

フライアッシュを利用した Geopolymer 材料に関する研究

芝浦工業大学

学生会員

○齋藤亮介

東京大学大学院

学生会員

安 台浩

東京大学 生産技術研究所

正会員

岸 利治

芝浦工業大学

フェロー

魚本健人

1. はじめに

火力発電による副産物であるフライアッシュは、リサイクルの観点からセメントの原材料ならびに混和材としての利用が励行されている。同時に近年、地球環境に対して従来のセメント製造・使用による多量の二酸化炭素排出も改善されるべき問題に挙げられる。そこでフライアッシュを主材料に使用するジオポリマーは、二酸化炭素排出量の総和がセメントと比べ少なく、地球温暖化問題に対する貢献を期待されている。ジオポリマーはフライアッシュ、メタカオリンのような SiO_2 、 Al_2O_3 を多く含む無機系材料に活性剤を加え固化したものであり、その構造はゼオライトに似ている。ジオポリマーの反応は SiO_2 、 Al_2O_3 がアルカリ状況下で重縮合（ジオポリマリゼーション）を主とするため、その基本的な形は非結晶の三次元のポリマー構造となる。図-1 にジオポリマーの主な反応メカニズムを示す。Mnは陽イオンであり Na^+ 、 K^+ 等が SiO_2 のSiとAlの同形置換によって失われた陽電荷を補うために存在している。nは重縮合率を表す。

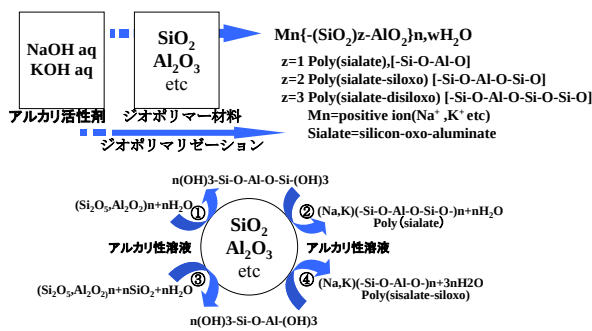


図-1 ジオポリマーの反応メカニズム

2. 実験の目的

本実験ではフライアッシュに効果的なアルカリ活性剤を確認することを目的とし、6種類のアルカリ活性剤に伴うフライアッシュの圧縮強度変化を測定した、

3. 実験概要

(1)使用材料

フライアッシュは一般的にたくさん使用されている JIS II 種を使用した。本実験で使用したアルカリ活性剤を表-1 に簡単に整理して表した。

表-1

種類	使用状態
水酸化ナトリウム溶液	14モル
水酸化カリウム	14モル
珪酸ナトリウム	珪酸ナトリウム/水=1
珪酸カリウム	珪酸カリウム/水=1
水酸化ナトリウム+珪酸ナトリウム	珪酸ナトリウム/水酸化ナトリウム=2.5
水酸化カリウム+珪酸カリウム	珪酸ナトリウム/水酸化カリウム=2.5

(2) 実験方法

供試体はセメントペーストと同じように作製した。液体粉体比はアルカリ活性剤/フライアッシュ=0.45 で固定し、各サンプルの流動性実験はミニスランプテストで比較検討した。比較基準には普通ポルトランドセメントを使用したペースト W/C=0.45 を用いた。供試体は流動性実験が終了した後 5φ×10cm のモールドで作製し、その後それぞれ常温養生 3,7,28 日の圧縮強度を測定した、加えてジオポリマリゼーションによる材料の非結晶化を確認する為に、養生 7 日の供試体とフライアッシュを XRD 分析によって比較した。

4. 実験結果および考察

図-2 のミニスランプ試験による流動性の比較により、セメントペーストとジオポリマーのフロー値ほとんど同じだった。しかし 1, 2 の供試体ようにフロー値が同じ場合でも、粘性は全てジオポリマーの方が高いことが分かった。

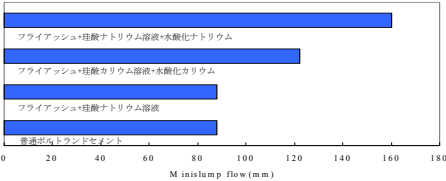


図-2 ミニスランプによる流動性の比較

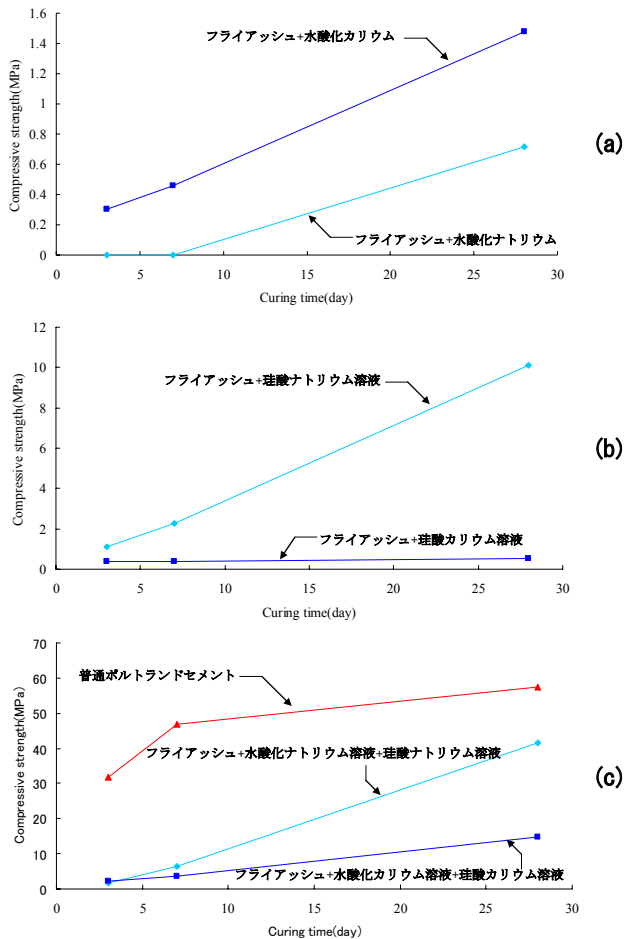


図-3 アルカリ活性剤の種類によるフライアッシュの圧縮強度変化

図-3(a) (b) (c) はアルカリ活性剤の種類に伴うフライアッシュの圧縮強度変化を表す。(a)の2配合の圧縮強度は28日養生後も低い。このことから図-1の反応①, ②, は既往研究と比べ常温では十分に進まないと考えられる。次に図-3(b)を見ると, 珪酸ナトリウム溶液を使用した供試体の圧縮強度は養生時間に比例するよう伸びていることが確認できる。これは SiO_2 が既に活性剤の中にイオン化しているため, 図-1の反応③がアルカリ溶液のみより容易であったからと推察される。一方, 珪酸カリウム溶液使用の供試体は最後まで固まらなかったが, これは珪酸カリウム溶液の濃度が珪酸ナトリウム溶液より低いものを使用したためだと考える。今回の実験で圧縮強度が最も高かった供試体は図-3(c)の水酸化ナトリウム溶液と珪酸ナトリウム溶液を使用した試供体であり, 28日養生後の圧縮強度は、普通ポルトランドセメントを使用した $W/C=0.45$ のセメントペーストの約70%に達した。これはジオポリマリゼーションの様々な反応(図-1の①②③④他)を促進する要因である, i 強い塩基性、ii 反応の中心となる SiO_2 のイオ

ン化, この両方が満たされていた活性剤を使用したからだと考えられる。くわえて, ジオポリマリゼーションに比例して, ポリマーの繰り返し単位中の Si/Al 比が, 大きくなることも圧縮強度が良い要因であると推察される。(図-1 ジオポリマーの反応メカニズム $[-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-]$, $[-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-]$, $[\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-]$ 参照)。

図-4(a) (b) は2種類のジオポリマーと実験に使用したフライアッシュのXRD分析の比較である。点線部に注目すると(図-4(b)), ジオポリマーのハローピークがフライアッシュと比べ増加しているのがわかる。またジオポリマー同士を比較すると, 水酸化ナトリウム溶液+珪酸ナトリウム溶液を使用した供試体のハローピークがより増加していた。このことから, ジオポリマリゼーションが進むにつれて, フライアッシュに存在していた結晶物質が非結晶に変化し, 圧縮強度が増加すると考えられる。

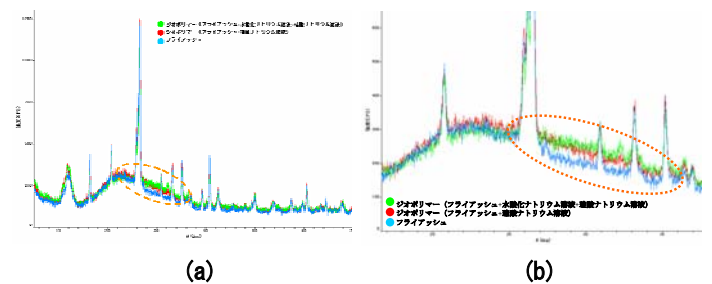


図-4 フライアッシュとジオポリマーのXRD分析比較
(ジオポリマーは珪酸ナトリウムと水酸化ナトリウム+珪酸ナトリウムを使用し、養生7日のもの)

5. まとめ

ジオポリマー材料に対する活性剤は, アルカリ性溶液と材料の一部(SiO_2)が溶けているもの, これら2点が効果的なことを確認した。

謝辞

本研究は東京大学生産技術研究所において行いました、関係者の皆様に感謝いたします。

参考文献

Davidvits, J. "Properties of Geopolymer Cements". Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Scientific Research Institute on Binders and Materials, Kiev State Technical University, Kiev, Ukraine, 1994, pp.131-149