

フライアッシュを用いたセメント改良土の強度発現

九州大学 学生会員 ○成清 哲平
 広島大学 正会員 半井 健一郎
 広島大学 Ho Si Lanh

1. 背景・目的

火力発電所から多くの石炭灰が排出され、その約9割がフライアッシュとして分類される。我が国ではフライアッシュの利用が進んでいるがその利用内訳の大半がセメント・コンクリート分野で、特にセメントの原料としての利用に依存しているのが現状である [1]。セメント・コンクリート分野でフライアッシュの利用量に変動がある場合、フライアッシュが産業廃棄物として排出される可能性がある。そのため、他分野での利用拡大が重要である。

フライアッシュはセメント・コンクリート分野でポゾラン反応による長期強度が増加、ワーカビリティの向上 [2] [3]などの特性を活かすため混和材、混合材として利用されている。また、フライアッシュは、地盤改良土分野でも有用性が確認されている。例として、セメントあるいはセメント系固化材と混合し地盤改良材として用いることで、長期強度の増加、浸水による老化への抵抗性の向上が報告されている [4] [5]。しかしながら、フライアッシュを地盤改良材として用いた検討事例は少なく、フライアッシュを多量に用いた配合での検討は行われていない。

そこで本研究では、フライアッシュの利用分野を検討の少ない改良土分野まで拡大し、フライアッシュの混和材としての有用性を強度発現の観点から検討を行うことを目的とした。

2. 試験概要

本研究では、豊浦珪砂、普通ポルトランドセメント(C)、フライアッシュ(II種)(FA)、水道水(W)を使用し改良土供試体を作製した。配合は、砂質土に対しフライアッシュを置換し、その置換率を20%(FA/C=2.5)、40%(FA/C=5.0)の2配合設定した。また、この2つの配合の両方でW/C=100%、砂質土とフライアッシュの混合物の質量に対しセメントを8%という配合で供試体を作製した。供試体の寸法は、直径50mm、高さ100mmの円柱供試体とし、養生は、室温20℃の恒温室内で封緘養生を行った。その後、材齢7、14、28、56、91日でJISA 1216に準拠し、一軸圧縮強度試験を行った。さらに、同材齢で化学反応の進行を定量的に分析するために熱分析試験を行った。また、細孔径分布を測定する目的で行った水銀圧入法に関しては、材齢7日で計測を行った。

本研究では、熱分析試験用の粉末供試体作製過程での発生した条件の変化より、結果の整理と考察において、材齢7日のすべての配合で水和反応が一定に進行し、材齢7日までに生成された水酸化カルシウムは反応により消費されないという仮定を用いている。なお、Ho ら(2018)の研究 [6]により行われた砂に対してフライアッシュを置換していない試験体についての各試験結果をFA/C=0として本研究のFA/C=2.5と5.0との比較に用いる。

3. 結果・考察

(1) 一軸圧縮強度試験結果

図1にFA/C=0、2.5、5.0の一軸圧縮強度試験結果を示す。図1より、すべての配合において近似直線の決定係数が0.9以上と高いことから近似直線による比較を行う。まず、FA/C=2.5とFA/C=5.0を比較した場合、両者は概ね近い形で表されると分かり、材齢7日から91日で強度発現は似た傾向で進行していると考えられる。このことから、FA/C=2.5で反応に関係するフライアッシュの量はすでに十分量あり、FA/C=5.0の場合ではフライアッシュの量は過剰であると考えられた。

キーワード フライアッシュ、ポゾラン反応、圧縮強度、水酸化カルシウム

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院 先進理工系科学研究科(工学系)社会基盤環境工学プログラム TEL: 082-424-7531

また、フライアッシュの混合の有無(FA/C=0 と FA/C=2.5,5.0)による比較を行うと、FA/C=0 に対する FA/C=2.5 の強度増加率は材齢 7 日で 1.3 倍、材齢 28 日で 1.5 倍、材齢 91 日で 1.8 倍である。FA/C=5.0 の場合の強度増加率は、材齢 7 日で 1.4 倍、材齢 28 日で 1.7 倍、材齢 91 日で 1.8 倍である。このことより、FA/C=2.5、5.0 の両方で材齢初期からフライアッシュの混合により強度が増加し、材齢の経過とともにフライアッシュの強度増加への貢献度が高くなっていることが明らかになった。

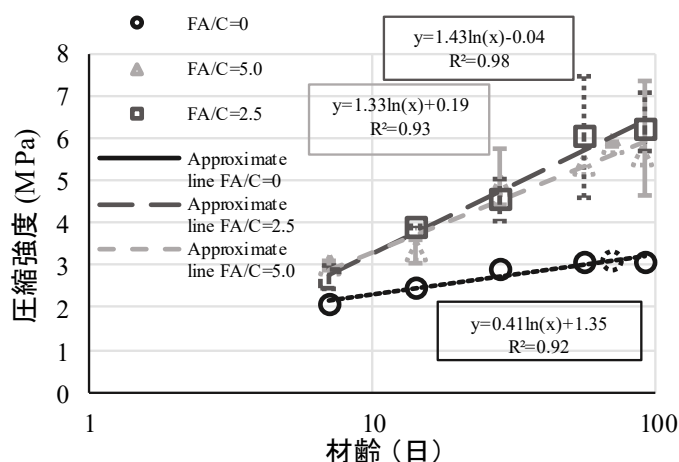


図1 一軸圧縮強度試験結果

(2) 熱分析試験結果

図2に材齢7日の Ca(OH)_2 量に対する各材齢での Ca(OH)_2 量の比を示す。FA/C=0の場合、材齢7日から14日で水酸化カルシウム量が増加し、それ以降の材齢でほとんど一定値を示したことから、材齢14日までセメントの水和反応により水酸化カルシウムが生成され、それ以降の材齢では水酸化カルシウムに関する反応が進行していないことが確認できる。一方で、FA/C=2.5では材齢14日で材齢7日の水酸化カルシウム生成量の約0.63倍、FA/C=5.0の場合では、0.35倍の水酸化カルシウムがすでに消費されていることがわかる。このことから、フライアッシュの混合により材齢14日ですでにポズラン反応が進行していることが示唆される。また、FA/C=2.5と5.0で同様の傾向で水酸化カルシウム量が減少していることが分かり、材齢の経過とともにポズラン反応が進行していることと、FA/C=2.5と5.0で水酸化カルシウムに関する反応が同様に進行していることが明らかになった。

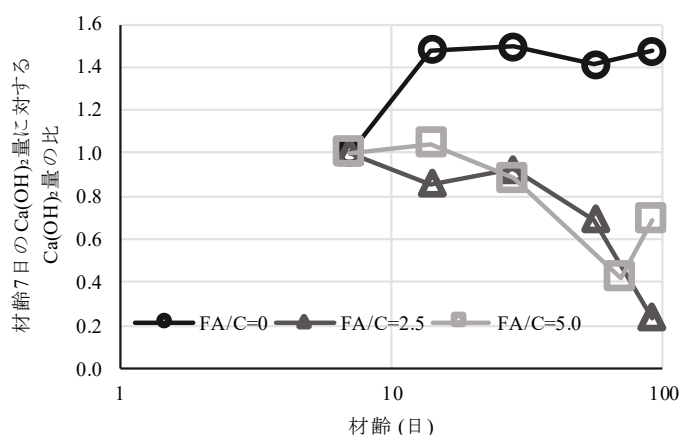


図2 熱分析試験結果(材齢による Ca(OH)_2 量)

(3) 水銀圧入法による細孔分布の測定

図3に材齢7日での各配合の細孔分布を示す。図3から差分細孔容積のピークがある細孔直径に着目すると、FA/C=0で65 μm 付近、FA/C=2.5で35 μm 付近である。この空隙径の減少はフライアッシュが水とセメントにより形成されるセメントペースト中にフライアッシュが取り込まれることによりセメントペーストの体積が増加したこと

によると考えられる。一方で、FA/C=5.0 では、3.5 μm 付近であり、FA/C=0 や 2.5 と大きく空隙構造が異なることがわかる。FA/C=5.0 の場合では、さらにフライアッシュ量が増えたことによりセメントペースの体積が増加することが考えられるが、今回の配合では水の量に限度がありセメントペーストの体積が一定以上広がらないことが考えられる。これにより、セメントペーストで埋まらない領域に多くのフライアッシュが存在していると考えられる。それらの領域に存在するフライアッシュはセメントペースト中の水酸化カルシウムと接触せずポズラン反応しないため、強度に寄与しないと考えられる。

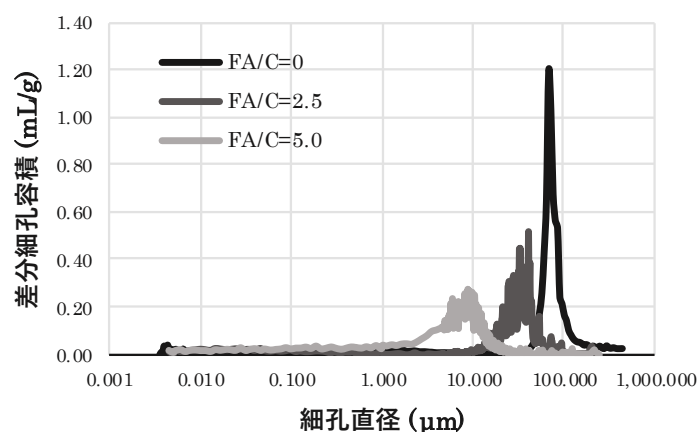


図3 細孔分布(材齢7日比較)

4. 結論・今後の課題

今回の配合や養生条件では、フライアッシュは改良土中で混合材として使用することで材齢初期、長期ともに強度増加に寄与することが明らかになった。また、FA/C=2.5 でセメントに対しフライアッシュは強度発現するには十分な量があり、FA/C=5.0 では、セメントから生成される $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応しないフライアッシュが多量にあると考えられる。それらのフライアッシュは強度増進に寄与せず、FA/C=5.0 の場合フライアッシュ量が過剰の配合であった可能性がある。

今後の課題として、FA/C を変化させ、強度増加に貢献するフライアッシュ混和量の検討を行うことやより長期材齢での強度発現を検討することが必要であると考えられる。

5. 参考文献

- [1] 一般財団法人石炭エネルギーセンター，“石炭灰全国実態調査報告書（平成29年度実績）”，2019.
- [2] 社団法人 土木学会コンクリート委員会，循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術-利用拡大に向けた設計施工指針試案-，コンクリートライブラリー 132，pp.322，2009.
- [3] 田澤栄一，“エース コンクリート工学[改訂新版]”，朝倉書店，2015.
- [4] H. Xiao, W. Wang, S. H. Goh, “Effectiveness study for fly ash cement improved marine clay,” Construction and Building Materials, 157, pp.1053-1064, 2017.
- [5] R. Zentar, D. Wang, N. E. Abriak, M. Benzerzour, W. Chen, “Utilization of siliceous-aluminous fly ash and cement for solidification of marine sediments,” Construction and Building Materials, 35, pp.856-963, 2012.
- [6] L. S. Ho, K. Nakarai, M. Duc, A. L. Kouby, A. Maachi, T. Sasaki, “Analysis of strength development in cement-treated soils under different curing conditions through microstructural and chemical investigations,” Construction and Building Materials, 166, pp.634-646, 2018.