

現地大型せん断試験を通じた根系のせん断力補強効果について

独立行政法人森林総合研究所 ○岡田康彦、黒川潮

1 はじめに

森林の持つ公益的機能のうち最も重要なものの一つとして、樹木根系の斜面崩壊抑止効果がある。スギについては、根系分布と引き抜き・引き倒し抵抗力が定量化されてきており、斜面安定解析における根系の粘着力成分として評価がなされている。これらは、せん断破壊を伴う崩壊発生時に発揮される樹木根系の効果を間接的に調べているものである。一方、実際にせん断したり、斜面を崩壊させた際の力学的検討はあまり進展していない。実証実験研究としては、阿部(1997)により水平な造成地盤において、根系を含む 1m 四方の土砂を対象に直接せん断試験が実施された例が知られている程度である。しかし、この研究では、根系を含む土砂のせん断試験が実施されているものの、あくまで水平な地盤が対象になっている。実際に崩壊が発生しうるような急勾配の斜面を対象にしているものではない。本報では、実際に斜面崩壊が発生しうるような急勾配斜面を対象に、ヒノキ根系を残置させた土砂（縦 1m、横 1m、深さ 0.4m）を直接せん断試験にかけ、計測された結果を報告する。

2 現地大型せん断試験の概要

現地大型せん断試験機は、縦 1m、横 1m、深さ 0.5m、傾斜角 32 度のせん断箱からなる。樹木根系を含む土砂をこのせん断箱の中に収め、上流側のせん断箱を手動式の油圧ポンプ（载荷最大荷重：100kN）を用いて押しだすことによりせん断する仕様である（写真－1）。油圧シリンダとせん断箱の間に押接型のロードセル（最大荷重：100kN）を挟在させることによりせん断力の計測を実施した。

最大変位 200mm の変位計を 4 台用いて、変位の計測を行った。1 台目は、せん断力を与える油圧ピストンの反力をとるために設置した鉄板の変位計測にあてた。2 台目および 3 台目についてはせん断箱の左右側面に設置して、斜面傾斜方向のせん断変位を計測した。4 台目については、せん断箱左側面の上面の治具に鉛直方向に設置し、せん断に伴うせん断箱の浮きあがり若しくは沈み込みを計測するものとした。

現場周辺の地質は風化が進行した花崗岩（マサ土）で、平均粒径は 1.3mm であった。100ml の採土円筒を用いたサンプリングによると、採取時の自然含水単位体積重量は 1481.2kgf/m³、絶乾時の単位体積重量は 1046.9kgf/m³ であった。せん断面の深さは 0.4m に設定したが、実際は地表面の凹凸があることから平均値で 0.417m となった。このため根系を含む供試体の体積は 0.417m³ となり、供試体の推定重量は約 653.3kgf（約 6,408.5N、ただし、根系の体積およびその重量分の影響は無視している）になった。

3 実験結果および考察

阿部（1997）によると、根によるせん断力補強強度は以下の式で推定される。

$$\Delta S = P_0 \times (\cos \beta \cdot \tan \phi + \sin \beta) \quad (1)$$

ここで、 ΔS ：根による補強強度、 P_0 ：根の最大引き抜き抵抗（N）、 β ：せん断によって生じるせん断面と根系の角度、 ϕ ：土の内部摩擦角である。せん断面上にある根について直径（mm）、最大引き抜き抵抗（N）を計測すると共に、最大せん断抵抗値が発揮されたせん断変位を求めれば、根系のせん断力補強強度が算出可能となる。

周囲にせん断箱をかぶせた根系を含む供試体の重量は、斜面垂直方向と斜面型社方向に分けられ、初期垂直荷重

8,138.5N、初期せん断荷重 5,085.5N が算出された。図－1 に油圧ポンプによりせん断力を载荷させた際の、せん断力－せん断変位関係を示す。なお、油圧ポンプによりせん断力を载荷する前であっても、供試体には約 5,085.5N のせん断力がかかっているとして図を作成している。せん断変位が約 12.8mm でピーク強度を示し(約 10,092.6N)、その後は徐々にせん断力を減じ、せん断変位が約 140mm 付近でほぼ一定値 9,700N 程度に落ち着いた。

せん断試験終了後、せん断箱を外し、供試体をクレーン車で吊り上げながら根株の掘りだし調査を行った。150mm 程度のせん断変位が供試体に与えられていたものの、深さ約 0.4m のせん断面の根系は切断されておらず連続していた。根系から土砂を除去した後、3次元分布調査を実施した(写真－2)。せん断面に存在した根の3次元座標およびその直径を求め、式(2)に基づいてそれらの最大引き抜き抵抗値を算出し足し合わせると 5,515.1N になった。

$$PF_{\max} = 10.49 \times D^{2.03} \quad (\text{相関係数 } R=0.90073) \quad (2)$$

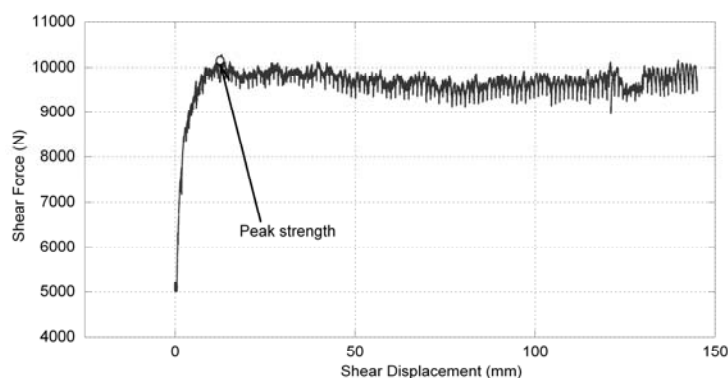
一方、風化花崗岩試料の内部摩擦角 36 度、粘着力をゼロとすると、垂直荷重が 8,138.5N の時発揮されるせん断抵抗力は 5,913.0N で見積もることができる。現地大型せん断試験で計測された最大のせん断荷重 10,092.6N とこのせん断抵抗力の差(10,092.6-5,913.0=4,179.6N)が根系による斜面補強強度という結果になる。また、この値は根の最大引き抜き抵抗値から算出した補強強度の 76%程度であることがわかった。実際にせん断を実施している際、深さ 0.4m に存在した根全てにおいて最大の引き抜き抵抗力が発揮されているわけではなく、ばらつきが大きいことがこの主因であると考えられる。

引用文献

阿部和時(1997): 樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価に関する研究. 森林総合研究所研究報告, No.373, pp. 105-181



写真－1 根系を含む供試体に対する現地大型せん断試験の実施状況



図－1 せん断力－せん断変位関係



写真－2 根系の3次元分布調査の様子