

樹木根系の土質強度補強モデルに関する研究

東京大学大学院農学生命科学研究科学 執印 康裕

1. はじめに

樹木根系の土質強度補強効果のメカニズムを説明することを目的として、一面せん断試験の結果から、これまでに幾つかのモデルが提案されてきているが、基本的には図1に示す概念図を枠組みとするものである。

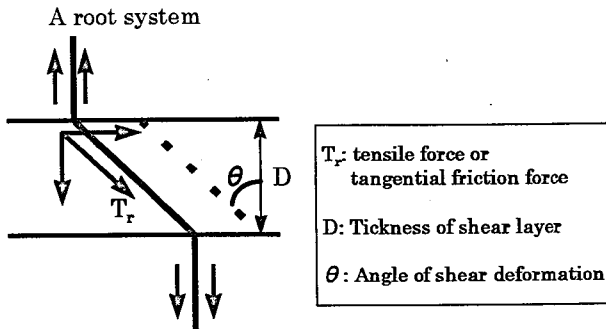


図-1: 従来の根系補強モデル概念図

従来の根系補強モデルは図-1に示すように、ある一定のせん断層厚さ D を仮定しており、せん断層の変形 θ に応じて、根系の伸長による引張応力、あるいは根系が土層から引き抜ける場合の土粒子との接線摩擦力 T_r が生じることによって根系による土質強度補強効果を解釈するものである。すなわち根系の土質強度補強効果は、

- 要因①土の変形状態 (せん断層の厚さ)
- 要因②根系の伸長による引張応力 (弾性係数)
- 要因③根系と土層間での接線摩擦力 (引抜け抵抗力)

の3要因によって発揮されることを従来のモデルは説明している。しかしながら根系を含んだ土と土のみの試料を一面せん断することによって得られる水平変位-せん断応力増分関係を従来のモデルによって説明する場合、要因①によっては根系の弾性係数の値から、せん断応力の増分が水平変位の初期から急激に出現し、実際の測定値に比べて過大になることが指摘されており、実際には要因①及び③によって根系の補強効果を解釈している。その意味において従来のモデルは根系自体の特性 (弾性係数、形状等) は考慮に入られていない。また要因①に関しても要因③を考慮した場合には水平変位の初期においては影響が認められるが、その後の最終的なせん断応力増分には殆ど影響しないとされており、従来のモデルにおいては十分に考慮されていない。

本研究では従来の根系補強モデルとは異なった視点のモデルを提示し、これによって根系自体の性質及び土の変形状態が根系の補強効果に与える影響について検討したので、ここに報告するものである。

2. モデルを適用した実験

モデルを適用した実験は一面せん断試験によるものである。試験機本体は内径 19.8cm、高さ 5cm の塩ビパイプからなるせん断可動部分とその下の同内径、高さ

50cm の塩ビパイプから構成されている。試験機本体に豊浦標準砂を充填し、これに模擬根系としての竹串及びナイロン製ネットの2種類をせん断面に対して垂直になるように挿入して実験を行った。竹串のサイズは直径 0.27cm、長さ 10cm であり、ネットは直径 0.05cm のナイロン糸がおよそ 0.17cm 間隔で格子状に折り合わさった形状をしており、横幅 10cm、長さ 15cm である。竹串の挿入本数は 24 本である。ネットの挿入枚数は 5 枚であるが、ネットの縦糸に換算すると 300 本のナイロン糸が挿入された状態である。せん断面に与えた垂直応力は 139gf/cm^2 であり水分条件は飽和状態 (せん断面のサクシオン $0\text{cmH}_2\text{O}$) である。図-2に竹串及びナイロンネットを挿入したことによって得られる、水平変位-せん断応力増分関係を示す。

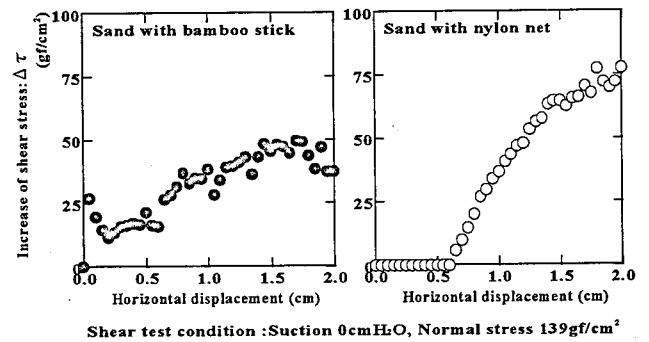


図-2: 模擬根系の挿入による水平変位-応力増分関係

図-2に示すように竹串は水平変位の初期からせん断応力増分が出現しているのに対し、ネットの場合は水平変位がある程度まで進行してから応力増分が出現している。この実験結果に対してモデルを適用した。

3. 適用したモデルについて

(3.1 モデルの概要)

モデルは側方流動を示す軟弱な地盤中にタワミ性のクイを挿入した時に示すクイ挙動の理論を基本としている。地盤中におけるクイ挙動の弾性方程式は、幾つか提案されているが、本研究では以下の式を採用した。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Es(x, \Delta y)[y(x) - g(x)] = 0 \dots (1)$$

但し E:クイの弾性係数, x:地盤深さ, I:クイの断面2次モーメント, Es:地盤変形係数, y:クイ変位, g:地盤変位である。(1)式においてはクイ変位 $y(x)$ と地盤変位 $g(x)$ の差 Δy によってクイによる反力が発生すると考えるものである。(1)式の一般解は地盤変位が既知の時

$$y = \exp(\beta x) \times \{A \cos(\beta x) + B \sin(\beta x)\} + \exp(-\beta x) \times \{C \cos(\beta x) + D \sin(\beta x)\} + g \dots (2)$$

但し A,B,C,D:積分定数, $\beta = (Es/4EI)^{0.25}$

によって示される。(2)式から模擬根系(クイ)のたわみ角 θ 、モーメント M 、せん断力 S を求めることができる。実際の計算にあたっては、模擬根系の挿入領域を水平方向に分割し、各接点における模擬根系の y 、 θ 、 M 、 S の連続条件及び上端下端の境界条件から積分定数を求めた。上端及び下端における境界条件は共に $S=0, M=0$ を与え、せん断力 S を模擬根系の挿入によるせん断応力増分として算出した。地盤変形係数 E_s は地盤深度 x と Δy の関数で示されるが、本モデルにおいては E_s が Δy に応じて指数関数的に減少するとの仮定を以て

$$E_s(x, \Delta y) = E_{s0}(x) \times \exp(-\alpha \Delta y) \dots (3)$$

とした。但し E_{s0} :地盤弾性係数に関連するパラメータ、 α :模擬根系の太さに関連するパラメータである。

(3.2 地盤変位 g に関して)

一面せん断試験において地盤変位分布を与える場合、近似的にせん断幅を0として与える条件が考えられるが、理想的な実験条件の下ではせん断面付近において単純せん断変形を示す。従って本モデル計算ではせん断面付近において以下の地盤変位分布を与えた(図-3参照)。

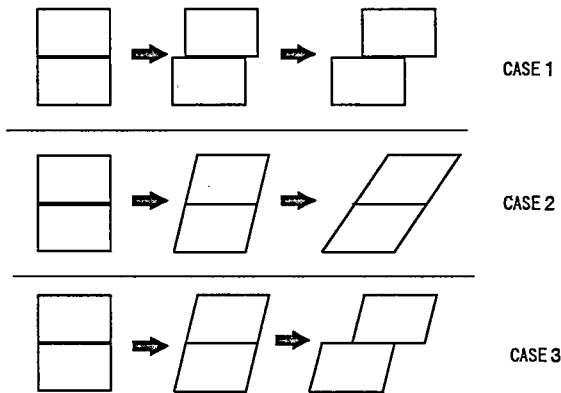


図-3:せん断面付近での地盤変位条件

(CASE1):変形層の幅が0であり、せん断変形状態を仮定しない。

(CASE2):ある一定の幅の変形層が存在し、せん断変形状態を保ちながら水平変位が増大していく。

(CASE3):ある一定の幅の変形層が存在する。水平変位の初期段階ではせん断変形状態を保っているが、水平変位がある程度まで進行すると、せん断変形状態を保つことなく、一面でせん断される。

4. モデルの適用結果

図-4に各地盤変位条件を与えた場合に得られるモデル計算結果と実測値の関係を示す。地盤変位条件のCASE2,3については変形幅2cmを与えCASE3においては水平変位が6mmに達した時点で変形幅を0とした。竹串及びナイロンネットの弾性係数は $2 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ であり、パラメータ E_{s0} は共に 2.2kg/cm^2 である。 α に関しては竹串で2.2、ナイロンネットで 3.5cm^{-1} を与えている。なおモデルで計算される値は模擬根系1本あたりのせん断抵抗力であるため、せん断応力増分の計算にあたっては、これを本数倍した値をせん断面積で除して算出している。

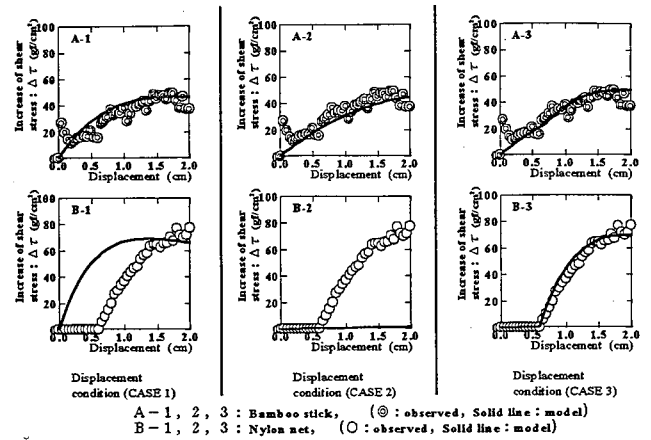


図-4:各地盤変位条件に対する計算値と実測値の比較

図-4においては上半分が竹串に対する適用結果であり下半分がネットに対する適用結果である。なお図左側から順に地盤変位条件CASE1,2,3を与えている。竹串の場合、地盤変位条件の違いに関わらず実測値と計算値(実線)は良好な適合を示すが、ネットの場合は地盤変位条件の違いが計算結果に与える影響が極めて高いことが本図からわかる。ここでネットについて地盤変位条件の違いがせん断抵抗力に与える影響を検討する。図-5はネットの挿入によってせん断抵抗力が出現するCASE3(水平変位1.5cm)と殆どせん断抵抗力が出現しないCASE2の両条件下でのネットの変形状態を示したものである。

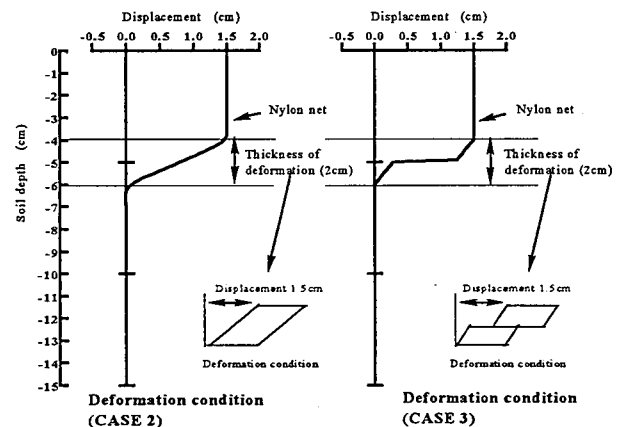


図-5:地盤変形条件の違いがネットの変形に与える影響

図-5よりCASE2の場合はネットの変位が殆ど地盤変位と同じになり、そのことによってせん断抵抗力が出現していないことが分るが、CASE3のように一面でせん断される場合にはネットは急激に変形し、そのことによってせん断抵抗力が発揮されることが分る。

5. おわりに

計算では竹串とネットの違いは基本的にはその形状(太さ)が異なるだけであるが、根系の形状の違いと地盤変位条件の相互作用によって補強効果が発揮されている可能性が本モデルを用いることによって示された。モデルの検証のためには更に一面せん断試験における砂の変形状態及び根系の変形状態を確認する必要がある。その意味において本モデルは完全なものではないが、根系の補強効果に対する新たな視点を与えるものである。