

# 平成 30 年 7 月豪雨による北九州市内の斜面崩壊について—その 1— 小倉南区における崩壊メカニズムと原位置・室内土質試験結果の考察

斜面崩壊 原位置試験 浸透 日本地研株式会社 正会員 ○甲木善徳 西日本工業大学 国際会員 山本健太郎  
 正会員 横矢直道 日本地研株式会社 山下武志  
 株式会社セイコー 正会員 宮原 仁 九州電技開発株式会社 正会員 富永義嵩  
 九州産業大学 国際会員 林 泰弘 鹿児島大学 国際会員 平 瑞樹

## 1. はじめに

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の研究が進められ、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。北九州市の表層地質は白亜紀の堆積岩(関門群層)や貫入した火山岩、石灰岩など多岐にわたるため、地質に基づく地域区分毎に「有効先行降雨量」を設定し、その精度を上げることが急務と考える。

本稿は、平成 30 年 7 月豪雨により北九州市小倉南区で発生した斜面崩壊を対象として、現地調査による斜面崩壊メカニズムを基に、原位置試験(簡易動的コーン貫入試験、原位置透水試験)および室内土質試験結果から考察できる斜面崩壊の危険度と崩壊層の飽和度の関係について報告する。

## 2. 被災状況

崩壊斜面は林道の西向き斜面で、古い滑落崖を含めると約 50m の崩壊履歴を伴っている。今回の豪雨による崩壊規模は、幅約 15m、高さ約 10m 程度であり、崩土が道路を塞ぎ一部下方斜面に落ちているが、幸い人的な被害は発生していない。現在、道路に表層水で浸食したと思われる水みちや窪みが多く、崩壊土砂の撤去も進んでいないため、車両通行止めとなっている。

## 3. 現地調査結果と斜面崩壊機構

崩壊地周辺は尾根地形を切土した斜面で、典型的な集水地形ではないが、僅かに馬蹄形状であった。斜面は花崗岩を基盤としており、一般に風化したまさ土は表流水による浸食に弱いとされている。

地表踏査と簡易動的コーン貫入試験の結果から崩壊斜面と未崩壊斜面の地層構成を図-2、3 にまとめた。表層の粘土質まさ土は一部に縦方向の乾燥クラックが卓越し、まさ土中には最大径 1.5m のコアストーン(未風化硬質岩)の点在が認められた。これら乾燥クラックやコアストーンの形成は除荷作用による割れ目の発達から進行する花崗岩の典型的な風化形態であり、現地斜面の風化帯の形成を示すものである。風化したまさ土は深部ほど締まり状態が強くなり、透水性も低くなる。そのため、 $Nd \leq 5$  を示す粘土質まさ土中に形成された乾燥クラックを伝って侵入した地表水は、 $5 < Nd \leq 10$  の緩い砂質まさ土中に帯水され、次第に横方向に繋がり弱面を形成したと考えられる。

現地の崩壊メカニズム(図-2)は、①強風化した粘土質まさ土と緩い砂質まさ土が厚く分布し、1:1.0 よりも急勾配で僅かに集水地形を呈す斜面であった、②そこに、豪雨による地表水が強風化した粘土質まさ土に形成された乾燥クラックを伝って急激に供給されたため、これらの層が飽和し弱面が形成され崩壊が発生した、③未崩壊斜面は、強風化部の層厚が薄く、切土高さも低かったために崩壊に至らなかったと想定した。

## 4. 斜面崩壊解析のためのアプローチ

斜面崩壊は、崩壊対象層が飽和することによって「重量増加」「せん断強度の低下」が起ることにより発生する。玉田らによる北九州市における雨



図-1 調査対象位置(国土地理院地形図)

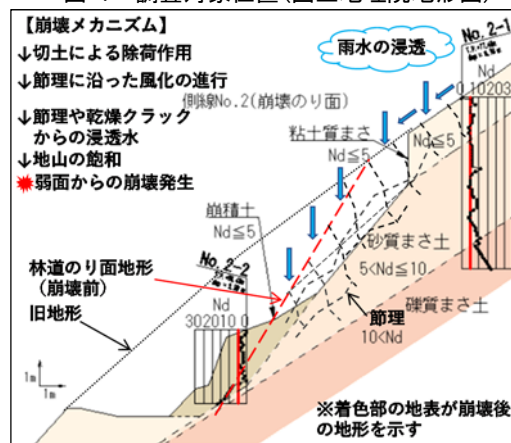


図-2 崩壊箇所の地層と崩壊メカニズム

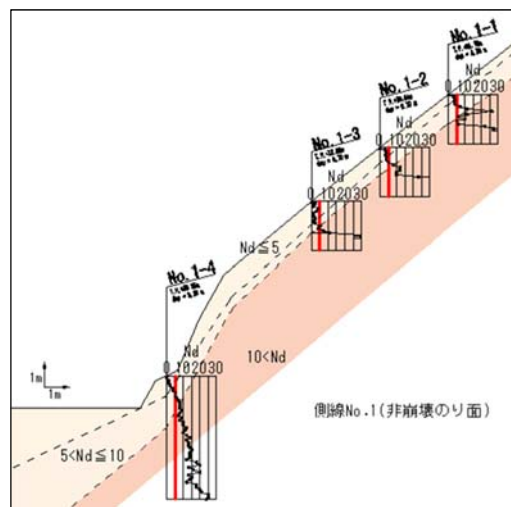


図-3 未崩壊箇所の地層断面図

の降り方と斜面崩壊の関係についての研究<sup>1)</sup>によると、有効先行降雨量によって斜面崩壊の発生確率を予測できるとしている。この研究における有効先行降雨量、降雨浸透能力、降雨浸透容量の定義は、表-1の通りである。各項目の算出式にある  $A_w$ ,  $m$ ,  $Z$  は地形や地質構造、風化に起因した浸透特性を表すものであり、既研究では北九州市内の崩壊実績から経験的に求められているが、今後現地条件で個別に設定することも課題の一つと考える。

表-1 斜面崩壊発生確率の予測に用いる項目の定義と有効先行降雨量の算出に使用する数式

降雨浸透容量 $Q_C$ (mm) : 崩壊対象層に貯留可能な降雨量 土質試験から求まる単位体積当たりの間隙量に対象層厚を掛けて求めた体積量
降雨浸透能力 $Q_A$ (mm) : 崩壊対象層において降雨強度に対応して浸透することが可能な降雨量 (地表流下を考慮した浸透量)。降雨が降雨浸透能力よりも多い場合は、過剰分が表層を流下することになる
有効先行降雨量 $Q_E$ (mm) : 崩壊対象内に有効に貯留される降雨量(地表流下、地中排水を考慮した貯留量)
$Q_C = V_A \cdot D_s$ $V_A$ : 空気間隙体積, $D_s$ : 鉛直対象深度
$Q_A = h_w \cdot (V_A / 1000)$ , $h_w = A_w \cdot K^m \cdot t^{0.5}$ $A_w$ : 係数(200 ; 北九州市), $K$ : 透水係数(cm/s), $m$ : 指数(0.51 ; 北九州市), $t$ : 浸透時間 (3600sec)
$f(Q_E)_T = Q_E \cdot e^{(-Z \cdot T)}$ $Z$ : 指数 (0.021 ; 北九州市), $T$ : 経過時間(hour)

5. 崩土と地山の物性値

空気間隙体積( $V_A$ )の算出に必要な間隙比と飽和度は現地試料を試験し、土粒子の密度( $\rho_s=2.654\text{g/cm}^3$ ), 含水比( $w=23.9\%$ )および湿潤密度( $\gamma_t=1.490\text{g/cm}^3$ ), 間隙比  $e=(w/100+1) \times \rho_s / \rho_t - 1=1.207$ , 飽和度  $S_r=w \times \rho_s / e \times \rho_w=52.6(\%)$ , 空気間隙体積  $V_A=e/(1+e) \times (1-S_r/100)=0.259$  とした。崩土と地山の粒度特性は崩壊した土砂は非崩壊箇所の土砂と比較して低い細粒分含有率を示した (図-4)。透水係数は非崩壊箇所まで深さ 0.5m 程度の層で現場透水試験を実施し、 $k=9.3 \times 10^{-7} \sim 5.4 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ を得た。

6. 降水量データと対象斜面崩壊時の再現性

降雨浸透容量  $Q_C$  と降雨浸透能力  $Q_A$  の算出を試みた。

$Q_C = V_A \cdot D_s = 0.259 \times 1800 = 466(\text{mm})$

$Q_A = A_w \cdot K^m \cdot t^{0.5} \cdot (V_A / 1000)$   
 $= 200 \times (9.3 \times 10^{-5})^{0.51} \times 3600^{0.5} \times (259 / 1000) = 27.3(\text{mm})$

図-5 の降雨量と有効先行降雨量  $Q_E$  は、現地から 4km 離れた北九州市の「竹馬川」観測点の値を用い関係を示した。期間中の降水量が  $Q_A$  を超えたのは 3 回であり、過剰分の降雨は表層を流下し浸食に影響したと考える。また、現地調査で得られた透水係数を用いて算出した降雨浸透量  $Q_C=466\text{mm}$  に対して有効先行降雨量  $Q_E$  は 300 mm 強と小さく、現地斜面は飽和する前に崩壊に至ったことが考えられる。

これは、地表水が粘土質まきのクラックから侵入したため、崩壊層全体の透水係数が現地調査で得られた値より大きかったこと、表流水による浸食が崩壊の発生を速めたこと等の理由によると推定する。

7. まとめと今後の課題

これまでに平成 30 年 7 月豪雨で崩壊した斜面 5 箇所において現地調査や各種試験を行い、北九州市が参考とする有効先行降雨量との検証を行ってきた。宮原ら<sup>2)</sup>は堆積岩の崩壊箇所を検証し、現地崩壊のタイミングと有効先行降雨量との整合が取れたと報告している。今回のまさ土斜面では玉田らの手法を用い崩壊機構を検討した結果、降雨による地山の飽和に至る前の崩壊が再現された。この 2 つの事例から、玉田らの手法は現地の降雨と崩壊機構の関係を見出すことが可能と考える。

今後、玉田らの手法を改良し汎用性を高めたいと考えているが、地形や地質別の特徴を把握するためにはサンプル数が少ないため、今後も同様のフィールドで調査を行う必要がある。また、今回の事例のような亀裂面からの浸透をどのように評価し、有効先行降雨量の算出に反映させるのが課題となる。現在、室内で地下浸透のモデル実験を進めており、有効先行降雨量の提案式の検証や降雨浸透能力の算出の精度向上を図る予定である。

今後、玉田らの手法を改良し汎用性を高めたいと考えているが、地形や地質別の特徴を把握するためにはサンプル数が少ないため、今後も同様のフィールドで調査を行う必要がある。また、今回の事例のような亀裂面からの浸透をどのように評価し、有効先行降雨量の算出に反映させるのが課題となる。現在、室内で地下浸透のモデル実験を進めており、有効先行降雨量の提案式の検証や降雨浸透能力の算出の精度向上を図る予定である。

【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-
- 2)宮原仁: 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-, 第 55 回地盤工学研究発表会論文 No0910

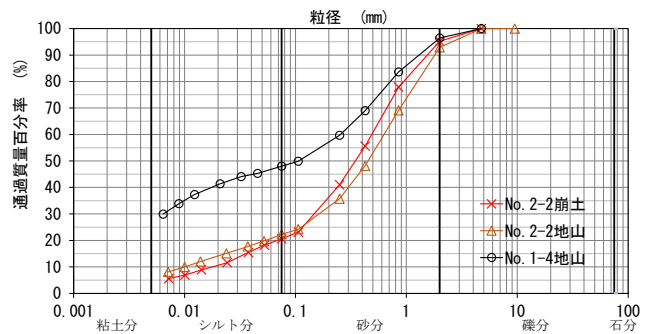


図-4 粒径加積曲線

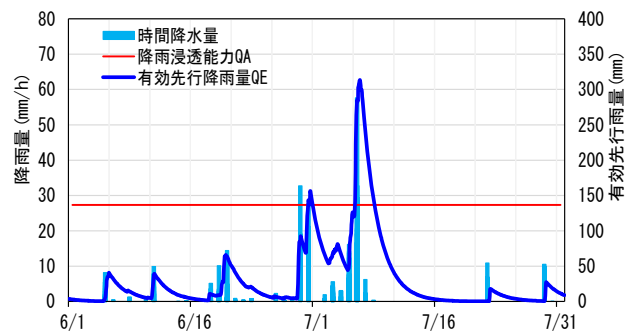


図-5 降水量と有効先行降雨量の関係(竹馬川観測点)