

林地斜面の安定性に及ぼす構成樹種の影響

信州大学農学部 ○塚原 理美
信州大学学術研究院農学系 平松 晋也

1. はじめに

スギを対象として根系の引き抜き試験を実施することにより、スギ根系の有する崩壊抑制力の適正評価を試みた。さらに、スギ、カラマツ、ヒノキを例として林地斜面の安定性に及ぼす構成樹種の影響について定量的評価を試みた。

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年生のスギ林内に位置する6地点で、斜面方向に位置する2立木の中央部にトレンチ断面を作成し、トレンチ断面に出現する根系の分布調査を実施した。そして、上流の立木から下流方向へと伸長する断面直径： $D_1=3.0\text{mm}$ 以上の根系を対象として現地引き抜き試験を実施した。引き抜き試験では電動ウインチを用いて根系を1.3cm/sで引っ張り、その抵抗力の時間変化をロードセルで計測するとともに、引き抜き試験終了後に破断部の直径： 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林地内の6断面で実施し、計83本の根系データを取得した。大部分の根系では、引き抜き抵抗力がピーク値を示し根系が破断する時刻まで引き抜き抵抗力が直線的に増加する結果となった(図-1)。さらに、根系の直径の増加とともに引き抜き抵抗力： F_{\max} も増加し、破断時間： T_{\max} は遅くなる事実が確認された。

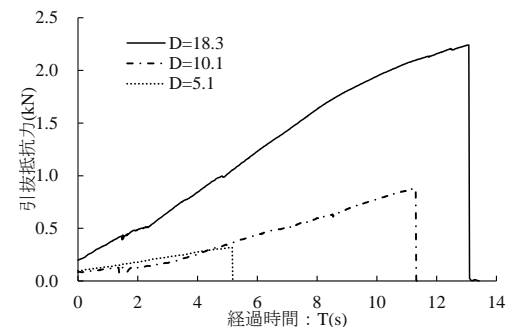


図-1 引き抜き抵抗力の時間変化の一例

4. 根系の崩壊抑制力の時間変化モデルの提示と妥当性の検討

スギ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。

$$F_{\max} = 4.91 \cdot 10^{-3} \cdot D_2^{2.06} \dots\dots\dots(1)$$

$$T_{\max} = 1.18 \cdot D_2^{0.803} \dots\dots\dots(2)$$

引き抜き試験の結果(図-1)を勘案し、根系の抵抗力は破断時点： T_{\max} まで直線的に増加するものと仮定することにより、任意の時刻： 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： $F(t)$ を求め、(4)式により同時刻の個々の根系の抵抗力 $F(t)$ を積算することにより、当該断面内に出現する根系の任意の時刻： t の崩壊抑制力(総抵抗力)： $TF(t)$ が得られる。

$$TF(t) = \sum F(t) \dots\dots\dots(4)$$

引き抜き試験を実施した27本の根系が同一断面に出現すると仮定し、(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の時間変化を図-3に示す。同図中には、現

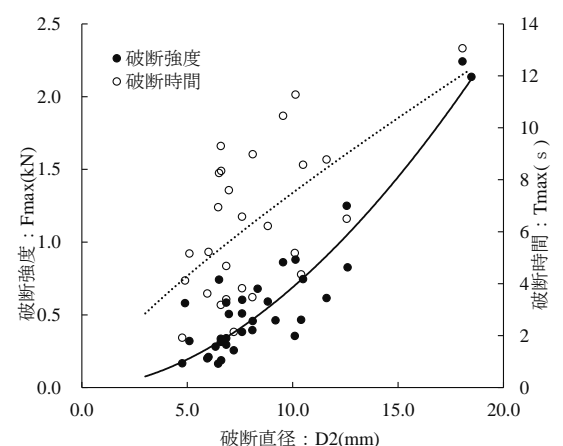


図-2 スギ根系の破断強度： F_{\max} と破断時間： T_{\max} に及ぼす破断直径： D_2 の影響

地引き抜き試験により得られた 27 本の根系の破断強度を単純積算することにより算出した従来モデル(Wu et al.(1979))による総抵抗力も併記した。従来モデルによる評価値は、実測値に対して 185%も過大評価であったのに対し、「崩壊抑制力の時間変化モデル」では、実測値に対して 123%と、従来モデルによる過大評価が大幅に低減されており、水平根の有する崩壊抑制力(総抵抗力)に対する同モデルの再現性は概ね良好である事実が確認された。

5. 林地斜面の安定性に及ぼす構成樹種の影響

断面内にスギ、ヒノキ、カラマツがそれぞれ存在していると仮定し、スギ根系について得られた(1)~(2)式と、既往研究(Xieら, 2021; 土田ら, 2021)で示されたカラマツ根系とヒノキ根系に対する $F_{max} \sim D_2$ と $T_{max} \sim D_2$ の関係式並びに(3)~(4)式を用いてそれぞれの樹種に対する崩壊抑制力すなわち総抵抗力の時間変化を求めた。

断面 No.3 を例として、断面内に出現する断面直径: D_1 が 3mm 以上の全ての根系に対する崩壊抑制力の時間変化を図-4 に示す。崩壊抑制力の最大値は、ヒノキで 12.65kN/m^2 と最大になり、次いでカラマツ 5.27kN/m^2 、スギ 4.78kN/m^2 の順となることがわかる。また、スギ根系とカラマツ根系の総抵抗力の最大値である崩壊抑制力は引張力が作用して

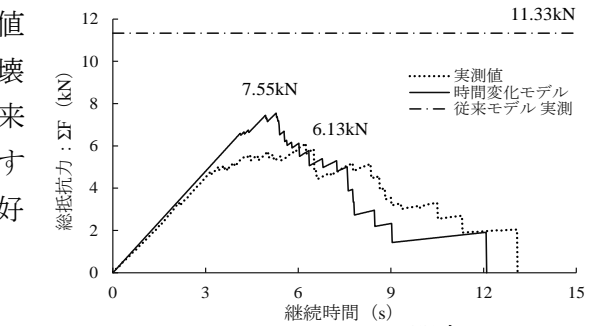


図-3 崩壊抑制力の時間変化

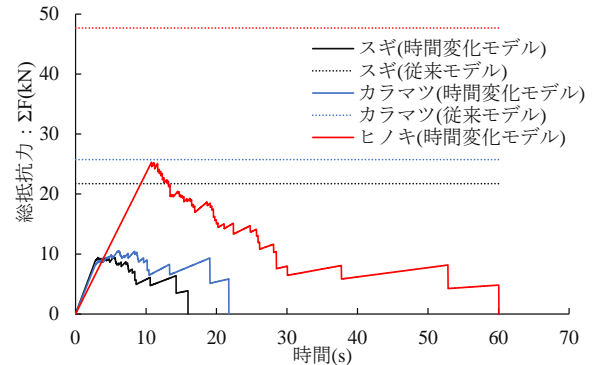


図-4 断面 No.3 における総抵抗力の時間変化

から 5~6 秒後には発揮されるのに対し、ヒノキ根系では崩壊抑制力が発揮されるまでに 11 秒程度有する結果となった。さらに、各樹種に対して得られた崩壊抑制力を用いて斜面安定解析を実施した:(5)式。

$$F_s = \frac{C + \sigma_o \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi + TF_{max}}{\sigma_o \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \dots\dots\dots (5)$$

ここに F_s :斜面の安全率, C :土の粘着力(kN/m^2), σ_o :鉛直応力(kN/m^2), ϕ :土の内部摩擦角($^\circ$), β :斜面勾配($^\circ$), TF_{max} :樹木根系による崩壊抑制力(総抵抗力)の最大値(kN/m^2)である。

斜面安定解析の入力条件としては、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: 34° 、土層厚: 1.0m と設定した。解析対象地点の土質強度としては、平田(2013)により示された花崗岩地域の土の粘着力: $C=7.49\text{kN/m}^2$ 、土の内部摩擦角: $\phi=33.34^\circ$ を使用した。

樹木根系の有する崩壊抑制力: TF_{max} は、(5)式に示すように土の粘着力: C と同様にせん断抵抗力の増強分として加算した。以上の手順で実施した斜面安定解析の結果を図-5 に示す。裸地斜面の安全率: $F_s=2.406$ を基準とすると、スギ根系とカラマツ根系とヒノキ根系の存在が裸地斜面の安全率をそれぞれ 37.9% ($F_s=3.319$), 41.9% ($F_s=3.414$), 100.5% ($F_s=4.823$) も上昇させる事実が確認された。さらに、各樹種の安全率はカラマツ根系がスギ根系の 1.03 倍に、ヒノキ根系はスギやカラマツ根系の 1.45 倍になるといった事実も確認された。また、従来モデルによる安全率は時間変化モデルと比較して斜面の安全率を 1.35~1.44 倍も過大評価している事実が確認された。

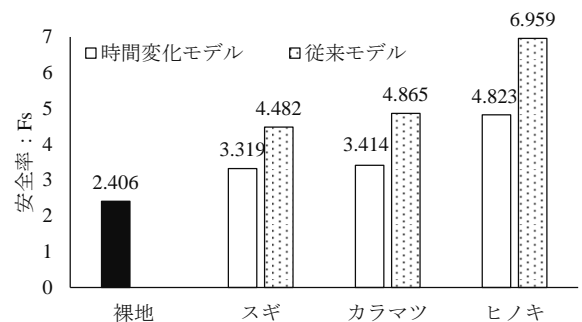


図-5 3 樹種の安全率

6. 終わりに

本研究で提示した「崩壊抑制力の時間変化モデル」を用いて、スギ根系の崩壊抑制力を適切に評価することが可能となった。また、根系分布状況が樹種の相違に関わらず同様と仮定すると、樹木根系による崩壊発生抑制力はヒノキ林で最も大きく、次いでカラマツ、スギとなる事実が明らかになった。