

東京農工大学農学部 塚本良則 太田猛彦  
北海道開発庁 藤浪武史

### 1 はじめに

森林地では伐採後新植しても20年向くらい表層崩壊が発生しやすいことは多くの事例につき統計的に証明されてい<sup>1)</sup>。これを力学的に解明しようとする試みもいろいろなされてきた<sup>2),3),4)</sup>。力学的評価を試みた研究の多くは無限長斜面の安定式を使用している。この場合地表面に平行なオベリ面に作用する根を対象とするので鉛直方向に伸長するものを取扱うことになる。樹木根系の分布様式をみると鉛直方向に伸長するものばかりではなく、表層土中も地表面と平行に遠方まで広がって伸びているものがある。地表下の浅りとこに根の伸長を妨げる層が存在するとほとんど全ての根が斜面方向に伸長することも知られてい<sup>5)</sup>。表層崩壊の発生しやすいところではこの斜面方向の根が多いことが考えられ、また崩壊面積が小さいためこの根系の効果が無視できない<sup>6)</sup>ではないかと考えている。本研究では樹木根系を斜出根と水平根に分け、今まで考慮されなかった水平根の崩壊抑止効果を評価するための基礎につき解析を行った。解析にあつたての基本的考え方は森林の地上部の現存量から地下部根量を推定し、かつその分布の規則性より根量とその分布様式を求めようとするものである。これにより2樹木向の任意地点における根の平均本数と平均直径を求め、それを根の引抜強度に換算して根の効果の入つた土の強度を求める手順をとつた。今回は森林構造に因りて最も情報が多くあり、伐採後の崩壊発生で最も問題となつてい<sup>7)</sup>るスギ人工林を対象とした。

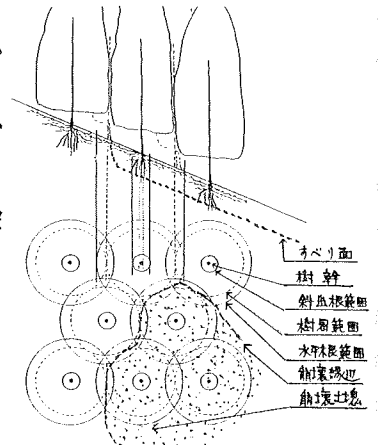


図-1 樹根分布の様式的表現

### 2 スギ林の地上部と地下部がもつ特性

森林の地上部から地下部の根の分布特性までを推定しようとするためにはその中間にかなりしつかりした規則性が存在しなくてはならない。今回の解析を通して幾つかの重要な規則性を見出すことができ、それらを連結することにより目的を達成できた。

2.1 平均樹木間隔: スギ人工林地上部の規則性をみるために収穫表(茨城地方スギ)を使い、平均樹木間隔(L)と胸高直径(D)の比  $L/D$  を林全に対してプロットしたものが図-2である。樹木配列は正方形を仮定した。林全20年頃より一定値となることが分る。森林したスギ林では樹木配列が胸高直径を単位として林全20年頃より相似の形となるので、地下部の根の構造もすべて胸高直径Dを基本単位として解析することの合理性が理解される。

2.2 TR率: 樹木の地上部全重量(幹+枝+葉)Tと地下部

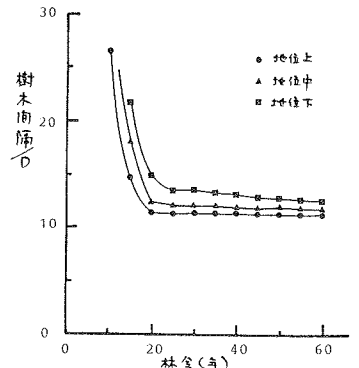


図-2 林全と平均樹木間隔の関係 (茨城スギ収穫表)

の全重量(根重量) R との比を一般に TR 率と呼ぶ。TR 率は樹種により異なり、また林分や土壌条件等によっても異なるとが考えられるが既往の資料によるとスギ林(一般には土壌条件の良いところ)では変動範囲があまり大きくなく、一定値とみなすことも可能である(表-1)<sup>6)</sup>。

表-1 スギ TR 率

胸径直径	11.3	16.0	19.5	25.2	31.9	35.7
TR率	3.1	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6

(折原昇. 林試研報 259 の引用)

2.3 水平根束の遞減則: 樹木の地上部にはパイプ理論が成立するとされている。地下部の根系成長においても類似の規則性が存在することも仮定した。水平根の直径を D 単位<sup>7)</sup> とし測定してその断面積合計(根束と呼ぶ)を因示すると指数関数に近い遞減傾向を示すことが分る(図-3)。根束を次式で表現する。  $Dd = a \cdot 10^{bx}$  ここで Dd は 2D 単位で

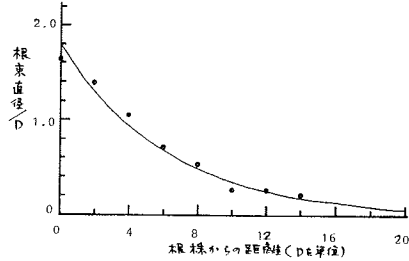


図-3 根束の遞減例

測定された X (整数) の位置における(根束直径/D)の値, a は(根束根之直径/D), b は遞減係数である。a は根束全体積と二次回帰関係が成立する。  $a = 0.6752 \sqrt{RH}$ 。RH は根束全体積を D<sup>3</sup> 単位で表したものである。b についてはあまり規則性が認められなかつたので平均値を求めた。  $b = -0.0799$ ,  $\bar{x} = 0.0129$

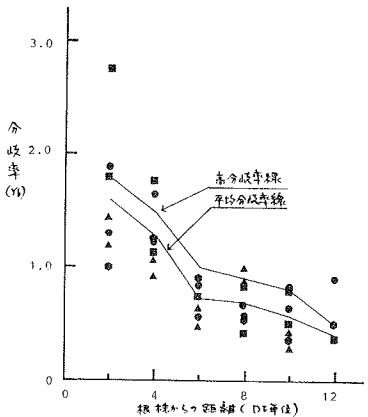


図-4 根株からの距離と分岐率の関係

2.4 水平根の分岐則: 樹木の根は次々と分岐して本数を増加するが、分岐根が小さいときは長土が短い。このため根元から遠いところほど根の本数が多いとは限らない。したがって根は分岐により本数を変えてゆくので、分岐率により本数変化を推定することとした。根株中心から 2D 単位ごとの同心円を描き、円周上に出現する根の本数を数える。i 番目の円周上の位置にある根の総本数を Ni とすると分岐率 Yb は次式で定義される。  $Yb = Ni / Ni-1$  このより i 番目の円周上に出現する根の本数 Ni は次式で求められる。

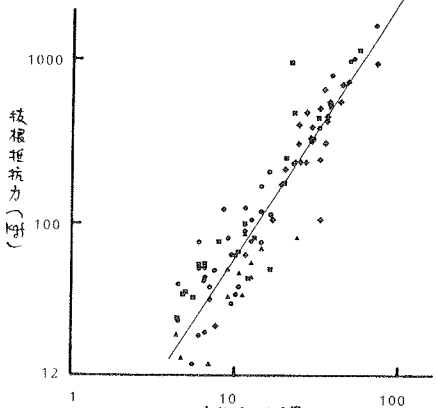


図-5 スギの根直径と根根抵抗力の関係 (水平根と斜出根を総合化したもの)

$Ni = N1 \cdot (Yb1 \cdot Yb2 \cdot \dots \cdot Ybi-1)$  スギ林で分岐率を実測したものが図-4 である。バラツキが大きいので平均値を連結したものと高分岐率の値を連結したものの2通りで計算を進めることとした。

上記の水平根束 Dd と水平根数 Ni より i 円周上の根の平均直径  $\bar{d}_i$  が求められる。

2.5 スギの根の引抜抵抗力: スギの根の引抜抵抗力についてはすでに報告している<sup>1)</sup>が、新しくデータを補充して次式を提案する。水平根と斜出根では根の形、構造

が大きく異なるにもかかわらず引抜抵抗力には有意差がなく、両者を統一した総合式(図-5)で表せる。  $F = 1.795 d^{1.549}$  ( $r = 0.929$ ) F は引抜抵抗力 (kgf), d は引抜根の直径 (mm) である。

### 3 根系分布推定モデル

上記の諸規則を利用すると2樹木間の任意地真における水平根の量(平均本数  $N_i$  と平均直径  $\bar{d}_i$ ) を図-6 のフローチャートに従って計算することにより求められる。 $i$  地真の根系を全木の粘着力  $C_i$  を  $C_i = C_{s_i} + C_{r_i}$  で表すと  $C_{r_i}$  は  $C_{r_i} = k N_i \bar{d}_i H_i$  で表せる。 $C_{s_i}$  は土のみの粘着力,  $C_{r_i}$  は根系による粘着力の増加分,  $k$  は引枝抵抗力に因する定数で  $k \approx 1.2$  とされる。

#### 4 モデルの適用結果

このモデルを図-1 の茨城地方スギ林に適用して根系分布と  $C_r$  の推定を行ってみた。モデルの適用に先立ち次の量を既往の資料から求めた。樹木の単位体積重量 =  $1g/cm^3$ , 単木の枝條全重量 =  $0.08 \times$  単木の樹幹重量, 葉量(生葉量)は林全15年:  $65t/ha$ , 30年:  $75t/ha$ , 45年:  $65t/ha$ , 60年:  $55t/ha$ 。地下部根系全量の水平根と斜出根への分割割合については現在明確な規則性が見出していないので, 数種の分割割合を仮定して計算を進めた。

4.1 樹木間における水平根量の変化: 茨城地方スギ林の2樹木間における根量の変化を求めたものが図-7で, 図-7Aは2樹木間における双方の根の伸長状況と根量の合成過程を描いたものである。Bは水平根量率を4種変えたときの状況である。根量は両端の樹木から遠ざかるにつれて減少し, 2樹木間中心部で最小値を示している。

4.2 樹木間における水平根引枝抵抗力の変化: 上記の根量と分岐率から根の平均本数, 平均直径を求め, これに図-5の引枝抵抗力式を適用して樹木間の各地真における水平根の引枝抵抗力を計算した。図-8の結果は図-7の根量と全く同様に2樹木間中心部で引枝抵抗力が最小値を示している。

4.3 樹木間中心部における根の引枝抵抗力の林全に対する変化の状況: 図-7, 8に示すように樹木間中心部で引枝抵抗力が最小にはなるので, この地真における引枝抵抗力が林全と共にどう変化するかを計算したものが図-9である。水平根量率が変わっても林全20年頃からは一定値に近い値を示す。この結果は図-1と顕著な対応関係を示すことがある。図-1における樹木間隔が一定値に入ると20年以前では2樹木間中心部の根系引枝抵抗力がそれ以後に比して著しく小さい値を示すことも大切な結果と考えられる。林全60年頃では減少傾向が読みとれるが, そこまでの正確度はない。

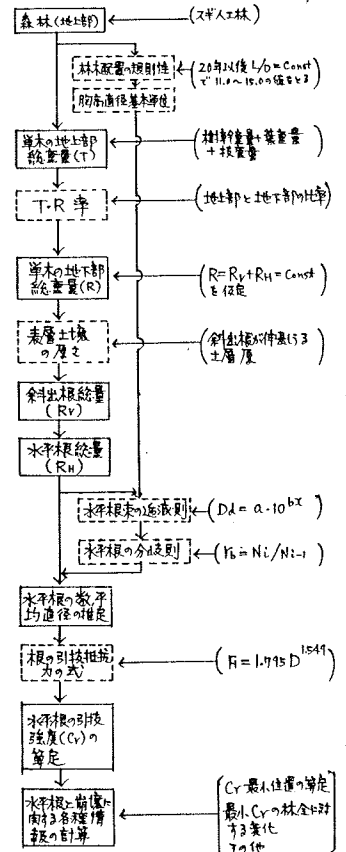


図-6 水平根分布推定モデル

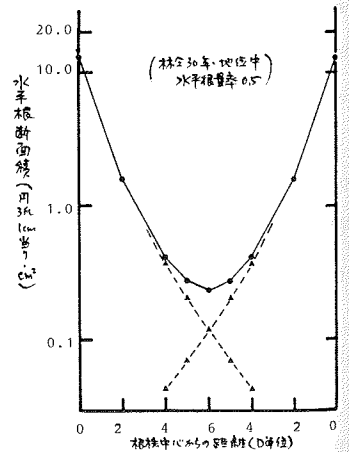


図-7A 2樹木間における根量合成

5 おすび

著者は研究の当初から樹木が成長するにつれ地上部の増加と共に地下部の根量も増して水平根は遠方まで放射状に伸張するが、一方樹木間隔も増大するので樹木間の中間部では両者がバランスを保ち、水平根量と引抜抵抗力はある林全以後一定に近い値を示すのではないかと考えていた。今回の解析結果はこの考えを立証することになった。

この解析結果から判断すると、スギ林では林全20年以前では水平根の力が著しく小さく、水平根がけからみても崩壊抑制効果が小さいことが分る。また一方20年以後は水平根の崩壊抑制効果の増加は期待できなことも分る。このことから斜出根の効果への期待が生じるわけであるが、定性的にみると斜出根は林全と共に地下深くまで伸張する割合が増加することが考えられ、この面からは崩壊抑制効果の増加は期待できそうであるが、

一方斜出根量が林全と共にどのように変化するか不明なので理段階では明確な説明はできない。斜出根量のものは水平根と同様に単位面積当りでは案外変化ないことも予想される。

今回は規則性が非常に期待できるスギ林を対象としたが、直径構成が複雑な天然林のような林においても類似の傾向があるのではないかと著者は考えている。

6 引用文献

1) Y. Tsukamoto, O. Kusakabe: Proceedings. Sympo. on effect of forest land use on erosion and slope stability, East-West Center, 1984 2) D.H.Gray, A.T.Leiser: Biotechnical Slope Stability and Erosion Control, Van Nostrand Reinhold Co.Ltd, 1982 3) 駒村富士三郎, 渡辺武夫: 日林誌 Vol.57, No.9, 1977 4) 小橋澄治: 緑化工技術 Vol.10, No.1, 1983 5) 薄井五郎ほか: 北海道林試研報, No.21, 1983 6) 荻住昇: 樹木根系図説, 誠文堂, 1980 7) 藤森隆郎: 投打ち一基礎と応用, 日林協, 1984

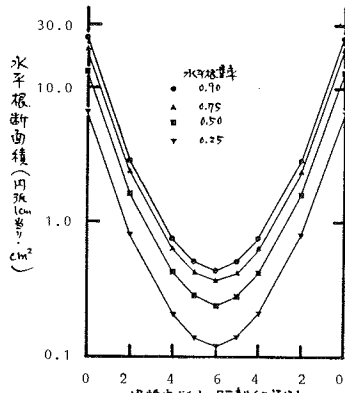


図-7 樹木間にある水平根断面積の変化(筑城5年, 地位中, 林全30年, 平均水平根密度率)

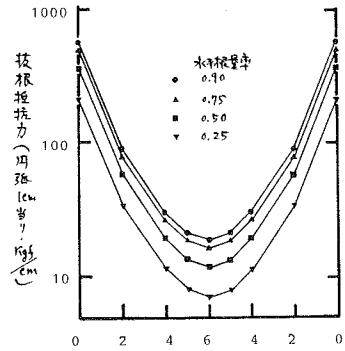


図-8 樹木間にある引抜抵抗力の変化(筑城5年, 地位中, 林全30年, 平均水平根密度率)

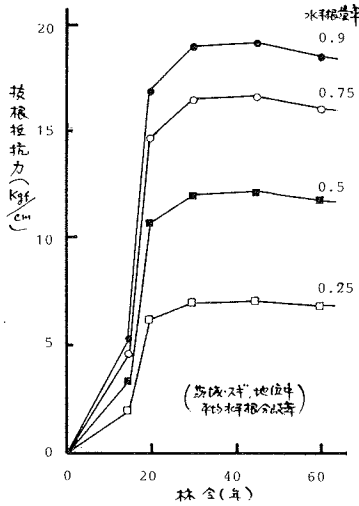


図-9 樹木間中央部にある1cm中当りの引抜抵抗力と林全の関係(筑城5年, 地位中, 平均水平根密度率)

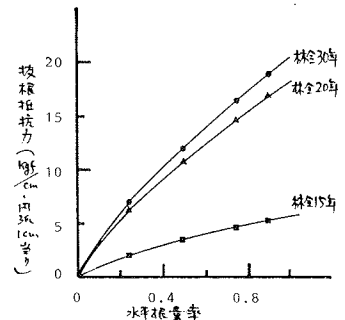


図-10 樹木間中央部での引抜抵抗力と水平根密度率の関係(筑城5年, 地位中, 平均水平根密度率)