

パイルスラブ式盛土の改良杭頭部に用いる ジオテキスタイル土のうの動的特性

藤井 公博¹⁾・鈴木 素之²⁾・近藤 政弘¹⁾・小島 謙一³⁾

¹⁾ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社, ²⁾山口大学大学院創成科学研究科,

³⁾公益財団法人 鉄道総合技術研究所

1. はじめに

新幹線の軌道構造は、軌道の変形が非常に小さく、有床道軌道と比べて保守作業を低減可能な省力化軌道（スラブ軌道等）が一般的に用いられている。この省力化軌道を盛土に適用する場合、盛土には高い性能が要求され、盛土沈下に伴う軌道沈下を抑制するために盛土材は良質な材料が用いられる。一方、トンネルずり等の建設発生土を盛土材として利用することは、環境面・経済面において有効であるが、建設発生土が省力化軌道を支持する高規格な盛土の盛土材として必ずしも適している訳ではない。このため、筆者らはコンクリート路盤をジオテキスタイルを敷設した補強盛土内に地盤改良杭を打設し、杭頭部に設置したジオテキスタイル土のうを介して支持することで盛土材によらず高規格盛土としての性能を有する盛土工法（パイルスラブ式盛土）の検討を行っている^{例えは1),2)}。

図-1 にパイルスラブ式盛土の概要を示す。コンクリート路盤と地盤改良杭は、杭頭部に設置したジオテキスタイルを用いた大型土のう（以下、ジオテキスタイル土のうと略記）を介して接続する構造（以下、パイルスラブ構造と略記）である。ジオテキスタイル土のうは L2 地震といった大規模地震時においても杭頭部とコンクリート路盤間の碎石の拔出しを防止し、コンクリート路盤自体は沈下せず軌道の変形を抑える構造となっている。また、ジオテキスタイル土のうという柔構造部材であるため、地震時に地盤改良杭から伝達するコンクリート路盤への応答を抑制し、地盤改良杭への応力発生、損傷を防ぐ効果を期待したものである。パイルスラブ式盛土については、これまで 1/10 スケール模型に対する振動台実験¹⁾やジオテキスタイル土のうの実大規模模型に対する水平載荷試験等²⁾により、主に耐震性について十分な性能を有していることを確認してきた。今後、杭頭部に設置するジオテキスタイル土のうの動的応答メカニズムを明らかにし、地震時減衰効果を考慮可能となれば、合理的な設計手法構築に資する可能性がある。そこで、実応力レベルに即したパイルスラブ式盛土のジオテキスタイル土のう模型に対し振動台実験を行い、地震時の動的挙動や動的特性の検討を行った。本稿では、実施した模型振動台実験の実験方法及び結果について報告する。

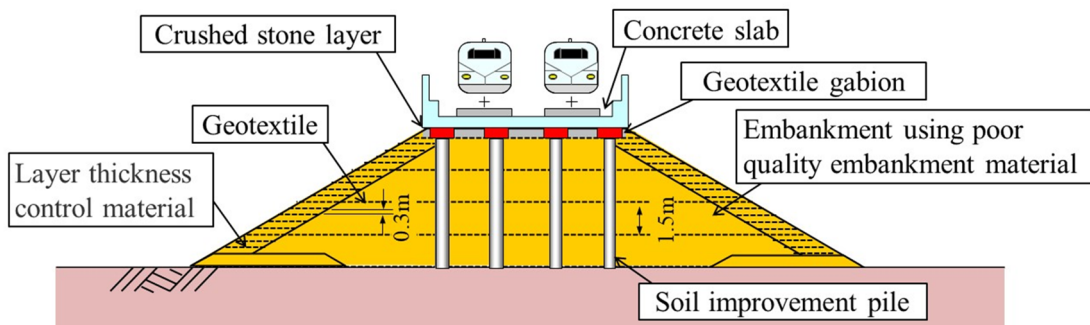


図-1 パイルスラブ式盛土概要図

2. ジオテキスタイル土のう模型に対する振動台実験

2.1 実験概要

振動台動台実験は、山口大学が所有する幅 2.5m×奥行 1.2m の振動台を用いて実施した。ジオテキスタイル土のうは実物寸法（縦 1.2m×横 1.2m×高さ 0.15m）であるが、実験では振動台の寸法を考慮し、ジオテキスタイル土のう模型は平面的に 1/4 スケールとなる縦 0.3m×横 0.3m×高さ 0.15m とし、加振方向に 2 箇所配置した。

図-2 にジオテキスタイル土のう模型作製イメージを示す。模型は、あらかじめ所定の大きさ（縦 0.3m×横 0.8m）に裁断したジオテキスタイル（製品保証値 81kN/m）2 枚を直交方向に敷設後、粒度調整砕石（M40）を締め度 97%程度で締め固めた中詰め土のうを 2 段設置し、ジオテキスタイルを折り返すことで作製した。なお、パイルスラブ式盛土ではジオテキスタイル土のう下面と杭頭部は非固定であるが、本実験ではジオテキスタイル土のう自体の動的挙動や動的特性を評価することに着目し、ジオテキスタイル土のうに対しては厳しい条件となるが、ジオテキスタイル 2 枚を直交に敷設後、コンクリートを直接打設することでジオテキスタイル土のう下面と基礎コンクリートを固定することとした。また、ジオテキスタイル土のう配置後にコンクリートを直接打設することで、パイルスラブ式盛土と同様、コンクリート路盤とジオテキスタイル土のう上面を固定している。コンクリート路盤模型はジオテキスタイル土のう模型に作用する上載荷重が実物と同じ 15kN/m²となるよう大きさ（縦 0.78m×横 1.50m×高さ 0.55m）を設定し、ジオテキスタイル土のう模型は平面的には 1/4 スケールであるが、実物と同じ応力状態を再現した。

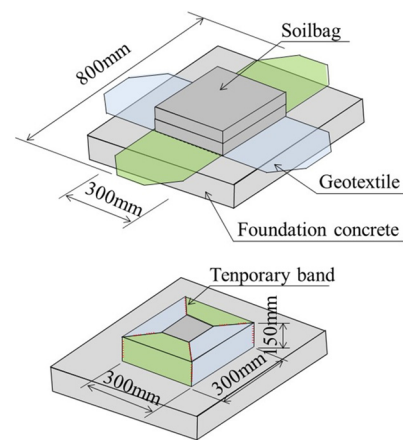


図-2 土のう模型製作イメージ

2.2 実験条件

図-3 に計測機器配置図を示す。計測は、コンクリート路盤の沈下、水平変位、加速度及びジオテキスタイルのひずみである。沈下は、加振によるジオテキスタイル土のうのせん断変形に伴うコンクリート路盤の沈下や傾きの有無を確認することを目的にコンクリート路盤上面に 4 箇所設置した。水平変位はコンクリート路盤中心高とし、加振に伴いコンクリート路盤が回転しないことを確認するため、線路方向に 2 箇所レーザー変位計を設置した。加速度計は、コンクリート路盤天端中心部に設け、ひずみゲージはジオテキスタイル土のうがせん断変形する際にジオテキスタイルが粒度調整砕石を拘束する効果を確認するため、加振方向のジオテキスタイル土のう側面に 1 箇所ずつ計 2 箇所貼り付けた。

入力波は正弦波 20 波、周波数 2.5Hz とし、実験は入力加速度 100gal から 900gal までの 100gal 毎の段階加振を行った。

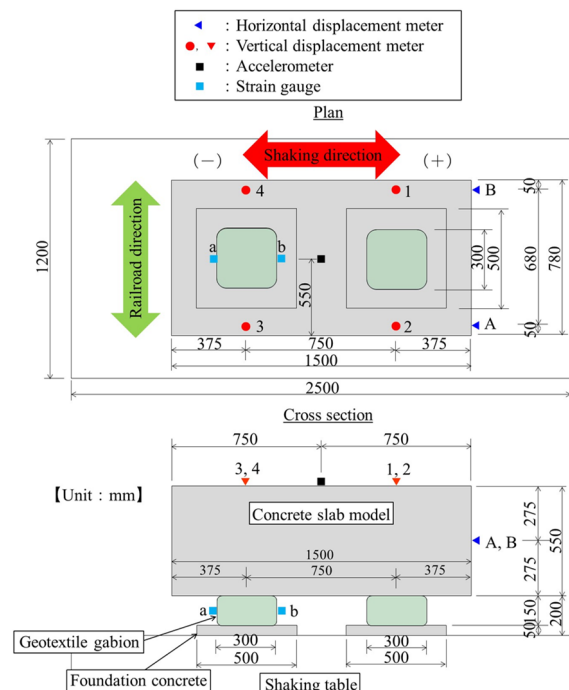


図-3 計測機器配置図

3. 実験結果

3.1 供試体の残留変位

図-4に各加振後の残留鉛直変位と入力加速度の関係を示す。実験の結果、300galまでは全ての計測点でコンクリート路盤の沈下はゼロに近い値であった。測点3では、400gal以降、徐々に残留鉛直変位の増加が確認された。最終加振である900gal加振後の最大残留鉛直変位は測点3で約2.0mmと土のう高に対して高々1.3%と微小な値であり、土のう形状を保持していることが確認された。

なお、各測点間で残留鉛直変位量に多少の違いがみられるが、これはコンクリート路盤を2つのジオテキスタイル土のうによる加振方向での2点支持としたため、加振に伴い測点3の一方方向に変形が表れたものと考えられる。実際のパイルスラブ式盛土では、コンクリート路盤を線路直角方向（本実験での加振方向）だけでなく、線路方向においても多点支持となるため、一方方向に鉛直変位が残留するような現象は生じないと考えられる。

図-5には、各加振後の残留水平変位と入力加速度の関係を示す。残留水平変位は残留鉛直変位と同様、300galまでゼロに近い値であった。400gal加振後は揺れ戻しの影響により小さい値であるが、500gal以降は一方方向に累積し、900gal加振後の残留水平変位は測点Aで1.6mm、測点Bで1.2mmとなり土のう高に対し約1%と微小な変位であった。また、測点間の残留水平変位差は約0.4mmと微小であり、加振に伴うコンクリート路盤の回転はみられず一方方向に加振することができた。

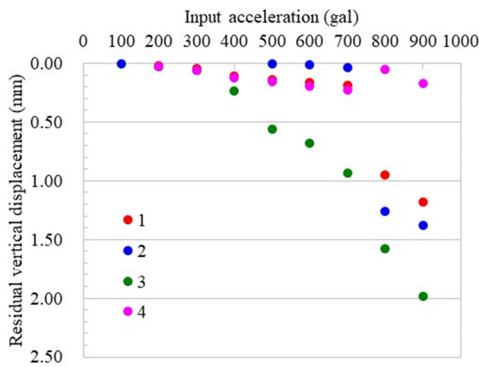


図-4 残留鉛直変位と入力加速度の関係

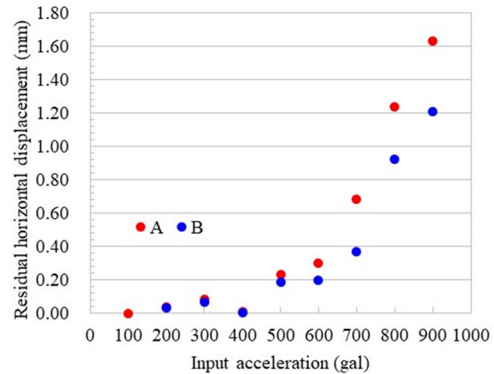


図-5 残留水平変位と入力加速度の関係

3.2 加振に伴うジオテキスタイル土のうの応答結果

図-6に、過去に実施した土のう下端を固定した正負交番水平載荷試験²⁾のせん断ひずみ 1×10^{-6} 時の値を G_0 として、今回実施した振動台実験結果であるジオテキスタイル土のうのせん断剛性より算出したせん断剛性比 G/G_0 と各加振後の残留せん断変位をジオテキスタイル土のうの高さで除した残留せん断ひずみ γ の関係を赤線で示す。また、正負交番水平載荷試験結果であるジオテキスタイル土のうの $G/G_0 \cdot \gamma$ を青線²⁾で示す。ここで G_0 に正負交番水平載荷試験結果を用いた理由は、両試験ともジオテキスタイルは同じ製品（製品保証値81kN/m）を用いており、土のうの中詰め材もM40であるため、微小なひずみレベルにおいては両試験とも同等な G_0 を示すものと考えられるためである。振動台実験では揺れ戻しのあった400galは除外し、300galと500gal間は破線で結んでいる。振動台実験結果と正負交番水平載荷試験結果を比較すると、ほぼ同等の G/G_0 であった。加振に伴いせん断剛性比は大きく低下していき、300gal以降は0.1以下と小さくなっている。このため、コンクリート路盤の残留変位は、加振に伴い中詰め材であるM40が塑性化する400gal以降で徐々に表れたものと考えられる。

図-7には、ジオテキスタイルの各加振後の残留ひずみと入力加速度の関係を示す。400gal以降、測点aでジオテキスタイルの引張りが確認される。図-4、5に示したように残留水平変位では400galで

揺れ戻しの影響があるものの、これ以降で鉛直、水平ともに残留変位が徐々に増加している。また、**図-6**に示すようにせん断剛性比は0.1以下と小さく、加振に伴い粒度調整砕石が塑性化するにつれてせん断変形は大きくなろうとするが、ジオテキスタイルが粒度調整砕石を拘束することで土のう形状を保持し、せん断変形を抑制する際にジオテキスタイルに引張りが発生しているものと考えられる。

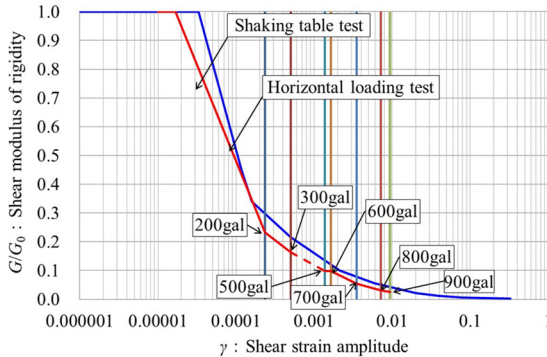


図-6 ジオテキスタイル土のうの $G/G_0-\gamma$

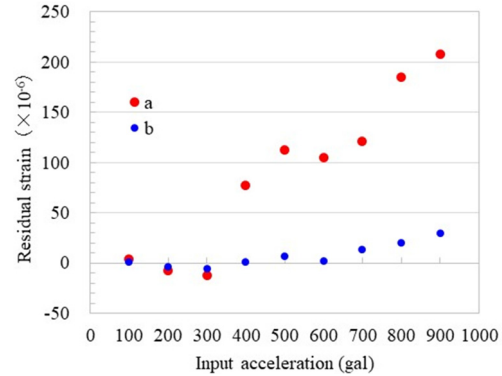


図-7 残留ひずみと入力加速度の関係

3.3 コンクリート路盤の応答加速度

図-8に、コンクリート路盤の最大応答加速度を入力加速度で除した加速度応答比を示す。300gal までは加速度応答比の応答増幅が確認されるが、500gal 以降は加速度応答比が1.0以下となり、700gal 以降では0.8程度とジオテキスタイル土のうの減衰効果が確認された。

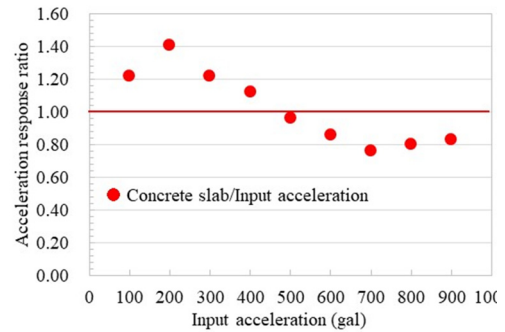


図-8 加速度応答比と入力加速度の関係

4. まとめ

実物と同じ材料、同じ応力状態を再現したパイルスラブ式盛土のジオテキスタイル土のう模型に対し振動台実験を実施した。実験の結果、ジオテキスタイル土のうは900gal 加振においても残留変位は微小であることを確認した。加速度が大きくなるにつれて、ジオテキスタイルの包み効果により加振時の粒度調整砕石のせん断変形を抑制するものと考えられる。また、700gal 以降のコンクリート路盤の加速度応答比は0.8程度であり、ジオテキスタイル土のうの減衰効果が確認された。

謝辞

本研究は、(公財)土科学センター財団の助成を受けて実施したものである。また、山口大学技術職員である牧原貴之氏、(有)中原鉄工所、新光産業(株)、トキワコンサルタント(株)及び鈴木素之研究室の学生の皆様には多大なるご協力を頂いた。ここに、謝意を表す。

参考文献

- 1) 野中隆博, 小島謙一, 瀧山清美, 森野達也, 陶山雄介, 青木一二三: 改良杭頭部にジオテキスタイル土のうを用いたパイルスラブ式盛土の振動実験について, ジオシンセティック論文集, 第28巻, pp.73-80, 2013.
- 2) 藤井公博, 野中隆博, 小島謙一, 陶山雄介, 青木一二三: 路盤を杭で支持するための大型土のうの特性, Geokanto2013, A0172, 2013.