

超微粒子を用いた懸濁液型注入材の強度発現に関する検討

日鐵住金建材(株)(元 東京都市大学) 正 ○蓮沼佑晃
 東京都市大学 学 上村健太郎
 強化土エンジニアリング(株) 正 佐々木隆光
 佐藤工業(株) 正 永尾浩一
 東京都市大学 正 末政直晃

1. はじめに

本研究ではジオポリマー硬化体(以下 GP)の固化機構に着目し、薬液注入工法における新たな注入材としての応用を検討している。GP とは、アルミナシリカ粉末とケイ酸アルカリ溶液との重合反応によって形成される非晶質の縮重合体(ポリマー)の総称である¹⁾。近年コンクリート構造物の建設において CO₂ の削減が課題となっている中で、GP は一般的に使用されるポルトランドセメントと比較して製造時の CO₂ 排出量が 80%程度低減される²⁾と言われており、セメントを使用しないコンクリートとして GP に対する需要が高まり数多くの研究がなされている。また、材料にフライアッシュ(以下 FA)や高炉スラグ微粉末(以下 BS)などの産業副産物を利用できることから環境への負荷低減効果も期待され、さらに耐酸特性などの化学的耐久性にも優れている³⁾。しかしながら、土木分野における GP に関する研究はコンクリート分野にとどまっており、GP を用いた地盤改良に関する研究は極めて少ない。そのため本研究では、GP を応用した新たな注入材の固化メカニズムや強度特性を把握するための検討を行っている。

本稿では、GP の配合を用いた注入材によって改良した砂供試体に対して、一軸圧縮試験を実施することにより注入材の強度発現特性を確認した。また、微粒子材料の配合割合やアルカリ材の違いによる強度発現特性の違いを確認するため、微粒子の配合割合を調整し、アルカリ材に水酸化ナトリウム(以下 NaOH)を使用する基本配合に加え、水酸化カルシウム(以下 Ca(OH)₂)や酸化マグネシウム(以下 MgO)を用いたケースについての検討を行った。

2. 異なる配合の注入材による改良体の一軸圧縮強度

表-1 注入材の配合表

2-1. 試験概要

表-1 に注入材の配合表を示す。今回の実験で用いた配合は太田ら⁴⁾の研究を参考にしたものである。なお、通常 GP を作製する際には水ガラスが用いられるが、水ガラスに水酸化ナトリウムなどのアルカリ材を単独添加した場合、凝結が速く可使時間が極端に短くなる。そのため、可使時間を延長する方法として用いられるシリカ(以下 Si)添加法⁴⁾によって注入材を作製した。

case	配合割合				BS 置換率 (%)	AL/W (モル比)	Si/AL (モル比)	塩基度 (重量比)	P/W
case1-1	BS	FA	SiO ₂	NaOH	40	0.006	2.297	0.828	0.1
	0.367	0.464	0.044	0.125					
case1-2	BS	FA	SiO ₂	Ca(OH) ₂	40	0.003	4.255	0.828	0.1
	0.367	0.464	0.044	0.125					
case1-3	BS	FA	SiO ₂	MgO	40	0.006	2.314	1.107	0.1
	0.367	0.464	0.044	0.125					
case2-1	BS	FA	SiO ₂	NaOH	40	0.010	1.148	0.828	0.1
	0.326	0.413	0.039	0.222					
case2-2	BS	FA	SiO ₂	Ca(OH) ₂	40	0.005	2.127	0.828	0.1
	0.326	0.413	0.039	0.222					
case2-3	BS	FA	SiO ₂	MgO	40	0.010	1.157	1.386	0.1
	0.326	0.413	0.039	0.222					
case3-1	BS	FA	SiO ₂	NaOH	40	0.005	2.529	0.753	0.1
	0.352	0.445	0.084	0.120					
case3-2	BS	FA	SiO ₂	Ca(OH) ₂	40	0.003	4.685	0.753	0.1
	0.352	0.445	0.084	0.120					
case3-3	BS	FA	SiO ₂	MgO	40	0.005	2.549	1.007	0.1
	0.352	0.445	0.084	0.120					

今回の実験における基本配合は case1-1 に示す配合であり、このケースを基準に、NaOH に代わるアルカリ材として Ca(OH)₂、もしくは MgO を用いた場合における強度発現を確認した。また、case2 ではアルカリ材の配合割合、case3 では Si の配合割合を変化させた場合の検討も行った。供試体は直径 5cm、高さ 10cm の円筒型のプラスチックモールドを用いて作製した。モールドの内側には脱型をしやすくするためにグリースを塗布し、供試体の上端および下端には、ろ紙を敷いた。また、供試体中の注入材の濃度ができるだけ均一になるように注入材と砂試料を交互に投入し、常に湛水部ができるように注入材および砂の投入量を調整した。なお供試体は相対密度 Dr=60%程度になるように高さを調整した。供試体作製後、常温で湿潤養生を行い養生後 7、14 日で一軸圧縮試験を実施した。

キーワード 地盤改良 ジオポリマー 酸化マグネシウム

〒158-8557 東京都 世田谷区 玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL : 03-5707-0104 (代) E-mail : g1681722@tcu.ac.jp

2-2. 実験結果と考察

図-1に改良体の一軸圧縮試験結果を示す。図-1(a)に示されるように、基本配合のケースについては case1-1 および case1-3 の配合ではどちらもほぼ同様の強度および強度変化を示している。一方で、case1-2 については他の2ケースと比較して強度が小さくなった。しかしながら、強度の増加傾向に着目すると他ケースのそれとは大きく異なり、養生7日から14日にかけて2倍近く強度が増加した。このことから、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を配合したケースは他のケースと異なり長期的に反応することが示唆された。

図-1(b)は基本配合を基準にアルカリ材の配合割合を2倍にしたケースである。このケースを見ると NaOH を配合した case2-1 については基本配合の14日強度と比較して若干強度が上昇するものの、全体的に見ると強度は低下する傾向にある。case2-3 と基本配合の case1-3 の14日強度を比較すると70%程度にまで強度が低下していることが分かる。同様に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を配合した case2-2 についても14日強度において case1-2 と比較して73%にまで強度が低下した。

図-1(c)は基本配合を基準に Si 微粒子の配合割合を2倍にしたケースである。まず case3-1 については養生日数7日の供試体の方が14日の供試体よりも強度が大きくなった。case3-2 は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を配合したケースでの養生日数7日の供試体の中では一番大きい強度となっており、14日強度も二番目に大きくなった。このことから、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と Si は相性が良く固化しやすいことが確認された。特筆すべきは case3-3 の MgO を配合したケースである。7日強度は case1-3 よりも少し低いが生14日強度は大きく増加している。このことから MgO も Si との相性が良く固化の増進に寄与することが示唆された。

3. まとめ

今回の試験結果から、GP の固化機構を薬液注入工法における地盤改良にも適応できることが示唆された。特にアルカリ材として

NaOH を用いたケースと MgO を用いたケースにおいて比較的高い強度発現が確認された。また、 NaOH よりも pH の低い MgO をアルカリ材として利用することは、環境保全の観点からも望ましいと考えられる。さらに、BS の化学的耐性⁵⁾や MgO の重金属等に対する高い不溶化効果⁶⁾などの観点から、今回使用した材料の適切な微粒子配合を検討することで、土壌汚染分野に対しても適用することが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 一宮一夫, 津郷俊二, 原田耕司, 池田攻: ジオポリマーモルタルの配合ならびに製造法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.33, No.1, p575, 2011
- 2) 河尻留奈, 国枝稔, 上田尚史, 中村光: ジオポリマーの基礎物性と構造利用に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.33, No.1, p1943, 2011
- 3) 上原元樹: ジオポリマー法による環境負荷低減コンクリートの開発, 鉄道総研報告, 第22巻4号, 2008
- 4) 大木信洋, 束原実, 佐藤隆恒, 上原元樹: ジオポリマー法による環境負荷低減 PC まくらぎの試作, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.71th Page.ROMBUNNO.V-206 pp411~412, 2016
- 5) 牧剛史, 加藤佳孝, 山口明伸: ゼロから学ぶ土木の基礎 コンクリート, p106, 株式会社オーム社, 2012
- 6) 山田哲司: 酸化マグネシウム改良土の固化機構とその応用に関する研究, <http://hdl.handle.net/10112/10408>, 関西大学, 2015, 閲覧日 2017年9月8日

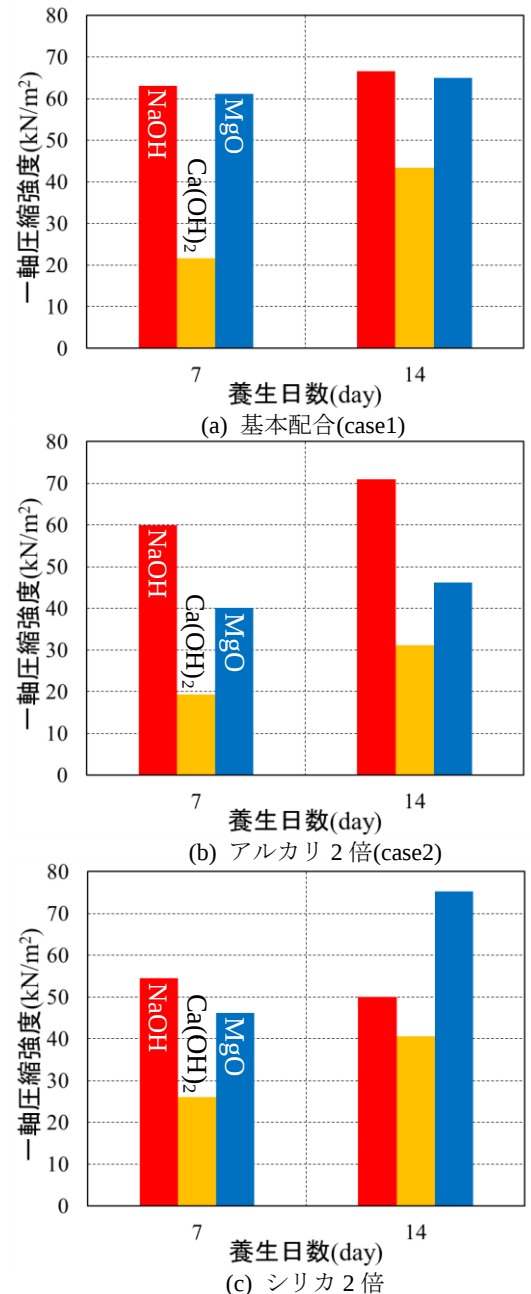


図-1 改良体の一軸圧縮強度