

Joint 要素を用いた弾塑性有限要素法による根系補強モデル

東京大学大学院 ○加藤誠章、執印康裕

1.はじめに

森林斜面の安定には樹木根系が寄与しているといわれており、降雨に対応した表層崩壊を正確に予測するためには、樹木根系の土質強度補強効果を正確に評価することが不可欠である。従来の多くの研究において、根系の補強効果は極限平衡法概念に基づくモデルで説明されてきた。極限平衡法に基づく根系評価モデルは、構造が単純で利便性が高い。しかしながら、極限平衡法によるモデルはせん断試料の変形過程が評価されず、土の応力-ひずみ条件が反映されないため、物理的な過程を再現するものではない。

根系の補強効果をより物理的に評価するためには有限要素法等の変形解析を含む手法を用いることが望ましいと考えられる。筆者らは、仮想的な斜面として直根の模擬根を用いた一面せん断試験を想定し、実験結果に基づき弾塑性有限要素法を用いた根系評価モデルの構築を試みてきた。一面せん断試験を対象としたのは、すべり面が特定されること、内部の変形状態の把握が比較的容易であること、形状が単純であること、既存の研究結果が多いことなどの理由による。有限要素法は任意の形状に対応した解析が可能であるという利点があるものの、一面せん断試験のような明瞭な不連続面を含む場合については適用が困難である。本研究では、岩盤の解析等の際に用いられることのある Joint 要素をせん断面に設定し、応力の関係と同時に内部の変形状態を再現することが可能な根系補強モデルの構築を試みた。

2.根系評価モデルについて

2.1.モデルの解析対象と境界条件について

本研究では、図 1 に示す一面せん断試験機による実験結果をモデルの対象とした。実験では、豊浦標準砂を試料とし、模擬根として竹串を用いたせん断試験を行うと同時に内部の変形状態の測定も行われている。本研究では、実験条件が回転対称に近かったため、せん断箱上部を解析の対象とした。境界条件は図 2 に示すとおりである。土については三角形一次要素を設定した。また、すべり面となる可能性のある下面については Joint 要素を設定した。本研究では Goodman ら(1968)が提案した厚さが 0 の Joint 要素を用いた。Joint 要素に与えたパラメータは、試料のみの場合の一面せん断試験の結果に基づき設定した。

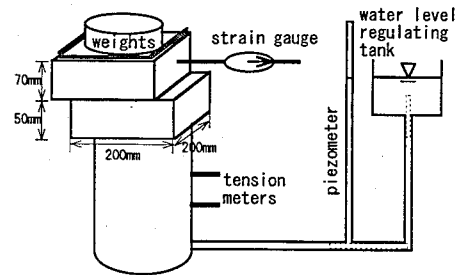
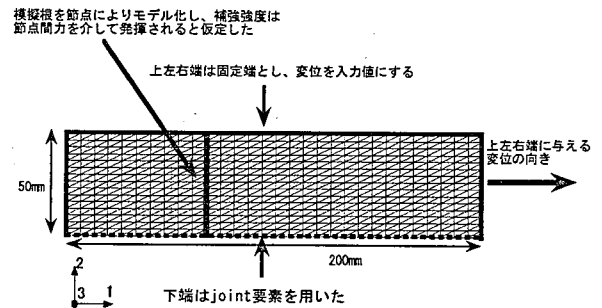


図 1.せん断試験機模式図



せん断変形が回転対称であるとし、せん断箱の上箱のみについて計算を行った

図 2.要素分割ならびに境界条件について

## 2.2.構成式について

本研究では以下の構成式を用いた。

弾塑性構成式(速度系) :  $d\sigma_{ij} = D_{ijkl}^{ep} d\varepsilon_{kl}$

$$\text{ただし、} D_{ijkl}^{ep} = 2G \left[ \delta_{ik}\delta_{jl} + \frac{\nu}{1-2\nu}\delta_{ij}\delta_{kl} - \alpha \frac{9G\sigma'_{ij}\sigma'_{kl}}{2\bar{\sigma}^2(H'+3G)} \right]$$

ここで、 $\sigma_{ij}$ ; 応力、 $D_{ijkl}^{ep}$ ; 弾塑性係数行列、 $\varepsilon_{ij}$ ; ひずみ、 $G$ ;

剛性率、 $\nu$ ; ポアソン比、 $\alpha$ ; 定数(弾性なら 0、塑性なら 1)、 $\sigma'$ ; 偏差応力、 $\bar{\sigma}$ ; 相当応力、 $H'$ ; 瞬間的加工硬化率である。指導原理として仮想仕事の原理を用いた。

$$\int_V (\sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ji}) dV = \int_V (X_i \delta u_i) dV + \int_{S_f} (X_m \delta u_i) dS$$

静的陽解法(rmin 法)を用いて計算を行った。

## 2.3.根の影響の評価手法について

本研究で対象とした模擬根は回転移動以外の変形を示さなかったため、本モデルでは根を剛体として近似を行った。また、実験において応力と変形の関係を測定した結果、根の水平抵抗力がせん断補強の支配的な要因となっていることが明らかになったため、本モデルでは水平抵抗力のみを補強の要因と仮定した。水平抵抗力のパラメータは、実験に基づき与えた。

## 3.計算結果

図 3 に、せん断変位とせん断応力の関係を示す。図より、モデルではせん断初期(せん断変位 5mm 程度)におけるせん断応力の立ち上がりについては実験値のほうが大きかったものの、せん断変位に対するせん断応力の傾きはせん断初期において最大であり、せん断変位の増加に伴い減少すること、模擬根の本数が多いほどせん断応力のピークが大きく、ピークの出現する変位が大きいことなどが再現された。図 4 は根系本数と平均変位の関係である。図より、模擬根の本数が多いほどより単純せん断変形に近づくことが再現された。

## 4.まとめ

Joint 要素を用いた 2 次元弾塑性有限要素法による根系評価モデルを構築し、実験結果との比較検討を行った。その結果、水平抵抗力のみを根系補強の要因とし、実験より得られたパラメータを用いることで内部の変形を含めてせん断応力のある程度再現することが可能であることが明らかとなった。今後はモデルの精度向上を図ると共に、実斜面への適用を検討する必要がある。

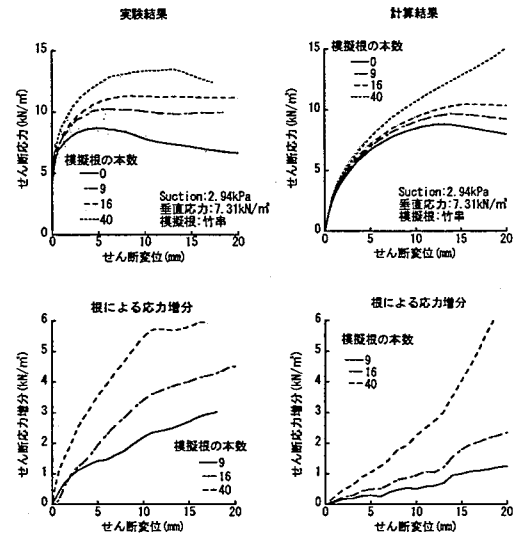


図 3.せん断変位—せん断応力 (実験値と計算値の比較)

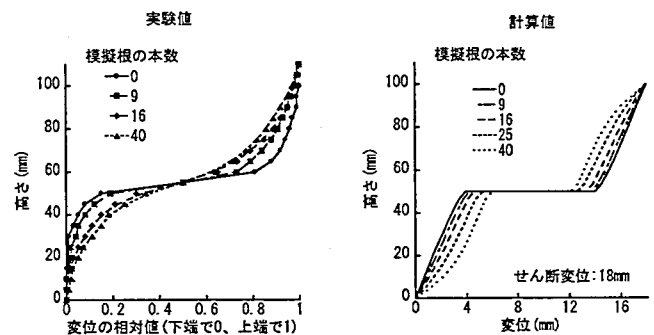


図 4.根系本数と平均変位の関係