

不飽和砂質土斜面における表層崩壊発生予測に関する実験的研究

JR 西日本 吉田衣里
京都府立大学 松村和樹
京都府立大学○高濱淳一郎

1. はじめに

本研究は、「地下水上昇モデル」では説明のできない崩壊現象を予測・評価するための新しいモデル「不飽和モデル¹⁾²⁾³⁾」の構築を目的としている。本報では砂質土を対象とした基礎的な実験と解析を実施した結果について報告する。まず、飽和度の変化に伴う土層の抵抗力の変化を一面せん断試験により把握し、ついで、人工降雨による斜面崩壊実験を実施し、土層内の水分量の時空間変化を計測した。最後に、提案した「不飽和モデル」によって、土層内の飽和度の時空間変化を入力条件とした安全率の時間変化を解析し、実験結果と比較し、モデルの妥当性について検証した。

2. 不飽和モデルの概要¹⁾²⁾³⁾

斜面崩壊を予測するモデルとして、降雨による斜面内での浸透水が地中の岩盤などの難透水面に到達した後、地下水がこの面から上昇することで崩壊が発生するとしている「地下水上昇モデル」が適用されている。しかしながら、降雨が斜面内部深くまで浸透せず、斜面表層部にのみ降雨による浸透水が存在する状態で、この表層部で崩壊が生じる現象が確認されている。本研究で提案している「不飽和モデル」の概要を示せば以下のとおりである。

「不飽和モデル」では安全率 F_s を次式のように取り扱う。

$$F_s = \frac{\tau_r}{\tau} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{\tau} \quad (1)$$

ここに、 τ_r はせん断抵抗力、 τ は外力としてのせん断応力、 c はサクシヨンによる見かけの粘着力、 σ は垂直応力（全応力）、 ϕ は内部摩擦角である。「不飽和モデル」とは土層内部の水分量（飽和度）の上昇に伴う抵抗力の低下と土層の自重増加による崩壊の駆動力の増加を崩壊発生要因としたモデルである。とくに、飽和度の上昇に伴う見かけの粘着力 c の変化に着目している。

3. 飽和度の違いによる土層の抵抗力に変化に関する一面せん断試験⁴⁾

土層の間隙比、飽和度を変化させて、一面せん断試験により、抵抗力状態における見かけの粘着力と内部摩擦角の変化を計測した。図-1、2に実験結果を示す。図からわかるように、サクシヨンによる見かけの粘着力は飽和度の上昇に伴い増加し、飽和度 20~30%で最大値をとる。さらに、飽和度が上昇すると粘着力は低下し、最大値の 3 割程度まで減少している。一方、内部摩擦角は飽和度の上昇につれてなだらかに減少する傾向がみられた。この見かけの粘着力の強度変化は斜面表層部で見られる抵抗力下でその影響が強く表れる。このことは、斜面表層部における飽和度の変化によって表層での崩壊に対する抵抗力が大きく変化することを意味している。

4. 人工降雨による斜面崩壊実験と不飽和モデルによる安定解析⁴⁾

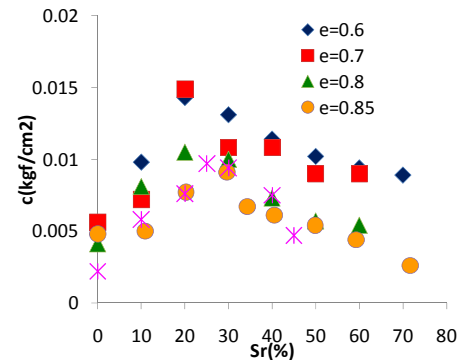


図-1 飽和度の変化に伴う見かけの粘着力の変化

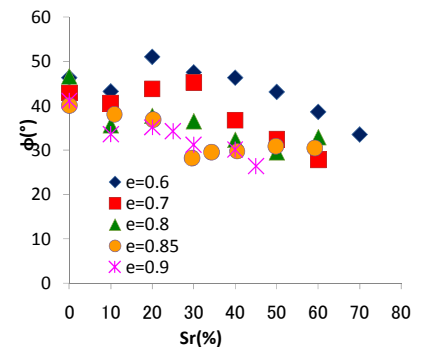


図-2 飽和度の変化に伴う内部摩擦角の変化

人工降雨による斜面崩壊実験を実施した。実験では斜面勾配を 40, 45 度の二種類とし、降雨強度を 11~132mm/hr の間で時間的に一定値を与える設定とした。実験では図-3 に示すように土層内部に 12 ヶ所の土壌水分計と底面に 4 ヶ所の間隙水圧計を設置して飽和度の時空間変化を計測した。実験で崩壊が発生した場合の崩壊現象は斜面勾配 45 度では浅い表層崩壊であり、40 度では崩壊深が水路低部までに達する深い崩壊であった。土層内部で計測した飽和度に応じたせん断抵抗力変化・自重増加を考慮して無限長斜面に対する安定解析を行った。図-4 は斜面勾配 45°, 降雨量 34mm/h の条件における実験に対する安定解析結果である。深さ 5, 10, 20cm の位置に設置した土壌水分計による飽和度の時間的変化を入力条件とし、図-1, 2 に示した粘着力, 内部摩擦角を用いて無限長斜面の安定解析による安全率の時間的変化を計算している。実験での崩壊深は 9.9cm であった。浅い崩壊が生じたケースでは総じて深さ 5, 10cm における飽和度には増加傾向が見られ、安全率も飽和度の増加に伴い、減少していく過程が計算されている。深さ 10cm のデータによる安全率の時間変化は実験値をよく説明できている。しかしながら、深さ 20cm の土壌水分計による飽和度の時間的変化は見られないものの、安全率は 1 を下回っていた。これは、一面せん断試験が抵抗力下に限られていたことや、安定解析を無限長斜面として実施していることも原因として考えられる。図-5 は深い崩壊が生じた実験に対する安定解析結果である。実験は斜面勾配 40°, 降雨量 132mm/h の条件で実施し、崩壊深は 29cm であった。実験では深部においても飽和度の時間的変化が見られ、安全率の低下が見られる。この解析においても実験値をおおむね説明できている。

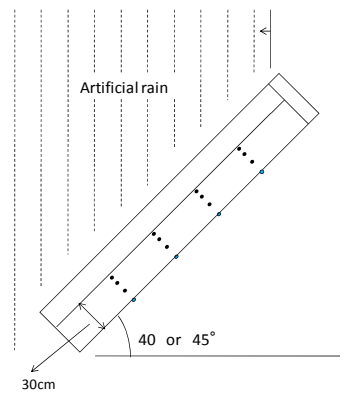


図-3 水路内に設置された土壌水分計と間隙水圧計系

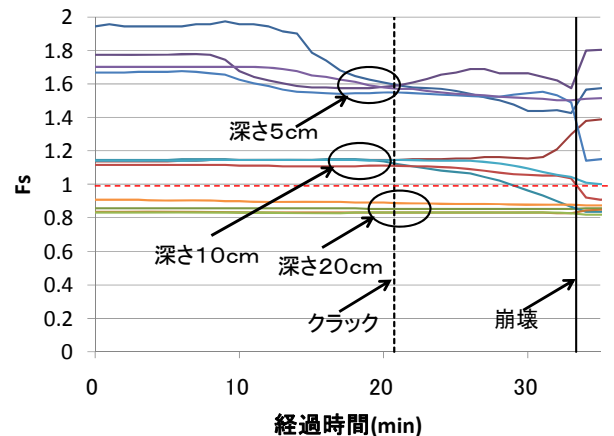


図-4 浅い崩壊が発生した実験における安定解析結果 (斜面勾配 45°, 降雨強度 34mm/h, 崩壊深 9.9cm)

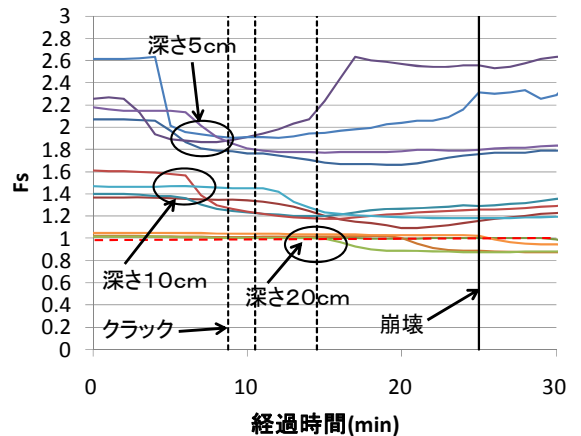


図-5 深い崩壊が発生した実験における安定解析結果 (斜面勾配 40°, 降雨強度 132mm/h, 崩壊深 29cm)

5. おわりに

不飽和モデルによる斜面崩壊現象を予測するための基礎的な検討を実施し、その妥当性を検証した。現在、円弧すべりによる解析を実施しているところであり、今後は高応力下におけるせん断試験についても実施していく予定である。

参考文献

- 1) 松村和樹・高濱淳一郎：風倒木地における表層崩壊に関する考察，砂防学会誌，Vol.52，No.3，p.11-17，1999
- 2) 吉田衣里・松村和樹・三好岩生：不飽和砂質土斜面における表層崩壊発生機構の検証実験，砂防学会技術研究発表会概要集，428-429，2008
- 3) 吉田衣里・松村和樹・高濱淳一郎：不飽和砂質土斜面における表層崩壊に発生に関する実験と安定解析，砂防学会技術研究発表会概要集，370-371，2009
- 4) 吉田衣里：不飽和砂質土斜面における表層崩壊発生予測に関する研究，京都府立大学大学院修士論文，2010