

# 土壌水分による土質強度特性評価の為の 新型せん断試験機の開発 (2)

—森林土壌を用いた2、3の測定結果と解析—

東京大学砂防工学研究室 ○加藤 尚子  
執印 康裕  
鈴木 雅一  
太田 猛彦

## 1.はじめに

森林斜面の表層崩壊予測には様々な要素が複雑に関わっている。それには、せん断強度に代表される土質強度、間隙水圧で表される水分状態、それに、樹木根系の補強効果があり、これらの要素の把握が重要となってくる。それぞれについてみると、まず水分状態による土質強度についてであるが、土壌の水分特性は透水性と保水性によって表される。この水分特性は土質強度に大きく影響し、土壌のせん断強度は飽和と乾燥状態で小さく、最適含水率で最大となる上に凸な曲線で表されることが指摘されている。次に根系の補強効果であるが、これは根の補強効果のメカニズムの解析と、根系分布の予測 (定量的評価法) の確立の2方向から研究されている。現在までのところ根の補強効果の研究としては、根のせん断強度を粘着力 ( $c$ ) と内部摩擦角 ( $\phi$ ) の変化で評価しようとするもの (小橋、阿部など) や、根を水平根と垂直根に分類して水平根はネットの効果を、垂直根は杭の効果を発揮しているとするもの (塚本(1987)) がある。また、根系分布に関する研究には根系の分岐率から分布を予測しようとするものがあるが、根系分布は地下の岩石や基盤の割れ目の有無など不確定の要素に左右されるために、実際に予測することは難しい。このように、森林地の斜面表層崩壊に関係する要素は、個々の働きとしてはかなりその性質は把握されてきている。しかしそれらの要素は互いに関連したものであり、それらの要素の働きを総合的にとらえる必要がある。そこで本研究では、前報で開発された新型せん断試験機を用いて森林土壌のせん断試験を行い根系量と水分状態によってせん断強度がどのように変化するかを検討するために2、3の実験を行った。

## 2.実験方法

### 2.1実験装置と方法

前報で開発した新型せん断試験機を用いて森林土壌のせん断試験を行った。森林土壌サンプルは直径19.8cm、高さ10cmの塩ビパイプを用いて森林地から不攪乱状態で採取したものである。塩ビパイプは高さ5cmで上下に分かれ、そこでせん断する (図-1)。試料の水分状態は土壌サンプルを50cmの砂柱の上に固定して砂柱下部につながれたタンクを上げ下げすることによりコントロールし、試料のせん断面の上下それぞれ2.5cmのところに入れてテンスイオメーターによって測定した平均値をせん断面のサクションとした。

なお、砂柱と試料孔隙中の水を連結させるため、試料のせん断面まで水位を一度上げた後、サクシヨン0（飽和）、-5、-10cmの3段階に下げて試験を行った。さらに、現場一面せん断試験機で飽和状態の試験を行い比較した。現場一面せん断試験のせん断箱は断面20×20cm、高さ10cmで、5cmのところではせん断される。試料は1時間以上浸水させた後せん断した。

垂直荷重は新型せん断試験では各々の水分状態で4～5段階変えて合計13回の試験を行い、現場一面せん断試験では飽和試験のみ、垂直荷重を3段階変え同じ試験を2度行った。

すべての試験について、せん断後試料の上半分を取り除き、せん断面の根の直径と角度をスケッチする事によりせん断面の根系の総断面積を調べ、せん断面の含水比を求めた後、サンプル内の土と根を分類し、根の乾燥重量を調べた。新型せん断試験においては100cc採土円筒を用いてサンプルごとの間隙比も調べた。

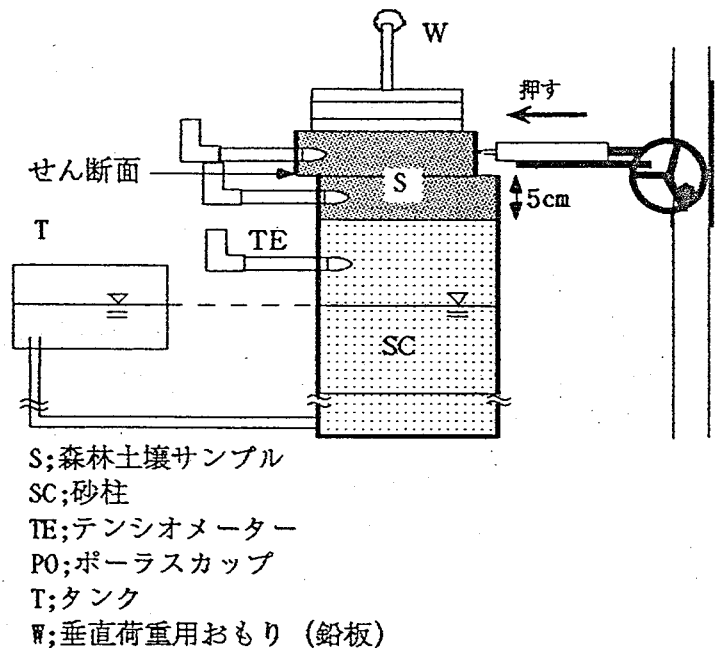


図-1 森林土壌を用いた新型せん断試験装置

## 2.2 実験に用いた試料

実験に用いた試料は東京大学附属千葉演習林袋山沢のスギ・ヒノキ人工林内約2×2mの林地から採取した不攪乱土壌である。採土場所は傾斜25°前後の崩積土堆積地で、地質は新第三紀土壌である。土壌サンプルの採取方法は、せん断容器の下に土壌採取用のカッターを取り付け容器の外側の土を取り除きながら斜面に平行に容器を埋め込み、せん断面が表層から15cm程度になるところで下の土壌から切り放すという方法をとった。採取した森林土壌と比較に用いた豊浦標準砂の物性を表-1に示す。森林土壌の試料は主にシルトと細砂から成る土壌で、透水係数が $K_s = 2.75 \times 10^{-1} \text{ (cm/sec)}$ と標準砂に比べ透水性が高い。また、2つの試料の水分特性曲線をを図-2(a),(b)に示す。この図より、森林土壌は大孔隙があるため小さいサクシヨンで含水率が下がり、ある程度含水比が下がると逆に小孔隙が多いため毛管力により水が保たれるため、標準砂に比べ高い含水率

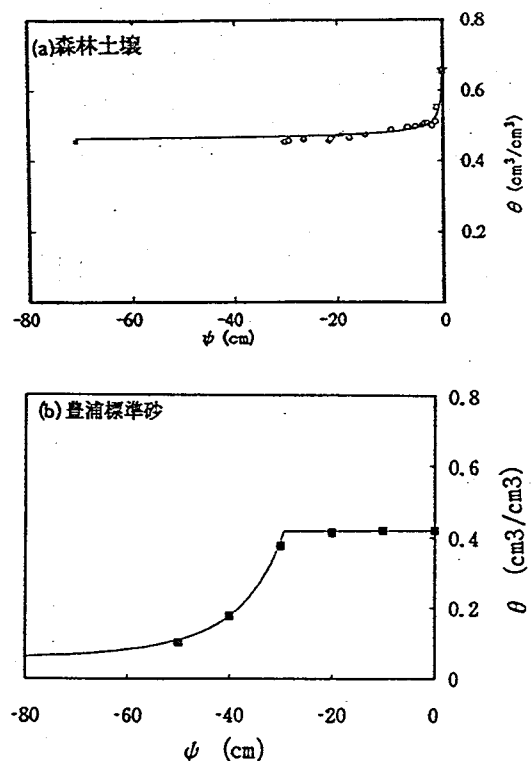


図-2 サクシヨン-含水率関係図

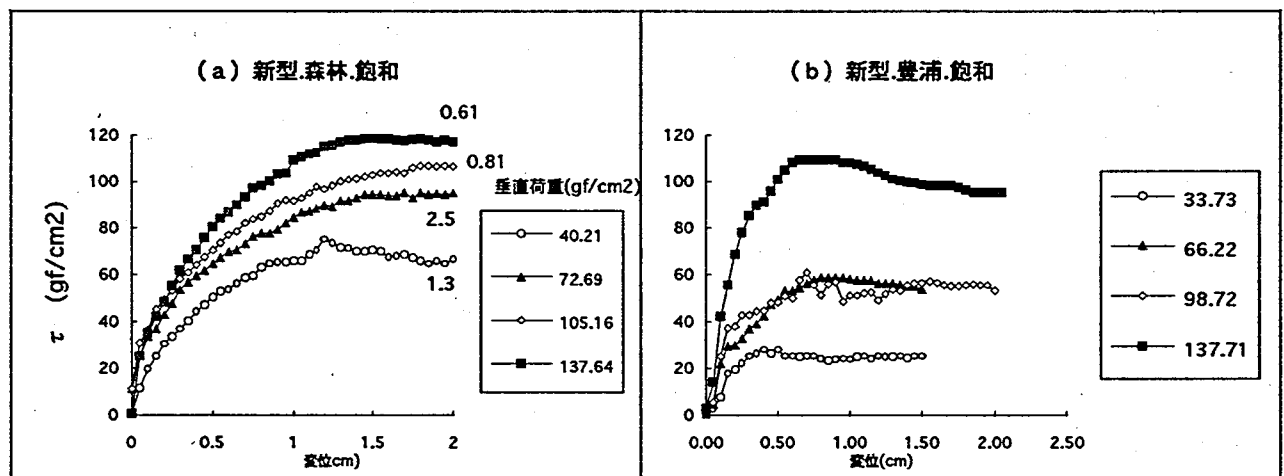
を保つということがわかる。標準砂では大孔隙がないため飽和面の上30cm程度まではサクシオンが変化しても含水率は変わらない。

表-1 実験に用いた試料の物理性

	比重	透水係数 (cm/sec)	粒径分布 %				空隙比e	空隙率n
			粘土	シルト	細砂	粗砂		
森林土壌	2.3	2.75E-01	6.0	57.0	29.4	7.6	1.91	0.66
豊浦標準砂	2.63	3.84E-02					0.72	0.42

### 3.実験結果と考察

森林土壌と豊浦標準砂のせん断応力-変位曲線を図-3(a),(b)に示す。この図より、森林土壌はせん断抵抗力のピークは明瞭には認められないが、標準砂の場合は明らかなピークがみられた。これは、森林土壌には樹木の根があるため、土のせん断強度を超えた後でも根系によりせん断面の上下の土が緊縛されているためであると考えられる。実際、森林土壌のサンプルはせん断試験後与えていたせん断荷重を取り除くと、0.5~1.0cm程度変位が戻ることが確認された。



グラフの肩の数字はせん断面の単位面積当たりの根系面積である。単位 (\*10<sup>4</sup> cm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)

図-3 せん断応力-変位 関係  
森林土壌と豊浦標準砂の比較

次に、2つの試験機により求められたせん断強度を比較すると、森林土壌では図-4のようになる。現場一面せん断試験で求められた値の方が新型せん断試験の値よりもばらつきが大きく、多少傾き(φ)が大きくy軸との交点(c)が小さい。これは垂直荷重の違いによる影響もあると考えられ、35~50 (gf/cm<sup>2</sup>) の同程度の垂直荷重をかければ同程度のせん断強度を示すものと考えられる。

次に、新型せん断試験による水分状態の異なる森林土壌のせん断強度の比較を図-5に示す。根系などの影響があるため、標準砂の結果と比べるとばらつきがあるが、内部摩擦角(φ)は

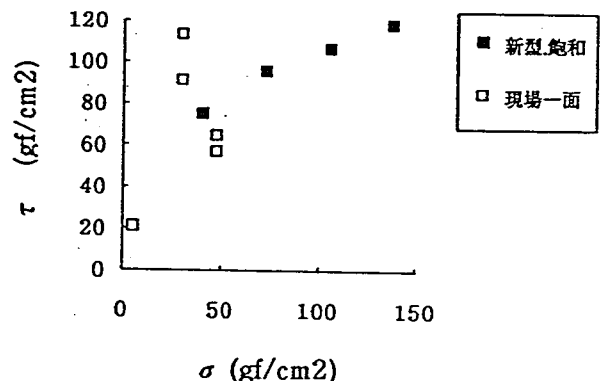


図-4 新型せん断試験と現場一面せん断試験の比較  
(森林土壌飽和)

大きな違いはみられなかった。

森林土壌の飽和とサクシオン-10cmのせん断強度を同じ水分条件の豊浦標準砂の試験結果と比較すると図-6のように、森林土壌の方が全体的にせん断強度が大きい傾向を示す。その大きさの違いは粘着力(c)の差によるところが大きい。

#### 4.まとめ

- 1)不攪乱森林土壌の水分状態をコントロールしたせん断試験が初めて試みられた。
- 2)森林土壌の試験結果はばらつきがあるものの、どの場合も標準砂のせん断試験結果よりも見かけの粘着力(c)が大きいことがわかった。
- 3)森林土壌のサクシオンのc,  $\phi$ への影響は試料ごとの根系量の違いに差があるため、現在の実験範囲内では標準砂のような明確な傾向は得られなかった。今後さらにサンプル数を増やす必要がある。
- 4)水分状態の異なる条件下の樹木根系のせん断抵抗のメカニズムを解明するために、樹木根系の代わりとなる模擬根を用いた実験も、今後必要となる。

#### <参考文献>

- 丸井・小橋：砂質土における含水状態の変化に伴う剪断強度の変化について、京都大学演習林報告、128~138、1978
- 丸井 英明：自然斜面における表層崩壊の研究、京都大学博士論文、1987
- 塚本 良則：樹木根系の崩壊抑止効果に関する研究、東京農工大学演習林報告、23、65-124、1987
- 阿部 和時：根系の引き抜き抵抗力によるせん断補強強度の推定、日本緑化工学会誌、16-4、1991

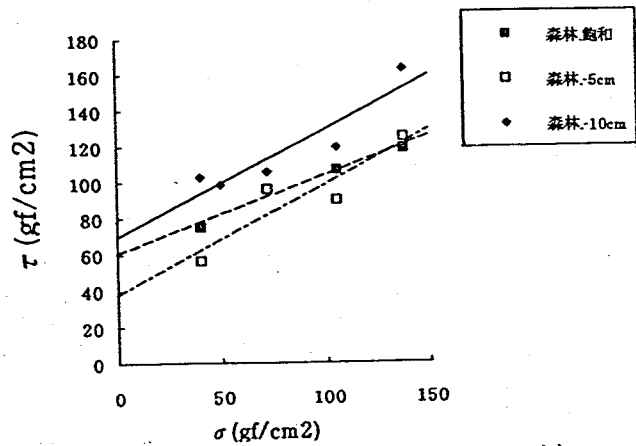


図-5  $\sigma - \tau$  関係図 (森林土壌)

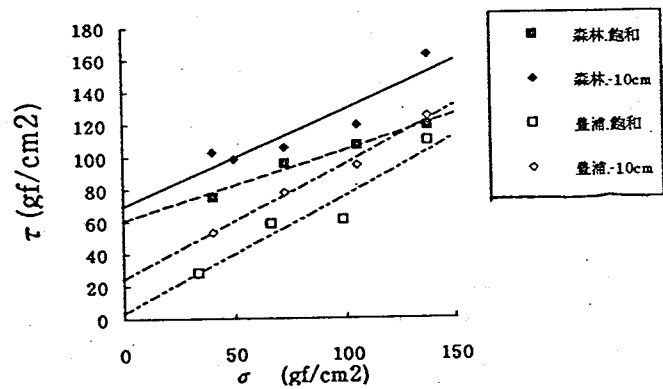


図-6 森林土壌と豊浦標準砂のせん断抵抗力