

樹木根系の分布予測モデルに基づいた斜面の安定度評価手法の検討

建設省土木研究所 ○蒲原 潤一

二見 肇彦

綱木 亮介

1. はじめに

樹木群の生育する斜面の安定度を評価することは、斜面の周景緑化や風倒木の発生防止のための技術を確立するうえで重要な課題である。外力に対する樹木並びに斜面の安定性は土層内の根系の強度を含めて評価されるべきであるので、筆者らは、斜面傾斜度、土層構造、樹型などの要因と地下部での樹木根系の分布との関係を明らかにし、樹木根系の分布特性に基づいて斜面における樹木の根系分布予測モデルを検討している(図-1)。検討結果の一部はすでに蒲原ら¹⁾によって報告されているが、ここではこれに新たな調査結果を加えて根系の分布予測モデルを検討し、モデルの有効性を根系分布の計測データから検証した結果について報告する。

2. 根系の分布特性に基づく予測モデルの検討

2.1 樹木根系の再現方法

本研究では、樹木の根系分布を樹幹基部を中心とする回転座標系(経度、緯度、距離)において再現することとした(図-2)。根系分布を再現する予測モデルでは、まず、調査の簡便のため樹幹基部から半径40cmの球の地下部の半分を仮根株として設定し、仮根株面上に出現する根系分布を予測する。次に、仮根株面から外側に伸長する主軸根が一定距離伸長したときの位置と直径とを主軸根の伸長方向と逓減率とから予測する。ここで、主軸根とは図中に示すように分岐によって枝分かれする根系のうち大径のものを結んだ部位とする。さらに、再現された主軸根の直径 ϕ_1 からその主軸根と仮根株面上において同じ起源である根系(以下、分岐根と仮称する)の直径 $\phi_2 \sim \phi_n$ を予測する。以上の予測モデルに基づいて斜面土層内に任意に想定されたすべり面(平面及び樹幹基部を中心とする球面)における根系の直径及び入射角(伸長方向)が出力できる。

2.2 根系分布特性の検討方法

予測モデルを作成するために根系分布調査を実施し、調査結果か

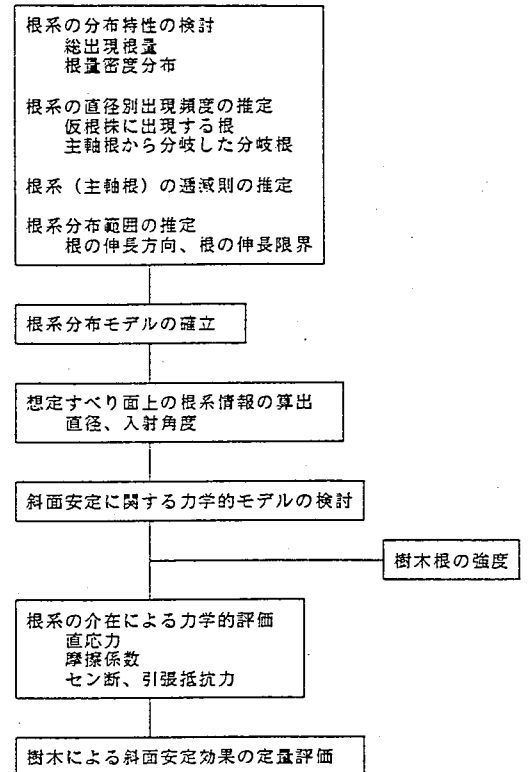
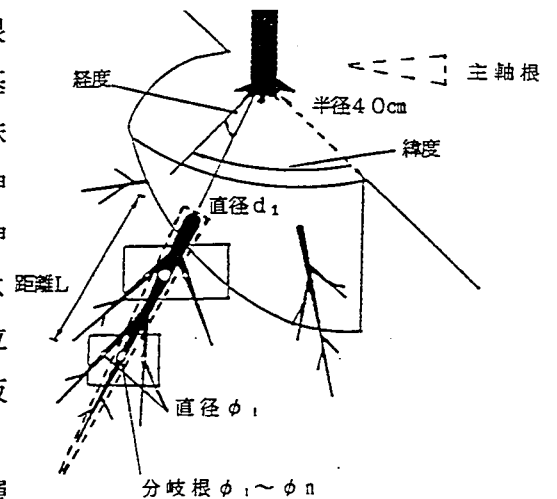


図-1 研究のフロー



- ① 仮根株面上での総出現根量
- ② 仮根株面上での根量の分布
- ③ 仮根株面上での直径別出現頻度
- ④ 主軸根の逓減則
- ⑤ 主軸根の伸長方向
- ⑥ 根系の伸長限界
- ⑦ 分岐根の直径別出現頻度

図-2 樹木の根系分布予測モデル

ら根系の分布特性を仮根株面上と仮根株面の外側とで検討した。分布特性は、仮根株面での出現根の①総出現根量（総断面積）、②根量の分布、③直径別出現頻度、仮根株面外側における主軸根の④通減則、⑤伸長方向、⑥伸長限界、⑦分岐根の直径別出現頻度の7項目について検討した。本報ではこのうち項目①、③、⑦の項目について報告する。根系調査は、胸高直径8.9cm～21.0cmの7樹種計12本の樹木を対象として実施した。調査対象木のうち7本については現地にて人力によって樹木根系を露出させた。残り5本についてはバックホウを用いて根株を採取したのち実験室内に持ち帰り、水流を用いて根系を露出させた。計測項目は仮根株面に出現した根の出現位置及び直径、仮根株面の外側での伸長方向と樹木の生育地点近傍での土層硬度（土研式簡易貫入試験器によるNc値）である。

2.3 仮根株面での総根量

図-3は樹幹の根元断面積と仮根株面での総根系断面積との関係である。根系の計測は、樹幹基部を含む斜面方向の鉛直断面で区切られる片側半分を対象とした。従って、図中の総根系断面積は計測値を2倍したものである。図中には総根系断面積が根元断面積を上回る特異な計測値が含まれているが、これを除けば総根系断面積は根元断面積と比例関係にあることがわかる。

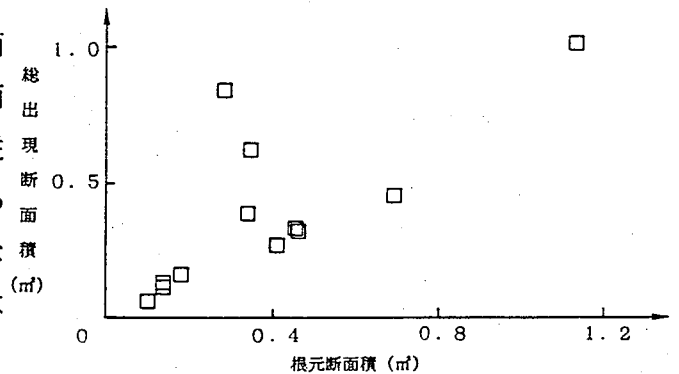


図-3 根元断面積と仮根株面での総出現断面積

2.4 仮根株面での根系の直径別出現頻度

予測モデルでは仮根株面において直径何ミリの根が何本出現しているのか（直径別出現頻度）を推定する必要がある。このため図-4に仮根株面で計測された直径1mm以上の全ての根系について直径と直径別累積出現頻度との関係に対数表示し、そのグラフ型について検討した。図中には樹木の根元断面積及び樹種も示した。図からグラフ型は上に凸の曲線であり対数正規分布曲線に近似できることがわかる。また、樹種が同一であれば同程度の規模の樹木でグラフ型は酷似する傾向が認められる。

2.5 分岐根の直径別出現頻度

予測モデルでは想定すべり面上に出現する主軸根の直径をまず予測し、主軸根の直径から分岐根の直径を予測する。そのためには、分岐根の直径別累積頻度を明らかにする必要がある。分岐根の直径別累積頻度は仮根株面での主軸根の直径 d_1 と仮根株面と想定すべり面との距離 L （図-2参照）とに影響されると考えられるので、その影響について検討した。図-5は静岡県下田市の崩積土斜面からヒノキの試料根を採取し、試料根の直径別累積頻度を計測した結果である。図中に示すように直径別累積頻度は切断部から根の伸長方向に向かって15cmごとに設定した平面上で計測した。図より分岐根の直径別累積頻度は仮根株面での結果と同様に対数正規分布曲線に近似できることがわかる。また距離 L の増加にともなってAからEのようにグラフ型が変化する傾向が認められる。一方、先に図-4に示した結果からは根元直径の減少にともなって仮根株面での出現根系の直径別累積頻度が図-5中のAからCのように変化する傾向が認められる。これらのことから、一般に直径 D の根系が分岐を繰り返して距離 L だけ伸長する場合に、出現する根系の直径別出現頻度は直径 D と距離 L とから予測できると考えられる。

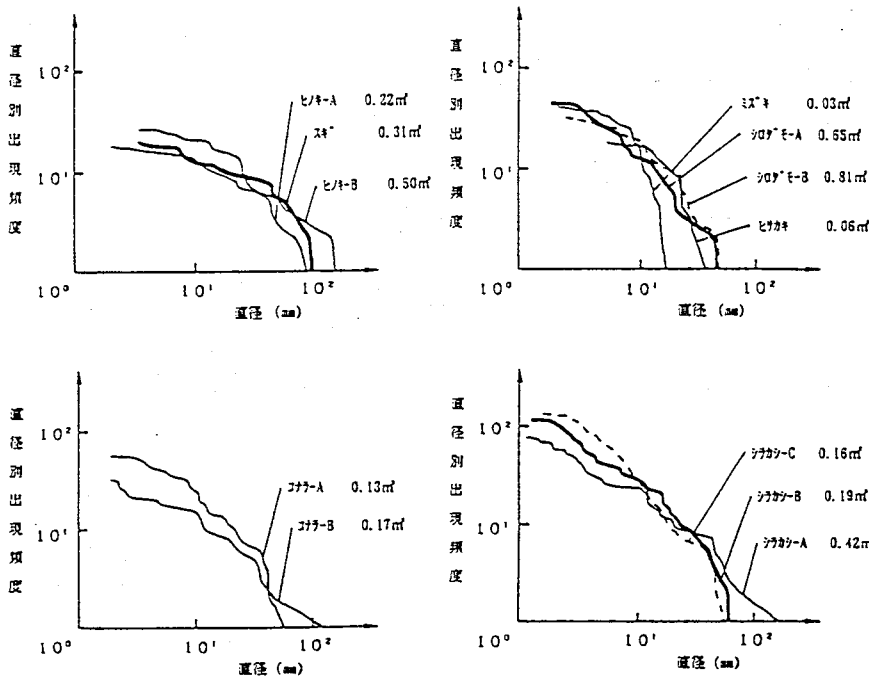


図-4 仮根株面での直径別累積頻度

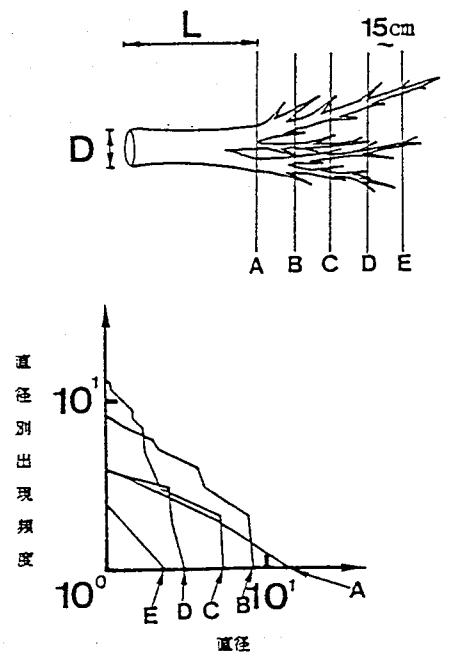


図-5 分岐根の直径別出現頻度

3. 予測モデルによる根系の再現結果の検証

3.1 根系分布の再現結果

以上、仮根株面での出現根とそれが一定距離伸長したのちに出現する分岐根とについて直径別累積頻度の推定手法について検討した。しかしながら、本報では、樹種及び土層硬度が累積頻度に与える影響と、それらの要因を加えた累積頻度曲線の推定手法とについての検討は今後の課題とし、仮設的に以下のようにモデルを作成した。まず、仮根株面での根系の直径別累積頻度（対数表示）を直径1cmで交差する2本の直線で近似することとし、横浜市のローム土斜面で調査したシロダモAの直径別累積頻度から2直線の傾きを算出した。また、この2本の直線の傾きを分岐根の直径別累積頻度の推定に緩用することとした。これに、蒲原ら¹⁾、二見ら²⁾によって報告されている知見を加えてモデルを作成した。次に、予測モデルの検証のためにシロダモAの地上部形状などから表-1に示す入力値を設定し、予測モデルによって深さ60cmのすべり面（平面）S上に再現された主軸根の直径と入射角（平面Sと根系の伸長方向とのなす角度）とを表-2に示した。表-2には、シロダモAについての根系調査の結果から計算したすべり面S上での根系情報も示してある。これらの結果を比較すると、モデルではすべり面上に分布する直径6mm以下の根系についてはほぼ予測しているが、それ以上の直径の根系については予測精度がわるい。これは、仮根株面での出現根の直径別累積頻度を2本の直線で近似したためと考えられる。またすべり面上の根系の入射角が実際よりも小さく算出されていることがわかる。今後は、樹木の伸長方向をより精度良く予測する手法についても検討する必要があるだろう。

3.2 再現結果による樹木の転倒計算

次に上述のモデルに表-1の入力値を入力して根元を中心とする球面上の根系情報を算出し、その

結果を用いて樹木の転倒計算を実施した。転倒計算では、図-6のように根元から半径60cmの破断面で樹木が転倒する場合の抵抗モーメントを算出した。破断面での根系による抵抗力は、塚本³⁾による下式から算出した。計算結果を図-6中に示す。玉手⁴⁾らは根元直径が15~16cmの樹木の転倒時の引張りモーメントを引抜き試験の結果から0.547~1.214ton・mと計算している。図-6の計算値と引抜き試験結果とでは土質条件や樹木形状が異なるため十分な検証はできないが、筆者らが計算した抵抗モーメント1.20ton・mは引抜き試験結果をほぼ予測する結果となった。

$$\log_{10} q = 1.246 \log_{10} d + 0.493$$

(q ; 引抜き抵抗力(kgf)、d ; 抜根の直径(mm))

4. 今後の課題

樹木根系の直径別出現頻度に及ぼす土層構造や樹種の影響についてより詳細に検討し、諸要因から累積頻度曲線を推定する手法については現在検討中である。また、今後は根系の入射角の予測精度を向上するためにデータ数を増やして根系の分布特性をより詳細に検討する必要がある。

最後に、データの収集にあたって神奈川県横浜治水事務所、静岡県下田土木事務所、栃木県佐野土木事務所、矢板土木事務所の方々には多大なご協力を頂いた、付して感謝いたします。

根による抵抗モーメント : $Mq = 0.74 (t \cdot m)$
 土塊の自重による抵抗モーメント : $Ms = 0.45 (t \cdot m)$
 樹木の自重による抵抗モーメント : $Mt = 0.01 (t \cdot m)$
 抵抗モーメント : $Mq + Ms + Mt = 1.20 (t \cdot m)$

参考文献

- 1) 蒲原他 : 斜面安定に及ぼす樹木根系の影響について - 樹木根系の分布特性 -, 砂防学会研究発表概要集209-212, 1993
- 2) 二見他 : 樹木根系の再現手法を用いた斜面安定開析手法の検討, 第25回緑化学会研究発表要旨集 投稿中
- 3) 塚本 : 樹木根系の崩壊防止効果に関する研究, 東京農業大学農学部演習林報告第32号, 1986
- 4) 玉手他 : 立木引き倒し試験, 日林誌 第47巻第5号210-213, 1965

表-1 入力値

樹木データ			
樹種	シロタモ-A		
樹高	5.0(m)		
根元直径	13.3(cm)		
斜面勾配	44(°)		
すべり面の深さ			
H	60(cm)		
転倒時の土塊半径			
Z	60(cm)		
土層データ			
深度(cm)	Nc値	γ	通減率
0~30	5	1.60	0.9775
30~60	10	1.80	0.9855
60~	10~	2.00	-

* γ = 転倒計算時の土塊の単位体積重量

表-2 すべり面S上に再現された主軸根の直径と入射角

出力結果			計測結果からの算出値		
Y0	直径 (mm)	入射角 (°)	Y0	直径 (mm)	入射角 (°)
1	11.1	39.6	1	10.3	61.3
2	6.0	59.1	2	8.7	84.7
3	5.3	59.1	3	7.8	90.0
4	3.9	59.1	4	7.0	88.0
5	3.7	39.6	5	6.8	16.4
6	3.6	59.1	6	6.7	34.0
7	3.3	39.6	7	5.1	90.0
8	2.7	59.1	8	3.5	21.7
9	2.6	39.6	9	3.4	35.0
10	2.2	59.1	10	3.4	80.5
11	2.2	39.6	11	3.1	40.3
12	2.2	18.0	12	2.8	77.0
13	2.1	59.1	13	2.4	33.3
14	1.9	18.0	14	2.2	52.0
15	1.8	39.6	15	2.1	70.9
16	1.6	59.1	16	2.1	71.7
17	1.6	18.0	17	2.0	77.6
18	1.6	59.1	18	2.0	65.5
19	1.5	39.6	19	1.9	0.0
20	1.5	39.6	20	1.9	72.1
21	1.4	59.1	21	1.8	25.7
22	1.4	59.1	22	1.8	-0.0
23	1.3	39.6	23	1.8	84.2
24	1.2	59.1	24	1.8	58.3
25	1.0	59.1	25	1.6	37.0
26	1.0	39.6	26	1.6	0.0
			27	1.4	56.4
			28	1.1	0.0
			29	1.1	5.6
			30	1.1	14.7
			31	1.0	0.8
			32	1.0	70.1

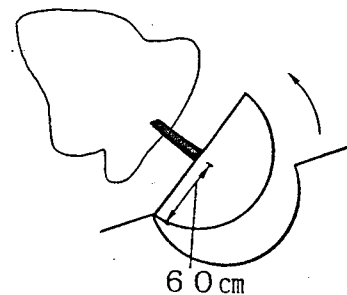


図-6 半径60cmを破断面とする転倒モデル