

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○平山 淳基
大阪大学大学院工学研究科 正会員 常田 賢一
大阪大学大学院工学研究科 学生員 秋田 剛

1. はじめに

近年，地震と降雨の複合的な作用による盛土の被害が報告されているが，盛土の安定に地下水位が大きく関与している．2009 年 8 月に発生した駿河湾を震源とする地震における東名高速道路の被害盛土でも，盛土材料の劣化（スレーキング）による透水性の低下に伴う地下水位の上昇が崩壊の原因の一つとされている．本論文では，地下水位に加えて盛土の土質にも着目し，それぞれ異なる土質定数を有する能登半島地震，新潟県中越地震及び駿河湾を震源とする地震において崩壊した盛土を対象として，盛土内の地下水位をパラメトリックに変動させて常時および地震時のすべり安定解析（修正フェレニウス法）を実施し，地下水位の変動に伴う盛土のすべり安全率の変動の感度を定量的に評価している．

2. 検討方法

2. 1 解析モデル

被害盛土の断面図および土質調査に基づいて作成した解析用のモデルを，それぞれ図 1～図 3 に示す．これらの盛土は相互に盛土材の違いがあるので，本文では盛土材の土質条件の差異を明確にするために，これらの 3 つの実盛土に基づいた盛土モデルについて，盛土モデル 1 を粘性土盛土，盛土モデル 2 を中間土盛土，盛土モデル 3 を砂質土盛土と呼ぶことにする．

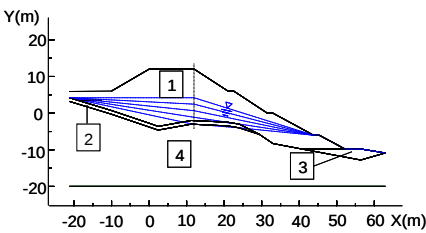


図 1 盛土モデル 1：能登有料道路（縦 39-3）

表 1 盛土モデル 1 の土質定数¹⁾

層番号	飽和重量 (kN/m ³)	湿潤重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m ²)
1	16.0	15.0	5.0	42.0
2	16.0	16.0	0.0	30.0
3	16.0	15.0	0.0	30.0
4	16.0	17.0	0.0	150.0

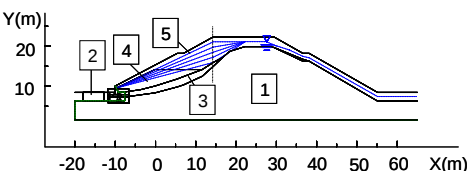


図 2 盛土モデル 2：東名高速道路（191.6KP）

表 2 盛土モデル 2 の土質定数²⁾

層番号	飽和重量 (kN/m ³)	湿潤重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m ²)
1	20.0	20.0	0.0	500.0
2	20.0	20.0	16.2	40.0
3	20.0	20.0	16.2	40.0
4	20.0	20.0	15.0	40.0
5	20.0	20.0	30.0	0.0

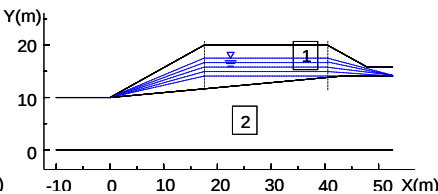


図 3 盛土モデル 3：関越自動車道（214.5KP）

表 3 盛土モデル 3 の土質定数³⁾

層番号	飽和重量 (kN/m ³)	湿潤重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m ²)
1	20.2	18.3	28.0	3.9
2	20.2	20.0	50.0	45.0

2. 2 解析手法

3 つの道路盛土モデルにおいて，盛土内の地下水位を変化させて，円弧すべり法（修正フェレニウス法）を適用し，常時および地震時のすべり安全率を算出する．解析ケースは図 1～図 3 に示すように，のり肩直下において最小位置から最大位置までを 4 等分し，20%ずつ変動させた 5 パターンとする．ここで，最小位置から最大位置はモデル毎に適宜，想定し，浸潤面の形状はのり肩直下と上流点およびのり尻を直線で模擬している．盛土モデル 1～盛土モデル 3 の水位差 H は，それぞれ表 4～表 6 の通りであり，いずれの盛土モデルでも最下位置の水位を水位差 0m としている．なお，地震時の入力震度 k_H は道路土工・盛土工指針⁴⁾において，種地盤のレベル 2 地震動の設計震度の標準値に相当する 0.2 とする．

表4 水位線のパターン
(盛土モデル1)

パターン	水位差 H(m)
1	0
2	1.775
3	3.55
4	5.325
5	7.1

表5 水位線のパターン
(盛土モデル2)

パターン	水位差 H(m)
1	0
2	2.57
3	5.14
4	7.70
5	10.27

表6 水位線のパターン
(盛土モデル3)

パターン	水位差 H(m)
1	0
2	0.85
3	1.7
4	2.55
5	3.4

3. 解析結果

図4 はのり肩直下の水位差 H と最小安全率の関係、図5 は水位差 0m のすべり安全率を基準としたすべり安全率の低減量 F_S の関係であり、横軸はそれぞれ最も低いのにり肩直下の水位 (パターン 1) を 0m としている。これらの図から、地下水位の上昇による安全率の低下が確認できるが、その影響の大きさ、つまり低減の割合は盛土モデルにより相当違いがある。それぞれの盛土モデルに対して、1m 当たりの地下水位上昇によるすべり安全率の低減量を計算すると表7 になる。これは、図4 および図5 の各関係を概ね直線に近似し、地下水位が最大と最小の安全率の差を水位差で割って計算している。

本文では、この値をすべり安全率の低減度 R_F として (1) 式で定義する。

$$R_F = F_S / H \quad (1)$$

ここに、 R_F : すべり安全率の低減度 (1/m), F_S : すべり安全率の低減量, H : 地下水位差 (m)

表7 から、すべり安全率の低減度は、盛土材の土質特性により大きく異なり、砂質土盛土で最も大きく、中間土盛土、粘性土盛土の順に小さくなる。また、地震時の低減度は常時より 5~30% 程度小さい、つまり影響が小さい。ここで得られたすべり安全率の低減度 R_F によれば、盛土の地下水位の変化量 H が分かると、 $H \cdot R_F$ により簡易かつ定量的に盛土のすべり安全率の低減量が推定できる。また、地下水位の探査における測定精度の判断基準としても活用が期待できる⁵⁾。

4. おわりに

本文では、盛土材の土質特性が異なる 3 つの実被害盛土を対象として、模擬的に地下水位を変化させて、円弧すべり法による常時あるいは地震時のすべり安全率に及ぼす影響を定量的に評価した。盛土内の地下水位の変化がすべり安全率に及ぼす影響は、盛土材の土質特性により大きく異なり、砂質土盛土で最も大きく、中間土盛土、粘性土盛土の順に小さくなる。また、本論文で得られた結果は、3 つの実被害盛土から得られた結果であるが、今後は降雨条件に基づく地下水位の設定、多様な盛土材の土質特性の考慮などにより、地下水位がすべり安全率に及ぼす影響をさらに検討することが必要である。

参考文献

- 1) (社)地盤工学会: 2007 年度能登半島地震道路災害データ集 1, 2007.7, 2) 中日本高速道路(株): 東名高速道路牧之原地区地震災害検討委員会, 第 3 回委員会資料, 2009.10, 3) 東日本高速道路(株)の資料による,
- 4) (社)日本道路協会: 道路土工 盛土工指針, 2010.4, 5) 平山淳基, 常田賢一, 寺西弘一: 盛土の安定性に及ぼす地下水位の影響の定量的評価, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, 2010.11, pp3403-3409

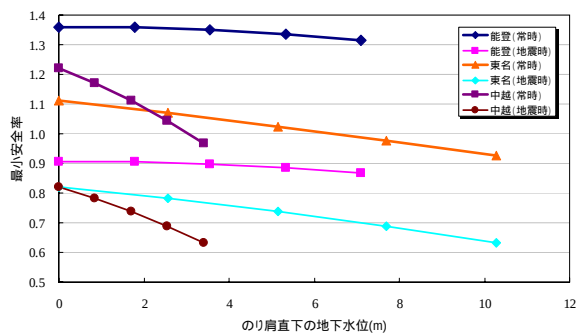


図4 すべり安全率と地下水位の関係

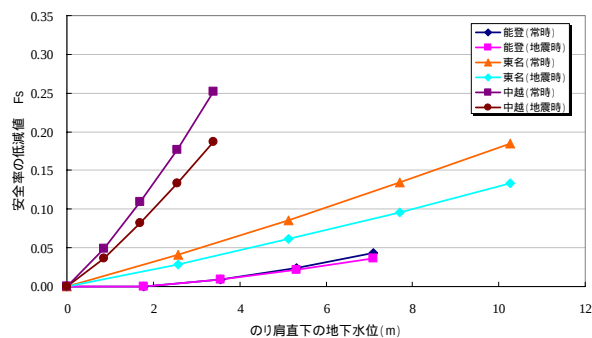


図5 すべり安全率の低減量 F_S

表7 すべり安全率の低減度 R_F

	常時	地震時
盛土モデル1	0.0061/m	0.0052/m
盛土モデル2	0.018/m	0.013/m
盛土モデル3	0.074/m	0.055/m