

## 論文の内容の要旨

論文題目 補強土構造物の耐震安定と変形性の実験的研究

Experimental study on seismic stability and deformation characteristics  
of reinforced soil structures

氏名 篠田昌弘

鉄道、道路の高架構造物の橋台や橋脚など、変形に対して厳しい基準の設けられている構造物には、これまでほとんどの場合、土構造物ではなく鉄筋コンクリート（RC）構造物が採用されている。これは土構造物が RC 構造物に対して、強度が低い、剛性が低い、地震時にかなり大きな揺り込み沈下やせん断変形などの許容できない変形を起こすなどの弱点をもつからである。ジオテキスタイル補強盛土の特徴の一つは、補強材が面状であることから土との接触面積が大きく、その結果、適切にジオテキスタイル補強材を配置した上で土を良く締固めておけば安定した構造となることである。また、排水機能を付加した補強材（不織布や不織布と織布との複合材等）を用いることにより、粘性土に対しても適用可能になるので、使用できる盛土材料の範囲が広くなり、現場発生土を有効に利用できる利点がある。また、基礎地盤が軟弱な場合は、重力式・L型擁壁では杭基礎が必要となり工費が高くなるが、補強土擁壁では多少の地盤沈下に伴う変形に対応できる柔軟性があるので、杭基礎を省略できる。その他、盛土などの補強土構造物は延性的であるため、大地震などでも致命的な破壊に至らず柔軟に対応できる可能性がある。また、崩壊に至らない場合は修復しやすいという特徴を持つ。さらに基本的な特徴として、補強土構造物は RC 構造物と比較して、総合工費が経済的であり、工事期間も比較的短い。

本研究は、従来の補強土工法の「補強土擁壁の変形性が RC 構造物より大きい、すなわち剛性が低いという潜在的欠点」、すなわち土がある程度変形しないと強度を発揮しないこ

と、剛性が比較的低いこと、クリープ変形が生じやすいこと、地震時の変形が小さくないことなどを改善することを目的としたプレロード・プレストレスト補強土工法（PL・PS補強土工法）に関する研究である。この工法はジオテキスタイルを用いて、補強した盛土にタイロッドにより鉛直方向にプレロードとプレストレストを加えることによって、盛土を弾性化し盛土内の拘束圧を高めせん断抵抗と剛性を飛躍的に増加させる工法である。

本研究では、まず交通荷重を模擬した繰返し荷重を受けた時のプレロードとプレストレストの影響を明確にするために、現場で使用される盛土材料として粒度調整砕石を用いて軸方向繰返し載荷模型実験を行った。1997年に行なった裏込め材として豊浦標準砂を用いた軸方向繰返し載荷模型実験の結果との比較を行なった。実験結果全体を終結すると以下のことが分かった。

- ①粒度調整砕石を用いた場合でも、プレストレスト荷重が小さいほど繰返し載荷時の残留ひずみが小さくなるとは限らず、プレストレストがゼロに近くなると逆に残留ひずみが大きくなる。
- ②粒度調整砕石を用いた場合でも、プレストレストをプレロードの半分に設定すると、繰返し中の残留ひずみが最も小さくなる。
- ③プレストレストレベルが最も小さくなるほど、残留ひずみの値に対する裏込め材の影響が大きくなる。すなわち、粒度調整砕石の場合の残留ひずみは、豊浦標準砂の場合の残留ひずみよりもかなり小さかった。
- ④粒度調整砕石の場合でも、土の等価変形係数は基本的にプレストレストの値に支配されて、プレロードにはほとんど影響されない。
- ⑤裏込め材に粒度調整砕石と豊浦標準砂を使用した場合、等価変形係数はほとんど同じである場合でも、残留ひずみは粒度調整砕石の場合の方がかなり小さくなる。

次に高い地震荷重が作用した時のPL・PS補強土構造物の耐震性を検討するために、入力加速度700gal、入力振動数5Hzと10Hzで模型振動台実験を行った。既往の研究によると、揺り込み沈下によりプレストレストが抜け、そのために模型構造物の固有振動数が低下する。このために共振が起こる可能性があった。本研究では、プレストレストを維持しかつ曲げ振動を抑制する「ラチェット機能付きプレストレスト維持装置（略してラチェット装置）」を開発した。模型振動台実験により、その装置を設置したときのPL・PS補強土構造物の耐震性を検証した。その結果、入力振動数がPL・PS補強土構造物模型の初期固有振動数よりも低い5Hzでラチェット装置をつけない場合、プレストレストが抜けて共振が起きた。一方、ラチェット装置を設置することで、プレストレストを維持できて共振の発生を防ぐことができ、また曲げ振動を大幅に抑制させることに成功した。さらに耐震性を高めるためには、破壊しない程度にプレストレストを増加させれば、曲げ変形や揺り込み沈下をさらに抑制できることがわかった。入力振動数がPL・PS補強土構造物模型の初期固

有振動数に近い 10Hz の場合、ラチェット装置を設置すると共振したが、共振してもラチェット装置は機能して、このため構造物として破損しなかった。また、破損しないまま 10% もの大きな減衰率を出す能力があり、その結果応答倍率も比較的低い値に収まった。

PL・PS 補強土構造物は、地震時に共振が生じないように設計する必要がある。そのためには、この構造物の固有振動数を推定する必要がある。この目的のため、模型を剛体と仮定して、弾性梁理論を適用しモデル化を行なった。曲げ変形とせん断変形の変形モードのそれぞれの固有振動数を求める式を誘導した。振動台実験に関しては、プレストレスレベルが高い場合、上記の式により求めた値と実験値はほぼ同値であり、上記の式は高い精度を示した。一方、プレストレスレベルが低い場合は、推定固有振動数は高めの値となった。これは、予測式に用いた盛土のヤング率はひずみが 0.05% の時の推定値であるが、プレストレスが小さくなると、盛土のひずみがこれ以上大きくなるためヤング率が低下したのが原因である。

実物 PL・PS 補強土工法により建設した鉄道橋脚構造物の衝撃試験を行い、固有振動数を求めた。その結果以下のことがわかった。

- ①橋軸（橋桁）直角方向に加振した場合、打撃位置によって若干異なるが、固有振動数は 7～8Hz 程度であった。水平方向では打撃位置にほとんど一致しているが、鉛直方向の固有振動数は若干ではあるがばらついていて、打撃位置との関係は不明瞭であった。
- ②橋軸（橋桁）方向に加振した場合も打撃位置によって若干異なるが、水平方向の固有振動数は 9～10Hz 程度であった。一方、鉛直方向の固有振動数は水平方向とほぼ一致する場合と 0.2Hz 程度と極端に小さくなる場合があった。打撃位置との関係は不明瞭であった。
- ③実際の PL・PS 補強土橋脚は、地盤も構造物と共に大きく変位するロッキング振動であることがわかった。固有振動数を求めるなどのモデル化を行なう際には、地盤の影響も併せて考察する必要があることがわかった。

上記の推定式を実構造物に適用した結果、地盤の影響、壁面の影響により、推定固有振動数は計測値よりもかなり大きくなった。精度を上げるためには、地盤の影響も含めたモデル化を行なう必要があることがわかった。

以上の研究結果から、プレローデッド・プレストレス補強土構造物は、重要永久土木構造物として利用可能であることが確認された。また、ラチェット機能付きプレストレス維持装置をタイロッド上部に設置すれば、さらに高い地震時の安定性を得られることがわかった。