

# 根-土境界面におけるせん断挙動に関する実験的研究

## Experimental Investigation of Shear Behavior on Root-Soil Boundary

Key words: Root, Soil, Pullout tests, Suction, Lodging

施設機能工学分野 友部 遼

### 1. 緒言

人類の調和ある生存を目指す上で、食糧問題と水問題はともに喫緊の課題である。中でも、作物単収の維持・向上、および水資源および水利施設の適切な維持管理はともに重要な論点である。それらに共通する重要な研究領域の一つとして、根と土の入り交じる領域、すなわち根混じり土の力学挙動がある。根混じり土は、堤体や斜面、山林などに広がれば表層崩壊防止機能や侵食防止機能を発揮することにより、水利施設の保護、国土保全機能や水資源の涵養機能を発揮する。また、畑や水田に広がる根混じり土は、風雨に直面する作物体を支持し、作物の倒伏を防止し、作物単収および収穫効率を維持向上する上で重要な要因となる。その両方において共通する未解明な課題として、根と土の境界におけるせん断特性がある。本研究では、根の分布する低拘束圧領域を再現した室内抜根試験器の開発を行い、本試験機を用いて、根と土の境界面のせん断特性の把握を試みた。

### 2. 材料・方法

#### 2.1 新型室内抜根試験器の概要

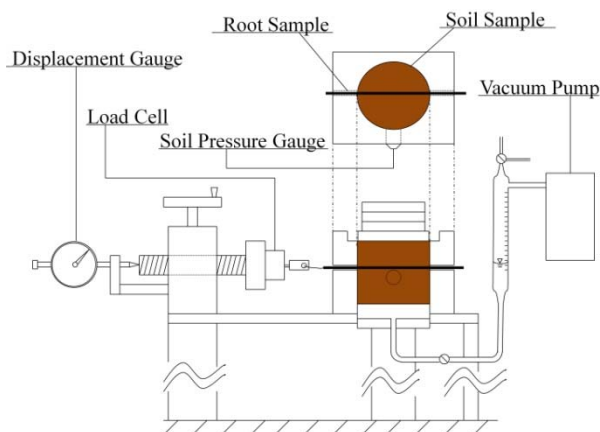


図1 新型抜根試験器

図1に新型抜根試験器の概要を示す。室内一面せん断試験器(MARUI MIS-233-1-60)に、以下7点の改良を行い作成した。1. 上下せん断箱を繋げたせん断箱に、水平方向に直径5mmの穴を設けた。2. 穴と直交する方向に水平に土圧計を設置した。3. 変位計

を、スクリーギアの左端に設置した。4. 水平ロードセルを高精度ロードセルに変更した。5. 反力板および鉛直ロードセルを外し、直径60mmの亚克力板を載せた上に重りを載せることで鉛直载荷を行った。6. 水分特性試験用のシリンダーおよびポンプを接続した。7. ロードセルの先端に、根と接続するための穴の空いた金具を取り付けた。

#### 2.2 材料特性一覧

供試根としては、バルサ丸棒(直径3.0mm)および、オオムギ根を用いた。供試土としては、ケイ砂6号および水田土を用いた。そのうち、オオムギ根および水田土は、京都大学大学院農学研究科附属京都農場よりご提供頂いた。なお、6号ケイ砂および水田土の土粒子密度はそれぞれ2.67 g/cm<sup>3</sup>、2.76 g/cm<sup>3</sup>であった。粒度分布試験も今後実施予定である。

#### 2.3 通常抜根試験

通常抜根試験においては、データ収集を開始した後、根を抜根穴に通し、麻紐により根とロードセルを繋いだ上で、同含水比、同質量の土をせん断箱に入れ、供試体上部をソイルナイフにより水平に整え、供試体上部に亚克力板を載せ、その上に金属製のおもりを順に載せた。载荷後、ケイ砂の場合は5分程度、水田土の場合は20分程度経過したのちに0.1 mm/minで抜根を開始し、およそ1時間をかけて6 mm以上引き抜き、試験中の水平土圧(kPa)、引き抜き抵抗力(N)、水平変位(mm)を計測した。

#### 2.4 サクション抜根試験

サクション抜根試験においては、チューブおよびシリンダー内を脱気水で満たした上で、シリンダー内の水面をせん断箱より+10 cm程度上げ、正の水圧を土供試体にかけることでチューブ内および多孔板を脱気水で満たした。次に、データ収集を開始し、根を抜根穴に通し、麻紐により根とロードセルを繋いだ上で、同含水比、同質量の土をせん断箱に充填した。供試体を脱気水により飽和したことを確認した上で、供試体上部をソイルナイフにより水平に整え、供試体上部に亚克力板を載せ、その後、24時間~数日をかけて所定のサクションを水頭法または減圧法により与えた。サクションが平衡状態に達し

た後に 0.1 mm/min で抜根を開始し、およそ 1 時間をかけて 6 mm 以上引き抜き、その際の水平土圧(kPa)、引き抜き抵抗(N)、水平変位(mm)を計測した。

### 3. 結果・考察

#### 3.1 バルサ-6号ケイ砂 抜根試験結果

抜根抵抗力-変位関係からピーク強度を求め、そのときの静止土圧係数、根の形状、垂直応力を次の式

$$\tau = \frac{S}{2\pi rL} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{\pi}{2} K_0 + \frac{3}{2} \pi \quad (2)$$

に代入し、最大せん断応力と垂直応力との関係を求めたところ、図2のようになった。式(1)と(2)において、 $S$ は破壊時の抜根抵抗力(kN)、 $r$ 、 $L$ はそれぞれ根の直径および長さ(m)、 $K_0$ は破壊時の静止土圧係数である。破壊時のせん断応力が垂直応力に比例する Mohr-Coulomb 型の破壊線が得られ、また、一定の拘束圧を境に傾きが異なる折線型となった。せん断時の水平土圧の挙動から、この原因は、境界面のバルサ側近傍と土側近傍でせん断強度が異なり、かつ破壊は現応力下におけるせん断強度の小さい近傍で生じるためと考えられた。

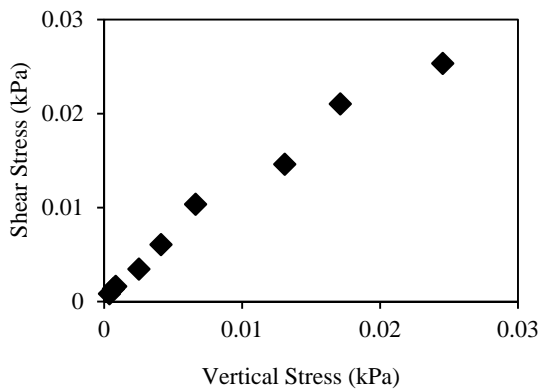


図2 バルサ-6号ケイ砂 垂直応力-せん断応力関係

#### 3.2 オオムギ根-現地水田土壌 抜根試験結果

抜根抵抗力-変位は図4のようになった。また、面積あたりの垂直応力-せん断応力は図5のようになった。せん断応力が垂直応力に比例する Mohr-Coulomb 型の破壊線が得られた。

#### 3.3 オオムギ根-現地水田土壌 サクシヨン抜根試験結果

現在、実験を実施中であり、結果は卒業論文に記載予定である。

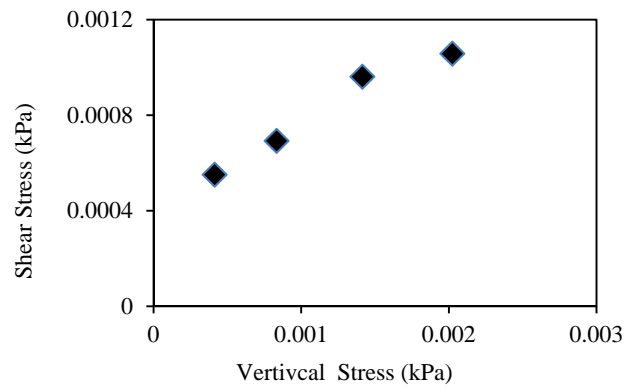


図3 オオムギ根-水田土 垂直応力-せん断応力関係

### 4. 結論

根-土境界面の破壊条件に Mohr-Coulomb の破壊条件が適用できることが示され、現応力条件におけるせん断強度の小さい近傍でせん断破壊が起こることが示された。また、サクシヨンによる抜根抵抗力の増加が確認された。これは、サクシヨンによる有効応力の増加によるものと考えられた。今後は、引き続き、不飽和領域においてサクシヨンによる抜根抵抗力の変化を調べるとともに、実際の圃場および植生への適用を目的に、FEMによる数値シミュレーションを行いたいと考える。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、ご指導ご鞭撻頂いた村上章教授に深謝いたします。また、本論文の内容、および実験指導などを、藤澤和謙准教授に終始直接ご指導頂きました。ありがとうございました。また、快く供試材料をご提供頂きました、本学農学専攻作物学研究室の皆様に感謝致します。

### 参考文献

- 1) 執印康裕 (2009) : 森林植生による表層崩壊防止機能の評価に向けて、砂防学会誌, **98**, 2-7
- 2) B.B. Docker, T.C.T. Hubble (2008) : Quantifying root-reinforcement of river bank soils by four Australian tree species, *Geomorphology*, **100**, 401-418.
- 3) Sayyed Mahdi Hejazi, Mohammad Sheikzadeh, Sayyed Mahdi Abtahi, Ali Zadhoush (2012) : A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers, *Constr. Build. Mater.*, **30**, 100-116.
- 4) Chao-Sheng Tang, Bin Shi, Li-Zheng Zhao (2010) : Interfacial Shear strength of fiber reinforced soil, *Geotext Geomembranes*, **28**(1), 54-62.