

1. はじめに

地震動を受けると、斜面内には剪断応力が発生し、また間隙水圧の上昇が起こる。剪断応力がその地点の剪断強度を上回ったときに破壊が行われるが、間隙水圧の上昇は剪断強度を低下させる方向に働く。破壊された土体は斜面上を滑動しながら、すべり面の剪断強度を益々低下させ、急速に加速して崩落し、場合によっては土石流となって流下する。

本報告では、このような複雑な斜面崩壊の機構を、一様な傾斜の斜面上を、ブロックと見なした崩壊土塊が滑動するという最も単純化されたモデルに置き換えて論ずることにする。

従来用いられてきた地震時の斜面の安定解析は、水平震度法にしてもニューマーク法にしても、地震動のピーク値のみが対象とされ、その経時変化、逆方向の加速度という因子は入ってこない。そこで、本報告では、地震動の経時変化を考慮したブロックの運動方程式を立て、剪断強度や間隙水圧の振動・すべりに伴う時々刻々の変化をも考慮に入れて、ブロックの滑動過程を検討する方法について述べる。最後に、この方法を昭和59年長野県西部地震による御岳山の大崩壊に適用してみる。

2. 地震時の斜面の運動方程式

時刻  $t$  において、ブロックにかかる限界水平加速度  $A_c(t)$  (斜面の安全率が1になるような水平加速度) は次式で表わされる。

$$A_c(t) = \frac{g(\cos\theta \cdot \tan\phi(t) - \sin\theta) + \frac{1}{M}(C(t) - u(t) \cdot \tan\phi(t))}{\cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\phi(t)} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $M$ : ブロックの質量、 $L$ : ブロックの底長、 $\theta$ : すべり面の傾斜、 $g$ : 重力加速度、 $C(t)$ : 粘着力、 $\phi(t)$ : 内部摩擦角、 $u(t)$ : 間隙水圧、である。

ところで、時刻  $t$  に  $A(t) > A_c(t)$  である水平加速度  $A(t)$  が、斜面の下方に向かう方向にかかっているとすると、このブロックは斜面下方に加速度を生ずる。斜面下方を  $x$  軸の正の方向とすると、ブロックの運動方程式は次式のようになり、この式よりブロックのすべり加速度が計算される。

$$x''(t) = (\cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\phi(t)) \cdot (A(t) - A_c(t)) \quad \dots\dots (2)$$

3. 斜面の滑動過程

(2) 式よりブロックのすべり加速度が計算されるが、その値を用いて線型加速度法により、ブロックのすべり速度、すべり変位量を求めることができる。(2) 式の正負の値によって、その計算には種々の場合分けが必要であるが、基本的には次式を用いて求めることができる。

$$x'_i = x'_{i-1} + \frac{1}{2}(x''_{i-1} + x''_i)(t_i - t_{i-1}) \quad \dots\dots (3)$$

$$x_i = x_{i-1} + x'_{i-1}(t_i - t_{i-1}) + \frac{1}{6}(2x''_{i-1} + x''_i)(t_i - t_{i-1})^2 \quad \dots\dots (4)$$

ただし、ブロックに負の速度が働くときは、抵抗が非常に大きいとして、その速度は0と仮定する。

#### 4. 剪断強度の変化

Coulomb-Navier の破壊条件は、 $c$  を破壊面における物質の剪断強度（粘着力）、 $\phi$  をそれに対する内部摩擦角とすると、 $\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$  となる。 $\sigma$ 、 $\tau$  は破壊面での垂直応力および剪断応力である。この式は、破壊後のすべりに対しても適用でき、このとき、 $\phi$  はすべり摩擦角、 $c$  はすべり面の粗さを表わす定数と考えられる。そこで、この式を地震による斜面の破壊とそれに続くすべりの過程を連続して表現するものと考え、その間の剪断強度の変化を  $c$  と  $\phi$  の変化に帰せしめることにする。

地震による斜面崩壊を考える場合、 $c$  と  $\phi$  に影響を与える要因として、振動とすべりが挙げられるが、ここではすべりのみを取り上げる。すべりによる剪断応力の変化を模式的に示すと、図-1 のようになる。A で破壊された後の B~C が、破壊面（すべり面）でのすべりに対応している。この A~B~C の変化を剪断試験によって確認し、(1)、(2) 式の  $c(t)$ 、 $\phi(t)$  に適用することによって、滑動中の剪断強度の変化を計算に導入することにする。

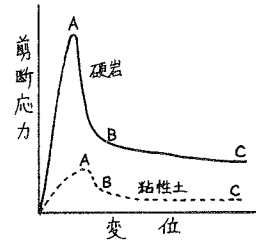


図-1. すべりによる剪断応力の変化

#### 5. 間隙水圧の上昇

地震動による間隙水圧の変化は、種々の機構に基づいており、非常に複雑である。ここでは、2つの要因（振動・すべり）のうち振動のみを考え、その中でも、媒体の弾性変形に起因するもの、および土粒子の配列の変化に起因するものを取り上げる。

前者については、Mavko<sup>1)</sup> によって求められた理論式を用いて計算した。また、後者については、Ishibashi<sup>2)</sup> による実験式を用いて推定した。

#### 6. 御岳崩れへの適用

御岳崩れの崩壊ブロックを、ほぼ中央で上下2つのブロックに分け、初期間隙水圧に差をつけた。また、これらのブロックに作用する地震動は詳細が不明なので、一応、振幅 500 gal、周期 0.5 秒の正弦波がク波継続したものを主要動と考えた。計算結果を図-2 に示す。

限界加速度が、上方ブロックで約 3 秒後、下方ブロックで約 0.5 秒後に 0 となり、この時点で斜面は崩壊に至った。そのときのすべり変位量（移動量）はそれぞれ、1.1 m、0.2 m である。

なお、主要動終了時の加速度と速度はそれぞれ、(上) 28 cm/s<sup>2</sup>、12.9 cm/s、(下) 3.1 m/s<sup>2</sup>、6.3 m/s である。

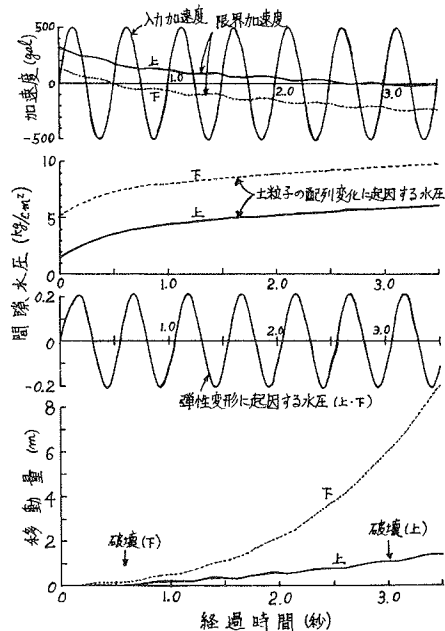


図-2. 御岳崩れの滑動過程

#### 参考文献

- 1) Mavko, G. M. & Harp, E. : Bull. Seis. Soc. America, Vol. 74, No. 4, 1984
- 2) Ishibashi, I., Sherif, M. A. & Tsuchiya, C. : Soil and Foundations, Vol. 17, No. 2, 1977