

## 原位置せん断試験による森林の崩壊防止機能の考察

掛谷亮太 (日大大学院)・荒金達彦・村津匠・阿部和時 (日大生物資源)・岡田康彦 (森林総研)

**要旨:** 表層崩壊が発生する際、土壌層と基岩との境ですべり面となって崩壊が発生する。従来の根系による崩壊防止力はすべり面に根系が存在する場合に発揮されると考えられてきた。これまでに行われてきたせん断試験ではすべり面(厚さはない)を想定し、せん断面に存在する根系の崩壊防止力を測定していた。しかし、実際にせん断試験を実施すると、すべり面と呼ぶような薄いせん断面は現れず、10~20cm程度の厚みを持ったせん断域が発生し、この部分を境にしてせん断破壊が起こった。このことから、実際の山地斜面においても厚みを持ったせん断域が発生し、崩壊が起こっていると考えた。そこで、せん断域の厚さによって根系の崩壊防止力に及ぼす影響を明らかにするため、スギ根系を含む土のせん断試験を実施した。今回の試験ではせん断面積を $1\text{m}^2(1\text{m}\times 1\text{m})$ 、せん断域の厚さを0cmと50cmの2通りに設定し、スギ根系を含む場合と土だけの場合の試験を行った。試験の結果、せん断域を0cmから50cmに広げると根を含んだ土塊のせん断抵抗力のうち、根系による補強効果は46%から19%に低下し、せん断域の厚さが根系の崩壊防止機能に強く影響していることが推察できた。

**キーワード:** 根系, 原位置せん断試験, せん断域, 表層崩壊

**Abstract:** Shear surface of shallow landslide is often located on the border layer between the top soil mantle and underlying bedrock. It has been so far seemed that effect of tree roots on preventing the shallow landslide is generated by the roots distributing in the shear surface. Some of the studies in which direct shear tests of soil including tree roots were conducted showed that the roots had pretty strong reinforced. In the case of these direct shear test, the thickness of the generated shear surface might be just thin that seemed like a sheet and the top soil above the shear surface never disturbed. We think that the thickness of the shear surface should have strong influence to the root effect on preventing shallow landslide. Therefore, we conducted in-situ direct shear tests in which the shear surface thickness was set by 0 cm and 50 cm. The shear resistance of soil only and soil including roots were measured. The shear area was  $1\text{m}^2(1\text{m}\text{ by }1\text{m})$ . As the result, the effect of roots on the shear reinforcement was decreased from 46% to 19% when the shear surface thickness was changed 0 cm to 50 cm.

**Keywords :** root, in-situ direct shear test, shear zone, shallow landslide

## I はじめに

表層崩壊が発生する際、土壌層と基岩との境がすべり面となり、すべり面に根系が存在する場合は崩壊防止力を発揮すると考えられている。図-1に WALDRON (4) が提案した根系による土のせん断抵抗力補強モデルを示した。表層土の変位によって根と土の周面摩擦応力が増加し、これに伴って根の引っ張り応力も増加する。せん断面と平行な分力は直接せん断抵抗力を補強し、せん断面と直交する分力は垂直応力の増加につながる。このとき、引っ張り応力が根の抗張力よりも大きければ破断し、地盤に伸長した部分の引き抜き抵抗力を上回れば引き抜かれる。また、せん断域(すべり面)における根系のせん断抵抗力の補強は土の粘着力を増加させる機能として評価される。既往の研究では根の引き抜き抵抗力や一面せん断試験によって

根系の崩壊防止機能が調べられてきた(1, 3ほか)。

原位置せん断試験では1本のスギの根系を含んだ試験土塊を横方向から油圧ジャッキで押して、試験土塊とその下の地盤の間にすべり面(せん断面)を生じさせて崩壊現象と同じ状態をつくり、そのときの抵抗力を測定することができる。原位置せん断試験を行うときは、試験供試体(せん断土塊)に鋼製の箱をかぶせ、この箱の側面から油圧ジャッキでせん断力を載荷して、試験供試体と地盤の間に強制的にせん断面を発生させることになる。

せん断試験を行った際の根と土塊の状況を図-2に模式的に示した。図-2の左図はせん断前の通直な根が試験供試体から地盤まで伸長している状況を、右側①~③は供試土塊が最大せん断抵抗力に達した瞬間の根と土塊の状況を表わしている。①はこれまでに行われたせん断試験で

Ryota Kaketani, Tatsuhiko Aragane, Takumi Muratsu, Kazutoki Abe(College of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa, Kanagawa 252-0880, Japan)Yasuhiko Okada(For.andForest Prod.Res.Inst., Tsukuba, Ibaraki, 305-8687) Study on tree roots effects to preventing shallow landslide

想定されていた厚さを持たないせん断面が発生した状態を表している。②はせん断面が①より厚く、実際にせん断試験を行った場合に観察される薄いせん断域が発生している状態を表している。阿部(2)が行った原位置せん断試験では①に示すような非常に薄いせん断域が発生することは全く、②の場合のようにせん断域にはある程度の厚さがあることが一般的であった。この時のせん断域の厚さは10cmから20cm程度で、せん断域内で土塊の破壊が激しく起こっている状況が観察された。③はせん断供試体全体がせん断力により破壊され、せん断域がより広がった状況を表している。せん断試験ではせん断供試体にせん断箱をかぶせていたのでせん断域の厚さが制限されている可能性があった。せん断箱を被せていなければせん断域はさらに広がり、③に示すようなせん断供試体全体が破壊されることも十分に考えられる。

根による崩壊防止力は根に張力が働く場合に発揮されるため、①、②、③とせん断域が厚くなるにつれて供試土塊内の根が最大引張り応力に達するまでに必要な土塊の変位量が大きくなる。③のようにせん断域が土塊全体に広がった場合、根が最大引張り応力に達する前に土塊が破壊されてしまうことが考えられる。この場合は根系によるせん断補強強度が①、②よりも小さくなる。以上のように、せん断域の厚さは樹木根系が持つ崩壊防止機能に大きな影響を及ぼすと考えられる。

山地斜面において表層崩壊が発生するときに、地形や土質条件の違いによってどのようなせん断面あるいはせん断域が形成されるかは不明であるが、斜面の条件に応じた厚さのせん断域が形成されると考えられる。しかし、これまでに行われてきた原位置せん断試験(2, 3ほか)ではせん断域の厚さは測定されていないため、せん断域の厚さが及ぼす根系の崩壊防止力への影響を調べた事例はない。そこで、せん断域の厚さが根系の崩壊防止機能に及ぼす影響を明らかにするため、せん断域が厚い場合と薄い場合でスギ根系を含む土の原位置せん断試験を行った。この結果を踏まえて樹木根系が持つ崩壊防止力を考察した。

## II 方法

森林総合研究所内の実験林に生育している14年生のスギを使い、根系を含んだ土と根系を含まない土で原位置せん断試験を行い、それぞれの試験結果の差をスギ根系によるせん断補強強度とした。図-3にせん断試験装置の模式図を示した。今回の試験では、供試土塊にせん断箱をかぶせず、図-3のように前面に前板を当ててせん断した。せん断面の面積は $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、 $1\text{m}^2$ (図-3a)とし、せん断域の厚さを0cm(図-3b)と50cm(図-3c)の2通

りに設定した。せん断域を0cmに設定した場合は土塊の高さを50cmとし、図-3bのように土塊の前面と同じ大きさの前板を当て、土塊全体にせん断荷重を与えた。せん断域を50cmに設定した場合は土塊の高さを80cmとし、図-3cのように土塊の前面に高さ30cmの前板を当て、せん断荷重を与えた。

土塊の変位量は上部と下部に取り付けた変位計で測定した。上部の変位計はどちらのせん断域の厚さでも、図-3aのように土塊と前板の境部分の地表面に取り付けた。下部の変位量はせん断域が0cmの場合は地盤から高さ10cm、50cmのときは地盤から高さ40cmの部分となっている。せん断荷重は20分間隔で1kNずつ増加させ、変位を1秒ごとに計測した。

## III 結果

林地と裸地で行った原位置せん断試験の結果をせん断域0cmと50cmに分けて図-6に示した。

せん断域を0cmとした結果、図-4のようにせん断域が10~20cmの範囲で発生した。原位置せん断試験ではこれ以上薄いせん断域は発生しないと考えられる。根を含んだ土の場合の最大せん断抵抗力は約28kNとなり、最大せん断変位量は供試土塊の上部で117mm、下部で110mmとなった。土のみでは最大せん断抵抗力が約15kNで最大せん断変位量が供試土塊の上部で19mm、下部で8mmとなった(図-6左)。根を含んだ土のせん断抵抗力の内、根系による補強強度は13kNとなり、全体の46%だった。

せん断域を50cmとした結果、根を含んだ土の場合でも土のみの場合でも図-5のようにせん断域は地盤から高さ50cmの範囲に発生した。根を含んだ土の最大せん断抵抗力は約10kNとなり、最大せん断変位量は供試土塊の上部で56mm、下部で20mmとなった。土のみでは最大せん断抵抗力が約8kNとなり、最大せん断変位量は供試土塊の上部で21mm、下部で3mmだった(図-6右)。根を含んだ土のせん断抵抗力の内、根系による補強強度は2kNとなり、全体の20%だった。

せん断域を厚くすると、供試土塊のせん断抵抗力が低下し、根系による補強強度も46%から20%に低下したことから、せん断域の厚さが根の効果に大きく影響していることが分かった。せん断域が厚い場合でも供試土塊のせん断抵抗力と、せん断変位量が増加し、根系が存在すれば崩壊防止力は発揮された。特に土のみの破壊点を越えてから変位量が増えていることから、土塊の変形による崩壊を遅らせていることが分かった。

## IV 考察

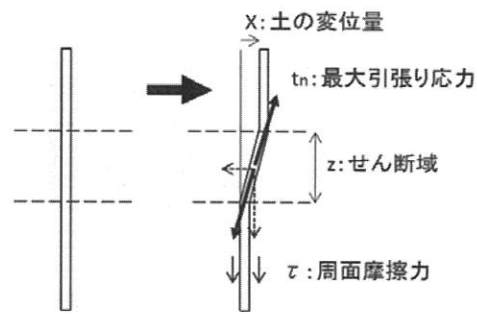
表層崩壊のすべり面となりやすい基岩層には風化の状態によって異なる凹凸、亀裂があり、土壌と基岩の遷移層には様々な大きさの礫が存在する。このようにすべり面となりやすい部分は均一な条件ではないため、一様に薄いせん断域が形成されるとは考えにくい。また、土質の違いによってもせん断域の厚さは異なると考えられる。そのため、これまでのように薄いせん断域だけで根系の力を評価するのではなく、せん断域が厚い場合を考慮する必要があると考えられる。

これまで、樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能は、せん断面に根が存在すれば土のせん断抵抗力を増加させるように働くと考えられてきた。山地斜面で表層土全体に亀裂が発生してせん断域となれば、表層崩壊はすべり面を境として土塊が滑る現象ではなく、破壊されて形を保てなくなった表層土が斜面を崩れ落ちる現象である可能性がある。この場合でも根系が存在すれば、表層土の広い範囲で土壌を緊縛することでゆがみや亀裂の発生を抑え、崩壊を防ぐと考えられる。

これまでの方法で調べられてきた根系の崩壊防止力はすべり面で発生する薄いせん断域での根系の力のみを評価していた。しかし、今回の試験では崩壊域が厚くなると従来の考え方で評価された根系の崩壊防止力よりも低く評価されることが分かったため、これまでの根系の崩壊防止力は過大評価であった可能性が考えられる。今後は薄いせん断域における根系の抵抗力だけでなく、厚いせん断域で根系が表層土の破壊を防ぐ効果を評価することが重要であり、崩壊の実態に適合したせん断域の厚さを見極めて根の効果を評価する必要がある。

引用文献

- (1) 阿部和時 (1991) 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, pp.37-45
- (2) 阿部和時 (1996) 原位置一面せん断試験によるスギ根系の斜面崩壊防止機能の研究, 日本緑化工学会誌 : 22, pp.95-108
- (3) 遠藤泰造・鶴田武雄 (1968) 樹木の根が土のせん断強さに与える作用 (第1報), 林業試験場北海道支場年報, pp.167-189
- (4) WALDRON, L.J (1977) The shear resistance of root permeated homogeneous and stratified soil, Soil Science Society of American Journal : 41, pp.843-849



せん断前      せん断後

図-1. 根による土のせん断抵抗力補強モデル

Fig. 1 Reinforcement model of soil shear strength by roots

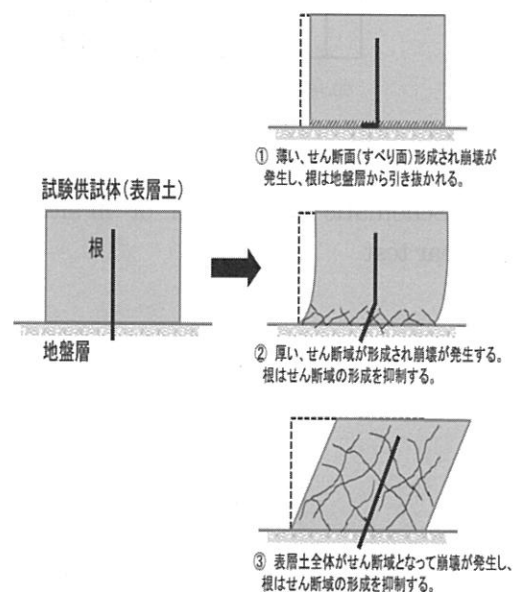
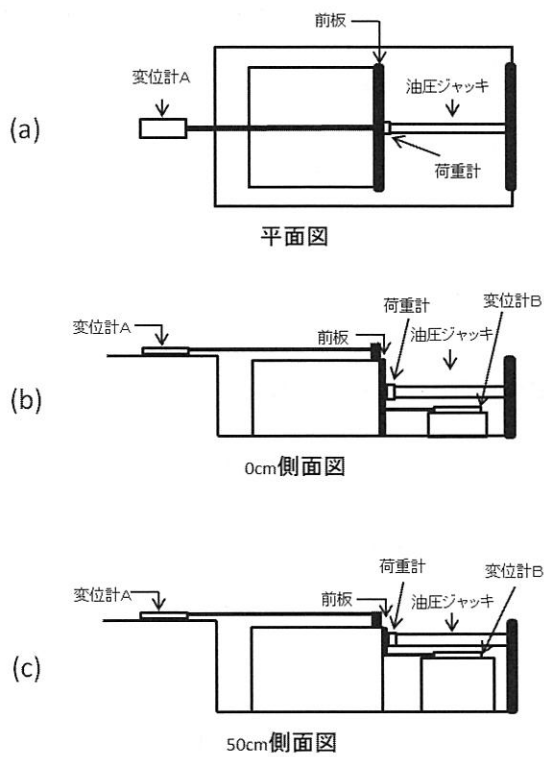


図-2. 原位置せん断試験におけるせん断域の状態の違いと根の変形状況の違いを表した模式図

Fig. 2 Difference between the shear zone and the root deformation for the in-situ direct shear test



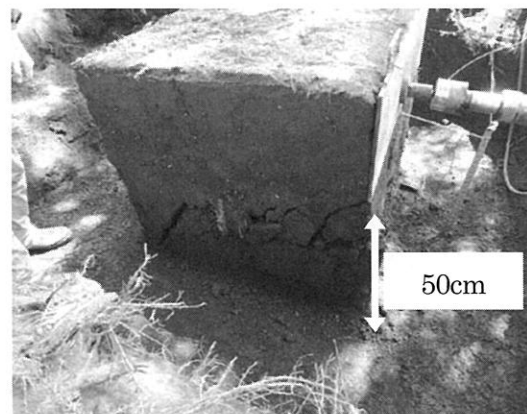
図一3. 原位置せん断試験の模式図

Fig. 3 Schematic illustration of in-situ direct shear test



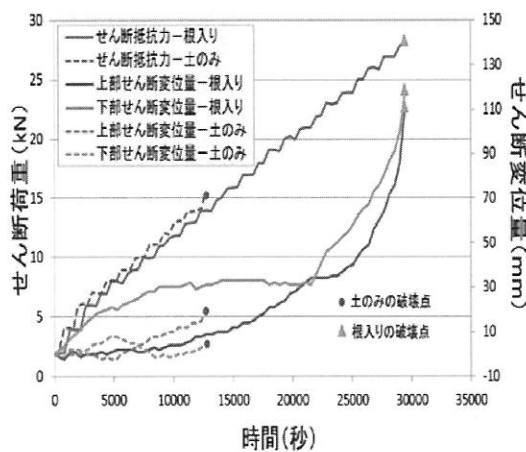
図一4. 薄いせん断域が発生した様子

Fig.4 Photo of thin shear zone

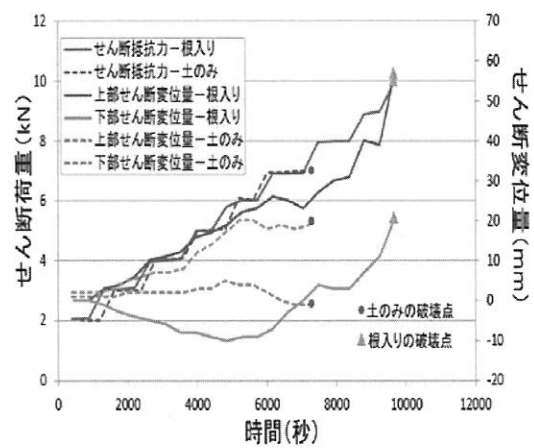


図一5. 厚いせん断域が発生した様子

Fig.5 Photo of thick shear zone



せん断域 0cm のせん断荷重とせん断変位量



せん断域 50cm のせん断荷重とせん断変位量

図一6. せん断試験の結果

Fig. 6 Result of in-situ direct shear test