

大規模地震により発生する崩壊の規模に及ぼす樹木根系の影響

信州大学農学部 ○澁谷 歩

信州大学学術研究院農学系 平松 晋也

1. はじめに

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震による崩壊では、緩傾斜の斜面で面的な大規模崩壊が多発した。また、崩壊地源頭部周辺では、20°未満の緩傾斜であっても崩壊が発生しており、地震による外力以外にも原因があるものと推察される。本研究は、崩壊地源頭部周辺の地形形状と崩壊地周辺に優占するカラマツの水平根のネットワークによる緊縛力が崩壊規模に及ぼす影響を明らかにすることを目的として実施したものである。

2. 樹木根系の引き抜き抵抗力

研究対象地は、北海道胆振東部地震時に崩壊の集中した厚真川支川東和川流域(流域面積5.1km<sup>2</sup>)内に設定した。崩壊地源頭部の表土層の深度2mまでは、有機物層からなる黒ボク土と火山噴出物を起源とする土層により構成され、2m以深には新生代第三紀の泥岩からなる基盤岩が存在し、すべり面は表土層と基岩との境界に存在する。

研究対象地周辺の主要構成樹種はカラマツであり、本研究では、対象流域内の3地点でトレンチ断面を作成し、カラマツの根系分布調査を実施した。崩壊地源頭部で露出している断面を立木間の引き抜き抵抗力が最弱となる位置と仮定し、この地点にトレンチ断面を作成した。一例として、調査地点2での根系の分布状況を図-1に示す。全ての根系分布調査地点で根系は地表面から130cm深度までの範囲に分布し、直径10mm以上の根系は地表面から30cm深度に集中している事実が確認された。また、200cm以深にまでは水平根と鉛直根が到達していないため東和川流域で発生した表層崩壊に対しては、鉛直根によるすべり面での崩壊抑制効果は発揮されなかったものと推察される。

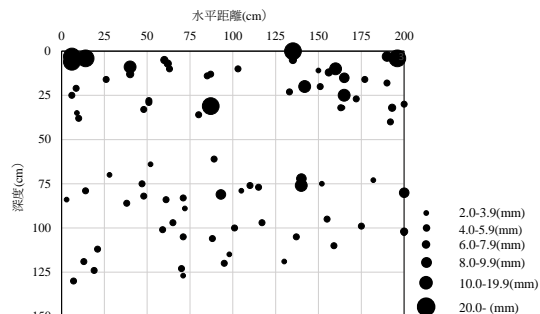


図-1 調査地点2の根系分布状況

根系分布調査より得られた皮なし破断直径:  $D'_2$  を Xie ら (2021)により提示された(1)式に代入し、個々のカラマツ根系の引き抜き抵抗力:  $P$  を求めた。(1)式を用いて得られた個々の根系の引き抜き抵抗力を(2)式に代入することにより得られた調査地点1~3断面における単位幅あたりの根系による緊縛力 $\Delta C$ (kN/m)を表-1に示す。

$$P = 0.014 \times D'_2{}^{2.04} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta C = \Sigma P / W \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $D'_2$ :皮なし破断直径(mm),  $P$ :個々の根系の引き抜き抵抗力(kN),  $\Delta C$ :単位幅あたりの根系による緊縛力(kN/m),  $W$ :トレンチ断面の幅(=2.0m)である。

表-1 調査地点1~3の単位幅あたりの緊縛力 $\Delta C$ (kN/m)

調査地点	緊縛力 $\Delta C$ (kN/m)	対象木のDBH (cm)	対象木と断面間の距離 (cm)
1	3.44	31.5	210
2	23.20	34.2	190
3	8.54	40.1	180

3. 個々のブロックを対象とした斜面安定解析

地震発生時の斜面の水分状態を把握することを目的として、調査地点2付近の崩壊前後のDEMデータを用いて作成した解析対象斜面を対象として、断面二次元飽和-不飽和浸透流解析を実施した。地震発生前1ヶ月間の実績降雨(227.5mm)を解析対象斜面に与え、得られた斜面内部の水分状態を用いて地震時の水分状態を設定した。調査地点2の2立木間の水平距離が3m程度であるため、解析対象斜面を図-2に示すように水平距離3mのブロックに12分割し、①~⑫の各ブロックに対して斜面安定解析を実施した。斜面安定解析に入力する

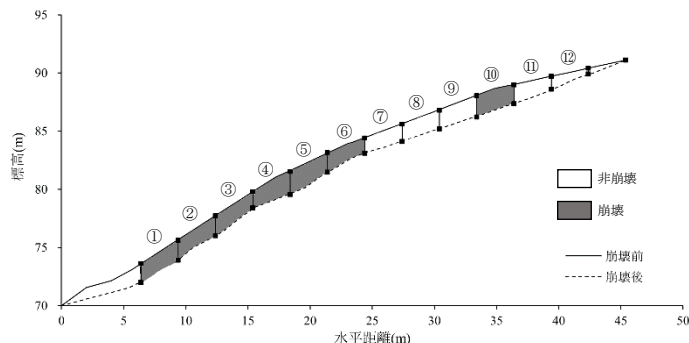


図-2 個々のブロックを対象とした斜面安定解析

地震加速度には、本研究の対象地である東和川流域から最も近い京町で記録された地震加速度(3成分合成：461.9 gal, 南北：285.3 gal, 東西：368.0 gal, 上下：455.7 gal)を考慮して400galを採用した。個々のブロックを対象として図-4中に併記したせん断応力とせん断抵抗力の式を用いて地震力による影響を加味した斜面安定解析を実施した結果、図-2に示す①~⑥と⑨ブロックが崩壊する結果となった。

#### 4. 樹木根系の緊縛力を考慮した斜面安定解析モデルの構築

東和川流域では、カラマツが優占しており、発達したカラマツの水平根が土塊と土塊を連結させる役割を果たすことによって地震力とともに崩壊規模に対して影響を及ぼしていると推察される。このため、本研究では、地震力による影響を加味し、さらに根系による緊縛力を土塊と土塊を連結させる応力として根系の影響を考慮した斜面安定解析モデルを構築した。本モデルによる解析の手順を図-3に、隣接するブロック間の応力関係を図-4にそれぞれ示す。

本モデルでは、図-3~4に示すように崩壊ブロック n-1 とその上流に位置する未崩壊ブロック n との根系の緊縛力による連結の可否については、単位幅あたりの樹木根系の緊縛力(調査地点 2：23.20kN)が不安定化した下流ブロックのせん断応力：S と残留強度： $\tau_r$ との差を上回ることによりブロックが連結可能と判断することになる。そして、連結可能となった場合には、既に不安定化した下流ブロックを含めた当該ブロック全体の安全率  $F_s$  を求め、ブロック全体の安全率  $F_s$  が 1.0 を下回った場合に拡大崩壊が発生するものと判断した。

#### 5. 樹木根系の緊縛力を考慮した地震時の崩壊規模の推定

樹木根系の緊縛力を考慮した斜面安定解析は、図-2に示す未崩壊ブロックである⑦ブロックとその下流に位置する崩壊ブロックである⑥ブロックを解析開始地点として実施した。解析で用いるせん断抵抗力には、未崩壊ブロックに対しては最大せん断抵抗力： $\tau_{peak}$ を、崩壊ブロックに対しては残留強度： $\tau_r$ をそれぞれ使用した。

図-3中に示した①と②をその上流ブロックに対して順次繰り返すことで上流へと連結が拡大することになる。

今回の解析では、図-5に示すように⑥~⑫ブロックまでブロックが連結することになり、当該区間の安全率  $F_s$  が 1.0 を下回り、拡大崩壊が発生する結果となった。以上の結果より、個々のブロックを対象とした場合と比較して、樹木根系の緊縛力を考慮することにより崩壊規模が 15m も拡大する結果となった。このように、本モデルを用いることにより地震を誘因として発生した崩壊規模の再現が可能となることが確認された。

#### 6. おわりに

水平根の緊縛力が土塊を連結し拡大崩壊を引き起こすことで、表層崩壊の規模に影響を及ぼしている事実が明らかになった。今後は、地震の規模や樹種の相違が崩壊のタイミングや崩壊発生限界雨量に及ぼす影響度評価へと研究を展開していく予定である。

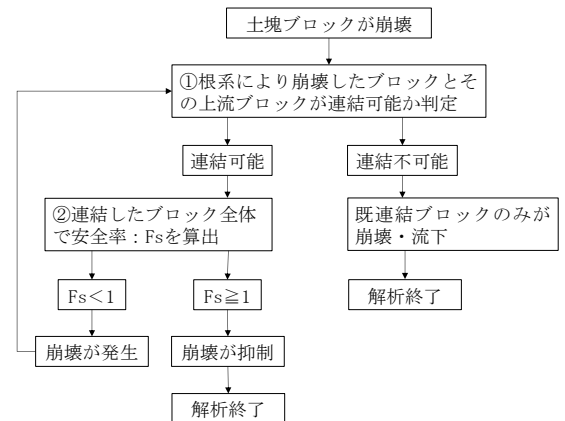


図-3 根系の緊縛力を考慮した斜面安定解析の概要

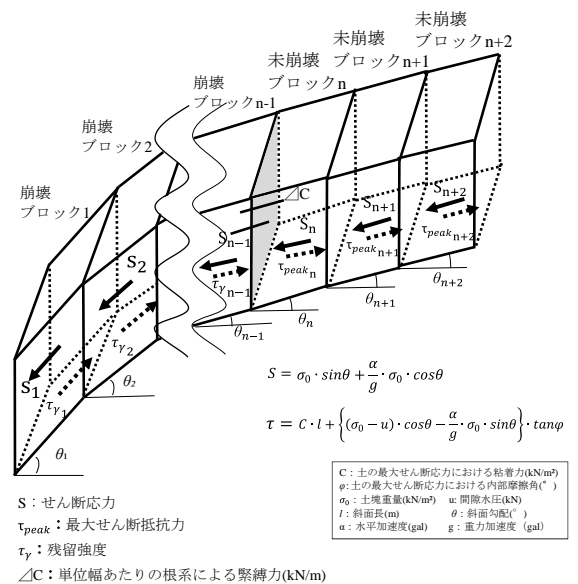


図-4 根系の緊縛力を考慮した斜面安定解析

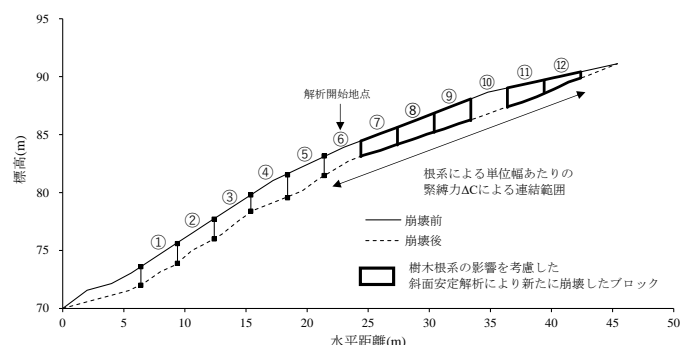


図-5 根系の緊縛力による崩壊規模の変化