

海底地すべりの発生メカニズムとその規模に関する基礎的研究

名古屋工業大学 学生会員 ○安井 俊平
名古屋工業大学 正会員 岩井 裕正
名古屋工業大学 学生会員 木村 真郷
名古屋工業大学 正会員 張 鋒

1. 序論

海底地すべりは陸上地すべりと比較して規模が大きいことや水中安息角を大きく下回る低角度でも地すべりが発生するという特徴がある¹⁾。このことを一般的な地すべりの発生メカニズムである地盤内の間隙圧が上昇することによるせん断抵抗の減少だけで説明するのは難しい。このことについて不透水層下で水膜が形成され摩擦が低減することにより海底地すべりが緩傾斜の斜面でも発生し、大規模化する可能性があると考えられている²⁾。しかし、海底地すべりの発生メカニズムについて地盤工学的観点から検討した事例は極めて少なく、本研究では模型実験により不透水層が存在する地盤での海底地すべりの発生メカニズムの把握およびその規模が増大する原因の解明に取り組む。

2. 実験装置概要と実験条件

本実験では海底斜面を模擬した模型土槽を用いる。模型土槽内に設置した斜面模型に降砂装置を用いて豊浦砂を水中落下法で堆積させる。併設した定水位昇降装置の上下に伴う水位差により水圧を斜面底面から与えることで海底斜面のすべり出し条件およびすべり規模を把握することを目的とした実験を行う。本研究では特に以下の2点に着目する。

- [1] 海底地盤内における過剰間隙水圧の大きさと水圧を与える範囲を変えた時の地盤変動。
- [2] 不透水層の有無による地盤変動の差異。

2.1 実験装置概要

実験土槽は図1に示すようなアクリル製の土槽を用いた。実地盤の1/5000~1/10000のスケールを想定し、土槽の寸法は内寸で幅1500mm、深さ600mm、奥行方向400mmとして、土槽内に斜面角度10°、水平距離1000mmの斜面模型を設置した。不透水層を設置するケースでは厚さ1mm、幅395mm、長さ920mmのビニールシートを斜面内に設置した。また、水圧上昇に伴う地盤変動を3台の水中カメラで撮影した。図2は斜面上に設置されたポラスフィルターの模式図であり、①~⑤の番号が振り分けられたコックを開閉することで、水圧を与える位置を変化させることができる。フィルター表面には水圧計を設置し、その位置を後述する過剰間隙水圧のグラフと対応した色と形のシンボルで示している。

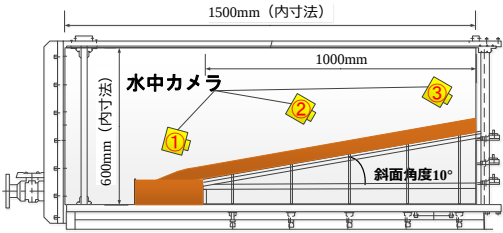


図1 模型土槽

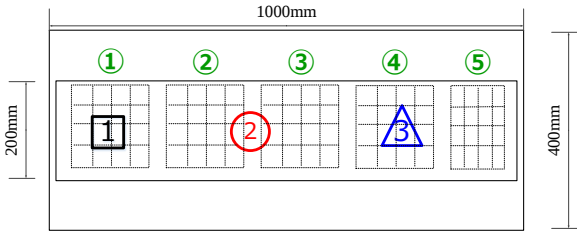


図2 水圧制御コックと水圧計の配置図

2.2 実験条件

本実験では、模型斜面の作製に豊浦砂を用いた。目標相対密度を40%、目標層厚は41mmとし、定水位昇降装置で水位差を調節し、水圧を与えた。なお、本実験では相似則を大きさのみに適応した。不透水層を設置したケースでは、図3に示すように斜面底面から30mmの位置に不透水層を設置し、その上からさらに10mmの砂を堆積させた。また、初期の水位差は限界動水勾配の値を基準として42mmとし、その次に100mmとした。それ以降は100mmずつ上昇させ1300mmまでの計14ケースについて測定を実施した。水圧を与える継続時間はすべてのケースで150秒とした。実験ケースを表1に示す。再現性を確認するために同一ケースを複数回実施した。ケース名のpは浸透性を表す permeable、iは不透水を表す impermeable のそれぞれの頭文字をとったものであり、それぞれ不透水層なしのケースと不透水層ありのケースを示している。末尾の数字は開けたコックの数を示している。

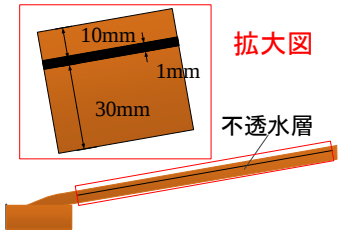


図3 斜面拡大図(不透水層ありのケース)

表1 実験ケース

ケース	不透水層	水圧位置	実施回数
Case-p1	なし	①	1
Case-p2	なし	①②	2
Case-p3	なし	①②③	1
Case-p4	なし	①②③④	2
Case-p5	なし	①②③④⑤	2
Case-i1	あり	①	4
Case-i2	あり	①②	4
Case-i3	あり	①②③	3
Case-i4	あり	①②③④	2
Case-i5	あり	①②③④⑤	4

キーワード：海底地すべり，過剰間隙水圧，不透水層

連絡先：〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町 名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL052-735-5497

3. 実験結果および考察

3.1 すべり距離の比較

まず不透水層の有無で比較すると、不透水層なしのケースでは、Case-p1を除く4ケースにおいて法尻付近でパイピングが発生したが、斜面全体におけるすべりが発生しなかった。一方で、不透水層ありの全てのケースで斜面下方向に不透水層に沿って斜面上部層が平行移動するすべりが確認された。このことから不透水層の存在が海底地すべりの発生に大きく寄与しているといえる。

各ケースを複数回実施したため、過剰間隙水圧の変動やすべり距離を比較し、再現性が確認できたと考えられるものを代表ケースとして考察に用いる。

図4に各代表ケースでの法尻で測定した土砂の移動距離と与えた水位差の関係を示した。水圧を与える範囲が大きいほど、小さい水位差ですべりが発生し、最終的なすべり距離も大きくなる傾向が見られる。

また、Case-i3では水位差800mm、Case-i4では水位差500mm、Case-i5では水位差400mm付近でその勾配が緩やかになる点が存在する。これは図5に示すように、すべりに伴って移動した不透水層上部の砂が法尻に堆積し、すべりの進行を阻害していることによるものと考えられる。そのため、移動距離が短いことで法尻の堆積量が少ないCase-i1およびCase-i2では明確に勾配が緩くなる点が見られないと考えられる。

この法尻での堆積は、実際の海底地すべりににおける先端ドメイン(toe domain)と呼ばれる凸型地形に該当すると考えられる。先端ドメインとは、地すべり移動体の前面に圧縮力が作用することにより形成される凸型地形である³⁾。本実験においては、斜面模型に隣接した水平地盤に向かって地盤の傾斜が緩くなるため、地すべり移動体の先端がすべりの進行に伴ってすべりにくくなることで圧縮力が発生し、先端ドメインが生じたと考えられる。また、海底地すべりの特徴が見られることから、本実験では海底地すべりを概ね再現できていると考えられる。

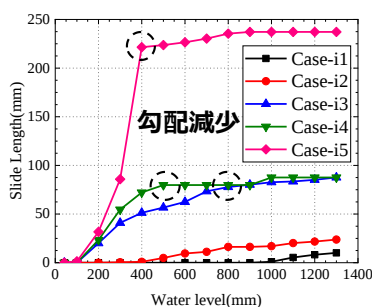


図4 ケースごとのすべり距離の比較 図5 法尻堆積部

3.2 過剰間隙水圧の検討

図6は計測されたCase-p3およびCase-i3における、水位差200mm~500mmまでの過剰間隙水圧の150秒間の時刻歴データを連続して示したものである。不透水層があるCase-i3では、不透水層のないCase-p3と比較して過剰間隙水圧の値が高くなっており、各水圧計の値の差が小さくなることも確認できる。これは斜面底部から浸透する水が不透水層に沿って斜面全体に広がり、水圧を与える範囲が局所的であっても、過剰間隙水圧が全体的に上昇したためだと

考えられる。

図7は図6と同様にCase-i2, Case-i3, Case-i4, Case-i5の水位差200mm~500mmにおける過剰間隙水圧の時刻歴を示したものである。Case-i3, Case-i4, Case-i5に注目すると、各水位差における過剰間隙水圧の値は大きな差がないが、図4に示したようにCase-i5のすべり距離だけが大きくなっていることがわかる。このことからすべりの規模は不透水層下での過剰間隙水圧の大きさだけでなく、水圧を与える範囲にも影響を受けると考えられる。また、同じ水位差では開けるコックの数が多いほど斜面内に流入する水量が多いため、より多くの水が不透水層下に分布し、砂と不透水層の間の摩擦が低減されたと示唆される。

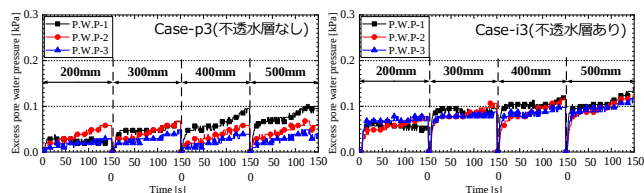


図6 不透水層の有無による過剰間隙水圧の値の差異

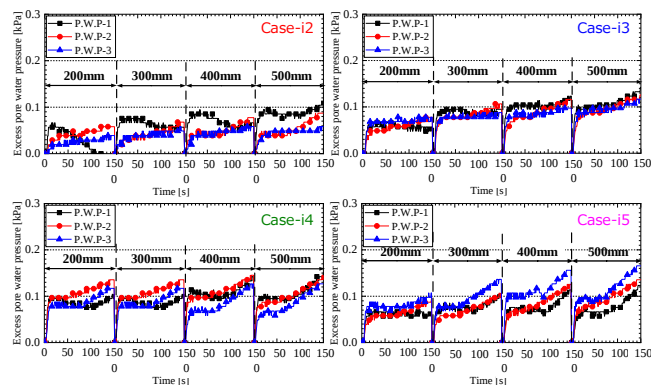


図7 水位差200mm~500mmにおける過剰間隙水圧の変動

4. 結論

本研究では海底地すべりに関して不透水層がすべりの発生およびその規模に与える影響を解明することを目的とし、モデル実験を実施した。その結果得られた主な知見を以下に示す。

- [1] 不透水層のある地盤に水圧を与えると、単一地盤と比較して大きな過剰間隙水圧が発生し、水圧を与える範囲が局所的であっても不透水層に沿ってすべりが発生する。
- [2] 水圧を与える範囲が広がると、より小さな水位差ですべりが発生し、最終的なすべり距離も大きくなる傾向がある。
- [3] すべり距離の増分は過剰間隙水圧の値だけでなく水圧を与える範囲や水の流入量にも影響を受けると考えられる。

参考文献

1. 池原研, 2005. 海底地すべり. J. of the Jpn. Landslide Soc., Vol.41, No.5 112-116.
2. 國生剛治, 2000. 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. 応用地質 41, 77-86.
3. 川村喜一郎, 金松敏也, 山田泰広, 2017. 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. Jour. Geol. Soc. Jpn. 123, 12, 999-1014.