

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準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検証の余地は依然として残されていると考えられる。

一方、地下水流動特性の解析手法として地下水位の逓減部に着目し、地中水の挙動を評価する手法が行われてきている。Shevenell (1996) は、地下水の逓減特性を3つのセグメントに分類し、それぞれのセグメントで透水量係数を求め地中水の流動特性を評価している。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(恩田ほか, 1999; 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、崩壊発生後に観測された地下水位の変動特性を用いて透水量係数さらには透水係数を算出し、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する。

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; 千木良・Sidle, 2004)。

また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(中澤ほか, 2004)。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着目し、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-2より $L = 77.45\text{m}$ となった。また、 S は貯留係数

であり、不圧帯水層においては比産出率 S_p 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。本研究では式 (2), (3) を用いて求められた透水係数 K を用い、飽和部分の最深部に到達するまでの時間と、実際の崩壊遅れ時間との関係を求め、地下水位流動特性から崩壊発生時刻の推定の可能性を検証した。

3. 結果及び考察

3.1 地下水位の逓減特性と透水量係数

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 に示し、全イベントの Seg.1 における解析結果を表-1 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 $7.92 \times 10^{-1}\text{ cm/s}$ となった。

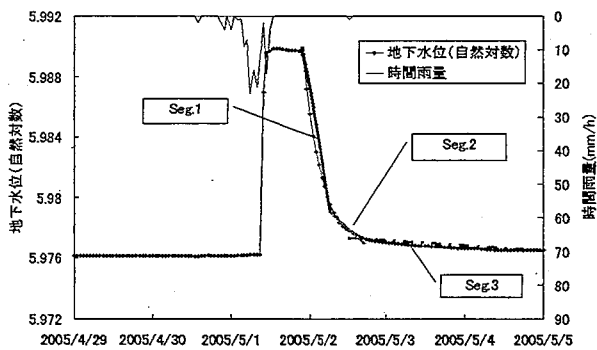


図 2 B5 における地下水位変動と逓減のセグメント

表 1 各パターンの解析結果

パターン	減衰係数 λ (1/h)	Δt	透水量係数 T (m^2/day)	透水係数 K (cm/s)	崩壊深度への到達時刻
①	5.39E-02	9	314.68	5.71E-01	0.73
②	4.31E-02	15	251.35	4.56E-01	0.91
③	8.82E-02	5	514.80	9.34E-01	0.45
④	3.92E-02	15	229.13	4.16E-01	1.00
⑤	6.50E-02	10	379.32	6.88E-01	0.61
⑥	6.30E-02	5	122.67	2.23E-01	1.87
⑦	5.44E-02	5	317.45	5.76E-01	0.72
⑧	3.68E-02	8	90.45	1.64E-01	2.54
⑨	5.44E-02	13	317.30	5.76E-01	0.72
⑩	1.02E-01	11	595.06	1.08E+00	0.39
⑪	6.80E-02	19	396.75	7.20E-01	0.58
⑫	1.45E-01	7	848.52	1.54E+00	0.27
⑬	8.93E-02	11	521.15	9.46E-01	0.44
⑭	7.18E-02	16	419.14	7.60E-01	0.55
⑮	9.89E-02	9	577.32	1.05E+00	0.40
⑯	1.09E-01	12	634.51	1.15E+00	0.36
⑰	1.15E-01	12	674.10	1.22E+00	0.34
⑱	1.12E-01	10	653.32	1.19E+00	0.35
平均値	7.83E-02	10.67	436.50	7.92E-01	0.53

3.2 透水係数の推定と崩壊発生時刻との関係

次に、ここで求められた透水係数を用いて、崩壊発生時の崩壊深度への到達時間を算出した。崩壊の最大深度は 15m であり (谷口, 2003), この崩壊最大深度を透水係数の平均値で除した結果、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。降雨ピークからの崩壊発生遅れ時間が宝川内では 0 時間 (谷口, 2003; 千木良・Sidle, 2004) であったことから、今回の解析結果による崩壊遅れ時間の再現性は非常に高いといえる。

透水係数を求める手法としては一般的に室内試験もしくは現場透水試験により求められる (地盤工学会編, 2000) が、試験の方法や条件の違いによりその値に大きなばらつきが生じることが考えられる。地下水位の変動特性から透水係数を求める本研究の手法は、地質条件に関係なく地盤全体の透水特性を示すと考えられるので、この手法により得られる透水係数を適用させることは、崩壊発生時刻の推定を行う上で非常に有効であろう。

文献

- 千木良雅弘・Sidle, R. C. (2004): 京都大学防災研究所年報, No.47B, 91-98.
 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.