

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14823

研究課題名（和文）難透水層下の水膜形成に着目した海底地すべり発生機構と滑動ダイナミクス

研究課題名（英文）Mechanism of submarine landslide and slide dynamics focusing on water film formation under impermeable layer

研究代表者

岩井 裕正（Iwai, Hiromasa）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：80756908

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究で得た主な成果は、(1)海底地すべり運動形態が大きく3パターンに分類できることを明らかにしたこと、(2)海底地すべりによって励起される津波について海底地すべり運動形態との関係を整理したことである。

(1)について、地すべり速度時刻歴の観点から3パターンに分類したことが特徴的な点である。特に、大規模なすべりに進展したケースにおいては、すべり初期の速度は小さいが速度一定の定常状態を経た後に急激にすべりが進展するクリープ破壊的な挙動を示すことを明らかにした。(2)については、地すべりの初期加速度と初期ドロウダウンには線形関係があり、その勾配は地すべり土塊層厚に比例することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、海底地すべりによって津波が励起されるメカニズムの解明に向けての足掛かりになることである。従来の海底地すべり津波の考え方は、海底地形の地質調査から地すべり規模と津波規模を推定するのにもあった。これに対して本研究では、海底地すべり運動形態の違いによって発生する津波の特性も異なってくることを明らかにした。言い換えれば、たとえ海底地形の変化が比較的小さくても大きな加速度や速度が観測されれば、大きな津波に繋がる危険性について言及した。本研究成果によって、地震時に沿岸域を襲う津波の規模や到達時間予測の高精度化に繋がることが期待される。

研究成果の概要（英文）：The major findings of this study are that (1) submarine landslide motions can be classified into three major patterns, and (2) revealing the relationship between submarine landslide motion and tsunamis characteristics generated by submarine landslides.

The most notable point of (1) is that not only the slide length, but also the time history of landslide velocity is classified into three patterns. In particular, it is found that the case of a large landslide exhibits creep rupture-like behavior, in which the initial velocity is small, but after a steady state of constant velocity, the slip rapidly propagates. For (2), we found that there is a linear relationship between the initial acceleration of a landslide and initial drawdown, and that the gradient is proportional to the thickness of the landslide soil mass.

研究分野：地盤工学

キーワード：海底地すべり 地すべり津波 クリープ地すべり 海底地盤 線形安定解析 分岐現象 模型実験

1. 研究開始当初の背景

海溝型地震によって津波が発生するがそれと同時に海底の斜面においても地すべりが発生する可能性がある。この海底地すべりによっても津波が励起され、地震起源の津波と合成されることで、地震動から予測されるものよりも大規模な津波が沿岸域を襲うことが懸念されている。南海トラフ巨大地震発生が強く指摘されている中で、海溝型地震の発生によって沿岸に到達する津波規模の予測は喫緊の課題である。

海底地すべり土塊の移動速度や土塊容量は、励起される津波規模に対して支配的な要因であると考えられているが、海底での地すべり現象を実際に観察することは困難であり、また地すべり土塊の運動がどのように水面波に影響を及ぼすかについては未知である。したがって、海底地すべり運動形態と、海底地すべりによって励起される津波特性の関係について整理することは、海底地すべり-津波励起連成現象のメカニズムを解明する上で非常に重要なステップである。

海溝型地震起源の津波が、海底地すべりによってどのように増幅されるのかを明らかにすることで、津波規模・到達時間予測の高精度化を図り、沿岸域の人的物的被害を軽減することが本研究の意義である。

2. 研究の目的

本研究では主に以下の3つの目的を設定する。

- (1) 海底地盤内の難透水層下に流体圧が作用した際の水膜の形成過程と難透水層の物理的・力学的特性との相関関係を明らかにすることで、水膜が形成されやすい地層構成および難透水層の土質パラメータを抽出する。
- (2) 海底地すべり発生の瞬間からすべり過程を経て地すべり土塊が停止するまでの一連の地すべり運動について整理することを目的とする。特に、海底地すべりが容易に発生すると考えられる、難透水層を有する水中斜面において、過剰間隙水圧が上昇しせん断抵抗が減少することで海底地すべりが発生する場合を想定する。
- (3) さらに、海底地すべりの速度や加速度等の運動学的パラメータと水面変動との関係に焦点を当て、海底地すべりによって励起される津波の経時的な変化を捉える。

3. 研究の方法

3.1 難透水層を有する海底斜面の地すべり運動に関する模型実験

本研究では、水中に難透水層を有する低角度の砂地盤を形成し、斜面底面から水圧を与えて地すべりを発生させる模型実験を実施し、地すべり運動およびそれに伴う水位変動を PTV 解析により計測した。特に、海底地すべり運動の速度の経時変化と沿岸における津波遡上高を表現できるとされる地すべり開始初期の水面低下量に着目して検討を行った。

実験土槽は図-1に示すアクリル製の土槽を用いた。土槽内には斜面角度10°、水平長さ1000mm、奥行398mmの斜面模型を設置した。地盤表面には3つの標点を設置し、土槽上方から高速カメラで撮影した。加えて、地すべりの様子を水中からも観察できるように、水中カメラを設置した。また、斜面模型表面の3点に水圧計を設置した。

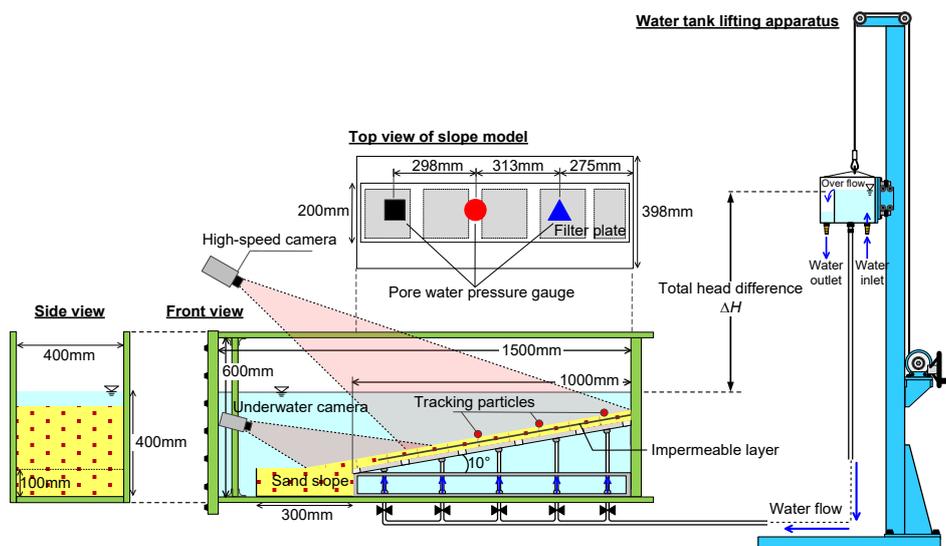


図-1 海底地すべり模型実験装置の概要図

4. 研究成果

4.1 海底地すべり運動形態のパターン分類

実施した海底地すべり模型実験の全ケースにおいて斜面下方向に難透水層とその上部土塊が一体となり剛体的に平行移動する、直線すべり (Translational slide) が発生した。ここで、本実験で観察された地すべり形態が実際の海底地すべりの痕跡と整合しているかどうかを検証するために、模型実験で観測された地すべり地形の特徴を既往の海底地形調査結果と照らし合わせた。図-2 に示すように、法尻部において、すべり土塊先端が圧縮されて隆起した地形が形成されていることが確認できる。これはすべり方向に垂直に発達した、圧縮変形による凸型地形によって特徴付けられる先端ドメイン (Toe domain) と呼ばれるものであり、模型実験においても典型的な海底地すべり地形を再現することに成功した。

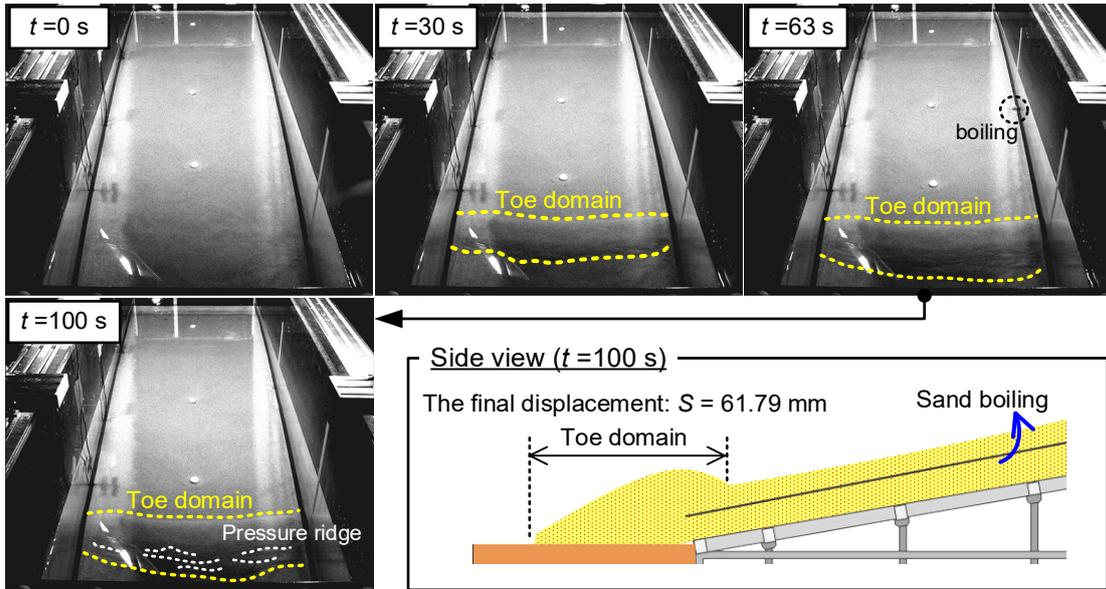


図-2 斜面変動状況およびすべり土塊先端の堆積状況の模式図

次に、地すべり土塊の変位時刻歴および速度時刻歴について説明する。代表的な実験結果における、変位の時刻歴、速度時刻歴、過剰間隙水圧の時刻歴を図-3 に示す。

図-3 に示す、すべり変位の時刻歴 (破線グラフ) から、ある時点から急激に変位が増加し大規模なすべりになるケース(c)と、すべり変位の進行が途中で停止するケース(a)(b)に大きく分けられる。さらに、すべりが途中で停止するケースの中でも最終すべり変位が比較的大きいものや(b)、すべりが早い段階で停止し最終すべり変位が小さいものが見られた(a)。これらの地すべり運動についてさらに詳細に検討するために、赤線で示したすべり速度の時刻歴を考察する。

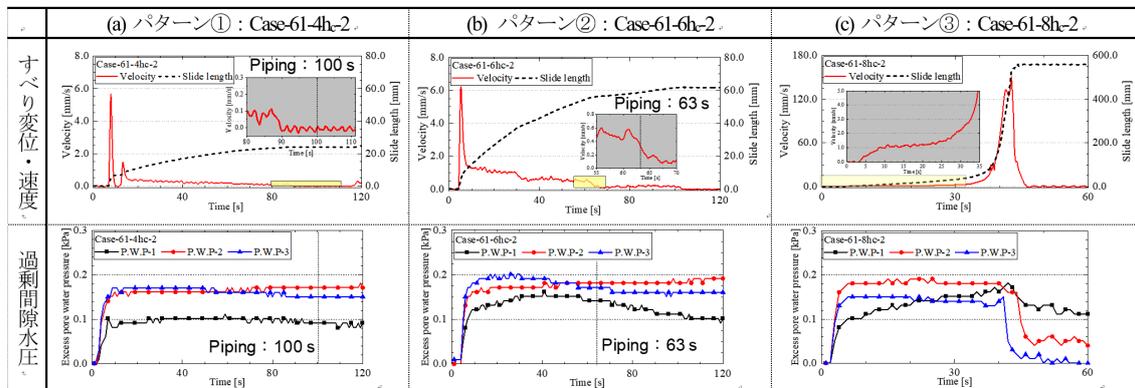


図-3 すべり速度・変位の時刻歴および過剰間隙水圧時刻歴

図-3 の赤実線で示した、地すべり速度の時刻歴から地すべり運動形態が以下の3パターンに分類されることが分かった。

- パターン①：すべり初期に速度ピークが観測された後、直ちに速度が 0.0mm/s まで減少する。
- パターン②：初期のピーク速度が観測された後、すべり速度が緩やかに単調減少する。
- パターン③：初期速度は比較的小さいが、定常的なすべりを経て大規模なすべりに進展する。

特に、大規模なすべり変位を観測したパターン③の地すべり形態では、すべり始めた瞬間の速度は比較的小さいものの、定常状態を経た後に大規模なすべりへ進展するクリープ破壊的な特徴を持つことが明らかとなった。

4. 2 海底地すべり運動と励起される津波

海底地すべり運動と連動して生じる水面変動についても計測を行った。図-4 に海底地すべり土塊の変位・すべり速度および水面変動時刻歴と、その時刻歴の中で特に地すべり発生の瞬間に着目した拡大図を示す。図-4 に示す代表ケースは、前述の海底地すべり運動パターン分類においてパターン 3 に分類されたケース、すなわち地すべり速度が定常状態を経た後に指数関数的に増加し大規模な地すべりに発展するケースを示している。

図-4 左図より、海底地すべりが発生した瞬間に水位が負に変化しているのが分かる。これは地すべり土塊が斜面下方に移動する際に、引き波が発生していることを示唆しており、この初期に発生する引き波を“初期ドロウダウン”と呼ぶ。その後、時刻 12 秒から速度が一定となる定常状態が見られ、時刻 17 秒から速度が指数関数的に急激に増加している。この定常状態～加速段階において顕著な津波振幅の変化はなく、初期ドロウダウンによる波が継続的に観測されている。特徴的な点は、地すべり速度が時刻 20 秒で最大値を観測した後に急激に減少し地すべりが停止している瞬間である。これは地すべり土塊が水平基礎地盤に到達し停止したためであるが、この時初期ドロウダウンよりも大きな振幅が発生している。地すべり発生の瞬間に生じる短時間で速度変化によって初期ドロウダウンは励起されるが、停止時においても大きな速度変化（加速度）が発生することで津波振幅が増幅されることが分かった。

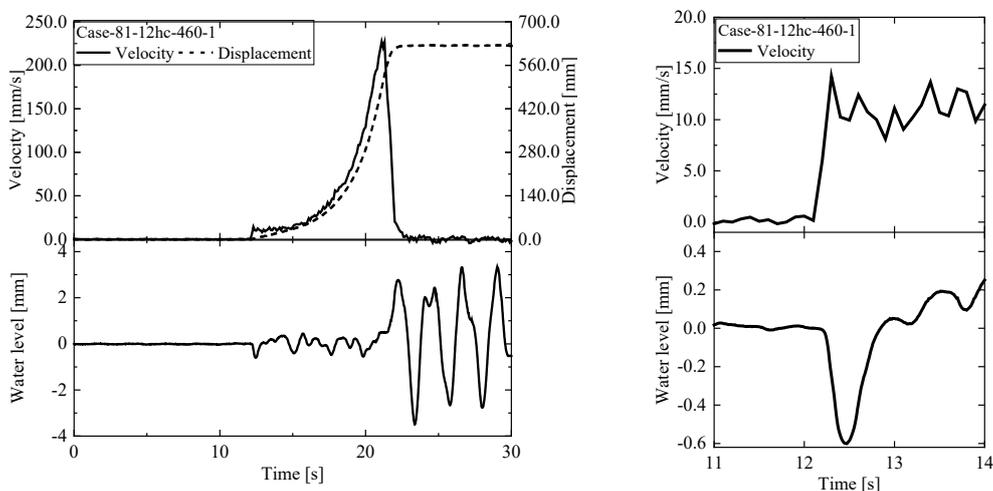


図-4 海底地すべり土塊の変位・速度時刻歴および水面変動の時刻歴（左）
地すべりが発生する瞬間の拡大図（右）

地すべり発生直前から初期速度が観測されるまでの時刻における平均加速度と初期ドロウダウンとの関係を図-5 に示す。図-5 より、今回行った実験条件の範囲内では、すべりの初期加速度とすべり初期の水位低下量である初期ドロウダウンはおおよそ線形関係にあり、その勾配はすべり土塊の層厚に比例することが分かった。

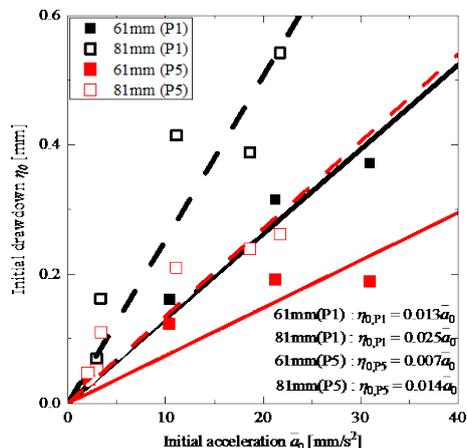


図-5 初期平均加速度と初期ドロウダウンの関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 安井 俊平, 岩井 裕正, 木村 真郷, 張 鋒	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 難透水層を有する海底斜面における地すべり運動に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 (応用力学)	6. 最初と最後の頁 313-323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejam.76.2_1_313	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岩井 裕正, 安井 俊平	4. 巻 77
2. 論文標題 海底地すべり運動形態の分岐現象に関する線形安定解析とその解釈	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集C(地盤工学)	6. 最初と最後の頁 283 ~ 295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejge.77.3_283	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩井 裕正
2. 発表標題 海底地すべりのクリープ破壊挙動に関する考察
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会 (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩井 裕正
2. 発表標題 海底地すべりに関するクリープ挙動の分岐に関する線形安定解析
3. 学会等名 第32回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩井 裕正
2. 発表標題 海底地すべり運動の初期加速度と励起される津波振幅との関係
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井 裕正
2. 発表標題 海底地すべりによって励起される津波特性の基礎的研究
3. 学会等名 第33回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井 裕正
2. 発表標題 海底地すべり運動パターン分類の線形安定解析による考察
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井 裕正
2. 発表標題 海底地すべり性津波に関する基礎的研究
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井 裕正
2. 発表標題 海底地すべり運動の速度時刻歴に着目したパターン分類とその規模に関する模型実験
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------