

信州大学院総合理工学研究科 ○長岡 貴子
信州大学農学部 平松 晋也

1. はじめに

樹木根系がもつ崩壊抑制機能の評価手法として広く用いられているのは、根系の「引抜き抵抗」であり、従来の研究では個々の根系が示す最大引抜き抵抗力の合計値が崩壊抑制力とされてきた（以下、従来モデルと呼ぶ）^{1), 2)}。しかしながら、従来の評価手法では、最大引抜き抵抗力を発揮するタイミングや個々の根系が破壊（破断・引抜き）されるまでの時間といった引抜き抵抗力の時間変化が考慮されていないため、根系の効果を過大評価していることになる。本研究は、現地斜面で根系の引抜き試験を実施することにより、引抜き抵抗力の挙動をモデル化し、従来モデルとの比較を行った。

2. 調査地と試験方法

現地引抜き試験は、信州大学農学部の手良沢山演習林の44年生ヒノキ人工林内で実施した。現地の平均斜度は 39° で、土壌は褐色森林土である。斜面方向に位置する2立木の中央に幅2m×深さ1mのトレンチ断面を作成し、断面に露出した直径2mm以上の根系を対象に引抜き試験を実施した。根系が斜面上下の立木のどちらから伸長してきているか（以下、根系の伸長方向と呼ぶ）を把握した（図-1）。引抜き試験は、図-2に示すように根系と固定したワイヤーを電動ウィンチによって巻き取ることによって実施した。試験中の根系が示す抵抗力の時間変化をロードセルで計測し、時々刻々と変化する値をデータロガーに保存した。試験後、引抜いた根系の根長などの根系構造を計測した。

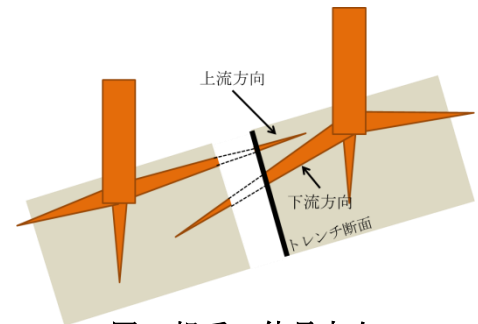


図-1 根系の伸長方向

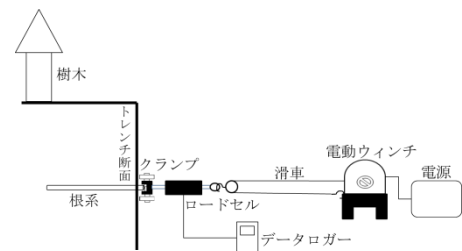


図-2 現地引抜き試験概要

3. 現地引抜き試験の結果

引抜き試験は6断面で実施し、合計84本の根系（上流方向43本、下流方向41本）についてのデータを取得した。引抜いた根系は全て「破断」しており、大部分の根系の引抜き抵抗力の時間変化（以下、抵抗力-変位曲線と呼ぶ）は図-3のような挙動を示した。本研究では、根系が破断する際に発揮する強度を「最大破断強度： F_{max} 」、その強度を発揮する時間（＝変位）を「ピーク到達時間： T_{max} 」と定義した。また、根系の伸長方向によって破断に至るまでのメカニズムが異なることが想定されたため、根系の伸長方向別に検討を行った。

根系の伸長方向如何にかかわらず、最大破断強度と根直径との間には正の相関性が認められた（図-4）。ピーク到達時間については、下流方向の根系では最大破断強度の増加とともにピーク到達時間も増加する傾向にあるのに対し、上流方向の根系では最大破断強度だけでは説明できない結果となった（図-5）。この原因としては、上流方向の根系の場合、破断する際に根系自体の破断強度と根系と土壌との間にはたらく周

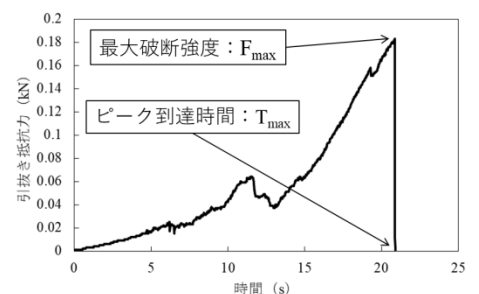


図-3 抵抗力-変位曲線の一例

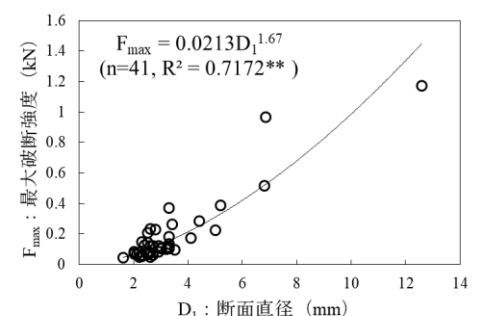


図-4 根直径と最大破断強度との関係
(下流方向の根系について)

面摩擦力の2つの力が機能しているといった事項が挙げられる。根系の破断現象は「周面摩擦力 $\geq$ 破断強度」のときに起こるとした先行研究³⁾と同様、本研究結果からもこの2つの力関係が変化した際に根系が破断するものと考えられる。

4. モデルの構築と検証

4.1. 抵抗力－変位曲線と崩壊抑制力のモデル化

前章までの検討により、根系構造から推定可能であることが明らかとなった最大破断強度とピーク到達時間を用いて、図-6に示すように最大破断強度を示すまで引抜き抵抗力が直線的に増加するものと仮定し、個々の根系が示す抵抗力－変位曲線を推定した。根系に引張力が作用し始めてから t 時間後の根系の引抜き抵抗力($F(t)$)は(1)式で表すことができる。

$$F(t) = F_{\max} / T_{\max} \times t \cdots (1)$$

ここに、 $F(t)$ ：時間 t における引抜き抵抗力(kN)である。

本研究では、図-7に示すように個々の根系の抵抗力－変位曲線を用いて同一時刻の引抜き抵抗力の合計値を求め、その値を対象とするトレンチ断面の断面積で除すことにより(2)式を用いて根系の崩壊抑制力を求めた。

$$\Delta C(t) = \sum_{n=1}^N F(t) / A \cdots (2)$$

ここに、 $\Delta C(t)$ ：時間 t における単位面積あたりの崩壊抑制力(kN/m²)、 N ：根系本数、 $F(t)$ ：時間 t における引抜き抵抗力(kN)、 A ：対象とするトレンチ断面の断面積(m²)である。

4.2. 本モデルの検証

引抜き試験による崩壊抑制力（実測値）と本モデルによる崩壊抑制力、さらには従来モデルによる崩壊抑制力を算定し、本モデルにより得られた崩壊抑制力の妥当性について考察した。検証に用いたのは、1断面で23本(下流方向：13本、上流方向：10本)の根系を引抜いたトレンチ断面のデータである。各評価方法における崩壊抑制力の経時変化を図-8に示す。従来モデルの崩壊抑制力は実測の最大崩壊抑制力と比較して約2.3倍の過大値を示したのに対して、本モデルでは1.4倍と過大評価分を大幅に是正することができた。しかし、過大評価分が是正されたとはいえ、依然として最大崩壊抑制力が実測値よりも大きくなった原因としては、個々の根系の示す抵抗力－変位曲線でのピーク到達時間の推定精度上の問題が挙げられる。

5. おわりに

個々の根系が引抜き試験時に示す最大破断強度とピーク到達時間は、根系の伸長方向別に解析することで、根系構造から推定可能であることが確認された。個々の根系が示す引抜き抵抗力の時間変化を加味した本モデルにより求められる崩壊抑制力は、従来モデルの過大評価分を大幅に是正し得る事実が明らかとなった。今後は、モデルの推定精度の向上を目指した追加調査を行い、モデルに改良を加えることにより、根系効果の再評価を行う予定である。

参考文献 1) Wu, T. H, et al. (1979) Canadian Geotechnical Journal 16(1), 19-33. 2) 阿部和時 (1997) 森林総合研究所研究報告 373, 105-181. 3) 奥中大智ら(2014) 中部森林研究 62, 87-90.

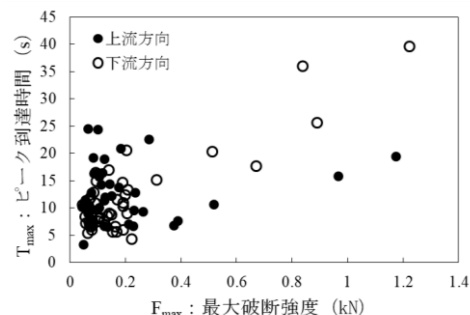


図-5 最大破断強度とピーク到達時間との関係

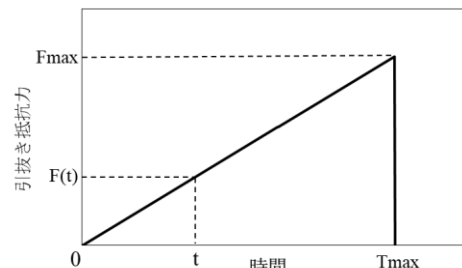


図-6 抵抗力－変位曲線の推定の模式図

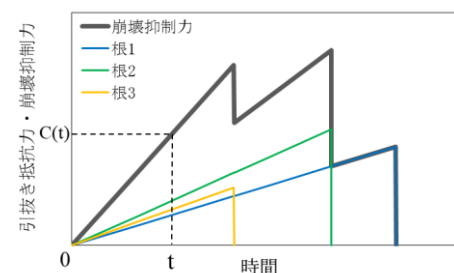


図-7 崩壊抑制力の推定の模式図

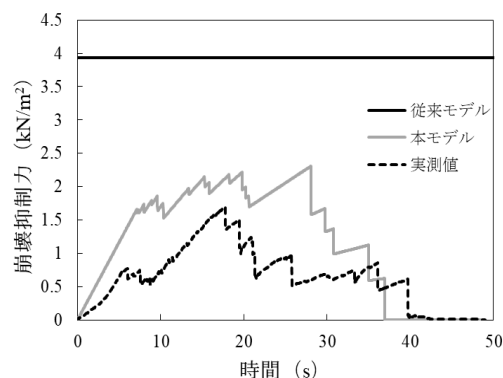


図-8 崩壊抑制力の算定結果