

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560592

研究課題名(和文)セメントと生石灰による化学的地盤改良における強度発現と劣化のプロセスに関する研究

研究課題名(英文) Study on the process of strength development and degradation in chemical ground improvement by lime and cement

研究代表者

根上 武仁 (Negami, Takehito)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30325592

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、軟弱な高含水比粘性土の化学的地盤改良を行う際に、地盤環境が変化すると改良強度はどのように変化するのかについて検討するため、一軸圧縮試験用の供試体を作製し、蒸留水、塩水、希硫酸に浸漬した。所定の期間養生後、力学試験および溶出試験を実施した。得られた結果から、高配合条件では周辺地盤環境が変化しても溶出による強度低下は起こりにくいことがわかった。低配合条件では、高配合条件の場合よりも強度低下は大きく、塩水の場合が最も顕著であることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In this study, the effects of soil environment on the improved strength was investigated when the chemical improvement was applied for soft grounds. To prepare a specimen of the unconfined compression test, were immersed distilled water, brine, dilute sulfuric acid. After curing period predetermined, were performed dissolution tests and unconfined tests. From the results of tests, it was found that the strength reduction due to dissolution hardly occurs by changes of surrounding grounds in the high blending ratio of hardening materials. At low blending ratio of hardening materials, decrease in strength is greater than the high blending ratio of hardening material. And, that if the salt water is most pronounced revealed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：地盤工学

キーワード：化学的地盤改良 沖積粘土 ポゾラン反応

1. 研究開始当初の背景

セメントや生石灰などの固化材を用いた軟弱地盤改良においては、ごく短期間で固化材による含水比の低下や団粒化による塑性指数の低下などの物性の改善が生じ、同時に長期に渡ってポゾラン反応が進行して改良強度が維持されると考えられている((社)セメント協会,2003)。しかし、近年、その改良強度が著しく低下している事例が報告されている。これは地盤環境の変化によるものと考えられるが、強度低下のメカニズムはまだ解明されていない。これは、地盤工学分野における古いがしかし新しい問題の一つであり、解決が急がれるものである。

固化材添加による軟弱地盤改良では、これまで有機物含有量や塩分濃度が改良強度におよぼす影響について検討がなされてきている。しかし、それらの値は施工時点のものである。高度成長期以降、多くの道路や堤防が建設され、地盤改良が施された場所は広範囲におよぶ。これらの現場では、地盤改良後に大きな地盤環境の変化は想定していなかったと思われる。しかしながら、実際には豪雨による水害や土砂崩れ、社会基盤整備事業の一端としての下水道管等の設置など、地盤改良を施しているか否かにかかわらず、地盤環境は必ずしも一定ではない。下山ら(1994)は、貝殻の保存状況を根拠に、従来の有明粘土層を海成層の有明粘土層と非海成の蓮池粘土層に再区分している。pHの値が低下すると、同時に堆積していた貝殻ですらも溶解されてしまう。つまり、地盤内部といえども環境が変化する状況にあつては、酸化還元反応による生成水和物が再度間隙水中へ溶解することにより、施工当初の改良強度が保持されない可能性がある。先の原ら(2008)の報告は、これを裏付けるものと考えられる。

2. 研究の目的

軟弱な粘性土地盤化学的地盤改良を施す場合、固化材添加後に比較的短時間で大きな改良強度が得られるのはなぜか、また、地盤環境に変化が生じた際に、固化材添加による生成水和物が受ける影響と改良強度との関係については検討された例は少なく、不明な点が多い。今後も施工されるであろう化学的軟弱地盤改良工法において、固化材添加による強度発現と、場合によって生じる改良強度の低下のメカニズムについては、再度検討が必要と考える。

自然堆積土は土粒子外にも有機物等の多くの物質を含むため、固化材添加による水和物の生成プロセスはより複雑となる。このため、本研究では有明粘土を用いると同時に、活性が低く(比表面積が小さく)土粒子と水分以外をほとんど含まないカオリン粘土を

用いる。

本研究では、セメントや生石灰などの固化材を軟弱な有明粘土に混合し、養生する際の環境を変化させた場合の「時間経過とともに生じる改良強度の変化」と、「改良強度の低下におよぼす要因」を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

自然堆積土は有機物や塩分などの多くの物質を含むため、固化材添加による水和物の生成はより複雑となる。そこで本研究では、有明粘土に加え、粘土粒子以外をほとんど含まず活性の低いカオリン粘土を用いる。ケイ酸ナトリウム水溶液を含む水溶液と含まない溶液を準備し、カオリン粘土と混合する。この時、軟弱粘土地盤を模すため試料は液性限界状態となるように調節する。

この試料に固化材を添加し、所定の条件下で養生した供試体について強度試験を行う。養生日数については、7,28,90日とする。使用する有明粘土試料およびカオリン粘土については、自然含水比、コンシステンシー特性、土粒子の密度、粒度、塩分濃度、強熱減量値、pH値、酸化還元電位などの把握を行う。また、併せて水銀圧入型ポロシメーターによる間隙径分布測定と、走査型電子顕微鏡による微視的土構造の観察も実施する。

(1)軟弱地盤に固化材添加による改良柱体を打設し、そこに地下水の流動がある場合を想定し、蒸留水に直径5cm×高さ10cmの一軸圧縮試験用供試体を水浸する。

(2)地下水流動の際に、海岸部や感潮河川から海水の浸透の可能性があることを考慮し、上記(1)で示した蒸留水の代わりに人工海水(20g/l)に供試体を水浸する。

(3)地下水位が高く、還元的環境で堆積している軟弱な粘性土は、酸素に触れることによって酸化が進み、pHが著しく低下する可能性があることが知られている。これは生物起源パイライトの酸化による硫酸イオンの生成によると考えられている。そこで(1)と同様に、硫酸溶液(0.01mol)に供試体を水浸する。(1)~(2)において、所定の日数養生後一軸圧縮試験を行う。養生後の各溶液に水浸した際の溶存イオン濃度、微視的土構造の観察を行い、固化材添加による改良強度の発現と、地盤環境の変化による改良強度低下におよぼす要因を明らかにする。

4. 研究成果

(1)本研究計画では、軟弱な高含水比粘性土にセメントや生石灰による化学的地盤改良を施した際に、改良強度の低下が一部に認められるのはなぜなのか、という点に着目している。本計画初年度では、海成粘土である有明粘土に生石灰を加え、締固めない方法による一軸圧縮試験用供試体を作製し、所定の条件下で養生したものの一軸圧縮強さを調べた。また、沖積粘土の成因の違いが固化材に

よる改良強度低下におよぼす影響も考慮し、非海成粘土である蓮池粘土についても同様の試験を実施した。海成粘土と非海成粘土の判別については、採取時に貝殻片が混入しているか否かで判断した。

化学的地盤改良については、深層混合や浅層改良、ダンプトラックへの積載のための安定処理など多くの種類があり、目的や用途によって供試体作製方法が異なってくることも考慮し、本研究計画での対象領域を整理して図化した。

一軸圧縮試験用供試体の養生に際しては、JGS 0821-2000 に準拠したが、地盤環境の変化を考慮して蒸留水中、20g/l の塩水中、希硫酸 0.01N 溶液中に供試体を沈めての養生を併せて実施した。蒸留水については改良柱体施工後の地下水の流動を考慮し、塩水は海岸部や感潮河川からの改良柱体への海水侵入を考慮している。希硫酸を用いたのは、沖積粘土の酸化による硫酸生成を考慮したことによる。なお、環境庁告示第 46 号に基づき、溶出試験における一軸圧縮試験用供試体と溶液の比率（固液比）は 1 : 10 とした。固化材の量が改良強度の変化におよぼす影響も考慮し、貧配合と高配合条件で作製した供試体についても同様の試験を実施した。

一連の試験結果から、生石灰で強度改良した海成粘土は非海成粘土よりも大きな強度低下を示すことが明らかとなった。また、浸潤水は塩水の場合が最も強度低下することが明らかとなった。貧配合改良条件のもとでは含水比を要因とした一軸圧縮強さの値に大きな違いは認められず、高配合改良条件のもとでは含水比が高い場合に一軸圧縮強さが低下し、含水比が低い場合に強度が増加する傾向が得られた。

(2)本研究 2 年目は、石灰およびセメント添加による強度改良効果と、地盤環境の変化による改良強度の低下について明らかにすることを目的とし、有明粘土に固化材を添加し、所定の養生条件で養生した供試体について力学試験と微視的土構造の観察を実施した。また、有明粘土が広く堆積する佐賀平野の土質情報を把握するため、既往の文献調査を行うとともに、佐賀市川副町犬井道で採取されたシンウォールサンプラー試料（2m～11m）に対して、物理化学的性質および力学的性質に関する一連の土質試験を実施した。シンウォールサンプラー試料の土質試験結果と、既往の文献から得られた知見を併せて、平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会で発表している。

一連の土質試験結果から、貝殻の存在が確認できたことから調査した試料は有明粘土であることを確認した。同時に堆積当初は還元的な環境であったことが推測された。しかし、粘土の採取深度によっては、pH はあまり低くないが ORP（酸化還元電位）が高い部分も確認できた。地下水流動などにより、これらの層に酸素が供給された場合、酸化が進行し

て硫酸イオンが生成され、結果として酸性化が進むことが推測できた。

前年度までに得られた結果から、酸性化が進行した場合に改良地盤が受ける影響について既に一部検討し、改良体が硫酸イオンを含む溶液にさらされた場合、強度低下が生じること明らかにしている。平成 24 年度に行った研究内容は、実際の地盤内でも酸化による地盤の酸性化が生じることを示唆するものであり、これが改良地盤の強度低下の一因であることを示せたと考える。

(3)研究最終年では、前年度に引き続き、有明粘土に固化材を添加して所定の養生条件で養生した供試体について力学試験と微視的土構造の観察を実施した。化学的地盤改良を施した軟弱な沖積粘土地盤に関する既往の文献調査を行うとともに、佐賀市川副町犬井道で採取されたシンウォールサンプラー試料（2m～11m）について、地盤工学的性質と微視的土構造に関する一連の土質試験を実施した。さらに、セメント系固化材による深層混合改良柱体から、シンウォールサンプリングした試料についても、同様に土質試験と微視的土構造の観察を実施した。なお、この深層混合改良柱体は上記の佐賀市川副町犬井道で採取したシンウォールサンプルの近傍に位置している。得られた一連の試験結果と、既往の文献から得られた知見を併せて、平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会で発表している。

深層混合改良柱体から得られた試料の一軸圧縮試験結果から、塩水の侵入や酸化による硫酸イオンの生成による影響で強度低下する可能性があることが確認できた。しかし、既往の文献調査の結果と併せて考察すると、この深層混合改良柱体については、周辺地盤からの影響を受けていないと考えられた。

改良柱体近傍の自然地盤から採取した試料の一連の土質試験の結果から、改良柱体からのアルカリ成分の溶出の影響は受けていないことが明らかとなった。

これらの結果から、地下水の移動の影響による塩水の侵入や酸化促進による硫酸イオンの生成は生じておらず、地下水位の大きな変動もなかったことから、この思想混合改良柱体は、周辺地盤からの影響を受けず、かつ周辺地盤にも影響を及ぼしていないと考えられ、結果として、改良強度の低下は生じていないと考えられた。

(4)本研究では、研究初年度から蒸留水と海水、希硫酸に浸漬した場合の固化材で改良した有明粘土の一軸圧縮強さについて検討してきた。さらに、最終年度では、実際に原地盤に試験施工された改良柱体から得られた供試体の強度と溶出特性について検討を行った。改良柱体を打設した地点の周辺地盤はシルト質で透水係数が比較的高く、農地が近傍に存在することから地下水流動も起こりやすく、したがって塩水の侵入や酸素を含んだ水の侵入による硫酸イオンの生成によ

る酸性化が起こりやすいと推測された。しかし、実際には、改良柱体から周辺地盤への溶出現象はほぼ見られず、また周辺地盤から改良柱体へ物理的に及ぼす影響についてもほとんどないことから、高配合条件の場合には従来通りの考え方が適用できると思われる。本研究で用いた人工海水および希硫酸濃度は、対象とした地盤が自然状態で受け得るもっとも高い濃度である。高配合条件でない場合、各種溶液への浸潤によって、ある程度の強度低下は生じるが、その影響はあまり大きくないことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計9件)

根上武仁・日野剛徳・加 瑞・姫野季之：深層混合処理工法の適用における軟弱地盤の微視的土構造、第49回地盤工学研究発表会、2014年7月、北九州

姫野季之・日野剛徳・根上武仁・加 瑞：地盤環境の変化の視点に基づく改良柱体および周辺地盤の一軸圧縮特性に関する検討、第49回地盤工学研究発表会、2014年7月、北九州

嘉村 俊・根上武仁・日野剛徳・加 瑞・姫野季之；セメント系改良柱体の打設前後における地盤の微視的土構造と間隙径分布、平成25年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、発表情報2014年3月、福岡大学

鍋内利輝・日野剛徳・加 瑞・根上武仁・姫野季之；セメント系改良柱体の打設前後における自然地盤と改良柱体近傍地盤のpHと一軸圧縮特性、平成25年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、2014年03月、福岡大学

Usman, F., Hino, T., Jia, R. and Negami, T. ; Influences of calcium carbonate, sodium silicate and salt on clay structure, Proceedings of the 5th Young Geotechnical Engineers' Conference -5th iYGEC 2013 (Qui et al. Edited) 463-466, 2013年8月Pari.

相賀康介,根上武仁,日野剛徳,柴 錦春：佐賀平野に堆積する粘性土の物理化学的性質と微視的土構造、平成23年度土木学会西部支部研究発表会、CD-ROM, 2013.

海崎大輝,Usman Fakhriyah,日野剛徳,加 瑞,根上武仁：粘性土の初期強度発現過程と微視的土構造におけるシリカ・カルシウムの役割に関する基礎的研究、平成23年度土木学会西部支部研究発表会、CD-ROM, 2013

松田朋浩,根上武仁,末吉聖次,日野剛徳：生石灰改良による有明粘土・蓮池粘土の地盤内環境を考慮した強度変化、平成23年度土木学会西部支部研究発表会、CD-ROM, 2012.

浪瀬智史,末吉聖次,日野剛徳,加 瑞,Tri Harinto,根上武仁：カオリン改良土に及ぼす溶存シリカ量の影響と初期強度発現過程における強度の変化、平成23年度土木学会西部支部研究発表会、CD-ROM, 2012.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

根上武仁 (NEGAMI Takehito)

佐賀大学・工学系研究科・助教

研究者番号：30325592

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：