

地震時斜面変形量のエネルギー的評価法の開発

～ 剛体ブロックモデルと砂斜面を用いた振動台実験による変形量と振動エネルギーの関係 ～

中央大学理工学部 正会員 ○石澤友浩 國生剛治

学生会員 西田京助 片桐優貴 阪東壘 森谷啓一郎

1. はじめに

これまで、地震による斜面安定の評価には、滑り土塊の力のつり合いにより崩壊の有無を判断し、Newmark法¹⁾などにより滑り面に沿った変形量を求める方法が用いられてきた。それらの方法は崩壊の有無や滑り面に沿った剛体的な変形量の算定に適用されるものの、せん断変形を伴う崩壊や流動崩壊を評価することは困難である。

本研究では、図-1に示すように斜面崩壊のエネルギーバランスにより、エネルギーの観点から斜面変形量を定量的に評価することを目指している²⁾。本稿では、単純な剛体ブロックモデルと振動台模型実験を比較することにより、剛体ブロックモデルによる残留変位量評価の可能性について検討した。

2. 剛体ブロックモデルと模型実験

図-2に示すような滑り平面上を滑動する斜面上の剛体ブロックの滑動に関わるエネルギーを考えると、以下ようになる。

$$-\delta E_p = Mg\beta\delta_r \quad (1)$$

$$E_{DP} = \frac{\mu(1+\beta^2)}{1+\mu\beta} Mg\delta_r \quad (2)$$

$$E_{EQ} = \frac{(\mu-\beta)}{(1+\mu\beta)} Mg\delta_r \quad (3)$$

図-3に示すような板バネ支持式小型振動台の上に矩形アクリル土槽を載せ、その中に試験体 A-1として図-3(a)に示すような木製の斜面を作成し、その上にサンドペーパーを貼り付けた鉄板を設置し斜面上を滑らせる。また、試験体 A-2としてアクリル土槽内に模型乾燥砂斜面を作成した。この振動台実験では、以下のような2種類の振動を与えた。初期に振動台を水平方向に一定変位まで引張り、切離すことにより試験体に自由減衰振動を与える、モーターを回転させることにより模型斜面に変位制御で一定振幅の強制振動を与える。

一方、試験体 A-1、A-2と同質量の剛体を完全に固定したモデル(それぞれ試験体 B-1、B-2)についても同様な実験を行い、では試験体 A と B の減衰振動波形の比較より、ではロードセルより得られた力 F と振動台変位 u の履歴ループから試験体の滑動に使われる振動エネルギー E_{EQ} を算出した²⁾。図-4は、

の実験における試験体 A と試験体 B の振動波形の比較である。また、振動台の入力振動数や斜面角度を変化させ、それらが試験体の変位量に与える影響についても検討した。

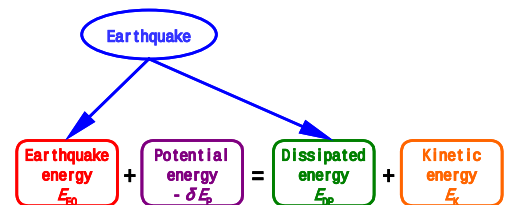


図-1 エネルギーバランス

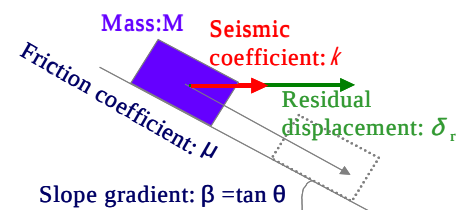


図-2 剛体ブロックモデル

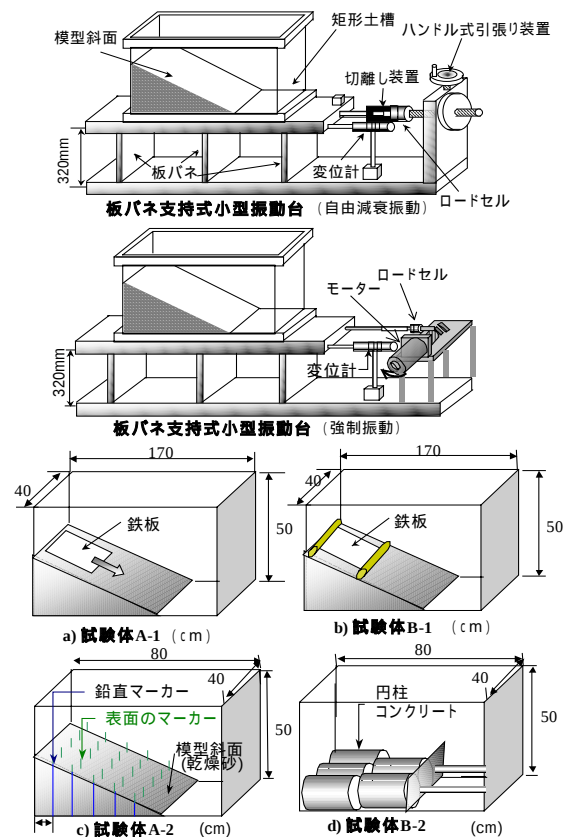


図-3 実験装置、実験材料

キーワード 地震、エネルギー、斜面安定、振動台実験

連絡先 中央大学理工学部 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1799

3. 実験結果

図-5 は鉄板の試験体 A-1 について異なる斜面角度, 振動数による基準化振動エネルギー E_{EQ}/Mg と水平方向の変位量 δ_r の関係を示したものである。これより今回変化させた振動数の範囲では, 入力振動数や入力波形によらず両者の間に斜面角度ごとにほぼ一意的関係が成り立っている。また, 図中の直線は実験結果との一致が得られるように摩擦係数を $\mu=0.53$ と設定した場合の式(3)から算定される理論的關係であるが, 実験値と良く一致していることがわかる。

図-6 には乾燥砂を用いた場合の基準化振動エネルギー E_{EQ}/Mg と水平方向の変位量 δ_r の関係を示している。砂の場合においても斜面角度毎に振動数や入力波形によらない良い相関関係が見られる。 $\mu=0.86$ と設定したときの式(3)から算定される直線も同図中の合わせて示している。

以上より, もし適切摩擦係数 μ を推定すること^{2) 3)} ができれば, 単純な剛体ブロックモデルによって, 剛体だけでなく連続的に変形する乾燥砂模型斜面においてもエネルギーにより変形量を精度良く評価できることが明らかとなった。

4. まとめ

- (1) 模型実験結果に剛体ブロックモデルの式を当てはめてみたところ, 適切な摩擦係数 μ を用いれば, 剛体だけでなく乾燥砂模型斜面においても斜面変形量を精度良く評価できることが分かった。
- (2) 強制振動実験においても斜面変形に使われる振動エネルギー E_{EQ} と変位量 δ_r の関係は, 自由減衰振動により得られた結果と良く一致することが分かった。
- (3) したがって, エネルギー E_{EQ} により斜面変形量を評価するエネルギーのアプローチが, 地震のような強制振動入力に対しても適用できることが示された。

謝辞: この研究は文部科学省科学技術振興調整費による委託研究開発(活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案, 研究代表者: 小長井一男)の一環として実施したものである。末筆ながら関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Newmark, N.W.: Effects of earthquakes on dams and embankments, *Fifth Rankine Lecture, Geotechnique* Vol.15, 139-159, 1965.
- 2) 石澤友浩, 國生剛治: エネルギー法による地震時斜面変形量評価方法の開発, 土木学会論文集 C, Vol.62, 論文 No.4, pp. 736-746, 2006。
- 3) 國生剛治, 石澤友浩: エネルギー概念による地震時斜面流動量評価法と 2004 年新潟県中越地震への適用, 土木学会地震工学研究発表会 2007

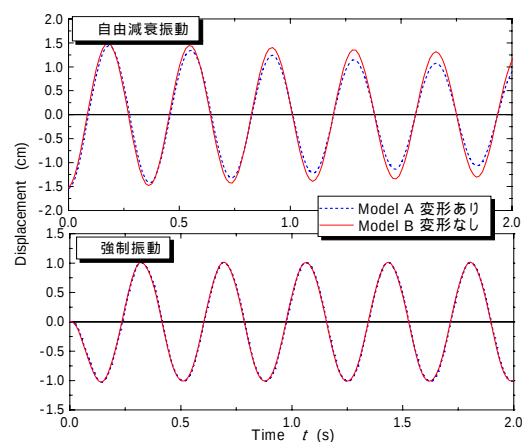


図-4 試験体 A と B の振動波形の比較

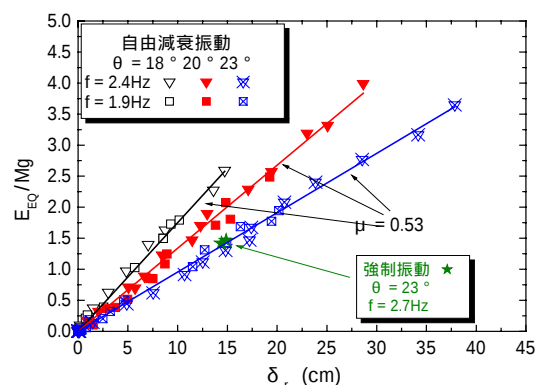


図-5 異なる振動数 f , 斜面角度 θ の模型実験による基準化振動エネルギー E_{EQ}/Mg と水平方向の変位量 δ_r の関係 (試験体 A-1)

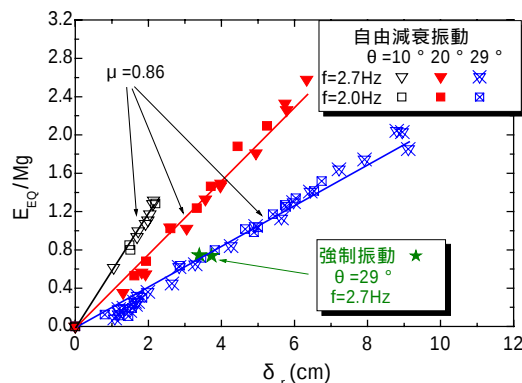


図-6 異なる振動数 f , 斜面角度 θ による基準化振動エネルギー E_{EQ}/Mg と水平方向変位量 δ_r の関係 (試験体 A-2)