

平成 11 年の豪雨による広島大学構内の斜面崩壊

広島大学 フェロー会員 佐々木 康
広島大学 Dissanayake.A.K.
広島大学 学生会員 ○Thi Ha

1. はじめに

梅雨前線の活動や台風に伴う集中豪雨によって、毎年のように斜面災害が発生しているが、平成 11 年 6 月 29 日の集中豪雨により広島県を中心として多くの人的被害を含む災害が発生した。広島大学構内でも斜面崩壊が発生し、人的被害がなかったものの車が土砂に埋まる等の被害を受けた。本報告はこの崩壊地点を主たる対象として降雨による地下水の上昇、これによる斜面の不安定化について検討した結果をとりまとめたものである。

2. 崩壊位置と地形地質概要

崩壊現場は広島大学山中池学生寮の裏側に位置し、ががら山（標高約 330m）にあり、源頭部は標高 315m ぐらいのところであり、6 月 29 日に本流が崩壊、9 月 15 日に横溪流が崩壊した。尾根はなだらかで調査地内には平坦地はほとんど見られない。地質的には花崗岩の風化した表層は 2～3m ぐらいで（表.1,2）、まさ土地帯（風化花崗岩）である。地表面から 50cm ぐらいまではシルト、混り状態で色が赤っぽい色であった。50cm から 2～3m ぐらいまではレキも混ざっている状態で灰色であった。

3. 方法

方法は 3 段階に分けられる。(1) は現地調査で集中豪雨で崩壊した斜面の測量、サンプリング、地盤内構造のスケッチを行った。(2) は山中池崩壊地点より採取した試料を用いて土の力学的特性を調べた。(3) は計算解析で降雨強度、継続時間などにより地下水位の上昇について計算を行い、(2)の結果と合わせて斜面の安定解析を行った。

4. 計算方法

4-1 地下水位の計算

図.1 に示した二次元斜面に降った降水が全て地盤内に浸透すると仮定し、地下水の供給量と、表層地盤内に貯留される量、考えている地点から下流側に流出する水量との間には平衡関係が存在し、単純に考えると以下のような式(1)が得られる。

$$P = GW_{stor} + GW_{out} \text{-----(1)}$$

ここに、P は降水量で時間雨量や継続時間などより求まり、
GW_{stor} は地下水貯留量で地盤内の間隙に浸透水が保留される量で、
GW_{out} は地下水流出量でダルシーの法則を用いた。図.1 のモデルを用い、単位幅について考えると式(1)は以下のように書くことが出来る。

$$R \cdot S \cdot \cos \beta \cdot t = n \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot hw \cdot S \right) + k \cdot \frac{(S \sin \beta - hw \cos \beta)}{S} \cdot hw \cdot t \text{-----(2)}$$

ここに、R：時間雨量で、t：降雨継続時間、S：斜面長、β：斜面勾配、n：間隙率、hw：地下水位の高さ、k：透水係数、t：継続時間である。

4-2 斜面安定の計算

表.1 本流の測量データ

断面	長さ (m)	層厚 H(m)	傾斜勾配 (β°)
0	25	2.2	25
1	13	2.2	44
2	17	2.3	25
3	21	3.5	25
4	25	3.0	18
5	17	2.4	12
6	26	2.0	10

表.2 横溪流のデータ

断面	長さ S(m)	層厚 H(m)	傾斜勾配 (β°)
0	40	2.0	25
1	10	2.2	30
2	24	2.3	20
3	12	3.5	35

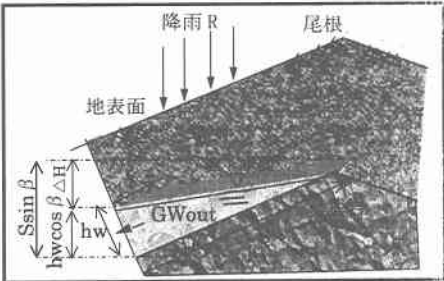


図.1 地下水位の変化状況のモデル

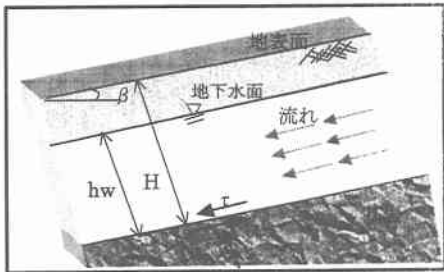


図.2 透水時の無限斜面の安定

厚さが H で傾角が β である無限長斜面の地下水位が hw の深さにあると(図.2)、底面の応力成分は、以下になる。

$$\sigma' = \{ \gamma_t (H-hw) + (\gamma_{sat} - \gamma_w) hw \cos^2 \beta \}$$

$$\tau = \{ \gamma_t (H-hw) + \gamma_{sat} hw \} \cos \beta \sin \beta$$

ここで、 $Fs = \tau_f / \tau$ を考えると、

$\tau_f = (c' + \sigma' \tan \phi')$ であるから

$$Fs = \frac{c' + \{ \gamma_t (H-hw) + (\gamma_{sat} - \gamma_w) hw \} \cos^2 \beta \cdot \tan \phi'}{\{ \gamma_t (H-hw) + \gamma_{sat} hw \} \cos \beta \sin \beta} \quad (3)$$

ここに、 c' : 粘着力、 γ_{sat} : 飽和密度、 γ_t : 湿潤密度、 H : 土層厚、 γ_w : 水の密度、 hw : 地下水位、 β : 地盤の勾配、 ϕ' : 内部摩擦係数、 Fs : 安全率である。

5. 解析結果

計算に使用したデータは室内試験結果と測量結果(表 1~2) から得られたものである。 $(\gamma_{sat}=1.866\text{g/cm}^3, \gamma_t=1.644\text{g/cm}^3, e=0.804, n=0.45, k=2.48 \times 10^{-3}\text{cm/s}, c=13.7\text{KPa}, \phi=33^\circ)$ 。下三永の観測雨量データを図.3~4 に示す。

5-1 地下水位

式 (3) より計算した 6 月 29 日の降雨による本流と横溪流の地下水位は 17~18 時の間で、それぞれ 42~55cm と 40~55cm までに上昇した(図.5~6)。また、9 月 15 日の豪雨で横溪流では最高で 120cm まで上昇した(図.7)。ここで、断面 1 からは実際に崩壊している断面で 0 は断面 1 から尾根までの断面である。また、横溪流の断面 3 の勾配は本流の崩壊により地形が変わった後が 35° で崩壊前は 30° だったと推測した。

5-2 安定計算結果

図.8 より、常時のときの c より 50%低下した時、地下水位が 40~50cm ぐらいで断面 1 は不安定な状態になるが、6 月 29 日の断面 1 の地下水位も 50cm ぐらいまで上昇している。その時の、横溪流に対しては図.9 に示すように c が 10%まで低下したとしても、斜面が不安定な状態になるには地下水位が 80~90cm まで上昇することが条件になるが、その時の地下水位はそこまで達していない。9 月 15 日に横溪流で斜面崩壊が発生したが、図.10 に示すように c が常時の 50%まで落ちた時、115cm ぐらいで断面 3 が不安定になる。9 月 15 日の地下水位もそのぐらいまで上昇している。

6. 結論

まさ土斜面の崩壊メカニズムには地下水位の上昇と粘着力の低下が強く関係し、常時には崩壊しない所でも、地下水位の上昇に伴い斜面が飽和してくると粘着力が低下し、不安定な状態になる。山中池崩壊地では常時の粘着力 c が 13.7KPa に対し、地下水位が 50cm 程度まで上昇したとき、 c が 6.86KPa ぐらいまでに低下したことにより崩壊たと推定された。

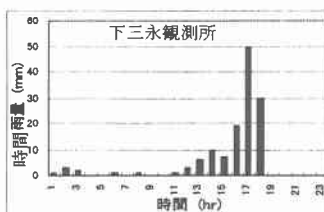


図.3 6月29日の時間雨量

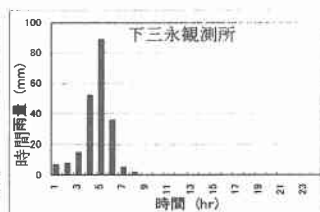


図.4 9月15日の時間雨量

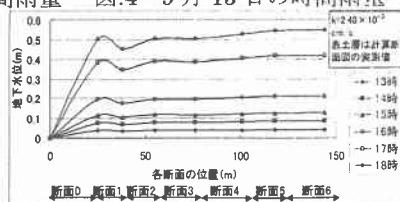


図.5 6月29日、本流の地下水位

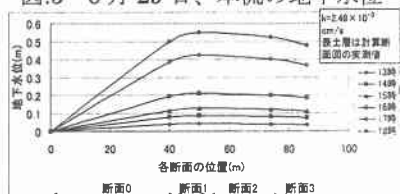


図.6 6月29日、横溪流の地下水位

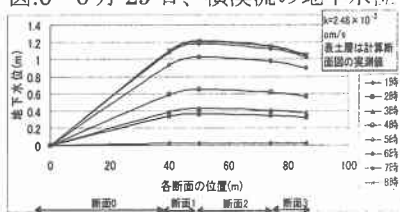


図.7 9月15日、横溪流の地下水位

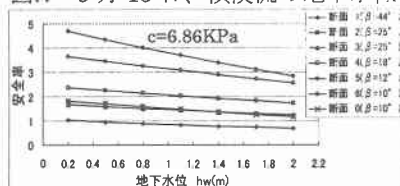


図.8 本流の地下水位と安全率

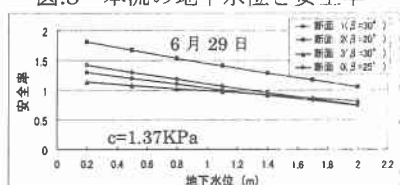


図.9 横溪流の地下水位と安全率

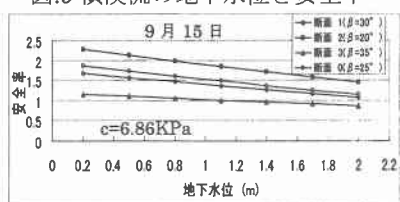


図.10 横溪流の地下水位と安全率