

表層土における根系の杭効果

山口大学大学院 学 ○枇杷雄介

山口大学工学部 正 鈴木素之 山本哲朗

1. はじめに 植生工は、表層土の侵食防止と併せて周辺景観・環境との調和を目的として、道路法面をはじめとした種々の人工斜面において行われている。しかし、斜面表層部の安定や侵食防止における植生の働きについては解明されておらず、樹木根系の成長に伴って土のせん断強度がどのように変化するのは不明である^{1)~3)}。本文では、試作した一軸引張試験機によりツクシハギ根系と代替材の麻紐の引張強度特性について、また段階載荷による圧密試験により麻紐を含む土の圧縮性についても検討した。さらに根系の代替材の麻紐を杭状に設置させた粘土供試体に対して、低圧域での一面せん断試験を実施した。両試料の試験結果に基づいて、根系の補強効果とその機構について考察する。

2. 根系の引張試験 土が根系により補強されている場合、根系に引張力が作用していると考えられる。根系の引張強度を求めることを目的に引張試験機を試作した(写真-1)。引張力は500 Nのロードセル、変位は電気式変位計(20 mm)を用いて測定し、データロガーによりデータを収録した。根系の試験片を取付ける装着部は、引張する際に生じるすべりを防ぐように噛み合わせ状に加工した。根系試料を5~6 cmに調整して裁断し、根系の試験片の両端を装着部で挟んで引張する。根系の直径 $d_r=1$ mm以下の場合には装着部に布をはさみ、試験片の潰れや切断を防いだ。

引張試験機を用いて、山口市九田川の斜面にて採取した表層土に含まれたツクシハギ(N=38個)および後述する麻紐(N=21個)の引張力 P (N)と変位 δ (mm)を測定した。図-1は根系の引張強度 S (N/mm²)と破断部直径 d (mm)の両対数の関係を示す。ここで引張強度 S は破断時の最大引張力 P_{max} (N)を破断した根の断面積 A_r (mm²)で除したものであり、式(1)のように表わされる。

$$S = \frac{P_{max}}{A_r} \quad (1)$$

図中の直線は $\log S$ と $\log d$ の実測値を最小二乗法で近似したものである。根系の引張強度は直径の増加とともに低下することがわかる。この理由として、直径が大きい根系ほど、内部の繊維の不均質性の影響が現れると考えられる。また、ツクシハギの引張強度は10~40 N/mm²、麻紐の引張強度は70~100 N/mm²の範囲に多く分布していた。

3. 一次元圧密挙動 根系を含む土の圧縮性を調べるために、段階載荷による圧密試験(JIS A 1217)⁴⁾を実施した。ここでは根系の体積を考慮した間隙比 e_r を用いて、根系を含む土の圧縮指数 C_{rc} を次の式(2)のように定義する。

$$C_{rc} = \frac{e_{r0} - e_r}{\log p/p_0} \quad (2)$$

また、質量含根率 C_{rm} を次の式(3)のように定義する。ここに、 m_s 、 m_r はそれぞれ土粒子および根系の質量である。

$$C_{rm} = \frac{m_r}{m_s} \times 100 (\%) \quad (3)$$

また、 e_r は式(3)より次の式(4)ように変形される。ここに、 V_r 、 ρ_r は

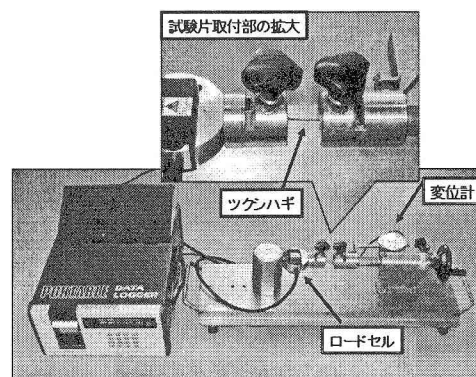
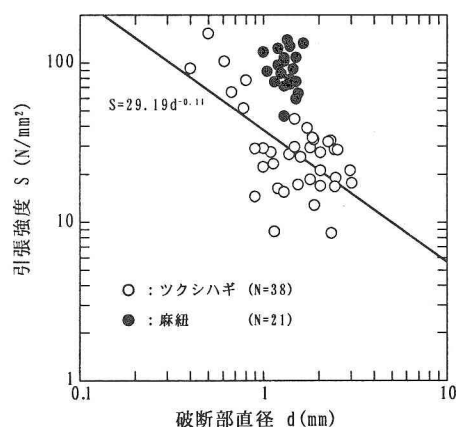


写真-1 試作引張試験機

図-1 根系の引張強度 S (N/mm²) と破断部直径 d (mm)

根系の体積および密度である。

$$e_r = \frac{V_v}{V_s + V_r} = \frac{e}{1 + \frac{C_{rm} \cdot \rho_s}{100 \rho_r}} \quad (4)$$

試料はまさ土 ($\rho_s=2.576 \text{ g/cm}^3$, $F_c=36.0 \%$)、根系の代替材として麻紐を用いた。図-2 に質量含根率 $C_{rm}=0, 1, 2, 3 \%$ の場合の間隙比変化率 e_r/e_{r0} (e_{r0} : 根系を考慮した初期間隙比) と圧密圧力 p の関係を示すとともに、図中の表に C_{re} の値を記載している。質量含根率が増すごとに圧縮指数が大きくなる。この原因として、根系の高い圧縮性が混合土自体の圧縮性を高めたものと考えられる。

4. 杭状に麻紐を挿入させた大道粘土の一面せん断挙動

粘性土に対する根系の杭効果を調べる目的で行った試験結果について述べる。試料はスラリー状の大道粘土 ($\rho_s=2.580 \text{ g/cm}^3$, $w_L=70.7 \%$, $I_p=47.8$, $F_c=91.1 \%$) を鉛直圧密応力 $p=9.8 \rightarrow 19.6 \rightarrow 49.0 \text{ kPa}$ のように段階载荷して予圧密したものを用いた。根系の影響を検討する上で、自然の根系には先ほど述べたように強度に不均一性がある。この影響を除去して定量的に根の効果調べるため、それに代替する材料として径がほぼ等しく ($d_r=1.45 \text{ mm}$)、長さが調整可能な麻紐を選定した(写真-2 参照)。なお、麻紐の密度は $\rho_r=1.419 \text{ g/cm}^3$ である。図-3 のように、麻紐を供試体内に設置した大道粘土に対して圧密定圧一面せん断試験(JGS 0561-2000)⁴⁾を行い、麻紐の有無による強度差を調べた。なお、 $\sigma_c=25, 50, 75 \text{ kPa}$ の下で各々圧密した後(圧密時間は3t 法で決定)、供試体は水浸状態とし、せん断速度 0.02 mm/min でせん断した。図-4 に垂直応力とせん断強度の関係を示す。麻紐無しの場合、 $c_d=11.0 \text{ kPa}$, $\phi_d=24.8^\circ$ 、麻紐有りの場合には $c_d=14.2 \text{ kPa}$, $\phi_d=25.0^\circ$ となった。麻紐を杭状に設置することにより、 c_d は 3.2 kPa 増加し、 ϕ_d はほぼ一定か、あるいは若干増加するようである。この理由として、せん断面において麻紐がせん断方向に逆向きの抵抗を発揮したことが考えられる。すなわち、粘土に対する杭効果が働いた結果といえる。

4. 結論

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 根系の引張強度は直径の増加とともに低下する。
- 2) 質量含根率が増すごとに圧縮指数は大きくなる。
- 3) 根系による杭効果は内部摩擦角の増加よりもむしろ粘着力の増加をもたらす。

参考文献 1) 矢田部龍一・八木則男・榎 明潔・大塚俊二：根系による土の補強効果，第 26 回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1625-1626, 1991. 2) 八木則男・榎 明潔・矢田部龍一・岡山 孝：根系を含むまさ土のせん断特性，第 22 回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1515-1516, 1987. 3) 八木則男・榎 明潔・矢田部龍一・大塚俊二・牛尾 充：根系による砂質土の補強機構と強度特性，第 27 回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1865-1866, 1992. 4) (社)地盤工学会編：土質試験の方法と解説－第一回改訂版－，pp.563-595, 2000.

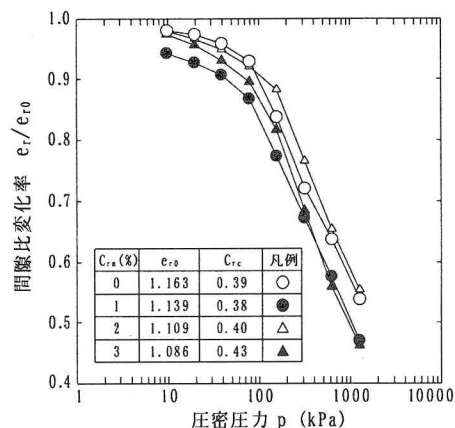


図-2 圧密応力と間隙比変化率の関係

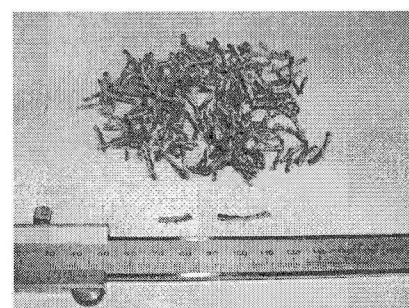


写真-2 長さ 1cm, 2cm に裁断した麻紐

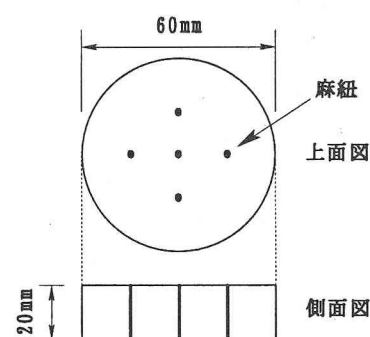


図-3 供試体における麻紐の設置

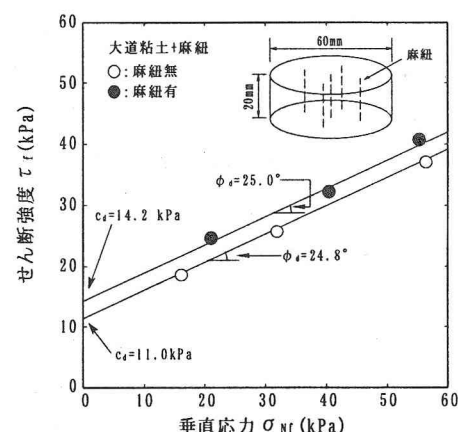


図-4 垂直応力とせん断強度の関係