

正規圧密状態にある海底粘性土斜面の地震時安定性評価

日本大学工学部 学生会員 ○松本 直人

日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

海底地すべりに起因する津波により甚大な被害が生じており、2018 年にインドネシアで発生した地震では、震源から遠く離れた場所で津波による被害が発生した¹⁾。海底地すべりの発生を評価するためには、高い水压条件における斜面安定性評価手法の検証が必要である。既往の研究²⁾では、海底水压環境下を模した実験を行い、過圧密粘性土斜面に対する修正フェレニウス法の適用性を検証した。その結果、修正フェレニウス法を適用できることが明らかになったが、過圧密粘性土斜面では、斜面位置において強度特性に差があり、斜面強度定数の決定方法に課題がある。

そこで本研究では、斜面位置で概ね強度特性が等しい正規圧密粘性土斜面について 30G 場で遠心载荷実験を実施し、動的及び静的に地震外力を与えて、斜面崩壊が生じる震度やすべり面形状を求め、実験結果に対する修正フェレニウス法を用いた斜面安定解析結果の適用性を検証した。

2. 実験条件

実験は 30G 場で実施し、実験で用いた土槽の内寸は幅 600mm×深さ 500mm×奥行 200mm²⁾である。模型粘性土斜面モデルを図-1、図-2 に示す。case1 は、斜面の傾斜角が 14.7° である。case2 は、斜面の傾斜角が 13.1° で水深はいずれも 500mm である。実験に用いた地盤材料は、AX カオリンと MC クレーを重量比 1:1 で配合した模擬粘土²⁾である。模型地盤のせん断強度はベーンせん断試験より求めた。その結果を図-3、図-4 に示す。c とφは、1G 場で実施したベーンせん断試験結果を、一面せん断試験より求めた過圧密時のφ_{cu}を用い、30G 場の拘束圧で補正して求めた。実験ケースは、case1 は静的実験で case2 は動的実験である。静的実験では、30G 場において、土槽を連続的に傾けることで震度(k_h)を与えた。k_h は以下の式で定義される。

$$k_h = \tan \alpha \quad (1)$$

ここで α は土槽の傾斜角である。動的実験では、入力波として 80Hz の sin 波 40 波を加振した。加速度振幅は、100gal、200gal、250gal、300gal、333gal とした。なお、333gal 加振は 9 回行い、1 回目以降は 80 波で加振した。k_h は以下の式で定義される。

$$k_h = \frac{a}{g} \quad (2)$$

α は加振加速度で g は重力加速度である。

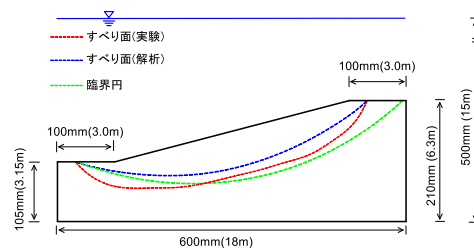


図-1 斜面モデル及びすべり面(case1)

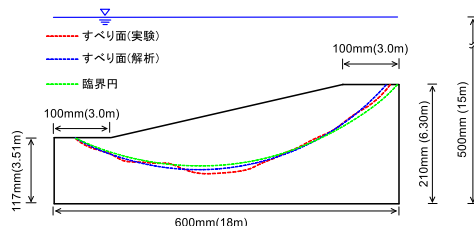


図-2 斜面モデル及びすべり面(case2)

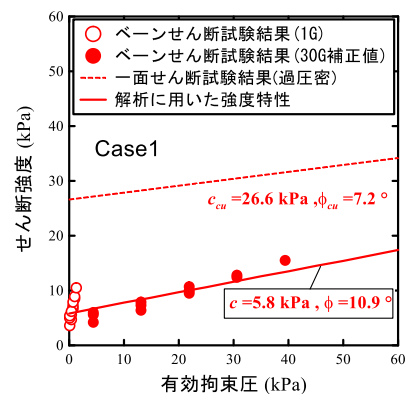


図-3 ベーンせん断試験結果

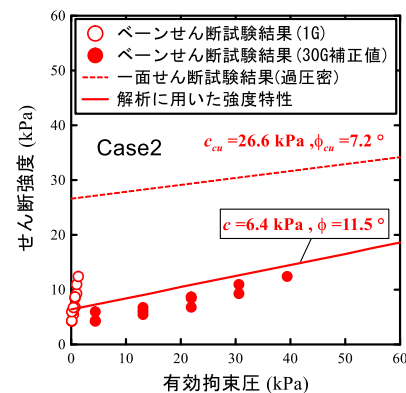


図-4 ベーンせん断試験結果

キーワード 海底地すべり 正規圧密粘土 遠心载荷実験 修正フェレニウス法

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地, TEL 024-956-8710

3. 斜面安定解析

斜面安定解析は修正フェレニウス法を用いて行った。解析コードはCOSTANA.Ver19.1A(富士通 FIP)を使用した。すべりに対する安全率 F_s は以下の式で求める。図-5 に修正フェレニウス法の概要図を示す。

$$F_s = \frac{R \sum \{cl + \{(W - Ub) \cos \alpha - k_h W \sin \alpha\} \tan \phi\}}{\sum (RW \sin \alpha + k_h Wh)} \quad (3)$$

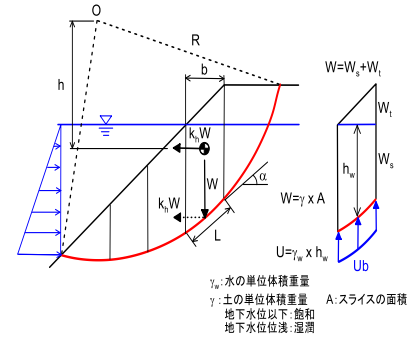


図-5 修正フェレニウス法の概要図

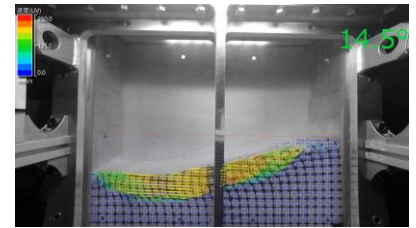


図-6 斜面の崩壊状況(case1)

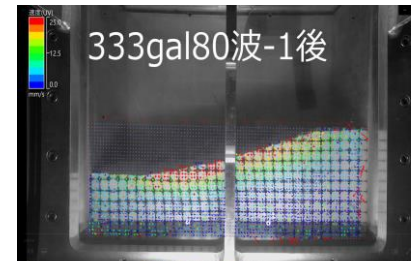


図-7 斜面の崩壊状況(case2)

実験による斜面の崩壊状況を図-6と図-7に示す。図-8に解析斜面モデルと設定したすべり面を示す。実験結果で生じたすべり面の崩壊形態を参考にし、法肩を通り法尻に抜ける円弧を設定した。その時のすべり面を図-1、図-2に示した。解析に使用した強度定数を、図-3、図-4に示した。case1は、 $c=5.8\text{kPa}$ 、 $\phi=10.9^\circ$ 、case2は、 $c=6.4\text{kPa}$ 、 $\phi=11.5^\circ$ を使用した。

4. 実験結果と考察

図-9、図-10に水平震度と安全率及び傾斜角の関係を示す。case1の実験では、斜面の変形は傾斜角 11° 付近から始まり、約 14.5° を超えて急増した。図-9にその状況を加筆した。崩壊位置と安全率が1を切る水平震度は概ね整合している。case2の実験では、斜面が崩壊に至らなかったが、200gal付近から変形がはじまり333galで最大の変形となった。図-10にその状況を加筆した。滑動開始位置と安全率が1を切る水平震度は概ね整合している。以上より、正規圧密粘性土斜面における実験結果と修正フェレニウス法を用いた斜面安定解析結果は概ね整合することから修正フェレニウス法の適用が可能である。

5. まとめ

正規圧密粘性土斜面による遠心载荷実験及び斜面安定解析を行い以下のことが分かった。

- (1)静的実験では、傾斜角 14.5° を超えて崩壊が生じたが、動的実験では、加振加速度333galで最大変形となったが崩壊には至らなかった。
- (2)実験結果と解析結果の安全率が1を切る水平震度が概ね整合していることから正規圧密粘性土斜面に対する修正フェレニウス法の適用が可能である。

謝辞

本研究は「令和元年度原子力施設等防災対策等委託費(海底における斜面の地震時安定評価に関する検討)事業」により実施したものである。記して謝意を示します。

参考文献

1)Sassa, S.,& Takagawa, T.(2019):Liquefied gravity flow-induced tsunami:first evidence and comparison from the 2018 Indonesia Sulawesi earthquake and tsunami disasters,Landslides 16,pp.195-200.

2)仙頭紀明・海野寿康・中村晋(2017):海底地盤を模擬した斜面モデルの作製およびその安定性評価,土木学会論文集 B3(海洋開発),Vol.73, No.2, pp.306-311.

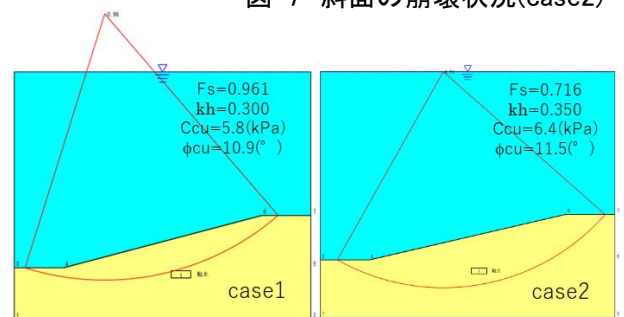


図-8 解析斜面モデルと設定したすべり面

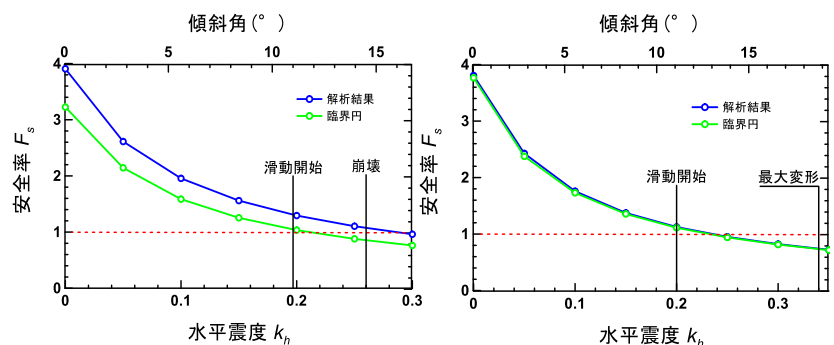


図-9 水平震度と安全率及び傾斜角の関係(case1)

図-10 水平震度と安全率及び傾斜角の関係(case2)