

斜面の安定性に及ぼす樹木の影響について

熊本大学工学部 学生員 ○和田 昌大 熊本大学工学部 正会員 北園 芳人
熊本大学工学部 正会員 鈴木 敦巳

1. まえがき

台風通過後、期間を経て雨量がさほど多くなくても斜面崩壊が発生することが知られている。その原因として、風を受けた樹木の揺動が地盤の強度低下をもたらしていることが考えられる。そこで、繰り返しせん断試験により、せん断強度に対する繰り返し応力の影響を調べ、その強度定数を用いて有限要素法による数値解析を行い、斜面地盤の挙動を吟味する必要がある。今回はその前段階として、物理試験、単純せん断試験、風荷重の推定を行った。

2. 研究方法

災害の中でも最も地盤に影響が大きいと思われる台風時を考え、本研究では平成 11 年 9 月の台風 18 号及び昭和 61 年に起こった斜面崩壊事例を解析対象とした。まず、風速¹⁾、風向、降雨、湧水の有無、地形、立木、崩壊状況などを調べる。次に、強風時の樹木の揺動が地盤に与える影響を解析するために樹木と地盤のモデル化を行う。その時、解析に必要な力学定数を、単純せん断試験及び、繰り返しせん断試験を行い決定しておく。繰り返しせん断試験の垂直荷重圧は、実地盤の深さ 5 m 前後に相当する垂直応力(75 kPa)において水平繰り返し応力を単純せん断試験結果から決定し、表・1 に示すような条件において行う。なお、この研究では、斜面崩壊は樹根の分布範囲より深いところで発生するものとして取り扱うので、根系は含まない実験を行う。最後に、強風時の傾斜地

盤域の挙動を解明し、斜面の安定性を検討する。

表・1 繰り返しせん断試験条件

載荷方法	波形	載荷周期	載荷回数	垂直応力	応力比
両振り載荷	正弦波	2.0秒	200回	75kPa	0.2, 0.4, 0.6, 0.8

3. 研究結果

3.1 対象試料について

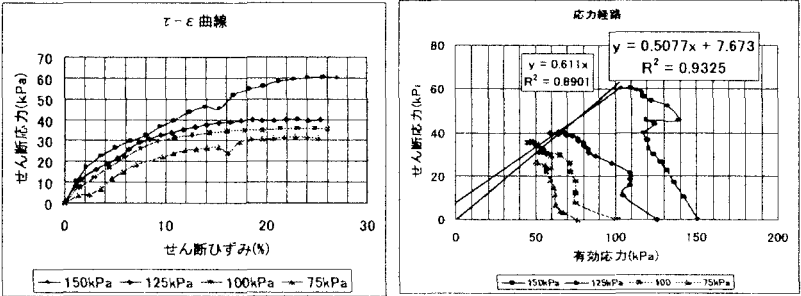
今回の実験で用いた試料は熊本県益城町の斜面で採取した河岸段丘堆積土である。この試料に対し、密度試験、粒度試験、単純せん断試験、繰り返しせん断試験を行った。物理試験の結果を表・2 に示す。結果から日本統一土質分類基準によると細粒分質砂質礫(GFS)に分類される。単純せん断に用いた試料はJGSO560-2000 に従い、0.85mm フリ通過試料を用いた。また、供試体は所定の 0.85mm フリ通過試料を圧密圧力 40kPa で予備圧密を行い、カッターリング法を用いて高さ 2cm、直径 6cm に作成した。

表・2 物理試験結果

粒 度 構 成	礫分(%)	30.2
	砂分(%)	29.7
	細粒分(%)	40.1
	均等係数	239.3
	曲率係数	0.258
	最大粒径(mm)	53
	W _L (%)	56.9
	W _p (%)	33.4
	I _p	23.5
	ρ _s (g/cm ³)	2.75
	初期含水比(%)	26.9

3.2 せん断試験

単純せん断試験は定体積せん断で実施した。その結果を図・1 に示す。破壊包絡線は、せん断応力が最大の点をとって直線で近似したものである。実験結果では c が 7.7kPa、φ=27 度となった。今回の実験は、正規圧密領域で行ったので、c=0kPa から近似線を引いたものが妥当な結果と考えられる。そこで、実験結果を吟味する為に、強度定数を c=7.7kPa、φ=27 度と c=0kPa、φ=31 度の両方を解析に用



図・1 せん断結果

いることにした。実験結果を考察する。今回せん断変位は、せん断応力がピークを越えた後、一定値に落ち着いたことを確認できたところでせん断終了とした。せん断応力ピーク時のせん断ひずみが20%を超えているのは、今回実験を正規圧密領域で行い、また試料も細粒分が多かった為、進行性破壊の性状を示したものと考えられる。また、応力経路が乱れているのは、定体積でせん断を行ったが、その際、垂直載荷圧の調節を手動で行った為と考えられる。

3.3 風荷重について

表-3 台風 18 号の推定風荷重

時間帯	平均風速	P1(kN)	P2(kN)	P3(kN)	P4(kN)
3:20~	5.78	1780.3	375.4	3 283.7	237.9
3:44~	7.60	2420	510.4	4 385.8	323.5
4:09~	9.28	4472.7	943.0	4 712.8	597.7
4:34~	10.72	6648.5	1401.8	4 1059.6	888.5
4:59~	11.71	8424.0	1776.1	5 1342.6	1125.8
5:23~	10.09	10100.2	2129.5	5 1609.7	1349.8

樹木に与える風の影響を大きく2種類に分類した。i)樹木の正面にぶつかることで作用し、森林の内部への影響は少ないと考えられる風(正面風= P_{na})、ii)樹木の上部を風いでいく風(上送風= P_b)である。

これら2種類の風を合計することで適切な風荷重が導き出せると考えた。それぞれの風荷重は以下のよ

うに推定した。^{2),3)} $P_{na} = \frac{K}{2^n} \cdot 0.931 \cdot U_d^2 \cdot A \text{ (N)}$ $P_b = 1.83 \cdot U_d^2 \text{ (N)}$

(K：並列の効果による風荷重の補正係数 U_d ：10分間平均風速 A：樹冠の投影面積)

上記の式に1999年の台風18号の10分間平均風速を入力し、計算した結果を表-3に示す。

3.4 有限要素法による解析

本研究では数値解析として、GeoFem 地盤解析汎用プログラム⁴⁾を使用し、3.2、3.3で求めたデータを物性値として入力し、解析を行うことにする。本研究では実際に崩壊した範囲(傾斜方向に8m、深さ4m、傾斜角25度)に樹齢35年のスギが立っているモデルを想定した。また、樹木の本数はその範囲で植林されている4本とした。モデルを決める際、樹木部分にMohr-Coulombの弾塑性体を、地盤および、根系部分にCam-Clayモデルを採用した。根系部分を太さ約5cmまでの部分を地盤1、1cmまでの部分を地盤2、それ以外の部分を地盤3と分類した。地盤部分の物性値を求めるためには、三軸CU試験や標準圧密試験などの土質実験が必要だがここでは簡便性のため物理試験および単純せん断試験結果をもとに一般的な値を算出し採用⁴⁾した。解析モデルの概略図と物性値データをそれぞれ図-2、表-4に示す。

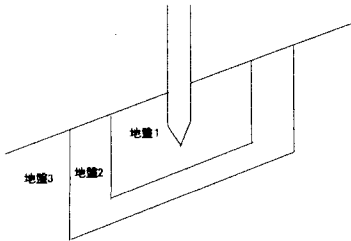


図-2 モデル外略図

表-4 解析物性値

	弾性係数	ポアソン比	単位体積重量	粘着力	内部摩擦角
樹木部分	$1.7 \cdot 10^6 \text{ kPa}$	0.4	3.34 N/m^3	$6.9 \cdot 10^3 \text{ kPa}$	25°
地盤1	***	0.36	6.87	***	***
地盤2	***	0.33	11.77	***	***
地盤3	***	0.3	17.66	***	***
	破壊時の応力比	初期応力	圧縮指数	膨張指数	
樹木部分	***	$1.7 \cdot 10^{-4} \text{ kPa}$	***	***	
地盤1	1.2	$2.0 \cdot 10^{-4} \text{ kPa}$	0.196	0.020	
地盤2	1.2	$2.3 \cdot 10^{-4} \text{ kPa}$	0.196	0.020	
地盤3	1.2	$5.0 \cdot 10^{-4} \text{ kPa}$	0.196	0.020	

4. まとめ

1999年の台風18号を風荷重に推定した結果を見ると、正面風はほとんど1本目の樹木に影響を与えると考えられる。2本目以降は、上送風の影響がほとんどであると考えられる。また、今回繰り返しせん断試験結果、FEM解析結果は載せてないが、当日結果が出たところで発表する予定である。

5. 参考文献

1) 熊本地方気象台：H11年9月23日00時~24時の台風9918号の風向風速データ 2) 道路橋示方書：2.1.10 風荷重 pp52~61
3) 松岡 延浩：森林の風に対する抵抗係数について 4) 沿岸開発技術研究センター：地盤解析汎用プログラム GeoFem マニュアル
5) 光田 寧：1991年台風19号による強風災害の研究