

平成 29 年 7 月九州北部豪雨で生じた白木谷川流域斜面崩壊の予測に用いる強度定数に関する解析的検討

○福岡大学大学院 学生会員 廣渡幸大
 福岡大学 正会員 村上 哲
 福岡大学 正会員 西 智美

1. はじめに

平成 29 年 7 月九州北部豪雨では 1 時間降水量 100mm を超えるような記録的な豪雨の影響により多くの地域で被害が発生した。特に溪流部を中心として斜面崩壊が発生しており、現地では斜面基部に侵食洗掘の形跡が見られることから、従来の降雨による斜面内飽和度の上昇による斜面の不安定化に加え、新たに斜面基部の侵食洗掘による斜面の不安定化の影響が指摘された¹⁾。著者らはこれまでに、白木谷川溪流の斜面を対象とし、多平面安定解析法²⁾に基づく斜面安定解析を実施した結果、斜面基部の侵食により斜面の安全率が大きく低下することを明らかにした³⁾。しかし、解析で設定した強度定数 (c' , ϕ') は現地調査の結果⁴⁾を参照し同一に仮定しているが、強度定数は斜面毎に異なると考えられる。そこで本研究では、白木谷川溪流の斜面を対象に斜面崩壊予測に用いる強度定数を検討するために、多平面安定解析法に基づく斜面安定解析において感度分析を実施することで、強度定数が解析結果に及ぼす影響について調査を行った。

2. 感度分析による検討方法と対象斜面の概要

感度分析は、複数の要因により結果が算出される場合、その結果に対して各要因の影響度合いを定量的に算定する方法⁵⁾である。本研究では、多平面安定解析における強度定数が解析結果に及ぼす影響について検討する。既往の研究³⁾では、粘着力 $c' = 14 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi' = 30^\circ$ 、飽和単位体積重量 $\gamma_{\text{sat}} = 18 \text{ kN/m}^3$ と仮定し、せん断強さはクーロンの破壊基準式を用いて次式で表した。

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (1)$$

ここで、 s はせん断強さ、 c' は粘着力、 σ' は垂直有効応力、 ϕ' は内部摩擦角である。

既往の研究³⁾で仮定した粘着力及び内部摩擦角を基準として、それぞれの強度定数の値を増減させた場合の感度分析を行っていく。粘着力に関する感度分析に関しては、粘着力を 25.2 kN/m^2 、 22.4 kN/m^2 、 19.6 kN/m^2 、 16.8 kN/m^2 、 14 kN/m^2 、 11.2 kN/m^2 、 8.4 kN/m^2 、 5.6 kN/m^2 、 2.8 kN/m^2 とし、内部摩擦角を 50° 、 30° 、 10° の 3 ケースの分析を行った。また、内部摩擦角に関する感度分析に関しては、内部摩擦角を 54° 、 48° 、 42° 、 36° 、 30° 、 24° 、 18° 、 12° 、 6° とし、粘着力を 24 kN/m^2 、 14 kN/m^2 、 4 kN/m^2 の 3 ケースの分析を行った。以上、6 ケースの分析結果の整理を行っていく。

既往の研究では白木谷川溪流 SSL010³⁾の内、52 断面の解析を実施した。その結果、解析断面によって安全率が異なることが分かっている。そこで、侵食前の解析結果より安全率に差がある 5 断面を感度分析検討断面とした。図-1 に感度分析検討断面の位置を示す。図-1 より感度分析検討断面は SSL010 の下流及び中流に分布していることが分かる。以上、5 断面 (SSL010-00016、SSL010-00025、SSL010-00032、SSL010-00149、SSL010-00185) の感度分析の実施、分析結果の比較を行うことで粘着力及び内部摩擦角が解析結果に及ぼす影響について検討を行っていく。

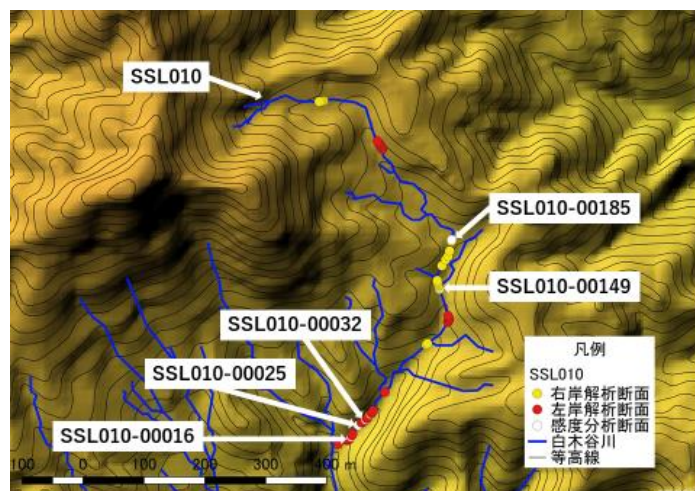


図-1 感度分析検討断面の位置

3. 感度分析結果

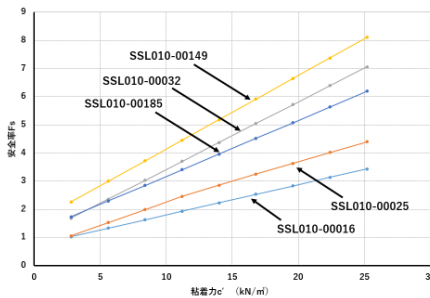


図-2 粘着力に関する感度分析
(内部摩擦角 50°のケース)

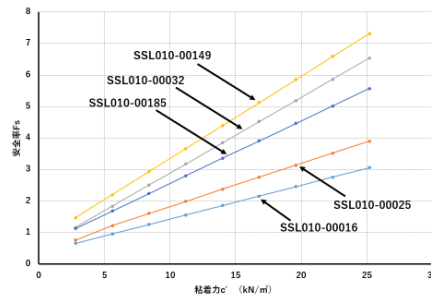


図-3 粘着力に関する感度分析
(内部摩擦角 30°のケース)

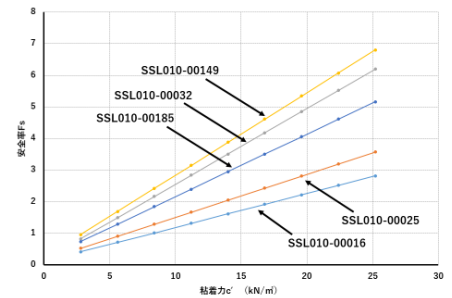


図-4 粘着力に関する感度分析
(内部摩擦角 10°のケース)

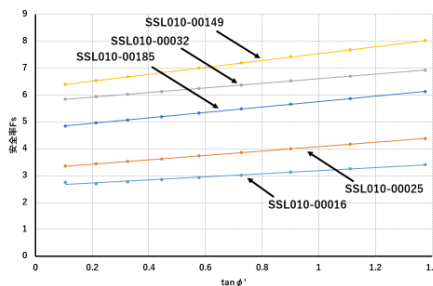


図-5 内部摩擦角に関する感度分析
(粘着力 24 kN/m²のケース)

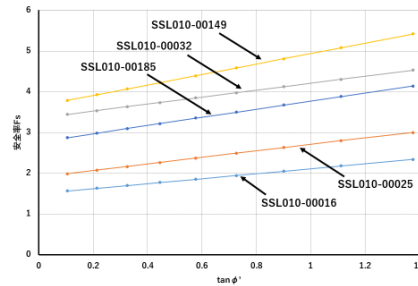


図-6 内部摩擦角に関する感度分析
(粘着力 14 kN/m²のケース)

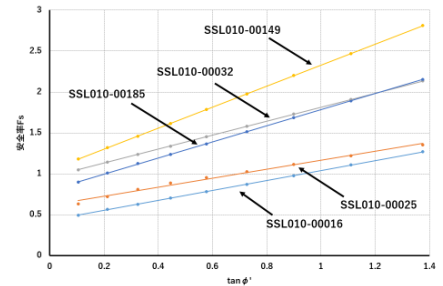


図-7 内部摩擦角に関する感度分析
(粘着力 4 kN/m²のケース)

図-2、図-3、図-4 に粘着力に関する感度分析の結果を、図-5、図-6、図-7 に内部摩擦角に関する感度分析の結果を示す。なお、内部摩擦角は横軸を $\tan \phi'$ としている。感度分析の結果より、粘着力及び内部摩擦角が減少するにつれて、安全率が減少することが分かる。また、グラフの安全率の変化より、内部摩擦角に比べて粘着力が安全率に及ぼす影響が大きいことが分かる。そのため、式 (1) の第 1 項 c' に比べて第 2 項 $\sigma' \tan \phi'$ の値が小さいことが示唆される。図-8 は感度分析の結果より安全率が 1

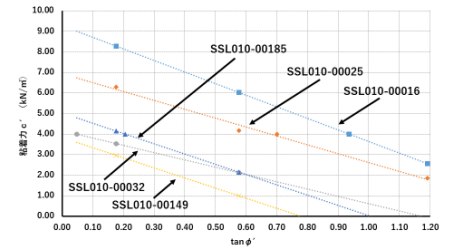


図-8 安全率 1 となる $\tan \phi'$ と c' の関係

になる時の各解析断面の内部摩擦角と粘着力の値をグラフ化したものである。図-8 より、内部摩擦角が増加するにつれて粘着力が減少していくことが分かる。そのため、本研究で対象とする白木谷川流域斜面崩壊の予測に用いる強度定数は、以上の特性を考慮して決定する必要があると考える。

4. まとめ

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

1) 感度分析の結果より、粘着力及び内部摩擦角が減少するにつれて、安全率が減少することが分かった。また、グラフの安全率の変化より、内部摩擦角に比べて粘着力が安全率に及ぼす影響が大きいことが分かった。

2) 感度分析の結果より、式 (1) の第 1 項 c' に比べて第 2 項 $\sigma' \tan \phi'$ の値が小さいことが示唆された。

3) 安全率 1 時の $\tan \phi'$ と c' の関係より、内部摩擦角が増加するにつれて粘着力が減少していくことが分かった。

本研究で対象とする白木谷川流域斜面崩壊の予測に用いる強度定数は、以上の特性を考慮して決定する必要があると考える。

【参考文献】 1) 村上 哲：平成 29 年 7 月九州北部豪雨における河岸・溪岸斜面の崩壊に関する考察, 平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.389-390, 2018. 2) 沖村 孝：山腹表層崩壊発生位置の予知に関する一研究, 土木学会論文報告集第 331 号, pp.113-120, 1983. 3) 廣渡 幸大：白木谷川溪流で生じた溪岸侵食による斜面崩壊の可能性について, 令和 2 年度第 55 回地盤工学研究発表会講演概要集, - 22-12-2-06 -, 2020. 4) 笠間ら：4.4 花崗閃緑岩地帯における深層風化に関する現地調査, 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書, 地盤工学会, pp.175-192, 2018. 5) 構造計画研究所, Oracle Crystal Ball 感度分析, <https://www4.kke.co.jp/cb/sample/feature/sensitivity.html>