

ジオポリマーを利用した改良土の地盤工学的評価

Geotechnical Evaluation of Improved Soils Using Geopolymer

富山県立大学 講師 兵動太一

(研究計画ないし研究手法の概略)

本研究では申請者はジオポリマーを地盤改良に応用できないか検討した。

本研究の課題点は以下の3点が挙げられる。(1) ジオポリマーを土に混合した際に強度発現をするのか? 耐液状化性能があるのか? (2) 長期耐久性 (3) 既存の改良方法の代替材としての適用性。本申請では(1)を明らかにすることを目標とした。まずはジオポリマーの選定であるが、環境負荷の小さくわが国で広く分布している火山灰を選定した。また、循環型社会の構築のため農業副産物であるもみ殻の使用した。こちらはそのままでは強度が発現しないのもみ殻灰の状態で使用した。火山灰ないしはもみ殻灰を水ガラス系薬液と混合し、種々の割合で土に混合したものを供試体として使用した。

まずは上述の試料で適切な配合を調べた。これらの試料の地盤工学への適用事例が少なく試行錯誤を繰り返す。この供試体で室内試験を実施した。これらにより、設計強度を満たしているか、一般の改良材と比較して液状化強度はどの程度なのか比較できるレベルまで調査した。具体的な試料の情報等は以下に示す。

・試験試料

表-1に使用試料の物理的性質を示す。活性フィラーとして伊豆諸島産の火山灰および富山県産のもみ殻灰をそれぞれボールミル、粉砕機にて粉砕後、2mmふるい通過分を使用した。アルカリ水溶液として水ガラス3号(WG)、石灰水(LW)、5%濃度の水酸化ナトリウム(NH)を使用した。また、土質試料は東北珪砂6号を使用した。

表-1 使用試料の物理的性質

	東北珪砂 6号 S	火山灰 VA	もみ殻灰 RA
自然含水比 $w(\%)$	0.065	3.6	1.0
土粒子、パイ オマス密度 $\rho_s(\text{Mg}/\text{m}^3)$	2.61	2.88	2.19
細粒分含有率 $F_c(\%)$	5.800		

・供試体作製方法

ボウルにアルカリ水溶液、活性フィラー、砂の順に投入し、均一になるまで手練りで5分間混合した。その後、プラモールド($\phi=50\text{mm}, h=100\text{mm}$)に三層に分けて詰め、各層をタンピング法にて空気を抜いて締め固めた。

・養生条件

供試体は作成後、室温 $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $70 \pm 3\%$ 程度の養生室にて気中養生を行い4日後に脱型した。脱型後も継続して所定の日数(7日間)気中養生させた。

(実験調査によって得られた新しい知見)

本研究では様々な配合割合で供試体を作製したが、その多くが固化しなかったか、もしくはモールドからの脱型が上手くいかなかったものが少なくなかった。本項最後にこの問題の

解決提案について示す。しかしながら、上手くいった事例として寺井¹⁾の配合に準じた配合

割合で試験を行ったケースが挙げられる。寺井の配合にならった配合割合を表-2 に示す。

ジオポリマーの濃度を考慮する場合、様々な指標があるが、本報告では水アルカリモル比(W/A)の概念を用い、W/Aを変化させたケースで試験を行ない、アルカリ水溶液の濃度の差異による強度変化を示す。

図-1 に一軸圧縮試験の結果を示す。活性ファイラーに火山灰を用いたケースにおいては W/A=15 付近がピークとなった。一方で、もみ殻灰を用いたケースでは W/A=30~40 付近がピークとなり、もみ殻灰は密度が小さいため多量に添加され、反応により多くの水分を必要としたためだと考えられる。結果的にアルカリ水溶液の濃度を薄めても、もみ殻灰を用いたケースの強度は保たれることが分かった。

当初の予定では繰返し三軸試験やベンダーエレメント試験を行う予定であったが、冒頭の問題のため期間内の実験ケースの量の確保が厳しくなった。沿岸技術研究センターの浸透固化処理工法技術マニュアルにおいて改良土の一軸圧縮強さを液状化強度に換算式に従い、本研究の試験結果の液状化安全率を推定した。

道路橋示方書(V耐震設計編)²⁾の手法を参考に(1)の式を用いて液状化判定を行なった。R_{L20}は繰返し非排水三軸試験からの液状化強度曲線より算出されるため、繰返し非排水三軸試験(JGS 0541:2009)の実施も今後行なって精度を上げる必要がある。

$$F_L = \frac{c_w R_{L20}}{(1.0 - 0.015x)c_z k_{hgL0} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}} \quad (1)$$

F_L: 液状化抵抗率, c_w: 地震動特性による補正係数, R_L: 繰返し三軸強度比, x: 地表面からの深さ(m), c_z: 地域別補正係数, k_{hgL0}: 液状化の判定に使用する地盤面の設計水平震度の標準値, σ_v: 地表面からの深さ x(m)における有効上載圧(kPa), σ_v': 地表面からの深さ x(m)における有効上載圧(kPa)

表-2 寺井にならった配合割合

活性 ファイラー	アルカリ 水溶液	水	砂	
単位量 (g/L)				
VA or RA	WG or LW	NH	W	S
760	259	121	0	1072

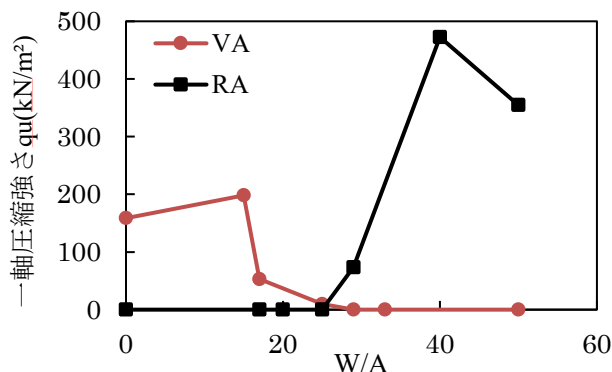


図-1 W/A と一軸圧縮強さ q_u の関係

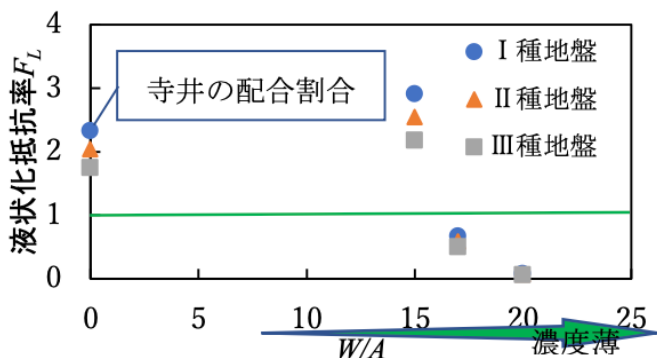


図-2 液状化抵抗率と W/A の関係 (VA)

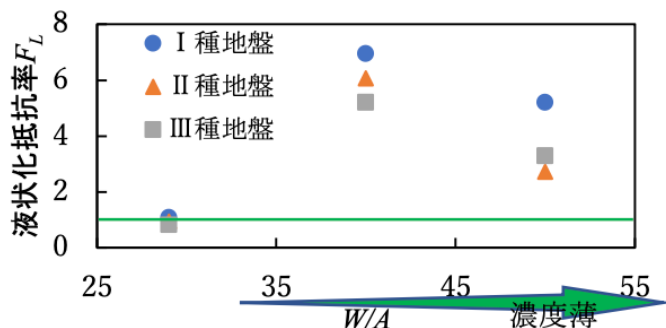


図-3 液状化抵抗率と W/A の関係 (RA)

本学が位置する富山県射水市において令和6年能登半島地震を想定したレベル2地震動(タイプII)を受けたと仮定して $c_z=1.0$ とした。また、戸建住宅の液状化対策における検討深度が5mであることから、 $x=5(m)$ とし、液状化抵抗率 F_L を求めた。



写真-1 試料の脱型失敗例

図-1, 2にVA, RAを用いた液状化抵抗率とW/Aの関係をそれぞれ示す。液状化抵抗率FLが1.0以下であると液状化する可能性がある。本研究では火山灰を用いた

ケースにおいてはいずれのケースにおいても1.0を下回ったのに対して、もみ殻灰を用いたケースはI種地盤に関しては全てのケースで1.0を上回った。本研究においてはある一定条件を満たせば今回用いた活性フィルターのジオポリマー改良土は液状化対策に使用できるが、まだ実験ケースは十分とは言えず、データの蓄積が必要である。また、冒頭で示した脱型が上手くいかずに強度を調べられなかったケースが存在する。これらの試料は写真-1のように脱型を失敗しただけで改良できている可能性のあるケースがあった。実際の施工においてはモールドで試料を養生することがないためこれらの問題を克服して強度を調べる方法がないか考えた。今回の報告には間に合わなかったが、モールドから脱型せずに強度を測定できる針貫入試験(JGS 3421:2012)を導入した。こちらの実験は令和6年度以降も引き続き継続実施し、随時学会等で発表していきたい。

・参考文献

- 1) 寺井雅和：ジオポリマー土質材料の圧縮強さ特性に関する基礎的研究,近畿大学工学部研究報告,No.53,pp.9-13,2019
- 2) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説,丸善出版株式会社,

謝辞：本研究を実施するにあたり岡山大学の西垣名誉教授に様々なアドバイスを頂いた。また当時修士課程の吉崎君,飯塚君,学部の宮本さんには室内実験やデータ整理を行なってもらった。ここに謝意を表す。

(発表論文)

- 1) アルカリ溶液の濃度がジオポリマー改良土の一軸圧縮強さに及ぼす影響,飯塚悠貴,兵動 太一,宮本 凜,立田 真文,竜田 尚紀,令和5年度土木学会中部支部研究発表会講演集,2024年3月
- 2) 液状化対策を目的としたジオポリマーの適切な配合割合の選定,宮本凜,兵動太一,竜田尚希,飯塚悠貴,第3回JGS北陸支部ユースネットワーク研究発表会,2023年12月