

北九州市若松区藤木における土壌水分センサーを用いた体積含水率の変化について

VARIATION OF VOLUMETRIC WATER CONTENT MEASURED WITH A SOIL MOISTURE
SENSOR IN FUJINOKI, WAKAMATSU AREA, KITAKYUSHU CITY

青木 拓¹・山本健太郎²・横矢直道³・山下武志⁴・宮原 仁⁵

Taku AOKI, Kentaro YAMAMOTO, Naomichi YOKOYA, Takeshi YAMASHITA
and Hitoshi MIYAHARA

¹中央開発株式会社 (〒814-0103 福岡市城南区鳥飼 6-3-27)

E-mail: aoki.t@cknet.co.jp

²大分大学 (〒870-1192 大分市大字旦野原 700)

E-mail: yama-ken@oita-u.ac.jp

³元 株式会社福山コンサルタント

E-mail: nakama8241@outlook.jp

⁴日本地研株式会社 (〒812-0894 福岡市博多区諸岡 5-25-25)

E-mail: yamatake@chiken.co.jp

⁵さくら設計株式会社 (〒812-0893 福岡市博多区那珂 3-21-27-609)

E-mail: miyahara@384.jp

Key Words: natural slope, rainfall, field investigation, monitoring, volumetric moisture content

1. はじめに

土木学会西部支部の調査研究委員会である「斜面崩壊と雨の降り方との関係と警戒避難システムの実用化に関する調査研究委員会」では、斜面災害から住民の生命と財産を守るため、降雨特性（降雨時間と降雨量）と斜面災害の危険度の関係を明らかにした上で、斜面崩壊を予測する手法を開発することを目的に調査を実施している^{1), 2)}。本委員会では、降雨特性と地盤の体積含水率の変化傾向を把握するために土壌水分センサーを用いた観測を2023年度に開始した。

体積含水率の変化から表層崩壊を予測する研究は近年複数の報告があり、小泉ほか³⁾では模型斜面実験や実際の斜面における計測を行うことで、斜面への雨水浸透に伴う体積含水率と変位の関係を明らかにした上で、降雨時の斜面の健全性を評価するものとして、土中の体積含水率の上昇値が一時的に低下

する状態が発現する最初の時点における体積含水率（初期疑似飽和体積含水率: IQS）の定義や測定方法、計測データからの推定手法、指数の提案を行っている。浅田ほか⁴⁾では地域発信型土砂災害予知システムの開発に向けて、現地実験斜面において計測した体積含水率を使用して斜面崩壊危険度の解析・評価を実施している。

本研究では福岡県北九州市の協力を得て、複数の地質（火山岩類、花崗岩、堆積岩類）からなる調査地点における調査結果や観測データの蓄積を行い、分布地質の違いによる降雨に伴う体積含水率の変化に着目した整理を計画している。

本論では、火山岩類を基盤とする調査地において実施した地盤調査結果や土壌水分センサーによる観測結果について報告する。なお、同様の調査は北九州市内の他2地点（花崗岩箇所、凝灰質砂岩箇所）でも実施しており、これらの結果は別途報告する。



図-1 調査地の地質図³⁾

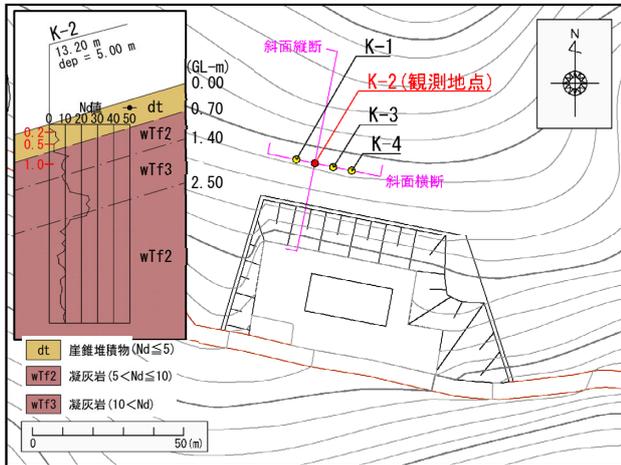


図-2 調査地周辺の地形図
(「北九州市基本図 (S=1:2,500)」より作図)

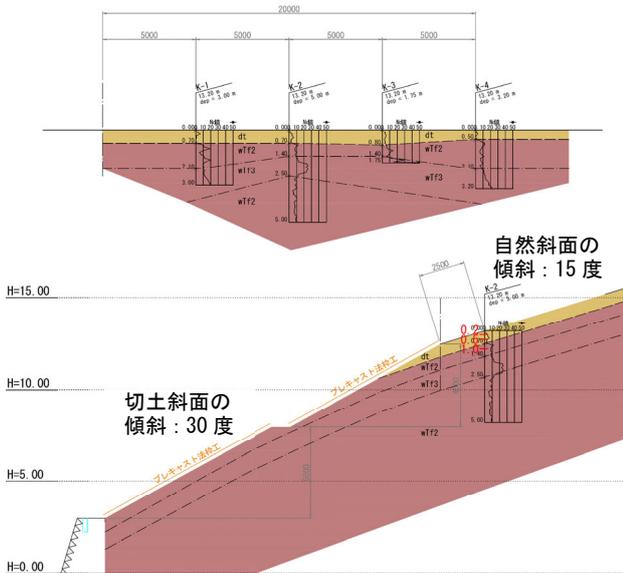


図-3 調査地の断面図 (上: 横断面図, 下: 縦断面図)



写真-1 調査地周辺のドローン写真



写真-2 観測地点状況

写真-3 計器埋設状況

2. 調査地概要

調査地は、北九州市若松区藤木に位置する標高が130m前後であり、南向きに15°程度の傾斜を有する自然斜面である(写真-1)。当地点は北九州市が管理する敷地であり、観測地点周辺に樹木が繁茂していないことから調査地として選定した。当該地の地質は、前期白亜紀関門層群のうち下関亜層群に分類される海士郷安山岩であり、普通輝石安山岩溶岩、凝灰岩及び凝灰角礫岩からなる(図-1)。観測地点周辺の地表部には、不均質な礫混じり粘性土状を呈する崖錐堆積物が分布し、露岩は認められない。沢の一部に安山岩の強風化岩が露出する程度である。

3. 地盤調査概要及び結果

(1) 地盤調査概要

地盤調査は、観測地点周辺における分布地質や地盤性状の把握を目的に実施しており、観測地点(K-2)では簡易動的コーン貫入試験、ベーンコーンせん断試験、原位置透水試験、室内土質試験を実施した(表-1)。

(2) 地盤調査結果

簡易動的コーン貫入試験の結果、深度0.00～0.70mは $N_d \leq 5$ の区間、深度0.70～1.40m及び深度2.50～5.00mは $5 < N_d \leq 10$ を示す区間、深度1.40～2.50mは $N_d > 10$ を示す区間である。地層区分は、深度0.70mを境にして上位が崖錐堆積物、下位が凝灰岩となる(図-2, 図-3)。

ベーンコーンせん断試験の結果、崖錐堆積層の粘

表-1 観測地点周辺の地盤調査結果一覧

地点	深度0.2m	深度0.5m	深度1.0m	
地質	崖錐堆積物	崖錐堆積物	凝灰岩	
N_d 値	$N_d \leq 5$	$N_d \leq 5$	$5 < N_d \leq 10$	
粘着力 c (kN/m ²)	-	31.59	-	
内部摩擦角 ϕ (°)	-	19.93	-	
透水係数 k (m/sec)	1.2×10^{-5} (試験区間:GL-0.42~0.72m)			
土粒子密度 ρ_s (Mg/m ³)	2.637	2.664	2.734	
自然含水比 w_n (%)	41.7	36.2	32.0	
粒度	礫 (%)	8.9	17.8	16.8
	砂 (%)	11.6	9.9	11.1
	シルト (%)	48.0	34.0	31.1
	粘土 (%)	31.5	38.3	41.0
	細粒分 (%)	79.5	72.3	72.1
液性限界 w_L (%)	68.8	56.0	60.1	
塑性限界 w_p (%)	38.3	30.1	32.3	
地盤材料の分類名	砂礫まじりシルト (MH-SG)	砂まじり礫質シルト (MHG-S)	砂まじり礫質シルト (MHG-S)	

着力は 31.59kN/m²、内部摩擦角は 19.93° の結果を得た。

原位置透水試験は崖錐堆積物から凝灰岩にかけての区間で実施し、その結果は中位の透水性に区分される 1.2×10^{-5} (m/s) の値を示す。

室内土質試験の結果、浅部から深部に向かい土粒子密度は大きくなり、自然含水比は小さくなる傾向を示す。粒度割合に着目すると、深度 0.5m と 1.0m は類似する値を示す一方、深度 0.2m は下位 2 深度よりも細粒分が多い結果を示す。

4. 観測概要及び結果

(1) 観測概要

観測は、土壤水分センサーWD-3-W-5Y (株) A・R・P 製) 及びデータロガーGTR-04G (ジオテクサービス (株) 製) を使用した。センサーは、計器設置深度ごとに設けた縦穴から山側に向けて設置した (写真-2)。縦穴部の埋戻し時は、ベントナイトを用いた雨水流入防止対策を講じた。観測間隔は 10 分間に 1 回とし、月 1 回のデータ回収を実施した。観測深度は、地盤調査結果を参考にして 0.2m (表土)、0.5m (崖錐堆積層)、1.0m (風化岩) の 3 箇所とした (写真-3)。なお測定は、地盤調査結果を考慮しない状態で室内においてキャリブレーションを実施したセンサー 3 機を用いており、センサーによって取得した電圧値から体積含水率への変換は 3 深度ともに同一の換算式を利用している。

体積含水率の観測結果との関係を把握するために用いた降雨量は、調査地から東南東に約 2.0km の距離にある北九州市設置の「藤ノ木観測所」における 10 分毎のデータである。

(2) 観測結果

a) 深度ごとの傾向

観測開始以降の各深度における体積含水率の最大値と最小値は次のとおりである。

深度 0.2m は最大値 79.0%、最小値 24.5%である。
 深度 0.5m は最大値 79.6%、最小値 23.3%である。
 深度 1.0m は最大値 81.9%、最小値 29.4%である。

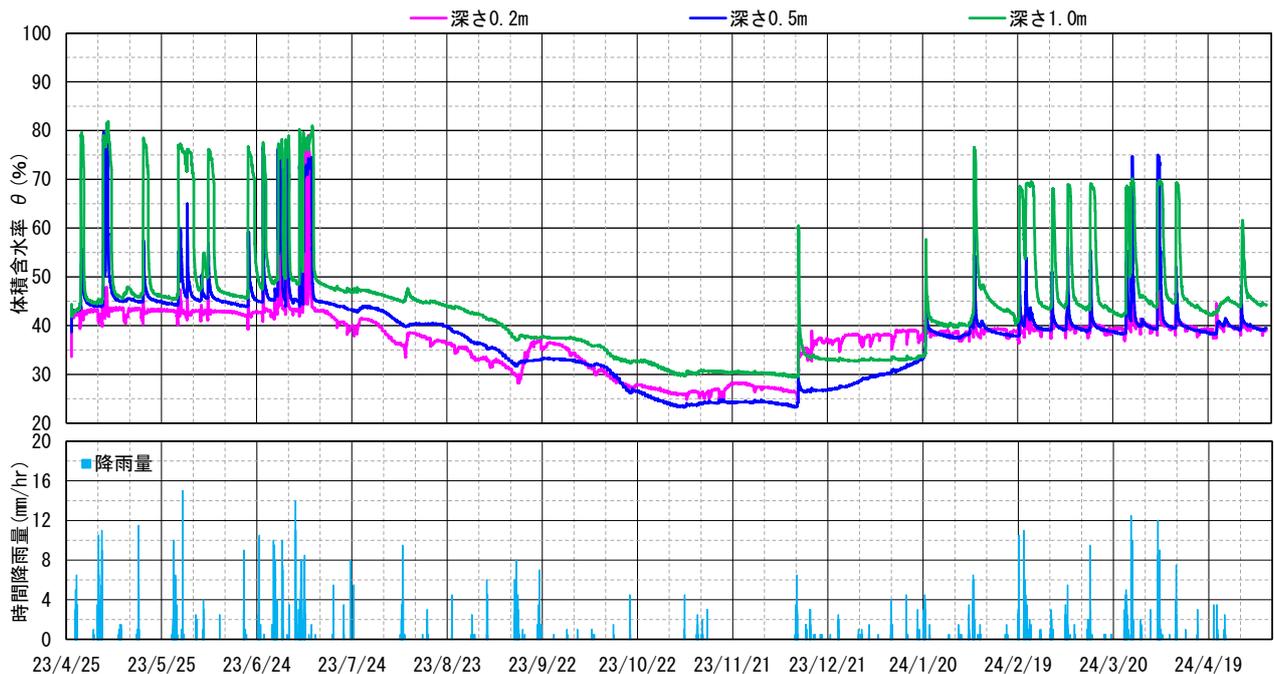


図-4 観測全期間における体積含水率と降雨量グラフ (2023/4/26~2024/5/7)

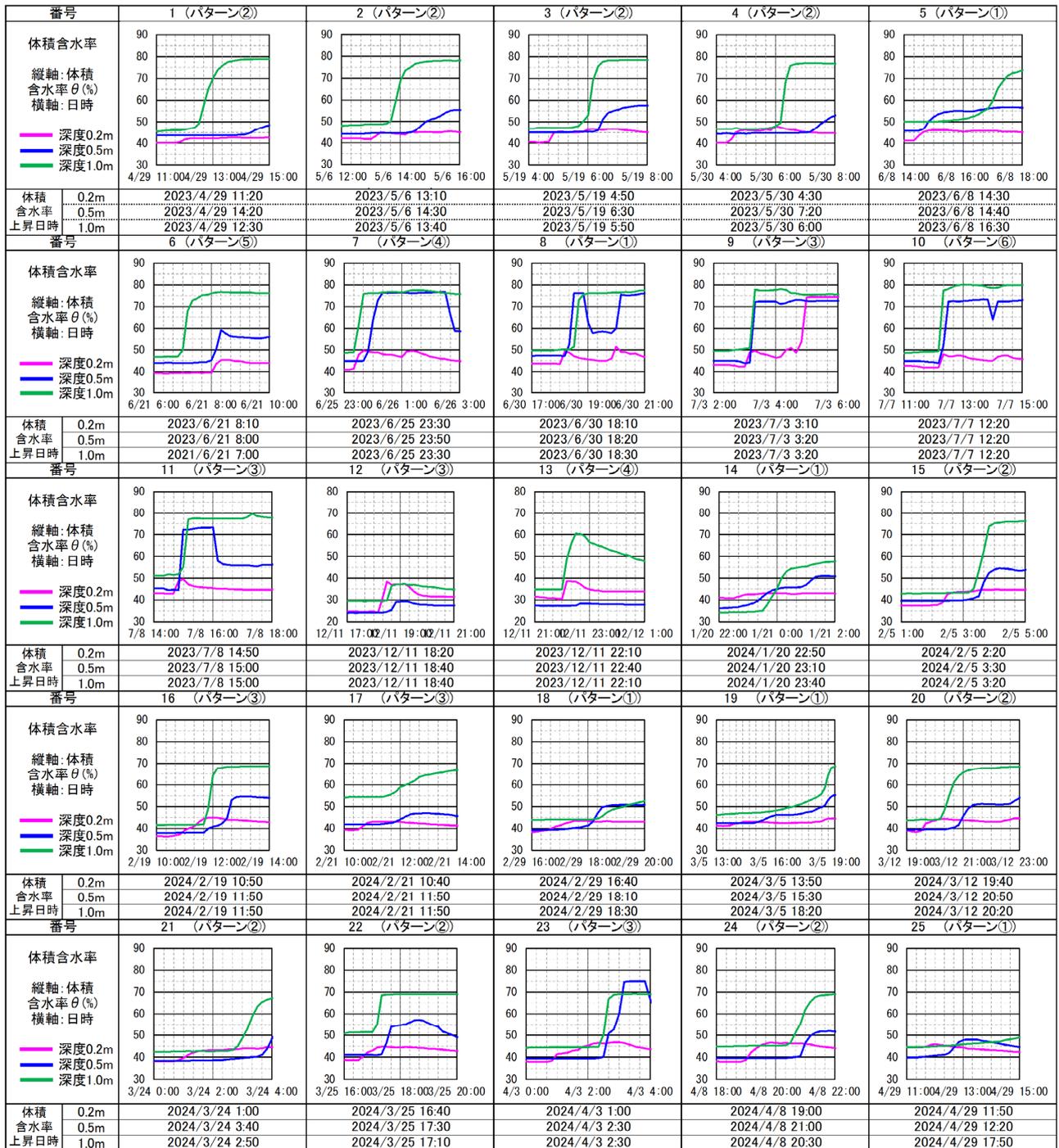


図-5 3 深度において体積含水率 2%以上上昇時の変化グラフ

深度 0.2m と深度 0.5m は、最大値と最小値ともに類似した値を示すが、深度 1.0m は他 2 深度と比較して最大値、最小値ともに大きな値を示す (図-4)。

b) 降雨時に伴う体積含水率の上昇パターン

観測期間中には、降雨による体積含水率の上昇が認められる。本報告では、降雨に伴い観測 3 深度のいずれもが体積含水率の 10 分前観測値から 2% 以上の上昇を記録した計 25 回における 3 深度の上昇タイミングについて整理した (図-5)。

体積含水率の上昇パターンは、深度 0.2m, 1.0m,

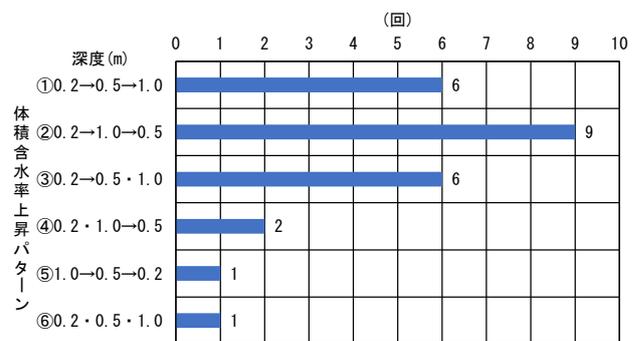


図-6 体積含水率の上昇パターン

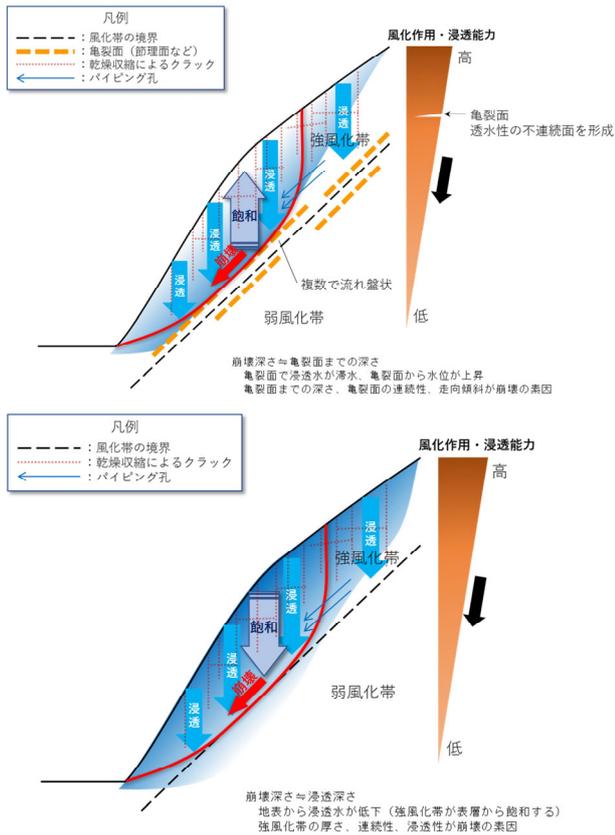


図-7 斜面の飽和形態について²⁾

0.5mの順で上昇する傾向(図-6中②)が最も多く認められており、浅部から深部にかけて体積含水率が上昇する傾向(図-6中①, ③)が次点となる。パターンの中には、体積含水率の上昇傾向が複数深度で同時に認められる傾向(図-6中③~⑥)があるほか、深部で上昇した後に浅部で上昇するといった傾向もある(図-6中④・⑤)。

このような体積含水率上昇傾向の違いは、表土や崖錐堆積物と風化岩の境界部に存在が想定される水ミチと当該箇所を流れる地下水、さらには降雨浸透メカニズムが要因と推察される。

当地では、雨水の浸透により表土や崖錐堆積物の体積含水率が上昇する傾向のほか、水ミチを通じて斜面上部から供給される地下水の影響を受けて風化岩上部の体積含水率が上昇する傾向(図-7上)も存在すると想定されるが、降雨形態と体積上昇パターンとの関係などの詳細は今後の検討により明らかにしたい。

5. まとめ

本研究では、福岡県北九州市の火山岩類を基盤岩とする自然斜面において地盤調査を実施した上で、表土1深度、崖錐堆積層1深度と岩盤1深度の計3

深度で降雨に伴う体積含水率の変化特性について土壌水分センサーを用いて10分毎の観測を実施した。本論では3深度の全てにおいて体積含水率が前10分観測時と比較して2%以上上昇した期間に着目してその上昇の順序について整理した。その結果、浅部から深部にかけて体積含水率が上昇する傾向が確認されるほか、最深部の深度1.0mにおける体積含水率の上昇が上位2深度よりも早く生じる傾向も確認された。このような体積含水率上昇傾向の違いは、表土や崖錐堆積物と風化岩の間に存在が想定される水ミチと当該箇所を流れる地下水、さらには降雨浸透メカニズムが要因と推察される。ただし、降雨特性と体積含水率上昇パターンの関係性については、今後の検討課題である。また、分布地質や表層地盤の特性が異なる地点における計測結果の取得や傾向や特性についての検討が望まれる。

現在北九州市内では、分布地質が異なる全3地点において観測を実施中である。近日中には当調査地の上下方向において観測計器の追加設置を行うほか、分布地質の異なる新規1地点での観測開始を予定している。今後は、さらなる降雨特性に着目した評価や、分布地質の違いや斜面の深度方向・上下方向における体積含水率の変化傾向の把握を目指す^{6),7)}。

最終的には、体積含水率と地層を構成する土の密度から飽和度に変換を行い、斜面崩壊発生予測指標の一つである有効先行降雨量^{1),2)}の精度向上や崩壊対象層の飽和度の関係精査に繋げたい。

参考文献

- 1) 玉田文吾, 横矢直道, 森与志信, 北九州市: 斜面崩壊と雨の降り方との関係ー福岡県北九州市・長崎県などにおける考察ー: 2018年3月。
- 2) 斜面災害リスクに関する評価手法の開発と斜面防災の実用化に関する調査研究委員会: 斜面災害リスクに関する評価手法の開発と斜面防災の実用化に関する調査研究報告書ー平成30年7月豪雨による北九州市内の崩壊斜面についてー: 2022年11月。
- 3) 小泉圭吾, 小松満, 小田和広, 伊藤真一, 堤浩志: 体積含水率に着目した降雨時の斜面の健全性を評価するための一考察, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 77, No. 2, pp. 129-139, 2021。
- 4) 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検討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, pp. 65-70, 2022。
- 5) 中江訓, 尾崎正紀, 太田正道, 藪本美孝, 松浦浩久, 富田幸臣 5万分の1地質図幅「小倉」, 地質調査所, 1998。
- 6) 山本健太郎, 青木拓, 岡本憲治, 山下武志: 土壌水分

センサーを用いた体積含水率の変化について—その 1—北九州市若松区藤木における事例, 令和 5 年度 西部支部研究発表会講演概要集, pp. 323-324, 2024.

- 7) 山下武志, 甲木善徳, 波多優佑, 東風平宏, 宮原仁, 黒田隆志, 林泰弘: 土壌水分センサーを用いた体積含水

率の変化について—その 2—北九州市小倉南区と門司区における事例, 令和 5 年度 西部支部研究発表会講演概要集, pp. 325-326, 2024.

(2024. 5. 31 受付)