

改良土の強度発現特性に影響を及ぼす諸要因

東京大学大学院 学生会員 ○三上大道
 複合技術研究所 正会員 佐藤剛司
 東京大学大学院 学生会員 細尾 誠
 東京大学生産技術研究所 正会員 古関潤一

1. はじめに 埋設管埋戻し土の液状化対策として改良土を利用する場合には、室内試験における平均一軸圧縮強度が100kPa～200kPa程度であれば良いとされている¹⁾。一方、埋設管の劣化は時間とともに進行するため、埋設管は将来的な付け替えを視野に入れて設計される必要がある。改良土を埋設管埋戻し材として使用する場合には、将来的な埋設管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であり、強度を所定の範囲内に抑える必要がある。そのため、改良土の強度発現特性に影響を及ぼす要因、及び強度発現メカニズムを明らかにする必要がある。本報では、その基礎的研究として、稲城砂改良土の強度発現特性に影響を及ぼす諸要因について検討するために実施した、一軸圧縮試験結果とCaイオン溶脱量測定結果について報告する。

2. 実験条件と実験方法 突き固めにより作成した、高さ100mm、直径50mmの円筒供試体を用いた一軸圧縮試験を実施した。試料には含水比を19%程度に調整した稲城砂を、生石灰、普通ポルトランドセメント、超早強ポルトランドセメントで改良した、稲城砂改良土を用いた。安定剤添加率は乾燥質量に対して2.0%程度とした。本研究で使用した稲城砂の粒度分布、及び物理特性値・化学特性値を図1、表1にそれぞれ示す。

供試体は作成後に、石灰改良土は7日間、セメント改良土は3日間の密封水中養生を行った後、所定の期間水浸養生を行った。ここで、水浸養生には蒸留水を使用している。また、養生水は1週間毎に蒸留水にて交換している。

載荷方法はひずみ制御とし、ひずみ速度は毎分概ね1%程度の圧縮ひずみが生じるように設定した。軸ひずみは外部変位計で計測した。

また、既往の研究²⁾により、セメント改良土に関しては水と接することでCaイオン等のイオンが溶解して外部へ移動する、溶脱現象が生じることが明らかとなっている。同様に、石灰改良土に関しても溶脱現象が生じる可能性がある。そこで、本研究では定期的に養生水中のCaイオン濃度を計測し、Caイオン溶脱量に関しても検討を行った。

3. 実験結果と考察 図2に一軸強度の経時変化を示す。石灰改良土に関しては、養生日数7日目から14日目までに一軸強度が若干減少しているものの、その後増加し、養生日数56日の段階で最も高い値を示している。ただし、全体的にばらつきが大きいことから、明確な増減傾向を示しているとは言えない。

普通ポルトランドセメント改良土は養生日数の増加に従い、一軸強度も増加しているものの、その傾きは徐々に低下している。

超早強ポルトランドセメント改良土に関しては、多くの供試体が脱型時に破壊してしまい、養生日数28日において二本のみ試験することができたが、いずれも一軸強度20kPa以下と、非常に低い値を示した。

図3に含水比の経時変化を示す。供試体の飽和化が水浸養生開始後徐々に進行すると、供試体内に発揮されるサクシオンも徐々に低下するため、これに起因して一軸強度も低下

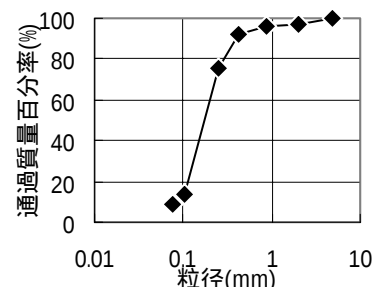


図1. 粒径加積曲線

表1. 稲城砂の物理特性値・化学特性値

平均粒径, D_{50} (mm)	0.19
細粒分含有率, F_c (%)	8.5
土粒子密度, ρ_s (g/cm ³)	2.731
最大乾燥密度, ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.654
最適含水比, w_{opt} (%)	18.7
塑性指数, I_p	NP
pH	9.3

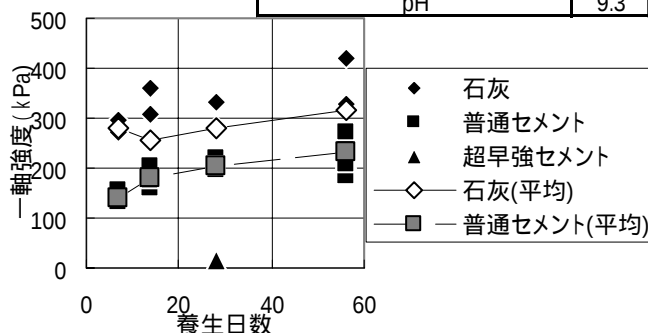


図2. 一軸強度の経時変化

キーワード 改良土、一軸強度、養生

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1Ce-202 東京大学生産技術研究所基礎地盤工学研究室 TEL03-5452-6422

する可能性があるが、石灰改良土と普通ポルトランドセメント改良土に関しては、含水比のばらつきはあるものの、明確な増加傾向は見られない。そのため、本研究における一軸強度の変化には、サクシジョンの変化による影響よりも、安定剤の化学反応による影響のほうが卓越していたと考えられる。

図2において、石灰改良土のほうが普通ポルトランドセメント改良土よりも一軸強度が高い傾向を示した。一方、図3より、これらの含水比に顕著な差が見られない。そのため、一軸強度の差は、含水比の差に起因するサクシジョンの差によるものではないと考えられる。

石灰と普通ポルトランドセメントの大きな違いとして、石灰の方が含有するCa量が多いという点が挙げられる。CaOで換算すると、本研究で使用した生石灰特号はCaOを93%以上含有するものと定められている³⁾。一方、普通ポルトランドセメントのCaO含有率は64%程度にとどまる⁴⁾。すなわち、Ca含有量の差が、一軸強度の差の原因である可能性がある。

一軸強度を供試体一本あたりの初期Ca含有量で正規化した値の経時変化を図4に示す。石灰改良土と普通ポルトランドセメント改良土の正規化した一軸強度の差は、養生日数56日の段階で6%程度にとどまっており、非常に近い値を示している。この結果から、安定剤添加率2%程度の改良土に関しては、通常の普通ポルトランドセメントの水和反応が生じにくく、改良土の強度が安定剤の含むCa量に依存した可能性がある。

ただし、図2より、超早強ポルトランドセメント改良土は他の改良土よりも一軸強度が極端に低い値を示しているが、超早強ポルトランドセメントのCa含有量は普通ポルトランドセメントと概ね同程度である。そのため、一軸強度が極端に低いことを、Ca含有量のみでは説明することができない。

超早強ポルトランドセメント改良土が強度を発揮できなかった原因としては、Caイオン溶脱等が多く生じていたことによる可能性がある。図5に供試体一本あたりのCaイオン累積溶脱量の経時変化を示す。これより、超早強ポルトランドセメント改良土において他の改良土よりも多くのCaイオン溶脱が生じていたことが分かる。超早強ポルトランドセメントは早強性を高めるため、普通ポルトランドセメントとは化学成分が異なるのみならず、粒径も小さなものとなっている。そのため、粒径が小さいことによって溶脱現象が生じやすかった可能性がある。ただし、超早強ポルトランドセメント改良土とその他の改良土では、Caイオン溶脱量の差に比べて強度の差が大きすぎることから、超早強ポルトランドセメントセメント改良土は、Caイオン溶脱のみならず、土粒子の固結に寄与するその他の物質も供試体から養生水へ溶出していた可能性がある。

4. まとめ 安定剤添加率2%の稲城砂改良土に関しては、石灰改良土の方が普通ポルトランドセメント改良土よりも高い一軸強度を示した。石灰の方が普通ポルトランドセメントよりも多くのCaを含有することから、この一軸強度の違いは安定剤の含むCa量に起因するものであると考えられる。また、超早強ポルトランドセメント改良土は他の安定剤を用いた改良土よりも極端に低い一軸強度を示したが、これは超早強ポルトランドセメントの粒径が小さいことから、Caイオンなど、土粒子の固結に寄与する物質が供試体外へ溶出したことに起因する可能性がある。

謝辞 本実験で使用した生石灰は、田源石灰工業株式会社から提供を受けた。ここに記して深謝の意を表する。

<参考文献>1)日本下水道協会:下水道施設の耐震対策指針と解説,2006 2)半井健太郎:セメント系複合材料-地盤連成系を対象とする多相物理化学モデル,東京大学博士論文,2005 3)日本石灰協会:石灰安定処理工法 設計・施工の手引き,2006 4)社団法人セメント協会:セメント系固化材による地盤改良マニュアル第3版,技報堂出版,2003

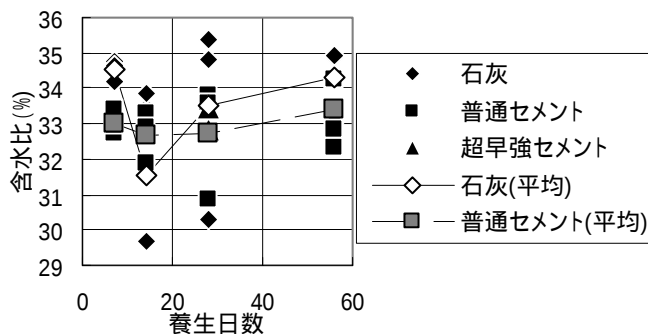


図3. 含水比の経時変化

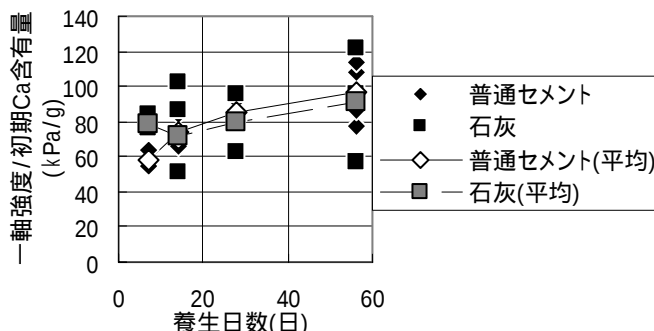


図4. 初期Ca含有量にて正規化した一軸強度の経時変化

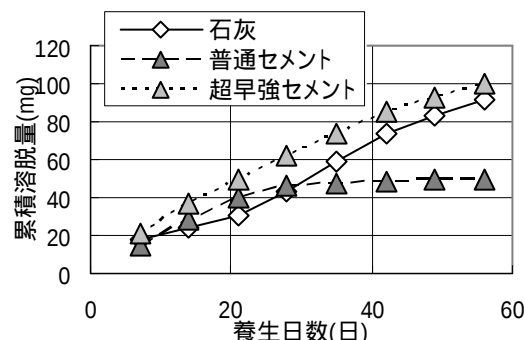


図5. Caイオン累積溶脱量の経時変化