

大阪大学工学部 学生員 ○村上 一馬
 大阪大学大学院工学研究科 国際会員 小泉 圭吾
 大阪大学大学院工学研究科 国際会員 小田 和広
 西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社 国際会員 上出 定幸

1. はじめに

近年、集中豪雨や台風など異常気象による土砂災害が頻発している。特に、時間降雨量が 50mm を超える降雨の発生件数が顕著に増加しており、豪雨による土砂災害に対する対策が急務である。土砂災害は、がけ崩れ、地すべり、土石流に分類されるが、中でもがけ崩れの増加は、地すべり、土石流に比べ極めて顕著である。したがって、道路管理における安全性向上のためには、がけ崩れに対する防災対策が緊急の課題である。一方、現行のがけ崩れに対する道路管理手法としては、降雨量の統計データによる交通規制あるいは交通規制解除がある。しかし、この手法による規制基準には、斜面の土質特性や水分環境が考慮されていない。したがって、より安全で正確な規制基準を設けるためには、斜面ごとに地盤特性を考慮した評価が必要になる。小泉ら¹⁾は斜面災害監視のために無線センサネットワークによる多点型土砂災害監視システムを提案しているが、同システムにおける警報および警報解除基準の設定手法が課題として残っている。そこで、本研究では無線センサネットワークによる多点型土砂災害監視システムにおける警報および警報解除基準の設定手法を検討する。

2. 対象概要

福井県おおい町に位置する舞鶴若狭自動車道沿い切土のり面を対象とする。対象斜面の地質は、古生代ペム紀の超丹波帯大飯層と丹波帯(舟伏山ユニット相当層)に属する堆積岩類である。ボーリング調査によって柔らかい粘性土が深度 8m 付近まで分布しており、さらに N=10~16 の軟質強風化砂岩が深度 13m 付近にまで分布していることが確認されている²⁾。対象斜面において最も風化が著しい地点の土質特性を表-1 に示す。

表-1 舞鶴若狭自動車道 KP107 土質特性

ρ_s (g/cm ³)	e	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	Uc	Uc'	ρ_{dmax} (g/cm ³)	W _{opt} (%)	k (cm/s)
2.78	1.51	0.56	3.3	18	32.1	1.08	1.32	32.8	3.66.E-04

3. 警報および警報解除基準の定義

警報および警報解除基準の設定にあたり、本研究では水分特性曲線を用いた手法を検討した。表層崩壊発生の主要因として、サクシヨンの低下による有効応力の減少が考えられる。そこで降雨浸透による対象斜面の体積含水率およびサクシヨンの変化を測定し、サクシヨンの低下、回復を基に警報および警報解除基準を設定する。図-1 に水分特性曲線の概形を示すが、サクシオンが低下し地盤が不安定になる点 a を警報基準、サクシヨンの回復が今後期待でき、地盤が安定してくる点 b を警報解除基準とする。ここでの警報基準とは崩壊に直接影響を及ぼす変状を予測する基準ではなく、有効応力が減少しているという状態を管理者に注意喚起すると共に、解除の適切な時期を予測することを主な目的としている。

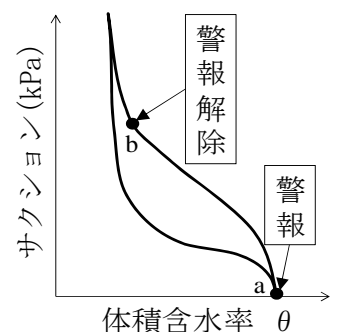


図-1 水分特性曲線概形

4. 保水性試験

サクシヨンの状態を評価するために、現場土砂を用いた保水性試験を実施した。試験手順としては、①内径19.6cm、高さ10cmのアクリルパイプに現場土砂を間隙比が1.51となるように充填する。②現場で用いている土壌水分センサ(体積含水率)、水ポテンシャルセンサ(サクシヨン)を現場と同条件で埋設する。③サクシヨンが下限値を示すまで加水し、その後乾燥させる。④1分毎にデータを取得し、対象斜面の水分特性曲線を得る。今回、同条件で9caseの試験を実施した。

ところで、本研究で用いた土壌水分センサの換算式は砂質土に対応したもので、現地土質を再現することはできない。従って、結果の分析にあたり、現地土質に対応した校正式を導出する必要がある。校正式導出試験の手順は次のようになる。①容量が既知の容器に含水比の異なる現場土砂を間隙比1.51になるように充填する。②含水比が0, 10, 20, 30, 32, 35%の6caseに対して、計算による基準値とセンサによる測定値を算出する。③その関係図から校正式を導出する。校正式を以下に示す。

$$\text{校正值} = 0.4027 \times \text{測定値} + 0.2137 \quad \dots (1)$$

5. 警報および警報解除基準

警報基準(点a)に関しては、サクシヨンの下限値から抽出した。抽出したデータには、ばらつきが存在するため抽出データを検定し99%信頼区間を求めることで評価した。検定の結果、警報基準の上限値(危険側)は体積含水率0.472に対してサクシヨン11.5kPa、下限値(安全側)は体積含水率0.456に対してサクシヨン19.0kPaとなった。より安全な道路管理が求められていることを考慮し、警報基準は後者(0.456, 19.0kPa)を採用する。

一方、警報解除基準(点b)に関しては、サクシヨンの回復が今後期待でき、地盤が安定に向かう点を抽出するため、モニタリングデータ間の傾きの変化率が最大となる点を算出した。この点も点a同様、ばらつきを検定して評価する。実験で得られた水分特性曲線(排水過程)における点bの拡大図を99%信頼区間を併せて図-2に示す。検定の結果、警報解除基準の上限値(危険側)は体積含水率0.446に対してサクシヨン14.7kPa、下限値(安全側)は体積含水率0.417に対してサクシヨン20.9kPaとなった。解除の場合も安全側に基準を設定する必要があるため、警報解除基準は後者(0.417, 20.9kPa)を採用する。さらに安全側に警報の発令、解除を行うため、発令条件としては体積含水率あるいはサクシヨンのどちらかが基準を超えた時点とし、解除条件としては両方の基準を超えた時点とする。

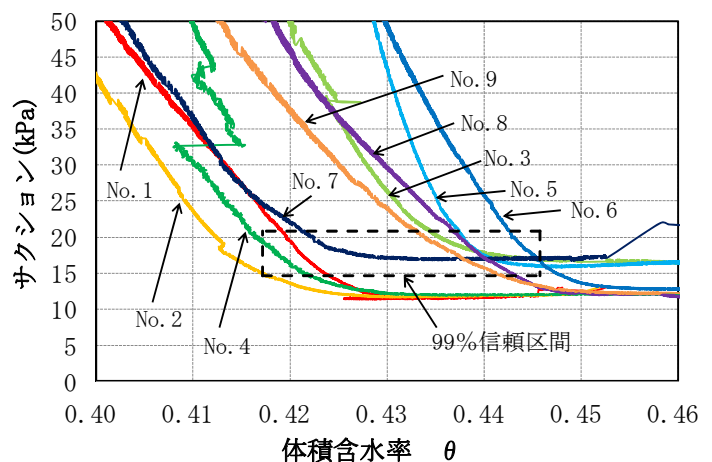


図-2 水分特性曲線(排水過程)点b拡大図

抽出するため、モニタリングデータ間の傾きの変化率が最大となる点を算出した。この点も点a同様、ばらつきを検定して評価する。実験で得られた水分特性曲線(排水過程)における点bの拡大図を99%信頼区間を併せて図-2に示す。検定の結果、警報解除基準の上限値(危険側)は体積含水率0.446に対してサクシヨン14.7kPa、下限値(安全側)は体積含水率0.417に対してサクシヨン20.9kPaとなった。解除の場合も安全側に基準を設定する必要があるため、警報解除基準は後者(0.417, 20.9kPa)を採用する。さらに安全側に警報の発令、解除を行うため、発令条件としては体積含水率あるいはサクシヨンのどちらかが基準を超えた時点とし、解除条件としては両方の基準を超えた時点とする。

6. まとめ

無線センサネットワークによる多点型土砂災害監視システムにおける警報および、警報解除基準の設定手法を提案した。その結果、対象斜面における警報基準は(0.456, 19.0kPa)、解除基準は(0.417, 20.9kPa)となる。今後は対象斜面で実測を行い、これらの結果の妥当性を検証する必要がある。

謝辞

本研究は建設技術研究開発助成金(H23 実用化研究開発公募)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 小泉圭吾, 小田和広, 平田研二, 藤田行茂, 上出定幸: スリーブ機能を持った無線センサネットワークの斜面災害監視への適用, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2010, pp119-126, 2010.
- 2) 日本高速道路技術センター大阪建設局委託: 舞鶴から大飯間地滑り対策検討委員会報告書, H.9-H.13.3.