

地層境界付近に形成される水膜現象が起因となる海底地すべりに関する模型実験 Model experiment on submarine landslide caused by water film phenomenon near the layer boundary

○川北章悟¹, 朝比奈大輔², 北嶋圭二³, 中西三和³

*Shogo Kawakita¹, Daisuke Asahina², Keji Kitajima³, Mitsukazu Nakanishi³

Abstract: Submarine landslides can be serious geohazards since they potentially cause tsunamis and damage seafloor infrastructure. Direct measurements/observations of submarine landslides at deep seafloor remain a challenging task. In this study, we conducted laboratory experiments to understand the relationship between sand liquefaction and lateral flow by water film and investigate the influence of water film formation on lateral flow of upper layer.

1. はじめに

近年、海底堆積物の地すべりによる被害が数多く報告されている^[1]。海底地すべりは陸上地すべりに比べ、規模が大きく、その移動距離も大きいことから津波等の大規模災害の要因になり得る。しかし、海底という環境で起こり、直接観察できないことが海底地すべりの発生メカニズムの解明を困難にしている。

國生ら^{[2][3]}は海底地すべりの1つの発生要因として、低透水層直下での水膜現象を提唱し、複数の層からなる地盤の模型実験を行ってきた。しかし、既往の実験では、液状化現象と水膜現象による砂の移動が混同しており明瞭に区別されていない。

本研究では、水膜現象が地盤の側方流動に与える影響を把握することを目的とする。最初に、液状化による水膜の形成過程についての基本的な挙動を把握するために、水平地盤を模擬した模型実験により水膜形成の条件を検討する。次に、液状化による砂の移動と水膜による側方流動を明瞭に区別することが可能な地盤模型を作製し、水膜形成が上層地盤の側方流動に与える影響を調べる。

2. 水平地盤の水膜形成実験

本実験では、低透水層を含む3層の模型地盤を作製し、液状化により水膜が形成される過程を観察した。また、上層の層厚を変化させ、それぞれの水膜の形成過程の違いや間隙水圧の変化について検討した。

2.1 実験条件と実験方法

Table 1 に実験条件を示す。実験は、幅 400 mm、深さ 280 mm、奥行き 250 mm のガラス製の土槽を用い、振動にはコンクリート攪拌用バイブレーターを用いた。土槽は3層地盤とし、下層の層厚は 50 mm、中層の層厚 30 mm、上層の層厚 $h_1=0, 20, 40, 60$ mm(Case1~4) とする。上層と下層の材料には液状化層として飯豊珪砂 5 号(平均粒径 0.55 mm)を、中層の材料には低透水層として東濃珪砂 9 号(平均粒径 0.025 mm)を用いた。

間隙水圧の測定には内径 10 mm のアクリルパイプを用いた。アクリルパイプを Fig.1 に示すように配置し、パイプの下部を各層の中間に固定した。パイプ内の水位と土槽の水位の違いを H として間隙水圧を $P=\rho gH$ より算出した。ここに、 ρ は水の密度、 g は重力加速度である。なお、土槽壁面の影響を極力避けるため、パイプは土槽中央に2列設置した。

2.2 実験結果

Case1(層厚 0 mm)では、振動直後に激しい噴砂を起こし、水膜は確認できなかった。Case2, 3, 4(層厚 20, 40, 60 mm)では、振動直後に土槽の角で若干の噴砂が生じた後、中層と下層の境界付近で 1~5 mm 程度の水膜を確認した。Fig.2 に水膜の形成状況の代表例として Case3 の結果を示す。さらに振動を継続すると、激しい噴砂を起こす様子が観察できた。Fig.3 に Case3 の振動継続時間と間隙水圧の変化を示す。Case3 では振動開始後 9 秒後に噴砂が生じた後、遅れて中央と下層の間隙

Table 1 Height of sand layers

層	材料	層厚 h_i [mm]			
		case1	case2	case3	case4
上層(液状化層)	飯豊珪砂5号	0	20	40	60
中層(低透水層)	東濃珪砂9号	30	30	30	30
下層(液状化層)	飯豊珪砂5号	50	50	50	50

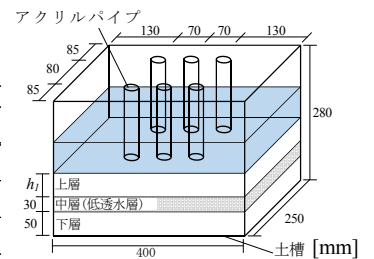


Fig.1 Illustration of experimental setup



Fig.2 Snapshot of water film formation (Case 3)

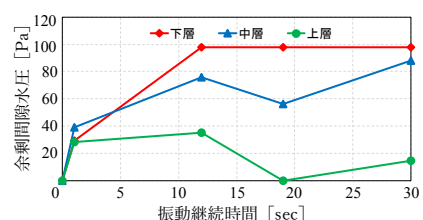


Fig.3 Evolution of pore pressure under vibration duration

1 : 日大理工・院 (前)・海建 2 : 国立研究開発法人産業技術総合研究所 3 : 日大理工・教員・海建

水圧が下がり始めた。これは噴砂が発生し、溜まっていた間隙水圧が解放されたことが原因であると考えられる。噴砂が終了し、地盤が安定した後、振動を継続させると再び間隙水圧が上昇した。

3. 傾斜地盤の側方流動実験

本実験では、水膜が側方流動に与える影響について検討する。また傾斜角を変化させ、傾斜角が低透水層を含む地盤の側方流動に与える影響についても検討する。

3.1 実験条件と実験方法

Fig.4 に実験模型の概略図を示す。実験には、幅 600 mm、深さ 360 mm、奥行き 300 mm のガラス製の土槽を用いた。土槽は 3 層地盤とし、上層の平均層厚は 40 mm、中層の平均層厚 10 mm、下層の層厚は傾斜勾配を変化させるため、下層の左端を 40 mm、右端を $h_2=60, 70, 80, 90, 100$ mm とした。材料は前章と同様とし、上層・下層は液状化層、中層は低透水層とした。振動方法も前章と同様である。

通常、複数の層からなる傾斜地盤模型では、振動を与えると砂が移動をし始め、液状化する前に傾斜がなくなり水平になる。そのため水膜の形成と側方流動を観察することが難しい。これを解決するために、土槽内部に堰板を設けて下層の流動を防ぐ仕組みを考案した。この仕組みにより、下層の液状化による砂の移動と水膜による側方流動を区別して観察することが可能になった。実験を撮影したビデオ映像を用いて、土粒子を追跡することにより、上層地盤の移動距離と最大流動速度を計測した。

3.2 実験結果

Fig.5 に Case5, Case6 の振動前と振動後の地盤の様子を示し、Table2 に実験結果を示す。低透水層がないケース(Case5)では、全体が沈み込むように砂が流動し、側方流動は殆ど確認できなかった。一方、低透水層があるケース(Case6)では、振動を与えると下層が液状化を起し、細かい砂粒子を含んだ間隙水が上昇していく様子が観察できた。その後、低透水層下部に水膜ができ、水膜に沿うように上層が流動した。上層の水平移動距離は、低透水層なしの場合で 27 mm、ありの場合で 116 mm であり、4.3 倍増加した。これらは、低透水層ありの他のすべてのケース(Case7~10)でも同様の傾向を示した。代表例として Fig.6 と Fig.7 に Case8 の水膜形成時と側方流動終了後の結果を示す。低透水層があるケースにおいて、傾斜角度の増加と移動距離、最大流動速度の相関性は見られなかった。これは土槽のサイズが十分ではなく、ガラス壁面により砂の移動が妨げられたことが関係していると考えられる。

4. まとめ

低透水層に形成される水膜が起因となる海底地すべりを模擬するため、地盤模型実験を行い、以下の知見を得た。

- ・水膜は低透水層の上に地層がある時に形成される。また上層の層厚が厚くなるほど、間隙水圧が上昇した。
- ・土槽に堰板を設けることにより、液状化による砂の移動と水膜による側方流動を区別して観察することが出来た。
- ・低透水層がある場合は水膜が形成され、上層地盤の移動量及び流動速度は低透水層がない場合よりも増加した。

[参考文献]

- [1] 川村喜一郎ら：海底地すべりと災害-これまでの研究成果と現状の問題点, 地学雑誌, 第 123 巻, 第 12 号, 999-1014, 2017. 12
- [2] 國生剛治ら：砂層の成層構造による液状化時の水膜生成と地盤安定性への影響, 応用物質, vol. 41, No. 2, pp. 77-86, 2000
- [3] 國生剛治ら：地震動による海底地すべりの発生メカニズムに関する地盤工学的検討, 中央大学理工学研究所年報, 第 9 号, 2002. 12

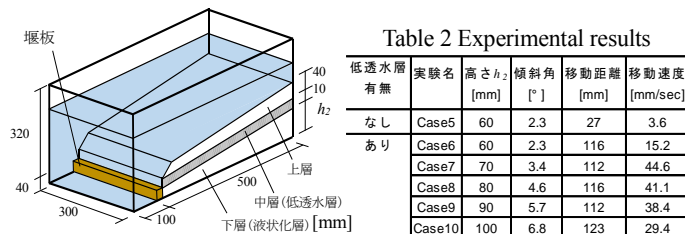


Fig.4 Illustration of experimental setup

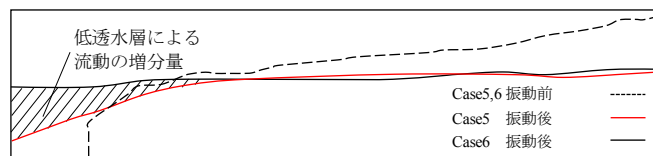


Fig.5 Ground conditions before and after vibration (Case5 and Case6)



Fig.6 Snapshot of water film formation (Case 8)



Fig.7 Snapshot of Sand boiling after lateral flow (Case 8)