

流出特性および地下水位変動特性を用いた土砂災害警戒避難基準長期雨量指標と 土壌雨量指数との比較

筑波大学大学院生命環境科学研究科

○恩田 裕一

細田雄士

田中高志

1. 研究目的

1972 年繁藤大崩壊、1997 年針原川土石流災害などに代表される深層崩壊とそれに伴う土石流の多くは、降雨ピークから遅れて、場合によっては降雨停止後に発生することが多い。しかし、2003 年 7 月に熊本県水俣市で発生した宝川内災害は、降雨ピーク時に崩壊が発生するという深層崩壊としては稀なパターンであり、深層崩壊発生の予知が困難であることを再認識させられた。

近年、3 段タンクモデルを基にした土壌雨量指数が開発され、全国的に運用されつつある。しかしパラメータが全国統一であることや、実効雨量との精度比較も十分に行われているとは言い難く、警戒避難基準の高度化を図る上では、改善の余地は依然として残されていると考えられる。

豪雨に伴う深層崩壊は、岩盤中に浸透した地中水により山体が不安定化することが原因である。したがって、地中水の挙動は崩壊発生メカニズムと密接な関係があると考えられ、崩壊発生の特性や危険度判定の指標としての有用性を指摘している（水山ほか、2002；恩田ほか、2006）が、崩壊発生遅れ時間との関連性など不明確な部分が多い。そこで本研究では、現在運用されている警戒避難基準の手法が深層崩壊の予知に有効であるか検証するとともに、宝川内災害における実際の崩壊深度と崩壊遅れ時間との関係に着目し、その再現性を検証することを目的とした。

2. 調査地と方法

調査対象地域は、熊本県水俣市宝川内集地区の深層崩壊発生跡地である。ここでは 2003 年 7 月 20 日早朝、深層崩壊とそれに起因する土石流が発生した。崩壊発生の約 3 時間前から猛烈な豪雨に見まわれ、崩壊が発生した。2003 年 7 月 20 日午前 4 時 35 分頃が降雨のピークで、このとき 91mm/h の最大時間雨量を観測した（谷口、2003）。崩壊の規模は、崩壊土量約 26000m³、崩壊最大深度 15~20m、幅約 60m、長さ約 95m であった（谷口、2003）。

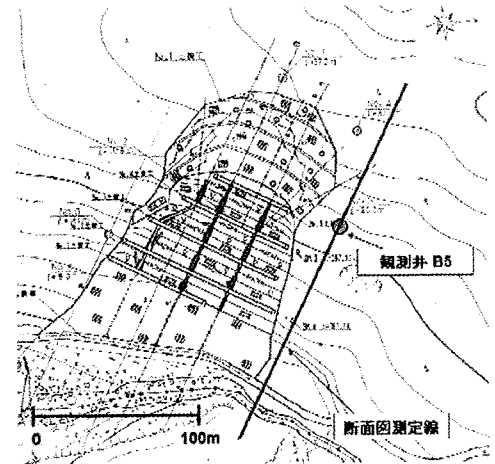
宝川内周辺の地質は安山岩溶岩と凝灰角礫岩の互層で、上位の安山岩は比較的新鮮で柱状節理が発達し、下位のそれは風化が著しく粘土化していることが知られている。今回解析に用いた地下水位データは、図-2 に示す観測井 B5（標高 408.43m、埋設深 20m）の 2004 年 9 月 28 日から 2005 年 12 月 21 日までの観測データを使用した。対応する雨量データについては、気象庁水俣測候所（熊本県水俣市南福寺）で観測された公開データを用いた。

Shevenell (1996) は、地下水位の観測結果をもとにしたハイドログラフの解析を行う際、地下水位が上昇した後の減衰の傾きに注目し、その特性を 3 つのセグメントに分類し検証した。減衰の傾き λ は次のとおりである。

$$\frac{\ln(Y_1/Y_2)}{(t_2-t_1)} = \lambda = \frac{\ln(Q_1/Q_2)}{(t_1-t_2)} \quad (1)$$

ここで、 Y_1 、 Y_2 、 Q_1 、 Q_2 はそれぞれ時間 t_1 、 t_2 における地下水位とそのときの流量（流出量）である。式 (1) より流出量の比 Q_1/Q_2 が求められるので、その比を以下の式に用いることにより透水量係数 T が求められる。

$$\log(Q_1/Q_2) = \frac{T}{S}(t_2-t_1) \frac{1.071}{L^2} \quad (2)$$



このとき、 L は分水界から観測井までの距離 (m) であり、図-1 より $L = 77.45\text{m}$ と算定した。ここで、 S は貯留係数であり、不圧帯水層においては比産出率 S_y に等しく、また比産出率は有効間隙率 n_e によって代用できる。ここでは n_e の値をそれぞれ 10% とした。また透水量係数 T は、単位動水勾配のもとで帯水層の単位幅を通して移動する水の割合であり、透水係数 K と帯水層における飽和部分の厚さ d の積で求められることから、式 (3) の関係が成り立つ。

$$K = \frac{T}{d} \quad (3)$$

d の求め方は、図-2 より斜面頂部から下流の風化安山岩・安山岩層の断面積を測定し、それぞれ地表面距離で除する方法をとった。その結果、 $d = 15.31\text{m}$ となった。

3. 結果及び考察

観測された地下水位データの逓減部に着目して、式(1)～(3)により減衰係数、透水量係数及び透水係数を求めた。降雨に対して地下水位の応答がみられたパターンは 18 あり、これらすべてのパターンで解析を行った。Shevenell (1996) の手法によるセグメントの分類の一例を図-2 に示す。式 (3) より透水係数 K を地下水位の応答があったすべてのパターンで求めたところ、最大値は 1.54 cm/s 、最小値は $1.64 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ 、平均値は $7.92 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ ときわめて高い値を示した。この値を用い、浸透水が地表面から崩壊最大深度まで到達するために必要な時間は 0.53 時間 (約 32 分) となった。

災害時における土壌雨量指数の推移を図-3 に示す。ここでは各タンクの貯留量及び流出量についてもそれぞれ示すこととする。雨量データは気象庁水俣測候所の公開データで、午前 4 時から 5 時の 1 時間では 48 mm/h の降雨を記録している。崩壊発生時に最も近い

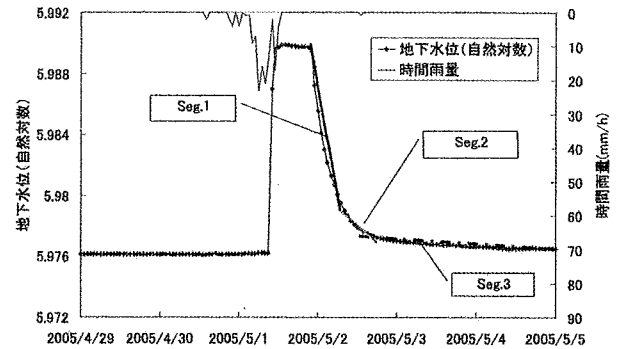


図2 B5における地下水位変動と逓減のセグメント

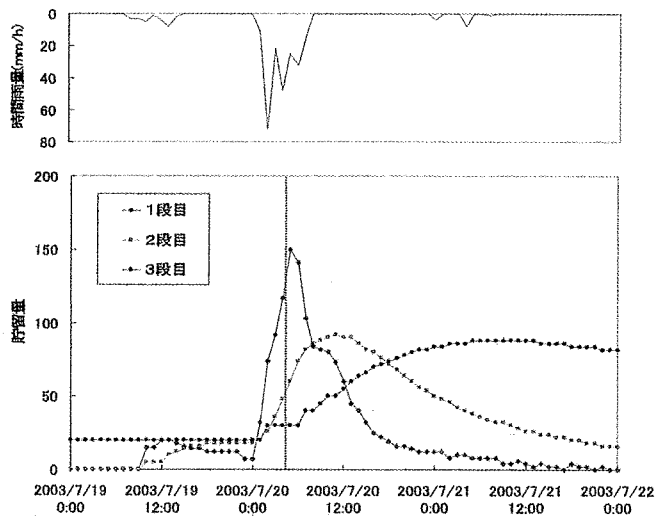


図-3 土壌雨量指数における各タンクの貯留量

7月20日午前5時の土壌雨量指数の指数値は 240 mm で、その1時間後の午前6時にピーク値 245 mm を記録している。図-3 に各タンクの貯留量について示す。崩壊発生時における各タンクの貯留量は、1段目のタンクはピーク値を示し、2段目は上昇中の過程で、3段目は値の上昇が見られない状況だった。岡田ほか (2001) によると、1段目のタンクは表面流出に、2段目は表層浸透流出に、3段目は地下水流出にそれぞれ対応するとしており、また2段目の貯留量がピーク値を示す直前に崩壊が発生する事例が多いことを示している。今回の検証では2段目よりもむしろ1段目の貯留量がピーク値を示していたことが特徴的であった。

土壌雨量指数は、花崗岩地域におけるタンクモデルのパラメータを用いているが、亀裂の多い基盤岩地域においては、異なったパラメータをとることが予想される。しかし、地域ごとにタンクモデルのパラメータを変えるのは現実的には難しい。したがって、深層崩壊を対象とした災害発生予知については、むしろ井戸もしくは湧水の逓減特性を用いて、恩田ほか(2006)の方法を用いて対象地域の岩盤内の地下水位逓減特性から適切な半減期を算定し、実効雨量を用いて長期雨量指標とすることが有効であると考えられる。

文献

Shevenell, L. (1996) : Journal of hydrology, 174, 331-355.

谷口義信 (2003) ; 砂防学会誌, Vol.56, No.3, 31-35.

水山高久・恩田裕一・加藤祐子・田井中治・岡本正男 (2002) : 砂防学会誌, Vol.54, No.5, 11-17.

岡田憲治・牧原康隆・新保明彦・永田和彦・国次雅司・斉藤清 (2001) : 天気, Vol.48, No.5, 59-66.

恩田裕一・辻村真貴・田中高志・笹木浩二・水山高久・内田太郎・田井中治・田中秀夫 (2006) : 砂防学会誌, Vol.58, No.5, 13-17.