海底地すべり挙動の分類

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

海底地すべりは海底ケーブルの破断や地震を伴わない津波を引き起こす危険性が指摘されている．川村ら[1)]は海底地すべりによって発生する津波の規模は地すべり土塊の移動速度に影響されるとしている．そのため海底地すべりが発生してから規模が拡大するまでの過程を経時的に把握することが重要である．本研究では，海底地すべりの主な発生原因である間隙水圧上昇に着目した模型実験を実施し，地すべり速度の経時変化から地すべり挙動の分類を行った．

2.　海底地すべり模型実験概要

本研究では模型土槽内に設置した斜面上に難透水層を有する海底斜面を再現し，斜面底面から水圧を与えることで疑似的に海底地すべりを発生させ，地すべり土塊の速度および変位の経時変化を把握することを目的として模型実験を実施した．

図 1 に示すようなアクリル製の模型土槽を用いた．大きさは内寸で長さ 1500mm，深さ 600mm，幅 400mm であり，土槽内に斜面角度 10°，水平距離 1000mm の斜面模型を設置した．斜面中央には幅 200mm でポーラスフィルターが設置されており，水圧を分散して与えることができる．また，地すべり挙動を高速度カメラで撮影した．この時，高速度カメラを用いて斜面表面上に設置した 3 つの標点の動きを追尾し，Particle Tracking Velocimetry (PTV)法を用いて，すべり土塊の地すべり変位と速度を計測した．

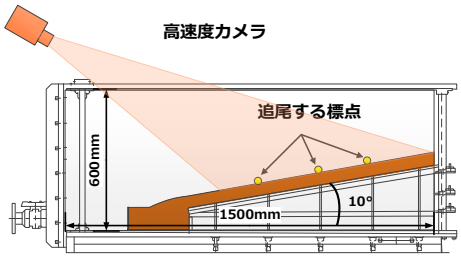


図 1　実験装置概略図

本実験では豊浦砂を用いた．模擬海底斜面の目標相対密度を 40%，目標斜面全層厚は 61.0mm とした．厚さ 1.0mm のビニールシートを難透水層として用い，斜面底面から 40.0mm の位置に設置した．過剰間隙水圧の発生させる方法として，模型土槽外部に設置された定水位昇降装置を用いて水位差により水圧を与えた．この時，水圧を与える水位差の基準として砂層の限界動水勾配における水位差 h_c を設定した．上記条件においては h_c=55.0mm である．この値に任意の係数倍をした水位差を地盤に与え，地盤変動を観測した．

3.　斜面模型実験結果

3.1　与えた水位差と地すべり挙動

実験ケースとその結果を**表 1** に示す．ケース名(例：Case-2h_c-1)は左から順に設定した水位差，同条件における実施回数を示している．また，**表 1** に示した実験結果の一部の値に関して以下のように定義する．すべりの開始直後に到達した最大速度を初期ピーク速度'Initial peak velocity'と呼称する．また，初期ピーク速度の継続時間を'Duration'として定義する．しかし，すべり初期における速度の増減が大きい一部のケースにおいては正確に継続時間を定義するのが困難であったため，初期ピーク速度が 30%の値まで減少するのに要する時間を便宜的に'Duration'と定義した．

表 1　実験結果

Case-No.	Slide length	Initial peak velocity	Duration
	[mm]	[mm/s]	[s]
Case-2h_c-1	1.63	1.03	0.3
Case-3h_c-1	3.11	1.87	0.7
Case-3h_c-2	15.98	1.21	3.1
Case-3h_c-3	7.88	0.56	0.3
Case-4h_c-1	424.10	0.56	85.0
Case-4h_c-2	28.80	6.86	0.7
Case-6h_c-1	37.82	2.43	1.3
Case-6h_c-2	64.79	7.12	1.7
Case-8h_c-1	414.68	0.63	38.4
Case-8h_c-2	559.02	1.12	13.3

本実験では全てのケースにおいて斜面下方向に難透水層とその上部の土塊が一体となって剛体的に平行移動するすべりが確認された．最終的なすべり変位は**表 1** 中の Slide length に示した通りである．基本的には与えた水位差が大きくなるほどすべり変位も大きくなる傾向が見られた．しかし例外的なケースもあり，Case-4h_c-1 では最終すべり変位が 424.10mm まで達し，水位差 6h_c の 2 ケースと比較して大規模なすべりとなった．また，初期ピーク速度と与えた水位差には明確な相関関係は見られず，最大水位差である 8h_c の 2 ケースの初期ピーク速度は最小水位差の Case-2h_c-1 と同等の値となった．また，400mm 以上の大規模なすべりが発生したケースでは初期ピーク速度は小さく，0.5~1.2mm/s 程度である．一方，その継続時間は大規模なすべりが発生した 3 ケース全てにおいて 10 秒以上となり，その他のケースと比較して大きな値となった．

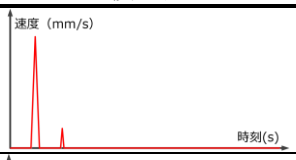
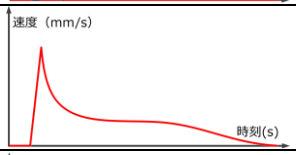
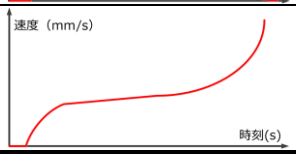
3.2　すべり速度による地すべり挙動の分類

上述した実験結果より，すべり速度の経時変化の特徴から全ケースを**表 2** に示す 3 パターンに分類し，その代表的なケースの地すべり速度および地すべり変位グラフを**図 2(a)～(c)**に示した．なお速度グラフ中には，すべり初期における 3 つの標点の平均値を拡大して示した．

キーワード：海底地すべり　地すべり速度　難透水層
連絡先：〒466-8555　愛知県名古屋市昭和区御器所町　名古屋工業大学 16 号館 227 号室　TEL: 052-735-7525

© Japan Society of Civil Engineers

表 2　すべり速度の経時変化の特徴による分類

パターン名	各パターンの特徴	模式図	パターン分け
パターン①	初期ピーク速度が観測された後，速度が瞬時に 0.0mm/s に減少する		Case-2h_c-1 Case-3h_c-1 Case-3h_c-3 Case-4h_c-2
パターン②	初期ピークが観測された後，速度が単調減少する		Case-3h_c-2 Case-6h_c-1 Case-6h_c-2
パターン③	初期ピーク速度が継続した後，大規模なすべりへ進展する		Case-4h_c-1 Case-8h_c-1 Case-8h_c-2

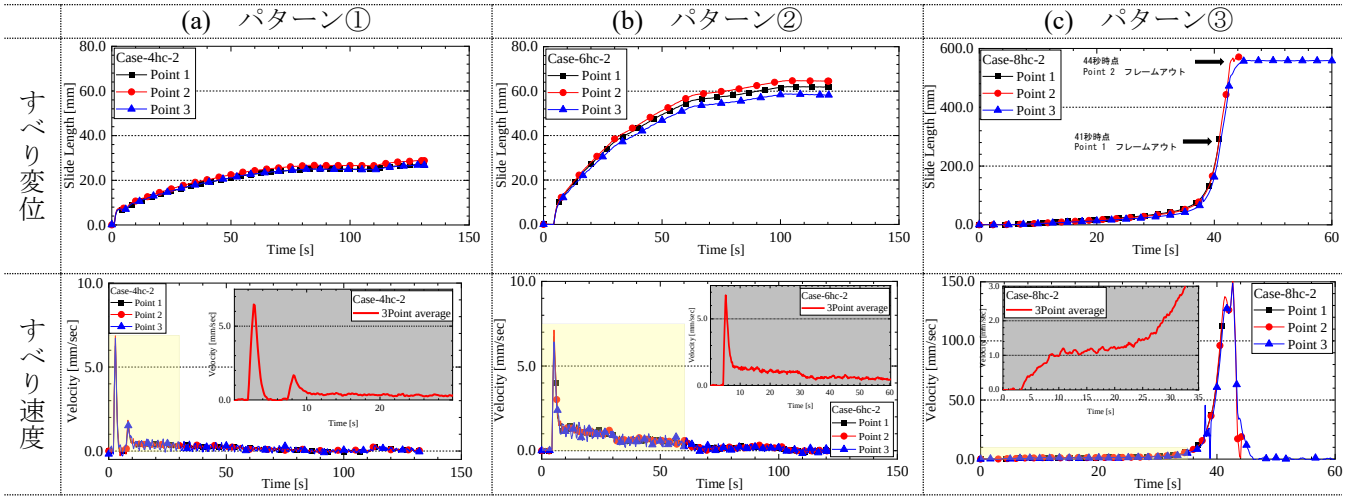


図 2　代表ケース　((a):Case-4h_c-2　(b):Case-6h_c-2　(c):Case-8h_c-2)

表 2 に示した各パターンの特徴を示す．パターン①は初期ピーク速度が観測された後に速度が急激 0.0mm/s まで減少することが特徴である．パターン②もパターン①と同様に初期ピーク速度が観測された後に速度が減少する．しかし，すぐに 0.0mm/s まで減少するのではないことがパターン①との相違点である．図 2(a)に示した Case-4h_c-2 および図 2(b)に示した Case-6h_c-2 は初期ピーク速度がそれぞれ 6.86 秒と 7.12 秒であり近い値を示したが，パターン①の Case-4h_c-2 は 4.5 秒時点で速度が 0.0mm/s になり，パターン②の Case-6h_c-2 は 60 秒時点でも 0.0mm/s に達していないことが確認できる．また，最終すべり変位は両パターンとも 100mm 未満となり，大規模なすべりに進展しなかったが，パターン②の方がすべり変位は大きくなる傾向がみられた．パターン②の初期ピーク速度継続時間の平均値がパターン①の 0.5 秒を上回る 2.0 秒であったことが影響したと考えられる．

最終すべり変位が 400mm 以上の 3 ケースをパターン③に分類した．初期ピーク速度で継続してすべった後に速度が増大し，大規模なすべりに進展することが特徴である．図 2(c)に示した Case-8h_c-2 では初期ピーク速度は 1.12mm/s であり，Case-4h_c-2 および Case-6h_c-2 より小さかったが，すべりの最大速度は約 150.0mm/s まで達した．また，前述のように初期ピーク速度継続時間が他の 2 パターンと比較して大きいことも特徴として挙げられ，Case-4h_c-1 では 85 秒間等速運動が継続した．以上よりパターン③の地すべりはすべり始めた時の速度は小さいが，その後定常すべりへと移行し，最終的にすべり速度が増大して大規模なすべりまで進展するクリープ破壊的な挙動を示すとわかる．また，初期ピーク速度の継続時間が長いことは他のパターンに見られない特徴であるため，大規模なすべりに進展する兆候であると考えられる．

4.　結論

本研究では海底地すべりの挙動についてその速度に着目した検討を行うために模型実験を実施した．以下に得られた知見を示す．

[1]　難透水層の存在する地盤に過剰間隙水圧が発生すると，難透水層と上部層が剛体的に平行移動するすべりが発生する．

[2]　模型実験によって観察された海底地すべりは，その速度の経時変化から 3 つの挙動に大別される．

[3]　最終すべり変位が大きいパターンでは，すべりの初速度は小さいながらも速度が減少することなく，等速運動を継続した後に大規模なすべりに進展するというクリープ破壊的な挙動を示す．

参考文献

1.　Kawamura, K., Kanamatsu, T., Yamada, Y., 2017. Submarine slides and marine geohazards: the study results so far and current problems. *Jour. Geol. Soc. Japan*, Vol.123, No.12, pp.999-1014.

© Japan Society of Civil Engineers