

遠心載荷実験による根系の斜面安定効果に関する一考察

日鐵住金建材 株式会社      ○岩佐直人 笠原啓 安富懸一  
 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所      伊藤和也

1. はじめに

自然斜面の安定化評価を行う場合、樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価は避けて通れない課題であり、これまでに多くの調査研究がなされている。阿部は、根系の垂直根に着目して整理し、根系の効果を粘着力増加として評価して土のせん断抵抗力の増分として評価している<sup>1)</sup>。また北原は、水平根の評価を、三次元的すべり解析を用いて整理している<sup>2)</sup>。これらの研究より、根系の斜面安定効果は粘着力の増加効果として評価されているが、垂直根と水平根の効果を同時に評価する試みは少ないのが現状である。

そこで垂直根と水平根の人工モデルを用いて遠心載荷実験を行い、根系の斜面安定効果について考察した。

2. 実験概要

遠心模型実験は、重力の代わりに遠心力を模型地盤に作用させて、斜面崩壊を発生させるもので、表-1 に遠心模型実験における相似則を示す。実験試料は最大粒径 2mm に調整した福島県磐梯山地域の火山灰質砂（内部摩擦角 21.5°）を使用し、含水比 16%、締固め度 82%（湿潤密度 1.58g/cm<sup>3</sup>）で斜面勾配 60° の斜面を作製した（図 1 参照）。垂直根には周囲に土粒子を付着させたリン青銅ロッド(2×0.3×25mm)を用い、斜面に対し垂直に設置した。また水平根は、目合い約 2mm のナイロン製メッシュネットを用いて、斜面表面に敷設した。根系をこれら材料で人工的にモデル化し、根系無しの斜面とあわせ、計 3 ケースの実験を行った。図-2、表-2 に斜面正面図と試験ケースを示す。なお計測項目は、斜面の水平変位 2 箇所と天端の鉛直変位（沈下量）2 箇所、ロッドのひずみである。

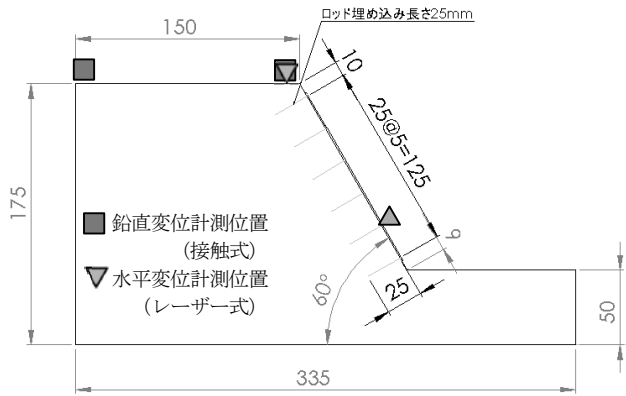


図-1 模型地盤例(case-2)(単位 : mm)

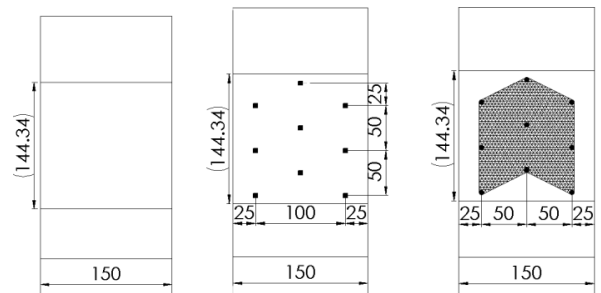


図-2 斜面正面図 (左から case-1、case-2、case-3)

表-1 遠心模型実験における相似則  
 (遠心加速度を n(G)とした場合)

長さ	密度	時間	応力	変位	速度	加速度	ひずみ
n	1	n	1	n	1	1/n	1

表-2 実験ケース

	Case-1	Case-2	Case-3
モデル	根系無	垂直根のみ	垂直根+水平根

3. 実験結果及び考察

表-3、図-5.1～図-5.3 に崩壊時の遠心加速度と各ケースの斜面崩壊状況を示す。斜面崩壊発生時の遠心加速度は、垂直根のみ、垂直根+水平根と、斜面表面の拘束要素が増えるにしたがって、遠心加速度の値が大きくなる。しかし、崩壊形態はどのケースともほぼ同じであり、法肩から約 35mm の位置で崩壊が発生した。

図-4 に崩壊時の遠心加速度から実大規模に換算したときの法肩の鉛直変位(沈下量)ー水平変位量の関係図を示す。根系の無い斜面を想定した Case-1 では、法肩の水平変位量が約 60mm に達したときに崩壊しているが、垂直根を設置した Case-2 では約 95mm、垂直根と水平根を設置した Case-3 では約 110mm の水平変位量が発生し

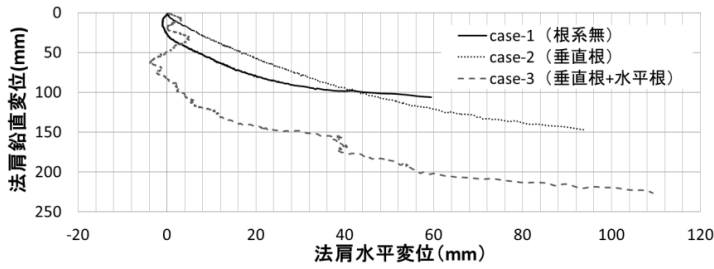


図-4 法肩の鉛直変位－水平変位関係(実大規模換算)

表-3 試験結果と増加見かけの粘着力

Case-No.	Case-1	Case-2	Case-3
崩壊時の遠心加速度(G)	23	28	35
算出見かけの粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	2.43	2.95	3.69
増加粘着力 $\Delta c$ (kN/m <sup>2</sup> )	-	0.52	1.26

た時点で崩壊している。また、法肩の鉛直変位量についても、崩壊時の変位量が大きくなる傾向にあることがわかるが、垂直根と水平根を設置した Case-3 では、他のケースより鉛直変位量が大きい。これは斜面が大きく変位しても垂直根と水平根の相互作用により崩壊を抑止していることを示している。

根系の効果として、崩壊までの加速度が増加するということから、斜面の自立高さが増加する効果として評価できる。そこで崩壊形態を、図-6 に示すような直線すべりに単純化し、崩壊直前の斜面安全率を 1.0 としたときの見かけの粘着力  $c$  を、極限つり合い法による斜面の安定計算の逆算から求め、根系による斜面安定効果を見かけの粘着力  $c$  の増加量として評価を行った。

算出結果を表-3 に示す。Case-1 の根系無しの斜面における逆算粘着力は 2.43kN/m<sup>2</sup> であり、Case-2 では粘着力が約 1.2 倍、Case-3 では約 1.5 倍増加しており、根系の効果を見かけの粘着力増加効果として評価できることがわかる。

#### 4. おわりに

垂直根と水平根の人工モデルを設置した模型斜面による遠心载荷実験を行って、根系の斜面安定効果を検証した。その結果、根系があることで、斜面の見かけの粘着力が増加した結果、崩壊にいたるまでの遠心加速度が増加した。特に垂直根と水平根の相互作用で見かけの粘着力が、根系がない場合と比較して約 50% 増加することがわかった。今後は、根系の効果＝垂直根の効果＋水平根の効果としてとらえ、水平根の連結性、垂直根の間隔等について検討を加え、根系がもつ斜面安定効果を実務に反映できる取り組みにつなげていく予定である。

#### <参考文献>

- 1) 阿部和時, 樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究, 森林総研研報, No.373, pp105~181, 1997
- 2) 北原曜, 森林根系の崩壊防止機能, 水利科学, No.311, 2010

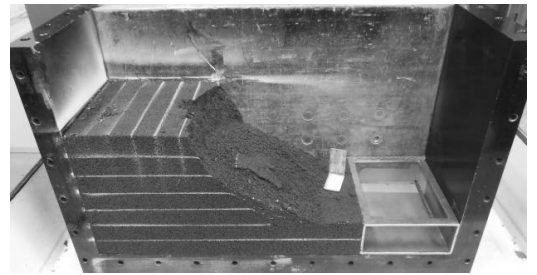


図-5.1 Case-1 斜面崩壊状況

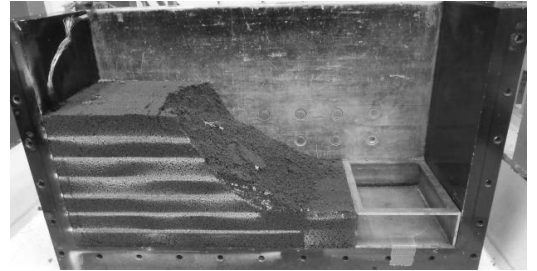


図-5.2 Case-2 斜面崩壊状況

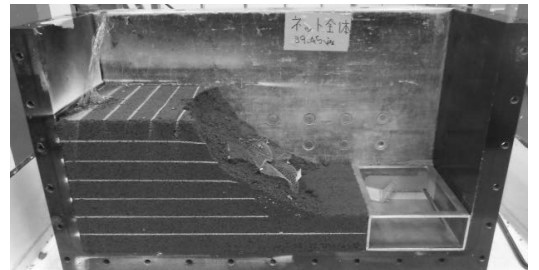


図-5.3 Case-3 斜面崩壊状況

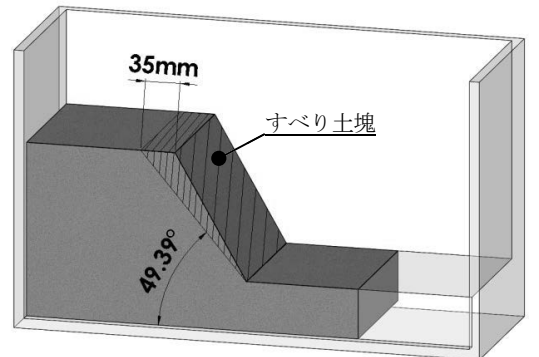


図-6 斜面崩壊モデル