

海底地すべりにおける二次クリープ速度とクリープ破壊時間の関係

名古屋工業大学 学生会員 ○弘津 航太郎
 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 安井 俊平
 名古屋工業大学 正会員 張 鋒

1. 序論

海底地すべりは地震動を伴わない津波を発生させる危険性が指摘されている。川村ら¹は海底地すべりによる津波の規模はすべりの移動速度に影響されるとしているが、移動速度の実測例はない。そのため、海底地すべり発生から規模拡大までのプロセスを時系列的に把握することが重要である。

安井ら²は難透水層を有する海底地盤に過剰間隙水圧が生じた際の海底地すべり挙動を把握することを目的として模型実験を実施し、発生したすべりの変位および速度の経時変化を計測した。その実験結果を、すべり速度の経時変化の特徴から表-1に示す3つのパターンに分類した。その中でもパターン③は定常状態を経た後に速度が指数関数的に増加するクリープ破壊的な挙動を示し、他のパターンより大きな変位と速度が計測された。そのため、本論文ではより大きな被害につながると予想されるパターン③に着目し、その挙動について検討した。

2. 実験結果

表-2にパターン③に分類した全12ケースの実験結果を示す。表中のケース名はCase-(全層厚)-(与えた水位差)-(実施回数)を示している。 h_c は各層厚における限界動水勾配時の水位差を表しており、 h_c の任意の係数倍の水位差を与えることによりすべりを発生させた。

まずはすべり変位について検討する。土塊長さ920mmに対して、層厚61mmの全てのケースですべり変位は400mm程度となり、大規模なすべりに進展した。しかし、層厚81mmではCase-81-6 h_c -1のようにすべり変位が63mm程度にとどまるケースも見られた。すべりの進行を妨げる要因の一つとして、法尻に堆積する砂による抵抗力が挙げられる。層厚61mm、層厚81mmのすべり土塊の層厚は、それぞれ20mm、40mmである。そのため、層厚81mmの場合ではすべりに伴って法尻に堆積する砂の量も多くなり、より大きな抵抗力が作用したと考えられる。

表-1 すべり速度の経時変化の特徴による分類

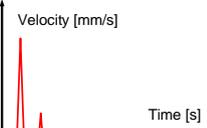
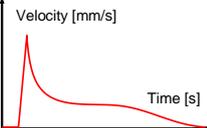
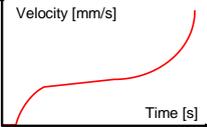
パターン名	各パターンの特徴	速度時刻歴の模式図
パターン①	初期ピーク速度が観測された後、直ちに速度が0.0mm/sまで減少する。	
パターン②	初期ピーク速度が観測された後、すべり速度が緩やかに単調減少する。	
パターン③	初期ピーク速度が観測された後、定常的なすべりを経て、最大速度が観測される。	

表-2 実験ケースおよび主な結果

Case No.	Displacement [mm]	Max. velocity [mm/s]	Secondary creep velocity v [mm/s]	Duration of secondary creep T_c [s]	Time to creep rapture T_r [s]
Case-61-4 h_c -1	404.54	78.80	0.45	67.00	144.00
Case-61-8 h_c -1	399.14	93.15	1.03	42.17	64.00
Case-61-8 h_c -2	559.05	142.51	1.13	12.67	42.50
Case-61-8 h_c -3	390.28	69.61	2.94	5.83	21.33
Case-61-12 h_c -1	431.62	40.59	6.13	4.50	24.17
Case-81-6 h_c -1	62.73	1.88	1.13	26.83	56.33
Case-81-10 h_c -1	405.91	115.39	1.46	10.67	28.83
Case-81-10 h_c -2	153.80	22.62	1.23	13.17	37.00
Case-81-12 h_c -1	136.78	15.19	2.30	7.33	28.17
Case-81-12 h_c -2	491.71	100.92	2.31	12.83	32.33
Case-81-16 h_c -1	139.71	16.88	5.68	3.16	17.00
Case-81-16 h_c -2	433.92	150.94	27.28	0.67	6.67

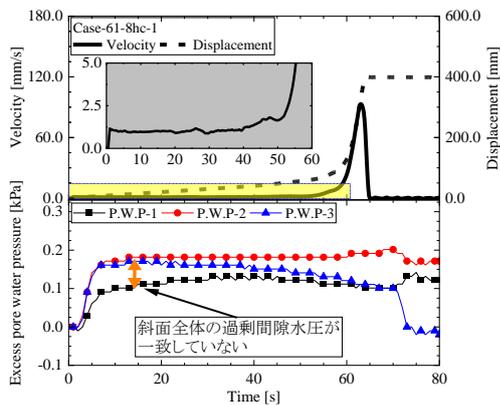


図-1 Case-61-8hc-1

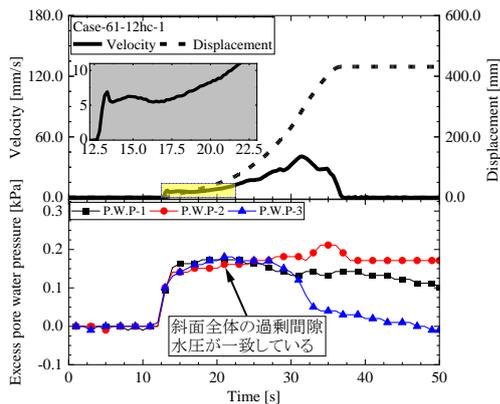


図-2 Case-61-12hc-1

次に、定常的な二次クリープ状態について検討する。図-1、図-2 に示した Case-61-8hc-1 と Case-61-12hc-1 の二次クリープ速度 (Secondary creep velocity) はそれぞれ 1.03mm/s, 6.13mm/s で、水位差の大きい Case-61-12hc-1 の方が大きい。一方、二次クリープ継続時間 (Duration of secondary creep) はそれぞれ 42.17s, 4.50s であり、Case-61-12hc-1 の方が三次クリープに至るまでの時間が短い。また表-2 から、その他のケースについても与えた水位差が大きいほど二次クリープ速度は大きく、二次クリープ継続時間は小さくなる傾向が見られる。図-1、図-2 に示した過剰間隙水圧の経時変化に着目すると、法尻の水圧計 1 の値 (黒色プロット) が、Case-61-12hc-1 では約 0.05kPa 大きくなり、他の水圧計と同等の値になっている。このように、過剰間隙水圧が斜面全体に均等に分布することにより二次クリープ速度が大きくなったと考えられる。

3. 水中地すべりにおける破壊時間予測

陸上のクリープ破壊に対しては、斎藤らが二次クリープひずみ速度と破壊クリープまでの時間の関係を両対数グラフで整理し、直線近似できることを導き、斎藤式と呼ばれる式(1)を提案した³。

$$\log_{10} t_r = 2.33 - 0.916 \times \log_{10} \dot{\epsilon} \pm 0.59 \quad (1)$$

ここで、 t_r : クリープ破壊時間(min), $\dot{\epsilon}$: 定常ひずみ速度($\times 10^{-4}$ /min)である。

本研究においては、最大変位が観測されるまでの時間 (Time to creep rupture) 及び二次クリープ速度を用いて、実スケールに換算したクリープ破壊時間 t_r と定常ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ を算出した。モデルの縮尺は

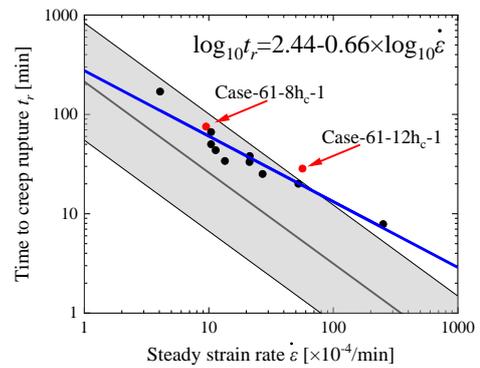


図-3 斎藤式と実験結果の近似直線

1/5000 と仮定し、地すべり運動には重力による影響が支配的であると考えられるので、フルード相似則を使用した。図-3 に実験結果の実物大への換算値を黒でプロットし、図-1、図-2 で示したケースは赤でプロットした。斎藤式で定義される範囲及び本研究における直線近似式も併せて示した。図-3 から本模型実験において、陸上地すべりと同様に定常ひずみ速度とクリープ破壊時間の関係が両対数グラフ上で直線近似できることが示された。また、図-3 においてひずみ速度が大きい領域では得られた近似直線が斎藤式の範囲から外れていることがわかる。そこで、この要因を式(2)に示すすべり土塊の運動方程式から考察する。

$$ma = mg \sin \theta - F - \rho C_d S v^2 / 2 \quad (2)$$

ここで、 m : すべり土塊の質量, a : 土塊の加速度, g : 重力加速度, θ : 斜面勾配, F : 摩擦抵抗力, ρ : 流体の密度, C_d : 抗力係数, S : 土塊の断面積, v : 土塊の速度である。

式(2)より、流体抵抗力はすべり速度の2乗に比例するが、水は空気より密度が約 800 倍大きいため、特にひずみ速度が大きい領域では流体抵抗項がより顕著に影響する。従って、定常ひずみ速度が同じでも、水中での地すべりの方が破壊クリープに至る加速段階においてより長い時間を要すると考えられる。

4. 結論

- [1] 砂が法尻に堆積することによって、すべり変位の増加が妨げられる可能性が示唆された。
- [2] 与える水位差が大きいほど二次クリープ速度は大きくなり、二次クリープ継続時間は小さくなる傾向が見られた。
- [3] 二次クリープ速度と破壊時間の関係が両対数グラフで直線近似できることが示された。

参考文献

1. 川村喜一郎：講座 海底地すべりと津波, (1)講座を始めるにあたって, 地盤工学会誌, Vol.68, No.4, pp.29-30, 2020.
2. 安井俊平, 岩井裕正, 木村真郷, 張鋒：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, 土木学会論文集 A2 分冊 (応用力学論文集), Vol.76, No.2, 2020. (Accepted)
3. 斎藤迪孝, 上沢弘：斜面崩壊時期の予知, 地すべり, Vol.2, pp.7-12, 1966.