

浸透流解析を用いた 2004 年フィリピン豪雨土砂災害に関する研究

山口大学工学部社会建設工学科 正会員 Orense Roland
 (株) エム・ケー・コンサルタント 正会員 ○松岡清賢

1. はじめに

2004 年 11 月中旬から 12 月初旬にかけて、台風や熱帯暴風雨の活動により、フィリピンのケゾン州において土砂災害が発生し、多くの人命が失われた。この土砂災害の主な原因は、当該地域における激しい降雨とされている。そこで、この地域の斜面の特性として降雨における浸透の変化を知る必要があると考えられる。さらに、将来的にこの地域の降雨による災害を低減させるために、地滑りのリスクを評価することが大切である。しかし、この地域の多斜面において、それぞれの土質条件、強度定数などのデータが少ない。よって、この地域の崩壊した 1 斜面（図-1 参照）のデータを収集することにより、同種他斜面の地滑りのリスクを評価することがこの研究の背景にある。従って、ケゾン州の 1 つの斜面について、飽和・不飽和浸透流解析、斜面安定解析を用いて、崩壊シミュレーションを行う。そして、広範囲の地滑りのリスクを評価するために、斜面安定解析を用いて、逆解析で斜面地盤のせん断強度 (c , ϕ) を算出することが本研究の目的である。



図-1：ケゾン州の崩壊した 1 斜面

2. 飽和・不飽和浸透流解析

飽和・不飽和浸透流解析を行うのに、中央開発(株)の浸透流解析プログラム Unseep を用いた。浸透流解析とは、周囲の水位の条件、地盤の透水係数などを設定し、有限要素法と呼ばれる計算法を用いて、地下水位のシミュレーションを行い、自由水面の形などを推定する解析手法の 1 つである。

Unseep に入力する材料データを表-1 に示す。透水係数 K_x , K_y は、土質サンプルについて Creager による D_{20} と透水係数の関係より推定した。限界流速 V_{cr} , 比貯留係数 S_s , 飽和体積含水率 θ_s は、パラメーター検定を行ったあと、値を推定した。不飽和浸透特性について、サクシオンと含水率の関係を示した Arya モデルの水分特性曲線を用いた。また、サクシオンと透水係数の関係を示した Fredlund モデルの比透水曲線を用いた。そして、当該地域の崩壊した 1 斜面（図-1 参照）について、MESH

表-1：材料データ

	表層	基盤
K_x (m/hr)	3.60E-04	3.60E-10
K_y (m/hr)	3.60E-04	3.60E-10
V_{cr} (m/hr)	100.0	100.0
S_s	0.300	0.001
θ_s	0.50	0.60

を作成して Unseep に用いる斜面モデルとした。図-2 に示す。節点 (Node) 数は 783 であり、要素 (Element) 数は 688 となった。また、初期地下水位を知るため、先行降雨をシミュレートし入力した。先行降雨は、年間平均降雨量 (約 4016mm) を 2 日おきに降雨量があるとして設定した。その後実際降雨 (図-7 参照) を入力した。

初期解析結果として、先行降雨終了後、斜面全体において飽和度が 1.0 となった。これは解析結果と実斜面が同じでないため、パラメーターの調整をして繰り返し計算をしながら妥当な値を推定し、透水係数を $K_x=K_y=3.60E-2$ (m/hr) と変更した。これは、実際の斜面が砂分を多く含んでいると考えられる。

修正解析結果として、先行降雨終了後 ($t=8760.0$ hr)、第 1 台風による降雨終了後 ($t=8880.0$ hr)、第 2 台風によ

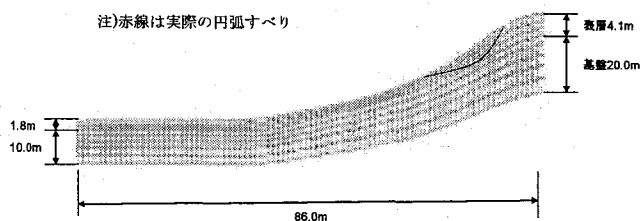


図-2：斜面モデル

る降雨終了後($t=9264.0\text{hr}$), 第3台風による降雨終了後($t=9441.0\text{hr}$)の斜面における飽和度の分布を図-3から図-6に示す. 先行降雨後よりも第1, 第2台風による降雨終了後の方が, 斜面上部において飽和度が大きくなった. また, 第3台風後(台風によって9時間の間に洪水が雨量計を掃き捨てるまで)の飽和度は, ほぼ1.0になった. 斜面において表層の飽和度が1.0に近いと, 斜面崩壊がおこる一因であると考えられる.

3. 斜面安定解析

斜面安定解析を行うのに, 基礎地盤コンサルタンツ(株)の円弧すべり解析プログラムARC/PVを用いた. 計算方法は修正フェレニウス法を用い, 図-2に近似した斜面モデルを設け, 表層と基盤の2つの土質ブロックを作成した.

図-3から図-6までの浸透流解析による飽和度の分布を用いて, 斜面条件に地下水位を入力した. このとき, 表層の土質ブロックの飽和度は時間 t により変化しているが, 地下水位より上について飽和度の c , ϕ への影響は考慮しなかった. そしてその状況で $c=7.90\text{kN/m}^2$, $\phi=29^\circ$ を用いて安全率を計算した. 計算結果の安全率と降雨量の関係を図-7に示す. 図-7によると, 第3台風後の安全率は $F_s=1.00$ となり台風による降雨によって斜面崩壊が起こったと考えられる.

また, 先行降雨終了後の安全率は $F_s=1.53$ となった. そして, 第1台風後と第2台風後の安全率はそれぞれ $F_s=1.51$ と $F_s=1.47$ となり台風による降雨に対して安全であるといえる.

また, 安全率が $F_s=1.0$ のとき(地下水位が地表面の場合)の斜面地盤のせん断強度(c , ϕ)の組合せは幾通りもあるが, その中で4通りの組合せを考え逆解析した. それを図-8に示す. 図-8より, 内部摩擦角 ϕ が小さくなると粘着力 c は大きくなるといえる. また, c と ϕ の関係は直線関係になった.

4. まとめ

本研究では, 2004年フィリピンの豪雨土砂災害に関して, ケゾン州の1つの斜面を用いて飽和・不飽和浸透流解析, 斜面安定解析を行った. 飽和・不飽和浸透流解析より, 第1台風後, 第2台風後の飽和度は, 斜面上部において大きくなった. また, 第3台風後の飽和度は, ほぼ1.0になった. 斜面において表層の飽和度が1に近いと, 斜面崩壊がおこる一因であると考えられる. 斜面安定解析より, 第1台風後, 第2台風後の安全率は1.0以上と高く斜面崩壊は起こりにくいが, 第3台風後の安全率は1.0となり斜面崩壊が起こったといえる. また, 安定解析の逆解析により, 斜面地盤が崩壊するときのせん断強度(c , ϕ)を算出した. 斜面安定解析より, この地域の多斜面において, 同種他斜面の地滑りのリスクを評価するパラメーターの前提が出来たといえる.



図-3: 先行降雨後($t=8760.0\text{hr}$)



図-4: 第1台風後($t=8880.0\text{hr}$)



図-5: 第2台風後($t=9264.0\text{hr}$)



図-6: 第3台風後($t=9441.0\text{hr}$)

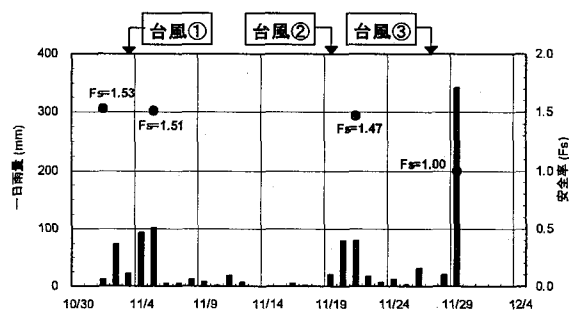


図-7: 安全率と降雨の時刻歴

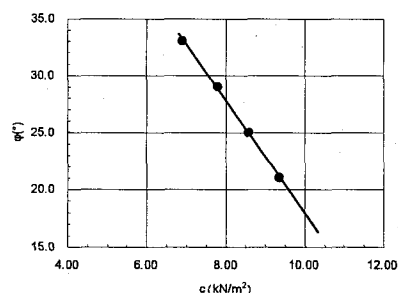


図-8: $F_s=1.0$ のときの c - ϕ 関係