

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

九州産業大学 学生会員 大西 亨宗
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

北九州市では不透水の基盤をもつ急峻な斜面が多く存在し、降雨によって表土層が崩壊する斜面崩壊が毎年のように発生している。筆者らは斜面の地盤条件(乾燥密度、含水比、飽和度など)が斜面の安全率に及ぼす影響を検討している。末永ら¹⁾は、締固め試験と現場の密度を根拠に自然含水比における乾燥密度を設定し、再構成試料の一面せん断試験より強度定数を求めている。

本研究では、再構成試料を用いる妥当性を検討するため、不攪乱試料と再構成試料を用いた一面せん断試験を実施し、不攪乱試料のばらつき(乾燥密度や含水比)の影響を検討したうえで、安定解析結果への影響を検討した。

2. 対象土の特性

対象土は、北九州市小倉南区長野緑地の崩壊地外で採取した不攪乱試料^{2), 3)}である。物理特性は表1のようになっている。自然含水比が塑性限界より低く、硬い状態となっている。

A-a 法で求めた締固め曲線を図1に示す。この図に不攪乱試料の状態もプロットしているが、乾燥密度にばらつきがみられ締固め度では $D_c=86\sim93\%$ となっている。

3. 一面せん断試験

斜面の安定解析の計算で使用する強度定数(粘着力と内部摩擦角)を求めるために、「土の圧密定体積一面せん断試験方法(JGS 0560-2009)」に基づき不攪乱試料及び再構成試料を用いて一面せん断試験を行った。再構成試料の一部は不攪乱試料の乾燥密度と同じになるように作製した。

不攪乱試料の最大せん断応力と垂直応力の関係を図2に示す。不攪乱試料は4つしか得られず、せん断強さのばらつきが大きかったため、強度定数は全試料を用いた「不攪乱(全試料)」と、乾燥密度のレベルによって組み合わせを変えた「不攪乱A～C」によって算出した。

供試体の乾燥密度、含水比と求めた強度定数を表2に示す。不攪乱A～Cと再構成A、Cの強度定数は、乾燥密度が高いと粘着力 c' が大きくなり内部摩擦角 ϕ' が小さくなる結果が得られた。しかし、さらに乾燥密度を大きくした再構成試料D($D_c=98.7\%$)は c' が小さくなり ϕ' が大きくなった。原因は締固めによる構造の変化と含水比が正確でな

表1 対象試料の物理特性³⁾

土粒子の密度 g/cm^3	2.640
自然含水比 %	25.9
礫分 %	3.6
砂分 %	48.4
シルト分 %	21.0
粘土分 %	27.0
液性限界 %	63.1
塑性限界 %	32.6
塑性指数	30.5
地盤材料の分類	粘性土質砂
分類記号	(SCs)

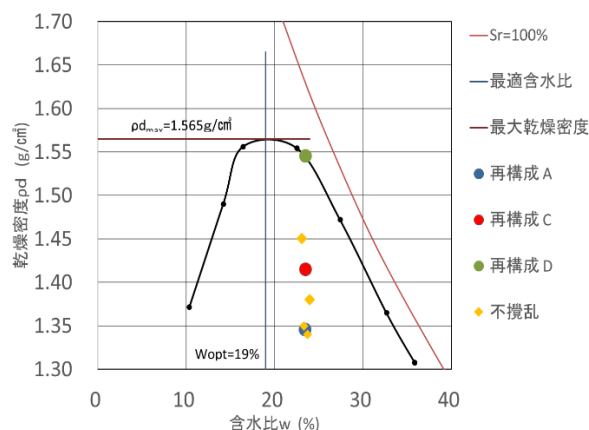


図1 締固め曲線

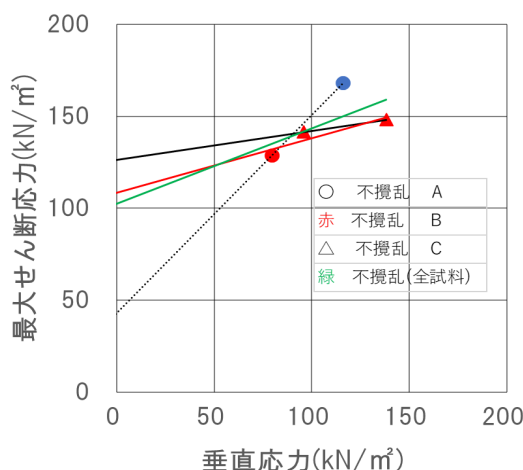


図2 不攪乱の強度定数

表2 供試体の物理特性と強度定数

	乾燥密度(g/cm ³)	含水比(%)	c' kN/m ²	tan φ'
不攪乱 A	1.345	23.5	42.91	47.11
不攪乱 B	1.390	23.5	112.89	13.81
不攪乱 C	1.415	23.5	126.25	9.00
不攪乱 (全試料)	1.380	23.5	102.42	22.31
再構成 A	1.345	23.5	30.60	53.00
再構成 C	1.415	23.5	73.00	36.50
再構成 D	1.545	23.5	12.59	53.39

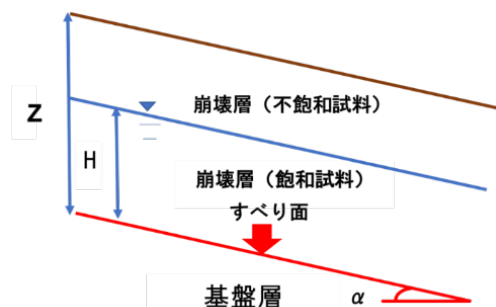


図3 仮想斜面のモデル断面図

かったためと考えられるため再度検討を行う。乾燥密度が同一の場合、再構成試料は不攪乱試料より c' が小さくなり ϕ' が大きくなった。

4. 安定解析

安定解析は図3に示す無限長斜面を想定し、式(1)を用いて行った。

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

ここに、 α はすべり面の傾斜角 (°)、 z は崩壊層の深さ (m)、 H は基盤層から地下水面までの深さ (m)、 γ' は崩壊層の水中単位体積重量 (kN/m³)、 γ_t は崩壊層の単位体積重量 (kN/m³)、 γ_{sat} は崩壊層の飽和単位体積重量 (kN/m³)、 c' は崩壊層の粘着力 (kN/m²)、 ϕ' は崩壊層の内部摩擦角 (°) を示す。

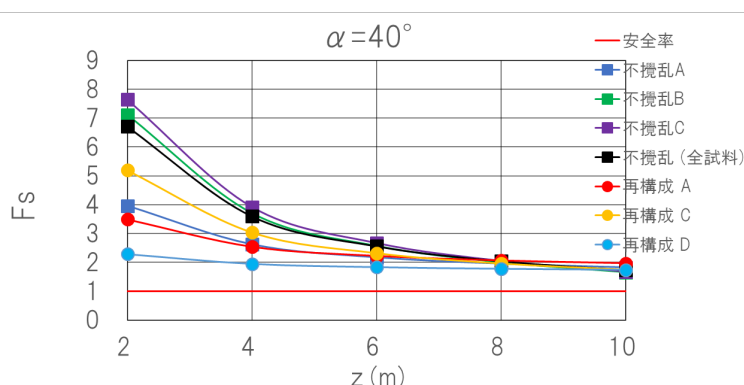
現地崩壊層の傾斜地の情報を参考に $\alpha = 40^\circ$ 、 $z=2 \sim 10$ m、 $H=0$ と表2の強度定数を用いた解析結果を図4に示す。降雨による地下水面の上昇を考慮していないのですべての結果で $Fs > 1$ となった。それぞれ乾燥密度が同じ不攪乱試料と再構成試料の結果を比較すると、乾燥密度が低いAでは不攪乱試料と再構成試料の Fs の違いは小さいが、乾燥密度が高いCでは不攪乱試料の方が再構成試料より Fs が大きくなるため、不攪乱試料を用いた安全率は安全側の評価になると推察した。

5. まとめ

供試体の乾燥密度が同じ場合、再構成試料は不攪乱試料より c' が小さくなり ϕ' が大きくなった。また、一部を除き乾燥密度が高いと c' が大きくなり ϕ' が小さくなる結果になった。安定解析から得られた安全率は不攪乱試料の方が再構成試料よりが高くなった。今後は、飽和試料で一面せん断試験を行って強度定数を求め、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) 甲木善徳ら：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、第55回地盤工学研究発表会、21-12-2-02、2020.7。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、助言などを提供していただいて実施している。ここに記して謝意を表す。

図4 崩壊層深さと安全率の関係 ($\alpha=40^\circ$)