

|             |                                        |
|-------------|----------------------------------------|
| 氏 名         | 武 藤 裕 久                                |
| 国 籍 ・ 本 籍   | 愛知県                                    |
| 学 位 の 種 別   | 博士（工学）                                 |
| 学 位 の 番 号   | 甲第295号                                 |
| 学位授与の日付     | 平成30年 3 月20日                           |
| 学位授与の要件     | 名城大学学位規程第 3 条第 3 項該当                   |
| 学 位 論 文 題 目 | 支圧抵抗と摩擦抵抗を併用した補強材を用いた補強土壁工法の開発と耐震性能の評価 |
| 論文審査委員      | 主 査 小 高 猛 司                            |
|             | 副 査 葛 漢 彬                              |
|             | 副 査 石 川 靖 晃                            |
|             | 副 査 野 田 利 弘                            |

## 論 文 内 容 の 要 旨

国土の狭い我が国の道路建設における切土や盛土のなどの土工事では、自然斜面より急勾配な人工斜面を構築する場合が多い。自然斜面より急勾配な人工斜面を構築する場合には、抗土圧構造物や補強土工法などを組み合わせ、常時の安定性を担保している。一方で、1995 年の兵庫県南部地震をはじめとし、近年巨大地震が多く発生しており、建物や土木構造物では高い耐震性能が求められている。その中、補強土工法はブロック積みなどの抗土圧構造物と比較して、被害事例が少なく高い耐震性能が証明されている。しかしながら、被害事例は散見されているが現状である。

補強土工法には、地山を対象とした地山補強土工法と盛土を対象とした補強土壁工法で大別される。その中で、補強土壁工法は盛土材、補強材および壁面材で主に構成される。補強材には、帯状補強材やジオテキスタイルなど土との摩擦力を期待するものとアンカー式補強材のように土の支圧力を期待するものがある。従来の補強土壁工法は、補強材の摩擦抵抗または支圧抵抗のどちらか一方を期待するものであった。筆者らは、新たな補強土壁工法として、支圧抵抗と摩擦抵抗を併用した補強材を用いた補強土壁工法の開発を行った。

本論文では、まず、補強材の引抜き特性を評価するため、小型土中引抜き試験を用いて小型模型の支圧単体補強材、摩擦単体補強材および併用補強材の引抜き試験を実施した。その結果、支圧単体補強材の引抜き試験では①～③の知見が得られた。①引抜き力は支圧抵抗面積の大きさに伴い、大きくなる。②75mm×75mm の支圧プレートを用いた場合の引抜き挙動は補強材どうしの離隔を

200mm 以上とすることで、支圧抵抗面積が同等の 106mm×106mm の支圧プレートを用いた場合の引抜き挙動とほぼ一致する。③1 本のロッドに 2 枚の支圧プレートを設置した 2 連支圧補強材では、支圧プレートどうしの離隔を背面側に設置した支圧プレート幅の 3 倍以上とすることで、効果的に引抜き力が発揮される。摩擦単体補強材の引抜き試験では①～②の知見が得られた。①引抜き力は摩擦抵抗面積が同等の場合、引抜き方向に対して横長の摩擦プレートよりも縦長の摩擦プレートのほうが大きくなる。②摩擦プレートの板厚が厚いほど大きな引抜き力が得られ、摩擦プレートの厚みによる支圧力も考慮することができる。併用補強材の引抜き試験では①～③の知見が得られた。①支圧プレートと摩擦プレートを組み合わせた場合、支圧プレートの影響範囲外に摩擦プレートを配置することで効果的に抵抗力が発揮される。②併用補強材の支圧抵抗成分と摩擦抵抗成分は引抜き初期からそれぞれ発揮される。③全引抜き力に対する摩擦抵抗成分の荷重負担割合は引抜き初期に大きく、引抜き変位の増加に伴い、摩擦抵抗成分の荷重負担割合は低下し、珪砂で 40～50%、御船土で 30～40%で収束する。

また、大型土層を用いた実物大の摩擦単体補強材の引抜き試験では①～②の知見が得られた。①補強材に作用する上載応力が大きいほど、大きな引抜き力が発揮される。②その引抜き力は摩擦プレートの上下面に作用する摩擦力を擁壁等の滑動力で評価し、摩擦プレートの厚みによって発生する支圧力をアンカープレートの引抜き抵抗力で評価し、それらを組み合わせることで評価できる。

さらに、補強土壁の内部に配置した併用補強材、支圧単体補強材および摩擦単体補強材の引抜き試験では①～③の知見が得られた。①支圧単体補強材の引抜き力はアンカープレートの極限引抜き抵抗力で評価できる。②摩擦単体補強材の引抜き力は、大型土槽を用いた引抜き試験より小さな引抜き変位で大きな値が得られた。③併用補強材では小型土中引抜き試験と同様に、引抜き初期から支圧抵抗成分と摩擦抵抗成分がそれぞれ抵抗力を発揮し、その引抜き挙動はそれぞれ単体補強材の引抜き挙動とほぼ一致する。

次に、併用補強材を用いた補強土壁の常時の安定性を評価するため、施工実験と施工現場での常時計測を行った。その結果、①～⑤の知見が得られた。①補強材に作用する軸力は施工時に増加し、施工後はほぼ一定値を示す。②表面保護パネルと摩擦プレート間の補強材軸力はほぼ一定値を示し、摩擦プレートを介し、補強材軸力が低下する。これは表面保護パネルに作用した土圧がタイバーを介し、摩擦プレートと支圧プレートが抵抗力を発揮することを示しており、摩擦プレート前後の補強材軸力の低下量は摩擦プレートが発揮する抵抗力に相当する。③併用補強材のうち支圧抵抗成分と摩擦抵抗成分はそれぞれ施工初期から発揮され、施工完了後はほぼ一定値で推移する。④補強材の引張力に対する摩擦抵抗成分の荷重負担割合は施工初期に大きく、施工完了後には 40%程度に収束する。⑤表面保護パネルの水平変位は施工時に変化量が大きく、施工完了後はほぼ一定値で推移する。これらの結果より、施工完了後に補強材軸力および壁面変位が一定値で推移していることから、併用補強材を用いて構築した補強土壁が安定状態であることが示された。

次に、地震時の安定性について検討を行った。本研究では補強土壁の長期計測を行っていたところ平成 24 年および平成 25 年に東日本大震災の余震による動的計測データが得られた。その結果、①～⑤の知見が得られた。①基礎地盤上の加速度スペクトルに対する補強土壁内の加速度スペクトルの伝達関数は 6Hz あたりの振動数が大きく、本補強土壁の固有振動数が 6Hz であると推測される。

②計測された地震の卓越振動数は 1～3Hz であり、本補強土壁の固有振動数とは異なっていた。③支圧抵抗成分と摩擦抵抗成分は地震初期からともに抵抗力を発揮する。④補強材の設置深さが浅い場合には支圧抵抗成分が、補強材の設置深さが深い場合には摩擦抵抗成分が効果的に抵抗力を発揮する。⑤地震時にはタイバーによる摩擦力が発揮し、常時とは異なる補強材抵抗力の発生機構であった。以上の結果より、地震時にも支圧抵抗成分と摩擦抵抗成分が効果的に抵抗力を発揮することが示された。

さらに、2次元動的 FEM 解析を用いて施工実験の検証解析を行うとともに、レベル 2 地震に対する耐震性の評価および壁高の高い補強土壁の耐震性の評価を行った。検証解析では①～②の知見が得られた。①地震時の補強土壁内部の全応力および偏差応力の変化量は補強土壁の下部ほど大きくなる傾向が示され、偏差ひずみは補強土壁全体に発生するが、支圧プレート背面側の発生量が大きく、表面保護パネルと支圧プレートに拘束された領域が一体となって挙動する。②地震時の表面保護パネルの最大水平変位は 2.35mm 程度であったが、残留変位は小さく、補強土壁も変形していなかったことが示された。レベル 2 地震を作用させた解析では①～③の知見が得られた。①動的計測結果と同様に補強材の設置深さが浅いほど補強材軸力および支圧抵抗成分の振幅が大きく、深いほど摩擦抵抗成分の振幅が大きくなる。②従来の補強土壁における地震時の内的安定検討では、主働土圧に設計水平震度を加算して、土圧を算出することが一般的であり、補強材の設置深さに比例して補強材に発生する軸力は大きくなるが、これらの理論とは異なる結果であった。③表面保護パネルの水平変位の残留値は 12mm 程度で既往の研究結果より小さな変位であり、高い耐震性が示された。補強土壁の壁高 9.6m を仮定した場合の解析では以下の知見が得られた。表面保護パネルの残留変位はレベル 2 地震で約 72mm、正弦波（最大加速度 800gal, 2Hz, 20 波）で約 487mm であり、壁高で正規化した変位はそれぞれ約 1%, 約 5%であった。この結果は、補強土壁の既往の研究とほぼ同等の傾向であった。以上の結果より、レベル 2 程度の地震が作用した場合でも高い耐震性が示し、他の補強土壁と比較しても同等以上の耐震性があることが示された。

以上が本論文の主な成果であり、支圧抵抗と摩擦抵抗を併用した補強材の引抜き特性、その補強材を用いた補強土壁の常時および地震時の安定性を明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、支圧抵抗と摩擦抵抗を併用した補強材を用いた補強土壁工法を新たに開発した上で、室内模型実験ならびに現場実大実験を実施して、併用補強材の平常時の実用性ならびに有用性を検証すること、ならびに、地震時現場計測ならびに動的解析を実施してこの提案補強土壁の耐震性能を評価することを目的としている。その結果、常時ならびに地震時のいずれにおいても、併用補強材は効率的な補強効果を発揮し、それを用いた新たな補強土壁構造物は高い安定性を保持することを実証した。全7章で構成されている。

第1章では、補強土壁の現状を整理し、新たな補強土壁工法が提案されている。第2章では、提案する支圧抵抗と摩擦抵抗を組み合わせた併用補強材の構造およびその補強材を用いた提案補強土壁工法の設計計算が提案されている。第3章では、併用補強材を用いた小型土中引抜き試験が実施されている。その結果、併用補強材においては引抜き初期に摩擦抵抗成分が発揮され、その後引き抜き変位の増加に伴い支圧抵抗成分が発揮されるという併用補強材独自の抵抗力発生メカニズムを明らかにしている。第4章では、実物大施工実験によって提案補強土壁の長期安定性を実証したとともに、併用補強材の摩擦成分は土被りが小さい位置で、支圧成分は土被りが大きい位置で効果的に抵抗力を発揮するという併用補強材独自の特徴を明らかにしている。第5章では、提案補強土壁の実物盛土による余震観測を行い、地震時の補強材ひずみ量という極めて貴重なデータの取得に成功している。その観測データの分析によって、提案補強土壁は地震中には土被りが小さい補強材の設置位置において支圧抵抗力が効率的に発揮される抵抗力発揮メカニズムを明らかにしている。第6章では、FEMによる数値解析によって、5章の現場計測のシミュレーションを実施して解析モデルの妥当性を示した上で、提案補強土壁にレベル2相当の地震動が作用した場合にも、支圧抵抗と摩擦抵抗が効果的に抵抗力を発揮し、高い耐震性能が発揮されることを明らかにしている。さらに、壁高が高い場合であっても水平変位を小さく抑えることができ、高い耐震性能を有することを示した。第7章では、研究全体を総括し結論が述べられている。

以上のように、本博士論文は学位論文としての条件を備えていると評価できる。従って、学位を授与することを妥当なものと判断する。