

パイルスラブ式盛土におけるジオテキスタイル土のう模型に対する振動台実験

Shaking Table Test of A Geotextile Gabion Model between The Head Part of Improvement Pile and Concrete Slab

藤井 公博¹⁾, 鈴木 素之²⁾, 近藤 政弘³⁾, 小島 謙一⁴⁾

1) Kimihiro FUJII, ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)広島支店, fujii_k@jrnc.co.jp

2) Motoyuki SUZUKI, 山口大学大学院創成科学研究科, msuzuki@yucivil.onmicrosoft.com

3) Masahiro KONDOU, ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)土木設計本部, kondou.masa@jrnc.co.jp

4) Kenichi KOJIMA, (公財)鉄道総合技術研究所鉄道地震工学研究センター, kojima.kenichi.03@rtri.or.jp

トンネル工事等により発生する建設発生土の有効利用を図るため、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、これによりコンクリート路盤を支持する盛土構造（パイルスラブ式盛土）の開発を行っている。本研究では、地盤改良杭頭部に設置するジオテキスタイル土のうの動的特性を確認するため、ジオテキスタイル土のう模型に対する振動台実験を実施し、ジオテキスタイル土のうが L2 地震動相当の加速度においてもコンクリート路盤の変形を抑制することを確認した。また、500gal 以上の加速度においてコンクリート路盤の応答加速度が低減することを確認した。

キーワード：パイルスラブ式盛土、ジオテキスタイル土のう、模型振動台実験

(IGC : D-7, H-6)

1. はじめに

新幹線の軌道構造は、軌道をコンクリート路盤やアスファルト路盤で直接支持する省力化軌道（スラブ軌道）が用いられている。省力化軌道は、軌道面での変形量が少なく維持管理上の利点を有しており、近年、盛土等の土構造物においても標準的に用いられている¹⁾²⁾。このような省力化軌道を支持する新幹線盛土は高い性能が要求され、盛土沈下に伴う軌道沈下抑制のため良質な盛土材料が用いられる。一方、盛土材として建設発生土を利用することは、環境面・経済面において有効である。しかし、建設発生土はこのような高規格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、盛土材によらない高規格盛土構造としてジオテキスタイルを敷設した良質でない盛土材を用いた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と併せてコンクリート路盤を支持する盛土工法（パイルスラブ式盛土）の検討を行っている^{3)~10)}。

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（ジオテキスタイル土のう）を介して接続する構造（以降、パイルスラブ式構造と記載）となっている。ジオテキスタイル土のうは、図-2 に示すように、L2 地震といった大規模地震時において杭頭部とコンクリート路盤間の碎石の抜出しを防止することで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

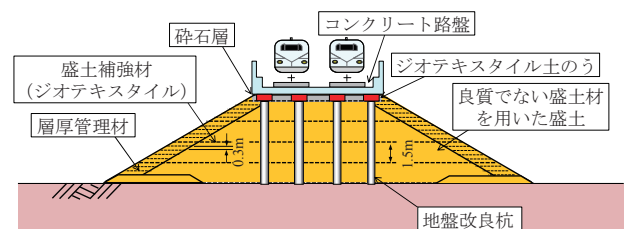


図-1 パイルスラブ式盛土の概要

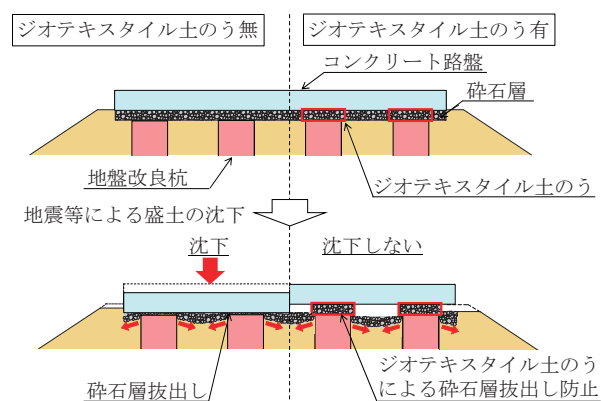


図-2 ジオテキスタイル土のうによる地震時沈下の抑制

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、損傷を防ぐものである。

土のうに関する研究としては、土のうによる基礎補強

として、松岡ら¹¹⁾は支持力模型実験により、土のうに鉛直荷重が作用することで発生した土のうの鉛直方向の圧縮変形に伴う土のう袋の張力により、中詰め材の圧縮に伴う変形を拘束し、中詰め材単体より高い支持力が得られることを確認している。

また、山本ら¹²⁾は、実物土のう積層体に対して繰返しせん断試験を行い、土のう積層体が高減衰構造体であることを示した。さらに、松岡ら¹³⁾は建物基礎部に土のう積層体を配置し、建物外部に震源を設けて建物中の振動計測を行うことで、土のう積層体が高い強度・支持力特性を持つだけでなく、振動低減特性も有していることを確認した。土井ら¹⁴⁾は軟弱地盤に打設した小径杭と橋脚等の直接基礎フーチングを分離させ、杭頭に土のうを複数段積層したものを敷設して直接基礎を構築した「小径杭併用土のう基礎」に対して模型振動実験や数値解析等を行い、地震時にフーチングの浮き上がりによる長周期化により、基礎に作用する応答加速度の頭打ち効果を確認している。これらの研究により土のうは地盤支持力を増大させるだけでなく、免振効果も期待できることが確認されている。なお、これらの研究では構造物基礎下端に土のうを配置するものであり、土のう単体に作用する荷重はパイルスラブ式盛土のコンクリート路盤下に設置するジオテキスタイル土のうと比較し極めて大きい。

パイルスラブ式盛土においては、これまで1/10スケール模型に対する振動台実験⁹⁾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荷重試験等^{7),8)}により、ジオテキスタイル土のうはパイルスラブ構造として十分な性能を有していることを確認してきた。今後パイルスラブ式構造におけ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、地震時減衰効果をパイルスラブ式盛土において考慮することが可能となれば、合理的な設計手法の構築に資する可能性がある。

そこで、パイルスラブ式盛土におけるジオテキスタイル土のうについて、実応力レベルに即した模型振動台実験を行い、地震時の動的挙動や動的特性の検討を行った。本論文では、実施した模型振動台実験の実験方法及び結果について述べる。

2. パイルスラブ式盛土におけるジオテキスタイル土のうの役割

2.1 ジオテキスタイル土のうの概要

図-3にジオテキスタイル土のう概要図を示す。ジオテキスタイル土のうは、 $\Phi 1.0\text{m}$ の改良杭頭部全体を覆う大きさである縦1.2m×横1.2m、高さ0.15mの座布団形状である。なお、パイルスラブ式盛土においてはジオテキスタイル土のう下面と改良杭頭部は非固定であり、水平荷重に対して土のうと改良杭頭部との摩擦で水平抵抗する構造となっている。これは、強振動の際にジオテキスタイル土のうが杭頭部上を水平方向に滑動することで改

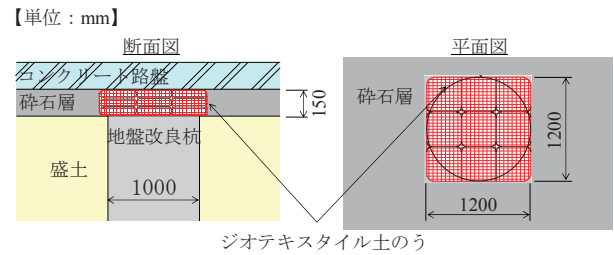


図-3 ジオテキスタイル土のう概要

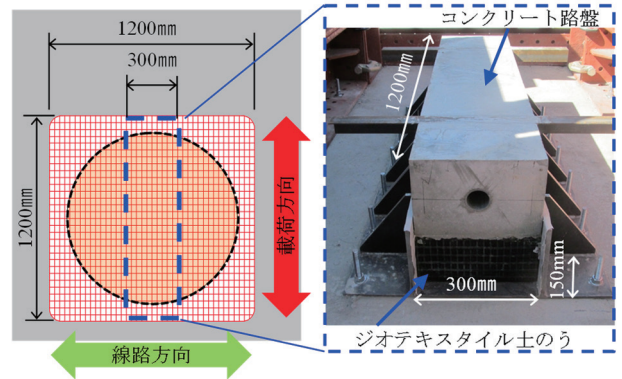


図-4 供試体概要

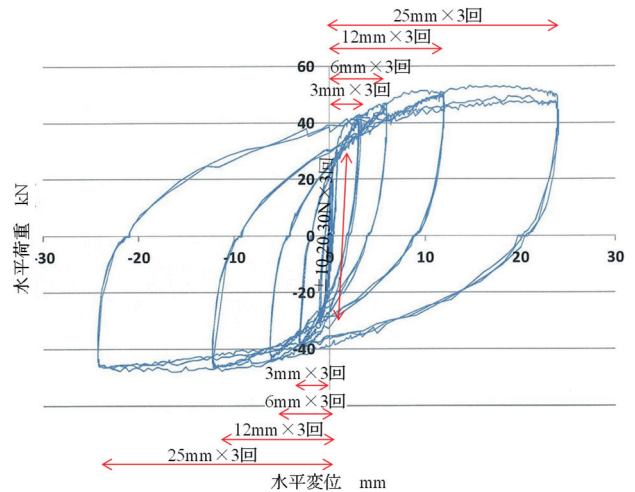


図-5 水平荷重—水平変位の関係

良杭からコンクリート路盤へ伝達する振動の減衰効果を期待したものである。一方、コンクリート路盤とジオテキスタイル土のう上面は、実施工を考慮し、ジオテキスタイル土のう上面に直接コンクリートを打設することで結合する構造としている。

2.2 パイルスラブ式盛土のジオテキスタイル土のうに着目した試験

これまで実施してきたジオテキスタイル土のうの実大規模模型に対する水平荷重試験のうち、ジオテキスタイル土のう下面と杭頭部を固定した状態の供試体に対して実施した水平荷重試験の概要を記す。なお、実験の詳細は参考文献⁸⁾を参照されたい。

供試体は、図-4に示すようにジオテキスタイル土のう

の一部を再現する形状である。載荷試験は、杭1本に作用する上載荷重 120kN/本を面積換算した 43kN を死荷重として与えた状態で、死荷重の 1.0G 相当を目標荷重とし、荷重制御で 10kN, 20kN, 30kN, 43kN を各 3 回正負繰返し載荷した。なお、コンクリート路盤の水平変位量 3mm 以降は最大変位量 150mm とする変位制御に切替えた。

図-5 に載荷重と水平変位量（平均値）の関係を示す。試験の結果、水平荷重±30kN までは荷重載荷後の水平変位が 0mm 付近まで戻っており、弾性域であると考えられる。水平変位に伴う荷重の増加は、1.2G 相当の荷重まで増加しており、以降は、変位は増加するが荷重は 50kN 程度の一定値となっている。また、繰返し載荷時における履歴ループはほぼ同じ形状を示しており、再現性の高い履歴特性を有していることが確認された。

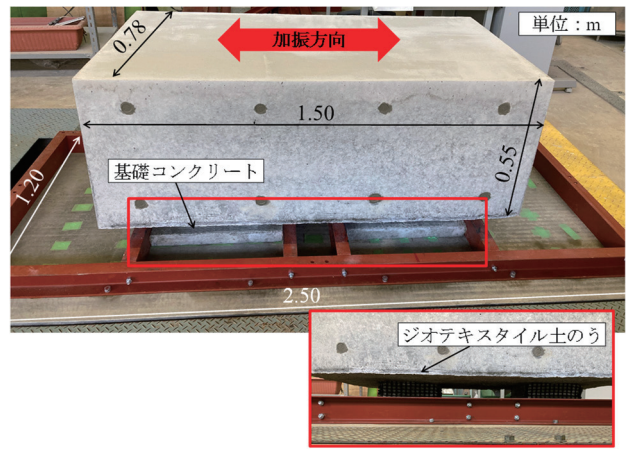


図-6 供試体全景

3. ジオテキスタイル土のう模型の振動台実験

3.1 実験概要

振動台実験は、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模型は、実物寸法(縦 1.2m×横 1.2m×高さ 0.15m)に対し、振動台の寸法を考慮して平面的に 1/4 スケールとなる縦 0.3m×横 0.3m×高さ 0.15m を加振に伴うコンクリート路盤の加振方向への傾きを抑制するため、加振方向に 2 箇所配置した。

図-6 に供試体の全景を示す。本供試体は、ジオテキスタイル土のう模型は平面的に 1/4 スケールであるが、ジオテキスタイル土のうに作用する上載荷重を実物と同じ 15kN/m² となるようコンクリート路盤模型の大きさ(縦 0.78m×横 1.50m×高さ 0.55m)を設定しており、実物と同じ応力状態を再現している。

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改良杭頭部は非結合とすることにより、強振動の際にはジオテキスタイル土のうが杭頭部上を水平方向に滑動することで地震時に生じるコンクリート路盤の水平変位を抑制する効果を期待している⁹⁾。しかし、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正確に評価することに着目していることから、土のうに対しては厳しい条件であるが、ジオテキスタイルに基礎コンクリートを直接打設することで土のう下面と基礎コンクリートを固定することとした。ジオテキスタイル土のう模型製作方法の詳細は「3.2 ジオテキスタイル土のう模型」に示す。また、加振時に基礎コンクリートを振動台上で滑動させないように、基礎コンクリート両端に鋼材を配置し、鋼材と振動台をボルト留めすることで基礎コンクリートを固定した(図-7)。

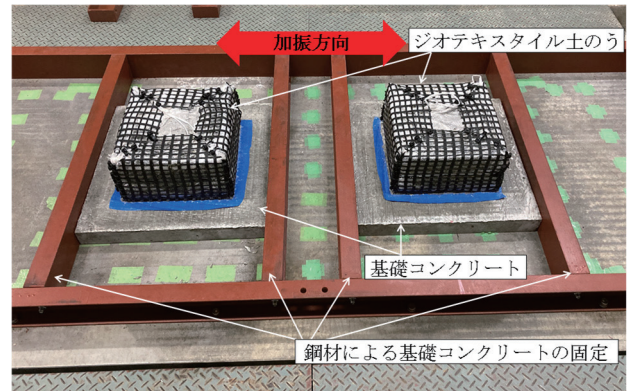


図-7 振動台へのジオテキスタイル土のう設置状況

3.2 ジオテキスタイル土のう模型

ジオテキスタイル土のう模型には、中詰め材に鉄道盛土の路盤材としても用いられる粒度調整砕石 M40, ジオ

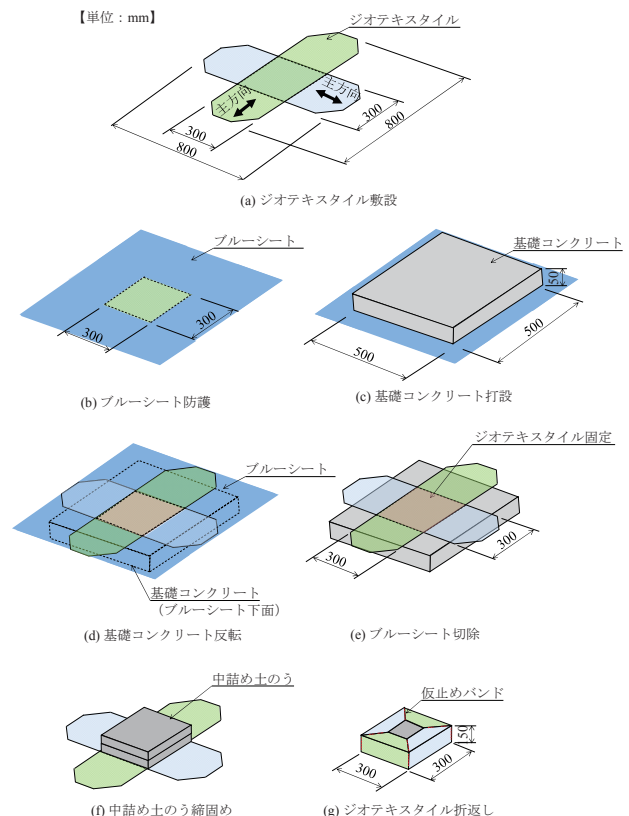


図-8 ジオテキスタイル土のう製作手順

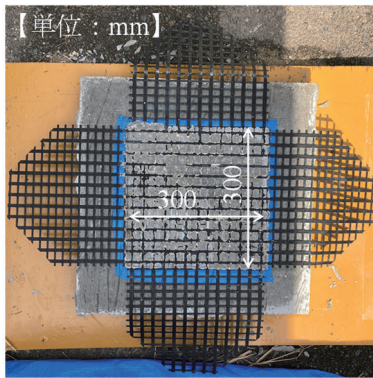


図-9 ジオテキスタイルと基礎コンクリートの固定

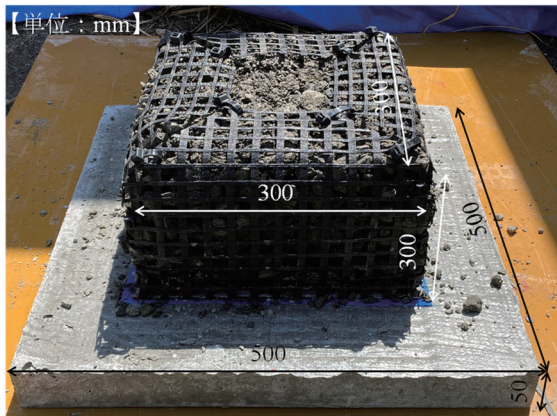


図-10 試作したジオテキスタイル土のう

テキスタイルは盛土補強土擁壁（RRR-B 工法）の補強材として用いられる材料（製品保証値 81kN/m）を用いた。

図-8 に模型作製手順を示す。作製には、土のう下面と基礎コンクリートを固定するため、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 2 枚を直角方向に敷設後（手順(a)）、ジオテキスタイルにコンクリートを直接打設することでジオテキスタイルと基礎コンクリート（縦 0.5m×横 0.5m×高さ 0.05m）を固定させた。なお、固定部は土のう下面の範囲のみとするため、ジオテキスタイルを縦 0.3m×横 0.3m の開口を設けたブルーシートで防護（手順(b)）し、コンクリートを打設（手順(c)）することで、土のう下面以外のジオテキスタイルとコンクリートの固定を防いでいる。基礎コンクリートを養生し、ジオテキスタイルと基礎コンクリート固定後、基礎コンクリートを反転させ（手順(d)）、不要となるブルーシートを切除（手順(e)）した。図-9 にジオテキスタイル固定状況を示す。その後、ジオテキスタイル上に中詰め土のう（縦 0.3m×横 0.3m×高さ 0.075m）を 2 段設置し、中詰め材の締固め度が 95%以上となるよう締固め（手順(f)）、ジオテキスタイルを折り返すことで土のう形状とした（手順(g)）。

図-10 には、本実験を行うにあたり試作したジオテキスタイル土のう模型を示す。試作した土のう模型は、粒度調整砕石を直接ジオテキスタイルで包み込み作製している。試作土のう模型に対し、予備実験として水平力を作用させた際、ジオテキスタイル目合いから粒度調整砕

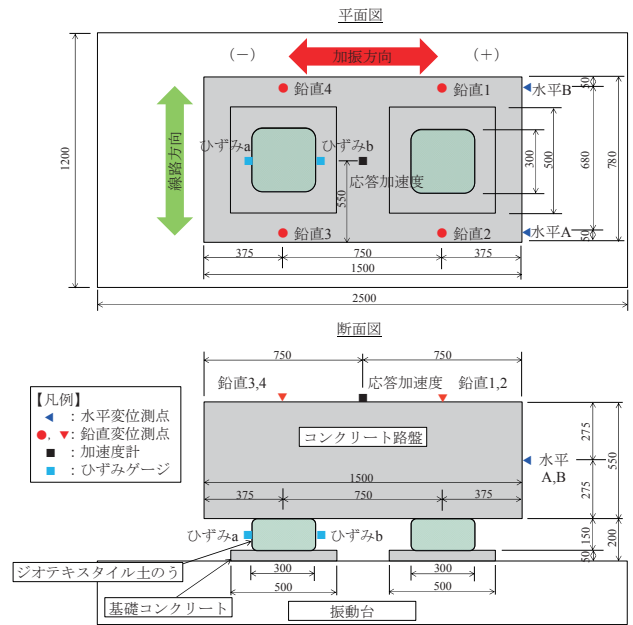


図-11 計測機器配置図

石の抜出しが確認された。このため、ジオテキスタイル目合いからの粒度調整砕石抜出し防止を目的に、振動台実験では図-8 に示したように中詰め土のうを用いてジオテキスタイル土のう模型を作製した。なお、コンクリート路盤とジオテキスタイル土のう間は、土のう上面にコンクリートを直接打設することで一体化を図っている。

3.3 実験条件

入力波は、正弦波 20 波、周波数 2.5Hz に設定した。なお、周波数は静的水平載荷試験の結果⁸⁾を用いてジオテキスタイル土のうの水平剛性を算出し周期を確認したところ、大変形領域においても周期は 0.1 秒未満であることを確認し、振動台の性能も考慮し、入力波とジオテキスタイル土のうが共振しない周期 0.4 秒から周波数を 2.5Hz に設定した。実験は、入力加速度を 100gal から開始し、その後 100gal 刻みで 900gal まで段階加振を行った。

図-11 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平面的にはジオテキスタイル土のうの前後 2 箇所ずつの計 4 測点（測点 1～4）で設置した。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、平面的には線路方向 2 箇所にてレーザー変位計を設置し、2 測点（測点 A, B）で加振方向の水平変位を計測することとした。加速度計は、ジオテキスタイル土のうから伝わるコンクリート路盤への振動減衰効果を確認するため、コンクリート路盤天端中心部に設けている。また、加振時にジオテキスタイル土のうがせん断変形する際のジオテキスタイルの粒度調整砕石拘束効果を確認するため、ひずみゲージを加振方

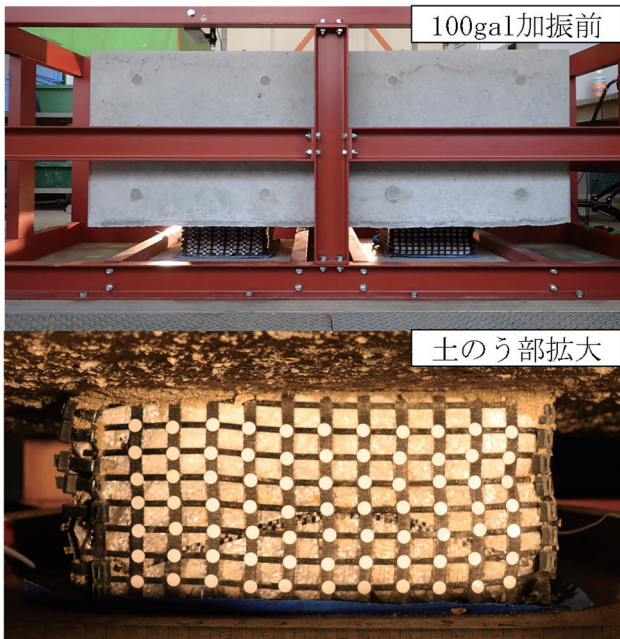


図-12 100gal 加振前の供試体状況

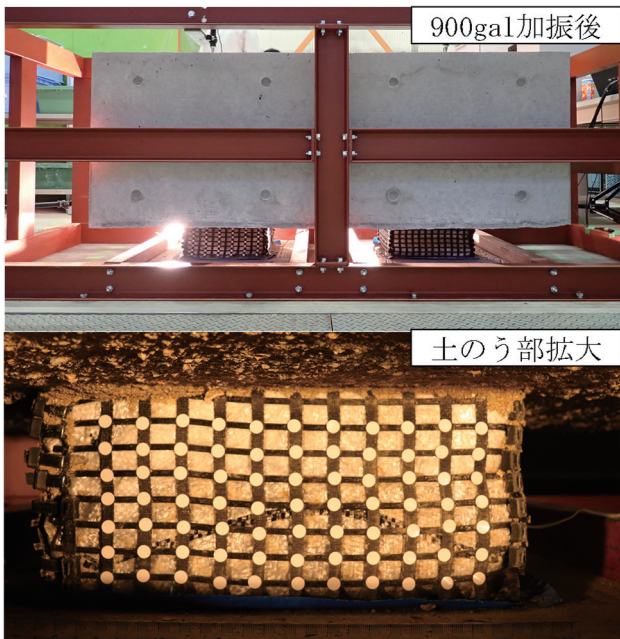


図-13 900gal 加振後の供試体状況

向のジオテキスタイル土のう側に1箇所ずつ計2箇所(測点 a, b) 貼りつけた。

4. 実験結果と考察

4.1 供試体の残留変位

図-12 に最初の加振である 100gal 加振前、図-13 に最終加振である 900gal 加振後の供試体全景及びジオテキスタイル土のう拡大写真を示す。最初の加振前と最終加振後の供試体には目視による違いは見られなかった。また、ジオテキスタイル土のう下面と基礎コンクリートの付着切れ、ジオテキスタイルの損傷は確認されず、ジオテキ

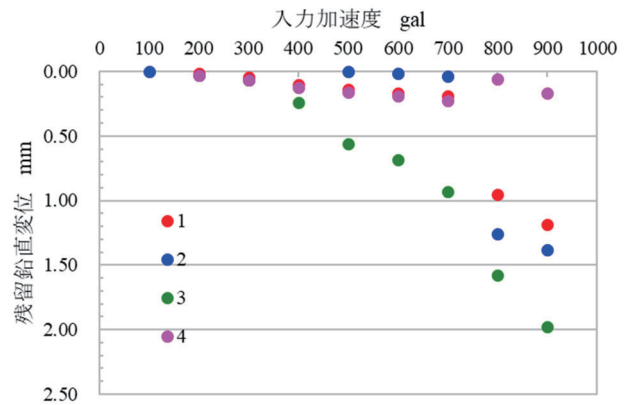


図-14 残留鉛直変位と入力加速度の関係

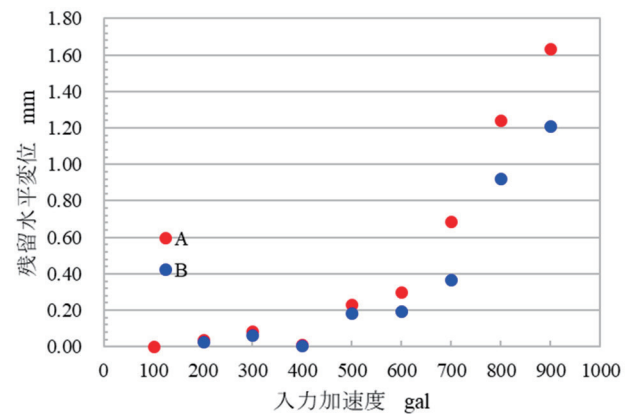


図-15 残留水平変位と入力加速度の関係

スタイル土のうは L2 地震相当の強震動に対してもせん断変形を抑制し形状を保持することを確認した。

図-14 には、各加振後の残留鉛直変位と入力加速度の関係を示す。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。500gal 加振以降、測点 3 の残留鉛直変位は増加傾向であるが、その他の測点では 700gal まで大きな沈下(700gal 加振後で 0.2mm 程度)はみられない。なお、測点 1, 2 では 800gal 加振以降で沈下量が大きくなっている。また、最終加振加振後の残留鉛直変位は最大 2.0mm (測点 3) であり、土のう高に対して 1.3%と微小な沈下となっており、900gal 加振後も土のう形状を保持していることが確認された。

2 測点の相対変位は、加振方向(測点 1-4 間, 測点 2-3 間)で 1.0mm, 0.6mm である。また、線路方向(測点 1-2 間, 測点 3-4 間)は 0.2mm, 1.8mm となっている。各測点間で沈下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 点の支持としたため、加振に伴い測点 3 の一方向に変形が表れたものと考えられる。実際のコンクリート路盤は、線路直角方向(振動台実験での加振方向)だけでなく線路方向においても多点支持となるため、このような現象は生じないと考えられる。

図-15 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 300gal までゼロに近い値であり、残留鉛直変位と同様の傾向であった。なお、残留

水平変位は 400gal 加振後では揺れ戻しの影響により 200gal よりも小さい値となっている (200gal 加振後 A,B 平均残留水平変位 0.04mm, 400gal 加振後 A,B 平均残留水平変位 0.01mm)。一方, 500gal 以降は一方方向に累積し, 900gal 加振後では測点 A で 1.64mm, 測点 B で 1.21mm となった。測点 A,B 間の相対変位は 900gal 加振後で 0.43mm 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。また, 900gal 加振後の A,B 平均残留水平変位は 1.43mm であり, 土の高さに対し約 1% と微小な値であった。

4.2 供試体の応答変位と応答加速度

図-16 に各加振時におけるコンクリート路盤の最大水平片振幅を示す。ここに最大水平片振幅は, 各加振時コンクリート路盤に生じる最大水平応答変位(最大振れ幅)のうち片側振幅の値を示している。振幅は, 100gal~300gal では非常に小さい値であり, 残留水平変位もゼロに近い値であったことから, 低い加速度においてジオテキスタイル土のうはコンクリート路盤と一体となって挙動していると考えられる。なお, 振幅は加速度毎に徐々に大きくなり線形に近い相関を示しているが, 400gal~600gal ではほぼ一定であった。図-17 に, 2.2 で示した土のう下端を固定した正負交番水平載荷試験結果であるせん断ひずみ 1×10^{-6} 時の値を G_0 とするジオテキスタイル土のうの $G/G_0-\gamma$ に今回施した各加振後の残留せん断ひずみ位置を追記した図を示す。なお, 100gal 加振後のせん断ひずみはゼロであり, 図-17 に示す横軸の範囲外となっている。400gal では揺れ戻しの影響によりせん断ひずみが小さくなるため除外すると, 200gal 以降, せん断剛性比は大きく低下している。500gal, 600gal ではせん断剛性比の低下がほとんどみられないことから振幅も一定の傾向を示し, 700gal 以降はせん断剛性比が 0.1 以下と小さく, ジオテキスタイル土のうの塑性化の影響により振幅値が大きくなったものと考えられる。

図-18 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。100gal~300gal までは加速度応答比が 1.2 以上と応答増幅が確認されるが,

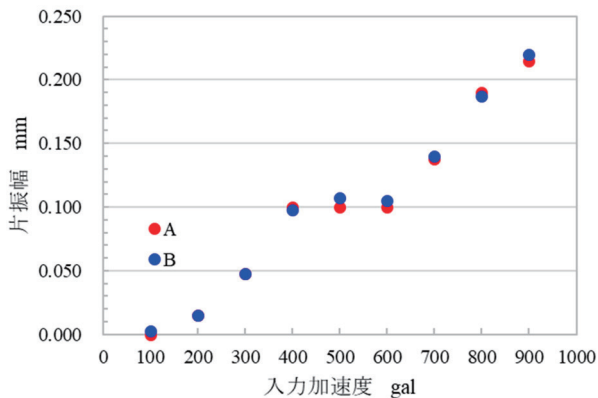


図-16 水平最大応答変位と入力加速度の関係

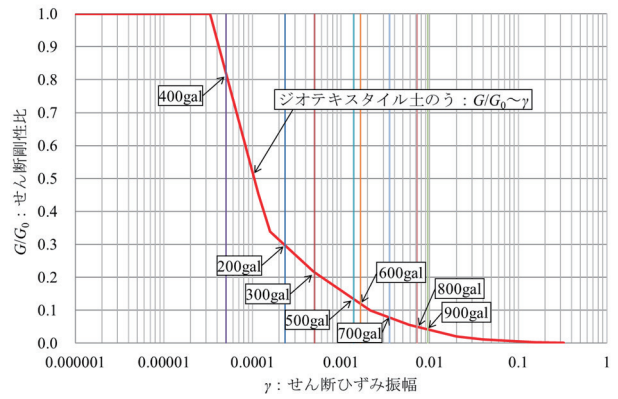


図-17 ジオテキスタイル土のうの $G/G_0-\gamma$ に加筆

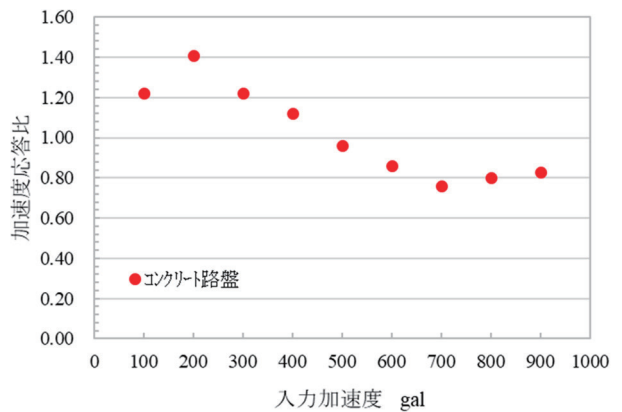


図-18 加速度応答比と入力加速度の関係

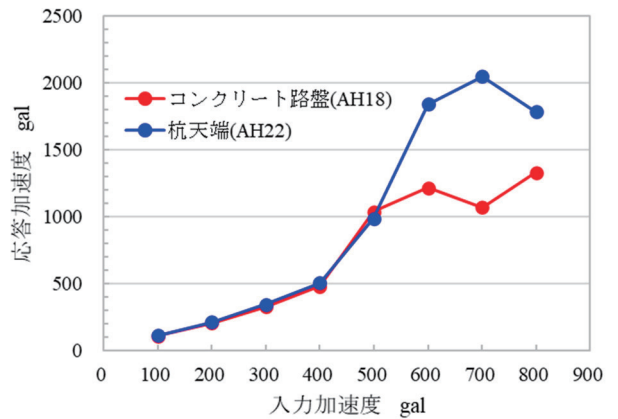


図-19 コンクリート路盤, 杭天端最大応答加速度⁹⁾

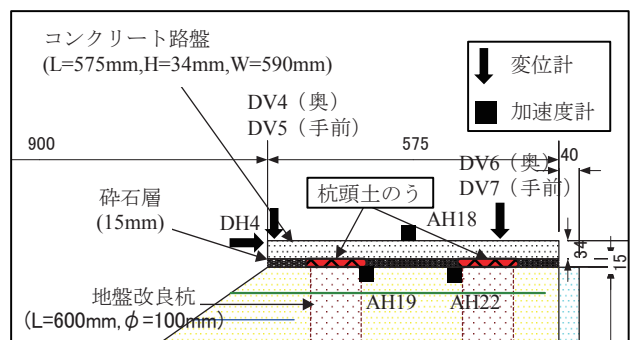


図-20 1/10 模型盛土天端付近計測機器配置図⁹⁾に加筆

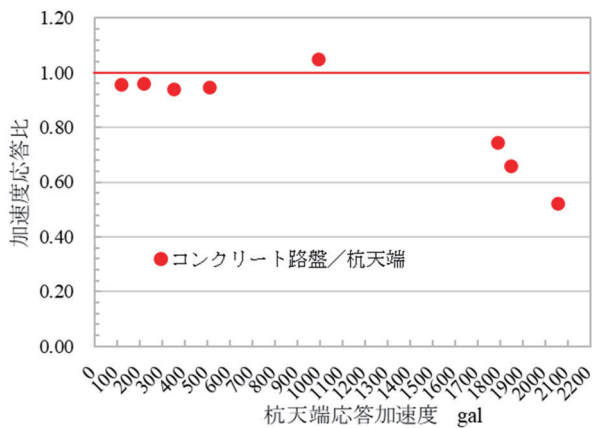


図-21 加速度応答比と杭天端応答加速度の関係

500gal 以降は加速度応答比が 1.0 以下となり、700gal 以上の加速度では 0.8 程度と応答加速度が低減することが確認された。

今回実施した実物と同じ材料、同じ応力状態のジオテキスタイル土のう模型とこれまで実施してきたジオテキスタイル土のう模型の動的特性の違いを確認するため、土のう下端を固定した 1/10 スケール模型に対する振動台実験結果⁹⁾であるコンクリート路盤、杭天端最大応答加速度を図-19 に示す。また、図-20 には 1/10 スケール模型振動台実験時の計測機器配置図を示す。図-19 より、1/10 スケール模型振動台実験では入力加速度 500gal 時のコンクリート路盤、杭天端の応答加速度は共に 1000gal 程度とほぼ同じ値であった。なお、1/10 スケール模型振動台実験の供試体はパイルスラブ式盛土を再現したものであるが、今回実施した振動台実験では、ジオテキスタイル土のうに着目し杭頭部構造のみを再現している。基礎コンクリート上にジオテキスタイル土のうとコンクリート路盤のみ模擬した供試体では、振動台の加振が直接ジオテキスタイル土のうに伝わる。図-18 に示した今回実施した振動台実験の加速度応答比と 1/10 スケール模型振動台実験結果を比較するため、振動台加速度＝杭天端応答加速度と仮定し、図-21 には図-19 に示す杭天端の応答加速度を横軸としたコンクリート路盤と杭天端の加速度応答比と関係を示す。

1/10 スケール模型振動台実験では、杭天端での応答加速度が 1000gal 相当時のコンクリート路盤の加速度応答比は 1.05 であった。一方、1700gal 以降ではコンクリート路盤の応答加速度が 0.5～0.8 程度に抑えられている。

今回実施した振動台実験では、700gal 以降の加振でコンクリート路盤の応答加速度は 0.8 程度に低減しており、1/10 スケール模型振動台実験結果から確認されるよりも小さい加速度でもジオテキスタイル土のうによる応答加速度低減効果が確認された。なお、これは、1/10 スケール模型と今回の実験でジオテキスタイル土のうの中詰め材に用いた材料 (1/10 スケール模型：10mm 未満に調整した碎石、今回作製：粒度調整碎石 M40) の違いによるものと考えられる。

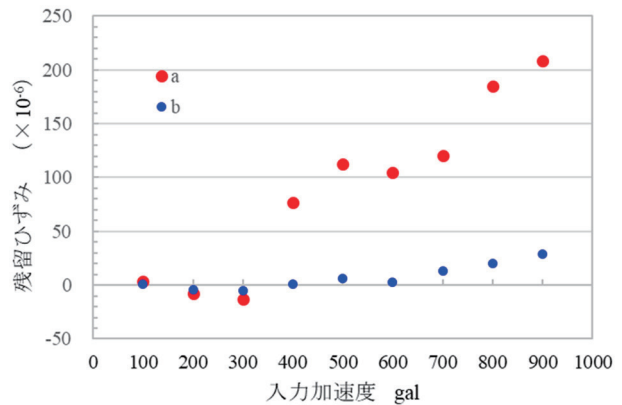


図-22 残留ひずみと入力加速度の関係

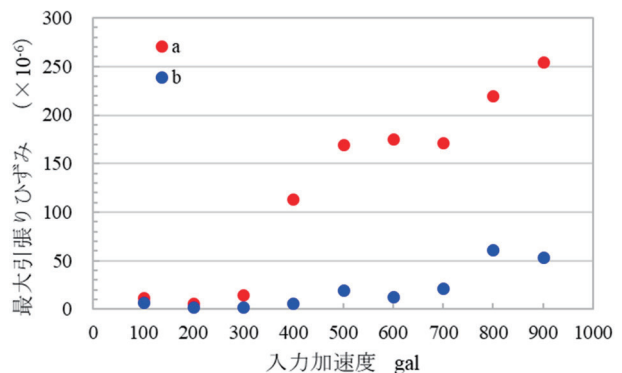


図-23 最大ひずみと入力加速度の関係

4.3 ジオテキスタイル土のうの変形

図-22 にジオテキスタイルに取り付けたひずみゲージで計測した各加振後の残留ひずみと入力加速度の関係、図-23 には加振中に計測した最大ひずみと入力加速度の関係を示す。測点 b においては、700gal 加振時においてもジオテキスタイルに引張りはほとんど生じていない。一方、測点 a においては、400gal 加振時からジオテキスタイルの引張りが確認される。図-16 に示すように水平振幅は 400gal より増加傾向がみられており、最大ひずみも増加していることから、加振に伴う粒度調整碎石のせん断変形に対し、ジオテキスタイルが粒度調整碎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。なお、測点 a, b で傾向が異なる理由としては、図-15 に示すように残留水平変位が一方向に累積しているため、測点 a のみに引張りが発生したものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、パイルスラブ式盛土の杭頭部に用いるジオテキスタイル土のうの地震時の動的挙動や動的特性を確認するため、作用する応力状態を実スケールと同じとしたジオテキスタイル土のう模型に対して、振動台実験を実施した。以下に得られた知見を示す。

- (1) 中詰め土のうを用いてジオテキスタイル土のうを作製することで、900gal 加振時でもジオテキスタイル目合いからの碎石の抜出しを防止できることを確認した。
- (2) 900gal 加振後でもコンクリート路盤の沈下量は最大で2mm程度であり、沈下抑制効果が確認された。
- (3) コンクリート路盤の水平変位は700gal以降で大きくなるものの、平均残留水平変位は900gal加振後で1.43mm程度と微小であり、水平変位抑制効果が確認された。
- (4) 400gal以下の入力加速度ではコンクリート路盤の応答増幅が確認され、応答加速比が1.0を超える結果となった。一方で700gal以上の加振では、加速度応答比が0.8程度と、大きい加速度ではコンクリート路盤の応答加速度が低減することが確認された。
- (5) 400gal以降では、ジオテキスタイルが粒度調整碎石を包み込むことで加振時粒度調整碎石のせん断変形を抑制するものと考えられる。

今後は、ジオテキスタイル土のうをモデル化した個別要素法による数値解析を用いて、L2地震動相当の加振を受けるジオテキスタイル土のうの動的シミュレーション解析を行い、土のう内の粒度調整碎石の挙動、ジオテキスタイルの包み込み効果等について検討を進める予定である。

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されたものである。記して謝意を表す。また、牧原貴之山口大学技術職員、(有)中原鉄工所、新光産業(株)、トキワコンサルタント(株)、鈴木素之研究室の学生の皆様に多大なご協力を頂いた。ここに、厚く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物，pp.33-38，1999.
- 2) 丸山修，米澤豊司：整備新幹線の新技术，基礎工，Vol.39，No.8，pp.31-38，2011.
- 3) 田端尚子，橋本和佳，小島謙一，坂本寛章，矢崎澄雄：2次元解析における盛土に構築した地盤改良杭のモデル化，第45回地盤工学研究発表会，No.8，pp.995-996，2010.
- 4) 坂本寛章，小島謙一，米澤豊司，森野達也，丸山修，

鈴木喜弥：パイルスラブ式盛土の模型振動台実験 - 衝撃材の選定 - ，土木学会第65回年次学術講演会，pp.727-728，2010.

- 5) 森野達也，丸山修，米澤豊司，青木一二三，小島謙一，坂本寛章：ジオテキスタイルで補強したパイルスラブ式盛土の振動台実験，ジオシンセティック論文集，第25巻，pp.141-146，2010.
- 6) 坂本寛章，小島謙一，森野達也，米澤豊司，丸山修，青木一二三：地盤改良杭で軌道面を支持する補強盛土構造の地震時挙動，ジオシンセティック論文集，第26巻，pp.63-68，2011.
- 7) 野中隆博，小島謙一，米澤豊司，佐藤貴史，森野達也，青木一二三：パイルスラブ式盛土における改良杭頭部ジオテキスタイル土のう特性評価，ジオシンセティック論文集，第27巻，pp.93-100，2012.
- 8) 野中隆博，小島謙一，森野達也，陶山雄介，瀧山清美，青木一二三：パイルスラブ式盛土のジオテキスタイル土のうを用いた杭頭部の水平載荷試験，土木学会第68回年次学術講演会，pp.57-58，2013.
- 9) 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.
- 10) 藤井公博，小島謙一，高野祐輔，陶山雄介，青木一二三，野中隆博：コンクリート路盤を改良杭で支持する補強盛土工法における設計手法，ジオシンセティック論文集，第29巻，pp.49-56，2013.
- 11) 松岡元，劉斯宏：地盤の一部を包み込む支持力補強法に関する研究，土木学会論文集 No.617/Ⅲ-46，pp.235-249，1999.
- 12) 山本春行，松岡元，島尾陸，長谷部智久，服部真人：土のう積層体の繰返しせん断特性と減衰定数，第38回地盤工学研究発表会，pp.2271-2272，2003.
- 13) 松岡元，安藤友宏：土のう積層体による地盤振動の発進側・伝播経路・受信側での低減法，土木学会論文集 C，Vol.62，No.2，pp.379-389，2006.
- 14) 土井達也，室野剛隆，張鋒：小径杭併用土のう基礎の地震応答特性と杭基礎に対する優位性，土木学会論文集 A1，Vol.77，No.1，pp.42-58，2021.

(2022年6月13日 受付)