

(3) 森林による崩壊防止力の新しい評価方法

(1)、(2) では ΔC の矛盾や間伐と根系補強力の関係評価の難しさを説明した。これまでの研究はWaldron (1977⁴) に始まったせん断面(断面)で根が発揮する抵抗補強メカニズムの考え方に基づく。

すべり面(≡断面)に抵抗体として存在する根が崩壊防止力を発揮する、という杭効果の概念では、先にみた ΔC の矛盾や間伐効果を断面で評価しようとするときの難しさが生ずる。これに対し、近年異なる評価方法によるアプローチが提案されている。

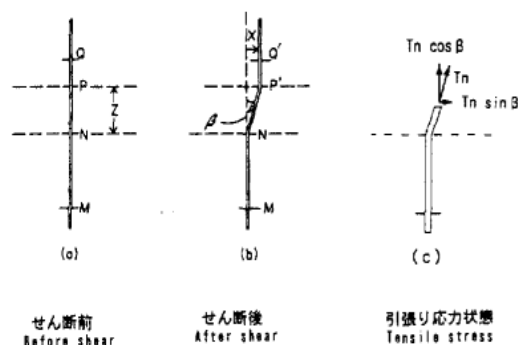


図 2.27 根による土のせん断抵抗補強モデル (Waldron, 1977)

掛谷・阿部ら (2018、文献番号 120) は、表層崩壊の発生機構をこれまで想定していた一定の厚みがあるせん断面での変位進行でなく、土塊全体が徐々にたわんで歪み亀裂が増えて崩れる、という発生機構を想定すべきと主張する。阿部委員は昨年委員会で同様の趣旨発言をし、また、その著書「森林と災害⁵」の中にも記している。この考え方を端的にあらわした図を図 2.28 に示す。

これまでの根系研究は、図 2.28 の①または②の状態を想定したものが多かったが、③の発想を取り入れ、森林が有する根の体積(ボリューム)が崩壊抵抗力をあらわす指標となる、とすれば適切な評価ができるのではないかと(図 2.29)。根量評価であれば、断面評価である ΔC の矛盾を回避し、林齢増加とともに抵抗力が増大するという事実(データ)と一致した評価方法となる。

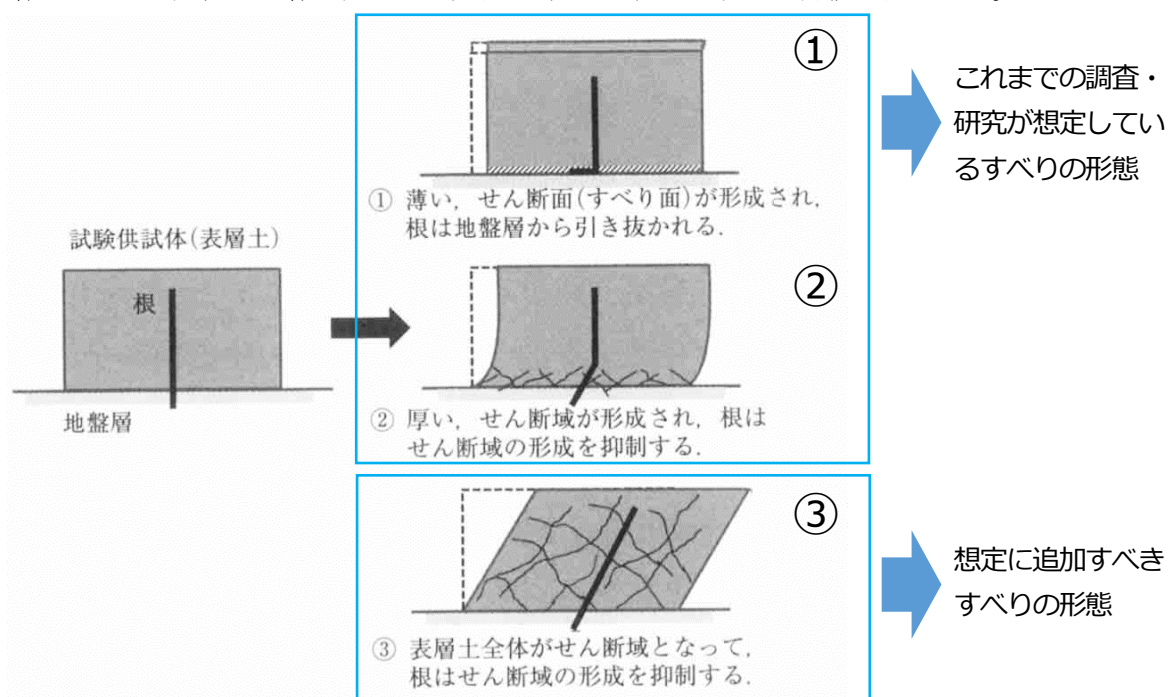


図 2.28 せん断面の状態の違いと根の変形状況の違いを表した模式図(森林と災害 p.103 より)

⁴ Waldron, L. J. (1977) : The shear resistance of root permeated homogeneous and stratified soil, Soil Science Society of American Journal, 41, 843~849

⁵ 中村太士・菊沢喜八郎編著 (2018) : 森林と災害、第 2 章 表層崩壊(執筆担当: 阿部和時)、共立出版

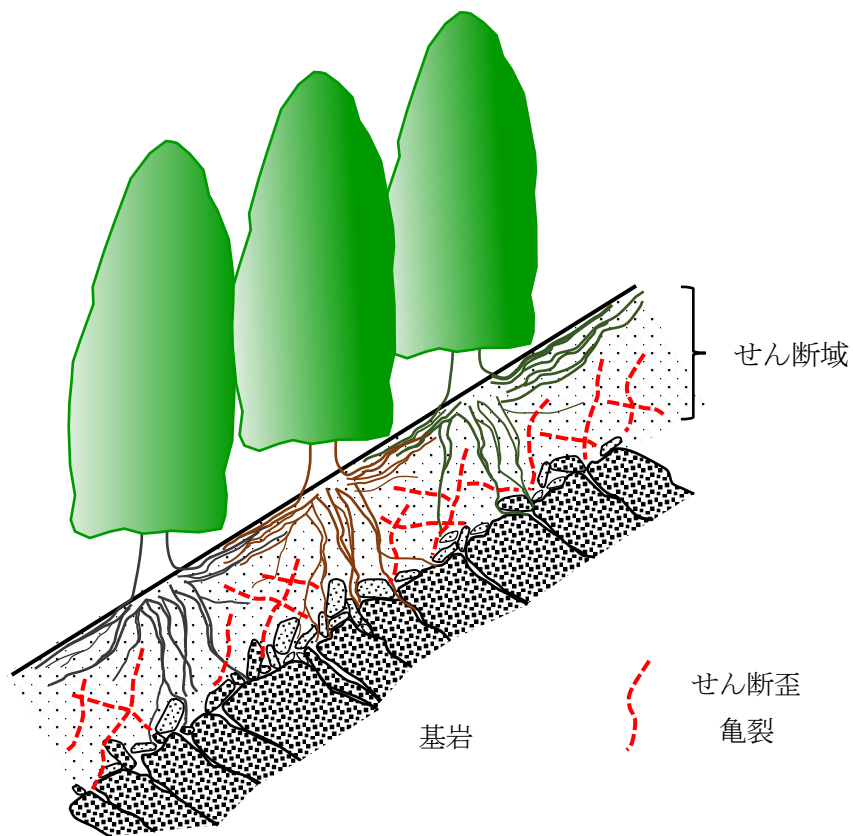


図 2.29 根系が表層土のせん断歪を抑制して崩壊防止機能を発揮するイメージ（阿部、2019）

（4）その他の課題

- 中高木、低木の活用

立木密度が疎になると立木間があき、林内弱部となる。根量を増やすためにも中高木、低木の導入を検討してはどうか。

- 早生樹等の活用

今後の造林植栽についてエリートツリーを活用する機運にある。早期の崩壊防止機能の発現に、早生樹等が貢献するかどうかの見極めとその活用法を検討する必要。

ただし、エリートツリーの地上部成長量はデータがあるが、地下部成長量についてデータが取得されているかどうか検討が必要。

2.3.3 崩壊と根系研究の整理

ここまでみてきた崩壊と根系研究のながれを以下に整理する。

これまでの崩壊と根系研究のながれ

1. 塚本が根を鉛直根と水平根に分けた上で、安定解析を行い根系の崩壊防止機能を評価する。



2. 阿部が鉛直根の分布モデルを構築し、森林施業を考慮した根系の崩壊防止機能を評価する。



3. 北原が水平根について多数調査を実施し、樹種別 ΔC の簡易評価式を提示、実務での利用を容易にする。

- | | |
|---|----------------------------------|
| (1) カラマツ : $\Delta C = -1.5 \times 10^{-5} (N - 1174.83)^2 + 13.22$ | N : 立木密度 [本/ha]
(図 2.17 の式) |
| (2) ヒノキ : $\Delta C = 0.00330 (D/X)^{2.8}$ | D : 胸高直径 [cm] |
| (3) 広葉樹 : $\Delta C = 0.00198 (D/X)^{2.8}$ | X : 立木からの距離 [cm] |



4. 断面評価である ΔC はわかりやすく算定も簡易。広く使われるようになる。

林野庁手引 2016 では上記(1)~(3)式を使って、『崩壊防止機能区分図』を作成する。

2.4 崩壊防止機能区分図（マップ）の活用

2.4.1 断面抵抗力 ΔC による崩壊防止機能評価

樹木根系が発揮する崩壊防止機能は、これまでの研究のながれから水平根と鉛直根に根を分類して検討されてきた。そのうちの水平根が発揮する断面抵抗力を ΔC と呼び、簡易な推定式が提案され実務利用に供されている。

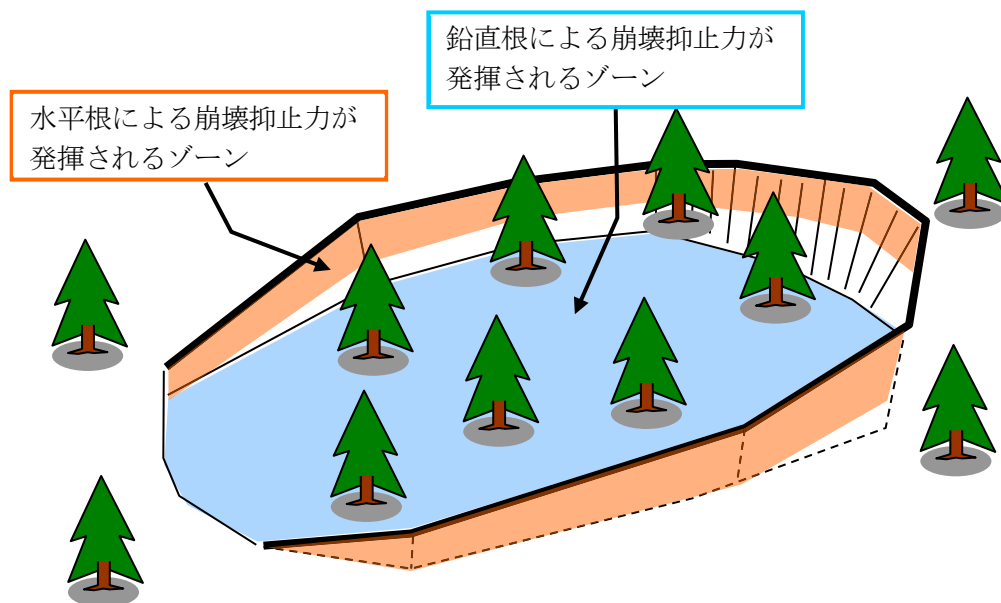


図 2.30 崩壊底面および側面で発揮される根による崩壊防止力

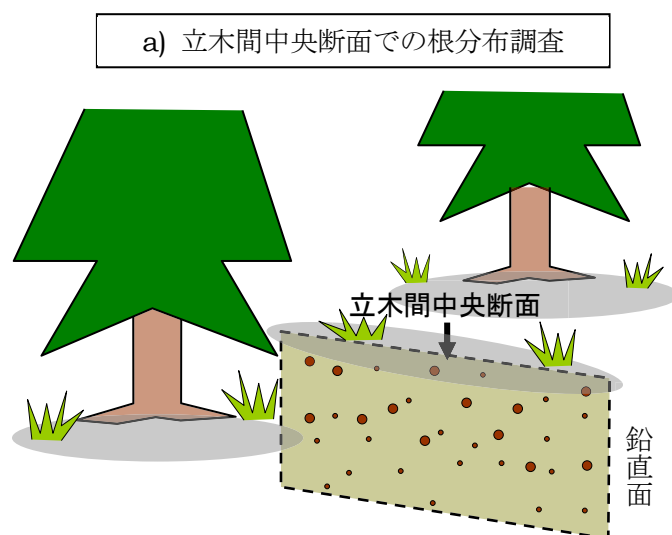


図 2.31 立木間中央断面での根の分布調査

(1) 断面抵抗力 ΔC

北原は立木間の中央断面がもっとも根密度が低く、この断面での根本数と根直径を調べ、1本1本の根の引抜き抵抗力 T を算定し、断面に存在する根の数だけ T を足し合わせた値を $\Delta C = \sum T_i$ として、森林による崩壊防止機能の指標としている。

ΔC は単位断面積あたり（例えば kN/m^2 ）の根系による崩壊防止力であり、断面掘削調査により得られる。これをさまざまな林分で調査し、北原は図 2.17、図 2.18 の結果を得ている。

北原の調査結果より、 ΔC [kN/m^2]を胸高断面積合計 ΣA [m^2/ha]から推定する簡易式を示す。

$$\Delta C = \alpha'(\Sigma A)^{1.4}$$

ただし、樹種別係数 α' ：ヒノキ0.0322，スギ0.0384，広葉樹0.0193

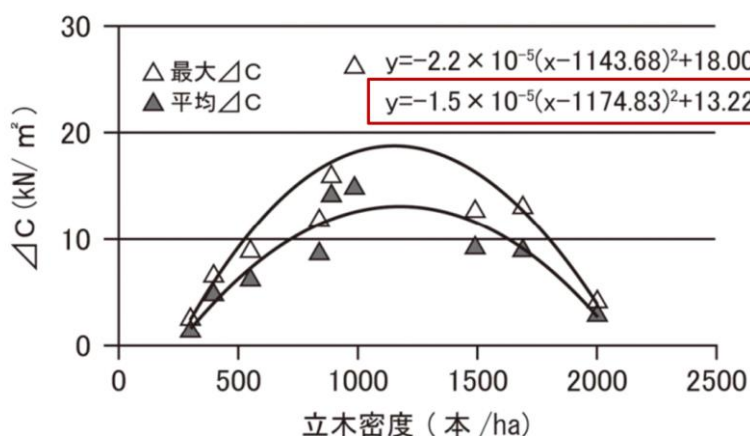
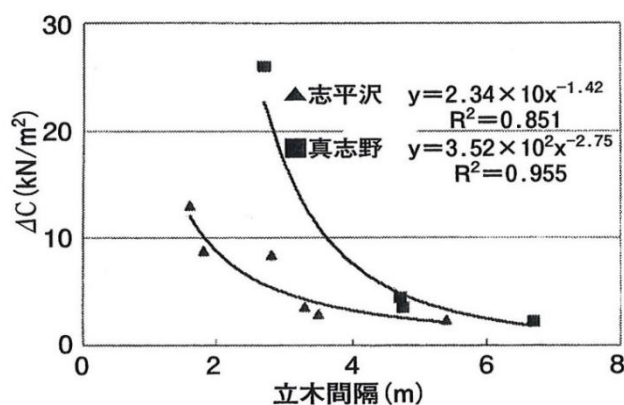


図 2.32 カラマツ林の平均、最大 ΔC と立木密度の関係（伴・北原ら 2011、文献番号 152）



■：間伐林、▲：無間伐林

図 2.33 カラマツ林での立木間隔と ΔC の関係（伴・北原ら 2009、文献番号 164）

(2) すべり形状の複雑化による崩壊防止機能

ΔC が定義される立木間中央という考え方の特徴として、すべり形状の複雑化がある。以下に例を示す。

2.1 の根量データでみたように、立木位置と立木間中央位置では存在する根体積に数十倍の開きがある。したがって、崩壊が発生するためには、立木間中央が側壁すなわち弱線となり、その弱線が連続する必要があります。図 2.35 は、実際の立木配置を基に立木間中央をつなぎ、崩壊範囲を想定した例である。立木間中央をつなぐと崩壊形状がいびつとなり、裸地で発生するようなスプーン状すべりに比べ、滑動しにくい形状となる。このことは、立木の存在がそれだけで抵抗体として、すべり形状を複雑とし、斜面の安定度を上昇させることを意味する。

表 2.3 は裸地と森林（コナラ林、ヒノキ林）において、裸地ではスプーン形状ですべりが発生し、森林では立木間中央を通るすべり（図 2.34）とした場合の三次元安定解析による斜面安全率の結果である。

土質強度（ c ， ϕ ）はすべて同じ値を用い、根による抵抗力 ΔC もここでは評価していない。したがって、表 2.3 の数値は純粹にすべり形状が変化したことによる安全率上昇である。

森林内で発生する崩壊は、立木を避ける形ですべり形状が変化することで 0.04～0.08 程度の安全率上昇が生じる。

表 2.3 裸地と森林での安全率の比較⁶（すべり形状の複雑化による安全率上昇）

	すべり滑動力 D [kN]	すべり抵抗力 R [kN]	安全率 $F_s=R/D$	安全率の上昇 すべり形状の複雑化による
裸地	787	775	0.985	-
ヒノキ林	442	470	1.064	0.079
コナラ林	652	670	1.028	0.043

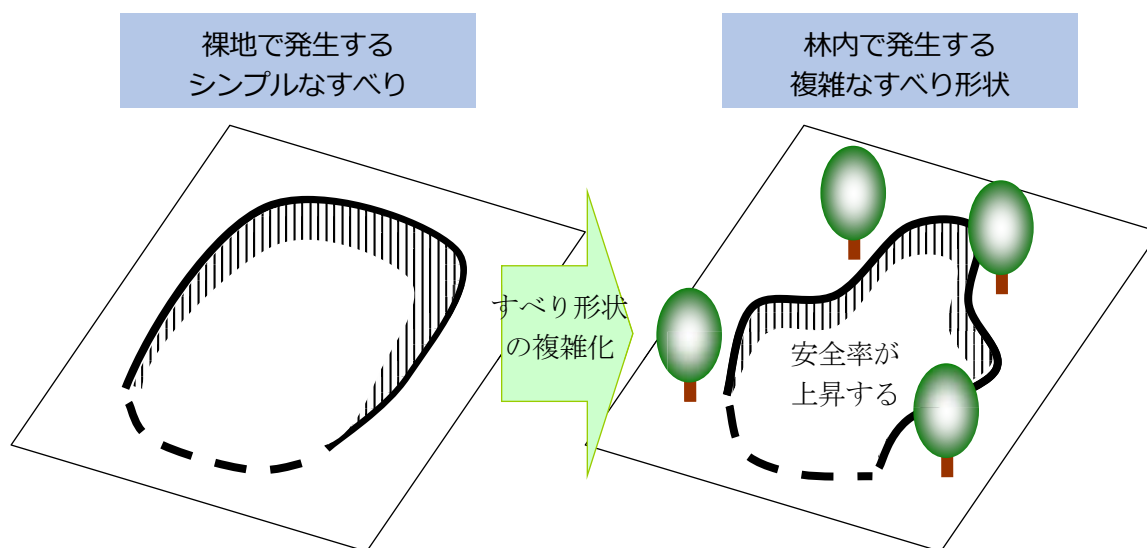


図 2.34 樹林の存在によるすべり形状の複雑化

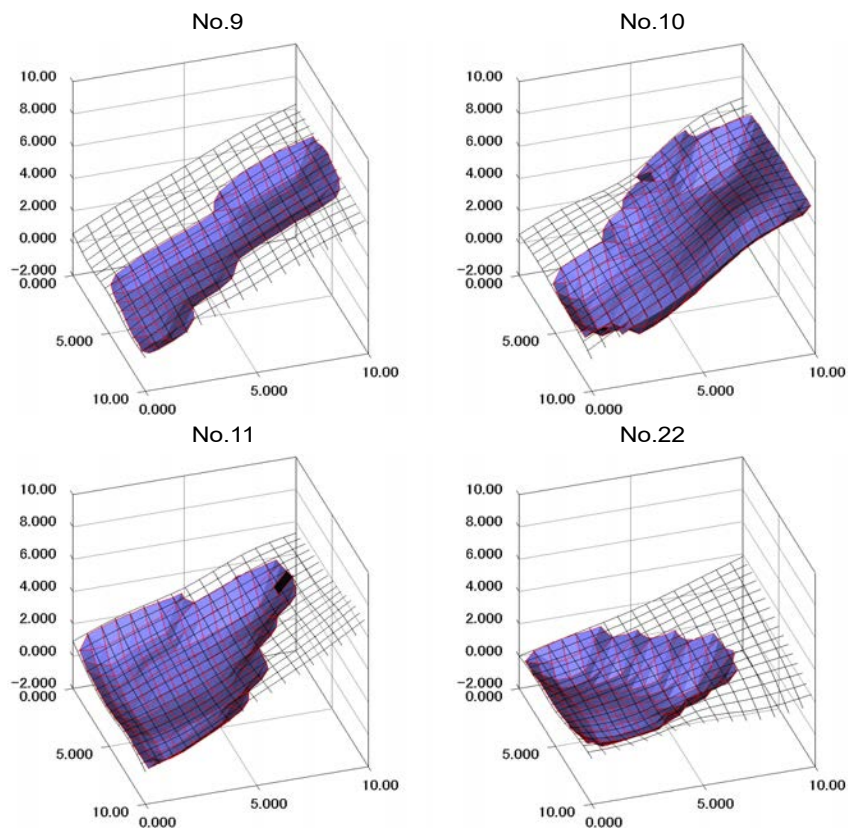
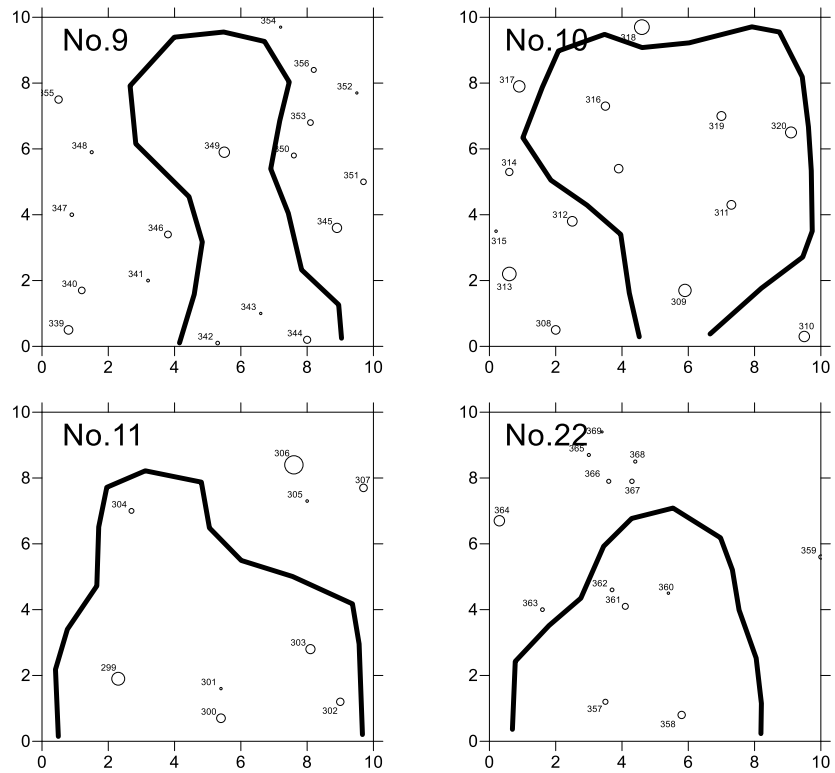


図 2.35 立木間中央を弱線としてつないだ例⁶

⁶ 国土交通省六甲砂防事務所、六甲山系グリーンベルト樹木根系調査業務報告書、平成 25 年 3 月

2.4.2 根重量 W_r による崩壊防止機能評価

掛谷・阿部ら（2018、文献番号 120）は、断面での抵抗力でなく根系のボリューム（体積/重量）に基づく評価方法をあらたに提案した。

掛谷・阿部らは、表層崩壊の発生機構をこれまで想定していた一定の厚みがあるせん断面での変位進行でなく、土塊全体が徐々にたわんで歪み亀裂が増えて崩れる、という発生機構を想定すべきというもので、この考え方を端的にあらわした図を図 2.28 に示す。掛谷・阿部らの概念は、面でのすべりではなく土塊全体のたわみを考えるというすべり形態の違いに着目する。結果として、断面でなく根量（体積/重量）を評価するという発想が目新しい。

森林の崩壊防止機能として、根の体積（ボリューム）を指標にすることで、断面評価である ΔC とは異なる視点からの指標となる。本資料では、根の重量 W_r を算定してマップを作り、これを ΔC マップと比較して、両者の特徴を整理するものとする。

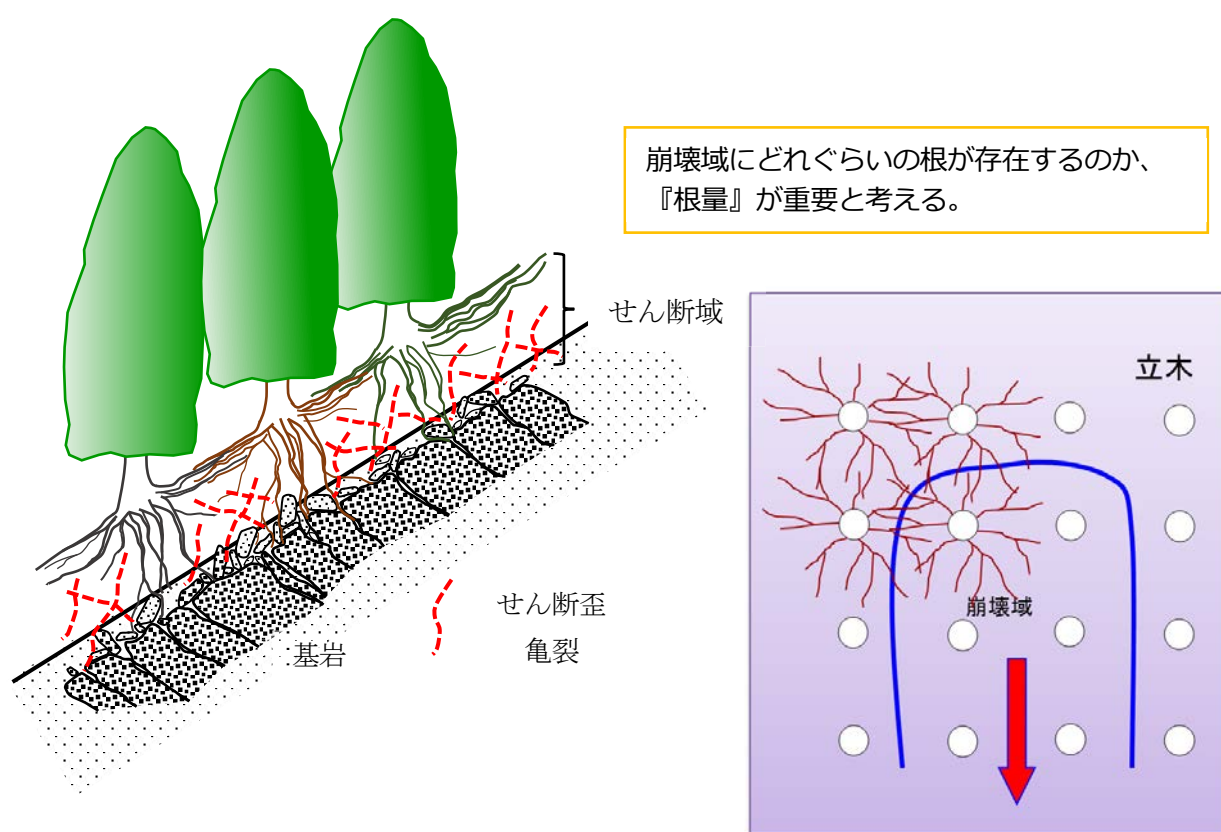


図 2.36 根系が表層土のせん断歪を抑制して崩壊防止機能を発揮するイメージ（阿部⁷、2019）

⁷ 阿部和時（2019）：豪雨災害でみられる森林の持つ表層崩壊防止機能とそのメカニズムに関する研究動向、補強土植生のり枠工「GT フレーム工法」技術講習会（東京地区）－特別講演－、配布資料

2.4.3 根重量算定のための T/R 率

根体積または根重量を定量化する方法はいくつか考えられる。地下部の状態は基本的に掘らないとわからないが、掘削は高コストであることから、立木の地上部重量から T/R 率 (Top/Root ratio) を使い、地下部重量を推定するのが現実的である。

そこで、既往研究においてスギ、ヒノキ、広葉樹等の T/R 率に関する文献を収集した。根の計測は人手を要するためか研究報告数は少なく、ここでは次の 4 件を挙げる。

【TR 率に関する研究報告】

文献 1 : 苅住昇 (1979) : 樹木根系図説、3 章 根の生長、誠文堂新光社

文献 2 : 日本リサイクル緑化協会 技術開発部 (1998) : 根株の容積及び重量の推定について、報告書、平成 10 年 6 月

文献 3 : 森林総合研究所 (2003) : 透明かつ検証可能な手法による吸収源の評価に関する研究、(1) 森林のバイオマス生長量に関する研究、環境省地球環境保全試験研究費 (地球一括計上) 報告書 (2001 年度~2003 年度)、研究代表者 : 家原敏郎

文献 4 : 国立環境研究所 (2019) : 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2019 年、第 6 章 土地利用、土地利用変化及び林業分野、6.5. 森林、6.5.1. 転用のない森林

文献 1 : 表 2.4 は、林業試験場の苅住 (1979) によるデータで、古典文献ともいえる。スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツの情報があるがデータ母数 (本数) の記載がなく、詳細が不明である。

文献 2 : 図 2.37 は日本リサイクル緑化協会が調査した結果で、ざつ、スギ、ヒノキ、マツについて各 50 本を調査対象としたデータである。根株の処理費用見立てのための調査であることから、T/R 率の形式でなく、根元直径または胸高直径別の実容積 (体積) または重量で整理されている。重量は乾燥重量でないことから、ここでは実容積 (体積) の図を示す。

文献 3 : 図 2.38 は森林総研が既存の調査データを取りまとめ整理したもので、図の青い縦棒が標本数 (バイオマス調査のプロット数) で、1 プロットあたり立木 4 本が調査対象木である。10 プロット (立木 40 本) を超える樹種はスギ、ヒノキ (21 年生以上)、カラマツ (21 年生以上) である。

文献 4 : 表 2.5 は、国立環境研究所が温室効果ガスインベントリ報告書として毎年作成している資料の 2019 年版のデータである。基本的に文献 3 (森林総研) の報告書を引用していて、T/R 率が R/T 率になったりしているが、内容としては同じものである。

■T/R 率を使う上で問題となる点

生長に伴う T/R 率の変化を追跡した事例が少ない。文献 1 と文献 2 にわずかに記載があるのみ。