

表層崩壊現場斜面から得られる逆算せん断強度に関する考察

株式会社ダイヤコンサルタント
神戸市立工業高等専門学校

○ 鏡原聖史
鳥居宜之

1. はじめに

近年、台風や集中豪雨によって自然斜面の表層崩壊型の崩壊が多数発生している。これらの崩壊のうち、台風による豪雨のみならず、風によって斜面上の樹木が倒木する被害も多く発生している。さらにこのような過去の風倒木被害地では、その後の降雨によって風倒木被害を受けていない斜面より崩壊が発生しやすいことが指摘¹⁾されている。また別の報告²⁾では、風倒木を伴うような崩壊は、樹木根系の進入している土層とほぼ同様の深さで発生しているとの報告がある。

一方、過去の風倒木被害地などの崩壊地の再度災害を防止するために、実務では崩壊地およびその周辺を調査して崩壊する前のせん断強度を逆算し、その結果に基づいて崩壊地周辺の現状の安定度を評価して対策工の計画を行うことが多い。

本稿では、台風による風の影響があったと考えられる崩壊地およびその周辺の地盤調査、室内試験を実施して崩壊土層のせん断強度特性を求め、そのせん断強度の特性を把握した。次に崩壊前の地形を復元し安定解析によって現状安全率 1.0 となるせん断強度を求めた。これらと比較することによって、逆算せん断強度の意味合い³⁾について考察を加えた。

2. 現地調査および室内試験³⁾

愛知県知多市日長にある A 地区は、平成 21 年台風 18 号によって発生した厚さ 1.0m 程度の崩壊である。このときの台風 18 号は強風(周辺の観測記録では 7~30m/s)を伴って A 地区に接近している。この台風 18 号の降雨は、周辺の観測記録から図-1 に示すように先行降雨の影響が少ない短時間雨量の大きな降雨(最大 75mm/h)であった。A 地区の崩壊地と非崩壊地で簡易動的コーン貫入試験を実施して、崩壊した土層と想定される土層を非崩壊地でネイルサンプリング手法によって不攪乱状態で採取、低圧用一面せん断試験(定圧 CD)を実施した。室内試験では、自然含水比状態と浸水した状態の 2 つの条件で行った。また、地層境界面が崩壊地内に確認が出来たことから、上部の強風化砂礫岩、下部の強風化シルト岩層の両方から試料を採取して試験を行った。その結果を図-2 に示した。

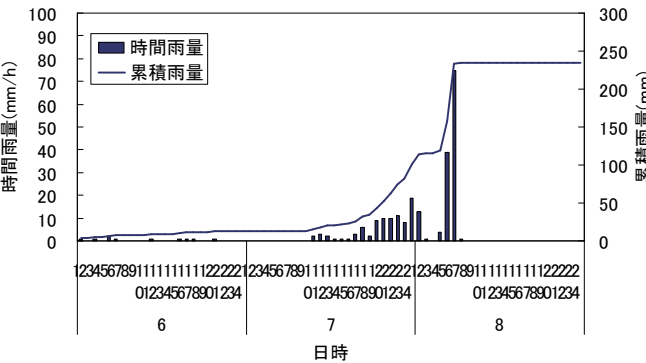


図-1 平成 21 年台風 18 号による降雨

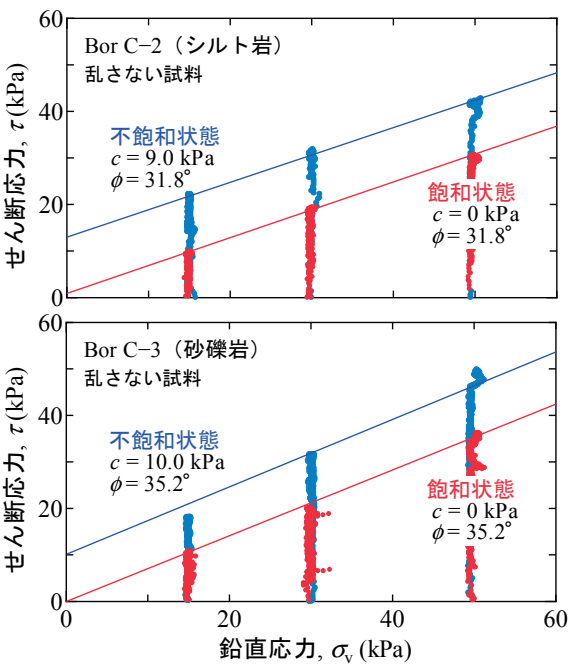


図-2 低圧一面せん断試験結果(上段シルト岩、下段砂礫岩)

この図から自然含水比状態から飽和すると内部摩擦角は変化しないが粘着力がほぼ消失していることがわかる。

3. 地形復元による逆算せん断強度

地形復元から逆算せん断強度を求めるために以下の準備を実施した。

(1) 地形復元

崩壊地の地形を近接する横断形状や簡易動的コーン貫入試験で得られた土層厚の分布状況、崩壊土量などを考慮して崩壊前の地形を復元した。

(2) 降雨浸透状況の把握

地形復元した斜面に平成 21 年台風 18 号の降雨を入力して、飽和度分布状況を調べた。解析には、二次元飽和・不飽和浸透流解析(Dtransu-2D)を用いた。解析に用いた浸透パラメータは、室内試験や文献などを参考に表-1 に示すように、解析モデルはボーリング調査、表面地盤調査などの詳細な地盤調査

表-1 浸透流解析に用いたパラメータ

	地質	記号	飽和透水係数 (cm/s)	設定根拠など	間隙率から設定	文献から設定 [*]
					有効間隙率	比貯留係数(1/m)
Nc<5 (潜在崩土層)	砂礫岩	Cg	2.62E-02	Siltの100倍 粘土試験結果参考	0.51	2.0E-04
	砂岩	Ss	2.62E-02	砂礫岩同様	0.43	2.0E-04
	シルト岩	Slt	2.62E-04	試験値	0.56	2.6E-03
Nc<10	砂礫岩	Cg	1.30E-03	試験値	0.51	1.0E-04
	砂岩	Ss	1.30E-03	砂礫岩同様	0.43	1.0E-04
	シルト岩	Slt	2.76E-09	試験値-透水しない 新鮮岩Silt同様	0.56	1.3E-03
Nc≥10	砂礫岩	Cg	2.76E-06	試験値	0.51	3.3E-06
	砂岩	Ss	5.27E-05	試験値	0.43	3.3E-06
	シルト岩	Slt	2.76E-09	試験値-透水しない Cgの1/1000倍	0.56	3.3E-06

^{*} 地下水流動保全のための環境影響評価と対策、地盤工学会、p359

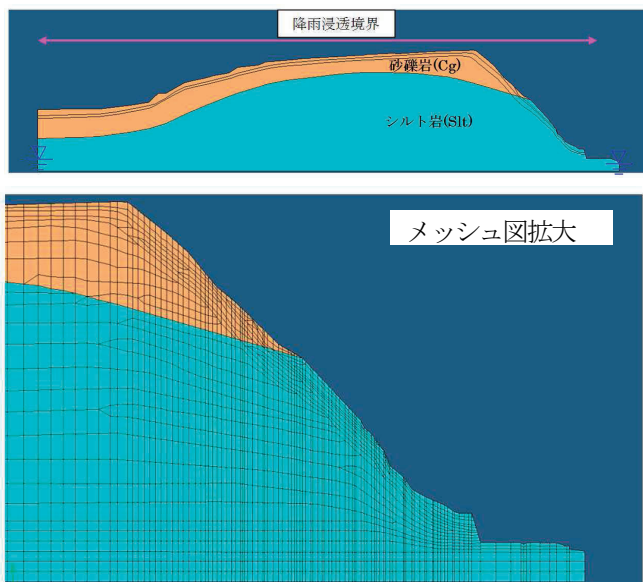


図-3 浸透流解析モデル

結果をもとに図-3に示すように設定した。

(3) 安定解析によるせん断強度の逆算

安定解析では、浸透流解析結果の飽和度分布(図-4)に応じて、土の密度を入力した。次にせん断強度は、先に示した現地採取試料の室内試験の結果から、飽和、不飽和を問わず内部摩擦角が一定であったこと、飽和することによって粘着力が消失することから、粘着力のみ変化させた。計算条件と逆算したせん断強度(粘着力)を表-2に示した。この結果から、室内試験では飽和すると粘着力が消失するが、現状の安定を保つためには、3kPa程度のせん断強度(粘着力)が必要であったことになる。

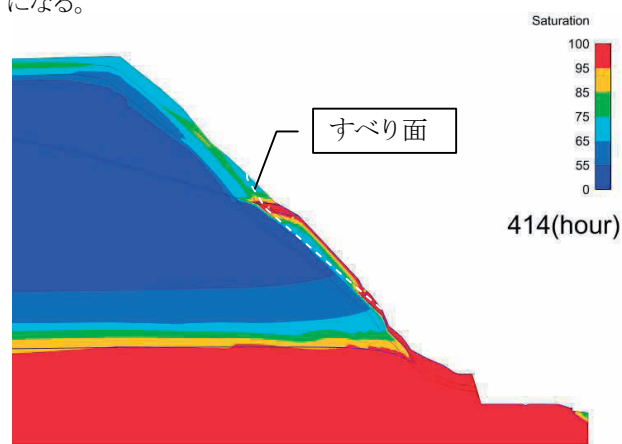


図-4 崩壊時刻の飽和度分布を考慮した地形復元とすべり面形状モデル

表-2 計算条件と逆算したせん断強度(粘着力)

	砂礫岩	シルト岩	備考
湿潤密度(g/cm ³)	1.53	1.39	飽和度分布に応じて入力
飽和密度(g/cm ³)	1.90	1.89	
内部摩擦角(°)	35	31	試験値
粘着力(kPa)	10	9	試験値
逆算粘着力(kPa)	3.2	3.2	内部摩擦角を固定

4. 室内試験結果と地形復元による逆算せん断強度に関する考察

室内試験では、図-2に示したように湿潤状態から飽和状態になるとせん断強度が低下する結果を得た。特に、内部摩擦角は一定であるが粘着力の低下が著しい特徴がある。

次に地形復元を行って、二次元飽和・不飽和浸透流解析を実施した結果、崩壊した時刻の飽和度分布はすべり面付近で飽和度70%で表層ほど高くほぼ飽和に近い結果となった。このことから、室内試験の結果を考慮すると表層部の粘着力は消失して非常に薄層の崩壊が発生することとなる。しかしながら、崩壊地の周辺ではそのような崩壊は発生しておらず、崩壊地も崩壊土砂の上に樹木が載っていることから1.0m程度の厚さを保ったまま崩壊したものと推察できる。

それでは、なぜ薄層の崩壊が発生しなかったのか、安定解析の結果から3kPa以上のせん断強度(粘着力)が何を意味するのかを考察する。式-1に示すように、せん断抵抗力 τ は、上載荷重 σ 、土の内部摩擦角 ϕ 、土の粘着力 c 、根系の粘着力増分 Δc で表すことができる。

$$\tau = \sigma \tan \phi + c + \Delta c \quad \text{式-1}$$

従って逆算によって得られたせん断強度(粘着力)は、この式の根系の粘着力増分 Δc であるのではないかと考えられる。

当該箇所の樹木根系の分布状況など把握が出来ていないが、文献^(例えば4)を参照すると根系の粘着力増分は、およそ5kPa～10kPaとの報告がある。さらに北原⁵⁾によると、この根系による粘着力増分は、飽和状態になると70%程度まで減少するとの報告があり、先の根系の粘着力増分を70%で低減するとおよそ3kPa～7kPaとなる。この値は、今回の逆算せん断強度(粘着力)とほぼ同じオーダーの結果となっている。言い換えれば、自然斜面の表層崩壊を対象とした現状安定度の評価は、逆算によって根系の粘着力増分を求めており、それを斜面全体に展開しているのではないかと考えられる。今後、このような崩壊地と非崩壊地での現地調査、室内試験および安定解析と根系による粘着力のデータを合わせて集めることが重要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、過去に室内試験や解析を行った事例をもとに砂防学会自然斜面安定度評価に関する研究委員会でも度検討を行い、考察を加えたものである。

今後、崩壊地のみならず非崩壊地でのデータ取得を行い、崩壊と非崩壊に関する植生の根系について検討を進めたいと考えている。

(参考文献)

- 1) 鏡原ら：兵庫県南西域で発生した平成21年台風9号による斜面崩壊地の特徴、平成22年年度砂防学会研究発表会, pp. 112-113, 2010.
- 2) 村上ら：2004年台風によって発生した風倒木を伴う山腹崩壊について、第41回地盤工学研究発表会, 1079, 2006.
- 3) 三浦ら：平成21年台風18号による斜面崩壊現場の崩壊メカニズムに関する一考察、第46回地盤工学研究発表会, 971, 2011.
- 4) 阿部：樹木根系の斜面崩壊防止機能、森林科学, 22, pp. 23-29, 1998.
- 5) 北原：森林根系の崩壊防止機能-力学的評価法, 2005.