

複数の振動台実験における計測エネルギー量の観点から見た 斜面勾配と地盤強度定数の関係

防衛大学校 学生会員 ○高倉太希
防衛大学校 正会員 篠田昌弘・宮田喜壽

1. はじめに

斜面崩壊が大きな地震の度に発生している。特に、近年地震による斜面崩壊が多数発生した代表的な事例として、2008年に発生した岩手・宮城内陸地震、2016年に発生した熊本地震、2018年に発生した北海道胆振東部地震が挙げられる。このような地震による斜面崩壊が発生すると、崩壊土砂による生き埋め、家屋や橋等人工構造物の崩壊等により非常に多くの人的・物的被害が発生する。そのため、地震による斜面崩壊のメカニズムを解明して、斜面安定性評価の高度化を進める必要がある。本研究では、地震による斜面崩壊面積が明治以降最大であると言われている北海道胆振東部地震の斜面崩壊地域の現地試料を採取して複数の振動台実験を行い、地震により斜面崩壊に至る現象について分析する。

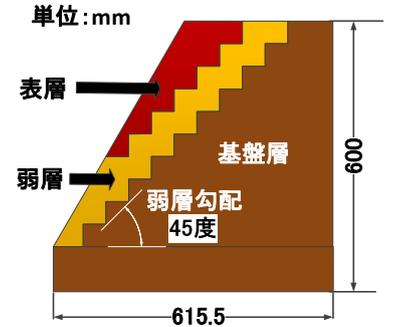


図1 斜面模型（弱層勾配：45度）

2. 目的

図1に示す斜面模型を用いて振動台実験を行い、斜面崩壊挙動を把握する。また、実験時の斜面崩壊挙動の観察結果を基に、表層と弱層の境界部の摩擦角と斜面変位の関係を把握して、エネルギー量の観点から、弱層勾配と弱層地盤材料強度定数の関係を分析する。

表1 実験ケース一覧

No.	弱層材料	弱層勾配	加振方向	No.	弱層材料	弱層勾配	加振方向
1	樽前 d 層	45	水平のみ	15	恵庭 a 層	40	逆位相
2	樽前 d 層	45	同位相	16	恵庭 a 層	35	水平のみ
3	樽前 d 層	45	逆位相	17	恵庭 a 層	35	同位相
4	樽前 d 層	40	水平のみ	18	恵庭 a 層	35	逆位相
5	樽前 d 層	40	同位相	19	人工配合試料	45	水平のみ
6	樽前 d 層	40	逆位相	20	人工配合試料	45	同位相
7	樽前 d 層	35	水平のみ	21	人工配合試料	45	逆位相
8	樽前 d 層	35	同位相	22	人工配合試料	40	水平のみ
9	樽前 d 層	35	逆位相	23	人工配合試料	40	同位相
10	恵庭 a 層	45	水平のみ	24	人工配合試料	40	逆位相
11	恵庭 a 層	45	同位相	25	人工配合試料	35	水平のみ
12	恵庭 a 層	45	逆位相	26	人工配合試料	35	同位相
13	恵庭 a 層	40	水平のみ	27	人工配合試料	35	逆位相
14	恵庭 a 層	40	同位相				

3. 実験方法

斜面模型は、表層、弱層、基盤層で構成されている（図1）。弱層地盤材料は北海道胆振東部地震で崩壊した斜面地盤材料の樽前 d 層と恵庭 a 層の2種類を用いた。また、既往の研究¹⁾を参考に、人工配合試料（珪砂6号、ベントナイト、水を重量比100：1：10で配合）を用いた。弱層勾配を45度、40度、35度の3種類、加振方向を水平のみ、水平鉛直同時加振（同位相）、水平鉛直同時加振（逆位相）の3種類をそれぞれ変化させて図2に示す合計27ケースの実験を行う（表1）。

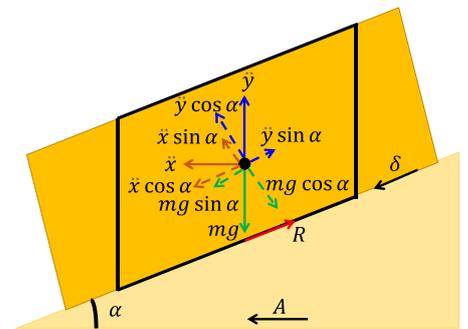


図2 無限斜面モデル

4. 分析方法

図2に、無限斜面モデルの力の釣り合いを示す。基盤層から、水平絶対加速度Aの地震動が無限斜面に入力されるとする。この地震動により、斜面土塊に水平加速度x・鉛直加速度yが発生して、向きが逆になる慣性力として斜面に作用する。力の釣り合いより、斜面土塊の最大摩擦力Rは式(1)のように求められる。

$$R = cl + (mg \cos \alpha + m\ddot{x} \sin \alpha + m\ddot{y} \cos \alpha) \tan \phi \tag{1}$$

キーワード 斜面崩壊, 振動台, 現地試料, エネルギー

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校

Tel : 046-841-3810(3512), E-mail : shinoda@nda.ac.jp

ここで、地盤試料の粘着力を c 、内部摩擦角を ϕ 、斜面長を l 、斜面土塊の質量を m 、重力加速度を g 、斜面勾配を α である。摩擦による仕事量（エネルギー） E_f は、上記摩擦力 R に斜面土塊の移動量 δ を乗じたものであるため、式(2)のように求められる。

$$E_f = R \times \delta \tag{2}$$

一方で、位置エネルギー U の減少分 ΔU は、斜面土塊の移動量 δ から式(3)のように求められる。

$$\Delta U = mg\delta \sin\alpha \tag{3}$$

斜面土塊が滑り出した場合、式(1)の粘着力成分がほぼ 0 になると仮定して、運動エネルギーの影響が小さいと仮定すると、斜面表層部の摩擦による仕事量 = 斜面表層部の位置エネルギーの減少分となる。この関係式から、表層と弱層の境界部の摩擦角は式(4)のように求められる。

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{mg\delta \sin\alpha}{mg\cos\alpha + m\dot{x}\sin\alpha + m\dot{y}\cos\alpha} \right) \tag{4}$$

5. 実験結果

図3から図5に弱層勾配が45度、40度、35度それぞれの表層と弱層の境界部の摩擦角と斜面変位の関係を示す。図3の弱層勾配が45度の場合では、弱層地盤材料が樽前d層で加振方向が逆位相加振の場合と、弱層地盤材料が恵庭a層で加振方向が水平加振の場合で、若干の違いはあるものの、ほとんどのケースで表層と弱層の境界部の摩擦角が弱層勾配の45度と等しいことが分かる。図4の弱層勾配が40度の場合では、弱層地盤材料が恵庭a層で加振方向が水平加振と逆位相加振の場合で、若干の違いはあるものの、ほとんどのケースで表層と弱層の境界部の摩擦角が弱層勾配の40度と等しいことが分かる。図5の弱層勾配が35度の場合では、弱層地盤材料が恵庭a層で加振方向が同位相加振の場合で、若干の違いはあるものの、ほとんどのケースで表層と弱層の境界部の摩擦角が弱層勾配の35度と等しいことが分かる。

6. まとめ

大きな斜面変位が発生した場合では、表層と弱層の境界部の摩擦角は、弱層地盤材料の種類や強度によらず、弱層勾配とほぼ等しくなることが判明した。なお、この分析は、斜面土塊が滑り出して、表層と弱層の境界部の粘着力がほぼ0になり、斜面表層部の摩擦による仕事量 = 斜面表層部の位置エネルギーの減少分を仮定していることに留意されたい。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 20K05057 の助成を受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) Shinoda, M., Watanabe, K., Sanagawa, T., Abe, K. Nakamura, H., Kawai, T. and Nakamura, S. : Dynamic behavior of slope models with various slope inclinations, Soils and Foundations, Vol. 55, No. 1, pp.127-142, 2015.

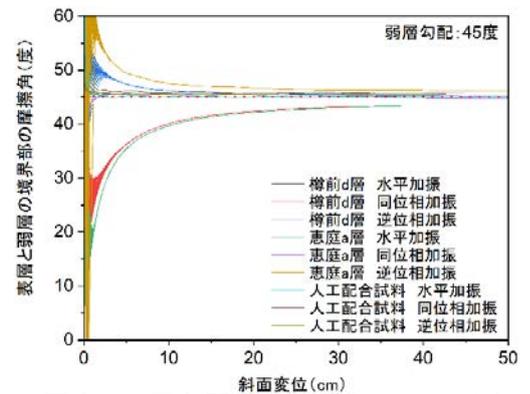


図3 表層と弱層の境界部の摩擦角と斜面変位の関係（弱層勾配：45度）

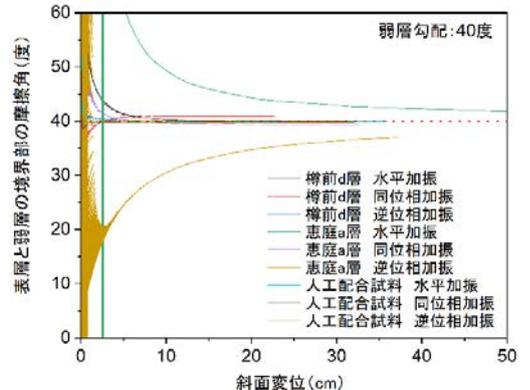
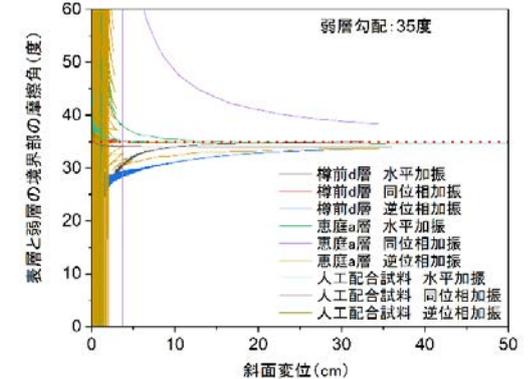


図4 表層と弱層の境界部の摩擦角と斜面変位の関係（弱層勾配：40度）



斜面変位の関係（弱層勾配：35度）