

地震による岩塊の飛び出し現象に関する一考察

九州大学 正会員 ○陳 光斉
九州大学 正会員 善 功企

1. はじめに

2008年5月12日中国四川省汶川県でM_s8.0の大地震が発生し、観測史上例のない大規模土砂災害が発生した。航空写真などで確認された崩壊斜面は7136個所であり、総計5万個所以上の斜面崩壊が推定されている。今回の地震による斜面崩壊は下記の5つのタイプに分類される。1) 深層地すべり型 (Breach Slide Type) : すべり面がある大規模な地すべりである。すべり面には、衝上断層などの地質時代の異なる地層境界 (不整合面) が関与している可能性がある。衝上断層に沿っては長い時代の繰り返しの地殻変動で、粘土を挟むような破碎部が形成されていると考えられる。2) 深層崩壊型 (Breach Collapse Type) : すべり面が無い硬質・多亀裂性岩盤などが大規模に崩壊するもの。3) 飛び出し崩壊型 (Ejection Type) : 地震による強烈な水平力を受け、岩盤や岩塊の一部が飛び出すような崩壊・崩落である。4) 表層崩壊型 (Skinning Type) : 凸状地形の遷急線付近から表層の崩壊であり、尾根部がすべて肌落ちして平滑な直線斜面と化している斜面もある。5) 震裂山体 (Shattering Type) : 地震動で崩壊寸前までになったものの、不安定なまま斜面に残留している移動土塊・岩盤である。それぞれの崩壊タイプにおける研究は非常に重要である。本研究では、飛び出し崩壊型において考察する。

地震による崩壊土石の高速・遠距離移動メカニズムの解明のために、著者らは地震のトラம்பリング効果を考慮した「多重加速モデル」を提案した (Chen et al. 2009)。本文では「多重加速モデル」に基づき、弾性衝突理論を用いて、飛び出し岩塊に必要な初期速度の獲得メカニズムを解明する。主に、震央地の映秀鎮付近で発生した巨大岩塊の飛び出し現象に必要な大きい初期速度および主震時斜面上の可能な最大地震動を推定することを試みる。

2. 地震による巨大岩塊の飛び出し現象

映秀鎮付近における岩盤斜面は地震による強烈な水平力を受けたため、巨大な岩塊が斜面から剥がれて、大きな水平初期速度をもって、放物線のように飛び出した (写真—1)。巨大な岩塊が高さ $h=71.4\text{m}$ の斜面から飛び出し、放物線の軌跡をもって約 $d=58\text{m}$ の水平距離を移動した (著者がLTI社製のTruPulse360という電子距離測定機器を用いて測定した結果)。岩石は飛び出しで落ちてきた理由は地面に差し込んでいることである。



写真—1 映秀鎮の断層周辺の飛び出し崩壊

キーワード 飛び出し、斜面崩壊、地震、多重加速モデル、衝突、DDA、汶川、速度交換率、PGA

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡744 九州大学工学研究院 TEL 092-802-3386

運動学によれば、この岩塊が斜面から剥がれた時の初期速度と水平移動距離の関係は下式となる。

$$d = v_h^0 \cdot (v_v^0 + \sqrt{v_v^0 + 2gh}) / g \quad (1)$$

ここで、 V_h^0 、 V_v^0 は初期速度の水平と垂直成分、 g は重力加速である。

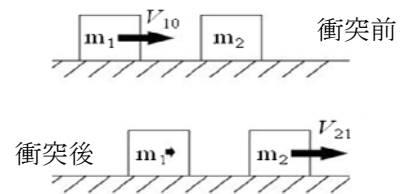
岩塊の初期速度の獲得メカニズムとしては、強烈な地震動によって岩盤斜面は一部が分離破壊され、分離の岩塊は地震動のP-phaseで振動している斜面と衝突し、衝突による速度交換で初期速度が獲得されたと考えられる。斜面の速度は地震加速度のP-phaseにおいて下式で推定される。

$$v_{si} = \int_{t_j}^{t_j+\Delta t} \alpha_i(t) dt \quad i = EW, NS, UD \quad (2)$$

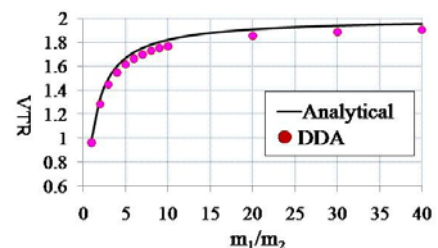
また、弾性衝突理論によると、質量の違い物体は衝突後の速度の交換率は異なる。エネルギー保守および運動量保守により、滑らかな平面上において、速度 V_{10} を持つ物体 1（質量 m_1 ）が静止している物体 2（質量 m_2 ）と衝突すると、物体 2 が獲得した速度が下式で計算される。

$$V_{21} = 2 \cdot \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot V_{10} \quad (3)$$

上式を検証するために、不連続変形法DDAという数値解析法を用いて、衝突ブロックのシミュレーション（図—1）を行い、各種の衝突ブロック同士の質量比において衝突によるブロック間の速度交換率VTR（ $VTR = V_{21}/V_{10}$ ）を計算した（図—2）。 m_2/m_1 は20倍以上になるとVTRは2に近づくことが分かった。斜面の質量は崩壊岩石より遥かに大きいため、計算には $VTR=2$ とする。



図—1 衝突モデル



図—2 衝突による速度交換率 VTR

3. 最大加速度PGAの推定

震央地映秀鎮においては強震観測所がなかったため、巨石の飛び出し距離に基づきPGAを推定してみる。一番近い強震観測所は約 50kmで離れている臥龍（Wolong）観測所である。観測されたPGAは、UD成分が948Gal、EW成分が958Gal、NS成分が653Galとなっている。卓越周期は1 Hzとすると、式（1）と（2）を用いて、最大飛び出し水平距離は32.7mとなり、実際の58mよりかなり小さい。

その差は主に斜面の振動応答効果と震央地からの距離によるものと考えられる。実際の飛び出し水平距離が58mとなるために、斜面のPGAは臥龍観測所で観測されたPGAの1.77倍となる必要がある。即ち、斜面上のPGAは、UD成分が1678Gal、EW成分が1695Gal、NS成分が1156Galと推定される。

4. おわりに

本文は地震による巨大岩塊の飛び出し現象について検討した。弾性衝突理論を用いて、質量の違い物体は衝突による速度の交換率を明らかにした。また、DDA シミュレーションを行い、交換率の式を検証した。斜面の速度は「多重加速モデル」による計算され、飛び出し水平移動距離と斜面の振動速度との関係式より、斜面の最大GPAが推定される。結果としては、震央地映秀鎮の崩壊斜面のGPAは臥龍観測所で観測されたPGAの1.77倍となった。

参考文献

G. CHEN, K. ZEN, Z. Jiang and Y. Jiang: Study on Mechanism of Long-distance Movement of Debris from Landslide Induced by Earthquake, Proceedings of International Conference on Earthquake Engineering, pp648-651, 2009.5