

近年、擁壁や橋台等の盛土を支える抗土圧構造物として、ジオテキスタイル等の引張り材で補強した盛土を鉛直に近い面を持ち背面では補強材と結合されている鉄筋コンクリート構造物の壁面工で支持する補強土擁壁が広く建設されるようになってきた。また、盛土を安定化した上で法面を急勾配化する工法の施工例も多くなってきた。補強土構造物の設計では、想定荷重による破壊に対して極限安定釣り合い法によって求めた安全率が所定の値以上であり、常時における使用機能を満足させる変形性能があることを確認する。この際必要な情報として最も不明なのが、盛土材の変形強度特性と盛土材と補強材の相互作用の影響である。現在、盛土材としては細砂から礫質土まで非常に広範囲な粒径を持つ土質材料が用いられているが、室内のせん断試験の結果によると、粒径が大きくなっても均等係数が大きくなりせん断強度は増大しない。その一方で、実大補強土構造物の挙動と模型実験による経験では、盛土材の粒径が大きいほど補強土構造物はより安定する傾向にある。しかし、現在の補強土構造物の設計においては、構造物の安定性に対する盛土材の粒径の影響は全く考慮されていない。本研究はこのような背景で行われたものであり、盛土材の材料としてのせん断強度が仮に同一でも、補強土構造物の安定性が補強材との相互作用を通じて盛土の粒径の影響を受けるかどうかについて、補強メカニズムの基本に立ち返って研究したものである。

第1章では、上記の盛土材の粒径が補強土構造物の安定性に及ぼす影響を定量的に研究する工学的必要性をまず説明している。また、盛土材のせん断破壊現象に対する粒径の影響に関する従来の研究の結果をまとめて、盛土材がせん断破壊する際に生じるせん断層の厚さは粒径にほぼ比例することから、補強された盛土内に生じるせん断層と補強材の間の力学的・幾何学的相互作用は粒径の影響を受ける可能性があることを述べている。

第2章では、本研究で用いた小型一面せん断装置（供試体高さ 2 cm, 断面直径 6 cm）及び中型一面せん断装置（供試体寸法は高さ 30 cm, 断面 30 cm x 30 cm）の説明をしている。中型一面せん断装置では水平せん断荷重の載荷点をせん断面近くに移動させ鉛直荷重容量を増加させたこと、小型一面せん断装置ではせん断面に作用する鉛直荷重を正確に測定できるように改善したことを報告している。その結果、豊浦砂のような細砂のせん断層の純粋な変形強度特性は、角形の供試体を用いた小型一面せん断試験によって正確に測定できるが、小型であっても円形の供試体では供試体内に破壊が進行的に生じて上記の測定は出来ないこと、中型一面せん断装置でも供試体内にせん断層が複数発生して厚いせん断域が形成されまた破壊が進行的になるために上記の測定ができないことを明らかにしている。更に、各種の形状と材質を持つ補強材と盛土材の間の境界面におけるせん断特性を求めるために行った一面せん断試験装置の改良を説明している。

第3章では、第2章で説明した一面せん断装置を用いて行った実験の方法を説明している。盛

土材としては、平均粒径が 0.2 mm の豊浦砂と平均粒径が 1.93 mm である礫を用いたこと、補強材としては燐青銅の帯状の補強材、それを格子状に組み合わせた補強材、高分子ジオテキスタイルのグリッド状補強材を用いたこと、一層の補強材をせん断面に鉛直に配置したこと等を説明している。更に、試験後供試体を解体する時に供試体の変形状態を正確に観察するための新しい工夫として、供試体内に細い棒状の彩色した砂と非常に軟質な金属の細い棒をグリースを介してメンブレンで包むことにより補強効果無くしたものを多数鉛直に配置したことを説明している。

第4章では、根幹の補強メカニズムの一つである補強材層・盛土材間の境界面におけるせん断特性を測定した結果を説明している。境界面の粗さが盛土材の粒径より大きい場合は、境界面に沿って盛土材内部にせん断層が形成され、その厚さは盛土材内部で自由に形成されるせん断層の厚さの約 1/2 であること、表面粗さが盛土材料の粒径よりも小さい場合は不完全なせん断層が形成されて不規則なせん断特性が発揮されるか全くせん断層が形成されず境界面に沿って滑動が生じることを明らかにしている。

第5章では、無補強の供試体と補強供試体の一連の実験から得られたせん断応力・体積膨張～せん断変位関係と動員された内部摩擦係数～ダイレイタンシー係数関係等を纏めている。補強材の表面が粗いほど、補強材の剛性が高いほどピーク強度に対する補強効果が大きいことを示している。しかし、ピーク以降の残留状態での強度は、補強材の剛性よりも盛土材と補強材層の間の噛み合わせ効果の方が重要であり、剛性が比較的低い高分子ジオテキスタイルのグリッド補強材が優れた補強効果を発揮することを明らかにしている。更に、同一の補強材でも盛土材の粒径が大きい方が補強によるせん断強度の増加量だけでなく増加率も大きく、粒径効果が見られることを明らかにしている。また、燐青銅製の補強材にストレインゲージを張り付けて測定した補強材の引張り力はせん断域で最も大きく、この測定結果は上記の補強効果を裏付けていることを示している。また、盛土材自身の動員された摩擦角を測定されたダイレイタンシー角から推定する方法を提案している。

第6章は、無補強供試体と補強供試体の内部に発生するせん断層とせん断域を観察・測定した結果を纏めている。せん断域の厚さは、試験後に供試体を解体して直接測定した他、ピーク以降の供試体平均せん断応力～せん断変位関係の勾配と残留状態での究極的なダイレイタンシー量から推定している。その結果、一つの純粋なせん断層の厚さは一面せん断装置の大きさ等の境界条件と補強の有無に依存しないで粒径等の粒子特性によって決まることを明らかにしている。また、中型一面せん断試験では細砂である豊浦砂の無補強供試体の内部には三つのせん断層を含む厚いせん断層が現われるが、礫の無補強供試体の場合はせん断領域は一つの純粋なせん断層そのものであることを示している。更に、補強効果が発揮されるほどせん断域の平均厚さが増加するが、その増加量は盛土材の粒径が大きくなるほど大きいことを実証している。

第7章は、補強盛土材の体積膨張特性は無補強の場合よりも著しく大きくなることから、体積膨張が拘束された状況では拘束圧が増大してより補強効果が大きくなることを示している。上記の効果は、せん断変位量が大きくなるほど著しくなり、有効に補強された盛土材の残留強度は著しく大きくなること、その一方でピーク強度の増加率はあまり大きくないことを示している。

第8章では、以上示した実験結果を力学的に説明するために開発した数学モデルを説明している。まず、盛土材のせん断層のせん断応力～せん断変形～体積変化特性は境界条件と補強の有無に作用されないが、境界条件と補強効果の大小によりせん断域の厚さが大きくなることが基本

であり、測定された供試体のせん断変位量と体積変化量はせん断域の厚さで除して正規化すれば境界条件と補強効果に大小に依存しなくなることを明らかにしている。更に、せん断域の中央高さにおける盛土材に作用する直応力とせん断応力とせん断により傾斜した補強材に作用する引張り力の釣合を測定された補強材引張り力を用いて検討した所、この方法では補強された供試体の平均せん断応力とせん断強度を過大評価することを明らかにした。即ち、本方法は多くの研究者によって提案されているが正しくないことを実証している。一方、せん断域の境界面における盛土材に作用する応力と傾斜していない補強材に作用する引張り力の釣合を測定された補強材引張り力を用いて検討した結果、この方法は補強供試体の平均せん断応力～せん断変位関係とせん断強度を正しく予測できることを示している。さらに、このように検討された数学モデルにより、盛土材の粒径が補強効果に与える影響を定量的に示せることを示している。

第9章では、以上の成果を要約するとともに、補強材引張り力の推定法等今後の課題について述べている。

以上要するに、本研究は盛土材の粒径の大きさにより補強メカニズムと補強効果が変化することとその原因はせん断域の厚さが盛土材の粒径の大きさにより変化するためであることを小型及び中型一面せん断試験を用いた一連の室内実験と理論的考察によって原理的に解明したものである。本研究によって、補強土構造物の設計法が合理化できることが示され、地盤工学の今後の発展に貢献している。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。