

豪雨による深層崩壊発生メカニズムに関する考察

(独) 土木研究所 ○田村圭司, 内田太郎, 鈴木隆司, 松本直樹

1 はじめに

土層のみならず、風化した岩盤まで崩れ落ちる深層崩壊は、規模が大きく甚大な被害を及ぼすことがある。例えば、針原川（1997 年）、水俣市集川（2003 年）は、深層崩壊を起因とする土石流により大きな被害を及ぼしている。従来、このような災害に関して、様々な調査や研究が行われ、発生メカニズムに関しても考察が行われてきた。しかし、既往の研究は特定の深層崩壊を対象に詳細な調査・解析したものが大半であり、多くの深層崩壊を対象に、統一的に検討した事例はほとんど見られない。そのため、深層崩壊の発生機構が定式化されているとは言い難く、深層崩壊発生に関する数値（物理）モデルの構築には至っていない。

そこで、本研究は、近年発生した深層崩壊の事例を中心に、発生メカニズムおよび発生メカニズムに影響を及ぼした因子について統一的に整理・検討した。

2 斜面安定解析による深層崩壊影響因子の抽出

深層崩壊の形状については、十分なデータがあるとはいえず、一般的な深層崩壊の形状は明らかになっていない。そこで、ここでは、Korup and Schlunegger（2007）などを参考に、図 1 に模式図を示すような単純な斜面および崩壊形状を仮定した。図 1 に示すブロックの安全率（ F_s ）は、次のような式で表せると考えられる。

$$F_s = \frac{C + (Wg \cos \beta - U) \tan \phi}{Wg \sin \beta}$$

ただし、

$$C = c \cdot \sqrt{(h-D)^2 + \left(\frac{h}{\tan \theta}\right)^2}$$

$$W = \frac{h}{2 \tan \theta} \cdot D \cdot \rho$$

ここで、 F_s ：安全率、 U ：斜面の抵抗力、 g ：重力加速度、 β ：崩壊斜面勾配、 ϕ ：内部摩擦角、 h ：崩壊斜面の比高、 D ：崩壊深、 θ ：崩壊した斜面全体の平均勾配、 ρ ：土の比重である。そこで、この式を用いて、安全率が 1 となる条件について算出し、図 2 に示した。図 2 に示すように、

- ① 斜面勾配、斜面の比高の増大
- ② 地盤強度（内部摩擦角・粘着力）の低下
- ③ 間隙水圧の増大

が、影響すると考えられる。さらに、詳しく見ると急勾配な領域では、斜面勾配、地盤強度、間隙水圧の違いによる限界（安全率が 1 となる）の比高の差は小さい。一方、比較的勾配の緩い範囲では、地盤強度、間隙水圧の違いによる限界の比高と勾配の関係に大きな違いが見られた（図 3）。

3 深層崩壊影響因子の時間変化とその機構

次に、前節で示した①～③の深層崩壊影響因子がどのようにに変化するのかについて考察する。①の勾配・比高は、地形発達（隆起および谷の剥削）に従い変化すると考えられ、変動帯においては隆起量が強くコントロールする

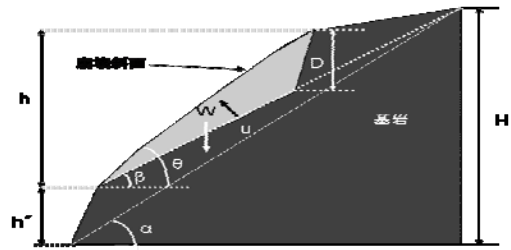


図-1 斜面模式図

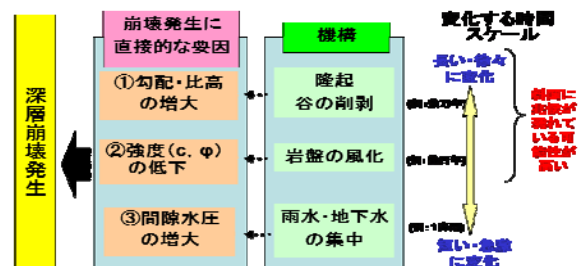


図-2 発生要因の時間変化

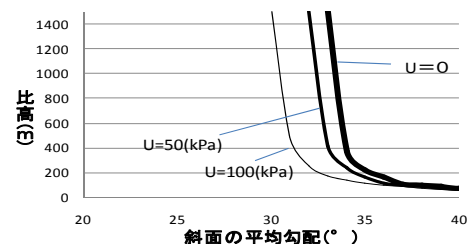
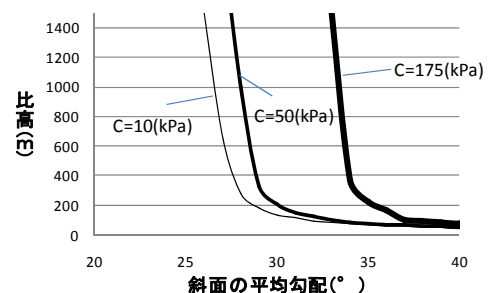


図-3 地盤強度（ C, ϕ ）、間隙水圧と安全率

ことが明らかになってきている（Hovius and Stark, 2006 など）。このことは、内田ら（2008）が、第四紀隆起量が大きいほど、深層崩壊跡地の密度が大きいことを示したと矛盾しない。一方、②の地盤の強度は風化等によって変化すると考えられる。さらに、隆起や風化の影響を受ける①、②の変化は、長い年月をかけて変化すると考えられ、安全率が徐々に低下し、前兆的な地形の緩みが見られる可能性が指摘できる。このことは、多くの深層崩壊地

周辺で前兆的な地形変化（線状凹地など）が見られるとした既往の研究（千木良，2006）と調和的である。

さらに，③の間隙水圧の上昇は雨水・地下水の上昇によって引き起こされる。間隙水圧の上昇をコントロールする要因としては，深さ方向の急激な透水性の低下（例えば，水俣市集川（千木良，2006）），平面方向に地下水が集中する経路（例えば，針原川（地頭蘭ら，1998））が考えられている。また，③の間隙水圧は①，②に比べて，きわめて短い時間に急激に変化すると考えられる。

4 深層崩壊事例に基づく影響因子の考察

前節で述べたように，深層崩壊の発生機構として，時間の観点から，

- ・ 勾配・比高の増大および地盤強度の低下による長期的な安全率の低下
- ・ 間隙水圧の集中による短期的な安全率の低下

の2つに大別できた。このうち，前者については，比較的長期間を経て変化するため，兆候が見られる可能性がある。そこで，ここでは，近年の事例について，兆候の有無を調べ，長期的な安全率の低下を評価した。また，短期的な安全率の低下の機構を検討する目的で崩壊発生時の時間雨量と発生時までの総降雨量の関係を整理した。なお，検討の対象は1961～2005年までに発生し，発生場所，時刻が概ね明らかな18事例を対象とした。

崩壊斜面部の比高と崩壊斜面勾配の関係図を図3に，崩壊時の雨量の関係図を図4に示した。さらに，表2及び図4の結果から，兆候地形の有無，発生時の降雨条件の観点から，1つの表にまとめると，図5のようになり，深層崩壊の機構は以下の4つのタイプに大別できた。

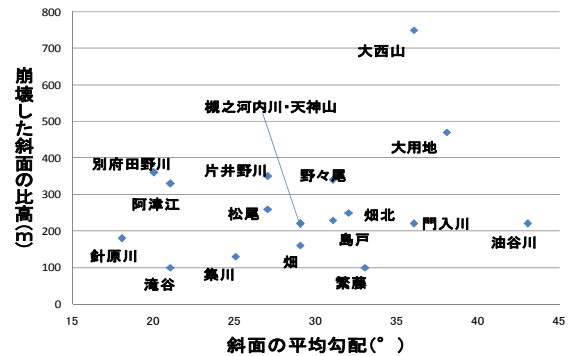
- (1) 長期的な影響が大きく，地下水の平面的な集水性が大きい場所に発生するタイプ
- (2) 長期的な影響が大きく，地下の鉛直方向の透水性の差が大きい場所で発生するタイプ
- (3) 長期的な影響が小さく，地下水の平面的な集水性が大きい場所に発生するタイプ
- (4) 長期的な影響が小さく，地下の鉛直方向の透水性の差が大きい場所で発生するタイプ

このうち，近年の事例では，(1)のタイプのものが圧倒的に多く，70%以上がこのタイプであった。また，事例が少ないものの，(2)～(4)のタイプは比高が小さいものが多く，特に，(3)，(4)の事例は他と比べて勾配も小さかった（図4）

5 まとめと今後の課題

深層崩壊のメカニズムを簡易な物理式と近年の事例を用いて検討した結果，発生に支配的な要因の観点から3つのタイプに分類することができた。今後はこれらの知見を活用し，深層崩壊の発生斜面・時刻の予測技術を構築していきたい。

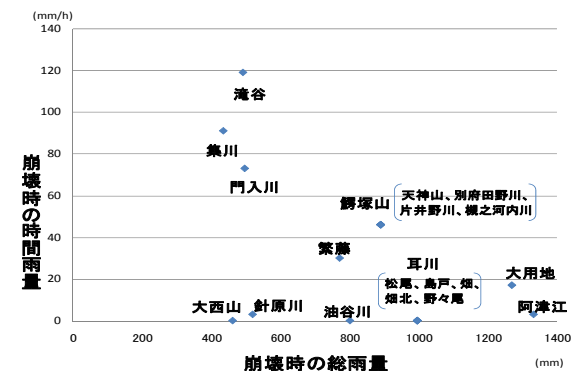
【参考文献】Korup and Schlunegger(2007), Bedrock landsliding, river incision, and transience of geomorphic hillslope-channel coupling : Evidence from inner gorges in the Swiss Alps, J. Geophys. Res. / Hovius and Stark(2006) Landslides from massive rock slope failure, (ed S.G. Evans et al.) / 内田ら (2007), 地質及び隆起量に基づく深層崩壊発生危険地域の抽出, 土木技術資料 / 千木良 (2006), 地すべり・崩壊の場所予測ー地質と地形からみた技術の現状と今後の展開ー, 土木学会論文集 / 地頭蘭ら (1997), 1997年鹿児島県出水市針原川流域で発生した深層崩壊の水文地形学的検討, 砂防学会誌



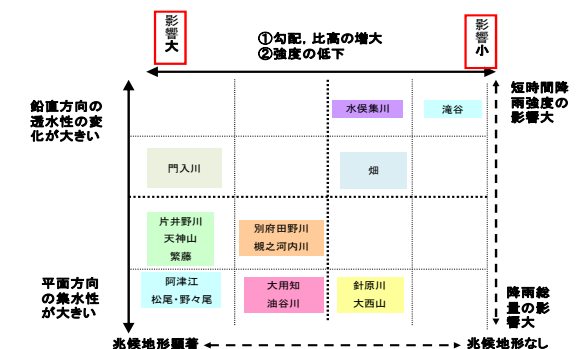
図一3 崩壊斜面部の比高と崩壊斜面勾配

表一2 地形解析結果一覧

	場所	岩壁クリーブ斜面	線状凹地	地すべり地形	円弧状クラック
針原川	鹿児島	○	×	×	×
水俣集川	熊本	○	×	×	×
松尾	宮崎	×	×	◎	×
野々尾	宮崎	×	×	◎	×
煙	宮崎	×	×	○	×
煙北	宮崎	×	×	○	×
島戸	宮崎	×	×	○	×
滝谷	三重	×	×	×	×
天神山	宮崎	◎	×	×	×
片井野川	宮崎	◎	×	×	×
別府田野川	宮崎	○	×	○	○
横之河内川	宮崎	○	×	×	○
繁藤	高知	◎	×	○	○
大用知	徳島	○	×	○	○
阿津江	徳島	○	×	◎	○
大西山	長野	○	×	×	×
門入川	香川	◎	×	×	×
油谷川	熊本	○	×	○	×



図一4 崩壊時の時間雨量と崩壊時の総雨量



図一5 分類表