

### 立木が発揮する引き倒し抵抗力の模型実験

岡田康彦<sup>1</sup>・溝口裕也<sup>2</sup>

1 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所

2 株式会社建設技術研究所

**要旨：** 流下土砂および流木に立木が抵抗する力の発現機構を検討するため、疑似根系を与えた立木模型を対象に、小規模な引き倒し抵抗力の実験を実施した。疑似根系はアンテナケーブルを使用し、鉛直根の長さ、水平根の長さおよび層数を変えた条件で実験を実施した。その結果、鉛直根が長いほど、水平根が長いほど、水平根の層数が多いほど、立木模型を引き倒す抵抗力の最大値が大きくなることがわかった。これらから、鉛直根および水平根が張り巡らされている土の体積が大きい場合に抵抗力もより大きくなることが示唆される。

**キーワード：** 引き倒し抵抗力, 模型実験, 立木

### Model experiments on pulling-down resistance of standing trees

Yasuhiko OKADA<sup>1</sup>, Yuya MIZOGUCHI<sup>2</sup>

1 Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba Ibaraki 305-8687

2 CTI Eng. Co., Ltd. Tsukuba Ibaraki 300-2651

#### I はじめに

平成 29 年 7 月の九州北部豪雨災害では、広範にわたり山地で斜面崩壊が発生したことに加えて、そこから流出した流木がより多くの注目を集めた。林野庁の調査(4)によると、下流域に流出した流木はほとんどが山地に生育していた立木由来であり、切り捨てられた残存木は 2% 程度に留まっていた。つまり、山地の立木は流木の発生源になることもある。他方、平成 26 年 8 月の広島豪雨災害や、平成 27 年 9 月の関東・東北豪雨災害においては、勾配がある程度緩くなってきた溪流沿いの箇所では、立木が上流からの土砂および流木を捕捉した事例が確認されており(2)、立木が土砂や流木を捕捉する機能を調べる現地森林での引き倒し実験も実施されている(3)。そこでは、立木が発揮する引き倒し抵抗力は胸高直径の関数として表現されることが多い。

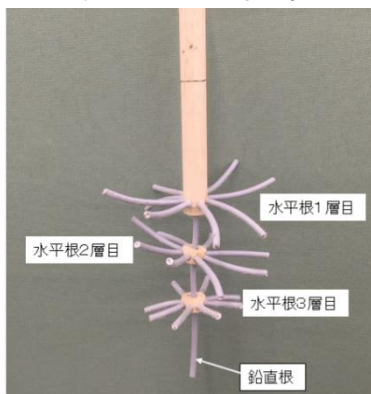


図-1. 引き倒し実験に使用した模型根系

引き倒し抵抗力が大きい場合は、上流からの流出土砂や流木を捕捉して下流域の被害を低減する効果が大きいと推定される。この引き倒し抵抗力は、樹種や立地条件などの影響を受けるものと推定されているものの、そもそもその発現メカニズムが分かっていない。そこで、引き倒し抵抗力の発現特性を検討するために、種々の形状を考慮した根系模型を作製し、小規模な立木引き倒し模型実験を実施した。本報では、各実験における根の長さや発揮された最大の引き倒し抵抗力の関係を整理した結果を示す。

#### II 材料と方法

供試砂は硅砂から作製し、平均粒径 D<sub>50</sub> は 1.03mm で、10% 粒径 D<sub>10</sub> は 0.089mm、均等係数 U<sub>c</sub> は 11.2、曲率係数 U<sub>c'</sub> は 0.65 である (ただし 0.075mm 未満の細粒分は含まれていない)。砂および立木模型を設置する円筒容器は直径

表-1. 使用した模型根系の諸元

	鉛直根長 (mm)	水平根長 1層(mm)	水平根長 2層(mm)	水平根長 3層(mm)
Case A	0	150	0	0
Case B	50	150	0	0
Case C	100	150	0	0
Case D	150	150	0	0
Case E	200	150	0	0
Case F	150	150	103	41
Case G	200	150	118	71

500mm, 高さ 300mm とし, 4層にわけて均等になるように締め固めた。供試砂の締め固めに最も適切な含水比は 10.6%であることを確認した後, この含水比に調整した砂を簡易振動機により締め固めた(一層毎に 2,500kJ/m<sup>3</sup> のエネルギーを与えた)。樹木の植栽に適する土壌硬度は 10~27mm とされている(1)。本研究では, 下限値を 10.0mm, 上限値を 18.5mm として, この範囲に収まった場合に限り実験を進めた。

立木模型は, 直径が 30mm, 長さが 300mm の円柱とし, 根系模型として直径 7mm のアンテナケーブルを適直接続した(図-1)。1本の鉛直根の長さや, 水平根の長さおよび層数(1層に8本)を変えた7種類根系模型(表-1)を対象に実験を実施した。水平荷重は地表から 100mm の高さを与え, 荷重計で抵抗力を計測しながら動滑車状の巻き取り機により秒速 7.5mm で牽引した(図-2)。いくつかの実験に関しては終了後に, 変形が進んだ地表面を楕円と仮定して長径および短径を計測すると共に, 先端角 45度の円錐コーン(直径 10mm)を鉛直に差し込んでいき貫入抵抗が急増する深さを複数箇所計測して, 立木の傾倒に伴い変形が進行した体積を推定した。

### III 結果と考察

鉛直根の長さが異なる Case A から E の5つについて, 鉛直根の長さで計測された最大荷重の関係を図-3に示す。その結果, 鉛直根無しの場合の Case A から, 鉛直根が 200mm の Case E まで, 鉛直根の長さが大きくなるにつれて, 概ね線形に最大荷重が大きくなる結果が示された。

水平根を3層に与えたものの, 2層目, 3層目の水平根の長さが異なる Case F および G について, 計測された最大荷重を比較したところ(図-4), 2層目, 3層目の水平根が長く, 鉛直根も長い Case G が, Case F の 1.2 倍以上になることがわかった。また, これらで計測された最大荷重は, 水平根が単層の実験(図-3参照)よりも大きな値となることがわかった。また, 実験後に変形が進行したと計測された土の体積と, 模型の根系分布に基づき鉛直根と各水平根の先端部を結んだ円錐の体積の比をとると, Case-B, C および G でそれぞれ 0.17, 0.13 および 0.12 が算出され, ほぼ同様の値に収束することが示された。

鉛直根が長く, 水平根も多く張り出している根系では, 立木の引き倒し抵抗力が大きくなることが示唆された。鉛直根や水平根が存在することにより, 立木が傾倒していく際に変形が進行する土の体積が, 立木の引き倒し抵抗力発現の支配因子になっている可能性がある。変形が進行した土の体積は, 模型の根系分布から算定した円錐

の体積の約 15% になる結果がいくつか得られた。今後は, 立木の傾倒により変形が進行する土の体積をより正確に把握し, これと発揮された最大荷重の関係を調べて検討を進めることが重要と考える。

### 引用文献

- (1) 日本道路協会(2009) 道路土工一切土工・斜面安定工指針. 日本道路協会, 東京, 570pp
- (2) 岡田康彦・小西千里(2017) 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨災害において樹木が流下土砂の運動を抑制した事例. 関東森林研究 68(1): 61-62
- (3) 岡田康彦(2018) 立木が発揮する引き倒し抵抗力の現地実験. 関東森林研究 69(1): 113-114
- (4) 林野庁(2017) 「流木災害等に対する治山対策検討チーム」中間とりまとめについて.  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/tisan/171102.html>

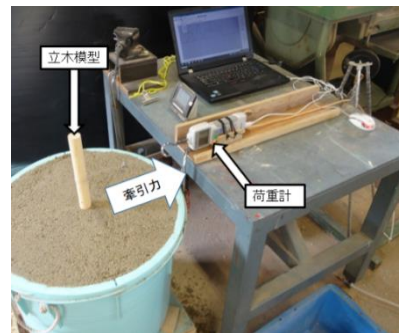


図-2. 引き倒し模型実験の様子

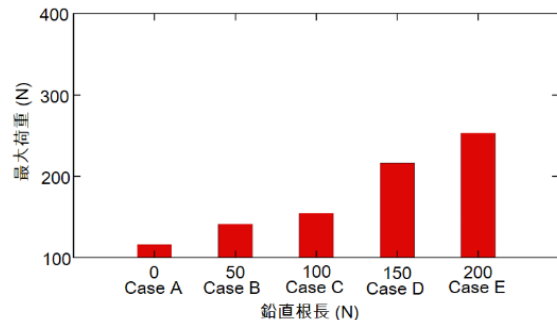


図-3. 鉛直根の長さで計測された最大荷重の関係

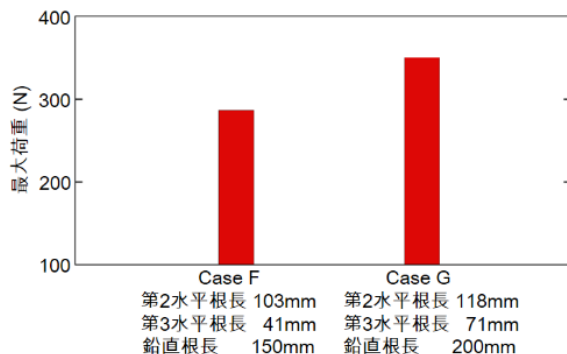


図-4. 水平根及び鉛直根の長さで計測された最大荷重の関係