

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 18 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22658072

研究課題名（和文） 石灰系固化材を混合した安定処理土による安心・安全な地盤づくり

研究課題名（英文） Toward a safe and secure geo-environment reinforced by soil stabilization using lime admixture.

研究代表者

森井 俊廣 (MORII TOSHIHIRO)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30231640

研究成果の概要（和文）：新潟県中越沖地震で被災した集落排水管路の調査に基づき、石灰系固化材を用いた安定処理工法の耐液状化性能を明らかにした。次いで、養生期間 56 日にわたり土の一軸圧縮強さを測定し、耐液状化性能を調べた。乾燥質量比 5%の添加で、所定の一軸圧縮強さを確保できた。養生期間とともに強度が漸増すること、添加後の仮置きにより強度発現が緩慢になること、また水中浸漬により強度が大幅に低下することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Rural sewerage pipelines were severely damaged by liquefaction of backfill soil during the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007. But a large length of the sewerage pipelines which had been damaged by the liquefaction during the Niigataken Chetsu Earthquake in 2004 and been repaired by backfilling the sandy soil stabilized by lime admixture remained unhurt because of no liquefaction in the backfill. In the paper the damages of the rural sewerage pipelines caused by the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 are investigated and compared with those in 2004 to show an effective liquefaction resistance of the backfill soil stabilized by the lime admixture. Then, in order to evaluate quantitatively the liquefaction resistance of the sandy soil stabilized by the lime admixture, a series of unconfined compression test is carried out. Soil specimen 5cm in diameter and 10cm in height are compacted and cured in a humid container during 56 days. It is shown that the unconfined compression strength of the stabilized soil increases with curing period and, in the case of addition of 5% quantity in dry mass of lime admixture, reaches successfully 100 to 200 kPa which is the unconfined compression strength required for the backfill soil. Some difficult may which be encountered in excavating the stabilized soil is pointed out. It is also shown that a non-compaction period before compaction as well as an immersion of lime-stabilized soil into water affects the increase of unconfined compression strength of the stabilized soil with time.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	0	1,500,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	2,400,000	270,000	2,670,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学，農業土木学・農村計画学

キーワード：石灰系固化材，安定処理土，地震，地盤工学，環境技術

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

1. 研究開始当初の背景

2007年新潟県中越沖地震時の刈羽村における集落排水施設の被災調査から、石灰系固化材を混合した安定処理土の液状化に対する有効性を明らかにした（森井俊広・堀光紀：新潟県中越沖地震の被災事例から探る効果的な地盤改良工法，農業農村工学会誌，76(1)，pp. 33-36，2008）。石灰系固化材を用いた安定処理土地盤は，セメント固化地盤と違い，六価クロムの溶出がなく，また掘削土に混合したのち埋め戻すため残土が発生しないなど，環境面ですぐれた特徴をもつ。このため，今後，地中構造物の埋戻し工事をはじめ，住宅家屋や工場建屋の砂地盤の液状化防止対策として広範に供用していくことが可能であると考えられる。このような適用展開に向け，石灰系固化材の合理的な添加量の決定，ならびに埋戻し後に異常豪雨などの原因により地盤への地下水が流入した際の強度の保持または劣化特性を明らかにしておくことが大事となる。

液状化現象は，1964年に発生した新潟地震で世界的に認識されるようになった。約40年後に，奇しくも同じ地域で生じた大震災において，液状化対策のより効果的な技術の開発に巡り会ったことになる。液状化に関する知見は，わが国で最も豊富に蓄積されている。したがって，対策技術の検討もまた，国外にあって先導的な位置にあると考える。

2. 研究の目的

2004年，2007年と新潟県で連続して発生した大地震により，埋戻し地盤や宅地地盤で液状化による大きな被害が生じた。復興にあたり，特に宅地地盤に対して抜本的かつ地域的な液状化対策が必要とされている。おそらく地下水の低下が率先して求められる対策工法となるが，地域の安全，住民の安心の観点からは，二重三重のセーフティシステムあるいは付加対策が必要である。その一つの有力な選択肢として，地震被害の調査から有効性が確認できた石灰系固化材による安定処理工法がある。本研究では，実証的な試験検討により，安定処理土の耐液状化性能を明らかにするとともに，地下水位低下工法が破綻した際の強度保持特性を明らかにし，宅地等々地盤における耐液状化技術について検討した。

3. 研究の方法

研究期間を2年度とし，期間内に次の研究課題に取り組む。つまり，

(1) 石灰系固化材を用いた地盤安定処理工

法の技術改善（第1年度）

(2) 石灰系固化材で安定処理した地盤への地下水流入特性と強度発現または劣化への影響に関する検討(第1年度および第2年度)

これらの研究課題の成果に基づき，石灰系固化材の合理的な添加量の決定，ならびに安定処理土地盤への地下水流入に伴う強度の劣化の有無，あるいは安定処理土地盤のもつ地下水遮断性能を明らかにする。

研究課題(1): 石灰系固化材を用いた地盤安定処理工法の技術改善

目的: 所要の耐液状化性能を達成するために必要な石灰系固化材の添加量(質量混合比率)の目安を明らかにするとともに，特に広域の工事で懸念される初期の仮置き(安定処理土の放置)の影響を調べる。一連の検討には，一軸圧縮試験を用いる(国土交通省下水道地震対策技術検討委員会: 管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言，2004による)。

方法: (ア) 室内試験(一軸圧縮試験)により，石灰系固化材の添加量および仮置き期間を変えて，養生期間に伴う発現強度の変化を調べる。試験因子は，添加量(標準的な質量比率5%と2.5%の2水準程度)，仮置き(有り無しの2水準)および養生期間(1~24週間の6ヶ月程度)とする。繰返しの供試体数はいずれも3本である。(イ) 液状化被害が大きかった新潟県刈羽村より地盤砂を採取し，一連の物理試験を行ったのち，石灰系固化材を混合し，上記ア)の試験水準に見合う供試体を作製する。供試体は湿潤養生し，所定の養生期間が経過した供試体より，順次，一軸圧縮試験に供する。試験はJISに準じて実施する。(ウ) 一連の試験で得られた改良土の強度を，実験計画法に基づいて分析し，課題に対する成果をまとめる。

経費: 石灰系固化材は購入するが，砂は実際に被災した刈羽村より採取する。一軸圧縮試験用の供試体を作製し，一定の温度と湿度のもとで養生させるため，鋼製型枠ならびに恒温高湿装置を購入した。

研究課題(2): 石灰系固化材で安定処理した地盤への地下水流入特性と強度発現または劣化への影響に関する検討

目的: 地下水は，湿潤な状態を形成することにより養生を促進し強度を増加させる。しかし，逆に，地下水にカルシウムイオンが溶脱することにより強度劣化を生じる懸念が指摘されている。固結化した安定処理

土への地下水の流入速度と広がり、安定処理土の透水性で決定される。本課題では、大型の安定処理土ブロックを長期に水中浸漬することにより、安定処理土の透水性を調べるとともに、強度の増加あるいは劣化に及ぼす影響を明らかにする。

方法：(ア) 室内で W600×D600×H300mm サイズの安定処理土ブロックを作製したのち、これを大型水槽内で長期に水中浸漬し、ブロック内の水分量の変化および発生温度をモニターする。モニターには、ブロック作製時に埋設した小型の誘電率センサーを用いる。(イ) 一定期間浸漬のままとし、地下水がブロック中央部まで流入したのち、ブロックの数箇所から供試体(φ50×H100mm)を抜き取り、一軸圧縮試験および透水試験により、それぞれ、強度の増加あるいは劣化、および透水係数を調べる。(ウ) 一連の計測で得られた透水性と強度発現を分析し、目的に対する成果をまとめる。

4. 研究成果

(1) 現地調査

刈羽村では、2004年新潟県中越地震と2007年新潟県中越沖地震の2度にわたって、多くの農業集落排水管路が、埋め戻し地盤の液状化により被災した。農業集落排水管路の被災が顕著であった刈羽村赤田地区でみると、2004年新潟県中越地震での被害は、管路敷設延長6,483mに対し約35%に達した。復旧に際して、もとの埋戻し土を掘削し、これを改良土プラントへ搬入し、石灰系固化材(商品名ランドライム)を添加したのち、ふたたび埋め戻された。石灰系固化材の添加割合は、土に対する乾燥質量比で5%であった。その結果、2004年新潟県中越地震の3年後に発生した2007年新潟県中越沖地震では、このような安定処理土で埋め戻された地盤において、液状化はほとんど発生しなかった。これを、赤田地区の事例でまとめると、表1のようになる。さいわいにも2004年新潟県中越地震で被災を免れた管路4,198mでは、2007年新潟県中越沖地震でその25.5%が損傷を受けた。これに対し、2004年新潟県中越地震で損傷し復旧埋戻しがなされた管路2,285mでは、再被災率はわずかに4%であり、石灰系固化材を用いた地盤の安定処理工法の有効性が実証された。

(2) 安定処理土の耐液状化性能

技術的緊急提言によれば、埋戻し部の固化により埋戻しを行う場合、安定処理土の一軸圧縮強さ(28日強度)として100~200kPaが必要とされている。この目安は、繰返し三軸試験において、供試体の軸ひずみが伸張側に累積し、液状化しないまま最終的に引張り破壊が生じた際の一軸圧縮強さを根拠にして、

表1 農業集落排水管路の被災状況

管路総延長	被災および被災なし管路の延長 (括弧内は割合)	
	2004年 新潟県中越地震時	2007年 新潟県中越沖地震時
6,483m ^a	被災・復旧 2,285m (35.2%) ^b	被災 92m (4.0%) ^c 被災なし 2,193m (96.0%)
	被災なし 4,198m (64.8%)	被災 1,068m (25.4%) ^d 被災なし 3,130m (74.6%)

設定されている(地盤工学会, 2004)。この一軸圧縮強さを通して、安定処理土の耐液状化性能を確認するため、土の一軸圧縮試験を実施した。

図1は、石灰添加量と仮置きの有無を因子として、7日から56日まで7日間区切りの湿潤養生後に得られた一軸圧縮強さ q_u をまとめたものである。 q_u は、養生期間にほぼ比例して増加している。この増加割合に対し、石灰系固化材の添加量が統計的に高度に有意な影響を持つことは明らかであり、添加量5%条件では、養生28日後に技術的緊急提言の目安を確実に確保できている。しかし、このように、早い段階で確実に目安を確保できるものの、それ以降も一軸圧縮強さは増加する傾向にある。浚渫粘土を対象とした事例ではあるが、石灰安定処理土の現地養生後の一軸圧縮試験から、安定処理土の強度が11年間ほどかけて3倍に増加したとの報告がある。ここまでの長期間を想定することはできないが、少なくとも図1の2ヶ月間ほどの増加傾向からみると、添加量5%の供試体の q_u は400kPa以上になると予想され、さらに、一軸圧縮試験に供した供試体の硬さから推察すると、再掘削が容易であるとする石灰系固化材の使用上の利点が損なわれてしまう可能性がでてくる。これに対し、2.5%添加条件では、 q_u の発現速度が緩慢であり、少なくと

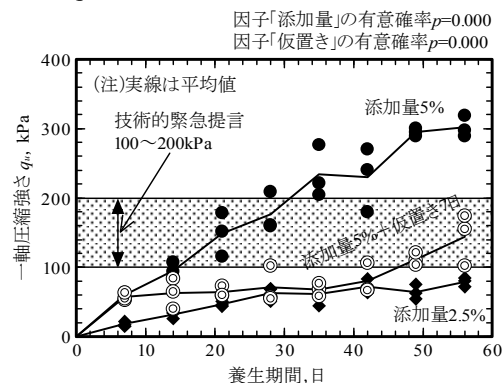


図1 石灰系固化材を添加した安定処理土の一軸圧縮強さ、ならびにそれに対する添加量と仮置きの影響

も2ヶ月経過段階では技術的緊急提言の目安を満足できていない。これ以降の養生期間においても目安を満足することは難しいようであるため、耐液状化性能の点から、2.5%添加量ではやや懸念が残る。図1には、5%の石灰系固化材を添加し練り混ぜたのち7日間仮置きし、その後に供試体を作製し、所定の期間湿潤養生を行って測定した q_u も示している。仮置きは、一軸圧縮強さの発現に統計的に高度に有意な影響をもっており、これにより、安定処理土の q_u の発現が緩慢になるとともに、 q_u そのものも低くなる傾向をみることが出来る。

次に、図2は、湿潤養生を7、14、21および28日の間行ったのち、さらに水中に28日間浸漬したときの一軸圧縮試験の結果をまとめたものである。図中の黒塗りの記号は、先の図1の黒塗りの3点のデータの平均値である。一方、白抜きの記号も供試体3本で得られた一軸圧縮強さの平均値であるが、所定期間の湿潤養生後に28日間の水中浸漬を行っているため、横軸には、湿潤養生期間に28日を加算した35、42、49および56日をとっている。図2から、湿潤養生後の水中浸漬は、一軸圧縮強さの発現に対し統計的に高度に有意な影響をもち、 q_u を大幅に低下させることがわかる。図2では、石灰系固化材の添加量にかかわらず、水中浸漬を受けると q_u は54%程度に低下している。これには、水分が供試体内に浸透することによりカルシウムイオンの溶脱が生じ、かつ間隙内のサクシオン開放にともないせん断強度が低下したことが一因として関与したのではないかと考えられる。一軸圧縮試験の供試体と現地の埋戻し地盤のサイズには大きな違いがあるため、一概には比較できないが、地下水回復が安定処理土の強度発現に影響を持つことは十分に配慮しておく必要があるといえる。

(3) まとめ

2007年新潟県中越沖地震で生じた農業集落排水管路の被害状況の調査にもとづき、石灰系固化材を用いた安定処理土の液状化対

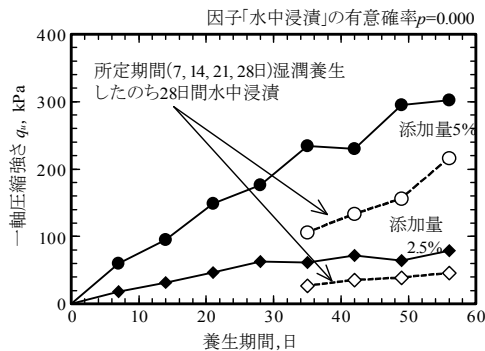


図2 石灰系固化材を添加した安定処理土の一軸圧縮強さに対する水中浸漬の影響

策工法としての有効性を明らかにした。この工法によると、掘削土を有効に再利用でき残土がほとんど発生しない、さらに、セメントを用いないため、有害な六価クロムを溶出しないなどの利点が生まれてくる。

石灰系固化材を用いた安定処理土の耐液状化性能を、一軸圧縮強さを通して調べた。限られた試験数量であり今後検討が必要な部分もあるが、おおよそ次の知見が得られた。

ア) 石灰系固化材を用いた安定処理土の標準的な添加量として、乾燥質量比5%で、耐液状化性能として必要な100~200kPaの一軸圧縮強さを確保できる。ただし、養生期間つまり施工後の時間経過とともにこの強さはかなり増大し、再掘削が容易であるとする石灰系固化材の使用上の利点が損なわれてしまう可能性がでてくる。むしろ、少な目の添加量(たとえば本文の結果によると5%以下、2.5%以上の範囲)でも、強度の発現は遅いが、所要の耐液状化性能を保証できることを明らかにした。

イ) 石灰系固化材を添加したのち仮置きしても、速度は緩慢であるが、耐液状化性能として必要な強度は十分に確保できる。また、長期にわたる過大な強度発現を抑えることが可能ではないかと考えられる。

ウ) 水中浸漬にともなう強度の低下がかなり大きい。このため、埋戻し後の地下水回復を抑制し、初期の湿潤養生期間を確保するなどの施工上の工夫が望まれる。

宅地地盤の甚大でかつ広範囲にわたる液状化被害に対して、抜本的、かつ地域的な対策が求められている。おそらく地下水位の低下が率先して求められる液状化対策であるが、これに加えて、本文で調査した安定処理工法を併用していくことも、一つの有力な選択肢になるのではないかと考える。

以上の研究成果は、「石灰系固化材で安定処理された砂質土の耐液状化性能」と題して農業農村工学会論文集に投稿中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔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

森井 俊廣 (MORII TOSHIHIRO)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30231640

(2) 研究分担者

なし。