

## 法面崩壊箇所での原位置試験による材料定数を用いた FEM 解析

Finite element analysis using actual material parameters by in situ tests at slope failure site

○平 瑞樹・白川 翔

Mizuki HIRA and Sho SHIRAKAWA

### 1. はじめに

豪雨による法面崩壊の生じやすい現場の地形・地質、降雨条件などを予め調査し、外力による変形やひずみ性状を予測しておくことは、防災・減災対策の上で重要である。ここでは、九州内の豪雨による法面崩壊地の現況について調べ、崩壊地盤の原位置試験、現場で採取した土砂の室内試験とデータ分析から、地盤の物理的特性と被害状況について考察した。

特に 2018 年豪雨災害後の法面崩壊地での各種調査、現場の地形・地質や地盤の状態と原位置で強度を評価する現場試験を行い、原位置で得られた材料定数を用いた有限要素解析(Finite Element Method, 以下 FEM)を実施した。さらに、崩壊現場を模した地盤の地下水位に着目した数値シミュレーションから法面崩壊のメカニズムについて検討した。

### 2. 梅雨末期の九州南部豪雨

2019 年 6 月下旬から活発な梅雨前線が西日本から東日本付近に停滞し、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、九州南部を中心に大雨となった。6 月 28 日～7 月 5 日までの総降水量は、宮崎県えびの市えびので 1,089.5mm、九州北部地方や九州南部で 460mm を超え、7 月の月降水量平年値の 2 倍となる大雨となった。この影響で、河川堤防法面決壊(鹿児島県いち



写真-1 河川堤防法面の決壊

き串木野市大里川、写真-1)や氾濫や浸水被害、土砂災害等が発生し、鹿児

島県で死者 2 名となった。5 段階警戒レベルの「4」にあたる避難指示や避難勧告が出された。7 月 1 日 15 時に避難指示が出され、鹿児島県の 2,859 世帯 6,051 人で、同じく避難勧告が発令されたのは、鹿児島、宮崎、熊本 3 県で計 48 万 3,902 世帯 103 万 1,734 人に上った。

### 3. FEM による変形解析方法

ここでは、地盤解析専用が開発された 3 次元 FEM 解析ソフト(PLAXIS 3D)を使用した。任意形状のモデル作成をし、複雑な地盤構造でも簡単にモデル化することができ、施工プロセスを考慮した条件設定から変形状態を逐次計算できる。解析対象地の外形を入力して、法面の形状を設計する。次に、法面を形成している地盤の材料データを入力し、設計した地盤モデルに適用する。そうして、変位や荷重などの条件を入力しメッシュの自動生成を行う。最後に、弾・塑性解析や安全率解析等の解析方法を決定し、計算を実行し出力された変形・強度の結果を評価する。

モデル法面は、地山部分高さ 18m、幅 26m、法面勾配 20°の法面とし、モデル中心部に深さ 5m、幅 22m の盛土を設置、法面法先部を地山、その下方を基盤岩と仮定した。図-1 にモデル法面の要素分割図を示す。節点数は 144,899、要素数は 203,588 である。表-1 に材料定数を示す。透水係数は現場透水試験、内部摩擦角と粘着力はベンコンせん断試験の結果より求めた。また、 $N$  値は簡易動的コーン貫入試験の結果を式(2)に代入することで決定し、その値を式(3)に代入することで弾性係数  $E$  を算出した。

$$N = 0.75N_d \cdots (2)$$

$C_1$ ,  $C_2$  は係数であり地盤により値が決められている。せん断弾性係数は、式(4)で求めた。ただし、ポアソン比  $\nu$  は 0.3 と仮定した。

$$E = C_1 + C_2 N \cdots (3)$$

$$G = E / \{ 2 (1 + \nu) \} \cdots (4)$$

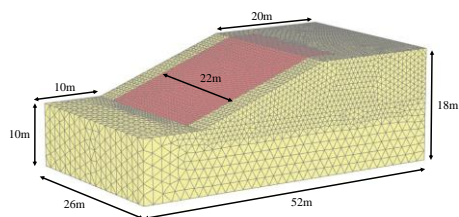


図-1 モデル法面の要素分割図  
(節点数 144,899, 要素数 203,588)

表-1 解析に使用した材料定数

材料係数	地山	盛土
$N_d$ 値	7	5
$N$ 値	5	4
弾性係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	5,079	3,308
せん断弾性係数 $G$ (kN/m <sup>2</sup> )	1,953	1,272
ポアソン比 $\nu$	0.3	0.3
透水係数 $k$ (m/s)	$2.41 \times 10^{-6}$	$3.66 \times 10^{-7}$
粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	30.75	39.99
内部摩擦角( $^\circ$ )	20.18	28.97

$C_1$ ,  $C_2$ については、其々盛土がシルト質砂の12, 5.8, 地山が24, 5.3の値を与えている。破壊もしくは降伏基準については、Mohr-Coulombの式を用いた。解析では、盛土の頂部に初期の地下水面を設定し、1, 3, 6, 12, 24時間まで低下させる計算を実施した。盛土地盤と地山の飽和単位体積重量 $\gamma_{sat}$ はそれぞれ25.0, 3.0kN/m<sup>3</sup>を与えた。

#### 4. 結果と考察

図-2は、法面上部に変位を与えた際の等値線図である。盛土地盤部分よりも法先部分が大きく変位している。土塊が一体となって地山を押し出している。また、盛土部分の上方側で変位が大きく出ている。図-3は、解析断面のひずみ分布と地下水面(6時間後)を示した図である。盛土の下部や僅かではあるが法先付近にひずみが集中している。図-4, 5は12, 24時間後の地下水面の位置を示している。盛土の下方を回り込んで水位が低下している現象が捉えられている。結果から地山と盛土の弾性係数や粘着力の違い、透水係数の僅差に起因する土自体の特性が法面崩壊に影響を及ぼし、変化するひずみの拡大から崩壊に至っていると推測される。

#### 5. おわりに

法面崩壊を起した現場を調査し、地盤の状態と原位置での強度や透水性を調べる目的で、ペーコンせん断試験と簡易動的コーン貫入

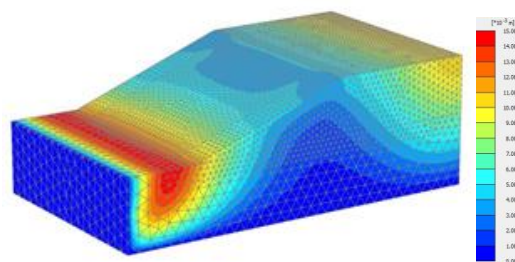


図-2 地盤変位の等値線図

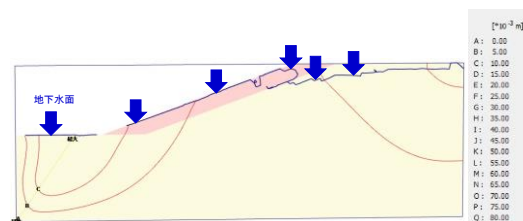


図-3 ひずみ分布と地下水面 (6時間後)

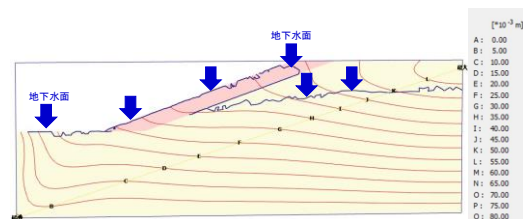


図-4 ひずみ分布と地下水面 (12時間後)

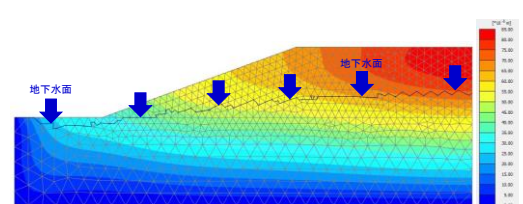


図-5 地盤変位と地下水面 (24時間後)

試験, 原位置透水試験をおこなった。また, 原位置試験から得られた推定 $N$ 値から算定した粘着力や内部摩擦角などの材料パラメータを導入したFEM解析を用いて, 現場を想定してモデル化した法面崩壊の数値シミュレーションを試みた。解析に導入した地山部と盛土部の弾性係数や内部摩擦角の違いが解の結果に大きく影響している。また, 降雨による地下への浸透が法面の变形に及ぼす影響について解析した結果, 地盤の透水性の違いが, 地下水の低下の速度に関係していることから, 上部の土塊が一体となって滑り落ちる現象が捉えられた。

参考文献: 岡田勝也, 杉山友康, 野口達雄, 村石尚: 盛土表層部の土質強度に関する異種のサウンディング試験結果の相関性, 土と基礎 40-4, pp.11-16, 1992.