

地震時におけるスギ根系の斜面補強効果について

九州大学 学生会員 ○田代 直樹 東京工業大学 正会員 笠間 清伸
九州大学 正会員 古川 全太郎 九州大学 学生会員 横山 大幹

1. 背景と目的

近年、熊本地震や北海道胆振東部地震など強い地震動により自然斜面や土構造物の崩壊が発生し甚大な被害が生じている。地震時における斜面の崩壊挙動を把握することは重要であり、根系が斜面を補強することが知られている。そこで、本研究では根系を有する模型斜面を対象に1G場で

の振動台実験を行い、根系が存在する場合の斜面の振動特性、変形挙動及び根系による補強効果を調査した。

2. 実験概要

図1に示す模型斜面を対象に、表1に示す条件で振動台実験を行った。模型斜面は粒径4.75 mm以下のまさ土を用い、厚さ175 mmずつ4層で締固めて作製した。根系はスギの苗木を用いた。図1に示すように、Case1と2は2行2列で4本、Case3は2本配置した。鉛直変位は法肩から100, 300, 500 mm、水平変位は高さ175, 350, 525 mmを変位計により

測定した。また、変位測定位置の延長線で交差する9点に加速度計を配置した。設置位置を法面側からFront, Middle, Backとし、図2下部に示した入力波を与え、加振中の加速度を測定した。

3. 実験結果

図2に水平変位の時間変化を示す。Case2は300 gal、その他のCaseは400 gal加振時に法尻から亀裂が入り斜面崩壊が起こった。根系2本のCase3及び根系なしのCase0と比べて根系4本のCase1と2で早く崩壊した理由として、根系の動揺により土中に亀裂が生じ、表層付近の模型斜面を崩壊しやすくしたことが考えられる。

図3に根系の法肩からの距離と最終崩壊角度の関係を示す。図中に示した最終崩壊角度は、実験終了時の崩壊斜面の法肩と崩壊土砂の先端を結んだ線の角度である。根系が法肩に最も近いCase3の最終崩壊角度49.6°が最も高く、次にCase2(47.1°)、1(45.1°)、0(43.5°)の順に崩壊角度が緩やかになった。このことから、根系がある場合、根系が法肩に近いほど最終崩壊角度は高くなり、水平方向の崩壊が抑えられると推測できる。斜面左端Frontにおける崩壊直前までの加速度応答倍率を図4に示す。加速度応答倍率とは、入力加速度に対する

表1 実験条件

土質	まさ土 (4.75 mm 以下)		
乾燥密度 (g/cm ³)	1.67		
含水比 (%)	12.2 (最適含水比)		
最大加速度 (gal)	100→200→300→400 (sin波, 連続加振)		
周期 (Hz)	10		
加振時間	各10 s (400 galのみ 60 s)		
Case	根系数 (本)	根系深さ (mm)	根系
0	0	なし	なし
1	4	75	スギ
2	4	125	
3	2		

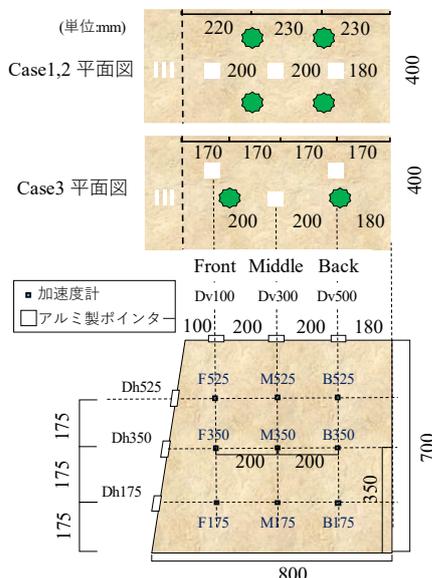


図1 模型斜面

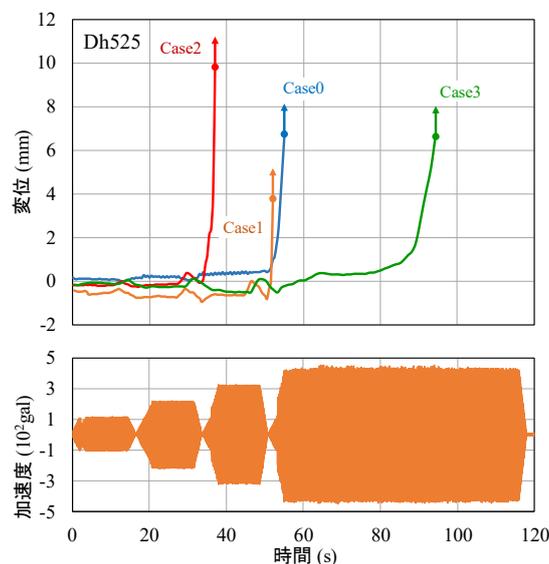


図2 水平変位 (Dh525) 及び入力加速度

キーワード 振動台実験, 根系, 斜面安定解析

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元浜 744 番地ウエスト 2 号館 11 階 1110 号室 TEL 092-802-3384

測定加速度の割合である。図4より、根系がある場合、最も法尻に近い斜面左下 (F175) の加速度応答倍率は、同じ高さの Middle, Back の値と比較して 16.3~25.3%増加した。スギ 2本の Case3 を根系なしの Case0 と加速度応答倍率を比較すると、100, 200 gal 時点では差は見られなかったが、崩壊前の 300 gal 時点では Front において 6.9~8.7%, Middle において 4.7~11.4%, Back において 5.3~12.5%低減した。Case3 を根入れ深さが同様にスギ 4本の Case2 と比較すると、200 gal 時に平均 4.8%, 300 gal 時に平均 27.7%低減した。このことから、加速度応答倍率を抑えることができる適切な根系本数があると推測できる。

4. 斜面安定解析

上記の模型実験を対象に、地震力を考慮した Janbu 法¹⁾により安全率を求めた。粘着力と内部摩擦角は、本試験と同様の土質、含水比、乾燥密度で行った根系を含む一面せん断試験の結果²⁾を引用し、土塊を 20 分割し、根が含まれる土塊のみ根系による粘着力と内部摩擦角の増加を考慮した。崩壊面の角度は実験で得られた最終崩壊角度を用いた。図5に Case1 の入力加速度と安全率の関係を示す。図中の黒丸のプロットは、加速度応答倍率を 1.0 にした場合を示している。それ以外の条件は、400 gal までは実験で得られた加速度応答倍率の最大値を、400 gal 以降は実測値を基に線形近似で予測した加速度応答倍率を用いて安全率を計算した。図5より、元の粘着力 ($c=5.4 \text{ kN/m}^2$) では 400 gal のときの安全率が 1.0 を上回った。これは、Case0, 2, 3 でも同様であった。このような結果となった原因として、実際には加振により模型斜面に亀裂が入り、その結果粘着力が低下したことが考えられる。そこで、粘着力を元の値の 80%, 60%, 40% に低下させた場合の安全率を求め、入力加速度 400 gal において、安全率が 1 以下となる粘着力を求めた。その結果、入力加速度 400 gal のときの粘着力は、Case1 の場合は初期粘着力から 59.9%低下していることが示唆された。同様に Case0, 2, 3 では、それぞれ粘着力が 61.5%, 64.2%, 59.1%低下していることが示唆された。

5. まとめ

- 1) 根系が法尻に近いほど斜面の最終崩壊角度は高くなり、水平方向の崩壊が抑えられると推測できる。
- 2) 加速度応答倍率は崩壊前の 300 gal 時にスギ 2本の場合と根系なしの場合を比較すると、Front, Middle, Back はそれぞれ 6.9~8.7%, 4.7~11.4%, 5.3~12.5%低減した。
- 3) 実験で得られた最終崩壊角度をもとに安全率が 1 以下となる粘着力で斜面安定解析を行ったところ、粘着力は、初期粘着力から Case0, 1, 2, 3 でそれぞれ 59.9%, 61.5%, 64.2%, 59.1%低下したと推定される。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP16K18151 “植生生体電位を活かした表層崩壊バイオアラームの開発”の助成を受けたものです。ここに感謝の意を表します。

参考文献：1) 社団法人地盤工学会，新編 土と基礎の設計計算演習，pp.388~398，2000。2) 田代ら，根系を含む土のせん断が植物根系の生体電位に及ぼす影響，第13回環境地盤工学シンポジウム論文集，pp.405~408，2019。

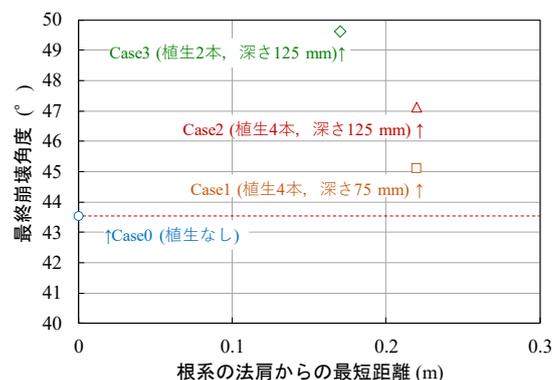


図3 根系の法尻からの距離と最終崩壊角度

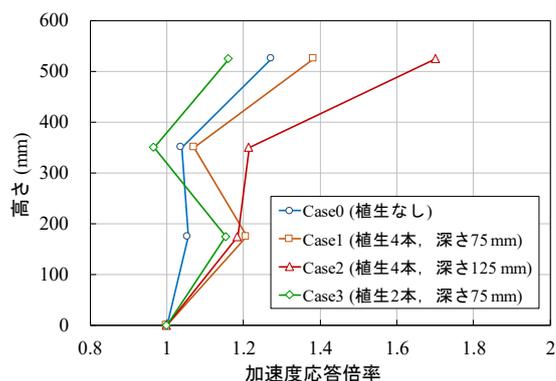


図4 斜面左端の加速度応答倍率

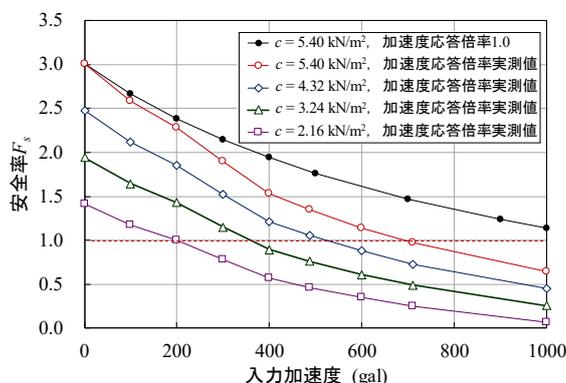


図5 入力加速度と安全率の関係 (Case1)