

## 根系が混入した土の一面せん断特性

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 根系は土のせん断強度を増加させるという点において、自然あるいは人工斜面における表層崩壊の抑制に大きく関与しているものと考えられる<sup>1)</sup>。本研究では現地で採取した表層土の根系の分布を調べ、その含根率を基に根系を混入させた一面せん断試験を実施した。また、まさ土に根系の代替材として麻紐を混入させた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. 根系を考慮した土の4相モデル 本研究で用いた表層土試料(山口市九田川で採取)に含まれる根系を写真-1に、根系の長さ $l_r$ と径 $d_r$ および質量 $m_r$ の分布を図-1に示す。本研究では図-2に示すような気体、液体、固体という従来の土の3相モデルに根系を加えた土の4相モデルを提案した。これより、含水比 $w_r$ は式(1)で表される。ここで、 $m_s$ および $m_r$ はそれぞれ土粒子および根系の質量である。

$$w_r = \frac{m_r}{m_s + m_r} \times 100 (\%) \quad (1)$$

質量含根率 $C_{rm}$ は次の式(2)のように定義する。

$$C_{rm} = \frac{m_r}{m_s} \times 100 (\%) \quad (2)$$

式(1)は $C_{rm}$ を用いて次の式(3)のように書き換えられる。

$$w_r = \frac{w}{1 + C_{rm}/100} (\%) \quad (3)$$

また、間隙比 $e_r$ は体積含根率 $C_{rv}$ を用いて表され、それぞれ次の式(4)および(5)のように表される。ここで、 $V_v$ 、 $V_s$ および $V_r$ はそれぞれ間隙、土粒子および根系の体積である。

$$e_r = \frac{V_v}{V_s + V_r} \quad (4)$$

$$C_{rv} = \frac{V_r}{V_s} \times 100 (\%) \quad (5)$$

一方、式(5)は $\rho_s$ 、 $\rho_r$ を用いて式(6)のようにも表される。ここで、 $\rho_s$ および $\rho_r$ はそれぞれ土粒子および根系の密度である。

$$C_{rv} = \frac{V_r}{V_s} \times 100 = \frac{m_r \cdot \rho_s}{m_s \cdot \rho_r} \times 100 = C_{rm} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_r} (\%) \quad (6)$$



写真-1 表層土に含まれる根系 (根長 2 cm 以上)

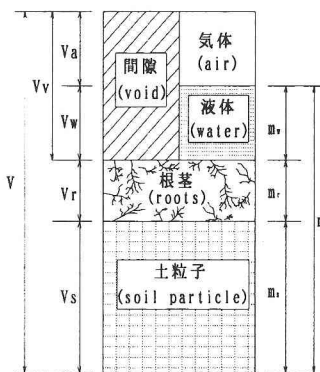


図-2 根系を考慮した土の4相モデル

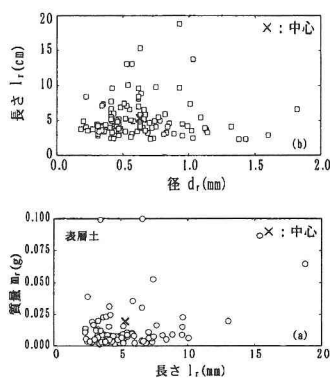


図-1 長さ、径および質量の分布

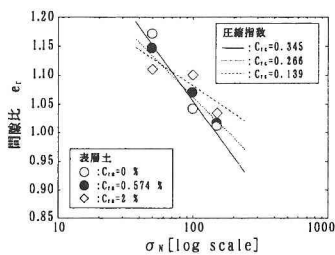


図-3 根系を含む表層土の圧縮指数

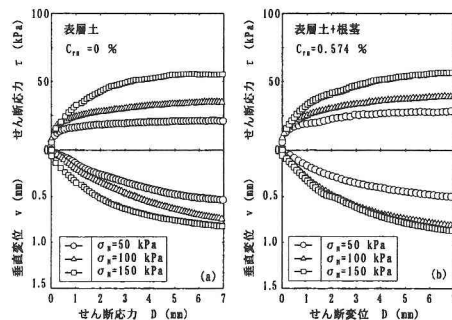


図-4 表層土の一面せん断挙動

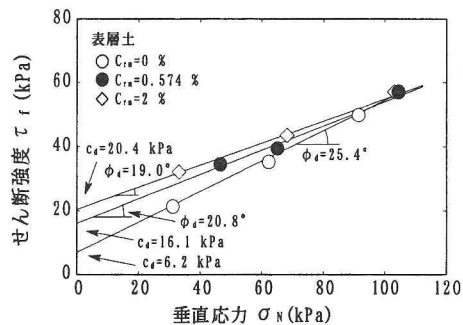


図-5 垂直応力とせん断強度の関係

### 3. 根系を含む表層土の強度特性

**3.1 一次元圧密挙動** 定圧一面せん断試験に先立つ一次元圧密過程のデータを用いて根系を含む土の圧縮性を検討した。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(7)のように定義する。

$$C_{rc} = \frac{e_{r0} - e_r}{\log_{10} p/p_0} \quad (7)$$

この式を用いて  $C_{rc}$  を質量含根率  $C_{rm} = 0\%$ ,  $0.574\%$

および  $2\%$  の場合についてそれぞれ求めた結果を図-3 に示す。これより、質量含根率が増すごとに圧縮指数が小さくなることがわかる。このことの原因の一つとして、圧密方向に働く根の摩擦抵抗や引抜き抵抗が圧縮性に影響を与えたことが考えられる。

**3.2 一面せん断挙動**  $0.85\text{ mm}$  ふるいを通させた表層土に対して圧密定圧一面せん断試験を行った。図-4 にそれぞれ根を含まない場合と含む場合のせん断断力  $\tau$  - せん断変位  $D$  関係を示す。根を含む場合、 $D$  が  $7\text{ mm}$  を迎えても  $\tau$  は単調増加し続ける結果となった。図-5 に  $C_{rm} = 0\%$  の根を含まない供試体と  $C_{rm} = 0.574\%$  および  $2\%$  の根を含む供試体の一面せん断強度特性を示す。この結果から、根を混入させると、粘着力が増す一方、内部摩擦角は若干減少するようである。ここで  $C_{rm} = 0\%$  から  $2\%$  のせん断強度の増分をみると、 $\sigma_N = 50\text{ kPa}$  では  $10.7\text{ kPa}$  の増分であるのに対して、 $\sigma_N = 150\text{ kPa}$  では僅かに  $1.2\text{ kPa}$  の増分である。これにより、低拘束圧下のほうがせん断強度の増分が大きく、根の影響が顕著に現れることがいえる。

### 4. 根の代替材を含むまさ土の強度特性

**4.1 根の代替材の選定と試験方法** 根系の影響を検討する上で、実際に含まれる根

系には長さや質量、径などに不均一性がある。この影響を除くために、それに代替する材料として径がほぼ等しく長さが調整可能な麻紐を使用した。なお、麻紐自体の密度は  $\rho_f = 1.419\text{ g/cm}^3$  である。

**4.2 質量含根率  $C_{rm}$  を変えた場合** 麻紐の  $C_{rm}$  が強度特性に及ぼす影響を調べるため、 $C_{rm} = 0\%$ ,  $1\%$ ,  $2\%$ ,  $4\%$  の供試体を作製した。図-6 にその結果を示しているが、各破壊線は  $C_{rm}$  の大きさの順に並んでいることがわかる。また、図-7 に示すように、表層土に自然根が混入した場合と同様に、 $C_{rm}$  が増すごとに粘着力は直線的に増加するが、 $\phi$  は若干減少するようである。

**4.3 根長の影響** 麻紐の  $C_{rm}$  を一律  $2\%$  にして、麻紐の長さ  $l_r$  を  $0.5\text{ cm}$ ,  $1\text{ cm}$  および  $2\text{ cm}$  として供試体を作製し、両者の強度定数を比較した。その結果を図-8 に示す。  $l_r = 1\text{ cm}$  のほうが  $l_r = 0.5\text{ cm}$  および  $2\text{ cm}$  よりも強度定数が高いことがわかる。これはせん断面において麻紐に付着する土の部分が  $l_r = 1\text{ cm}$  のほうが  $l_r = 0.5\text{ cm}$  および  $2\text{ cm}$  のそれと比べて大きく、土の捕捉・拘束効果がより高く発揮されたものと考えられる。図-9 に示すように、 $C_{rm}$  を変えた場合と同様に根長  $l_r$  を変えた場合も  $\phi_d$  に大きな変化はみられなかった。

**5. 結論** ①質量含根率が増すごとに圧縮指数は小さくなる。②麻紐を混入させることにより、せん断強度が現れるせん断変位は大きくなる。③補強効果は内部摩擦角の増加よりもむしろ粘着力の増加に起因するものと考えられる。④高い拘束圧下より低拘束圧下の方が根系の影響は発揮されやすい。⑤質量含根率が高いほうが粘着力は大きくなる。⑥根長を変えた場合、内部摩擦角は変化せず、粘着力のみが変化する。本研究では  $1\text{ cm}$  の場合が最も高いせん断強度が発現された。

【参考文献】 1) 八木ら: 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.

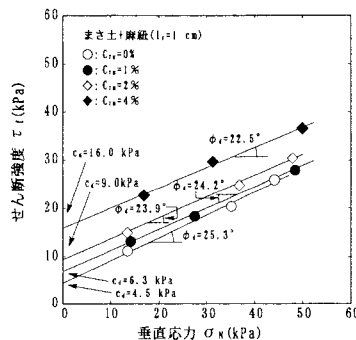


図-6 垂直応力とせん断強度の関係

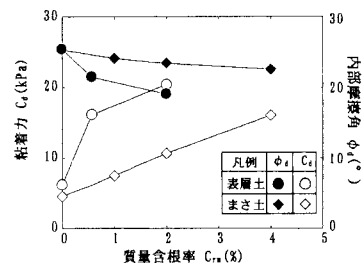


図-7 質量含根率と粘着力および内部摩擦角の関係

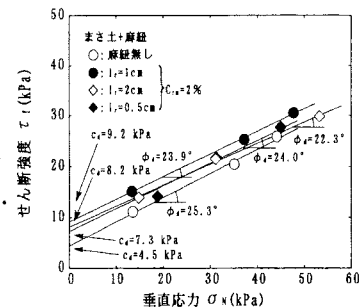


図-8 垂直応力とせん断強度の関係

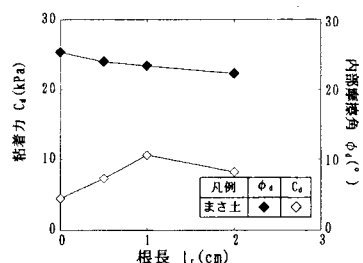


図-9 根長と粘着力および内部摩擦角の関係