

高炉スラグ微粉末固化処理土の化学変化に着目した固化メカニズムの検討

○福岡大学 学生会員 萩原 健太郎

福岡大学 正会員 西 智美

福岡大学 正会員 村上 哲

1. はじめに

2016年4月に発生した熊本地震によって甚大な宅地液状化被害が発生した。その中でも表層から3~5mの地点で特に大きな被害が生じた。液状化対策として表層改良工法を行うことにより液状化被害を軽減することができる。従来通りであれば固化材にセメント系固化材を用いるが、産業副産物である高炉スラグ微粉末を適用した固化処理土を用いることで環境負荷低減に配慮した液状化対策が期待できる。

先行研究では、高炉スラグ微粉末混合砂は養生液の初期pHが低くても養生中にpHが上昇し、固化する事が明らかになったが、そのメカニズムが解明できていない²⁾。そこで本研究では、化学組成の成分の変化とマイクロスコープによる観察に着目することで、高炉スラグ微粉末固化処理土が固化するメカニズムを化学的な視点で考え、pHの上昇との関連性を解明することを目的とする。

2. 二酸化ケイ素の化学反応の確認

表-1：高炉スラグ微粉末、豊浦砂の主な成分^{3) 4)}

2-1. 化学組成について

先行研究では、母材は豊浦砂とし、高炉スラグ微粉末を質量比10%添加した混合砂について、養生した供試体の強度特性を検討した²⁾。その際の高炉スラグ微粉末と豊浦砂の化学組成は表-1のとおりであり、混合砂

		豊浦砂	高炉スラグ微粉末	混合砂
SiO_2	二酸化ケイ素	92.6%	33%	86.67%
CaO	酸化カルシウム	8.5%	42%	4.83%
Al_2O_3	酸化アルミニウム	3.7%	14%	4.73%
MgO	酸化マグネシウム	0.5%	6%	0.98%
Fe_2O_3	酸化鉄	0.2%	1%	0.28%
TiO_2	酸化チタン	-	0.5%	0.02%

のほとんどを二酸化ケイ素が占めていることがわかる。ここで二酸化ケイ素と水酸化カルシウムの反応を考えると、 $SiO_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Ca_2SiO_4 + H_2O$ (二酸化ケイ素+水酸化カルシウム→ケイ酸カルシウム+水)である。

反応を起こし新たに生じたケイ酸カルシウムは強いアルカリ性を示す特徴があり、これがpH上昇の原因となっている可能性がある。その確認の為、豊浦砂と水酸化カルシウム水溶液のみで実験を行う。

2-2. 実験概要

豊浦砂のみの供試体を、養生日数7日、21日、28日、それぞれ二個ずつ作製する。供試体はモールド(直径50mm,高さ100mm)の底に有孔板と濾紙を設置し、3層に分け詰め、pH12の水酸化カルシウム水溶液で養生を行う。

2-3. 実験結果

いずれの養生日数の供試体も、自立はするものの、指で触ると変形してしまう為、固化を確認できなかった(写真-1)。先行研究で確認された固化に伴う変色も見られなかった。



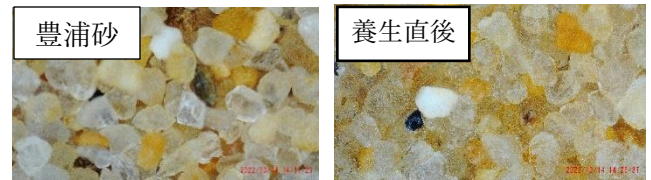
写真-1 養生28日の供試体

3. マイクロスコープを用いた供試体の断面観察

3-1. 実験概要

マイクロスコープを使用した観察により、固化に伴う粒子間の変化について検討した。2-2と同様に混合砂の供試体を作製し、養生期間は7日、14日、28日、56日それぞれ3本養生した。観察位置は供試体の上部1cm、中央地点、下部1cm付近の断面とする。マイクロスコープでの撮影倍率は、約80倍~90倍となっている。

写真-2に豊浦砂のみ、写真-3に養生直後の様子を示す。
写真-2より、豊浦砂には透明な粒子が最も多く含まれており、次に黄色の粒子が多くみられる。写真-3の養生直後の豊浦砂と比較して変化を観察する。



3-2. 養生直後から 56 日までの変化

写真-4~6に、それぞれの観察位置の養生直後から56日後までの変化を示す。写真-4より、供試体上部1cmの粒子を確認できた。養生日数が長くても高炉スラグ微粉末が見られる。

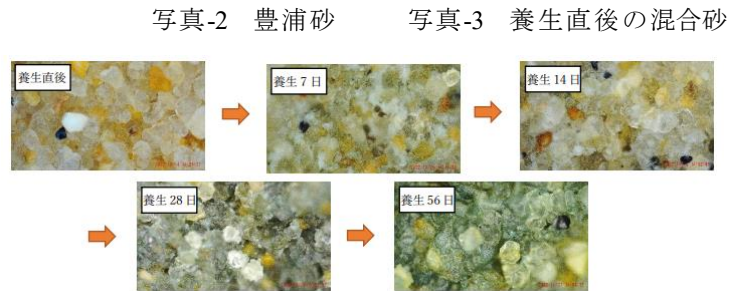


写真-4 供試体上部1cm地点の変化

写真-5より、供試体中央部分は、上部1cmと比較すると早期の変色が確認でき、14日以降は高炉スラグ微粉末の反応により粒子間の間隙が埋まっている事が確認できた。これが固化につながっていると考えられる。

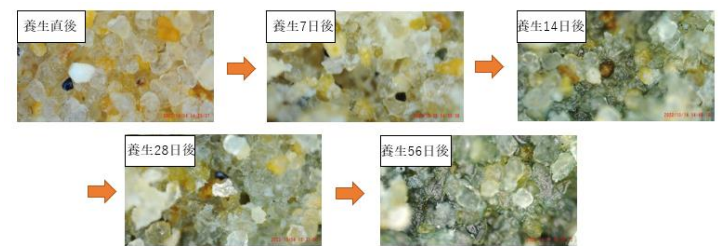


写真-5 供試体中央地点の変化

写真-6より、供試体下部1cmは14日以降中央地点とあまり変化はない。養生56日の様子を見ると、黄色い粒子の外側に透明の膜のようなものができている。供試体の固化が進むと白い模様が出てくるのが分かっており、この膜のようなものが白の発現と関係していると考えられる。この原因については今後検討する必要がある。

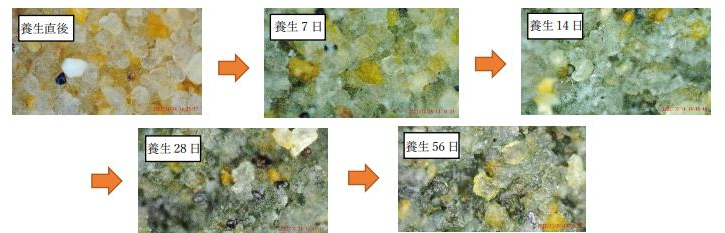


写真-6 供試体下部1cm地点の変化

4. まとめ

高炉スラグ微粉末固化処理土について、化学変化に着目した固化に関する検討を行った。以下に得られた知見を示す。

1. 二酸化ケイ素の化学反応の確認では、混合砂で作成した供試体と比較すると固化を確認できなかった為、二酸化ケイ素は固化やpHの上昇につながる化学反応があったとは考えにくい。
2. マイクロスコープを用いた供試体の断面観察では、粒子自体の形や色などの変化は見られず、粒子間の間隙が埋まって変色していることがわかった。豊浦砂と高炉スラグ微粉末は化学反応を起こしておらず、高炉スラグ微粉末と養生液が豊浦砂の粒子の間隙を埋めた結合剤となっていると考えられる。

【謝辞】本研究を進めるに当たり、日鉄高炉セメント株式会社より高炉スラグ微粉末を提供いただいた。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所:平成28年(2016年)熊本地震による建築物等被害第四次調査報告,p.16,2016.
- 2) 鶴 うらら, 村上 哲, 西 智美:初期pHの異なる養生液と高炉スラグ微粉末混合砂の強度・変形特性に関する検討, 令和3年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.319-pp.320, 2022.
- 3) 高炉スラグ微粉末の不思議 19.indd (beton.co.jp) (参照日 2023/01/06)
- 4) 豊浦硅石鉱業株式会社 豊浦硅砂とは豊浦硅石鉱業株式会社 (toyourakeiseki.com) (参照日 2023/01/06)