

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360214

研究課題名(和文) 斜面崩壊開始条件のエネルギー的評価のための基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental study on threshold energy evaluation for slope failure

研究代表者

國生 剛治 (KOKUSHO TAKAJI)

中央大学 工学部 教授

研究者番号：80286955

研究成果の概要(和文)：

砂斜面上で剛体ブロックモデルを滑動させる振動台実験と静的引張実験を比較することで斜面崩壊閾値がどのような条件で決まるかを検討した。滑りが始まる1波ごとのエネルギー閾値と静的引張実験でのブロックの力～変位関係がピークを示す点までのエネルギーがほぼ同等な値を示すことがわかり、実際の斜面においても滑り土塊のこのエネルギーを知ることにより地震時斜面崩壊が始まる閾値の評価ができる可能性があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：

Seismically induced slope failures have normally been evaluated based on force equilibrium on a potentially sliding soil mass. This force approach can evaluate a safety factor against slope failure, but cannot predict large sliding deformation, once failure occurs. In order to evaluate slope failures including flow failures from their initiation to termination, an energy approach has been developed, which showed that not only the travel distance of failed slope debris but also the threshold of failure initiation can be uniquely evaluated by seismic shaking energy. It seems quite unexpected that the energy, instead of conventionally used acceleration, can serve as a unique threshold for slope failures. In order to clarify the mechanism associated with the energy threshold, two types of model experiments have been performed; (a) shake table tests on a rigid block resting on a sand slope with variable thickness and (b) loading tests of the same rigid block on the slope by horizontal pull force simulating the inertia force during shaking. The two test results, together with numerical analyses, have revealed that the energy per one cycle at the initiation of block sliding is almost identical with the work done in the load~displacement curve up to the peak load. Thus it has been clarified that the energy-base evaluation of slope failure initiation can be possible instead of acceleration in actual slope failure evaluations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	0	0	0
2007年度	0	0	0
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000

2009年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	9,100,000	2,730,000	11,830,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：地盤工学

キーワード：地震防災，斜面崩壊，崩壊閾値，地震波動エネルギー，模型実験，摩擦係数

1. 研究開始当初の背景

(1)従来，斜面崩壊の評価は，力の釣合い式に基づいた滑り面法での安全率による滑り発生の有無の評価，または Newmark 法により滑り面上の剛体ブロックが限界加速度を超えた場合の移動距離の算定により行われてきたが，長距離流動を含む斜面崩壊の簡便な評価法はなかった。

(2)申請者の研究チームは砂斜面の振動台実験により，斜面崩壊による崩壊土塊の流動距離が震動エネルギーにより一意的に表わされることを明らかにし，これに基づきエネルギー概念による崩壊斜面の流動距離評価法を提案した（石澤・國生 2006, Kokusho & Ishizawa 2007）。

(3)斜面勾配と入力振動数を変化させた実験より，砂斜面の流動距離は振動数の違いに関わらず勾配ごとに震動エネルギーと一意的な関係が成り立つことが分かった。一方，最大加速度に対しては振動数ごとに流動距離が異なり，加速度よりエネルギーの方が斜面変形評価に適していることが示された。

(4)現行設計法では，斜面崩壊は加速度で決まるとされている。ところが入力振動数を変化させると加速度閾値が変化してしまうのに対し，エネルギーによれば閾値が一意的に決まることが実験で示された。すなわち，崩壊後の流動距離のみでなく崩壊開始閾値も

エネルギーで決まることが明らかになった。(5)しかし，現実の設計を現在の加速度からエネルギーに換えるためには，崩壊開始エネルギー閾値がどのようにして決まるかを明らかにすることが大きな課題である。

2. 研究の目的

斜面崩壊開始閾値が現行設計法のような加速度一定の条件では決まらないとの知見に基づき，以下を目指す。

(1)閾値が振動エネルギーで一意的に決まる基本メカニズムの解明

(2)実斜面で崩壊開始閾値評価の道筋の提示

3. 研究の方法

(1)基本的なメカニズム解明のため，一定勾配の斜面上に置いた鉄製剛体の小型模型振動台実験を異なる斜面勾配と入力振動数について行い，剛体の滑動開始時の加速度とエネルギーを高精度で計測し，滑動開始閾値がどのようなパラメータにより適切に表わされるかを調べる（図-1）。

(2)同じ一定勾配の斜面上に置いた鉄製剛体の重心位置をモーターにより一定速度で引っ張り，その荷重～変位関係と滑り開始条件との関連を調べる（図-2）。

(3) 上記(1)(2)とさらに剛体滑りの時刻歴解析により、剛体の滑り開始条件とエネルギー閾値の関係を明らかにし、設計への適用法を提案する。

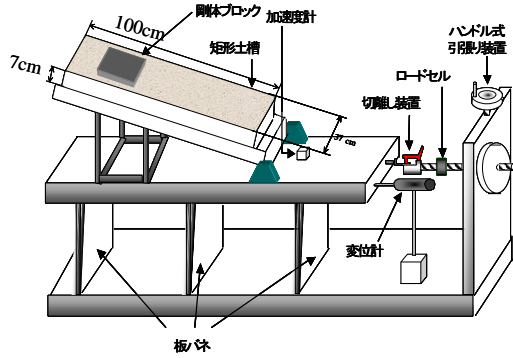


図-1 実験装置

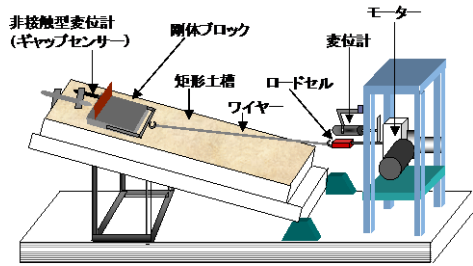


図-2 実験装置

4. 研究成果

一定層厚の模型砂層斜面上に鋼鉄製ブロックを載せ、それに自由減衰振動を与える振動台実験において、1波ごとの振動エネルギー ΔE_{E0} のブロック滑動開始に対応した閾値範囲は、砂層が厚くなるほど増加し、砂層中での内部減衰を反映している可能性が考えられる(図-3)。

(1) 実験結果をNewmark法による数値解析と比較したところ、Newmark法では剛体斜面を仮定しているため、当然地盤のせん断変形によるエネルギーを求めることはできないが、振動台実験での滑り開始後の変位の時刻歴を良く再現することができ、それより等価な摩擦係数を求めることができた。

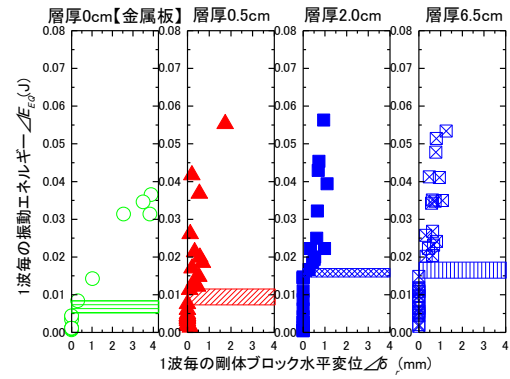


図-3 斜面角度 15° における各層厚での1波ごとの振動エネルギー ΔE_{E0} と剛体ブロックの水平変位量 $\Delta \delta_r$ の関係

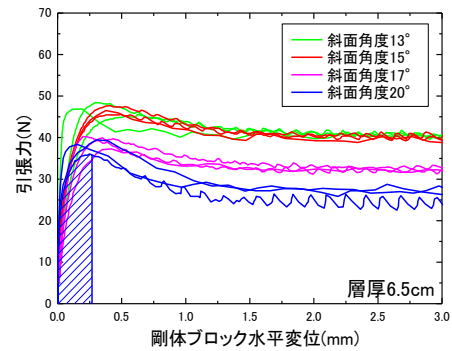


図-4 静的引張試験での力～変位関係とピークまでの仕事

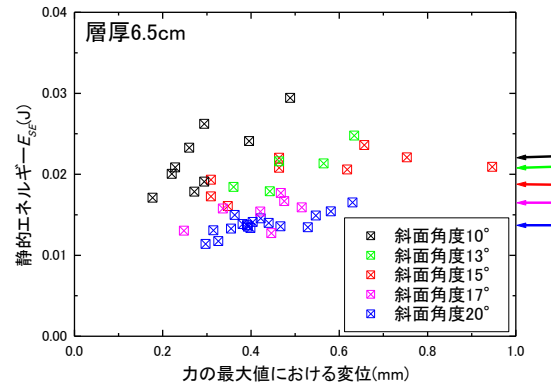


図-5 静的エネルギー E_{SE} と力の最大値における変位の関係および E_{SE} の平均値(矢印)

(2) 振動台実験の水平慣性力に対応した引張実験を行い、引張荷重がピークに達するまでの荷重～変位関係から剛体ブロックが動き始めるまでになした仕事である静的エネルギー E_{SE} を算出したところ、静的エネルギー

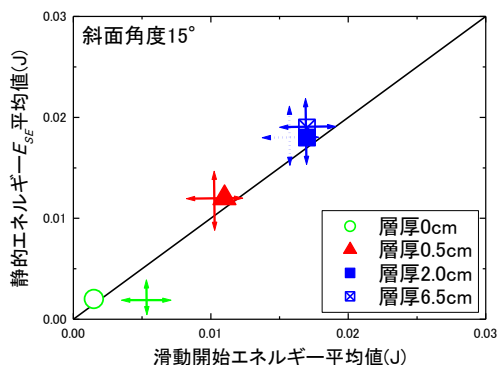


図-6 各層厚での静的エネルギー E_{SE} 平均値と滑動開始エネルギー平均値の斜面角度 15° における関係

E_{SE} は砂層の層厚が0から2.0cmの範囲では厚い方が大きいことが明らかになった(図-4, 5). また層厚が2.0cmから6.5cmの範囲では静的エネルギーがほぼ同等なことから、層厚2.0cm付近までの砂層のひずみエネルギーが滑りに関与していると考えられる。

(3) 振動台実験から得られる慣性力～ブロック変位関係のピーク荷重までの仕事から算出した仕事と、引張実験の荷重～変位関係のピーク荷重までの仕事から得られる静的エネルギー E_{SE} の平均値は、層厚ごとにほぼ近い値を示すことが分かった。

(4) 振動台実験の自由減衰振動から得られる1波ごとの振動エネルギー ΔE_{EQ} においてブロック滑動が終息する時点の閾値(図-6の横軸)は、砂層の層厚や斜面角度ごとに静的エネルギー E_{SE} (図-6の縦軸)とほぼ近い値を示すことがわかった。

(5) 以上の結果、斜面上の剛体ブロックの力～変位関係がピークを示す点までの斜面地盤のひずみエネルギーによって、地震時斜面崩壊が始まるエネルギー閾値が決まる可能性があることがわかった。

この知見は現行の加速度や静的震度による斜面安定評価の方法に根本的見直しを迫るものである。今後、実際に斜面において ΔE_{EQ} の閾値を設定する具体的方法の提案と、実際の崩壊事例との対比によるその有効性の実証に

取り組んでいく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

Kokusho, T., Ishizawa, T. and Hara, T.: Slope failures during the 2004 Niigatken Chetsu earthquake in Japan, *Earthquake Geotechnical Case Histories for Performance-Based Design*, Balkema, CRC Press, 47-70, 2009.

Kokusho, T., Ishizawa, T. and Nishida, K.: Travel distance of failed slopes during 2004 Chuetsu earthquake and its evaluation in terms of energy, *Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Elsevier*, 29, 1159-1169, 2009.

[学会発表] (計4件)

國生 剛治, 石澤 友浩, 長谷 祐樹, 山本 祐美加, 小柳 智行(2010): 地震時斜面崩壊のエネルギー閾値についての模型実験, 第13回日本地震工学シンポジウム講演集, CD版.

國生 剛治, 石澤 友浩, 長谷 祐樹, 山本 祐美加, 小柳 智行 (2010): 地震時斜面崩壊のエネルギー的評価法の開発—その1: 振動台実験による滑り開始エネルギーの検討—, 第45回地盤工学研究発表会発表論文, 1625-1626.

國生 剛治, 石澤 友浩, 長谷 祐樹, 山本 祐美加, 小柳 智行 (2010): 「地震時斜面崩壊のエネルギー的評価法の開発—その2: 静的引張試験と振動台実験による滑り開始エネルギーの検討—」第45回地盤工学研究発表会発表論文集, 1627-1628.

國生剛治, 石澤友浩 (2010): 地震時斜面崩壊における土塊流動距離のエネルギー的評価と実崩壊例への適用, 日本地すべり学会誌 47巻3号 (5月), 121-128.

[その他]

ホームページ等

<http://www.chuo-u.ac.jp/lab/doshitu/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

國生 剛治 (KOKUSHO TAKAJI)

中央大学・理工学部・都市環境学科

研究者番号：80286955