

地震による海底地すべりと液状化地盤の水膜現象の関わり

中央大学 正会員 國生 剛治 堤 千花

学生会員 樺澤 和宏 清水 愛子 吉川 陽

1. はじめに

現在確認されている海底地すべりは、その大半が有史以前に人々に直接影響を及ぼさない場所で起こったものであり、水中音波探査機の登場とともに、その痕跡が何年も経過した後に発見されるようになった。しかし、沿岸域もしくは海岸近くの陸地を含んだ海底地すべりが比較的最近に起きた例もあり、これらの海底地すべりは、海底ケーブルや人口の多い海岸線、海洋構造物などを破壊してきた。よって、沿岸域や沖合の利用、開発が進んだ昨今では、防災対策に海底地すべりを考慮することは非常に重要である。

今回は、特に海岸付近で地震時の液状化により発生した過去の海底地すべり事例を文献により調査し、被害状況や環境要因についてまとめ、海底地すべりの特徴をつかむ。次にこれらの海底地すべりが非常に緩い海底勾配で起きていることに注目し、それを説明できる可能性のあるメカニズムについて、振動台を用いた模型実験に基づいて考察する。

2. 海底地すべりの特徴と事例¹⁾

海底地すべりは、その名が示す通り、海中で起こる地すべりである。地すべりの定義は、一つまたはいくつかの表面に沿ってせん断力の損失が起こる場所における、傾斜面を形成する物質の下方、外方向へ向かう動きである。その特徴は、まず、その規模が非常に大きいことである。例えば、陸上での地すべりでは、大きいものでも地すべり土塊の体積が 26km^3 (カリフォルニアの Mount Shasta) など、数十 km^3 であるのに対して、確認されている最もすべり土塊の体積の大きな海底地すべりは、南アフリカの Agulhas での海底地すべりで、その体積は $20,000\text{km}^3$ である。

また、海底地すべりの起きる斜面は、必ずしも急傾斜であるとは限らず、緩傾斜でも地すべりが発生し得る。海岸付近で発生し、構造物や海岸線の破壊、海底ケーブルの切断など、人々の生活に影響を及ぼした海底地すべりの事例について、そのうち特に地震時の液状化により発生した事例のいくつかを文献により調査し、表-1 のように工学的に重要と思われる項目を整理した。このうち、最近の地震により起きた典型的な海底地すべりで良く調査されている例として1980年の $M=7.2$ の地震により発生した北カリフォルニアの Klamath River デルタにおける海底地すべり²⁾がある。この例では水深30~70m、傾斜が

表-1 地震が原因で発生した海岸付近での海底地すべり

海底地すべり発生箇所	発生地	発生日	地すべり発生原	震源からの距離	勾配	地すべり土塊の規模	岸をどのくらい含んで滑った	地形	土質と層構造	人的・構造物被害
Valdez	アラスカ	1964年 3月27日	アラスカ地震 ($M=8.3$)	約64km	14~20°	7000万 m^3 深さ60m	奥行150m。(海岸から約1km以上の陸地が海に向かって移動)	デルタ地形	粗砂、礫層の間にシルトおよび細砂層を挟む	2つの船着場150mとそこに建てられていた建物や倉庫、いた人30人
Seward	アラスカ	1964年 3月27日	アラスカ地震 ($M=8.3$)	約140km	15~20°	最大深さ約35m	約12kmに渡る海岸線。海岸から内陸へ最大約150m	デルタ地形	砂及び礫	船着場一帯(船渠、倉庫、燃料タンク)
Klamath River	北カリフォルニア	1980年 11月8日	北カリフォルニア地震 ($M=7.2$)	約60km	約0.25°	1km x 20km 深さ~15m		デルタ地形	砂およびシルト粘土	
Grand Banks	Newfoundland 沖	1929年	グランドバンクス地震		3.5°	76 km^3				約水深300mから3600mの間にいっせいに6本の海底電線が破壊される
Degirmendere	トルコ	1999年 8月17日	トルコ・コジャエリ地震 ($M=7.8$)	約10km	約9°		奥行100m程度、間口250~300m程度	扇状地性堆積物	(10mm程度の礫を多く含む)砂礫	4階建てホテル、レストランとそこいら多くの人

キーワード：液状化 水膜 振動台実験 側方流動 海底地すべり

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土質研究室 03-3817-1799

わずか 0.25° の海底で海岸に平行に20km、幅1km、厚さ5～15m程度の海底地盤が沖の方へ流動した。海底土質は細砂や中粒砂が最大50mの厚さで堆積していた。さらにその沖には細粒の泥が堆積した範囲が広がっていた。地すべりは砂と泥の堆積範囲の境界の近いところで起きていた。また調査の結果から、海底に直径1mから12mに及ぶ無数の噴砂口や陥没の後などが見つかり、液状化の発生が裏付けられた。ボーリング孔から採取したサンプルから、土は均質ではなくシルト質の砂や粘土質のシルトが入り混じった状態になっていることが分かった。この例から地震による液状化が 1° 以下の緩傾斜でも海底地すべりを引き起こすことが実証された。

3. 水膜現象が傾斜地盤の側方流動に及ぼす影響

液状化に伴う緩傾斜の海底地すべりメカニズムの一因として水膜現象（Water film effect）が考えられる。海底地盤の地層構造は陸上ほどは知られていないが、粒径の異なる土質からなる成層構造からなっていると考えられる。地盤が地震によって液状化すると過剰間隙水は地表に向かって上昇するが、その途中に低透水層があるとその直下に水膜が生成され、せん断抵抗力がゼロもしくは極めて低い面が形成される。これは地盤の側方流動に大きな影響を及ぼすと考えられる。

その影響を把握するための振動台による模型実験の一例を図-2に示す。内寸法1100×600×800mmの透明アクリル製土槽に細砂を水中落下法により、緩づめ地盤を作製した。傾斜勾配は約 3° である。無限長斜面を表現するための近似するモデルとして傾斜地盤の上流と下流を切り取り壁面の拘束を取り除いた図-1のような形状とした。非塑性の低透水シームを表面から10cm下に挟み込んだケースとそれが無いケースについて土槽短辺方向に3Hz、3波の正弦波で振動し、液状化実験を行った。

図-2の流動の様子に注目する。シルト層

がない場合では振動中に液状化しているにもかかわらず、振動後も含めほとんど流動せず、わずかなマーカの変形も連続的である。それに対し、シルト層がある場合では振動後にシルト層を境に不連続な流動がみられる。これは水膜生成により、シルト層より上層が下層と切り離され再び流動するためである。約 3° という比較的緩やかな傾斜勾配でも水膜生成により液状化の流動より大きな流動を引き起こすことがわかった。北カリフォルニアで起きた海底地すべりではシルトがおそらく層状に入り混じっていることから、このような水膜による流動が起こったのではないかとと思われる。

4. まとめ

模型実験より、緩傾斜の海底地盤でも水膜現象によって通常の液状化による流動より大きな流動を引き起こす可能性が示された。一方、沖合いの深海底は主にシルトや粘土から成っている場合がほとんどである。このような場所でも地震をきっかけとした海底地すべりは起きているようであり、その原因は単に砂質土の液状化によっては説明できない。今後さらに検討をしていく必要がある。

- 参考文献 1) 國生剛治, 堤千花, 池原研: 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, pp.18-24, 2002. 2) Field, M.E., Gardner, J.V., Jennings, A.E. and Edwards, B.D. (1982): Earthquake-induced sediment failures on a 0.25° slope, Klamath River delta, California, *Geology*, V.10, pp.542-546.3) Kokusho, T. (1999): Water Film in Liquefied Sand and Its Effect on Lateral Spread., *J.Geotech. Engrg., ASCE*, 125(10), 817-826.

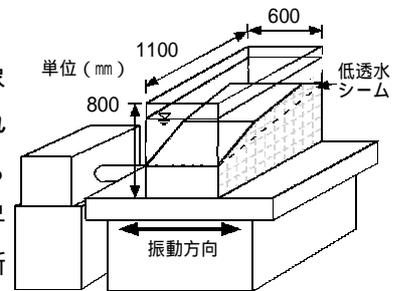


図-1 実験装置の概略図

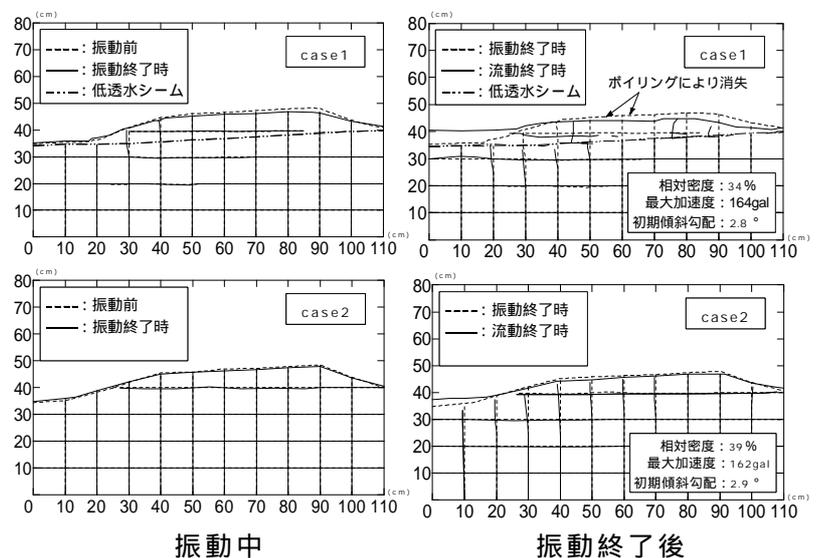


図-2 流動の様子