

平成30年7月豪雨による北九州市内の斜面崩壊に関する試験結果と崩壊メカニズム

TEST RESULTS AND MECHANISM OF SLOPE FAILURE CAUSED BY HEAVY RAIN IN KITAKYUSHU ON JULY 2018

東風平宏¹・山本健太郎²・横矢直道・山下武志³・藤白隆司⁴・山口剛史¹

Hiroshi KOCHIHIRA, Kentaro YAMAMOTO, Naomichi YOKOYA, Takeshi YAMASHITA

Takashi FUJISHIRO and Takefumi YAMAGUCHI

¹基礎地盤コンサルタンツ株式会社 (〒814-0022 福岡県福岡市早良区原 2-16-7)

²西日本工業大学 (〒800-0394 福岡県京都郡苅田町新津 1-11)

³日本地研株式会社 (〒812-0894 福岡市博多区諸岡 5-25-25)

⁴地盤防災研究所 (〒802-0003 北九州市小倉北区米町 1-1-1 小倉駅前ひびきビル 6階)

Key Words: slope failure, portable dynamic cone penetration test, in-situ permeability test

1. はじめに

降雨による斜面災害から住民の生命と財産を守るためには、降雨と斜面崩壊の危険度の関係を明らかにし、住民にとって分かりやすい警戒避難体制を構築することが必要と考える。

福岡県北九州市では、雨の降り方と斜面崩壊の関係について研究が進められ、その成果が警戒避難情報に関する意思決定時の参考資料に供されている¹⁾。そこで、北九州市圏域で平成30年7月に発生した斜面崩壊を対象として、地形・地質、降雨・崩壊状況、崩壊土砂や崩壊面付近の土の物性値等を把握し、崩壊メカニズム及び降雨と崩壊層の飽和度(斜面崩壊の危険度)の関係及び地質による違いについて検討が進められている。このうち、本稿ではこれら崩壊斜面に対し、現地踏査及び簡易動的コーン貫入試験、現場透水試験、室内土質試験を実施し、調査・試験結果とともに、崩壊地の地形・地質、崩壊状況及び崩壊メカニズムについて報告する。

北九州市地域には、上部古生界、下部白亜系、古第三系、第四系および白亜紀深成岩類、鮮新世一更新世の玄武岩類などの幅広い年代の多様な岩石・地層が複雑な地質構造をなして分布している²⁾。崩壊

は北九州市圏内で広く発生したことから、研究対象地として、分布地質も考慮し、図-1に示すように八幡東区祝町(中生代砂岩)、門司区大里東(古生代砂岩)、小倉南区平尾台(中生代花崗岩)の3つの地域を対象とした。

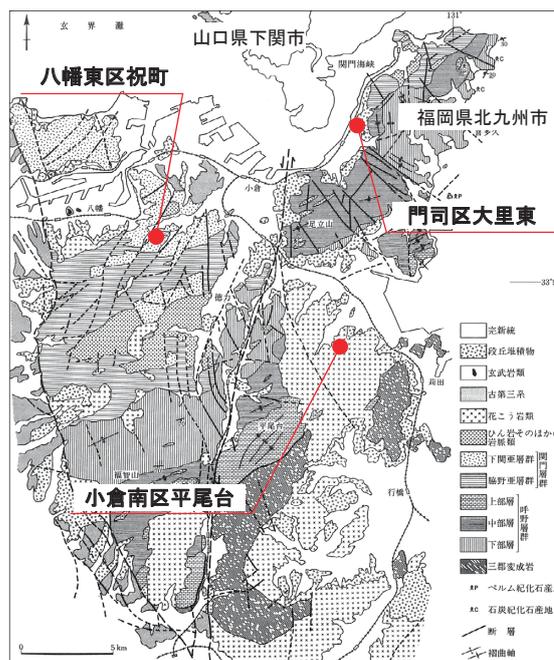


図-1 北九州市周辺の地質概念図²⁾

2. 試験結果と崩壊メカニズム

本章では、研究対象とした3つの地域における試験結果と崩壊メカニズムについて示す。

(1) 八幡東区祝町

対象地は谷部を切り開いた東向きの切土のり面である。中生代白亜紀後期の関門層群下関亜層群に属する凝灰質砂岩が分布地する³⁾。

a) 崩壊状況

崩壊斜面の全景写真を図-2に示す。対象斜面は法尻に2段のブロック積擁壁(53°程度)、その上位に1:1.2より緩勾配(36°程度)で表層をプレキャスト法枠で保護した切土のり面となっており、崩壊は上段のブロック積擁壁を巻き込み、幅11m、高さ12m程度の規模となっている。

b) 崩壊斜面の地形地質状況

崩壊地は大局的にみて、図-3に示すように、緩傾斜の山地地形の谷側斜面にあたり、斜面背後は宅地として広く造成されている。このため、多雨に伴い山地斜面から供給される地下水の存在は考えられるが、図-4のように崩壊地背後の平坦地から表流水が過剰に供給される可能性は低い。

分布地質は緩傾斜の地形に示唆されるように、風化が著しく進行しており、崩壊のり面の滑落崖で見られるような軟らかい砂質粘土からN値10~20程度の粘土質砂(共に凝灰質砂岩の強風化土)が法尻以深まで厚く分布し、切土のり面やその周囲に硬質な岩盤は露出してない(図-5)。

なお、崩壊地に向かって北側(平面図右側)の崩壊跡地ではパイピング孔が数ヶ所確認されている(図-6)。多雨に伴い地下水ないし伏流水が湧水として流出するミズミチの存在が想定される。



図-2 崩壊地全景



図-3 崩壊地周辺状況

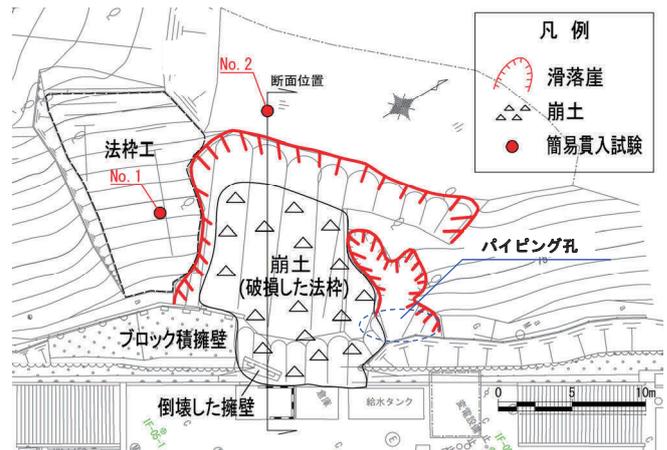


図-4 崩壊地の平面図



図-5 強風化砂質粘土



図-6 パイピング孔

c) 原位置試験結果

崩壊地のすぐ脇の未崩壊斜面で実施した簡易動的コーン貫入試験 No.1 では、図-7に示すように、Nd 4程度が深度-2.3m付近まで連続し、これを境に下位では局部的な硬質部を挟在しながら徐々にNd値が上昇する傾向を示す。

この境界深度は、崩壊地内で実施したボーリング調査により把握した今回の崩壊による堆積土砂(崖錐堆積物)の下面深度とほぼ同一であることから、当該深度が崩壊の底面に相当すると考えられる。

現場透水試験の結果を表-1に示す。崩壊地周辺斜面の透水係数はいずれも 10^{-8} (m/sec)と非常に低い。これは、表-2に示すように当地の崖錐堆積物が非常に細粒分に富む土質であることと調和的な結果となっている。

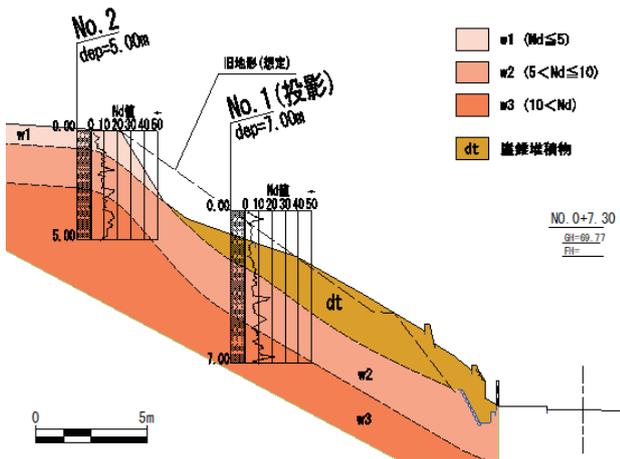


図-7 崩壊斜面の断面図

表-1 現場透水試験結果

場所	推定Nd	現場透水試験 k (m/sec)	室内土質試験		
			湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	含水比 (%)
崩壊背後地	Nd ≤ 5	6.2E-08	—	—	—
崩壊地側方	Nd ≤ 5	6.0E-08	—	—	—
崩壊地内	Nd > 5	3.5E-08	1.40	1.00	40.5

表-2 室内土質試験結果

地質名	室内土質試験							
	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	含水比 (%)	粒度				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)
			礫 (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)		
崖錐堆積物	2.749	38.5	0.0	3.9	52.7	43.4	55.3	32.6

d) 崩壊メカニズム

崩壊斜面の地形・地質および崩壊状況等から、崩壊のメカニズムを以下のように推定する。

- ① 表層からの風化及び切土に伴う緩みにより非常に軟らかい砂質粘性土状の強風化層 (Nd 4 程度以下) が地表部に分布していた。
- ② 背後斜面からの地下水の供給により、表層の強風化部及び上段ブロック積擁壁背面に過剰な水圧が発生する。
- ③ 地下水の一部はパイピングとして地表に湧出し、表層の浸食・小崩壊を引き起こす一方で、ブロック積擁壁箇所では、過剰間隙水圧が発生し緩い強風化層が不安定化し、斜面崩壊・擁壁倒壊を引き起こした。

(2) 門司区大里東

対象地は山口県下関市と福岡県北九州市を分かつ関門海峡に面する海岸に近い国道から台地上の住宅街へ上る細い市道に面した西向き斜面である。古生

代の呼野層群に属する凝灰質砂岩が分布地する³⁾。

a) 崩壊状況

崩壊斜面の全景写真を図-8に示す。崩壊地のすぐ隣には吹付砕工が施工されているが、崩壊斜面は無処理である。崩壊は勾配 41~43° の自然斜面で発生し、高さ約 10m、幅約 12m の規模である。

b) 崩壊斜面の地形地質状況

崩壊地は、山地裾部の緩傾斜地の西端部にあたり、崩壊地の上部は平坦地となっており住宅や公園として利用されている(図-9)。このため、多雨に伴い表流水が集中するような状況にないと考えられる。

表層の地質は風化が著しく進行し褐色の砂質粘土化した砂岩からなり、地山深部に向かうほどシルト混じり砂状に変化する。

なお、のり肩背後の平地で実施した調査ボーリングにおいて、深度-6~8m 付近で含水が高く、孔内水の存在も確認されていることから、常時は、同深度付近に地下水位が存在している可能性が考えられる。



図-8 崩壊地全景

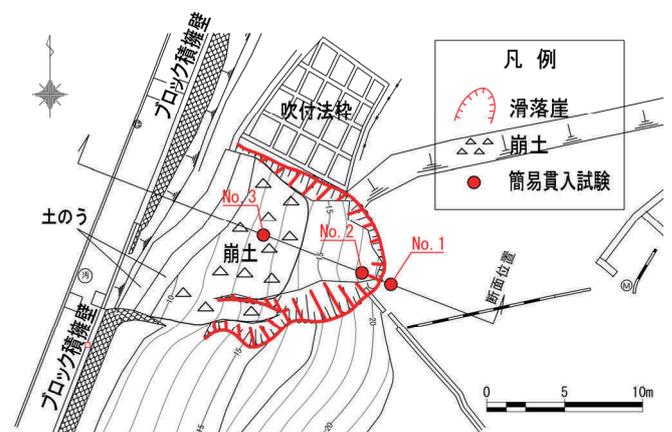


図-9 崩壊地の平面図

c) 原位置試験結果

当該地における簡易動的コーン貫入試験の結果、Nd 値が急激に上昇する深度は、表-3 及び図-10 に示すように、滑落崖直下の No. 2 を除けば深度-0.9～1.2m 程度であり、No. 2 も滑落崖の高さ 1.4m 程度と考慮すれば旧地表から-1.7m 程度と想定される。このため、当該地では概ね深度-1.5m 前後の深度まで Nd 値が低い地層が分布していると考えられ、本層が崩壊に至ったと推定される。なお、Nd 値は最大 10 程度以下であるが、いずれも Nd 5～10 の層厚は 10～30cm 程度と薄いことから、崩壊対象層はおおむね Nd ≤5 程度以下であると考えられる。

表-3 Nd の境界深度

番号	No. 3	No. 2	No. 1
Nd	(m)	(m)	(m)
Nd ≤ 5	1.03	0.2	0.9
Nd ≤ 10	1.2	0.3	1.2

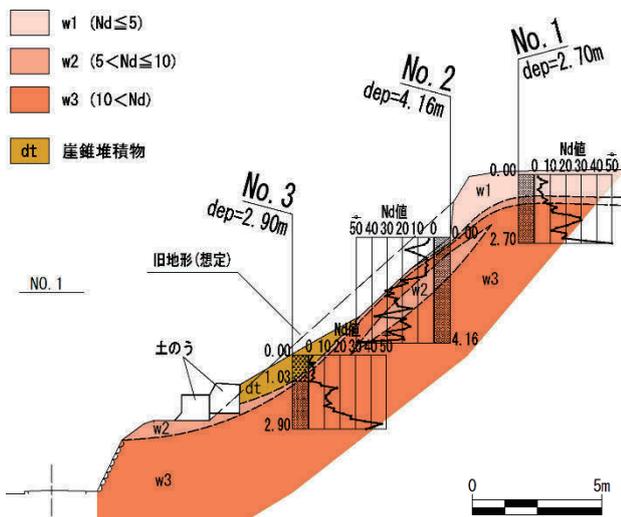


図-10 崩壊斜面の断面図

表-4 室内土質試験結果

地質名	室内土質試験							
	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	含水比 (%)	粒度				液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)
			礫 (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)		
崖錐堆積物	2.686	38.2	17.9	11.6	40.9	29.6	63.3	36.0



図-11 崖錐堆積物



図-12 現場透水試験

崩壊した土砂（崖錐堆積物）の性状は表-4 の室内土質試験結果に示すように、粘性土ではあるが礫砂分がやや多い（図-11）。

また、斜面中腹で実施した現場透水試験による透水係数は 10^{-5} (m/sec) となり、やや低い透水性を呈している（図-12）。

d) 崩壊メカニズム

崩壊斜面の地形・地質および崩壊状況から、崩壊のメカニズムを以下のように推定する。

- ① 風化により非常に軟らかい砂質粘土状を呈す強風化土（Nd 5 以下）が表層に形成されていた。
- ② 背後の山体からの多量な地下水の供給に伴い、表層の強風化粘土が飽和し、過剰間隙水圧が発生するなど不安定化する。
- ③ 強風化層下に弱面が形成され、地形変化点である市道を起点とした崩壊が発生し、斜面肩部の平坦地まで波及した。

(3) 小倉南区平尾台

対象地は北九州市南東部を通る東九州自動車道の朽網トンネル起点側坑口付近の南東に位置する林道沿いの北向き斜面である。中生代白亜紀後期の花崗岩類（平尾花崗閃緑岩）で、中～粗粒の塊状岩盤からなる。

a) 崩壊状況

崩壊斜面の全景写真を図-13 に示す。



図-13 崩壊地全景

対象斜面は、下貫から水晶山方面へ昇る蛇行した林道の北向き斜面で、約 10m の区間で切土が実施されている。斜面勾配は 49° 程度で遷急線から崩壊しており、崩壊規模は幅約 10m、高さ約 13m 程度である。なお、崩壊地周辺の林道は、他にも崩壊や路面の浸食が連続している。

b) 崩壊斜面の地形地質状況

崩壊地の背後はやや緩い凸状の地形を呈しているが、図-14 に示すように、さらに背後では明瞭な谷地形を成しており、典型的な集水地形となっている。崩壊斜面を構成する地層は、上位から表土、黄灰～淡褐灰色の砂質まさ土（滑落崖に露出）、礫質まさ土～軟岩が確認された（図-15）。

さらに、まさ土中には最大径 2m のコアストーン（未風化硬質岩）が一部多量に分布する状況が認められた（図-16）。ただし、図-17 に示すように、崩壊斜面にはコアストーンはあまり確認されなかった。コアストーンの分布が少ない箇所は地質構造的な弱線の可能性がある。また、集水地形の前面の緩い凸状地形は、集水地形による地表水の供給によって崩壊または流下した土砂の堆積部とも想定される。

以上より、現地斜面は地質的に弱線であったうえに、豪雨時に背後からの地表水の供給が加わり、崩壊へと繋がったと想定される。現状は表層の緩いまさ土の表層崩壊であるが、今後も崩壊がさらに進展すると、背後の凸状地形を形成する土砂堆積部の土砂を伴い、さらに大きな崩壊や土石流へと繋がること懸念される。

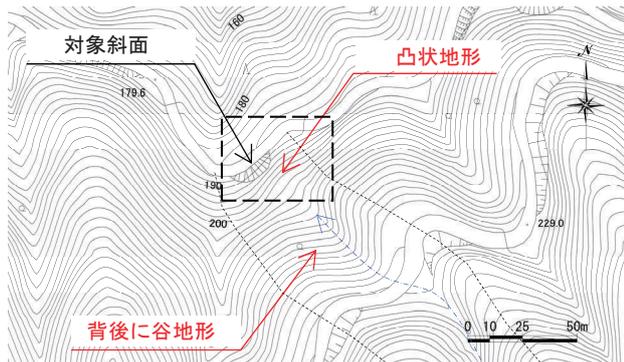


図-14 崩壊地周辺の地形図



図-15 滑落崖のまさ土



図-16 コアストーン

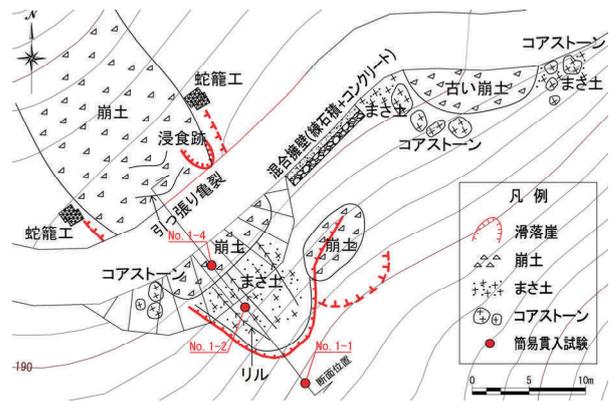


図-17 崩壊地の平面図

c) 原位置試験結果

簡易動的コーン貫入試験を実施した。図-18 で示される崩壊直上（滑落崖背後）で実施した No. 1-1 では $N_d \leq 5$ 以下の地層が GL-2.1m 付近まで分布し、その直下から N_d が急激に上昇する傾向を示す。一方、崩壊面上で実施した No. 1-2 では、表層より $N_d 10$ 以上となり、GL-2.3m 付近まで 10～20 前後で推移し、その後急激な上昇傾向を示す。斜面裾部は $N_d 1 \sim 3$ 程度の崩積土が堆積する。

このように、本崩壊では $N_d 5 \sim 10$ 程度の地層が欠落しており、地盤の締まり具合の観点では $N_d 5$ 程度以下（主に、 $N_d 3$ 程度）を目安に地層区分ができると考えられる。

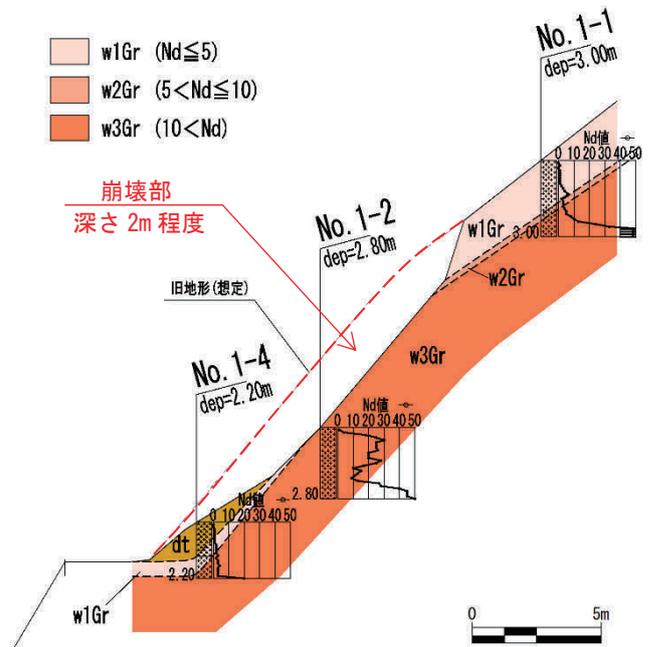


図-18 崩壊斜面の断面図

d) 崩壊メカニズム

崩壊斜面の地形・地質および崩壊状況から、崩壊のメカニズムを以下のように推定する。

- ① 強風化した緩い砂質まさ土 (Nd 3 程度以下) が地表部に形成された。
- ② 傾斜 50° 程度と切土に対する標準法面勾配より急な勾配で切土され、さらに背後に典型的な集水地形が分布していた。
- ③ 豪雨によって地表水が急激に供給されたため、緩い砂質まさ土が飽和し、弱面が形成され崩壊が発生した。

3. 崩壊の傾向

今回、対象とした北九州市八幡東区祝町、門司区大里東、北九州市小倉南区平尾台の3地域における崩壊の概要について表-5に示すとともに、その傾向を以下に列記する。

- ・崩壊規模は、3地域とも高さ・幅 10m 程度、崩壊深さ 2m 前後となる。
- ・斜面勾配は、砂岩分布地で 40° 程度、花崗岩分布で 50° 程度となる。
- ・崩壊対象層の Nd は概ね 5 程度以下となる。
- ・崩壊対象はともに基盤の強風化層となり、土質は砂岩が粘性土、花崗岩は砂質土となる。
- ・細粒分の多い強風化層や崖錐堆積物は、 $10^{-5} \sim 10^{-8}$ (m/s) となり、透水性は低い。
- ・粘性土はともに含水比は低く、液性指数 I_L が 0.08 ~ 0.26 となり、試験時は安定した状態にある。

表-5 各地域の特徴

地区名		八幡東区祝町	門司区大里東	小倉南区平尾台	
地形		切土のり面	自然斜面	切土のり面	
基盤地質		砂岩	砂岩	花崗岩	
崩壊規模	幅 (m)	11	12	10	
	高さ (m)	12	10	13	
	斜面勾配 (°)	38	42	49	
	推定層厚 (m)	2	1.5	2.5	
崩壊対象層	Nd	4 程度以下	5 程度以下	3 程度以下	
	分類名	シルト	砂混じり礫質シルト	(砂質マサ土)	
	土粒子の密度 (g/cm ³)	2.749	2.686	—	
	含水比 (%)	38.5	38.2	—	
	粒度	礫 (%)	0	17.9	—
		砂 (%)	3.9	11.6	—
		シルト (%)	52.7	40.9	—
		粘土 (%)	43.4	29.6	—
	液性限界 (%)	55.3	63.3	—	
	塑性限界 (%)	32.6	36	—	
透水性 (m/s)	6.1E-08	3.2E-05	—		

4. まとめ

平成 30 年 7 月豪雨によって北九州市圏域で発生した斜面崩壊について、現地の地形地質状況および崩壊状況を確認し、原位置・室内試験結果等も踏まえ崩壊のメカニズムについて検討した。

推定される崩壊メカニズムについて、本論で取り扱った3地域では、崩壊対象層の土質や周辺環境の違いから、砂岩の強風化(粘性土)が崩壊対象となる2地域は背後地山からの地下水の供給による過剰間隙水圧の発生、花崗岩の強風化砂質まさ土が分布する地域は背後の集水地形からの地表水による飽和によって、それぞれ崩壊に至ったと推定される。

なお、3地域の崩壊規模は、高さ、幅ともに10m、層厚2m前後、崩壊層のNd値は5以下程度という共通点があった。

今後、さらに他地域の崩壊箇所において現地調査・室内土質試験等を行い、分布地質ごとの力学特性や透水性、崩壊規模の差異等を明らかにしていきたい。その結果、分布地質の違い(地域性)を踏まえ、降雨の降り方(斜面崩壊の危険度)と崩壊層の飽和度の関係に基づく斜面崩壊箇所の予測や警戒避難体制の構築(地質・地域毎の有効先行雨量の設定)につなげたい^{4), 5)}。

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—福岡県北九州市・長崎県などにおける考察—: 2018年3月。
- 2) 日本の地質「九州地方」編集委員会: 日本の地質9九州地方, 共立出版: 1992。
- 3) 地質調査所: 地域地質研究報告5万分の1地質図幅, 福岡(14)第34号, NI-52-10-1, 小倉地域の地質, 平成10年
- 4) 藤白隆司, 山本健太郎, 鶴成悦久, 横矢直道, 佐藤秀文, 徳田充樹, 波多優佑: 平成30年7月豪雨による北九州市八幡東区の斜面崩壊について—その1—崩壊斜面の地形地質および崩壊状況と崩壊メカニズムについての考察, 第54回地盤工学研究発表会講演集, pp. 1817-1818, 2019
- 5) 宮原仁, 東風平宏, 林泰弘, 岡本憲治, 甲木義徳, 山下武志, 平瑞樹, 富永義高: 平成30年7月豪雨による北九州市八幡東区の斜面崩壊について—その2—崩壊斜面における原位置試験及び室内土質試験結果について, 第54回地盤工学研究発表会講演集, pp. 1819-1820, 2019

(2020.7.1 受付)