

地震時斜面変形量のエネルギー的評価法の開発(その2)  
～強制振動模型実験による変形量と振動エネルギーの関係～

中央大学工学部 正会員

國生 剛治 石澤 友浩

学生会員

○阪東 壘 西田 京助 片桐 優貴 森谷 啓一郎

1. はじめに

地震時の斜面安定の評価には、静的震度を考慮した滑り面法や加速度時刻暦を用いた Newmark 法<sup>1)</sup>などが用いられてきたが、これらの方法で崩壊後の大きな変形量や下流への影響範囲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<sup>2)</sup>を用いて、エネルギーの観点から斜面の流動変形量を定量的に評価することを目指している。既報の振動台模型実験より、自由減衰振動の場合には、斜面変形に寄与する振動エネルギー  $E_{EQ}$  と斜面変形量  $\delta_r$  に密接な関係があることが明らかになった。

本稿は、振動台に定常波を与えた実験においても振動エネルギー  $E_{EQ}$  と斜面変形量  $\delta_r$  に一意的な関係がみられるかどうかを検討するために、乾燥砂模型斜面を用いた強制振動実験を行った。

2. 実験方法

図-2 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て、その中に空中落下法により室乾状態の豊浦砂の模型斜面を作成した。その際、相対密度を  $D_r \approx 40\%$  と  $30\%$ 、斜面角度を  $\theta \approx 29^\circ$  とした。

この振動台実験では、モーターを回転させることにより矩形土槽内に作成した模型斜面に変位制御で  $f=2.7\text{Hz}$ 、一定振幅の強制振動を与える。変位計とロードセルを図-2 の a) に示す位置に設置し、砂斜面の変化を上部と正面からビデオカメラで観察した。

また、模型斜面の変形に寄与した振動エネルギー  $E_{EQ}$  を算出するため、模型斜面(試験体 A)と質量、重心を一致させたコンクリート円柱のモデル(試験体 B)についても同様な条件で実験を行った。図-3 は試験体 A, B の強制振動波形の比較を示したグラフである。両振幅  $2\text{cm}$  の変位を 6 波与えた。この図より、試験体 A, B に全く同じ波 0 形を与えることができ、再現性の高さを確認することができた。

3. 実験結果の整理

この強制振動実験では、1 波毎の損失エネルギー  $\Delta W$  をロードセルより得られた力  $F$  と振動台変位  $u$  の履歴ループから算出する。

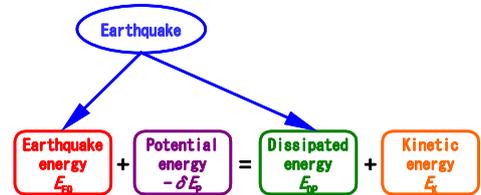
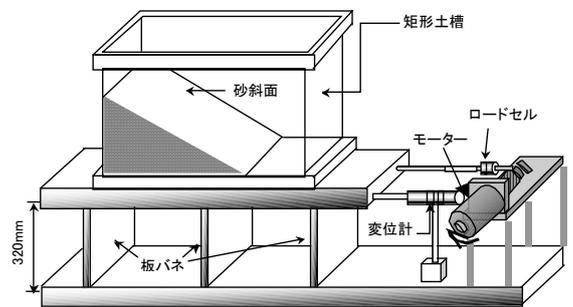
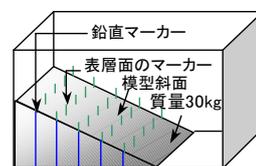


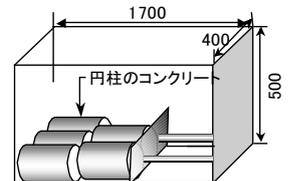
図-1 エネルギーバランス



a) 実験装置



b) 試験体A



c) 試験体B

(単位 :mm)

図-2 実験装置とその詳細

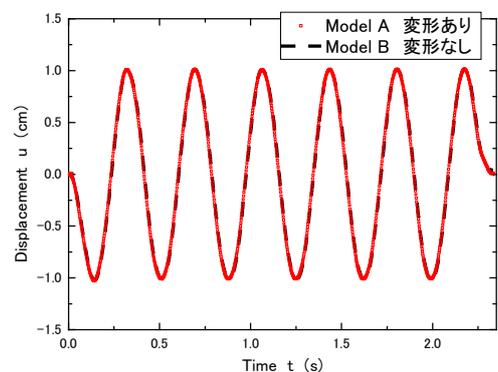


図-3 試験体 A, B の定常振動波形の比較

キーワード 地震、エネルギー、斜面安定、振動台実験

連絡先 中央大学工学部土木工学科土質研究室 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1799

その関係を示したグラフが図-4 であり、縦軸の  $F$  は+記号が引張力を表している。図-4 より、1 波目では振動台を動かすときに大きな引張力がかかっていることがわかる。その後 2~5 波目ではほぼ同じようなループとなっていた。また、最後の 6 波目で振動台を止める方向に大きな圧縮力がかかっていることも読み取れる。この履歴ループから、一波毎の損失エネルギー  $\Delta W$  を試験体 A と試験体 B それぞれについて算出し、斜面の変形で消費された 1 波毎の振動エネルギーの増分  $\Delta E_{EQ}$  を  $\Delta E_{EQ} = \Delta W_A - \Delta W_B$  で計算した。その際、振動開始時と終了時のばらつきを避けるために 1 波目と 6 波目を除き、2~5 波目についての検討を行った。

4. 実験結果

図-5 は、試験体 A, B の 1 波毎の損失エネルギー  $\Delta W_A$ ,  $\Delta W_B$  を示している。試験体 A については相対密度  $D_r \doteq 40\%$ , 30% の実験をそれぞれ 2 回、試験体 B については 3 回行った。試験体 B について行った 3 回の実験で、波数毎のばらつきも小さく、全体的にはほぼ同じ値をとっていることが読み取れる。さらに、斜面が変形し内部エネルギー損失のある試験体 A と明瞭に差が出ていることがわかる。また、 $D_r \doteq 30\%$  の方が 1 波毎の損失エネルギーが大きくなるがわかる。

図-6 は図-5 に示した 1 サイクル毎の振動エネルギー  $\Delta E_{EQ} = \Delta W_A - \Delta W_B$  を 1 波目と 6 波目を除く全てのサイクルについて合計した  $E_{EQ}$  と、2~5 波目までの砂斜面の総変位量  $\delta_{rs}^{(2)}$  (表層面に挿入したマーカーの試験前後における水平変位量の平均値により算出) の関係を星印により示している。ここで、 $\Delta W_B$  については 3 回の実験について各サイクル毎の平均値を用いている。また、同図中には既往の自由減衰振動実験の同斜面角度、同振動数、相対密度  $D_r \doteq 40\%$ , 30% の実験結果も合わせて示しているが、それらの関係は良く一致している。

5. まとめ

砂斜面の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  $E_{EQ}$  を測定することができ、変位量  $\delta_{rs}$  と振動エネルギー  $E_{EQ}$  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。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的アプローチが、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；今回の調査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 embank -ments, *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

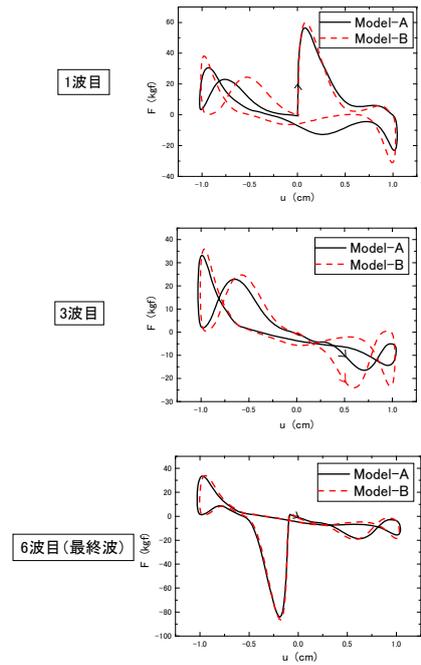


図-4 試験体 A, B の力  $F$  と変位  $u$  の履歴ループ

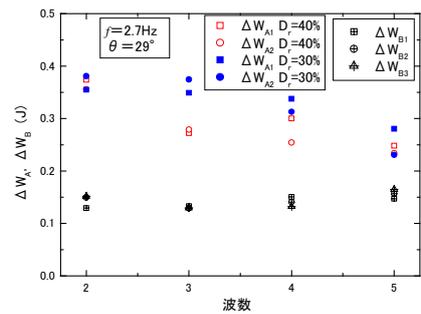


図-5 1 波毎の損失エネルギー  $\Delta W_A$ ,  $\Delta W_B$

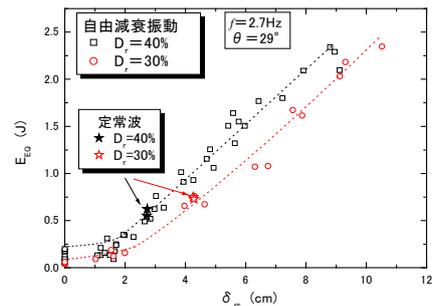


図-6 振動エネルギー  $E_{EQ}$  と総変位量  $\delta_{rs}$  の関係