

## 激しい上下動が崩壊発生に及ぼす影響の検討

川邊 洋

### 1. 斜面にすべりを発生させる加速度

大規模崩壊発生域における地震動の共通の特徴として、極めて大きな上下動（あるいは上下動の地盤表層部での激しい増幅）が観測されている。例えば、台湾・集集地震時の草嶺、新潟県中越地震時の東竹沢、中国・四川地震時の大光包、岩手・宮城内陸地震時の荒砥沢、東北地方太平洋沖地震時の葉の木平では、最寄りの地震観測点で激しい上下動が観測されている。上下動が崩壊発生にどのような影響を及ぼしているのか、考察を加える。

Huang, et al.<sup>1)</sup>によると、斜面下方へのすべり加速度 $S$ は次式で示される。 $S > 0$ のとき、斜面はすべり始めることができる。

$$S = (g \sin \delta - a_d) - \mu_s (g \cos \delta + a_n) - cA/m$$

$$a_d = a_E \cos \delta \cos \phi_s - a_N \cos \delta \sin \phi_s - a_V \sin \delta$$

$$a_n = a_E \sin \delta \cos \phi_s - a_N \sin \delta \sin \phi_s + a_V \cos \delta$$

ここで、 $a_d$ ：すべり面の傾斜方向の加速度（斜面下方が+）、 $a_n$ ：すべり面に垂直な加速度（上方が+）、 $a_E$ ：東向き水平加速度、 $a_N$ ：北向き水平加速度、 $a_V$ ：鉛直加速度、 $g$ ：重力加速度、 $\delta$ ：斜面傾斜角、 $\mu_s$ ：静止摩擦係数、 $c$ ：粘着力、 $A$ ：すべり面の面積、 $m$ ：すべり土体の質量、 $\phi_s$ ：北を基準としたすべり面の走向。

（独）防災科学技術研究所のKiK-netのように、地震計が地表と地中の2個所に設置されている場合を考える。地すべり土体が「地中」と同等の地震動を受けたと見なせる場合の斜面下方へのすべり加速度を $S'$ 、「地表」と同等の地震動を受けたと見なせる場合の斜面下方へのすべり加速度を $S$ とすると、地盤表層部（地中地震計と地表地震計に挟まれた表層地盤）におけるすべり加速度の増幅（あるいは減衰）は次式のように表せる。

$$S - S' = (a_d' - a_d) + \mu_s (a_n' - a_n) \quad ( ' \text{は地中を意味する} )$$

$$= \{ (a_N - a_N') \sin \phi_s - (a_E - a_E') \cos \phi_s \} (\cos \delta + \mu_s \sin \delta)$$

$$+ (a_V - a_V') (\sin \delta - \mu_s \cos \delta)$$

水平動に対しては、 $(\cos \delta + \mu_s \sin \delta)$ あるいはそれに $\sin \phi_s$ や $\cos \phi_s$ をかけた値で効いてくるのに対して、上下動については $(\sin \delta - \mu_s \cos \delta)$ で効いてくるに過ぎない。さらに、下記の条件下では、上下動は全く寄与しないことになる（ $\psi$ は地盤の摩擦角）。

$$\sin \delta - \mu_s \cos \delta = 0, \quad \therefore \mu_s = \tan \delta, \quad \therefore \mu_s \doteq \tan \psi = \tan \delta, \quad \therefore \psi \doteq \delta$$

すなわち、地盤の摩擦角と斜面傾斜がほぼ等しいときには、崩壊発生への上下動の寄与はないと考えられる。

$\delta > \psi$ の場合、水平動と比較すると僅かではあるが、上下動の効果が発生する。斜面の傾斜が大きい場合、上向き加速度のときは、摩擦力増加によるすべり抑制より斜面方向の推力増加によるすべり促進が卓越する。下向き加速度のときは、摩擦力減少によるすべり促進より斜面方向の推力減少によるすべり抑制が卓越する。

り抑制が卓越する。地震動の継続あるいは繰り返しにより、上向き加速度のときに斜面は徐々にすべっていく。

一方、 $\delta < \psi$  の場合も、上下動の効果が生ずる。斜面傾斜が緩いため、上向き加速度のときは、推力増加によるすべり促進より摩擦力増加によるすべり抑制が卓越し、下向き加速度のときは、推力減少によるすべり抑制より摩擦力減少によるすべり促進が卓越する。この場合は、地震動の継続あるいは繰り返しにより、下向き加速度のときに斜面は徐々にすべっていく。

## 2. 適用例

### (1) 岩手・宮城内陸地震による荒砥沢地すべり

KiK-net一関西 (IWTH25) では、とくに表層地盤での上下動の増幅が激しい。荒砥沢地すべりの静止摩擦係数を0.325 (摩擦角がほぼ $18^\circ$ に相当)、すべり面傾斜をほぼ水平と仮定する。北を基準としたすべり面の走向は約 $55^\circ$ である。

$$\mu_s = 0.325 (\tan 18^\circ), \quad \delta = 0^\circ, \quad \phi_s = 55^\circ$$

$$\therefore S - S' = 0.819 (a_N - a_N') - 0.574 (a_E - a_E') - 0.325 (a_V - a_V')$$

すべり面傾斜が $0^\circ$ であるため、上下動が斜面の推力に及ぼす影響はなく、すべり加速度に与えるプラスの影響は、摩擦力の減少という消極的な要因である。

### (2) 東北地方太平洋沖地震による葉の木平地すべり

KiK-net西郷 (FKSH10) でも表層地盤での上下動の増幅が著しい。葉の木平地すべりの静止摩擦係数を荒砥沢と同様0.325 (摩擦角がほぼ $18^\circ$ に相当)、発生源のすべり面傾斜を約 $15^\circ$ と仮定する。北を基準としたすべり面の走向は約 $135^\circ$ である。

$$\mu_s = 0.325 (\tan 18^\circ), \quad \delta = 15^\circ, \quad \phi_s = 135^\circ$$

$$\therefore S - S' = 0.742 \{ (a_N - a_N') + (a_E - a_E') \} - 0.055 (a_V - a_V')$$

すべり面傾斜が地盤の摩擦角より若干小さいものの、極めて近い値のため、上下動の寄与率は0.055という非常に小さい値になっている。しかも荒砥沢同様、すべり加速度に与えるプラスの影響は、摩擦力の減少という消極的な要因である。

このように、地すべりに対する上下動の寄与率は、水平動と比べると小さいが、すべり面の傾斜角が地盤の摩擦角と大きく異なるときには大きくなる。すべり面傾斜角の方が大きい場合は、上下動加速度は地すべりの推力として働き、地盤の摩擦角の方が大きい場合は、上下動加速度は摩擦力を減少させることによって、地すべりを助長している。

## 引用文献

Huang C.C., Lee Y.H., Liu H.P., Keefer D.K. & Jibson R.W., 2001, Influence of surface-normal ground acceleration on the initiation of the Jih-feng-erh-shan landslide during the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, 91(5), 953-958.