

SAR 衛星土壌水分データを用いた広域的斜面危険度評価に関する研究

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○岩田 夏樹 正会員 荒木 功平

1. はじめに

地球温暖化等の気候変動に伴う大雨の頻度増加による災害の多発が顕在化している．全国の年平均土砂災害発生件数は1,106件¹⁾であり，令和3年8月豪雨は33都府県で448件に及ぶ土砂災害をもたらし，直近10年の同月における平均発生件数（177件）を大幅に上回った．時々刻々と変化する急傾斜地の崩壊危険度を地域レベルで把握し管理・対応していく必要がある．一方，合成開口レーダー（SAR）を搭載した人工衛星（以下，SAR衛星と称する）により，広域的な土壌水分データを無料で誰でも入手可能になった²⁾．本研究では，SAR衛星土壌水分データを用いることで時々刻々と変化する斜面崩壊危険度を広域的に評価する手法（GISマッピング）を研究している．

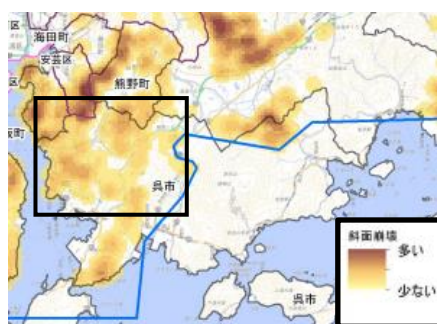
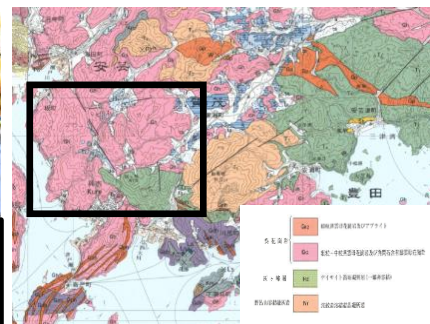
2. SAR衛星土壌水分データと降水量，斜面崩壊密度分布と地質

図-1に令和3年8月豪雨時の呉市におけるJAXAがweb上でオープン化しているSAR衛星土壌水分データ²⁾と降水量（気象庁アメダスデータ³⁾）の推移を示す．図-1をみると，大雨の1，2日後において土壌水分が急激に増加し，土壌水分30%程度を示していることがわかる．衛星は1~2日で観測するが，観測値から土質特性を浸透流解析による逆解析を行うことで，未観測期間の土壌水分を補完できるとおもわれる．

図-2に広島県呉市及びその周辺における斜面崩壊の密度分布⁴⁾，図-3に同地域の地質図⁵⁾を示す．図-2と図-3を比較すると，呉花崗岩が分布している範囲で概ね崩壊密度が大きくなっている．



図-1 降水量～土壌水分の推移

図-2 呉市周辺の斜面崩壊密度分布⁴⁾図-3 呉市周辺の地質⁵⁾

3. 土壌水分変化に伴う斜面崩壊危険度の算出方法

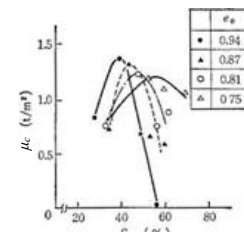
松尾⁶⁾の方式を用い，図-4に示すような粘着力 μ_c ～飽和度 S_r 関係を考える．鬼塚⁷⁾や松尾・上野⁸⁾の実験事実によれば，土質によらず粘着力はある飽和度でピーク値（以下，最大粘着力 c_{max} ）を示す．松尾は最大粘着力における飽和度（以下，変曲飽和度 S_{ri} ）と最適飽和度 S_{ropt} の差 ΔS_{ropt} について平均粒径 D_{50} と式(1)の強い負の相関があることを明らかにした．種々の土質について初期間隙比 e_0 ，最小間隙比 e_{min} と変曲飽和度関係の直線回帰式(2)を導き，最大粘着力は均等係数 U_c を導入して近似的に式(3)で表した．粘着力と最大粘着力の比～変曲飽和度と飽和度の関係を調べ，平均的に見て式(4)の直線関係を見出した．体積含水率 $\theta(\%)$ と飽和度は式(5)の関係，湿潤単位体積重量 γ_t は乾燥単位体積重量 γ_d ，水の単位体積重量 γ_w を用い式(6)の関係がある．ここで，斜面安定解析（無限斜面法）⁹⁾における安全率 F_s が1となる粘着力 c_F を求め，粘着力を変数 c として，正規分布 $f(c)$ （平均 μ_c ，標準偏差 σ_c （式(7)））を導入する． c が c_F より小さい確率を式(8)から求め崩壊確率 P_f とし，斜面崩壊危険度を評価する．

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

$$c_{max} = 0.103(0.0086)^{e_0 D_{50}} U_c \quad (3), \quad \mu_c = \{1.0 - 0.018(S_r - S_{ri})\} c_{max} \quad (4),$$

$$S_r = \{(1+e_0)/e_0\} \theta \quad (5), \quad \gamma_t = \gamma_d + (\theta/100) \gamma_w \quad (6),$$

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

図-4 粘着力～飽和度関係の例（シルト質砂）⁶⁾

キーワード SAR, 土壌水分, 斜面勾配, 安全率, 崩壊確率, 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 TEL0834-29-6328

4. 斜面勾配の作成方法および一考察

図-5 に国土地理院の基盤地図情報¹⁰⁾ から図郭番号 513234 (図-2, 図-3 の黒枠) における斜面勾配区分図 (5m メッシュ) を GIS により作成した結果を示す。斜面勾配 30 度以上 (急傾斜地) を着色した。急傾斜地が多く点在していることがわかり, 図-2 と比較すると, 必ずしも斜面崩壊密度分布と斜面勾配が対応しているわけではないことがわかる。これは斜面勾配の大小が混在すると平均的な崩壊密度が小さくなるためと考えられる。

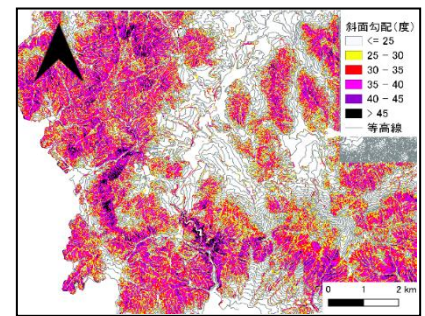


図-5 解析箇所斜面勾配分布図

5. SAR 衛星土壌水分データを用いた広域的斜面危険度評価

SAR 衛星土壌水分データを用い日々変化する斜面崩壊危険度を GIS によりマッピングする。まさ土のようなシルト質砂を想定し, 松尾の代表値⁶⁾ ($e_0=0.940$, 土粒子の密度 2.62Mg/m^3 , 最適含水比 15.9% , 最大乾燥密度 1.77Mg/m^3 , $D_{50}=0.420\text{mm}$, $U_c=65.0$) を用いて表層厚さを 1.1m ¹¹⁾, 内部摩擦角 25 度¹²⁾ として解析する。

図-6 に安全率, 図-7 に崩壊確率を示す。図-7(a)~(c)をみると崩壊確率に大きな変化はみられないことがわかる。これは図-6(a)~(c)において安全率が 1.5 以上の値を示していることと対応していると考ええる。一方, 図-6(d), 図-7(d)の比較により, 安全率が 1.5 未満になると崩壊確率の増加がみられることがわかる。特に, 安全率 1 付近で崩壊確率が顕著に上昇している。言い換えると, 安全率 1 付近の危険性を評価する際には崩壊確率が向いていると考える。

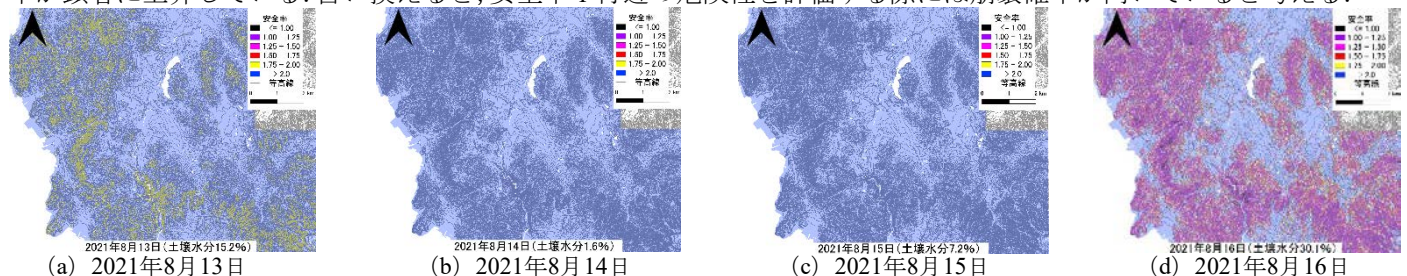


図-6 安全率分布

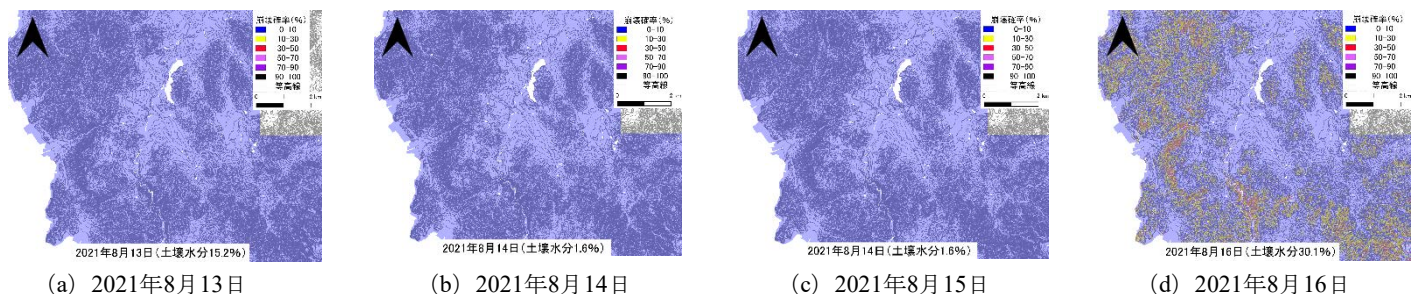


図-7 斜面崩壊確率分布

6. おわりに

本研究では, SAR 衛星土壌水分データから日々変化する広域的な斜面崩壊危険度を GIS により評価した。今後, 衛星未観測期間を浸透流解析等で補完する手法が開発されれば時間単位での評価が可能になると考える。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 21K04263, 中国建設弘済会技術開発支援事業, 徳山高専テクノ・アカデミア事業 (研究シーズブラッシュアップ) の助成を受けました。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 3 年の土砂災害, <https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r3dosha/r3doshasaigai.pdf>, (2023 年 3 月 26 日閲覧)
- 2) JAXA: Jaxa's Public-health Monitor and Analysis Platform, <https://www.jpmap-jaxa.jp/jpmap/jp/>, (2023 年 3 月 26 日閲覧)
- 3) 国土交通省: 気象庁 過去の気象データ, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (2023 年 3 月 26 日閲覧)
- 4) 広島大学: 平成 30 年 7 月豪雨による広島県の斜面崩壊分布図 (第一報), http://www.ajg.or.jp/disaster/files/files/201807_report001.pdf, (2023 年 3 月 26 日閲覧)
- 5) 産総研: 地質図 Navi, <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>, (2023 年 3 月 26 日閲覧)
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 浅田穂乃果, 荒木功平: 土中水分連動型斜面崩壊危険指標の開発と地理的評価に関する一考察, 第 11 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp65-70, 2022.
- 10) 国土地理院: 地理院地図, <https://www.gsi.go.jp/>, (2023 年 3 月 26 日閲覧)
- 11) 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.
- 12) 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.