

1. はじめに

斜面内における根系による土層の安定化の機能については、その解明のために種々の実験的試みが続けられている。これらは土の強度定数への影響については遠藤¹⁾にはじまり、小橋・丸井ら²⁾、阿部³⁾らの研究に至る。また、根系による土層の補強効果として塚本⁴⁾はせん断面の引き下げ効果のみが期待できるという卓見を述べている。竹下ら⁵⁾は土層内の潜在的なアーチ構造を仮定し、樹木根系の存在により、その密度が増加すると圧縮抵抗が増大し崩壊しにくくなるという実験的結果を示している。このように多くの知見がすでに得られているが、定量的な成果という点からみるとかならずしも十分であるとはいえない。筆者らは竹下らと同様の装置を作成し、まず、土層だけの場合について、初期条件としての土層の物理的性質、崩壊時の土層の傾斜角度そして崩壊に至るまでのあいだに土層が及ぼす荷重の変化について、定量的なデータを得た後、第2段階としては根系の模型を埋設した場合の土層の挙動について、いくつかの定性的な結果を得た。

2. 実験方法および土層の変形

実験に用いた供試土は海砂をふるい分け、2mmふるいを通過した物を用いた。所定量の砂を50cm×50cm×12cmの大きさに成形し、図1に示すような土層に締め固めて入れ、土層の下部に設置したジャッキをゆっくりと上昇させていき、力計により土層から受ける力を計測しつつ、土層の変化を写真およびビデオに撮影した。土層密度および含水比を計測するためのサンプルは実験開始前にサンプラーにより採取した。斜面土層からの力は両側の荷重受け用の角材(5cm×13cm)2本を介して力計に伝わるようになってる。

実験中の土層の変形の様子は以下のようなである。実験装置の上流端が上昇をはじめてしばらくすると、土層の下流端部の一部がパラパラと落ちはじめ(1次崩壊と称している)、その後さらに傾斜角が大きくなると、荷重受けの角材の部分をアーチの下端とするように崩落する(通常、よくみられるような崩壊形状となる

:この状態を2次崩壊と称している)。この状態からさらに実験土層の傾斜角が大きくなると、ついには荷重受けの角材の上部の側壁に接した部分を残して、土層全体が下方に流下してしまう(3次崩壊)。なお、装置の傾斜が大きくなるにつれて土層と、装置の上端部との間に隙間が生じる。この隙間の大きさについては1~3次崩壊次の荷重測定時の間隙をそれぞれ1次~3次ギャップという呼称で計測し考察に供した。これらの過程を土層だけの場合と、根系の模型を埋設した場合の2つの場合について順次実験を行った。

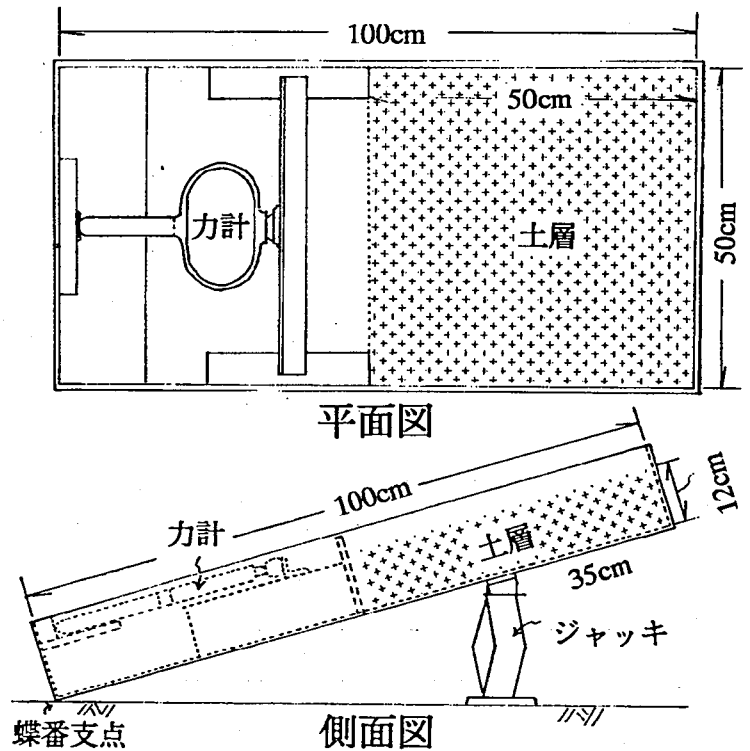


図1 実験装置

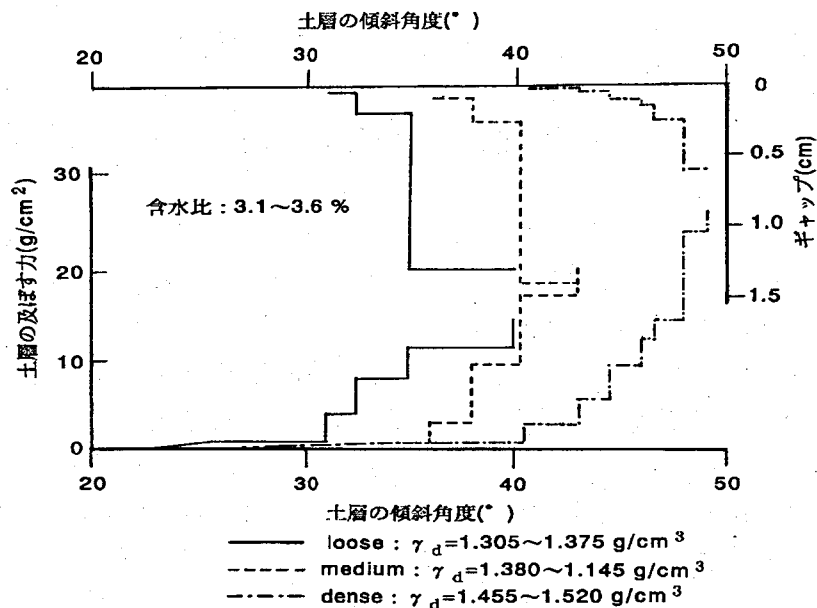


図2 斜面土層の傾斜角と土層の及ぼす力、ギャップ長さの変化

3. 土層だけの場合の実験結果

3.1 2次崩壊時の荷重とギャップ長さ 図2は土層の含水比が $w=3.1-3.6\%$ のときの崩壊時の荷重とギャップ長さが斜面土層の傾斜角の増加によってどのような変化をするかを示した。図からはギャップの生成時に荷重が一気に増加する。すなわち、荷重は土層の傾斜角の増加につれて連続的に増大するのではなく、間欠的に増大し、その軌跡は階段状を呈する。これは土層が一体となってすべり、階段のステップ上にあるときには土層は底面と側壁との摩擦で支えられているためである。土層の含水比が大きくなると、この階段状の変位の様子は傾斜角の小さい方にシフトしていく。土層の密度との関係でいうと、図2からもわかるように土層の密度が緩いほど傾斜角は小さく、逆に密度が高くなると階段は峻しくなる傾向を示す。すなわち破壊時の荷重は含水比が大きく、土層の密度が大きいほど大きくなる。

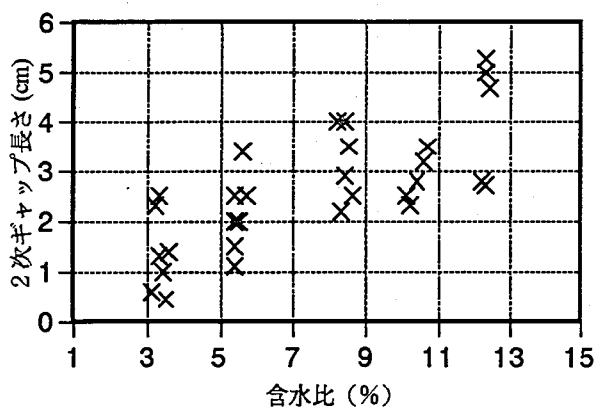


図3 2次ギャップ長さと含水比の関係

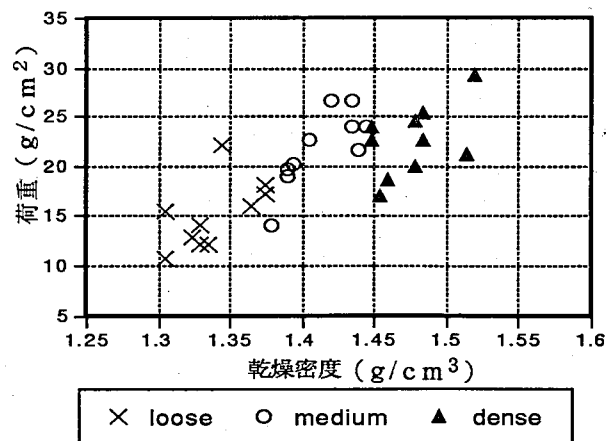


図4 2次崩壊時の荷重と土層の乾燥密度との関係

3.2 2次崩壊荷重と土層の含水比、締め固め密度との関係 図3には2次崩壊時点の含水比とギャップ長さの関係を示す。図からはギャップの長さと含水比との間にはほぼリニアな関係のあることが認められる。また、ここでは示していないが2次ギャップの長さは締め固め密度ともリニアな関係にある。この意味を土層の移動状況と関連して述べる。すなわち、土層の移動時には土層は一体となって動くが、その際に土層の締め固めがより進むようにはみえない。別のいいかたをすると、土層がよ

り重い場合（含水比が大きい、密度が大きい）ほど大きく動く。図4には2次崩壊時の荷重と締め固め密度との関係を示している。この図はより重い土層の方が崩壊時により大きな荷重を示しており、この関係は図3の関係を裏付けることになる。ここに示していない荷重と含水比との間にも同じくリニアな関係がみられる。

3.3 崩壊角度と締め固め密度、含水比との関係 図5と図6には1次～3次のそれぞれの崩壊角度と締め固め密度、崩壊角度と含水比との関係を示す。3次崩壊時にはほとんどの土砂が崩落してしまうが、図からは3次崩壊の時の実験土層の傾斜角はほぼ40～50度の間にあって締め固め密度や含水比にはよらないことがわかる。ついで、通常にみられる崩壊形状を呈する2次崩壊も同じく、締め固め密度や含水比にはよらないで35～45度の間にあることがわかる。それに対し土層の先端部がぱらぱらと崩落を始める1次崩壊では、締め固め密度の小さいほどそして相対的に乾燥状態にあるほど小さな角度で崩落し、粘着力成分の寄与が少ないことがわかる。

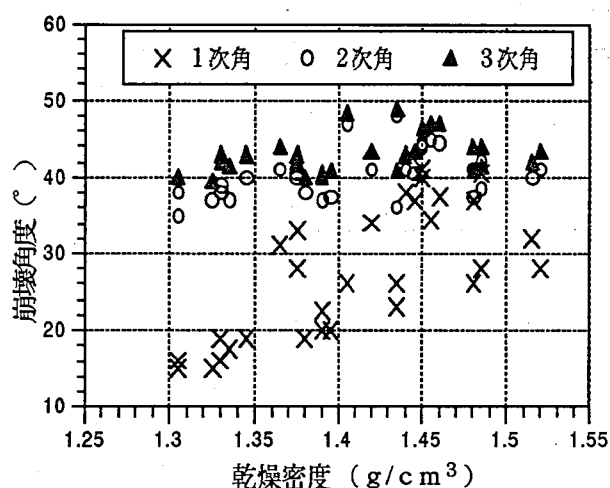


図5 斜面土層の乾燥密度と崩壊角度の関係

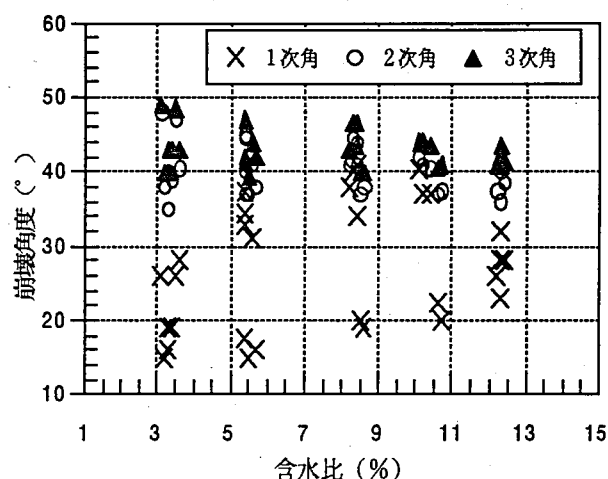


図6 斜面土層の初期含水比と崩壊角度の関係

3.4 崩壊平面積と崩壊側壁投影面積 崩壊平面積は崩壊によって欠落した斜面表層部の面積を底面に投影したものであり、崩壊側壁投影面積は崩壊によって残された崩落斜面の側壁部分の面積を底面に投影したものである。したがって、崩壊側面が急なほどこの面積は小さくなる。この2つのパラメータを締め固め密度と対比させたのが図7、8である。図7からは γ_d の大きいほど崩壊平面積は小さくなる、すなわち崩落土砂の量が小さくなる。また、図8からは γ_d が大きくなると崩落した側壁の勾配が急になることがわかる。側壁の勾配が急になっていくことがわかる。

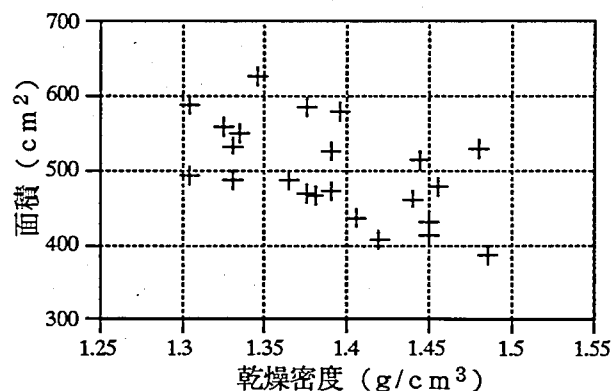


図7 崩壊平面積と土層乾燥密度の関係

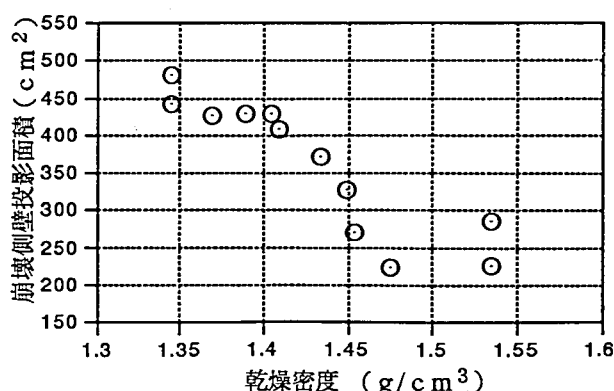


図8 崩壊側壁投影面積と土層の乾燥密度の関係

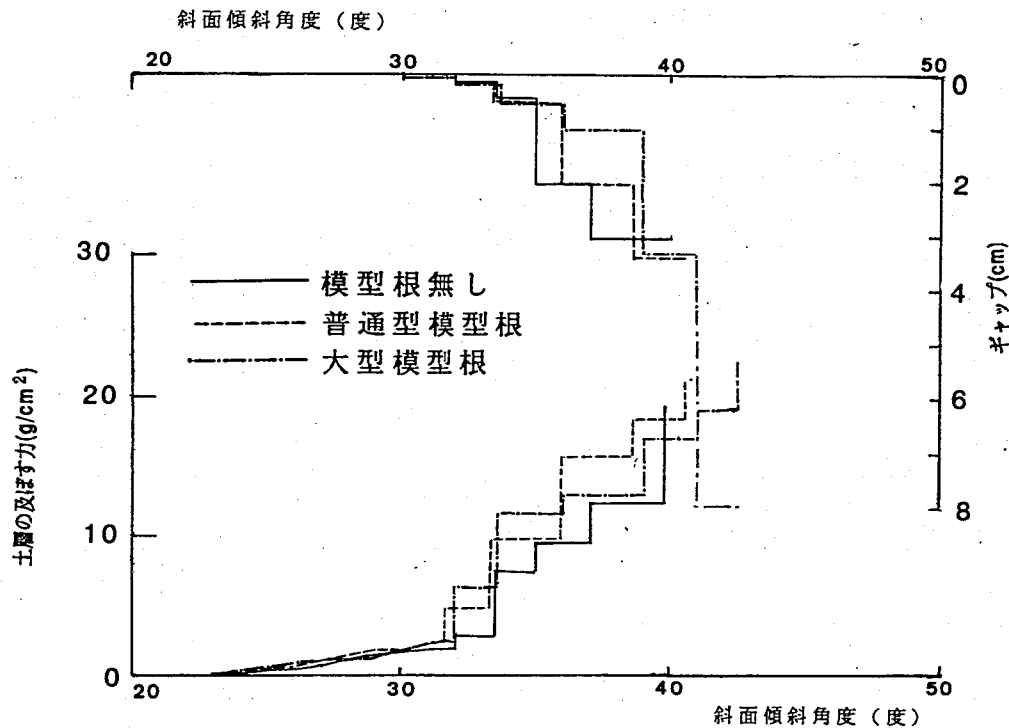


図9 根系模型を埋設した場合の斜面土層の傾斜角と土層の及ぼす力、ギャップ長さの関係

4. 模型根系を埋設した場合の実験結果

根系の影響を議論しやすくするために、土層だけの場合の実験で最も熾 獅やすい条件に固定して斜面を造成した。すなわち、含水比=5.5%、土層の乾燥密度 $\gamma_d = 1.325 \text{ g/cm}^3$ である。根系模型には試験官ブラシを用いた。

4.1 斜面の傾斜角と荷重、ギャップ長さの関係 図9には図1と同様の表示によって根系の効果を表した。根系のない場合に比べて階段のステップが密になり、崩壊する角度もその時点のギャップ長さも大きくなることわかる。このように、全般的な傾向としては根系の埋設により崩壊を抑制する効果が観察された。

4.2 平面的な埋設による効果 根系なしの場合には2次崩壊はアーチ形状を呈する。そこで、同じ土層条件に対してアーチ形状で崩落する位置を挟むように平面的に根系模型を埋設すると、その効果が明らかにみられ、アーチは斜面上方へは達しなくなり根系模型より下部の部分で崩壊面が発生するようになる。

4.3 埋設深さの違いによる効果 崩壊面をみると根系の挿入されている部分は、底面に対してほぼ鉛直になるが根系の最深部の位置よりほぼ安息角で傾斜した側壁面を形成する。根入れをより深くすると、側壁部の傾斜し始める深さはより深くなる。これは塚本の指摘しているせん断面の引き下げ効果である。以上、模型根系の効果については定性的な段階に終わったが、今後さらに実験を押し進めていく所存である。

参考文献

- 1) 遠藤、鶴田 (1968): 樹木の根が土のせん断強さに与える影響、林試北海道支場年報
- 2) 小橋澄治 (1983): 斜面安定に及ぼす根系の影響についての最近の知見 緑化工技術 第10巻、第1号、p.14-19
- 3) 阿部和時 (1991): 根系引き抜き抵抗によるせん断補強強度の推定 日本緑化工学会誌 第16巻、第4号 p.37-45
- 4) 塚本良則 (1990): 環境緑化工学、p.63 朝倉書店
- 5) 竹下敬司 (1988): 森林根系の崩壊防止機能ー根系ブロックによる土層側壁抵抗の維持ー 第99回日本林学会大会講演論文集 p.583-584