

論文の内容の要旨

論文の題目 Particle Size Effects on Soil-Reinforcement Interaction in Direct Shear Tests

(一面せん断試験における土と補強材の相互作用に及ぼす粒径の影響)

氏名 吳博凱 (WU, Po-Kai)

論文の内容の要旨

補強土の強度変形特性を解明することは、補強土構造物の設計の基礎となる。そのためには補強材と土の相互作用による補強メカニズムを十分把握する必要がある。一般に、粒状地盤材料(締固めた砂礫)は、粒子径が大きいほど、ピークから残留へ強度が低下するまでに必要なすべり層のせん断変位量が大きくなり土構造物の安定性が高くなる。これは粒子径が大きいほど一般に土構造物は安定性が高いという経験則に合致する。補強土の強度変形特性についても、盛土材の粒子径の効果が現れるはずである。しかし、現行の補強土構造物設計法では、この効果は基本的に反映されていない。また、粒子径の関数としての補強土構造物のすべり層変形特性と土と補強材の相互作用についての知見も十分ではない。そのため、本研究では粒径の違いに着目し平均粒径が異なる豊浦標準砂(平均粒径 $D_{50}=0.2\text{mm}$)と礫質土(平均粒径 $D_{50}=1.92\text{mm}$)を用いて一面せん断を行い、土と補強材の相互作用に及ぼす粒径の影響を調べた。

一面せん断試験における供試体の理想的な変形モードは単純せん断変形である。その単純せん断変形モードを供試体を実現させるための試験装置に要求される条件は以下であろう。(1) 鉛直力を作用させる載荷板がせん断中に回転しないこと。(2) せん断面に作用する鉛直応力を精度良く測定・制御できること。(3) 上下せん断箱の間隔を制御できること。上記の条件(2)を満足させるために、従来の小型一面せん断試験を改良し、せん断面に作用する全ての鉛直荷重を測定できる外部ロードセルを装備した。また、中型一面せん断試験機にも等体積試験時に高い応力レベルが載荷できるように改良した。小型の供試体の寸法は長さ 40mm、幅 40mm、深さ 20mm であり、中型は長さ 300 mm、幅 300 mm、深さ 300 mm である。

まず、土と補強材との摩擦特性を解明するために、礫質土の場合では、上記の中型一面せん断の下箱を補強材を添付した鉄板に替えて直接せん断試験を行った。また、豊浦砂では、小型一面せん断機を用いた。試験に用いた補強材はリン青銅板で、表面は無処理で滑らかなものと SLB 砂を接着して粗面にしたもの二種類である。滑らかな補強材と粗い補強材の正規化表面粗さは、礫質土に対して、 2.6×10^{-3} と 352×10^{-3} であり、豊浦砂に対しては、 25×10^{-3} と 3400×10^{-3} である。ほとんどすべての試験は、鉛直圧力を 50kPa と一定のせん断速度で行われた。それらの結果、豊浦砂と滑らかな補強材の間の摩擦係数が 0.4-0.5 となり、せん断中にダイレタンシー挙動は観測されなかった。また豊浦砂と粗面の補強材の実験結果では、ピーク摩擦係数は豊浦砂のピーク摩擦係数よりわずかに小さくなった。礫質土と粗面の補強材の実験結果から、ピーク強度及び明確な応力と変位特性の関係は結論づけられないが、すべての実験結果の残留摩擦係数は 0.7 に等しくなった。この摩擦係数は礫質土のものよりわずかに小さい。また、滑らかな面の補強材の場合では、せん断中の摩擦係数は一定の 0.4 となってダイレタンシー挙動は見られなかった。

補強材と粒状地盤材料との相互作用における粒子径効果を検討するため、上載荷重を 50 kPa と一定にした小型および中型一面せん断試験を実施した。粒状体は礫質土および豊浦砂であり、補強材はリン青銅製のものとジオグリットを用いた。さらに、青銅製の補強材表面の摩擦性と表面積を変化させ、さらにリブの有効性についても中型一面せん断試験により検討した。

まず、補強土の変形強度特性における粒子径効果と寸法効果について、得られた知見を以下に列挙する。

(1) 無補強の豊浦砂で実施した小型および中型一面せん断試験結果から、ピーク強度と体積ひずみは寸法効果の影響を強く受けることが示された。供試体寸法が大きくなるほど、せん断領域で局所的な破壊が生じるため、ピーク強度と体積ひずみが小さくなる。(2) 補強土構造物の粒子径効果は強いダイランシー効果で、ピーク状態が持続ける礫質土の方が砂質土の方より強い。

また、補強土の変形強度特性に与える補強材形状・表面摩擦性の変化の影響について以下の知見を得た。

(1) 補強材表面の摩擦性は、補強土構造物の強度特性において極めて重要な要因となる。補強材表面の摩擦性が小さい場合、せん断応力ダイランシー関係の傾きは無補強土の傾きにはほぼ等しい。一方、補強材表面の摩擦性が期待できる場合では、せん断応力ダイランシー関係の傾きと異なる。これは補強材表面の摩擦性が大きくなると、より強いダイランシー特性が発揮されること、補強材表面のせん断領域が増加されることによる。(2) せん断変位が大きくなると、リップによるロッキング効果が発揮される。即ち、現行設計概念ではリップのロッキング効果は考慮されていないものの、せん断変形の増加に従ってリップと粒状体とのロッキング効果が期待できることになる。(3) 局所的な補強材張力を計測した結果、最大補強材張力は補強材中心部あるいは、せん断領域で発揮される。この傾向はリップが存在している方が強い。

写真による画像解析法により、せん断領域の形状を供試体内に設置した半田又は色砂層での変形から判断した。全ての写真は無補強土で残留状態に達したせん断変形 45 mm で行った。以下にその特徴を示す。(1) 無補強豊浦砂の中型一面せん断試験では、複数のすべり面を含んだせん断領域が供試体の中央部に観察された。これに対し、小型の一面せん断試験では単一のせん断層が生じた。これらの結果により、無補強の豊浦砂のせん断変形は供試体の大きさによっても影響されることが分かった。また、無補強礫の中型一面せん断試験では、せん断領域の境界ははっきり確認でき、その内部ではほぼ一様なせん断変形を生じていた。(2) ジオグリッドや粗なリン青銅補強材で補強された土では、無補強の場合よりさらに大きなせん断領域が観察された。写真の画像解析から得られたせん断領域の形とひずみ分布からは、補強材が周囲のプリズム上の領域に対して影響を及ぼしていることが分かった。この領域の外側は、無補強の場合と同じ変形をしていた。

初期応力状態 20 または 50 kPa の定体積一面せん断試験を実施し、補強土供試体のダイランシーによる拘束効果について検討した。以下に得られた知見を列挙する。(1) 補強土供試体の鉛直応力とせん断応力の比は、無補強土の定体積一面せん断試験の場合と比べて、それほど大きくはなかった。これは、体積膨張が拘束されていることにより、補強材の引張りひずみがあまり大きくなれないためだろう。(2) 完全な定体積条件でなく、いくらかのダイランシー膨張を許す試験を行うと、せん断強度は定体積試験より小さくなるが、応力比は定体積試験より大きくなった。

定圧一面せん断試験の結果を説明する数値解析モデルを提案した。このモデルでは、供試体内に 1 個のひずみ領域が生じ、その内部ではひずみは一様であると仮定した。また、土は弾塑性を示し、非完全流れ則によるひずみ軟化、ひずみ硬化を示すと仮定した。豊浦砂の供試体での解析では、補強材張力として試験で実測された値が与えられれば、十分な精度が得られた。一方、レキの供試体の試験では、実際の強度より低い結果が得られた。