

斜面崩壊危険指標の開発と地理的評価

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○浅田 穂乃果 正会員 荒木 功平

1. はじめに

令和2年7月豪雨は37府県961件に及ぶ過去最大級の広域土砂災害をもたらした。全国で年平均土砂災害発生件数は1,105件¹⁾、土砂災害警戒区域等指定箇所数は672,419箇所²⁾と非常に多い。不確定性を有するとしても急傾斜地の健全度を地域に発信・周知していくシステムが求められる。本研究では、地域発信型予知システムの開発に向け、斜面崩壊・侵食等の実現象の把握、危険指標の開発、GIS等を用いたマッピングを行っている。

2. 斜面崩壊危険指標の開発

松尾の方式³⁾を用いて、土のせん断強度パラメータ(粘着力 c と内部摩擦角 ϕ)と降水量関係を評価する。図-1に粘着力 c ～飽和度 S_r 関係の例(シルト質砂)³⁾を示す。鬼塚⁴⁾や松尾・上野⁵⁾の実験事実によれば、土質によらず粘着力はある飽和度でピーク値(以下、最大粘着力 c_{max} と称する)を示す。松尾は最大粘着力のときの飽和度(以下、変曲飽和度 S_{ri} と称す)と最適飽和度 S_{ropt} の差 ΔS_{ropt} について平均粒径 D_{50} と式(1)の強い負の相関があることを明らかにした。種々の土質について初期間隙比 e_0 と変曲飽和度関係の直線回帰式(2)を導いた。飽和度は体積含水率 θ (%)を用い、式(3)とした。最大粘着力は近似的に式(4)で表した。粘着力 μ_c と最大粘着力の比～変曲飽和度と飽和度の関係を調べ、平均的に見て直線関係が見出されるとし、式(5)で表した。湿潤単位体積重量 γ_l は式(6)で表す。

$$\Delta S_{ropt} = -79.09D_{50} + 37.86 \quad (1), \quad S_{ri} = -100.0e_0 + (S_{ropt} - \Delta S_{ropt} + 100e_{min}) \quad (2), \quad S_r = \{(1 + e_0)/e_0\}\theta \quad (3),$$

$$c_{max} = 0.103(0.0086)^{e_0 D_{50}} U_c \quad (4), \quad \mu_c = \{1.0 - 0.018(S_r - S_{ri})\}c_{max} \quad (5), \quad \gamma_r = \gamma_d + (\theta/100)\gamma_w \quad (6)$$

ここに、 U_c : 均等係数、 e_{min} : 最小間隙比、 γ_d : 乾燥単位体積重量(kN/m³)、 γ_w : 水の単位体積重量(kN/m³)

無限斜面法による斜面安定解析⁶⁾を行い、安全率 F_s を求め、粘着力 μ_c と湿潤単位体積重量 γ_l の土中水分依存性を評価する。さらに、正規分布 $f(c)$ (平均 μ_c 、標準偏差 σ_c (式(7)))を導入し、安全率 F_s が1となる粘着力 c_F を求め、 c を変数として、 c が c_F 以下となる確率を崩壊確率 P_f とすることにより、斜面の安定性を評価する⁶⁾。 P_f は式(8)により表される。

$$\sigma_c = 0.182c_{max} \quad (7), \quad P_f = \int_{-\infty}^{c_F} f(c) dc \quad (8)$$

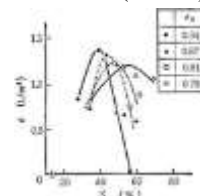


図-1 粘着力～飽和度関係³⁾

3. 現地実験

徳山工業高等専門学校に現地実験斜面(勾配30度、高さ5m、表-1の物理特性をもつ真砂土を幅0.9m、厚さ0.1mで覆土した)を造成した。観測カメラ・土中水分計(斜面法尻から1m、埋没深さ10cmに設置)・雨量計による斜面動態把握を行う。写真-1(a),(b)に撮像結果を示す。(a)は2021年6月4日午前1時35分、(b)は午前2時59分である。写真-1では7区画に分けているが、本論文では裸地区画(左から1番目の裸地-1、4番目の裸地-2)のみ議論する。(a),(b)より裸地-1にガリ侵食(地隙侵食)が発生していることが分かる。図-2に2021年6月3日午前9時～4日午後9時の経時的な降水量～体積含水率の関係を示す。降水に伴い体積含水率が変動しており、4日午前2時頃、最大降水量32mmを観測し、裸地-1で午前4時頃最大体積含水率45.1%を記録した。



(a) 午前1時35分

(b) 午前2時59分

写真-1 撮像結果(2021年6月4日)

表-1 土質の物理特性

土質パラメータ	記号	真砂土	松尾
初期間隙比	e_0	0.448	0.940
土粒子の密度(Mg/m ³)	ρ_s	2.65	2.62
最適含水比	w_{opt}	10.8	15.9
最大乾燥密度(Mg/m ³)	ρ_{dmax}	1.92	1.77
平均粒径(mm)	D_{50}	1.10	0.420
均等係数	U_c	21.4	65.0

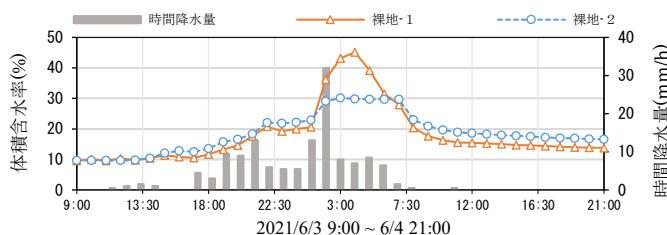


図-2 降水量・体積含水率関係の経時変化

キーワード 斜面崩壊, 土壌水分, 斜面安定, 崩壊確率, 安全率, GIS

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台 徳山工業高等専門学校環境建設工学専攻 TEL 0834-29-6328

4. 安全率と崩壊確率の比較と考察

6月3日午前3時頃の裸地-1における体積含水率43.19%を用い、斜面勾配5度～60度まで解析を行った。図-3,4に斜面勾配と安全率、斜面崩壊確率関係を示す。図-3の安全率では斜面勾配0～20度で大きく低下し、20度で安全率1未満を示し、30度以上で収束傾向を示した。図-4の斜面崩壊確率では、斜面勾配が10度以上で急激に上昇した。30度以上の急傾斜地に対しては、安全率より崩壊確率の方が鋭敏な反応を示すと考える。

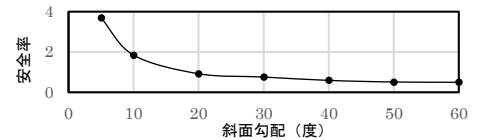


図-3 斜面勾配～安全率関係

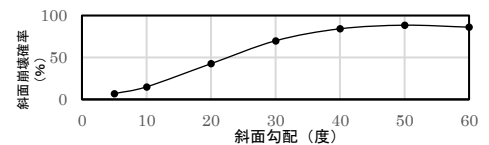
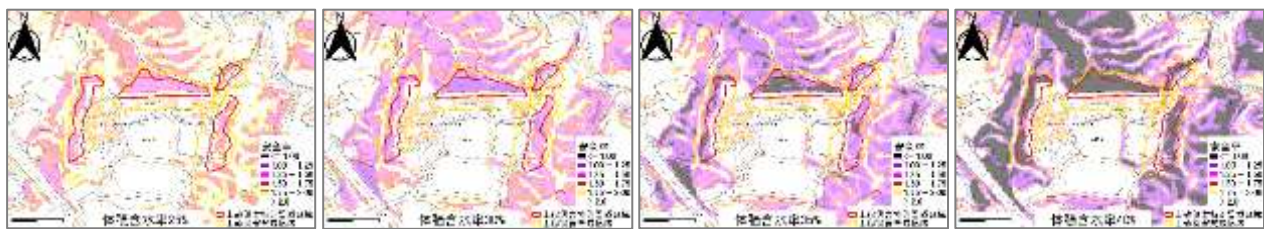


図-4 斜面勾配～斜面崩壊確率関係

5. 地理的評価研究 (マッピング)

国土地理院の基板地図情報⁷⁾の斜面勾配を用い、表層厚さを1.1m⁸⁾、内部摩擦角は25度⁹⁾とし、松尾の代表値³⁾(表-1に示す)により解析し、GISでマッピングした。図-5に安全率、図-6に斜面崩壊確率分布を示す。図-5,6(a)～(d)は体積含水率を25%～40%まで5%毎に解析した結果である。図-5,6(a)より、安全率が1.5未満になると崩壊確率が増加を始める。特に、図-5,6(d)より安全率が1に近づくと崩壊確率が顕著に上昇する。崩壊確率では安全率1付近の危険域で反応が鋭敏になる。よって、崩壊確率は安全率1付近の危険域での評価に適していると考えられる。



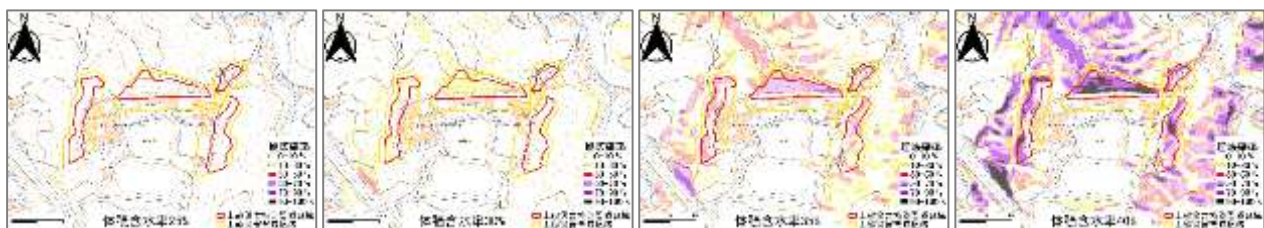
(a)体積含水率25%

(b)体積含水率30%

(c)体積含水率35%

(d)体積含水率40%

図-5 安全率分布



(a)体積含水率25%

(b)体積含水率30%

(c)体積含水率35%

(d)体積含水率40%

図-6 斜面崩壊確率分布

6. おわりに

本研究では、徳山工業高等専門学校で現地観測用斜面を造成し、観測カメラにより2021年6月4日午前2時頃～午前3時頃の小規模な斜面崩壊を撮像した。松尾の方式³⁾により粘着力変化を想定した斜面崩壊危険指標(安全率、斜面崩壊確率)を開発するとともに、松尾の代表値を用いて周辺斜面の健全度をマッピングにより評価した。

謝辞: 本研究はJSPS 科研費21K04263の助成を受けました。雨量計を株式会社ソイル・ブレーン様、観測カメラを中村建設株式会社様、現地斜面の造成を多機能フィルター株式会社様・日本工営株式会社様、航空写真等電子データを山口県土木建築部砂防課様にご提供等いただきました。また、徳山工業高等専門学校の上俊二特命教授、桑嶋啓治准教授、福田靖技術長等関係各位にご指導いただきました。ここに深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省: 令和二年の土砂災害, pp.4-6, <https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r2dosha/r2doshasaigai.pdf>, (2022年3月29日閲覧)
- 2) 国土交通省: 全国における土砂災害警戒区域等の指定状況, <https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/content/001465798.pdf>, (2022年3月29日閲覧)
- 3) 松尾稔: 地盤工学—信頼性設計の理念と実際—, 技報堂出版株式会社, pp.232-235, 1984.
- 4) 鬼塚克忠: 締固めた不飽和土の間ゲキ圧と力学的性状に関する実験的研究, 九州大学学位申請論文, 1973.
- 5) 松尾稔, 上野誠: 斜面崩壊防止のための信頼性設計に関する研究, 土木学会報告集, No.276, pp.77-87, 1978..
- 6) 荒木功平: 土中水分と連動させた徳山高専周辺斜面における安全率分布に関する一考察, 第14回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.463-468, 2021.
- 7) 国土地理院: 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, (2022年3月29日閲覧)
- 8) 小山内信智, 富田陽子, 秋山一弥, 松下智祥: がけ崩れ災害の実態, 国土技術政策総合研究所資料第530号, p75, 2009.
- 9) 山口県周南土木建築事務所: 平成22年度土砂災害警戒区域等に係る基礎調査業務委託第5工区(周南市久米)報告書, pp.1_1-4_4, 2011.