

平成 22 年 7 月庄原市ゲリラ豪雨災害における山腹表層崩壊に関する研究

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○中川 翔太
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 川口 将季
 広島大学大学院工学研究科 国際会員 加納 誠二
 広島大学大学院工学研究科 国際会員 土田 孝
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 花岡 尚

1.背景・目的

日本は春から夏の変わり目に偏西風や太平洋高気圧などの関係により梅雨前線が形成され、西日本を中心に多雨となる。また夏から秋にかけて、南海上から北上してくる台風によって天気が大きく影響を受ける。この二つの特徴的な時期の他にも夏に全土が太平洋高気圧に覆われて積乱雲による雷雨が発生し、局所的な豪雨となる。このような豪雨が発生するたびに土砂災害の危険にさらされている。

そのような中、2010 年 7 月 16 日の夕方、広島県庄原市の篠堂川、大戸川、大津恵川の流域において集中豪雨による大規模な土砂災害が発生し、甚大な被害をもたらした。本災害は、3km×3km の狭い範囲内で 200 箇所以上の斜面が崩壊する¹⁾という例をみない土砂災害である。また、他の災害ではあまり見られない、平行斜面の中腹のみが崩壊するという崩壊形態が多数確認された²⁾。現地調査の結果、崩壊面より下部には表層に低透水層の黒ボクが存在していることが分かった。そこで、本研究では室内模型実験を実施し、山腹表層崩壊に及ぼす黒ボク層の影響について検討した。

2.表層土における透水係数の検討

今回調査を行った崩壊斜面には、風化流紋岩と黒ボクと呼ばれる火山灰質土が広く分布していた。風化流紋岩と黒ボクの透水係数の違いが地下水形成、斜面崩壊に及ぼす影響を調べるため、変水位透水試験を行った。

表-1 試験条件

不攪乱試料	崩壊上部			崩壊下部			黒ボク		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
間隙比	1.60	1.61	1.33	1.05	1.09	1.11	2.39	2.71	2.53
攪乱試料	黒ボク								
	間隙比								
	2.51								

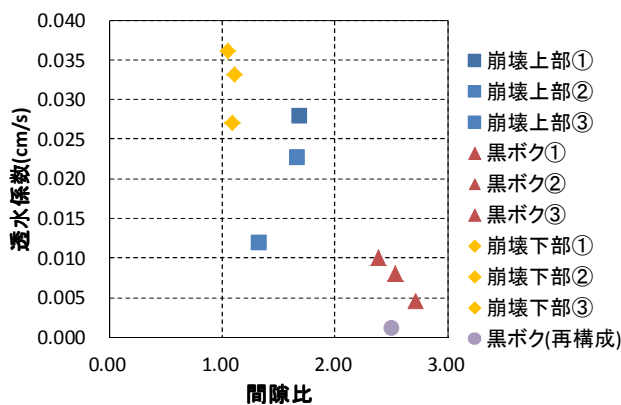


図-1 間隙比と透水係数の関係 (不攪乱試料)

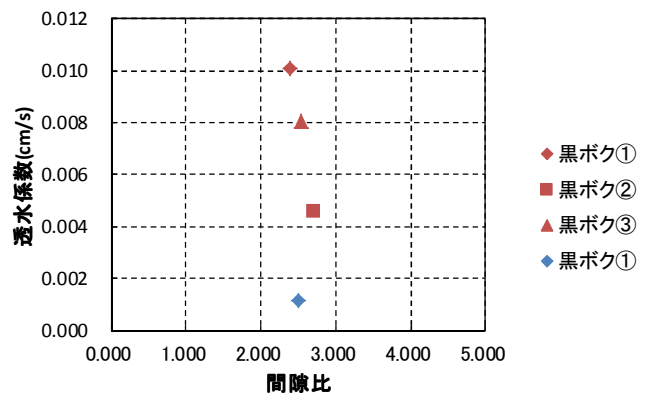


図-2 不攪乱と攪乱試料の比較

不攪乱試料と同じ間隙比(2.51)で供試体を再構成した攪乱試料についても、試験を行った。表-1 に試験条件を示す。

図-1 に、各試料の間隙比と透水係数の関係を示す。黒ボクは、間隙比 2.5 前後という高間隙比であるにもかかわらず、最も小さな透水係数を示している。また、崩壊上部に関しては、間隙比が小さいほど透水係数も小さくなっている。崩壊下部に関しては、ほぼ一定値をとっている。これらの要因として、①透水円筒壁面と試料との境界面の存在、②間隙の偏り・形状・サイズ、③堆積構造の違いなどが考えられる。サンプリングの際は、壁面摩擦の影響を低減するため、透水円筒内壁にグリスを塗っているが、多少の空隙が生じている可能性がある。また、不攪乱試料は堆積の仕方や外力の影響があるため、堆積構造に違いがあり、間隙が均質に存在しているとは限らない。間隙が偏って存在していれば、水が通りやすい空間が形成され、透水係数が大きな値を示す可能性がある。これは、①～③の影響を排除した再構成試料の方が小さな透水係数を示していることからもうかがえる。図-2 より、不攪乱試料③と再構成試料は、ほぼ同じ間隙比を有しているにもかかわらず、再構成試料は不攪乱試料の 1/4～1/5 程度の透水係数を示している。このことから、不攪乱試料は、同間隙比であっても、再構成試料に比べて透水性があることが判明した。再構成試料は透水円筒壁面まできっちりと試料が詰まっており、不攪乱試料のように、壁面に空隙は存在していなかった。また、再構成する際は、層を 5 層に分けて作成しており、間隙(締固め具合)にもばらつきが出ない工夫をしている。これらのことから、不攪乱試料の透水係数が大きい理由としては、推測したように間隙比の形状・分布の不均一性、壁面の乱れ、堆積構造の違いだと考えられる。

3. 模型試験

現地調査および、室内試験の結果より、山腹表層崩壊を引き起こした要因として、黒ボク層の存在、集中豪

表-2 試験ケース

試験ケース	土層条件	降雨強度(mm/hr)
1	風化層を模擬した豊浦砂のみで斜面を構成	40
2	豊浦砂層+黒ボク層を模擬した層	40
3	豊浦砂層+黒ボク層を模擬した層	20

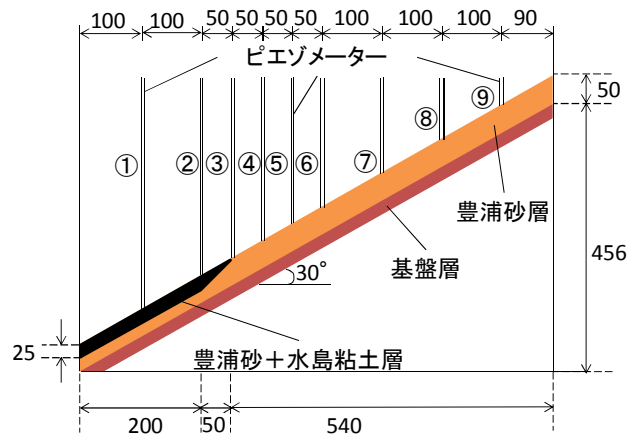


図-3 模型斜面概要図

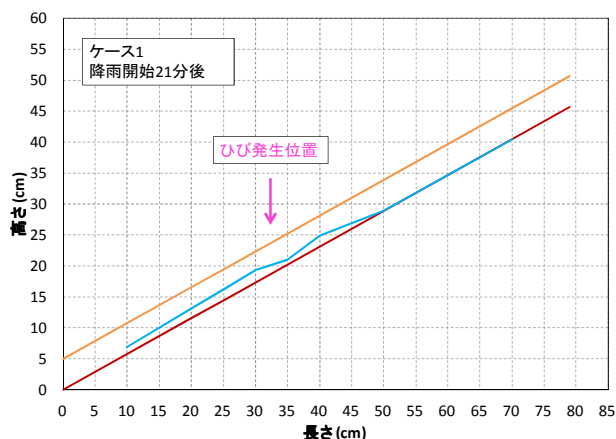


図-4 崩壊発生時の地下水面(ケース 1)

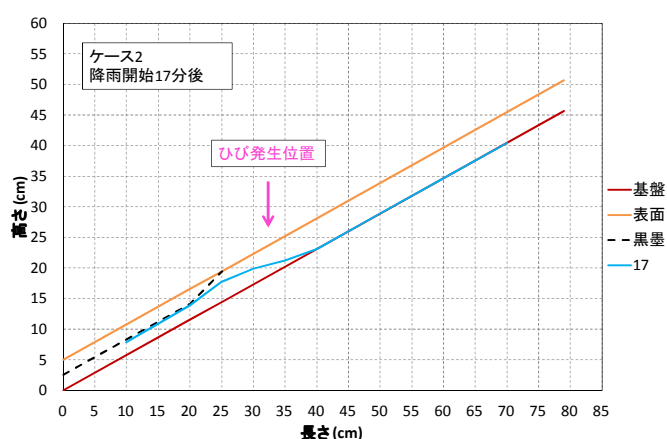


図-5 崩壊発生時の地下水面(ケース 2)

雨が考えられる．そこで，それらが山腹表層崩壊に及ぼす影響について検討するため，表-2 に示すケースで降雨と黒ボク層の存在に着目して模型試験を行った．図-3 に模型斜面概要図を示す．

降雨開始後，上層から順に高含水比帯が形成され，基盤層まで高含水比帯が降下した後，地下水が形成され，崩壊につながると考えられる．試験の結果，崩壊形態に違いはあるが，降雨強度の強いケース 1, 2 では崩壊が発生し，降雨強度弱いケース 3 では降雨を続けても崩壊には至らなかった．図-4,5 にそれぞれケース 1,2 の崩壊発生時の地下水面を示すこれより，ケース 1, 2 とともに，ひび割れが生じた位置のすぐ下流で，地下水位が高くなっている．また，崩壊発生までの時間はケース 2 が最も早く，地下水位の急上昇が確認された直後に崩壊が発生している．

図-5 より，黒ボク層の存在する場合は，黒ボク層との境界辺りで崩壊が発生し，上流へ進行した．崩壊深も深く，基盤層が露出するまで崩壊していた．黒ボク層自体はほぼ崩壊しておらず，その上に流下してきた崩土が堆積していた．この堆積形態は，現地で観測された形態と類似している．この結果から，今回の庄原の災害現場で多く見られた平行斜面の崩壊については，黒ボク層(低透水層)の存在と，集中豪雨が山腹表層崩壊を引き起こした要因であると考えられる．

4. 斜面安定解析

現地調査および，模型試験結果を用いた斜面安定解析を行った．図-6 に解析モデルを示す．安定解析には任意のすべり面に対して安定解析を行うことのできる Janbu の解析手法³⁾を用いている(図-7)．また， ΔX は両側面間の鉛直力の差であるが，各帯片のモーメントのつりあいから繰り返し計算により求めることができる．

$$F_s = \frac{1}{E_1 + \sum (W + \Delta X) \tan \alpha} \sum \left(\frac{1}{n_\alpha} \right) \{ c'l \cos \alpha + (W + \Delta X - ul \cos \alpha) \tan \varphi' \}$$

$$n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \varphi' / F_s)$$

解析は 10 ケース行い，ケース 1 は地下水位無し，ケース 2 は模型試験より推定した崩壊時の地下水位を与えている．ケース 3～10 は，風化流紋岩の粘着力を 0～29kN/m² と変化させ，安全率が 1 のなる時の地下水位を求めている．

表-3 に解析に用いたパラメータを示す．各パラメータの値は，現地調査において行った測量と軽量動的コ

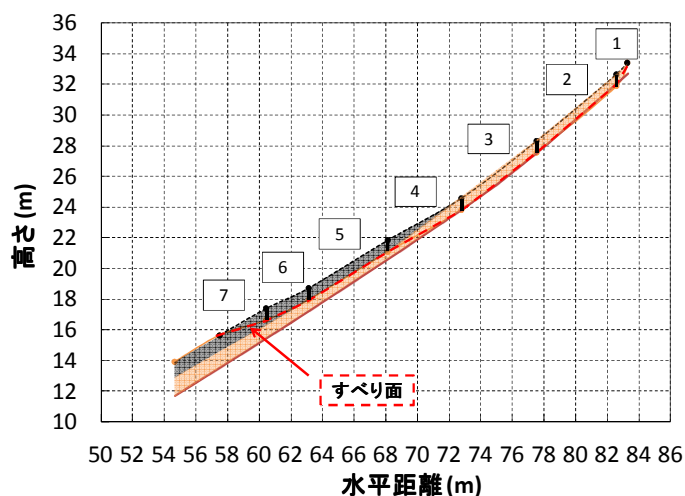


図-6 解析モデル

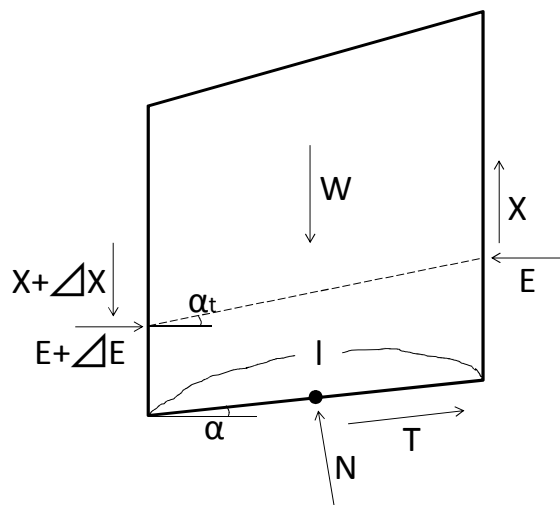


図-7 任意形状すべり面(Janbu)

ーン貫入試験の結果から決定している。

地下水位がない場合の安全率 F_s は 6.0 と大きく、崩壊の恐れのない安定した斜面であるという結果となった。模型試験において、崩壊が発生した時と同じような形で地下水位を与えた場合も、安全率 F_s は 4.1 と大きな値となった。この結果からは、斜面は崩壊しないということになる。そこで、どれだけの地下水位を与えると安全率が 1 を切り、崩壊の危険があるのかを検討するため、ケース 3～10 では安全率が 1 となった時の地下水位を求めた。図-8 にケース 3～10 の結果から得た、地下水位が地表面まで上がった時を 0 としたすべり面下端に作用する水頭と粘着力の関係を示す。この図より、粘着力が 3.8kN/m^2 に低下した場合、ほぼ地表面まで地下水が上昇すれば崩壊に至るという結果が得られた。このことから、今回の崩壊では、ゲリラ豪雨と呼ばれるように 70mm/hr を超える(崩壊発生部ではそれ以上と考えられる)強い雨により、地表近くまで地下水位が上昇したために崩壊に至ったと考えられる。

表-3 解析に用いたパラメータ

帯片番号	崩壊深 (m)	底面の長さ l (m)	面積 A (m^2)	重量 W (kg)	すべり面の 傾き α ($^\circ$)	推力線の 傾き α_t ($^\circ$)
1	0.75	0.94	0.53	9.05	40.7	40.7
2	0.75	6.65	3.78	64.12	40.7	40.7
3	0.75	6.02	3.56	60.31	38.1	38.1
4	0.75	5.42	3.50	59.45	30.5	30.5
5	0.75	5.89	3.74	63.52	32.0	32.0
6	0.75	2.99	2.01	34.08	26.4	26.4
7	0.75	3.14	1.12	15.37	18.5	18.5

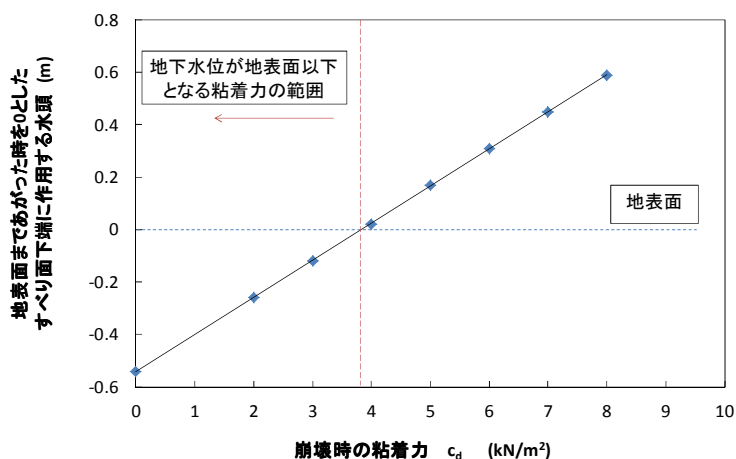


図-8 地下水位が地表面まで上がった時を 0 としたすべり面下端に作用する水頭と崩壊時の粘着力の関係

5. 結論 本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1)低透水層が斜面中腹から下部にかけて存在している場合、透水性の異なる層との境界周辺において、局所的な地下水位の上昇が起こり、崩壊に至る可能性があることが確認された。
- (2)低透水層が存在している場合でも、降雨強度が弱い場合は崩壊に至らなかった。このことより、崩壊に至るためには、地下水位が形成されるほどの強い降雨強度が必要であることがわかった。このことは、今回の災害時の降雨が、観測史上例のない豪雨であったことと一致する。
- (3)安定解析の結果、飽和した風化流紋岩の粘着力が 3.8kN/m^2 以下の場合、安全率が地下水位が地表面以下の高さでも 1 を下回ることがわかった。

参考文献：

- 1) 土田孝:2010 年 7 月 16 日の豪雨による広島県庄原市土砂災害の概要,地盤工学会中国支部土質セミナー,セミナー資料
- 2) 花岡尚, 川口将季, 土田孝, 加納誠二, 中川翔太: 軽量動的コーン貫入試験の災害調査への適用性について,平成 23 年度土木学会中国支部研究発表会(投稿中)
- 3) Janbu, N., “Application of Composite Slip Surface of Stability Analysis”, Proc. Stockholm Conference on the Stability of Earth Slopes, Vol. 3, pp. 43-49, 1954.