

降雨で崩壊した北九州斜面の安定性に及ぼす地盤条件の影響

九州産業大学 学生会員 高山 薫

九州産業大学 正会員 林 泰弘

九州産業大学 正会員 松尾 雄治

1.はじめに

北九州市には急斜面上に多くの住宅地がみられる。2017年7月の九州北部豪雨により土砂、崖崩れが市内全7区で計407件（門司区が最多の175件）発生し、多くの住宅が巻き込まれた。

末永¹⁾、大西²⁾らの研究では、北九州市で斜面崩壊があった場所の不攪乱試料や再構成試料を用いて、一面せん断試験から強度定数 (c' , ϕ') を求め、安定解析を行った。しかし、供試体の条件によっては、せん断強さのばらつきが大きく、適切な強度定数を定めることが困難であり、この強度定数のばらつきや飽和度の変化が大きく安全率に影響すると報告した。本研究では多くの試験結果から、組み合わせによっていくつかの強度定数を設定して安定解析を行い、飽和度の変化や強度定数のばらつきが安全率に及ぼす影響を検討した。

2. 対象土の特性

対象土は、北九州市の小倉南区昭和池と門司区新門司で採取した。試料の特性を表1に示すが、昭和池土は砂分が多くまさ土とみられ、新門司土は粘性土で赤褐色の土である。締固め試験をA-b法で行い求めた締固め曲線を図1に示す。昭和池土は $w_{opt}=13.1\%$ 、 $\rho_{dmax}=1.822\text{g/cm}^3$ 、新門司土は $w_{opt}=42.7\%$ 、 $\rho_{dmax}=1.191\text{g/cm}^3$ であった。これまでに調べた北九州市の試料の中で、昭和池土は最も ρ_{dmax} が大きい値になり、新門司土が最も小さい値になった。

一面せん断試験の供試体の作製条件を図2をもとに説明する。現場の含水比 (w_n) と締固め曲線に対応する乾燥密度 (ρ_d) を不飽和試料、その ρ_d で飽和したものを飽和試料とした。圧密定体積一面せん断試験は、 $D_{max}=0.85\text{mm}$ に調整した試料を、直径6cm、高さ2cmに締固めて供試体を作製した。圧密応力を20, 40, 80, 120 kN/m²で行い得られた強度定数を表2に示す。同じ条件で供試体を複数個作ったが、選択する結果の組み合わせによって強度定数にばらつきがあった。

表1 対象試料の物理特性³⁾

呼称	昭和池土	新門司土
自然含水比 (%)	19.5	40.7
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.655	2.683
礫分 (%)	16.0	10.5
砂分 (%)	73.8	19.5
シルト分 (%)	6.8	40.5
粘土分 (%)	3.4	29.5
液性限界 (%)	NP	59.5
塑性限界 (%)	NP	31.0
土の種類	粘性土まじり礫質砂	礫まじり砂質シルト
地盤材料の分類記号	SG-Cs	MHS-G

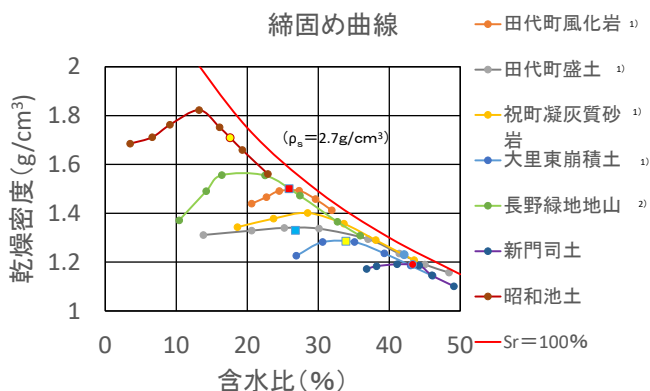
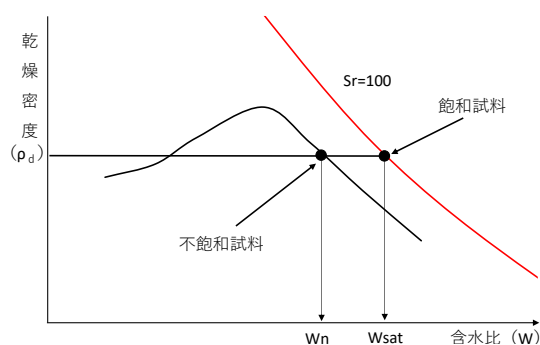
図1 締固め曲線^{1), 2)}

図2 供試体条件の設定法

3. 安定解析

北九州市では基盤層の上に崩壊土層が覆っていることが多いので無限長斜面を想定した安定解析が適切である。無限長斜面内に地下水が斜面と平行に流れる場合を仮定した図3に示す断面で、式(1)を用いて安定解析を行った。 α はすべり面の傾斜角($^{\circ}$)、 z は崩壊層の深さ(m)、 H は基盤層から地下水面まで深さ(m)、 γ' は崩壊層の水中単位体積重量(kN/m^3)、 γ_t は崩壊層の単位体積重量(kN/m^3)、 γ_{sat} は崩壊層の飽和単位体積重量(kN/m^3)である。

$$Fs = \frac{c'}{\{\gamma_t(z-H) + \gamma_{\text{sat}}H\} \sin \alpha \cos \alpha} + \frac{\{\gamma_t(z-H) + \gamma' H\} \tan \phi'}{\{\gamma_t(z-H) + \gamma_{\text{sat}}H\} \tan \alpha} \quad (1)$$

斜面断面図³⁾より、昭和池斜面は $\alpha = 49^{\circ}$ 、 $z = 4.1\text{m}$ 、 $H = 0 \sim 4.0\text{m}$ 、新門司斜面は $\alpha = 33^{\circ}$ 、 $z = 5.7\text{m}$ 、 $H = 0 \sim 5.0\text{m}$ で安定解析を行った。解析結果を図4に示す。同じ解析条件において強度定数のばらつきによる安全率への影響はほとんどないことが分かった。昭和池斜面は飽和すると安全率が大きく低下したが新門司斜面はあまり変化がなかった。また、今回の条件では全てのケースで $Fs > 1$ であった。

表2 供試体の物理特性と強度定数

試料	呼称	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	含水比 W (%)	粘着力 c' (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ' ($^{\circ}$)	選出データ個数
昭和池不飽和	①	1.709	17.6%	304.2	44.0	3個
	②			370.0	31.6	
	③			324.1	42.0	11個
	平均値			73.9	33.3	
昭和池飽和	①	1.709	21.4%	75.9	35.3	3個
	②			94.1	28.3	
	③			80.0	34.2	12個
	平均値			358.8	29.2	
新門司不飽和	①	1.190	43.3%	286.7	57.3	3個
	②			383.5	18.5	
	③			307.8	36.1	10個
	平均値			319.6	45.2	
新門司飽和	①	1.190	47.5%	297.0	40.3	3個
	②			250.0	72.3	
	③			318.8	20.8	10個
	平均値			276.2	55.0	

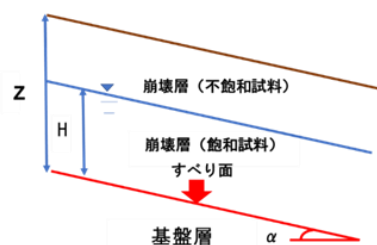
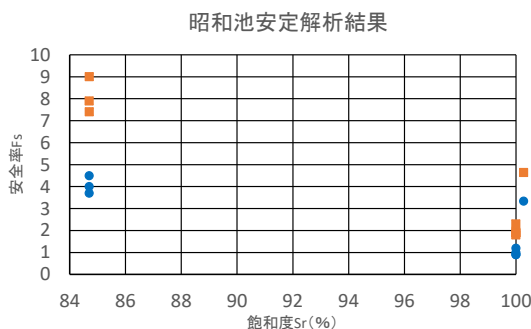
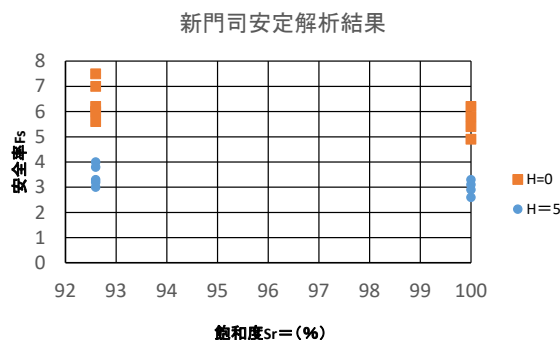


図3 モデル断面図¹⁾



(a) 昭和池 $H=0 \sim 4.0\text{m}$



(b) 新門司 $H=0 \sim 5.0\text{m}$

図4 飽和度と安全率の関係

4. まとめ

一面せん断試験で得られた強度定数(c' 、 ϕ')はばらついてしたが、それらを用いて計算した安全率には大きな影響を与えなかった。また新門司斜面は飽和度の違いによっても安全率がほとんど変化しなかった。今後は乾燥密度を変化させた条件で行った一面せん断試験の強度定数を用いて安定解析を行う予定である。

参考文献：1) 末永健太ら：2017年豪雨によって崩壊した北九州市の斜面の安定解析，令和元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp. 341-342，2020.3. 2) 大西亨宗ら：再構成試料を用いた一面せん断試験による斜面の安定性の評価，令和2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，369-370，2021.3. 3) 土木学会西部支部「斜面災害リスクに関する評価手法の開発と斜面防災実用化に関する調査研究委員会」内部資料

謝辞 本研究は土木学会西部支部「斜面災害リスクに関する評価手法の開発と斜面防災実用化に関する調査研究委員会」から試料や情報の提供、助言などを受けて実施したもので、ここに謝意を表す。