

根系の補強効果による斜面の強度増加について

東電設計	正会員	松原勝己
同上	正会員	東 均
同上	正会員	山谷 敦

1. はじめに

斜面上に土木構造物を構築する場合には、根系も含めた植生を伐採するのが通例である。しかしながら、地球環境保全の立場からは、現植生を残すことが望ましいと考えられる。また、表層部に存在する樹木根系が、地盤補強効果に役立ち、斜面の表層破壊を防止するという指摘もある¹⁾。それらを踏まえるならば、今後、土木工学分野においても、植生の地盤安定効果に着目して、植生の機能を積極的に活用する方策が重要になるものと考えられる。本報告では、林学分野で開発された根系の地盤補強効果の評価法²⁾を用いて、根系の存在による斜面強度の増加やすべり安全率の増加を試算し、樹木根によって斜面安定効果が見込める可能性を検討した。

2. 根系による補強メカニズム

樹木根が地盤を補強する効果は、仮想すべり面上に働く根の引張力に起因するものと考えられている。図1に示すように、仮想すべり面に垂直な方向と1本の根がなす角度(根が抜け出す時点)を β 、1本の根に作用する引張応力を T_n とすると、 T_n の仮想すべり面に平行および垂直

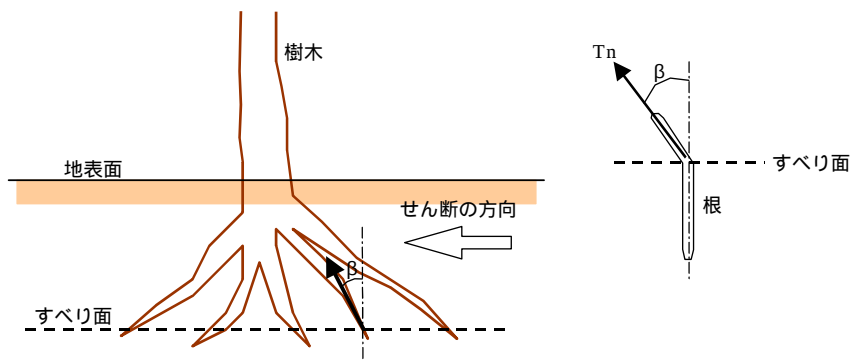
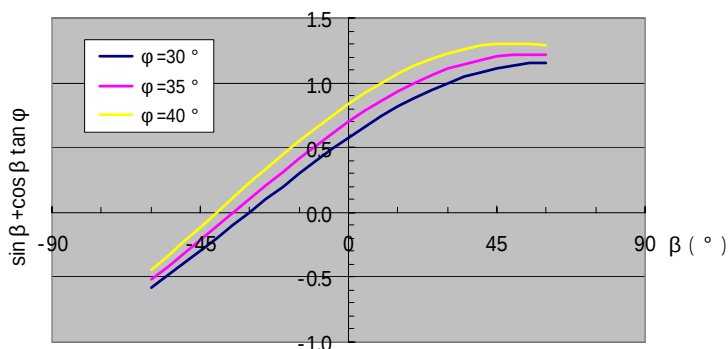


図1 根系の補強メカニズム

な分力によって、土の粘着力および摩擦力の成分が増加することになる。これらの効果を土のみかけの粘着力の増加 Δc に寄与すると考えれば、次式が成立する²⁾。

$$\Delta c = a_r T_n (\sin \beta + \cos \beta \tan \phi) \quad (1)$$

ここに、 a_r ：根系断面積率($=\pi D^2/4A$)、 D ：根の径、 A ：樹木1本の根の分布面積、 ϕ ：土の内部摩擦角である。式(1)における角度 β は、根系の分布、地盤や根系の剛性や強度およびせん断層の厚さなどに依存し、各根ごとに異なるものと考えられる。式(1)の $\sin \beta + \cos \beta \tan \phi$ の項を計算すれば、図2に示すように、角度 β によって根系の補強効果が異なっていることがわかる。そこで、角度 β に関して、樹木1本の平均的な値を採用し、次式が提案されている³⁾¹⁾。

図2 角度 β の影響

$$\Delta c = 1.12 \sum_i \frac{q_i}{A} \quad (2)$$

ここに、 q_i は根1本あたりの引抜き強度(kgf)であり、 Σ は樹木1本の根全体に対する総和を示す。以下において、根系による斜面強度増加の試算には、式(2)を用いることとした。

キーワード；斜面安定、樹木根、粘着力、すべり安全率、エコロジー、防災

連絡先（住所；〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3・TEL；03-6372-5669・FAX；03-6372-5595）

3. 根系による補強効果

樹木根系による地盤の強度増加の評価には、根の強度に関するデータとともに、樹木の根系の分布状況や根の本数に関するデータが必要になる。根系による斜面のせん断強度増加の検討は、以下の手順によった。

(1)樹木の胸高直径と樹高から、根の全重量を推定する⁴⁾。根の全重量を根の単位体積重量で割って、根の全体積を算定する。

(2)深さ方向の根の体積分布を算定する(ワイブル分布の仮定)。

(3)現地計測結果に基づき、深さ方向体積分布から根の本数を、深さごとおよび根の径ごとに算定する²⁾。

(4)根の径をパラメータとして示される、根1本あたりの引抜き強度[塚本(1998)]と(3)で求めた本数から、樹木1本あたりのせん断強度増加を計算する。このとき、根1本あたりの引抜き強度とせん断強度増加の実験式(式(2))を用いる。

(5)斜面の滑り安全率については、勾配が一定の無限斜面を仮定し、せん断強度の増加による安全率の変化分を求める。

上記の根の深さ方向の本数分布や径ごとの体積分布に関しては、文献2)による実測値を参照した。また、樹木間隔については、20年以上を経過したスギにおいて、胸高直径に対する比が一定になる傾向を用いて定めた。表1に、根系の深さ方向分布(本数)を示す。ここで、樹高10.4m、胸高直径12.2cm、根の最大深さ100cm、層分割は30cmと40cmの3層とした。

表1に基づいて、根系によるみかけの粘着力の増加は、以下のように算定される。

$$\Delta c(\text{上層: } 0 \sim 30\text{cm}) = 1.44 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta c(\text{中層: } 30 \sim 60\text{cm}) = 0.67 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta c(\text{下層: } 60 \sim 100\text{cm}) = 0.07 \text{ kgf/cm}^2$$

上層では根が密集していることが原因だと思われるが、かなりの強度増加が見られる。また、根の最大深さ(100cm)以深での地盤強度の増加は発生しない。下層部に着目すると、 0.07kgf/cm^2 の強度増加が見られ、これは地盤が保有する粘着力の大きさとほぼ等オーダーであることがわかる。次に、下層に着目して、根系の存在による斜面のすべり安全率の増加 ΔF_s を算定してみる。斜面勾配 $\theta = 30^\circ$ 、土の単位体積重量 $\gamma_s = 2.0\text{tf/m}^3$ の無限斜面を仮定し、層厚 $H = 1.0\text{m}$ (下層)とすれば、

$$\Delta F_s = \frac{\Delta c}{\gamma_s H \sin \theta} = \frac{0.7\text{tf/m}^2}{2.0\text{tf/m}^3 \times 1.0\text{m} \times \sin 30^\circ} = 0.7 \quad (3)$$

以上から、根系の存在により、地盤の持つせん断強度と同程度の強度増加や表層部のすべり安全率の増大が見込める可能性が示唆された。今後は、根系の分布や強度の情報に関して、実測に基づいた実証検討を実施してゆく必要がある。なお、以上の検討に関しては、日本大学・生物資源科学部・阿部和時教授のご意見を頂きましたので、ここにお礼申し上げます。

〔参考文献〕1)塚本良則(1998): 森林・水・土の保全、第7章森林と表層崩壊、朝倉書店、2)阿部和時(1997): 樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究、森林総研研報、No.373、3)Tien H.Wu, William P.McKinnell, Douglas N.Swanston(1979): Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska, Canadian Geotechnical Journal, Vol.16、4)苅住昇(1987): 新装版・樹木根系図説、誠文堂新光社

表1 根系の深さ方向分布(本数)

直径階級(mm)	測定値			シミュレーションによる推定値		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層
> 5	158	440	92	154	318	21
5-10	31	81	24	31	31	3
10-15	9	35	7	14	11	1
15-20	12	13	3	9	5	1
20-25	10	5	0	6	3	0
25-30	3	3	0	5	2	0
30-35	5	3	0	4	1	0
35-40	5	3	0	3	1	0
40-45	3	0	0	3	1	0
45-50	3	0	0	2	1	0
50-55	1	0	0	2	1	0
55-60	1	0	0	2	0	0
60-65	1	1	0	1	0	0
65-70	1	1	0	1	0	0
70-75	2	0	0	1	0	0
75-80	0	0	0	1	0	0
80-85	0	0	0	1	0	0
85-90	1	0	0	1	0	0
90-95	1	0	0	1	0	0
95-100	0	0	0	1	0	0