

樹種の相違が林地斜面の安定性に及ぼす影響度評価

信州大学農学部 (現 アジア航測株式会社)  
信州大学学術研究院農学系

○Xie Chenghao  
平松 晋也

1.はじめに

本研究では、樹木の根系に引張力が働いて破断するまでの時間を考慮することにより、樹木根系が有する崩壊抑制力の適正評価を試みた。さらに、崩壊抑制力の時間変化を斜面安定解析に込みこむことにより、カラマツとヒノキを例として、樹種の相違が林地斜面の安定性に及ぼす影響度評価を行った。

2.試験地の概要と現地引き抜き試験の方法

信州大学農学部附属手良沢山ステーション内の55年生カラマツ林内に斜面方向に位置する2立木の中央にトレンチ断面を作成し、トレンチ断面に出現する断面直径: $D_1 \geq 3.0\text{mm}$ 以上の根系を対象として引き抜き試験を実施した。本研究では、上流の立木から下流方向へ伸長している根系(以下、下流方向の根系と呼ぶ)を対象として引き抜き試験を行った。現地引き抜き試験では、電動ウィンチを用いて根系を一定速度で引張り、その抵抗力の時間変化をロードセルで計測した。引き抜き試験終了後、根系の破断部の破断直径: $D_2$ を計測した。

3.根系の現地引き抜き試験結果

根系の現地引き抜き試験は6トレンチ断面で実施し、計78本の根系のデータを取得した。その内、6割程度を占める46本の根系では、図-1に示すように根系の引き抜き抵抗力が発揮され始めてからピーク値「破断強度: $F_{max}$ 」を示す時点「破断時間: $T_{max}$ 」まで引き抜き抵抗力が直線的に増加している事実が確認された。さらに、直径の増大とともに破断強度: $F_{max}$ も増加し、逆に破断時間: $T_{max}(s)$ は遅くなる事実が明らかになった。

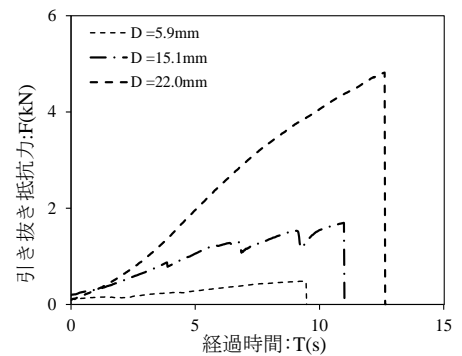


図-1 現地引き抜き試験結果の一例

4.根系の崩壊抑制力の時間変化モデル

下流方向の根系ではトレンチ断面で根系の直径が最も細くなるため、破断強度: $F_{max}$ は根系断面積が最小となるトレンチ断面部で最小となる。

カラマツ根系に対する現地引き抜き試験により得られた破断直径: $D_2$ と破断強度: $F_{max}$ および破断時間: $T_{max}$ との関係を図-2に示す。破断強度: $F_{max}$ と破断時間: $T_{max}$ は破断直径: $D_2$ を説明変数として(1)~(2)式を用いてそれぞれ近似可能となる。

$$F_{max} = 4.6 \cdot 10^{-3} \cdot D_2^{2.18} \dots \dots \dots (1)$$

$$T_{max} = 5.6 \cdot \ln(D_2) - 5.49 \dots \dots \dots (2)$$

根系の抵抗力は破断時点まで直線的に増加するものと仮定し、任意時刻 t での単根が発揮する抵抗力:  $F(t)$ を(3)式を用いて近似した。

$$F(t) = \frac{F_{max}}{T_{max}} \cdot t \dots \dots \dots (3)$$

さらに、(1)~(3)式を用いて個々の根系の抵抗力の時間変化を求め、(4)式により同時刻の個々の根系の抵抗力  $F(t)$ を積算

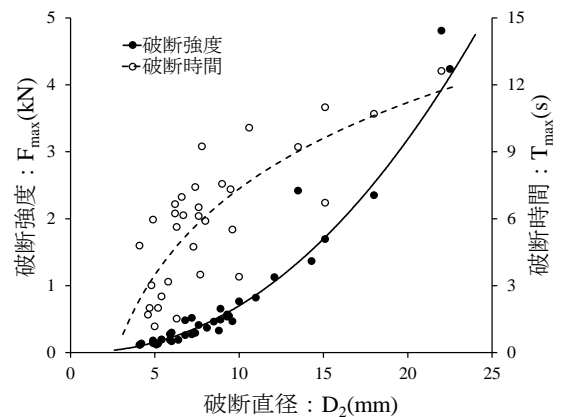


図-2 破断直径と破断強度、または破断時間との関係

することにより、当該トレンチ断面での崩壊抑制力の時間変化:TF(t)を算定した。

$$TF(t)=\Sigma F(t)\cdots\cdots\cdots(4)$$

トレンチ断面 No.3 を例として、(1)~(4)式より構成される「崩壊抑制力の時間変化モデル」により得られた崩壊抑制力の再現結果と実測値を図-3 に示す。同モデルは、根系の崩壊抑制力の時間変化を精度良く再現可能であることがわかる。再現計算により得られたトレンチ断面ごとの崩壊抑制力の最大値:TF<sub>max</sub> を表-1 に示す。表-1 より、「崩壊抑制力の時間変化モデル」による再現値は、実測値の 0.87~1.05 倍の範囲内にあり、水平根の下流方向の崩壊抑制力(総抵抗力)に対する同モデルの再現精度は概ね良好である事実が確認された。

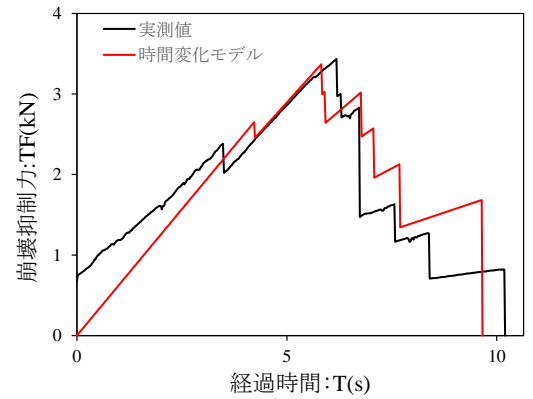


図-3 トレンチ断面 No.3 における崩壊抑制力(総抵抗力)の時間変化

### 5.樹種の相違が林地斜面の

#### 安定性に及ぼす影響度評価

樹種の相違が林地斜面の安定性に及ぼす影響度を評価するため、図-4 に示すトレンチ断面 No.6 を対象断面と

して抽出し、(3)式に加え、カラマツ根系に対して得られた(1)~(2)式と先行研究(土田ら, 2021)で明らかにされたヒノキ根系の(5)~(6)式を用いて両樹種の破断強度の時間変化を求めた。

$$F_{max}=3.87 \cdot 10^{-2} \cdot D_2^{1.49}\cdots\cdots(5)$$

$$T_{max}=2.19 \cdot D_2+4.21\cdots\cdots(6)$$

さらに、個々の根系に対して得られた抵抗力の時間変化を(4)式に代入して崩壊抑制力の時間変化:TF(t)を求め、その最大値:TF<sub>max</sub> を用いて斜面安定解析を実施した。

斜面安定解析の入力条件としては、本研究において根系の現地引き抜き試験を実施した地点周辺の斜面形状を勘案し、斜面勾配=33°、土層厚=1.0m とした。解析対象地点の土質強度としては、平田(2013)により求められた花崗岩地域の土の粘着力:C=7.49kN/m<sup>2</sup>、内部摩擦角:φ=33.34° を使用した。ここで、樹木根系による崩壊抑制力の最大値:TF<sub>max</sub> は、せん断抵抗力の補強分として土の粘着力と同様に、せん断抵抗力に加算することとした。

以上の手順で実施した斜面安定解析の結果より、裸地斜面の安全率 Fs=1.126 を基準とすると、ヒノキ根系とカラマツ根系の存在が裸地斜面の安全率をそれぞれ 5.2% (Fs=1.184) と 9.6%( Fs=1.234)も上昇させる事実が確認された。さらに、ヒノキ根系による安全率の上昇は、カラマツ根系の約 1.86 倍にもなるといった興味深い事実が明らかになった。

### 6.おわりに

本研究で新たに提示した「崩壊抑制力の時間変化モデル」を実際のトレンチ断面での根系分布調査結果に適用することにより、カラマツ根系の崩壊抑制力を適正に評価することが可能となった。また、地形形状等が同様の林地斜面では、ヒノキとカラマツ根系の崩壊抑制効果により、林地の安定性は裸地斜面と比較してそれぞれ 9.6%、5.2%も向上する事実が明らかになった。

表-1 崩壊抑制力の最大値:TF<sub>max</sub> への再現性

		トレンチ断面No.					
		1	2	3	4	5	6
崩壊抑制力の最大値 (kN)	実測値	1.41	0.71	3.43	2.78	2.73	6.07
	時間変化モデル	1.38	0.75	3.37	2.48	2.67	5.28
実測値に対する比率	時間変化モデル	98%	105%	98%	89%	98%	87%

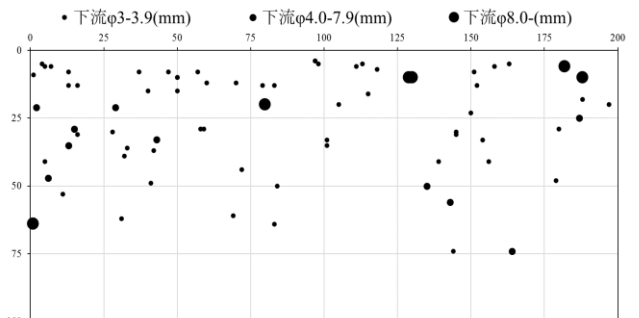


図-4 解析対象としたトレンチ断面 No. 6 の根系分布