

排水機能を有する地盤補強材による盛土の安全率改善効果

九州大学大学院工学府 学 ○伊藤裕孝 九州大学大学院工学研究院 正 笠間清伸
西日本高速道路(株) 正 浜崎智洋 NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) 正 松方健治

1. はじめに

近年、局所的な豪雨や想定外の地震動などの自然外力に対して、既存の盛土や切土のり面を補強する技術が希求されている。我々の研究グループでは、斜面や盛土に排水機能を有するスパイラル羽根付き鋼管（以下、SDPR とよぶ）を打設することで、地盤の安定性を向上させる地盤補強技術の開発を試みている¹⁾。本稿では、飽和・不飽和浸透流解析を用いて SDPR を打設した盛土の地下水位変動の再現を行い、降雨・地震を想定した SDPR 打設盛土の安全率改善効果を調査した。さらに、SDPR 長さ地震動に関するパラメトリックスタディから、最適な SDPR の打設条件を検討した。

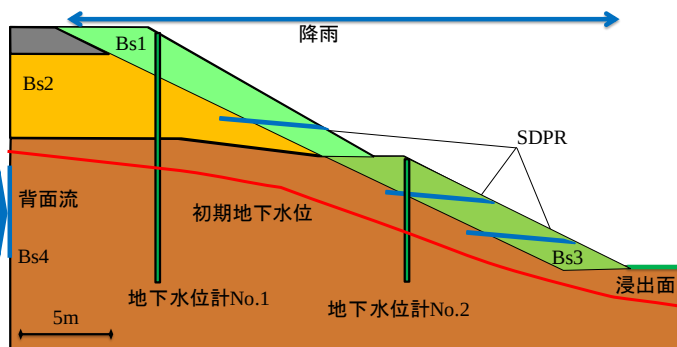


図-1 現場の断面模式図

2. 現地計測の概要

佐賀県鳥栖市山浦町の九州自動車道の南側車線の盛土で SDPR 工法を試験施工した。SDPR は 2016 年 9 月 16 日に打設した。SDPR は長さ 6m、管半径 0.024m であり、水平間隔 3~4m、盛土法尻から 1.5m の高さに 12 本、3.5m に 10 本、中段から 1.5m の高さに 9 本の計 31 本打設した。図-1 に示す位置に地下水位計を設置した。盛土の土質は、礫混じりシルト質砂であり、Bs1 から Bs4 で分類した。

3. 解析概要

SDPR を試験施工した盛土を対象として飽和・不飽和浸透流解析を行った。図-1 に解析に用いたモデルを示した。表-1 に盛土内の物性値を示した。これらの物性は、現場で採取した試料を対象とした試験結果を基に決定した。表-2 に解析の条件を示した。図-2 に解析に用いた時間降雨量と実効雨量を示した。地下水位変動を再現するために、盛土の反対側や周囲からの地下水の流入を想定し、図-1 の左側より背面流を流入させた。背面流は、実効雨量²⁾の関数となるように設定し、一般的な半減期 $T=72(h)$ を用いた。背面流の大きさは、No.1 と No.2 の地下水位について解析値と実測値の誤差が最小になるように決定し、今回は背面流 $(m^3/min) = \{ \text{実効雨量} (T=72(h)) (mm) \times 10^{-6} \}$ とした。最後に、修正フェレニウス法により盛土の安全率を計算し、SDPR による地下水位低減、引張補強および地盤の不飽和化に着目して安全率の改善効果を評価した。盛土の強度は参考文献 3) より設定した。

図-3 に、No.1 と No.2 の地点における地下水位の実測値と解析値を示す。No.1 では、SDPR の有無の差はほとんど見られなかったが、No.2 では、9 月 21 日以降

表-1 盛土の物性値

盛土区分	Bs1	Bs2	Bs3	Bs4
湿潤密度(t/m^3)	1.47		1.72	
乾燥密度(t/m^3)	1.10		1.33	
透水係数(m/sec)	2.18×10^{-6}		1.30×10^{-6}	
比貯留係数($1/m$)	1.00×10^{-4}		1.00×10^{-4}	
有効間隙率	0.358		0.207	
残留体積含水率	0.241		0.300	
不飽和透水係数のパラメータ n	5.781		5.481	
強度定数 $c(kN/m^2)$ (不飽和時)	14~60	30	14~60	30
強度定数 $\phi(^{\circ})$ (不飽和時)	30		30	
強度定数 $c(kN/m^2)$ (飽和時)	20		20	
強度定数 $\phi(^{\circ})$ (飽和時)	30		30	

表-2 解析の条件

SDPR の条件	降雨時	地震時
引張応力度 $\sigma_{sa}(N/mm^2)$	115.0	170.0
長さ(m)	4, 6, 9, 12	
水平間隔(m)	3	
打設角度($^{\circ}$)	5	
極限周面摩擦抵抗 (N/mm^2)	0.050	
水平震度	0, 0.3	

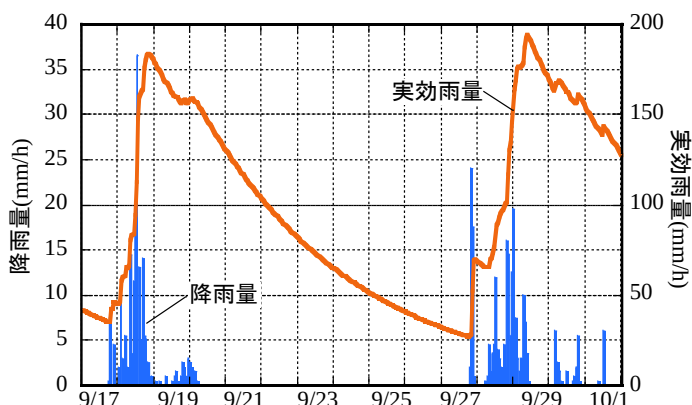


図-2 解析に用いた降雨データ

1m程度地下水位を低下させる効果が見られた。これは、測定地点 No.2 が SDPR を通るような位置にあるため、SDPR による排水の影響を受けるためと考えられる。

4. 解析結果

図-4 に、6m の SDPR を打設した盛土の相対安全率の変化を示した。ここで、相対安全率とは、各日 0 時の安全率を、SDPR の無い条件における 9 月 17 日 0 時の安全率（無降雨時の安全率）で割ったものである。また、SDPR による相対安全率の改善効果を排水効果、排水+補強効果、排水+補強+不飽和効果の 3 段階で評価した。SDPR が無い条件における盛土の相対安全率は、9 月 18 日の降雨後 0.2 付近を推移したが、6m の SDPR を打設による排水効果により 3 日後の 9 月 21 日には 0.9 程度まで回復した。補強効果を考慮すると、9 月 19 日と 20 日における相対安全率が 0.1 程度向上したことから、補強効果は降雨時に効果を発揮することが確認できた。また、不飽和効果により相対安全率は常時 0.1 程度向上した。

図-5 に、水平震度 $K_h=0$ と 0.3 を設定し、SDPR 長さを 4, 6, 9, 12m にした際の相対安全率を示した。この値は SDPR の排水、補強および不飽和効果の全てを考慮した値である。相対安全率は、降雨直後に盛土が不安定化する 9 月 19 日と 29 日で比較した。水平震度 $K_h=0.3$ では、 $K_h=0$ と比較して相対安全率は半減した。SDPR の長さが 9m で水平震度 $K_h=0.3$ の場合、相対安全率は SDPR 無しの 3.5 倍となった。いくつかの解析ケースにおいて、SDPR の長さが 12m の条件で安全率が低下した理由は、SDPR により地下水が盛土表面付近に過剰に集まり、地下水位が上昇したためだと考えられる。以上のことから、豪雨直後に水平震度 0.3 の地震が発生する場合を考えると、9m の SDPR を打設することで盛土の安全率の低下を最も防止できると考えられる。

5. まとめ

本稿にて得られた知見を以下に示す。

- (1) 降雨により相対安全率が 0.2 まで低下するような盛土に対して、6m の SDPR を打設することで、降雨直後の相対安全率の低下を 0.6 にまで抑制できるだけでなく、降雨停止後に 0.9 にまで急速に引き上げることが可能となった。また、排水効果は降雨後の安全率の回復、補強効果は降雨時の安全率の向上、不飽和効果は常時の盛土の安定化に効果的で、相対安全率をそれぞれ 0.45、0.1、0.1 程度向上した。
- (2) 降雨と地震が複合して発生するような場合、SDPR を打設することで盛土の不安定化を大きく改善できる。例えば、時間雨量 100~150mm の降雨があり、その直後に水平震度 $K_h=0.3$ の地震が発生するような条件を想定すると、対象とした盛土で安全率の低下を防止する適切な SDPR の長さは 9m となり、安全率を 20%~40%程度増加できた。

〈参考文献〉 1) 浜崎智洋ら：「排水機能を有するスパイラル羽根付き鋼管を用いたのり面補強に関する原位置試験」、土木学会論文集 C, Vol.74, No.1, P20-33, 2018 年。
 2) 渡邊諒一ら：「実効雨量による事前通行規制の適用性検討について」、近畿地方整備局研究発表会、2017 年 6 月。
 3) 松川耕治ら：「SDPR 工法を用いたのり面調査に関する原位置試験」（その 2）、地盤工学会全国大会、2018 年 7 月。

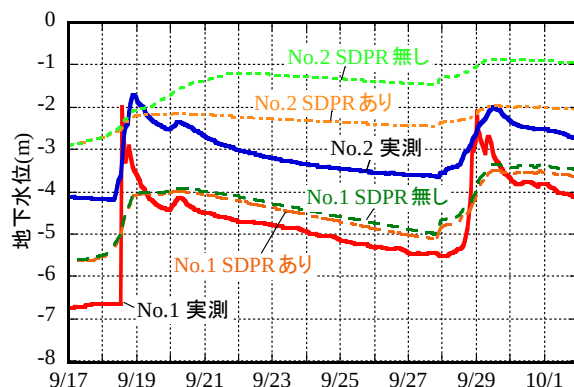


図-3 実測解析地下水位比較

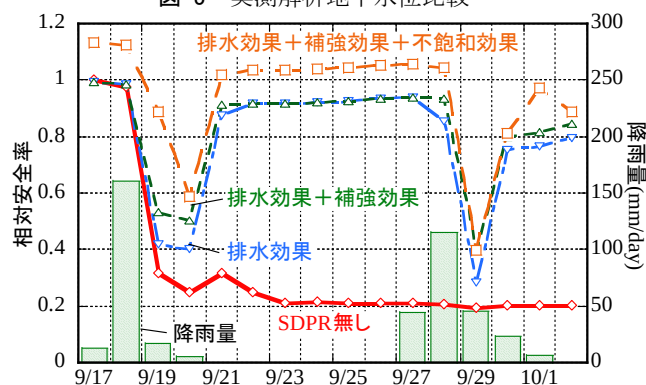


図-4 安全率の相対変化率

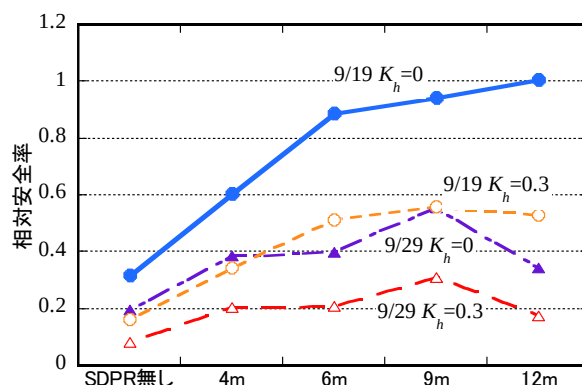


図-5 9 月 19 日と 29 日における
地震時の相対安全率比較