

地震動のエネルギー的特性と斜面崩壊方向との関連

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治
 中央大学 学生会員 ○川合 昭彦
 中央大学 学生会員 佐川 拓也

1. はじめに

本研究では斜面崩壊方向と地震波動エネルギーの関係を検討するため、2008年岩手宮城内陸地震における多数の斜面崩壊事例について、観測地震動から振動エネルギーの卓越方向との比較分析を行う。その研究的背景としては、以下の既往研究がある。すなわち、図1に示す模型振動台実験により、剛体ブロックの滑動に使われる地震波エネルギーは慣性力が下流方向（加速度が斜面上流方向）を向いている間のエネルギーに限られるとの知見が得られた。すなわち、図2に例示する振動台加速度・速度(上段)と振動台速度・ブロック相対変位(下段)において、加速度がマイナス(上流向き)の時(図中の矢印で示す区間)のみブロックが滑っていることが分かる。

これらの実験的知見に基づき、ここでは実崩壊斜面近傍での地震記録を用い、EW・NS方向の加速度・速度時刻歴を斜面崩壊方向と直交方向に分解し、さらに加速度が上流方向に向かっている間の速度時刻歴を用いて地震動エネルギー累積値を算出した。そのエネルギー累積値と全方向のエネルギー累積値の比の方向角度による変化を計算し、実斜面の崩壊方向の統計的分析結果との関連について検討した。

2. 斜面崩壊に寄与するエネルギーの算定

本検討では、図3に示すように岩手宮城内陸地震の震央から3～32kmの範囲にある5つのKiK-net観測点における地中での強震記録を用いる。

図4は今回用いたKiK-net地震記録のうち、観測点IWTH25(一関西)での地中におけるEW・NS方向加速度の軌跡を示している。加速度時刻歴の基線補正(カット周波数:0.1)を行った後、周波数領域で積分することにより速度時刻歴を算出する。また、速度・加速度時刻歴について斜面崩壊方向と斜面直交方向に分解する。ここで、個々の斜面について崩壊下流方向に北から反時計回りに崩壊方向角度 θ を定義する。また、

$$E = \rho V_s \int_0^t (\dot{u})^2 dt \quad (1)$$

により、全上昇波累積エネルギー E を算出する²⁾。ここで、 $\dot{u}$ は上昇波速度、 ρV_s は各層の波動インピーダンスであり、 $t=0 \sim t$ で積分することにより、その時間で累積した上昇波エネルギーが計算される。

3. 累積エネルギー比の算出

図5はKiK-netIWTH25(一関西)における斜面の崩壊方向角度を $\theta = 0^\circ$ とした場合の崩壊方向加速度・速度時刻歴の例である。加速度が負の区間とその区間での速度を赤くしている。直角2方向の速度時刻歴を使って、式(1)により全時間区間の累積エネルギー E を計算する。また、斜面崩壊方向の加速度が負の区間の速度に

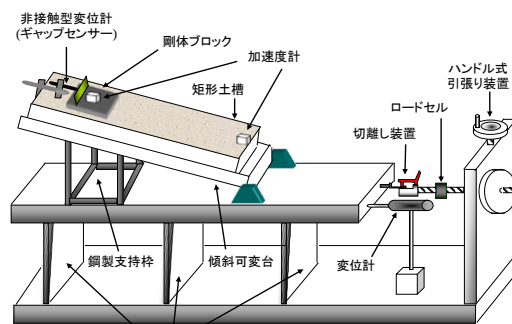


図1 模型振動台実験

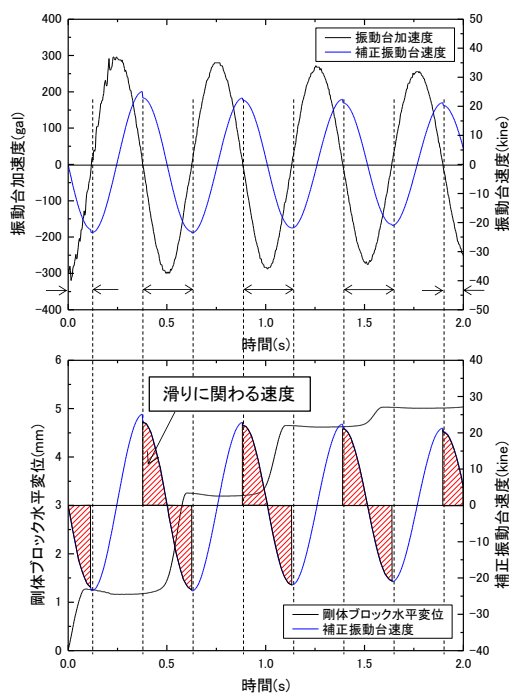


図2 振動台実験における滑動範囲

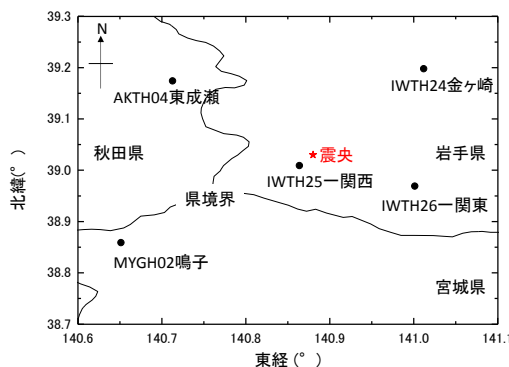


図3 震源と観測点位置

キーワード 上昇波累積エネルギー, KiK-net 強震観測点, 斜面崩壊方向

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科地盤工学研究室 Tel 03-3817-1799

ついて同じく式(1)を用いることにより、累積エネルギー E^* を計算する。これらの比 $\gamma_E = E^*/E$ を累積エネルギー比と呼ぶ事とする³⁾

4. 累積エネルギー比 γ_E と斜面崩壊方向についての検討

図6には岩手宮城内陸地震において観測された1788個の斜面崩壊について、北を基準にした反時計回りの斜面崩壊方向角度と8方位に分けた斜面個数を示している。南東方向が最も多く、次いで東、北の順に多いことが見て取れる。

図7は前述の方法で5箇所のKiK-net観測点について計算した累積エネルギー比 γ_E と斜面崩壊方向角度 θ の関係を表している。地点による違いがあるが、全体的傾向として、ほぼ南北方向($\theta = 0^\circ$ と $\theta = 180^\circ$)付近で累積エネルギー比 γ_E が大きく、そのほぼ直行方向で小さくなるような類似の傾向が現れている。5観測点のうち、特に斜面崩壊の多かったエリアに近い一関西地点を太線で示す。北東と南西方向でエネルギーが大きくなっており、図6の実斜面での崩壊方向との一致度は良くない。

図8は同じ5つのKiK-net強震記録について、斜面崩壊方向に合成した加速度記録の最大値 α_{max} と斜面崩壊方向角度 θ の関係を表している。こちらは観測点による α_{max} の卓越方向に大きな違いがあり、崩壊エリアに近い一関西(太線)は図6の実斜面崩壊方向と良い相関を示している。つまり、斜面の崩壊方向は累積エネルギーの卓越方向より、上流側の最大加速度の卓越方向との関係が示唆される結果となった。

5. まとめ

岩手宮城内陸地震での観測地震動から振動エネルギーの卓越方向を計算し、実際に崩壊した1788個の斜面の崩壊方向と対比した結果、以下の点が明らかとなった。

- ・5箇所のKiK-net記録から計算した振動エネルギーの卓越方向には類似性がある。
- ・一方、最大加速度の卓越方向については、地点により大きな違いがある。
- ・斜面崩壊エリアに近い地震観測点の記録を重視した場合、斜面崩壊の卓越方向は累積エネルギーの卓越方向より最大加速度の卓越方向との整合がよかった。
- ・これは斜面崩壊開始条件が累積エネルギーよりは最大加速度のような1波の振幅に支配されるためと考えられる。したがって、エネルギー的には累積エネルギーより1波のパルスエネルギーの方が重要と思われる⁴⁾。

参考文献： 1)小柳智行(2012)：地震時斜面崩壊開始のエネルギー閾値についての模型実験と斜面安定評価への適用 中央大学大学院修士論文 2)山田拓馬(2014)：崩壊開始エネルギーの斜面崩壊方向を考慮した再検討 中央大学大学院修士論文 3)Kokusho.T(2014)：Energy Approach to Seismically induced Slope Failure and Its Application to Case Histories -Supplement, Engineering Geology Volume 181, Pages 290-296 4)國生・山本・小柳・斉藤・山田(2014)：模型実験による地震時斜面崩壊開始エネルギー閾値の評価と実崩壊事例との対比, 地盤工学ジャーナル Vol.9, No.4, 721-737

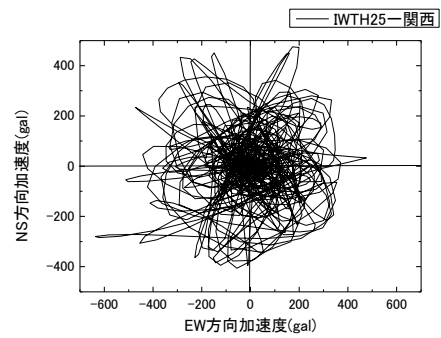


図4 加速度軌跡 (IwTH25 一関西)

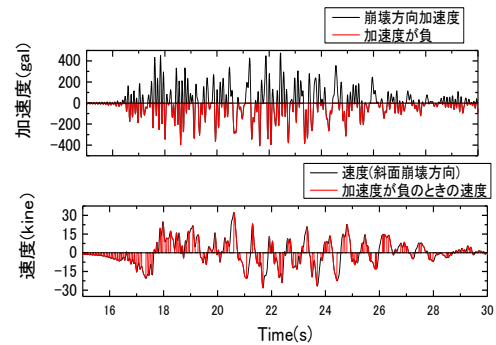


図5 加速度・速度波形 (IwTH25 一関西)

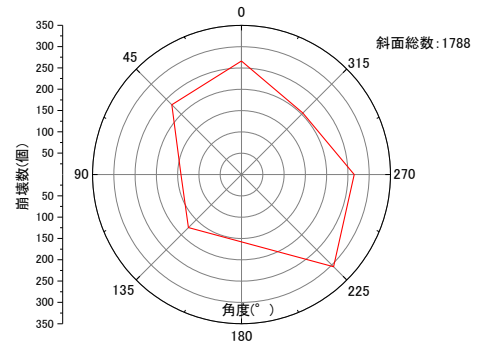


図6 実斜面崩壊方向角度とその個数

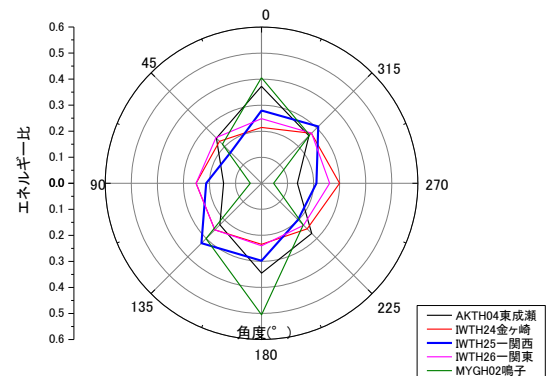


図7 エネルギー比 γ_E と崩壊方向角度 θ

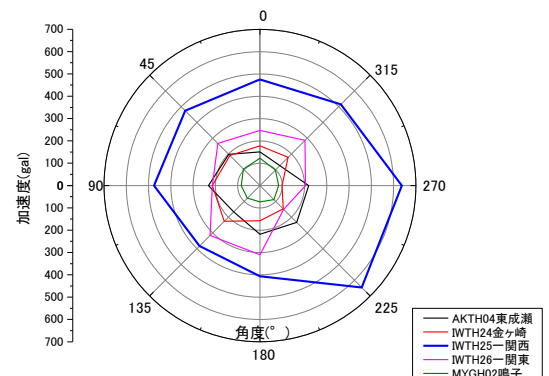


図8 加速度最大値 α_{max} と崩壊方向角度 θ