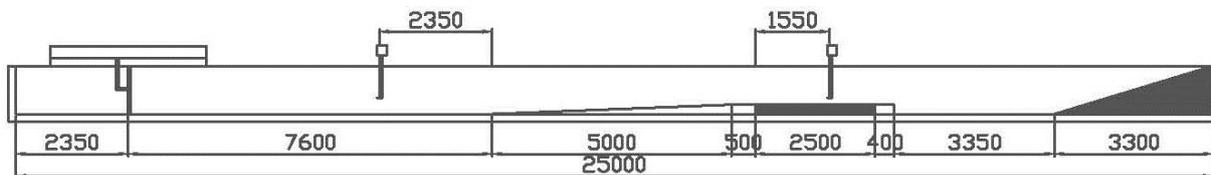


図-1 造波水路模型とその配置位置の概略図

## 3. 実験における波浪特性の考察

実験における波浪特性について数値波動水路とその比較により検証した。HA-V01の平均波高を入力波として数値波動水路による解析を行った。その結果と実験値との比較を図-2, 図-3に示す。

数値波動水路によるグラフにおいては、波形の乱れに関しては実験と同様にみられるものの、波高の高さが入力波と比較しても大差ない結果となった。

事前に行った水深 10m での数値波動水路による解析においては、このような差異が見受けられなかった。この要因として、水深の低下による波形の乱れと、それに伴う反射波の影響が大きいと考えられる。

表-1 モデル計算条件

スケール	尺度	地盤条件	水深h(m)	波高H(m)	周期T(s)
実物換算	1	中密	5.00	3.00	8.00
模型	1/25	中密	0.20	0.12	1.00

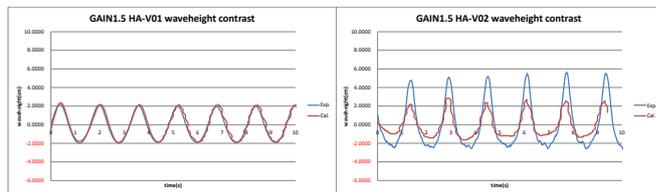


図-2 出力 1.5 各種平均波高の比較

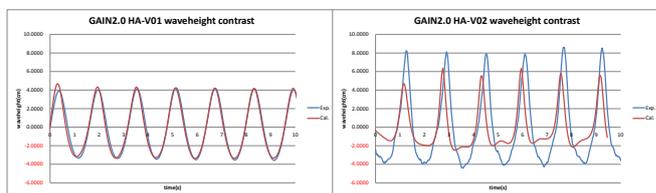


図-3 出力 2.0 各種平均波高の比較



図-4 t=0s 時点 地盤状態



図-5 t=270s 時点 地盤状態



図-6 t=370s 時点 地盤状態

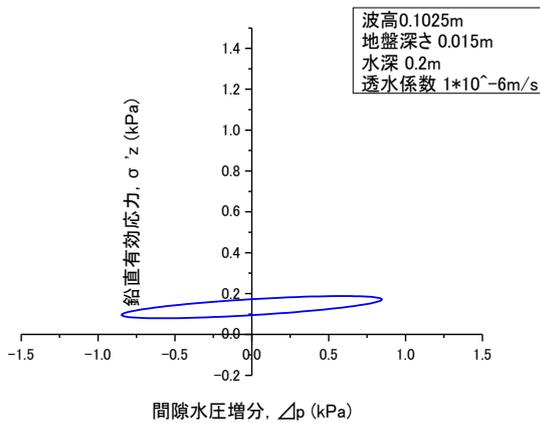


図-7 地盤の有効鉛直応力と間隙水圧増分

#### 4. 移動床による土砂流動の結果・考察

##### (1) 長期的なスケールでの土砂の挙動について

図-4～図-6 に時間ごとの移動床の変化を観察した画像を示す。本実験では画面右から左に向かって波が進行している。画像から時間経過が進むにつれて、ごく表面の土砂が波の進行方向とは逆向きの右方向進行することを目視で確認した。

##### (2) 短期的なスケールでの土砂の挙動について

一波長分の砂の挙動を 15 枚/秒で分割したものを使用して解析を行った。27 枚の画像のうち 10 枚分が画像左に向かったの進行方向への砂の流動が確認され、17 枚分の画像が進行方向とは逆向きへの砂の流動が確認された。これらの画像データからも (1) 同様に、波の進行方向とは逆向きの土砂の流動が確認された。

#### 5. u-p formulation による解析との比較

本実験条件に合わせた数値データを使用して、u-p formulation により地盤の有効鉛直応力と間隙水圧増分との関係について考察した。結果を図-7 に示す。

図-7 より、有効鉛直応力の変動について着目すると、間隙水圧増分が正負で変動する際に、わずかではあるが鉛直有効応力もそれに伴って増減しているのが確認できる。この点に着目すると、同一の粒子でも波形によって浮力の差が生じ、見かけ上の重量が変動しており、それによって砂の流動量に差が生じているのだと推測できる。また、微小振幅波理論より有効応力が減少する時刻において、地盤表面では波の進行方向とは逆向きの流速が発生することを考慮すると、本実験で観察された現象と理論解による知見は定性的に一致することが明らかとなった。

#### 6. 結論

本研究では、造波水路を用いた移動床模型実験で海底地盤の挙動について考察を行い、波浪場において CADMAS-SURF を、地盤内の応答解析については u-p formulation を使用し実験との比較を行った。

その結果、海底地盤の流動現象について、微小振幅波理論より有効応力が減少する時刻において、地盤表面では波の進行方向とは逆向きの流速が発生することを考慮すると、本実験で観察された現象と理論解による知見が定性的に一致することを明らかとした。しかし、より詳細に検討を行う上で改善点も明らかとなった。

#### 参考文献

- 1)三浦均也, 浅原信吾, 大塚夏彦, 上野勝利: " 波浪に対する海底地盤応答の連成解析のための地盤の定式化", 第 49 回地盤工学シンポジウム(2004)
- 2)oka,F.,Yamashima,A.,Miura,K.,Ohmaki,S.and Kamata,A. : " Settlement of Breakwater on Submarine Soil due to Wave-Induced Liquefaction " 5th International Symposium on Offshore and Polar Engineering Conference, Vol.2,pp.237-242
- 3)財団法人 沿岸開発技術研究センター: CADMAS-SURF 実務計算事例集, 沿岸技術ライブラリー, No.30, 2008.