

根系を含む土の強度変形特性

東海大学大学院 学生会員 ○大川 良輔
東海大学 正会員 杉山 太宏・赤石 勝

1. まえがき

近年、環境問題への取り組みとして、法面の樹林化が進められている。樹林化の効果として、地球温暖化対策や景観の向上、表層の侵食防止や根系の緊縛力による土の補強効果などが挙げられる。これまで根系の補強効果を調べた研究は少なく、主として砂質土を対象にした原位置や室内一面せん断試験の結果が報告されている。著者らは、調査事例の少ない粘性土に対する根系の補強効果を調べることを目的として、再構成ロームにたこ糸や実根を設置した三軸圧縮試験を行ってきた^{1), 2)}。その結果、圧密状態や根系の種類によらず、強度定数はローム単体よりも5~15%程度増加することが明らかになった。

本研究では、植物が生育するために最適な栄養素を持つ表層土(クロボク)にヒマワリを播種して育成し、根系を含む三軸CU試験ならびに一面せん断試験を行った。また、一面せん断試験は今回の実験のために簡易な定圧型試験機を作製して行った。両試験より、根系による地盤のせん断強度特性、強度定数について検討した。

2. 試料および種の種類

実験に使用した土試料は大学構内より採取し、2mmふるいを通過させた表層土で、物理特性を表-1に示した。種子は、実験の開始時期と発芽率の良さからヒマワリを選定した。

3. 実験方法

三軸圧縮試験、簡易一面せん断試験では根系を設置した(成長させた)試料と設置しない試料において同一条件の試験を行い、根系の有無による強度定数を比較した。

3.1 三軸圧縮試験

図-1(a)に示すように加工し作製した直径5cmの二つ割り塩ビ円柱容器内に、通水性を良くするため底部に砂質土、その上に表層土を締め固めないように詰めて、ヒマワリの種子一粒を約2cmの深さに植えた。市販の液肥を薄めて1日二回水を与え、日当たりの良い場所で2ヶ月ほど育成した(図-1(b))。その後、茎から上を切り取って、たっぷりと水を与えた後、圧密圧力78.5kN/m²の上載圧で1日予圧密した。予圧密後、塩ビ円柱容器から崩れぬように試料を取り出し、図-2のように高さのみトリミングして直径5cm、高さ10cmの根系を含む円柱供試体を作成して、圧密条件①(圧密圧力p=39.2, 78.4, 117.6, 156.9kN/m²)と圧密条件②(圧密圧力p=9.8, 19.6, 29.4kN/m²)のもとCU試験を行った。なお、種を植えない表層土単体は水やりや期間など根がないこと以外全て同じ条件とした。せん断速度は0.1mm/min、背圧は常時147.2kN/m²である。

3.2 簡易一面せん断試験

作製した簡易一面せん断試験機を図-3に示した。直径9.4cm、高さ9cm(3cm×3層)の塩ビ円柱容器内で表層土試料に、ヒマワリの種

表-1 試料の物理的性質

ρ_s (g/cm ³)	ω_L (%)	ω_P (%)	Grading (%)		
			Clay	Silt	Sand
2.237	87	61	9	40	51

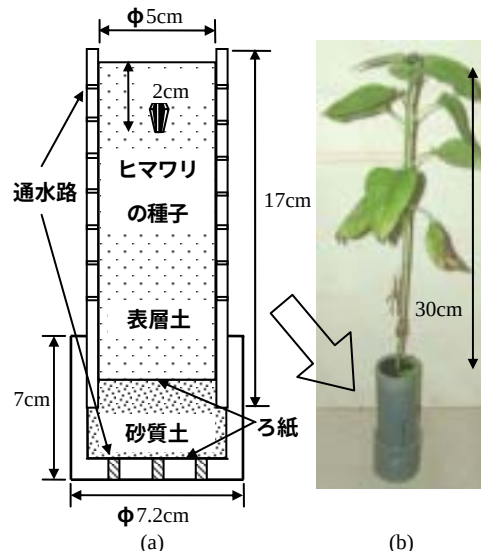


図-1 作製した塩ビ円柱容器

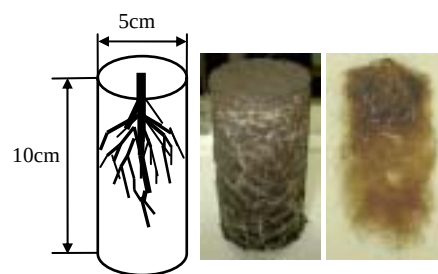


図-2 ヒマワリの根系を含む供試体

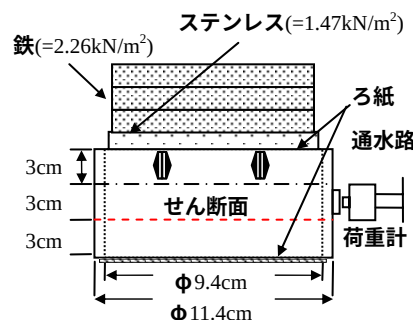


図-3 簡易一面せん断試験機

子二粒を約 2cm の深さに植え、三軸圧縮試験と同じ方法で育成した。圧密圧力 $p=1.48, 3.73, 5.98, 8.24\text{kN/m}^2$ となるおもりで 1 日圧密し、 0.05mm/min のせん断速度で試験を行った。なお、この試験容器では、表層土に含まれていた種子から数種類の植物(以下、雑草)が自然に発芽した。これらを除去した試料と残した試料を作成して結果を比較した。

4. 実験結果と考察

4.1 三軸圧縮試験結果

図-4 は圧密条件①の有効応力経路を示したもので、図中には、質量含根率(圧密前の全質量に対する根系のみの湿潤質量)を示している。せん断初期はほとんど同じ経路を辿るが、最大軸差応力は予想に反してヒマワリの根系を含む試料の方が表層土単体よりも小さく、強度増加は認められなかった。柔らかいヒマワリの根系を含む土では、圧密条件①程度で圧密されると、圧密による土自体の強度の増加が卓越して表れるものと考えられる²⁾。

圧密条件②の有効応力経路と応力ひずみ曲線を示したのが図-5、図-6 である。両図から、圧密圧力の小さな $p=9.8, 19.6\text{kN/m}^2$ でヒマワリの根系による補強効果が見られた。図-6 で両者を比較すると、軸ひずみ 7% を越える頃から根系の効果が表れ、ほぼ一定の割合で軸差応力 q が増加している。モールの応力円から最小二乗法により求めたせん断抵抗角 ϕ' 、粘着力 c' を図-5 中に示してあるが、 c' は約倍に増加し、 ϕ' は 10° 減少する結果となった。

まえがきでも述べたように、過去に行った CU 試験では補強効果が明確に現れたので、図-4 に示した圧密条件①でもこれを期待していたが、結果は反するものとなった。土質、植物の種類、圧密条件など、さらに検討する必要がある。

4.2 簡易一面せん断試験結果

試験結果より、せん断強度 τ_f と圧密圧力 σ_c の関係を示したのが図-7 である。図中の実線は各結果を最小二乗で近似したものである。ヒマワリの根系を含む試料のせん断強度は鈴木らの報告と同様、低拘束圧下において顕著に現れ、粘着力 c は約 1.7 倍増加して、せん断抵抗角 ϕ は若干減少した³⁾。雑草の根系を含む試料では、ヒマワリのみよりもさらにせん断強度が大きくなっている。ヒマワリの平均質量含根率は 0.7% であるのに対して、雑草を含む試料ではいずれも含根率が高かった。この含根率の増加と植物種の増加による根系の伸張性の変化が、せん断強度の増加につながったと推定される。

5. まとめ

本研究で得られた結果を要約すると以下の通りである。

- 1) ヒマワリの根系を育成させた試料による三軸圧縮試験では、低拘束圧下で根系の効果が現れた。
- 2) 簡易一面せん断試験では、根系の影響は低拘束圧下、含根率が高いほうが発揮されやすく、補強効果はせん断抵抗角よりも粘着力を増加させた。

【参考文献】

- 1) 大川, 杉山: 根系を含む再構成ロームの三軸圧縮試験による強度特性, 第 32 回土木学会関東支部技術発表会 CD-ROM, 2005
- 2) 前田, 杉山, 外崎, 赤石: 人工樹木根系を含む関東ロームの非排水せん断強度特性, 東海大学工学部 Vol.37, No.1, pp. 155-160, 1997
- 3) 鈴木, 山本: 根系を含む土の一面せん断強度, 第 39 回地盤工学研究発表会, pp. 843-844, 2004

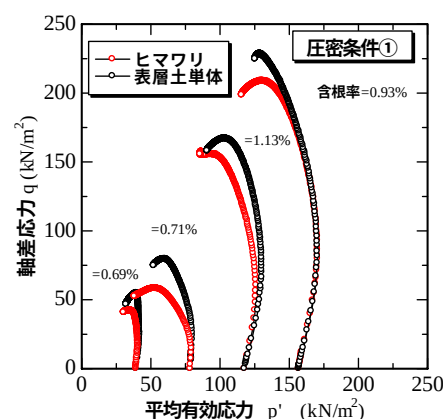


図-4 圧密条件①の有効応力経路

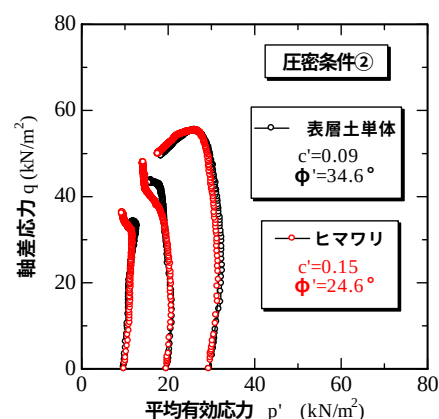


図-5 圧密条件②の有効応力経路

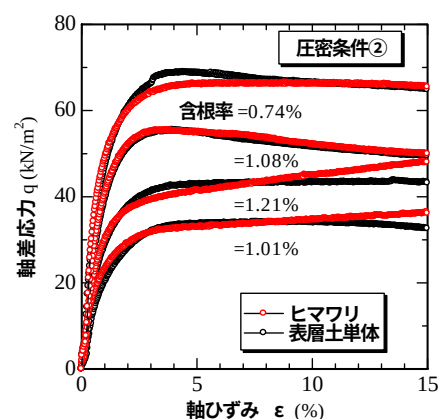


図-6 圧密条件②の応力ひずみ曲線

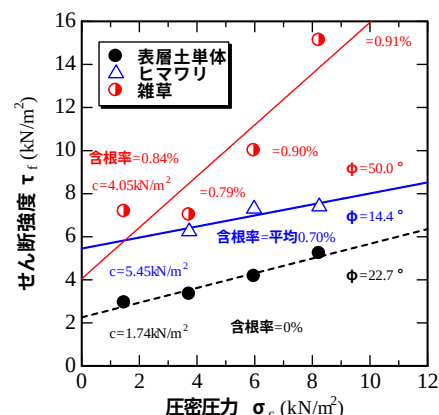


図-7 せん断強度と圧密圧力の関係