

ペーパースラッジ焼却灰とフライアッシュを用いたジオポリマー

国立大学法人熊本大学 学生会員 ○広瀬 智也
学生会員 迫 綾子
正会員 重石 光弘

1. はじめに

近年，経済の発展により電力需要が高まり，特に火力発電所は全体の発電量のおよそ 60%を担っている¹⁾．さらに昨年の東日本大震災以後は原子力発電所の電力供給の割合は減り，火力発電の発電量は増加することが予測される．石炭火力発電所では，産業廃棄物である石炭灰が発生するが，この処分場には限りがある．また熊本県内における製紙工場においても，製紙過程で排出される PSA(ペーパースラッジ焼却灰)の処分場不足が今後懸念される．そのため，これら産業廃棄物を有効利用した製品の開発が求められている．

一方，建設材料であるセメントは，原料である石灰を燃焼することで得られるが，このセメントは製造時に大量の二酸化炭素が排出され，環境への負荷が大きいとされる²⁾．

よって本研究では，これらの産業廃棄物を利用し，セメントの代替材となり得る，環境への負荷の小さい新しいセメント複合材料を考えた．

2. セメント複合材料

一般的にモルタルは水・セメント・砂である．本研究では環境負荷を低減させるために，セメントの代替材として FA(フライアッシュ), PSA を加える．しかし，これらのみでは粉体は硬化しない．そのため，FA と PSA を硬化する手法として近年注目されているジオポ

リマー技術を用いることにした．ジオポリマー技術とはアルミノシリカ粉末とアルカリシリカ溶液を反応させることによって粉末を硬化させる手法である³⁾．FA や PSA はアルミナを多く含んだアルミノシリカ粉末であり，そこにアルカリシリカ溶液である水ガラス(ケイ酸ナトリウム)を混和することでジオポリマーとして硬化する．さらに FA や PSA には二酸化ケイ素が含まれているため，セメントの水和反応の際に生成される水酸化カルシウムと常温で化合し，不溶性の安定なケイ酸カルシウム水和物を生成させるポゾラン活性により長期的にさらに固化することが期待できる．

以上の素材料を使用して配合を適宜変更しつつ，モルタル供試体を作製し，材齢に伴う強度発現を調べた．

3. 配合および強さ試験

3.1 配合

本実験では，セメントの代替材として FA や PSA を用いた配合や，一部セメントを用いた配合でモルタル供試体を作製した．使用した材料の密度は普通ポルトランドセメント 3.16g/cm³，FA 2.36g/cm³，PSA 2.71g/cm³，水ガラス (JIS 1 号 ケイ酸ソーダ) 1.58g/cm³であった．また水ガラスについては水との体積比で 5, 7, 10, 15, 20, 40, 50, 60%vol に希釈したものを用意し，締固めについてはテーブルバイブレータを用いた．表 1 に示す配合にて各種のモルタル供試体を作製した．

表 1 供試体の種類と素材量

	セメント (g)	FA (g)	PSA (g)	標準砂 (g)	水 (ml)	水ガラス (ml)	水ガラス濃度 (%)
5%	0	450	0	1350	214.3	10.7	5
7%					210.3	14.7	7
10%					204.5	20.5	10
15%					195.7	29.3	15
20%					187.5	37.5	20
40%					135.2	89.1	40
50%					112.5	112.5	50
60%					90	135	60
C+FA1	360	90	0		240	60	20
C+FA2	337.5	112.5					
C+FA+PSA1	90	180	180		240	60	20
C+FA+PSA2		270	90				

3.2 養生

三連型枠にモルタルを詰め、2時間恒温(温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$)の湿気箱に安置し、その後給熱養生を22時間行った。給熱養生時の庫内の温度、および湿度の経過時間による変化を図1に示す。

3.3 強さ試験

強さ試験についてはモルタルバーを用いたセメント強さ試験(JIS R 5201)に準じ、曲げ強度と圧縮強度をそれぞれ求めた。

4. 試験結果・考察

4.1 水ガラス濃度による強度変化

粉体にFAのみを用いた場合、水ガラス濃度の低い供試体においては、水ガラスが不足してほとんど硬化しなかったものもあり、試験前に供試体が折れるなどしたため、曲げ試験では正確なデータを取ることができなかった。水ガラス濃度の変化による圧縮強度結果を図2に示す。水ガラス濃度5~20% volにおいては、ほとんど強度の発現は見られない。しかし40% vol以上になると強度発現が見られる。このことから、FAのみの場合水ガラス濃度が40% vol以上になればジオポリマーとして硬化することが分かった。

また材齢による変化はほとんどなく、ポズラン反応は生じていない。これはセメントのみの水和反応に比べて生成される水酸化カルシウムが少ないためだと考えられる。

4.2 セメント系粉体の配合割合の変化による強度変化

次にセメント水和物によるポズラン反応を期待し、PSAを用いることを試行した。セメント系粉体の配合割合による28日強度の変化を図3に示す。これらの結果、セメントにFAを加えた配合より、セメント量を減らし、PSAを加えた配合の方が強度の増加が見られた。

5. まとめ

今回の実験で水ガラス濃度の変化とセメント系粉体の配合割合の変化による基礎データを取ることができた。FAと水ガラスによるジオポリマーを作製した際、水ガラス濃度は40% vol以上で強度発現が見られた。一方、ポズラン反応をも期待してFAだけでなく、セメントとPSAを加えると、強度が大幅に上がることが分かった。そのため、水ガラス濃度を上げれば、FAと

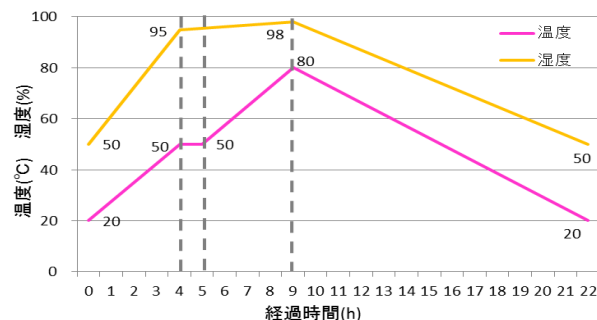


図1 給熱養生時の温度・湿度の時間変化

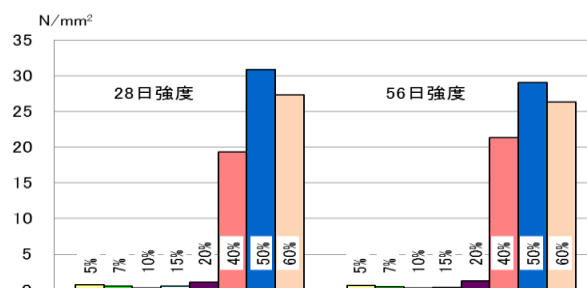


図2 圧縮試験結果(水ガラス濃度変化)

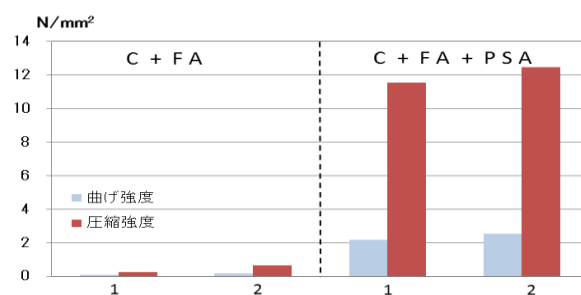


図3 28日強度試験の結果(配合割合の変化)

PSAはセメント代替材として利用することができ、環境負荷も小さい建設材料となることが期待できる。

今後の展望としては、当面はコンクリート舗装に必要とされる曲げ強度 5N/mm^2 、圧縮強度 40N/mm^2 ⁴⁾を満足するように、水ガラス濃度一定の元でセメント、FA、PSAの最適な配合割合を探ると共に、ポズラン反応による長期強度を発現するために、常温での養生方法を考案していくものとする。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：エネルギー白書 2011<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2011/index.htm>
- 2) EIC ネット <http://www.eic.or.jp/>
- 3) 池田 攻，地球の温暖化防止と鉱物質廃棄物処理に貢献するジオポリマー技術，山口大学教授論文
- 4) 内田一郎：道路舗装の設計法，森北出版，p.400