

高炉スラグ微粉末ベースのアルカリ活性固化体の長さ変化ならびに白華特性

大分工業高等専門学校 正会員 ○一宮 一夫
大分工業高等専門学校 正会員 山本 大介

1. はじめに

2050年カーボンニュートラルの実現のために、コンクリート分野でも様々な取り組みが進行中である。そのうちの一つにアルカリ活性材料(Alkali-activated materials: AAMs)がある。AAMsはSi, Al, Caリッチな粉体(フライアッシュ: FA, 高炉スラグ微粉末: BSなど)とアルカリシリカ溶液(水ガラス, 苛性ソーダなど)による固化体で、我が国ではFA-BS併用系ジオポリマー(GP)の実用化を目指した研究が進んでいる。特にGPでは、使用材料を調整することで、低炭素以外にも耐酸性, 耐高温性などが期待できる。

本研究では今後の石炭火力発電の縮小を見据え、高炉スラグ微粉末とアルカリシリカ溶液との固化体を対象とし、強度, 長さ変化, 白華に関する基礎的知見を収集した。

2. 実験概要

2.1 使用材料, 配合, 養生

活性フィラーには, BS(密度 2.92g/cm^3 , 比表面積 $4009\text{cm}^2/\text{g}$), アルカリシリカ溶液には, 旧JIS 1号水ガラス(SS), 苛性ソーダ(ペレット: SH), 水道水(add-W)の混合液($A/W=0.055$, $Si/A=0.507$), 細骨材には混合珪砂を用いた。表1にAAMモルタル(以下, AAMと略記)の配合を示す。配合は15打フローが200程度になるように定めた。練り混ぜ直後のモルタルは $4\times 4\times 16\text{cm}$ 供試体作製用3連型枠に充填した。材齢1日で脱型後, 所定材齢まで封緘養生(ラップで供試体全面をシールして 20°C で静置)または気中養生(20°C , $60\%RH$ で静置)を施した。また, 比較のためにOPCモルタル(以下, OPCと略記)供試体($W/C=50\%$, $S/C=3.0$, 標準養生)を作製した。

2.2 強度ならびに長さ変化試験

モルタルの強度はJIS A 5201(セメントの強さ試験), 長さ変化はJIS A 1129-3(モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法:ダイヤルゲージ方法)に準拠して測定した。

2.3 部分吸水による白華促進試験

材齢7日まで封緘養生を施した円柱供試体($\phi 5\times 10\text{cm}$)を用いた。試験は, 厳しい乾燥環境で白華促進が期待できる冷蔵庫(4°C , $30\%RH$)を用い, 円柱供試体下端部1cm程度を水道水に浸漬させ, 供試体側面の析出物の発生状況を観察した。

表1 AAMモルタルの配合(kg/m^3)

SS	L		P	S
	SH	add-W	BS	
80.9	20.6	285.3	699.8	1129.1
	305.9			

$L/P=1.39$ (容積比), $A/W=0.055$ (モル比),
 $Si/A=0.507$ (モル比)

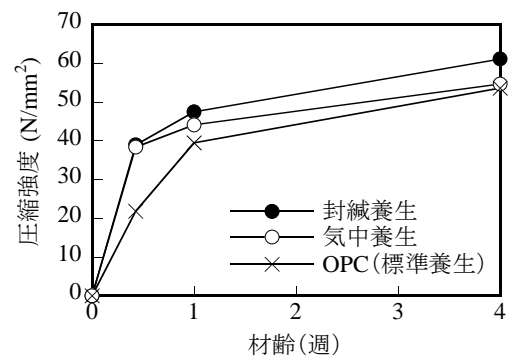


図1 圧縮強度と材齢の関係

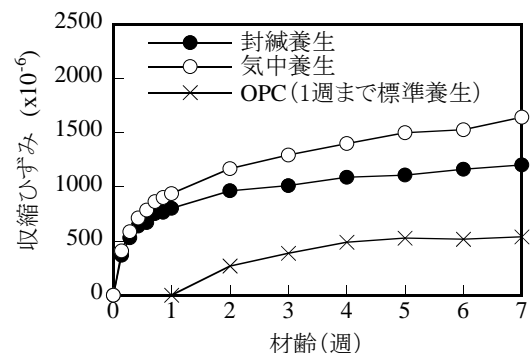


図2 収縮ひずみと材齢の関係

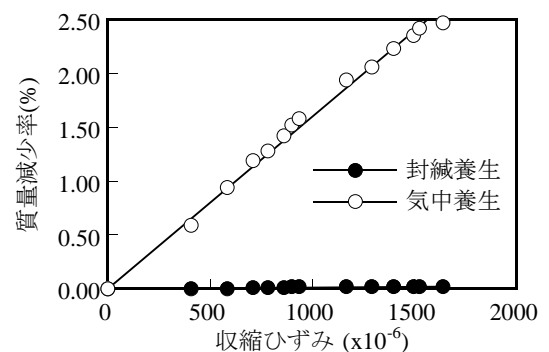


図3 質量減少率と収縮ひずみの関係

キーワード アルカリ活性材料, 高炉スラグ微粉末, 圧縮強度, 長さ変化, 白華

連絡先 〒870-0152 大分市牧1666番地 大分高専 都市・環境工学科 TEL 097-552-7664

3. 実験結果

図1に圧縮強度と材齢の関係を示す。標準養生を施した OPC の強度は、材齢とともに上昇し、その増加率は徐々に小さくなる。AAM の場合も供試体シールの有無に関わらず OPC と同じ強度上昇傾向を示している。

収縮ひずみと材齢の関係を図2に示す。基長は、AAM が打設翌日における脱型直後、OPC は材齢1週目（標準養生6日後）である。材齢7週のひずみを比較すると、AAM（気中）、AAM（封緘）、OPC の順で大きく、OPC に対するひずみは、AAM（気中）が3.1倍、AAM（封緘）が2.2倍である。図3はAAMの質量変化率と収縮ひずみの関係である。AAM（封緘）は質量変化を伴わないひずみで、OPC における自己収縮に類するものと考えられ、メカニズム解明ならびにその抑制技術の開発がAAMの重要な課題である。また、AAM（気中）とAAM（封緘）のひずみの差は固化体中の水分の散逸による乾燥収縮によるものと判断できる。

図4に白華促進試験の結果を示す。なお、図の上段のGPは筆者らによる既報のBS置換率10%（BS10と略記）の結果である¹⁾。GPでは試験開始3日で析出物が認められ、時間経過に伴い発生位置は高くなり、範囲は拡大している。それに対し、AAMでは白華の発生時期は6週以降で、発生量はGPに比べると僅かであり、AAMは白華抑制効果が高いことが分かる。図5は供試体の外観ならびに割裂断面に水漏れ発色検知剤を噴霧した結果で、(a)図はGP、(b)図はAAMの場合である。なお、(a)図の右端の図はGP供試体の下端からの吸水イメージ、(b)図の右端の写真は割裂した供試体の片方を部分吸水させた場合である。(a)図のGPの場合は白華位置、供試体内部の吸水状況は、吸水イメージ図（白華は湿潤部に近い乾燥域の表面に発生）と一致する。一方、(b)図のAAMの場合は、水漏れ発色検知剤による呈色反応は認められないことから、供試体内部の吸水はないことが分かる。(b)図の右端の写真はAAMでも吸水部分はGP同様に示色することを確認するために行った実験の結果であり、AAMでも吸水部は鮮やかな赤色を呈することを確認した。なお、割裂供試体の吸水は、破断部に生じた微細ひび割れによるものと推察される。

4. まとめ

AAMの材齢と圧縮強度の関係は、標準養生を施したOPCの場合と同様の傾向がある。また、封緘養生と気中養生の違いは見受けられなかった。AAMの収縮ひずみは、OPCの2倍以上で、反応収縮に起因するものが大きく、そのメカニズム解明と低減対策が課題である。AAMの吸水性はGPより低く、その結果、白華を大幅に抑制できる。

謝辞 配合の検討に際し、九州大学の佐川康貴准教授のご支援をいただきました。また、実験は甲斐みずき氏（2021年度卒業生）のご協力のもとで行いました。紙面を借り深謝いたします。

参考文献 1)藤原怜司，一宮一夫，佐藤光亮，原田耕司：フライアッシュ系ジオポリマーの養生方法とエフロレンセスの関係，令和元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp679-680，2020.3

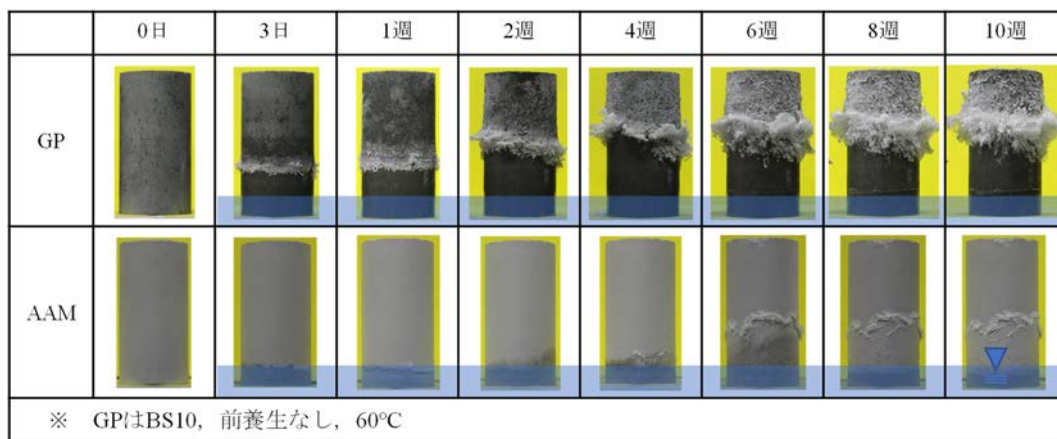
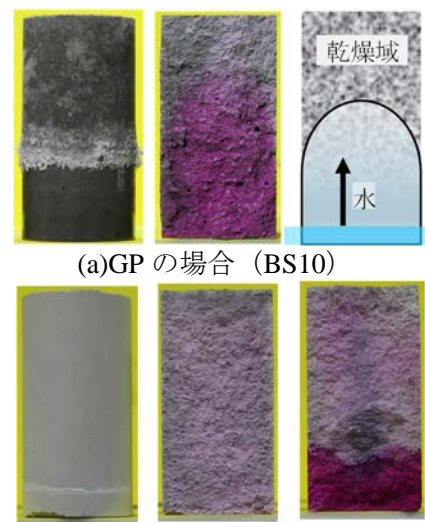


図4 GPとAAMの白華の発生状況の比較



(a)GPの場合 (BS10)

(b)AAMの場合

図5 供試体の外観ならびに内部の吸水状態