

## 63 根系が土質強度に与える影響の含水率依存性 (2) —不撓乱森林土壌の根系評価法とせん断試験結果—

東京大学農学部 ○執印康裕 椎葉秀作 加藤尚子  
同上 鈴木雅一 太田猛彦

### 1. はじめに

降雨を誘因として発生する森林地自然斜面の表層崩壊発生機構解明のためには、斜面土層内の樹木根系の分布状態が、土質強度に与える影響を考慮にいれて解析する必要がある。また樹木根系が土質強度に与える影響は、斜面土層の水分状態によっても変化することから、根系が土質強度に与える影響の土壌水分依存性について考慮する必要がある。

このため本研究では、土壌水分を制御した状態で不撓乱森林土壌サンプルのせん断試験を去年度の実験<sup>1)</sup>に加えて行い、またせん断サンプル内の根系分布について調査を行ったのでここに報告する。

### 2. 試験方法

#### 2. 1 せん断試験に用いた試料及び採取方法

せん断試験に用いた不撓乱森林土壌サンプルは、東京大学付属千葉演習林内の袋山沢のスギ、ヒノキの人工林地より採取した。地質は新第三紀三浦層群に属しており、基盤と土壌の境界が比較的明瞭に検出される土層構造を示している。土壌サンプラーは、内径 19.8cm、高さ 5 cm の塩ビパイプを 2 段に重ねた構造をしており、せん断試験を行う際のせん断箱を兼ねている。森林土壌の採取にあたっては、このサンプラーの下端に、土壌採取用のカッターを取り付け、外側の土を取り除きながら、斜面勾配にたいして平行に、所定の深さに達するまでサンプラーを埋め込んでいく方法をとった。土壌試料の採取深さは、せん断面の位置が表層より 15, 40, 60cm の 3 深度を設定した。

図-1 に森林土壌サンプルのサクシヨン $\phi$ -体積含水率 $\theta$ の関係を示す。図中の $\phi$ - $\theta$ 曲線は Brooks-Corey 式によるものである。以下に Brooks-Corey 式と今回せん断試験に使用した森林土壌におけるパラメータを記す。

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) (\phi_{cr} / \phi)^\lambda + \theta_r \quad (\phi < \phi_{cr})$$

$$\theta = \theta_s \quad (\phi \geq \phi_{cr})$$

但し $\theta$  : 体積含水率,  $\phi$  : サクシヨン,  $\theta_s$  : 飽和含水率 (= 0.65),  $\theta_r$  : 残留含水率 (= 0.35),  $\phi_{cr}$  : 限界毛管水 (= -2.5cmH<sub>2</sub>O),  $\lambda$  : 曲率係数 (= 0.3)

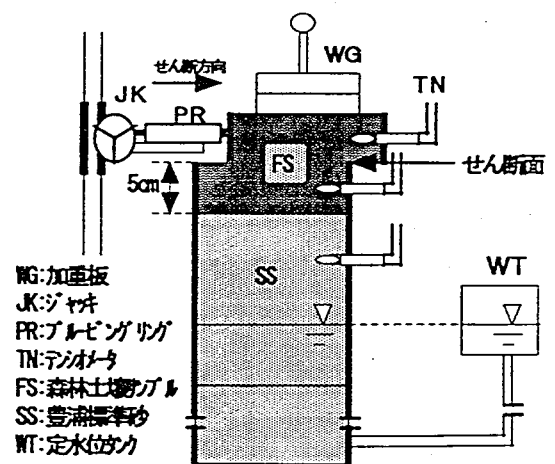
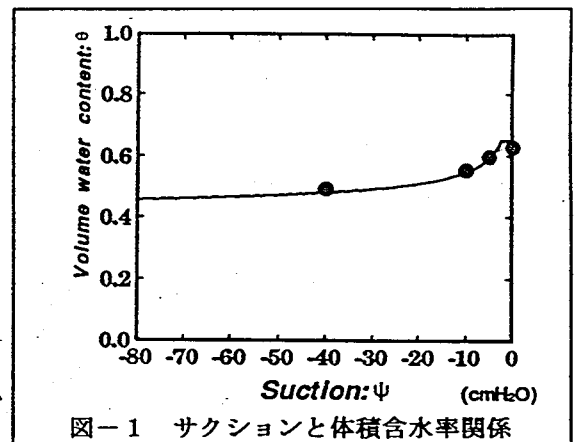


図-2 せん断試験装置の模式図

#### 2. 2 せん断試験方法及び根系調査法

図-2 にせん断試験機の模式図を示す。森林土壌サンプルは、上記の方法を用いて採取したものである。これを同サイズの塩ビパイプの上に固定して、静加重をかけて、ジャッキによりせん断した。またせん断試料

内の土壌水分の調節は、本体側面にとりつけた定水位タンクの上下によりサクシオンをコントロールすることによって行なったが、せん断面のサクシオンを-40cmH<sub>2</sub>O まで下げる場合には、せん断サンプルの下の本体部分に、ポラスカップを埋め込みこれを真空ポンプに連結させて試料内の水分を強制排水を行うことによってサクシオンの制御を実現した。サクシオンは、0, -5, -10, -40cmH<sub>2</sub>O の4段階を設定した。

せん断後総てのサンプルは、上半分を取り除き、せん断面に露出している総ての根の直径と角度を調べた。角度については図-2に示すように、それぞれの根について、方位角、仰角、及び進入角度の3つについて調べた。その後サンプル内の土と根系を分離し、根系の太さ別に根の乾燥重量を調べた。またせん断前の根系の状態を記述するために、せん断前の1サンプルについてのみ同様の根系調査を実施した。

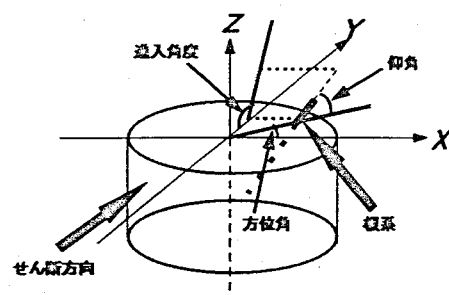


図-3 根系角度の記述

### 3. 結果

#### 3. 1 せん断試験結果

せん断試験結果の変位-応力関係の1例を図-4に示す。図-4はせん断面深さが表層より15cm、サクシオン-40cmH<sub>2</sub>Oの実験条件で、垂直応力を47から145g/cm<sup>2</sup>の間で4段階に変えて行ったものである。垂直応力が一番低い47g/cm<sup>2</sup>の場合には、明瞭な最大せん断応力のピークが認められるが、加重を徐々に大きくなるに従って、せん断応力はピークを示さず、ある一定の値に達したのち、変位の増加に拘わらず、ほぼその値を維持する傾向が認められた。この傾向は他の実験条件でも同様に確認された。

次にせん断試験機によって得られた最大せん断応力と垂直応力の関係の1例を図-5に示す。図-5は、せん断面深さが表層より15cmであり、サクシオンの値が0, -10, -40cmH<sub>2</sub>Oの実験結果を示している。図中の回帰直線はMohr-Coulombのせん断強度式(次式)によって引いたものである。

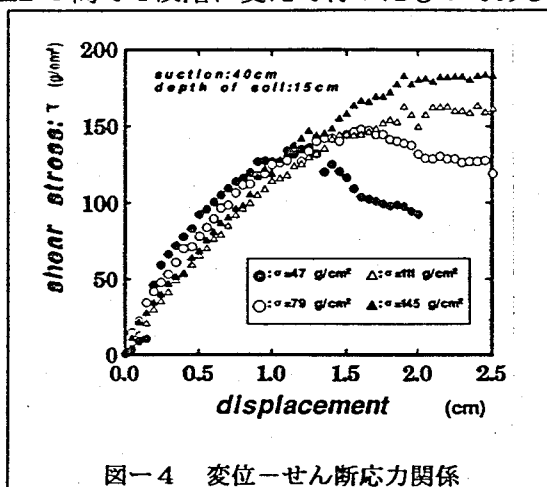


図-4 変位-せん断応力関係

$\tau = \sigma \tan \phi + C$  (但し  $\tau$ : 最大せん断応力,  $\sigma$ : 垂直応力,  $\phi$ : 内部摩擦角,  $C$ : 見かけの粘着力)  
この図からせん断試験結果は良好に見かけの粘着力  $C$  はサクシオンが0から-10cmの間ではそれほど大きく変わらないが-40cmになると明らかに増大していることが確認される。

以上のせん断試験結果をせん断強度式を用いてまとめたものが、図6-1、図6-2である。図6-1はサクシオンと見かけの粘着力関係を、図6-2はサクシオンと内部摩擦角によるせん断強度式の傾き  $\tan \phi$  関係を示している。この図から見かけの粘着力はサクシオンの増大に従って増加しており、内部摩擦角の値はサクシオンによらずほぼ一定の値をとることが確認される。見かけの粘着力に関しては前回の豊浦標準砂による試験結果<sup>2)</sup>と比較するとサクシオンが0の場合豊浦標準砂ではほぼ0であるのに対し、今回の森林土壌によるものでは、粘着力が存在することが確認され

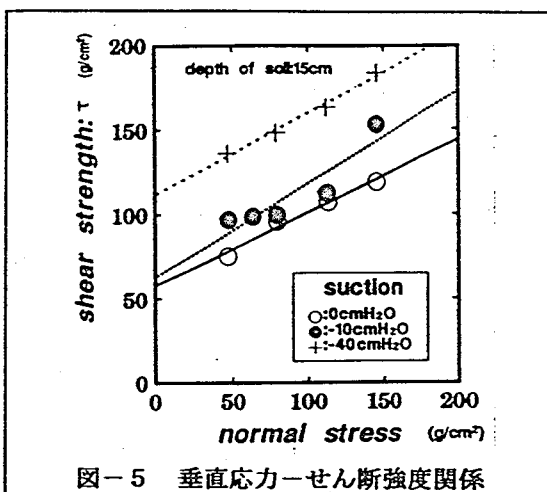
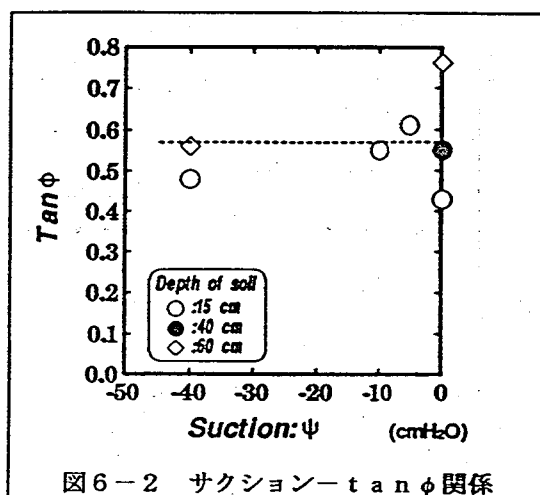
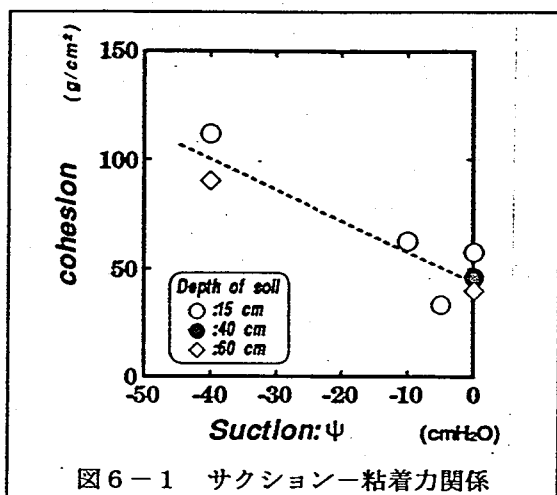


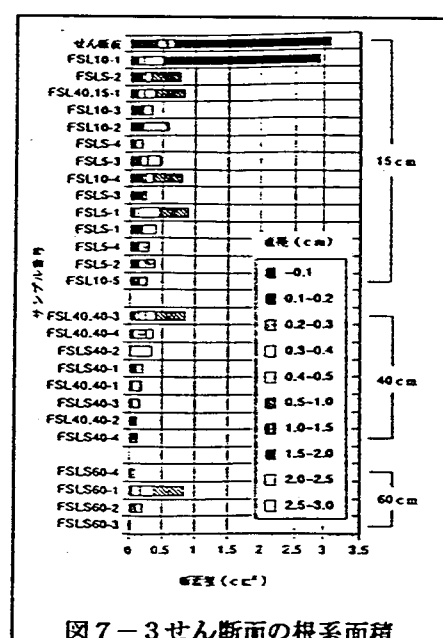
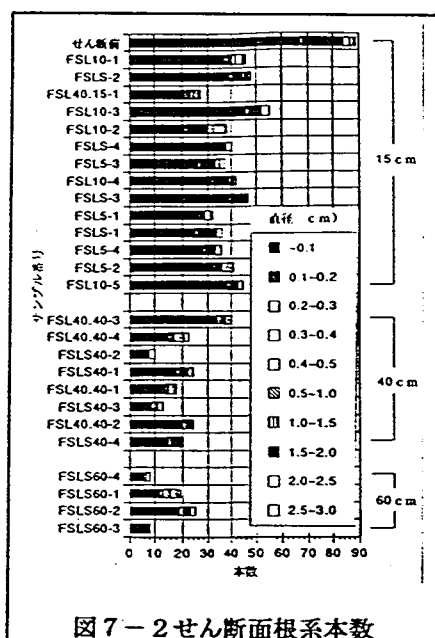
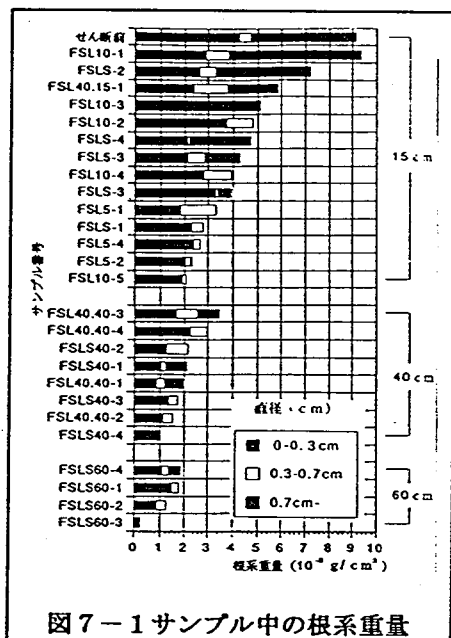
図-5 垂直応力-せん断強度関係

た。また豊浦標準砂ではサクシヨンの値が限界毛管水頭 (-29cm) の時点で最大となるようなピークを示したのに対し、森林土壌ではそのようなピークは認められないことが、今回の実験結果から確認された。またせん断面の表層からの深さによるせん断強度の違いは顕著には認められなかった。これはせん断面の深さの範囲 (15cm-60cm) の間で間隙率を計測したところ、いずれも 0.65 付近の値を示し顕著な違いが認められなかったためであると考えられる。



### 3. 2根系分布調査結果

せん断サンプル内の根系重量の調査結果及びせん断面に露出した根系の直径階別本数を図 7-1, 図 7-2 に、図 7-3 に直径階別のせん断面根系の断面積合計結果を示す。根系重量の深さ別の違いは、表層からの深度が 15cm のものが大きく深度が 40cm, 60cm と増大するに従って減少していく傾向が見て取れる。またせん断面に露出した根系の直径階別本数についても同様傾向を示している。せん断面に露出した根系の直径階はいずれの深度においても、1 mm 以下のものが大半を占めていることがわかる。またせん断面の根系断面積については、深度別に大きな違いがないことがわかる。図 7-3 において断面積合計が他のサンプルに比べて明らかに大きいものは、表層から 15cm のせん断前の 1 サンプルとせん断後の 1 サンプルの 2 つだけであるが、他のサンプルには含まれていない直径階が 1.5-2.0 cm の根が存在していた影響を強く受けていることがわかる。



次に深度別に調べたせん断試験後の根系のせん断面への進入角度の分布を図-8に示す。図-8より進入角度は90度が全体の約45%を占めており、これを中心として対象な分布をしていることがわかる。この傾向は全深度で共通であり、深度別の差異は認められなかった。この傾向はせん断前の1サンプルについても同様の結果が得られ、せん断後のサンプルと比較しても大きな差は認められなかった。次にせん断前後の根系の方位角についての比較結果を図-9に示す。図-9はせん断後の根系方位角の相対頻度分布からせん断前の方位角の相対頻度分布を差し引いたものを示している。この図からはせん断前のサンプル数が1サンプルと少ないため、せん断されたことによる方位角の変化についての言及はできないが、せん断されたことによる根系変化の記述の1手法として示した。

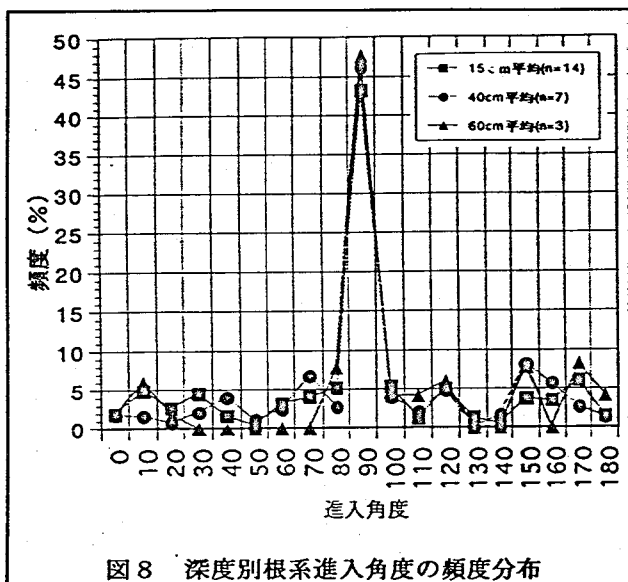


図8 深度別根系進入角度の頻度分布

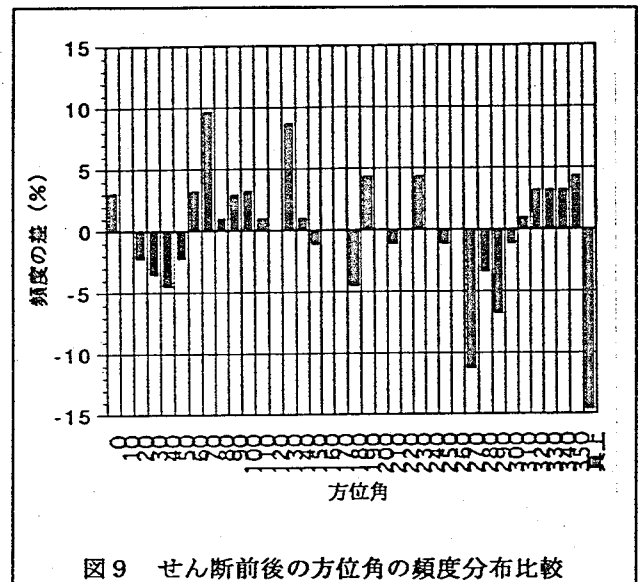


図9 せん断前後の方位角の頻度分布比較

#### 4. 終わりに

今回、樹木根系がせん断強度に与える影響の土壌水分率依存性について、実際の不攪乱森林土壌サンプルを対象として一面せん断試験を行うことによって計測した。その結果不攪乱森林土壌において、サクシヨンの増大に従ってみかけの粘着力が増大するが、内部摩擦角は、サクシヨン（範囲0から $-40\text{cmH}_2\text{O}$ ）によらず、ほぼ一定であることが確認された。

次にせん断サンプル内の根系状態の分布を詳細に調べた。せん断前とせん断後の比較においては、せん断前のサンプル数がせん断後に比べて少ないため、せん断されたことによる有意な差は検出されなかったが、せん断前後の根系状態の差異に関する整理手法を示した。今後調査サンプル数を積み重ねることによって、より、せん断によって樹木根系分布がどのように変化し、それが土質強度に与える影響についての定量的評価を行うことが必要である。

#### 参考文献

- 1) 加藤, 執印他: 土壌水分による土質強度特性評価のための新型せん断試験機の開発(2) ー森林土壌を用いた2, 3の測定結果と解析ー, 平成6年度砂防学会研究発表概要集, p.129-132, 1994
- 2) 執印, 加藤他: 土壌水分による土質強度特性評価のための新型せん断試験機の開発(1) ー豊浦標準砂を用いた試験機の評価ー, 平成6年度砂防学会研究発表概要集, p.125-128, 1994