

1. はじめに

樹木根系が有する崩壊抑制機能の評価には、「引き抜き抵抗」が従来より用いられている。従来の研究では、個々の根系が示す引き抜き抵抗の時間変化を考慮することなく、個々の根系の最大値の積算値を用いて崩壊抑制力としているため、実際の根系の効果を過大評価していることになる。本研究は、このような樹木根系の崩壊抑制機能の評価する上での問題点を勘案し、根系の引き抜き抵抗の時間変化を考慮することにより、根系の崩壊抑制力を適正かつ定量的に把握することを目的として実施したものである。

2. 試験地概要と試験方法

信州大学農学部附属手良沢山ステーション内の 45 年生ヒノキ林内に試験地を設置し、同林内で根系の現地引き抜き試験を実施した。図-1 に示すように、斜面方向に位置する 2 立木の中央にトレンチ断面を掘削し、断面に露出した直径 2mm 以上の根系を対象に引き抜き試験を行った。引き抜き試験実施前に、根系の出現位置、断面直径: D_1 、伸長方向を計測した。根系の伸長方向については、断面下流の立木から上流方向へ伸びている根系を「上流方向」、上流の流木から下流方向へと伸びている根系を「下流方向」と定義した(図-1)。引き抜き試験では、図-2 に示すように電動ウィンチを用いて根系を一定速度(1.3cm/s)で引き抜いた。試験中の根系が示す抵抗の時間変化をロードセルで計測し、データロガーに保存した。

引き抜き試験終了後、根系の破断直径: D_2 と土層中に残った根系の表面積を測定した。根系の表面積は、CCD 方式のスキャナー (GT-X820, EPSON) と LED ライトボックス (LED ビューアプロ HR-2, 富士フィルム株式会社) を用いて測定した。

3. 引き抜き試験結果

ヒノキ林内の 6 箇所にトレンチ断面を作成し、計 79 本の根系の引き抜き試験を実施した。根系の引き抜き形態は「引き抜け」と「破断」に大別されるが、本研究では全て「破断」する結果となった。上流方向の根系に対しては、破断後に土層中に残った根系の直径と表面積との関係を求めるため、回収できた 17 本の根系の破断直径: D_2 、主根長、表面積を測定した。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(≒変位量)を「ピーク到達時間: T_{max} 」とそれぞれ定義し、上流方向と下流方向に分けて崩壊抑制力の推定を試みた。上流方向(D_1 :2.3 mm, D_1 :17.5 mm), 下流方向(D_2 :10.2 mm, D_2 :4.2 mm)それぞれの根系に対して得られた抵抗～変位曲線の一例を図-3 に示す。 D_1 と D_2 の増大とともに最大破断強度: F_{max} も増加し、ピーク到達時間: T_{max} は遅くなるといった興味深い事実が明らかになった。

4. F_{max} と T_{max} との関係

上流方向の根系に対する断面直径: D_1 と最大破断強度: F_{max} 並びに、下流方向の根系に対する破断直径: D_2 と最大破断強度: F_{max} との関係を図-4 に示す。上流方向の根系の引き抜き抵抗: F_{max} は、

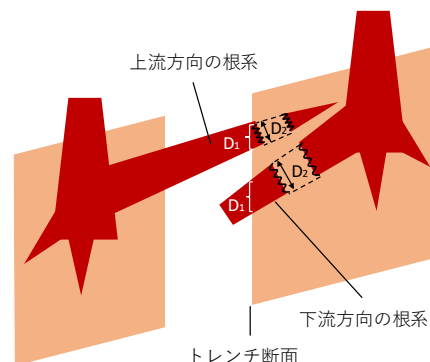


図-1 根系の伸長方向の定義

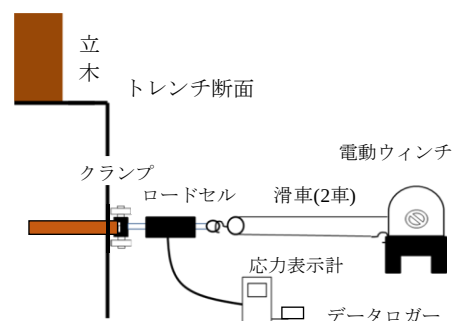


図-2 引き抜き試験の概要

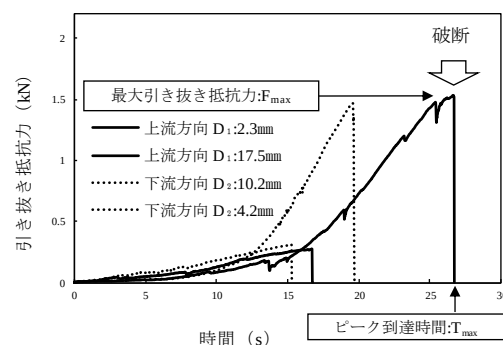


図-3 抵抗～変位曲線

既往研究により断面直径: D_1 を用いて累乗近似可能となる事実が示され、本研究でも(1)式を用いて累乗近似可能となった。また、下流方向の根系の場合、根系は上流に位置する立木によって固定されているため、計測された $F_{\max}$ は破断した部分での抵抗力となるため、既往研究 (Abe & Iwamoto 1986) と同様に、本研究においても $F_{\max}$ は破断直径: D_2 を説明変数とした(2) 式を用いて累乗近似可能となった。

$$\text{上流方向: } F_{\max} = 0.0212 \cdot D_1^{1.66} \quad R^2 = 0.844 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{下流方向: } F_{\max} = 0.0334 \cdot D_2^{1.43} \quad R^2 = 0.815 \dots\dots\dots (2)$$

ここでは、紙面の関係上、下流方向の根系に着目し、引き抜き抵抗力~変位曲線のモデル化を行うこととする。下流方向の根系に対して得られた $F_{\max}$ と $T_{\max}$ との関係を図-5 に示す。少なからずバラツキが認められるものの、 $F_{\max}$ の増加とともに $F_{\max}$ を示す $T_{\max}$ も増加する傾向がみられ、 $T_{\max}$ は $F_{\max}$ を説明変数として(3)式を用いて近似可能となる ($R^2=0.523$)。

$$T_{\max} = 5.61 \cdot \ln \cdot (F_{\max}) + 22.38 \quad \dots\dots\dots (3)$$

5. 引き抜き抵抗力~変位曲線

のモデル化とその妥当性の検討

本試験で引き抜き試験を実施した下流方向の根系 29 本が全て同一断面に存在するものと仮定して、モデルの妥当性の検証を行った。個々の根系に対して得られた実測値である抵抗力~変位曲線と同一時刻の 29 本の抵抗力の合計値である総抵抗力(以下、崩壊抑制力と呼ぶ)~変位曲線、並びに各根系の $F_{\max}$ を単純積算して算出する従来モデルによる崩壊抑制力を図-6 に示す。実測値の崩壊抑制力の最大値が 5.43kN であるのに対し、従来モデルでは 9.24kN と、実測値を 1.7 倍も過大評価している事実が明らかになった。次に、「個々の根系の抵抗力は、最大破断強度: $F_{\max}$ を示す $T_{\max}$ 時点まで直線的に増加する」との仮定し、図-7 に示すように (2)~(3)式を用いて個々の根系に対する抵抗力~変位曲線をモデル化した。そして、各根系に対して得られた抵抗力~変位曲線を同時刻ごとに合計することにより、トレンチ断面全体の根系による崩壊抑制力の時間変化を求めた。以上の操作を行うことにより得られた崩壊抑制力の時間変化を図-6 中に併記した。本モデルにより求められる崩壊抑制力は 6.25kN と実測値の 1.15 倍にまで減少させることが可能となった。以上の結果、根系の有する引き抜き抵抗力の時間変化を考慮した本モデルを適用することにより、従来モデルによる崩壊抑制力の過大評価を大幅に是正可能となる事実が確認された。

6. 終わりに

本研究では、根系の引き抜き抵抗力の時間変化を考慮することにより樹木根系の有する崩壊抑制力の再現を試みた。その結果、従来モデルを用いて算出した崩壊抑制力が現地引き抜き試験により得られた実測値の 1.7 倍も過大評価となるのに対し、本研究で提示したモデルを適用することにより 1.15 倍にまで減少させることが可能となった。今後は、根系の破断メカニズムの詳細を明らかにするとともに、これをモデル化するため、現地で採取した根系を用いた室内引き抜き試験を実施する予定である。

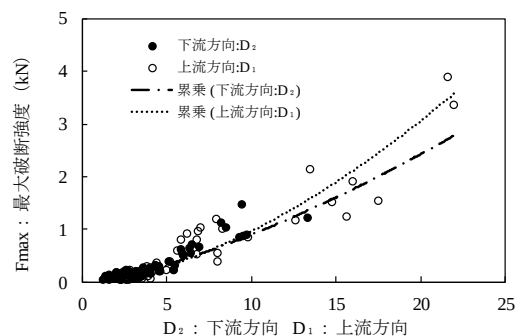


図-4 根系の直径と $F_{\max}$ との関係

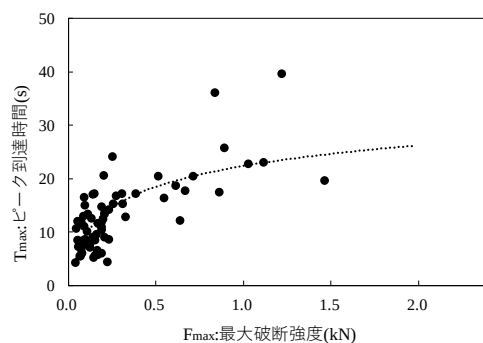


図-5 下流方向の根系に対する $F_{\max}$ と $T_{\max}$ との関係

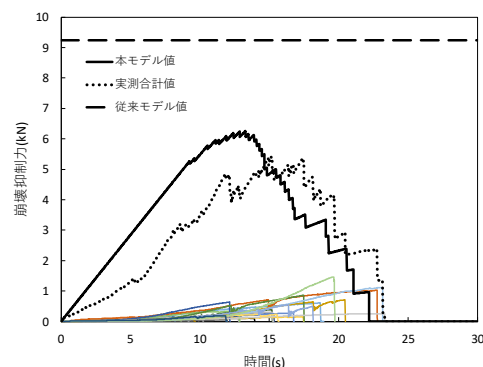


図-6 根系の崩壊抑制力の経時変化

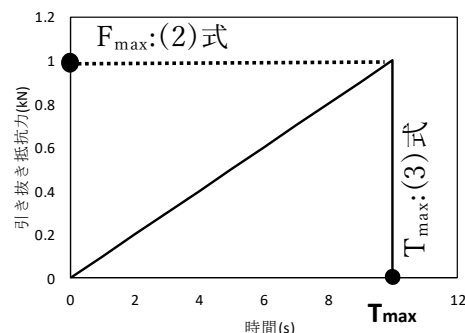


図-7 抵抗力~変位曲線のモデル化