

論文の内容の要旨

論文題目

リサイクル地盤材料・建設発生土の埋設管埋戻し土としての適用性に関する実験的研究

氏名 三上大道

地震大国であるわが国において、地震災害の軽減は社会基盤学を含め多くの学問における大きな目標の一つである。その中でも、地盤工学の分野において近年対策が急務とされている問題の一つとして、地震時地盤液状化による埋設管浮き上がり問題が挙げられている。

1993年に発生した釧路沖地震では下水埋設管やマンホールなどが埋戻し土の液状化により浮き上がる現象が生じた。これによる被害総額は11億円以上にも上る。その後1994年北海道南西沖地震、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震などでも多くの下水埋設管とマンホールに被害が生じた。

既往の研究において、地震時液状化により被害を受けた埋戻し土の復旧には、「埋戻し土の締固め」、「砕石による埋戻し」、「埋戻し部の固化」の3工法が推奨されている。これら3工法は地盤工学的視点からは非常に優れているものの、埋戻しに用いる砕石や山砂などの自然材料が枯渇しつつある現状のもとでは、後者2工法は環境的視点において優れているとはいえない。そのため、リサイクル材料の利用等自然環境に配慮した埋戻し方法の提案とその実用化が必要となってきた。

一方、平成7年に制定された「容器包装リサイクル法」を受け、わが国では多くのガラスびんが使用後に回収されリサイクルされている。しかし、茶色を除く色つきガラスびんは、色調がばらつく、熱膨張係数が異なるなどの理由から再利用しにくく、その多くは使用後に廃棄されている。この問題を解決するための再利用製品として、廃ガラスリサイクル粗粒材料が開発された。この材料は高い透水性能を有することから、本研究では、前述した「砕石による埋戻し」における砕石の代替材として廃ガラスリサイクル粗粒材料を第一の検討対象とした。

また、現在わが国では建設発生土の場外搬出量は、2億4500万 m^3 (平成14年度)に及んでいるが、工事間で利用されているものはその30%程度にとどまっている。利用土砂全体中での建設発生土有効利用率は65%にすぎない。この結果、首都圏を中心とした地域で、大量の土砂の放置が自然環境・生活環境に影響を及ぼすとともに、土砂利用量の約50%を占める新たな自然材料の採取も自然環境に負の影響を及ぼしている。そのため、建設発生土の広域的な有効利用とその利用内容の拡大を推進していく必要がある。そこで、本研究では、前述した「埋戻し部の固化」に建設発生土改良土を用いることを第二の検討対象とした。

以上の背景のもとで、本研究では廃ガラスリサイクル粗粒材料と建設発生土改良土を埋設管埋戻し材として用いるために、主に以下の二点を明らかにすることを目的とした実験的検討を行った。

- ①地震時埋戻し土液状化による埋設管浮き上がり対策性能
- ②交通荷重に対する変形特性

第一の検討対象である廃ガラスリサイクル粗粒材料は高い透水性能を有する。このような地盤材料を埋戻し材として用いることによる、地震時埋設管浮き上がり対策としての有効性を検討することを目的として、既往の遠心模型実験結果の分析と、この模型実験に用いた地盤材料の透水試験を実施した。

地震時液状化による埋設管浮き上がり量は、埋戻し材の締固め度と透水係数、及び排水距離に依存する。本研究で設定した埋設管と排水距離の条件のもとでは、締固め度が 90%程度である場合には、透水係数が 0.1cm/sec 程度以下である場合、埋設管の浮き上がりが生じやすいことが明らかとなった。これに対して、本研究の対象材料である廃ガラスリサイクル粗粒材料(粒径 5~10mm)は透水係数が 0.32cm/sec であることから、締固め度を 90%程度以上とすることで埋設管浮き上がり対策として有効であると考えられる。また、本実験より得られた透水係数と埋設管浮き上がり量の関係から、その他の粗粒材料を埋戻し材として利用する場合にも、透水係数を調べることで、埋設管浮き上がり対策としての有効性を判定することができると考えられる。

ただし、上記の遠心模型実験では、廃ガラスリサイクル粗粒材料を用いて埋設管の浮き上がりを抑制できた場合にも、地震時に発生する過剰間隙水圧の消散に伴い地表面沈下が生じることが明らかとなった。この対策として本研究では締固め度の向上に着目し、廃ガラスリサイクル粗粒材料は締固め効率の低い材料であることから、ジオグリッドを併用した締固めを検討した。この締固め手法の有効性を検証するために、大型モールドを用いた締固め試験を実施した。

その結果、モールド内寸よりも十分に小さな載荷板を用いて締固めを行うと、ジオグリッド上方に土被りを設けた場合に、ジオグリッドから載荷面までの距離が短いほど、締固め効率が向上する傾向が確認された。ただし、土被りを設けない場合には、ジオグリッドが載荷板に巻きつくような形状に大きく変形してしまい、十分な効果が得られなかった。

次に、廃ガラスリサイクル粗粒材料を埋設管埋戻し材として用いた場合の交通荷重に対する性能を検討することを目的として繰返し三軸試験を実施した。供試体高さを変えた試験を実施し、外部変位計測結果のみに基づいて健全層とベディングエラー層の残留変位量を分離して評価する手法を提案し、LDT(局所変位計)により直接計測した結果と比較することにより、その妥当性を検証した。その結果、締固め度 95%の廃ガラスリサイクル粗粒材料を用い、拘束圧 50kPa, 80 k Pa の場合に、健全層残留ひずみの推定値は実測値の 1~1.2

倍程度となり、良好な推定結果が得られた。

この推定手法を用いて、締固め度 95%及び 90%の廃ガラスリサイクル粗粒材料を用い、交通荷重相当の繰返し载荷(拘束圧 20kPa, 繰返し軸差応力振幅 10-25kPa)による残留ひずみの推定を実施した。その結果、健全層の残留ひずみは締固め度 95%の場合に 0.06%, 締固め度 90%の場合に 0.46%であった。

また、ジオグリッドを併用して締固めた廃ガラスリサイクル粗粒材料の交通荷重に対する変形特性を検討することを目的として大型繰返し三軸試験を実施した。その結果、ジオグリッドを有することにより、繰返し载荷による残留ひずみが軽減することを明らかにした。特に密度の低い場合にはその影響は顕著となり、拘束圧 50kPa において、繰返し軸差応力振幅が 10-25kPa の場合には 15%程度、繰返し軸差応力振幅が 25-62.5kPa の場合には 35%程度の残留ひずみの減少が確認された。後者のケースに関しては、深さ 1m の地点を想定した交通荷重と応力比が等しく設定されている。このケースで、ジオグリッドを有した場合の残留ひずみは 0.03%以下となった。

第二の検討対象である建設発生土に関しては、一般に固化改良土を埋設管理戻し土として用いた場合、室内試験における一軸圧縮強度が 100kPa~200kPa 程度以上であれば液状化しにくいことが明らかとなっている。一方、改良土を埋設管理戻し材として使用する場合には、数十年にも及ぶ供用期間中の維持管理作業と更新作業を効率よく行うために、改良土の再掘削性を維持することが重要となり、強度を所定の範囲内に抑える必要がある。そのため、改良土の長期強度発現特性について明らかにする必要がある。そこで、養生日数と安定剤の種類を変化させた建設発生土改良土の一軸圧縮試験を実施した。

その結果、石灰改良建設発生土に関しては、養生日数 730 日までの段階で、強度は常に概ね 100kPa 以上であることから、液状化対策として十分な性能を有しており、また、強度が増加しすぎる傾向も見られないことから、埋設管付け替え時の再掘削性にも問題がないと考えられることを明らかにした。一方、普通ポルトランドセメント改良建設発生土、超早強ポルトランドセメント改良建設発生土に関しては、養生日数 417 日の段階で、普通ポルトランドセメント改良建設発生土の一軸強度は 60kPa 程度、超早強ポルトランドセメント改良建設発生土の一軸強度は 72kPa 程度であった。そのため、これらの安定剤を用いる場合には、液状化対策として十分な強度を発現させるうえで、安定剤添加率を増加させる等の対策を講じる必要があると考えられる。

次に、安定剤添加率の低い改良土を実地盤に用いた際の環境条件が強度発現に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、養生条件を変化させた固化改良稲城砂を用いて、一軸圧縮試験を実施した。

その結果、安定剤添加率が等しい場合に、Ca 含有量の高い石灰で改良した稲城砂のほうが、Ca 含有量の低い普通ポルトランドセメントで改良した稲城砂よりも高い一軸強度を示

した。安定剤添加率の低い改良土において強度に最も影響を及ぼす化学的要因は、安定剤の Ca 含有量であると考えられる。

石灰改良稲城砂では、Ca イオン溶脱の生じやすい条件下で養生したケースほど低い強度を示した。そのため、石灰改良土を実地盤に用いる際には、地下水流が速い条件下においては溶脱が生じやすく、強度が低下しやすいことに留意する必要がある。一方で、地下水位が十分に低い地盤では、不飽和状態で溶脱が生じにくい環境となることから、石灰改良土を用いることで十分な強度が得られることを示した。

一方で、普通ポルトランドセメント改良稲城砂では、Ca イオン溶脱の生じやすい条件下で養生したケースほど高い強度を示す傾向が見られた。そのため、普通ポルトランドセメント改良土に関しては、地下水流の速い地盤に用いた場合が最も強度を発揮しやすいと考えられる。これとは逆に、地下水面が低下しやすく、溶脱が生じにくい環境下では強度が低くなりやすいことに留意する必要がある。

最後に、建設発生土改良土を埋設管理戻し土として用いるためには、液状化対策のみならず、交通荷重に対する十分な性能も発揮する必要がある。そこで、建設発生土改良土を用いて交通荷重を想定した繰返し三軸試験を実施した。

その結果、約二年間水浸養生した石灰改良建設発生土の繰返し荷重による残留ひずみは、外部変位計測結果では 0.02%、LDT 計測結果では 0.01%であった。

上記の繰返し荷重試験と供試体条件、養生条件の概ね等しい供試体の一軸強度は 89～143kPa 程度であった。液状化対策として有効となる一軸強度は 100kPa 以上とされていることから、本試験結果より、液状化対策として有効となる固化改良を行った場合には、交通荷重に対する沈下対策としても有効となるものと考えられる。