

地震時の斜面表層土の運動に関する研究

鳥取大学工学部 正会員 榎 明深  
鳥取大学大学院 (学) ○江本 宏明・粕谷 広史

1. はじめに

従来の地震時の安定解析法には震度法が用いられる。鳥取県西部地震において震度法を用いた安定解析を行うと、大半の山地斜面が崩壊するという結果になった。しかし現地調査結果では、完全に崩壊した斜面はわずかしかなく、震央付近の斜面でもほとんど見られなかった。そこで本研究では、無限斜面の表層土モデルにダランベールの原理と加速度の連続式を用いて、地震時の斜面表層土の運動を明らかにすることを目的とする。

2. 解析方法

地震時の斜面表層土の運動を解析する方法を提案する。まず斜面表層土の基岩との相対運動モードとしては、以下の4モードが考えられる。

- (1) 一体となって運動する(以下一体運動と呼ぶ)
- (2) 基岩に沿ってすべり落ちるモード(すべり落ちと呼ぶ)
- (3) 基岩に沿ってすべり上がるモード(すべり上がりと呼ぶ)
- (4) 基岩から分離するモード(分離と呼ぶ)

次に解析のための表層土モデルを提案する。このモデルの特徴は、

- (1) 無限斜面を仮定する
- (2) ダランベールの原理を用いて表層土の加速度を慣性力として導入する
- (3) すべり面に垂直な方向の加速度の連続式を用いる

という3点である。ここから、図1において釣り合い式、破壊条件式を用いることで、地震時の斜面表層土の運動を運動方程式で表すことができる。これから、地震時の斜面表層土の4モードは図2のように $\alpha_v$ - $\alpha_n$ 空間に表すことができる。この4モードの存在とそれに関する運動方程式を実験により確認を行う。また斜面表層土の基岩からの相対変位量は、基岩と表層土の相対加速度の2回積分によって求める。

3. 実験方法

振動台上に図3に示すような斜面傾斜角 $\beta$ が可変な斜面装置を置き、斜面傾斜角や振動台の振動数を変えることで地震時の斜面を想定できるものを作る。この斜面装置の上に、表層土モデルを置く。斜面装置がアクリル製なので、表層土モデルにアクリル板を用いたときは斜面装置の上にアクリル板をそのまま置いて実験を行った。豊浦砂の場合は、表層土モデルの底面を図4のようにした。豊浦砂の層厚は2mmに設定し、ガイドとローラーを用いて表層土の運動の方向を1方向に固定する。また、上板が豊浦砂上をすべらないために紙やすりを上板の底面と斜面装置の上面に貼った。これによって、表層土モデルのすべり面が豊浦砂の中になるようにして実験を行った。

実験においての計測は、基岩（斜面装置の裏）と表層土モデル（図4の上板の上）に加速度計を取り付け、斜面平行、垂直方向の加速度( $\alpha_\beta$ ,  $\alpha_\beta'$ ), ( $\alpha_n$ ,  $\alpha_n'$ )をデータロガーによって1msの時間間隔で収録する。これによって、加速度からの表層土モデルの運動を調べる。

4. 実験結果と考察

<すべり落ちについての確認>

すべり落ちについての確認の実験条件を表1に示す。この実験での理論波形と実験結果を図5,6,7に示す。これらは、表1の試験条件で行ったもので、図5が理論上の加速度波形であり(条件は $c=0$ ,  $\phi=22^\circ$ ,  $\beta=10^\circ$ )、図5がアクリル板での実験、図7が豊浦砂での実験の結果である。これらの図の軸は、時間と斜面水平方向の加

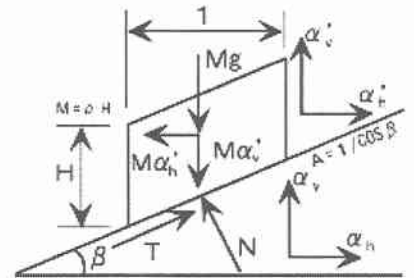


図1 無限斜面表層土モデル

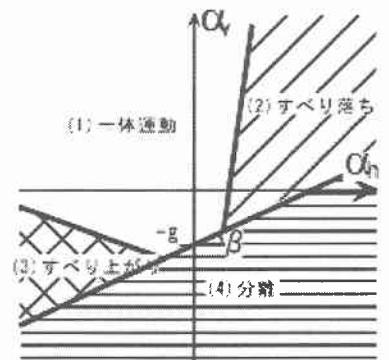


図2 表層土と基岩のモード

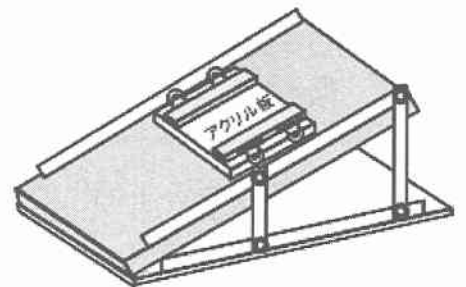


図3 実験装置の概略図

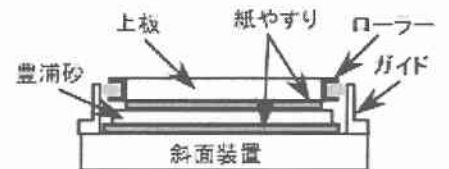


図4 表層土モデルの断面図

表1 すべり落ちの実験条件

	アクリル板	豊浦砂
傾斜角 $\beta$	$10^\circ$	$20^\circ$
強度定数 $c, \phi$	$0, 22^\circ$	$0, 30^\circ$
最大加速度	約 323 gal	

速度  $\alpha_\beta$  を表したものである。理論上では、図 5 のように基岩と表層土は、ある加速度までは一体運動をし、表層土が基岩とは異なる運動をした後、また基岩と一体運動する。この異なる運動とは、基岩から表層土にはせん断力の力しか伝わらないという条件からすべり落ちが起こることである。すべり落ちが終わる条件は、基岩と表層土の相対加速度の一回積分である相対速度が 0 になることであり、図 5 の①と②の面積が等しくなることですべり落ちが終わる。

実験結果では、図 6,7 とともにすべり落ちが起きているのがわかる。また、すべり落ちの終わる条件も満たされていることもわかる。ここで表層土モデルのすべり落ちの途中の加速度に注目すると、図 5 よりも図 6,7 のほうが時間とともに加速度が減少しているのがわかる。これは、理論は剛塑性体で考えているのに対して、実際の表層土モデルは軟化する材料であることがすべり落ちの加速度に影響していると考えられる。このことより、一面せん断試験などで得られるせん断応力  $\tau$  とせん断変位  $d$  の関係がすべり加速度に影響することが考えられる。

また、アクリル板での相対変位量を図 8 に示す。実験時の計測では相対変位量は 12 cm であったのに対して、加速度の積分による相対変位量は 12.7 cm であった。少しの違いは生じたが、相対変位量の計算方法についての確認を行うことができたと考えられる。この違いについては、一体運動しているときにも基岩と表層土の加速度に電氣的ノイズが生じているためであると考えられる。

<すべり上がりについての確認>

すべり上がりについての確認は、アクリル板でのみ行った。すべり上がりでは、すべり落ちの試験条件において最大加速度を約 765 gal に変更し、実験を行った。実験結果を図 9 に示す。図 9 から第 1 波にすべり上がり方向に基岩の加速度が生じたためすべり上がりが起こり、その後一体運動を間にはさみながら、すべり落ちとすべり上りを繰り返す波形となっているのがわかる。またすべり上がりの終わる条件は、相対速度が 0 になったときであるが、この条件についても満たされていることが図 9 からわかる。すべり上がりにおいても、すべり上がる途中の加速度が時間とともに減少すること図 9 から確認できる。

5. 結論

- 1)地震時の斜面表層土の相対運動モード（一体運動、すべり落ち、すべり上がり、分離）の 4 モードの存在を確認することができた。
- 2) 地震時の斜面表層土の 4 モードにおける運動方程式の確認を行うことができた。これは、4 モードの存在の確認に運動方程式を用いたことから言えると考えられる。
- 3)すべり落ちやすべり上がりにおいて、一面せん断試験などで得られるせん断応力  $\tau$  とせん断変位  $d$  の関係がすべり落ちやすべり上りの途中の加速度に影響することが考えられる。
- 4)この解析方法から実際の地震波形を用い、斜面の幾何条件や表層土の強度定数を仮定することで、地震時の斜面表層土の運動を知ることができる。また 4 モードの運動方程式を確認できたことから、その斜面での表層土の基岩からの相対変位量なども知ることができる。

参考文献

- 1)梅田 康弘ら:鳥取県西部地震による災害に関する調査研究,科学研究費補助金研究成果報告書,p155-p164,2001.
- 2)村上 巧一:地震時の斜面表層土の挙動,鳥取大学修士論文,2001.

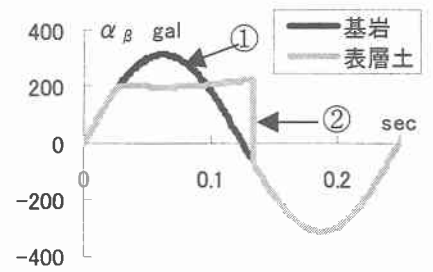


図 5 理論上のすべり落ち

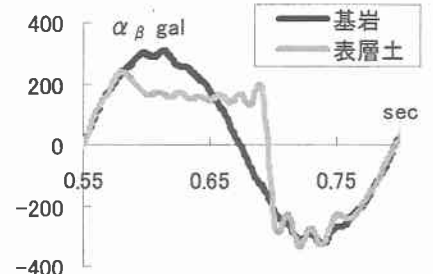


図 6 アクリル板のすべり落ち

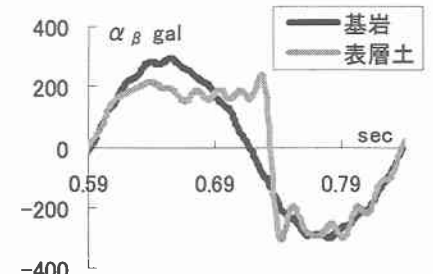


図 7 豊浦砂のすべり落ち

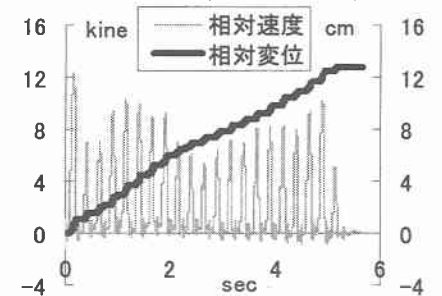


図 8 相対速度と相対変位

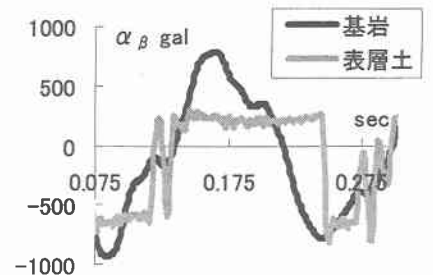


図 9 アクリル板のすべり上がり