

## VIII-9 崩壊地周縁と底面における根系の崩壊防止効果の比較

○阿部和時・岩元 賢 (国立林試) Robert R. Ziemer (アメリカ・フォレスト・サービス)

## I はじめに

林木根系の崩壊防止効果は、崩壊地周縁と底面を比べると異なることが予想される。それは、崩壊地周縁と底面での土壌の状態と根系の量や形態の違いが原因になるのであるが、現在のところこれらの違いが崩壊防止効果に与える影響を明確に把握するまでには至っていない。しかし、周縁と底面における効果を明らかにすることは、崩壊防止効果を十分に持った森林状態の把握や土地保全的な森林施業方法の確立のうえで重要な課題である。

そこで、著者らは地表面に平行な面と垂直な面をセン断面とする2種類の原位置セン断試験を行い、周縁と底面における根系の崩壊防止効果について比較検討を行った。なお、著者の一人である R. R. Ziemer は、科学技術庁の「非エネルギー分野日米科学技術協力」により来日し、地表面に垂直な面のセン断試験 (アメリカ方式) とその検討を担当した。

## II 試験方法

1. 林試方式大型原位置1面セン断試験：この試験は崩壊地底面における根系の効果を求めるために行うもので、その詳細は前報<sup>1), 2)</sup>に記した。主要な特徴だけを上げると、地表面と平行な面をセン断面とすること、セン断面積が1 m<sup>2</sup>と大きいこと、セン断方法は応力制御方式で、20分ごとに100 kgf ずつセン断荷重を加える等である。今回行った試験は8回で表-1にその試験条件を示した。

2. アメリカ方式原位置2面セン断試験：この試験は崩壊地周縁における根系の効果を求めるために行った。図-1にこの試験装置を示した。図に示すように30×30×60cmの供試土塊の両側面(地表面と垂直な面)をセン断面とするもので、上・下・前後の4面は鉄製のセン断枠で覆い、スクリュージャッキでセン断荷重を加える方式である。したがって垂直応力を変えて試験を行うことはできない。セン断方法は、1分間に1.27cmの変位を与えるヒズミ制御方式である。表-2に試験条件を示した。両試験ともスギ7年生の苗畑と隣接する裸地において行い、根系を含む土と土だけのセン断抵抗力の差から根系の効果を推定し、さらに実際の崩壊地における根系分布から周縁と底面での効果の比較、検討を行った<sup>3)</sup>。

## III 試験結果と考察

1. セン断抵抗力( $\tau$ )：林試方式によるセン断試験結果から崩壊地底面における根系の効果を検討してみる。まず、裸地での試験結果から土のセン断抵抗力( $\tau_s$ )を表わすクーロンの式を求めると(1)式のようになる。

$$\tau_s = 700 + \sigma \cdot \tan 40^\circ \text{ (kgf/m}^2\text{)} \quad (1)$$

$\sigma$ : 垂直応力

図-2はこの $\tau_s$ と林地での試験結果をそれぞれプロットしたものである。図より、林地での値にバラツキはあるが、全体的にはセン断抵抗力が明らかに増大することが示されている。ここで、裸地と林地の値の差をセン断抵抗力の増加強度( $\Delta\tau$ )と定義すると $\Delta\tau$ は約100~500 kgf/m<sup>2</sup>で、根系によってセン断抵抗力が約6~34%増強されたことになる。この結果は実際の林地斜面においても崩壊に伴うセン断面が林木根系の多く分布する範囲には発生しにくいことを意味しており、根系が表層崩壊防止に役立っていることを示すものと思われる。

つぎに、アメリカ方式によるセン断試験結果から、崩壊地周縁における根系の効果を検討してみる。図-3にセン断土塊中に含まれていた根系重量とセン断抵抗力の関係を示した。裸地の平均ピークセン断抵抗力は38.5 kPa、林地での試験結果はいずれもこの値を上まわり、 $\Delta\tau$ は約3~29 kPaで、根系によって、約8~75%もセン断抵抗力は増強された。このように、崩壊周縁においても林木根系は、崩壊防止に有効に役立っていると考えられる。

2. セン断抵抗力の増加分と根系量の関係：セン断抵抗力の増加強度は、根系の量によって決まると考えられるため、各試験後に行った根系量調査の結果と $\Delta\tau$ の関係を検討した。

林試方式の試験では、根系量として供試土塊中の根系重量、セン断面上の根系本数、断面面積、直径等を調べ $\Delta\tau$ との関係を検討したが、これらの中で最も良く適合したのはセン断面上の根系断面面積合計(A)であった。

図-4は、 $\Delta\tau$ とAの関係を示したものである。両者の関係は(2)式によって示される。

$$\Delta\tau = 5.34 + 111.0A \text{ (kgf/m}^2\text{)} \quad (2)$$

Kazutoki ABE, Masaru IWAMOTO (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305) and Robert R. ZIEMER (Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Forest Service, USDA, Arcata, CA.)

Tree root effect in preventing landslide on the bottom and circumference.

アメリカ方式の試験では、根系量として供試土塊(0.054 m<sup>3</sup>)中の根系重量(W<sub>R</sub>)を求めた。ΔτとW<sub>R</sub>の関係を示すと、図-5のようになり、その関係は(3)式によって、表わすことができる。

$$\Delta\tau = 0.087 \cdot W_R^{2.15} \text{ (kPa)} \quad \text{--- (3)}$$

$$(1 \text{ kgf/m}^2 = 9.8 \times 10^{-8} \text{ kPa})$$

以上のように、データが少なく、ややバラツキもみられるが崩壊底面、周縁ともに根系量の増加にともなうて、Δτも明らかに増加する傾向が示された。

3. 試験の問題点：底面と周縁における試験結果を比較すると、図-2, 3, 4, 5に表わしたようにτにかなりの違いがみられる。例えば図-2と3から裸地のτをみると、底面では垂直応力0で700 kgf/m<sup>2</sup>であるのに対して、周縁では平均38.5 kPa (3926 kgf/m<sup>2</sup>)で5.6倍にも及んでいる。

この原因は主に、試験装置と試験方法の違いによるものである。すなわち、アメリカ方式による周縁のセン断試験では、供試体の大きさが林試方式に比べると1/10と小さいうえ、上下前後の4面はセン断枠で、また左右の面もセン断面として拘束されているためにセン断枠内面でのマサツや供試体の自由な体積変化が妨げられている。その結果としてτが大きい値を示すようである。さらに、セン断方法がアメリカ方式ではヒズミ制御でセン断速度が1.27 cm/minであるのに対し、林試方式は応力制御で20分間ごとに100 kgf/m<sup>2</sup>の応力を段階的に加える方法をとっている。この点も、結果の違いの大きい原因になっていると考えられる。

したがって、両方式によって得られた結果を相対的に比較することは避けた方がよい。しかし、装置や方法から考えると、アメリカ方式によって得られる結果は、過大な値を示していると思われる。

#### IV 17年生スギ造林地に発生した崩壊地の底面と周縁における根系の効果

セン断試験によって得られた根系量とΔτの関係を、実際の崩壊地にあてはめて、崩壊地の底面と周縁での根系の効果を検討した。

対象とした崩壊地は、17年生のスギ造林地に発生したもので、その諸元は傾斜度31°、面積202 m<sup>2</sup>、平均崩壊深0.8 m、崩壊地上に生育していたスギの本数は43本であった。

1. 根系分布調査結果：この崩壊地の周縁における根系量と崩壊地に隣接して生育しているスギの根系分布を調べた。図-6は、崩壊周縁の根系分布を深さ10 cmごとに区切って測定した結果である。深さ40 cmまでが多く、最も深いものは、90 cmまで分布していた。図-7は、ス

ギ根系全体を掘り出し、地表面から10 cmごとの深さの面における根系断面積の合計の分布を表わしたものである。

2. 崩壊地底面と周縁におけるセン断抵抗力の増強強度：つぎに、崩壊地周縁の根系量を(2)式に代入し、周縁におけるΔτを、また、深さ10 cmごとの面における根系量を(3)式に代入して底面におけるΔτを求め、その結果を図-8に示した。

周縁でのΔτは深さ20~40 cm程度の比較的浅い部分で大きい。それより深い部分まで周縁部分の面積が広がっても根系によるΔτはさほど増えず一定値に近づく。

一方、底面の場合、深さ60 cmまでは根系量が多く、(2)式を求めたときのAの値の範囲(0.5~3.6 mm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)を越えているが、その効果の概要を知るためにあえて(2)式を使って、図の結果を求めた。図中ではこの範囲を点線で示している。図から明らかなように、根系が多く分布する深さでは、Δτが非常に大きくセン断面が生じる可能性は少ないと考えられる。根系がほとんど分布しなくなる深さ70 cmではΔτはかなり小さくなり、周面でのΔτとはほぼ同じオーダーになる。さらに完全に根系分布がなくなる深さになるとΔτは周面でしか発揮されなくなると考えられる。実際この崩壊の底面は、深さ80 cmのところに発生しており、崩壊したときの根系による抵抗力は、ほぼ周縁部だけで作用したと考えられる。

しかし、根系の崩壊防止効果として極めて重要なことは、周縁部におけるΔτの影響よりも、崩壊底面を根系が分布しなくなる深さまでに押し下げることにあると推察される。すなわち、崩壊底面が押し下げられれば、崩壊の規模が大きくなるために崩壊を発生させるのに必要な外的インパクト(主に降雨)がより強いものでなくてはならない。したがって、根系が深くまで分布している林地ほど崩壊発生頻度が小さくなると考えられるためである。

#### V おわりに

林木根系の崩壊防止機能を崩壊地の底面と周縁に分けて検討した。周縁での根系の効果は、土のセン断抵抗力を補強する形で表われるが、底面ではセン断面が発生する深さを根系が分布しなくなる位置まで押し下げる形で作用すると考えられた。

今後は、さらにセン断試験などによる根系のもつ力学的効果の検討と崩壊地や林地斜面での根系分布状態の把握によって、より定量的な崩壊防止機能の評価解明を行う方針である。

#### 引用文献

- (1) 阿部和時はか：昭和59年度砂防学会研究発表会講演集、124~125、1984 (2) 阿部和時・岩元 賢：日林

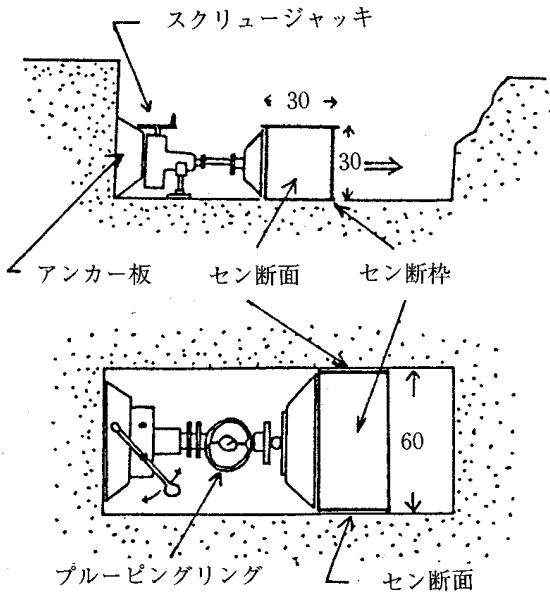


図-1 アメリカ方式のセン断試験装置

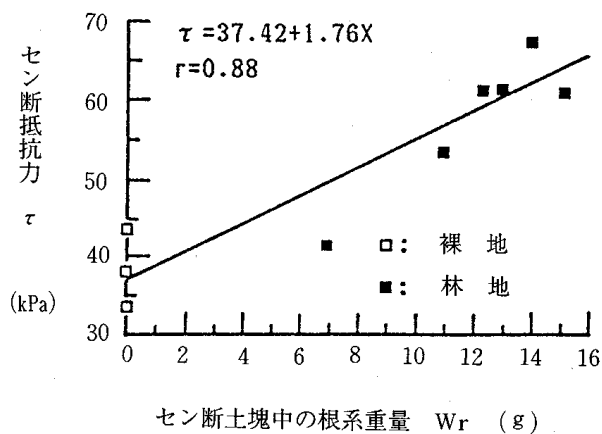


図-3 アメリカ方式のセン断試験による  
 根系重量とセン断抵抗力の関係

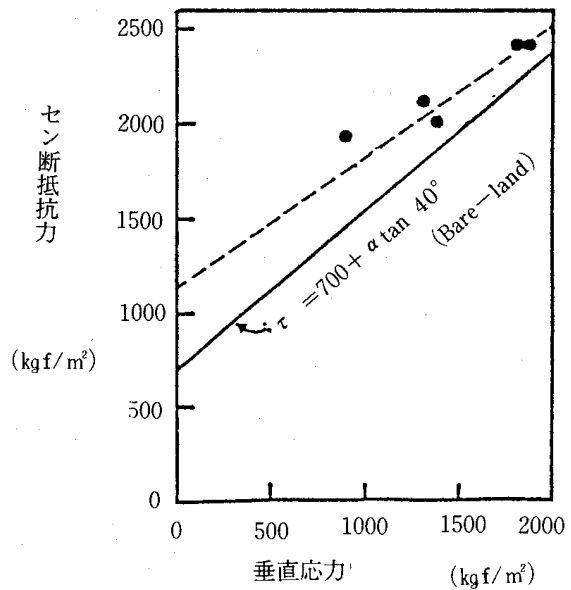


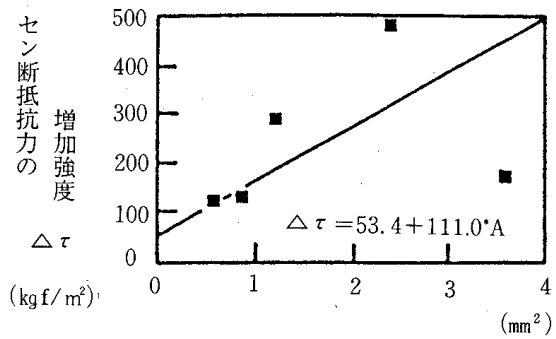
図-2 林試方式のセン断試験による  
 セン断抵抗力

表-1 試験条件 (林試方式)

| 植生 | セン断深さ<br>cm | 試験番号 | 土塊重量<br>kgf | 上載荷重<br>kgf/m² | 垂直応力<br>kgf/m² |
|----|-------------|------|-------------|----------------|----------------|
| 裸地 | 50          | 1    | 900         | 0              | 900            |
|    |             | 2    | 900         | 500            | 1400           |
|    |             | 3    | 900         | 1000           | 1900           |
| 林地 | 50          | 4    | 900         | 0              | 900            |
|    |             | 5    | 900         | 500            | 1400           |
|    |             | 6    | 900         | 500            | 1400           |
|    |             | 7    | 900         | 1000           | 1900           |
|    |             | 8    | 900         | 1000           | 1900           |

表-2 試験条件 (アメリカ方式)

| 植生 | 試験番号 | セン断面<br>の深さ<br>cm | 根系重量<br>g |
|----|------|-------------------|-----------|
| 裸地 | 1    | 30 ~ 60           | 0         |
|    | 2    | 30 ~ 60           | 0         |
|    | 3    | 30 ~ 60           | 0         |
| 林地 | 4    | 30 ~ 60           | 5.4       |
|    | 5    | 30 ~ 60           | 12.4      |
|    | 6    | 30 ~ 60           | 15.2      |
|    | 7    | 30 ~ 60           | 13.0      |
|    | 8    | 30 ~ 60           | 11.0      |
|    | 9    | 30 ~ 60           | 14.0      |



セン断面上の根系断面積合計 A

図-4 林試方式のセン断試験から求めた根系断面積とセン断抵抗力の増加強度の関係

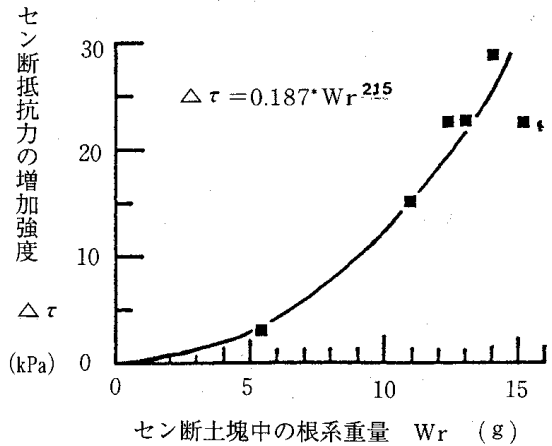


図-5 アメリカ方式のセン断試験による根系重量とセン断抵抗力の増加強度の関係

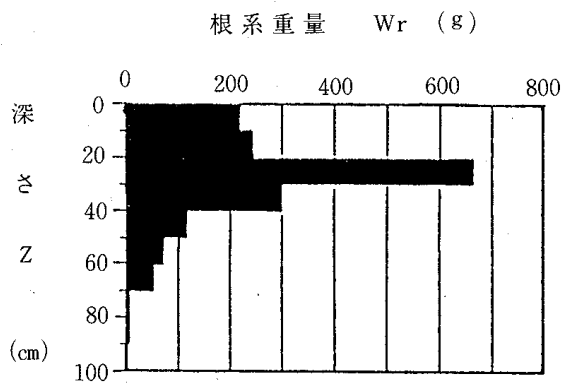


図-6 19年生スギ林地に発生した崩壊地周縁部における根系重量の分布

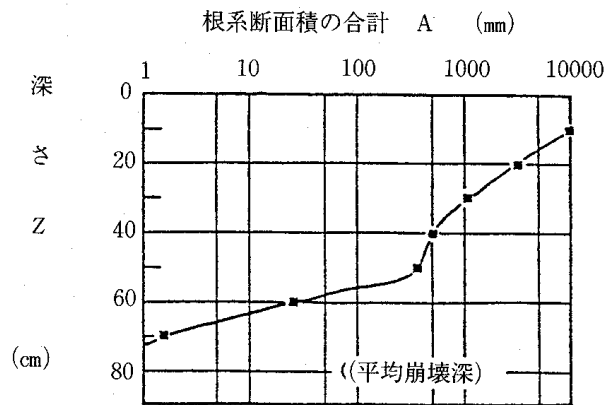


図-7 深さ10cmごとに測定した19年生スギ根系断面積の合計値の分布

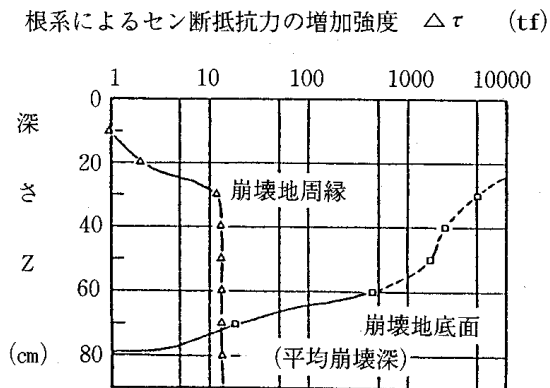


図-8 19年生スギ林地で発生した崩壊地の周縁と底面におけるセン断抵抗力の増加強度の違い