

# 石炭灰を活用したジオポリマー二次製品の配合検討について

中国電力（株）電源事業本部 正会員 ○渡辺 勝 佃 勝二  
（公財）鉄道総合技術研究所 正会員 上原 元樹  
大和クレス（株） 王 亮  
中国電力（株）エネルギー総合研究所 正会員 渡辺 健一

## 1. 研究目的

石炭灰は石炭火力発電所から発生する副産物でありセメント原料、土地造成材、およびコンクリート混和材等へ活用されている。コンクリート混和材として石炭灰（フライアッシュ：FA）は水和発熱抑制、長期強度の改善等に効果がある。一方、次世代コンクリート技術と位置づけられるジオポリマーは既存コンクリート製品以上にFAを大量活用できる可能性がある。著者らは、FAを活用したジオポリマー二次製品の研究開発に取り組んでいる。

本研究の目的はジオポリマー二次製品を効率的に製造するための最適配合を検討することである。二次製品製造時の効率化を目標に、①練り混ぜ時間(写真-1)の短縮、②材料コストの低減、③流動化剤添加率と強度およびフレッシュ性状(写真-2)の関係について、研究で得られた成果を紹介する。



写真-1 ジオポリマー練混ぜ状況



写真-2 練混ぜ後のフレッシュ性状

## 2. ジオポリマー技術

ジオポリマーとは、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ などを含む非晶質物質とケイ酸アルカリ溶液（水ガラス等）を混合反応させることによって形成される無機ポリマーの硬化体である。FAは $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 成分を多く含む非晶質物質でありジオポリマー硬化体への活用が可能である。ジオポリマー硬化体は、普通セメントの水和反応とは異なる硬化特性を有しており、コンクリート製品をジオポリマー硬化体で製造するには、その諸特性の把握が必要である。

本研究では、①シリカフェーム混入タイミングによる練り混ぜ時間の短縮、②アルカリ水比（A/W）の調整による材料コストの低減、および③打設作業の可使時間延伸を考慮した流動化剤添加率と圧縮強度およびフレッシュ性状の関係について検討した。

## 3. 実験方法

実験材料を表-1に示す。ここではケイ酸アルカリ溶液は、水ガラスを使用する従来法に対し、材料コスト低減のため水酸化ナトリウム水溶液（NaOH）にSi成分としてシリカフェーム（SF）を粉体で添加し混合しながら溶解させる方法とした。通常SFはNaOH添加後に投入するが、製造工程で骨材空練り時に粉体として添加すれば、練り混ぜ時間を約120秒短縮できる。この時に懸念された硬化反応発現の遅延による強度発現について実験で確認した。なお、本研究での要求性能は圧縮強度24 N/mm<sup>2</sup>、スランプ18cmとした。

表-1 実験に使用した主要材料

記号	材料名	密度(g/cm <sup>3</sup> )
FA	石炭灰 JIS II種	2.12
BS	高炉スラグ微粉末	2.91
SF	シリカフェーム	2.25
NaOH	水酸化ナトリウム水溶液	1.50
S	細骨材(石灰砕砂)	2.73
G	粗骨材(砕石 1505)	2.69

表-2 二次製品配合条件

配合ケース	A/W mol比	Si/A mol比	BS置換率(重量比)
I	0.17	0.33	10.0%
II	0.16	0.33	10.0%
III	0.15	0.33	10.0%
IV	0.15	0.33	15.0%

※流動化剤はグルコン酸ナトリウムを使用

キーワード ジオポリマー、配合、石炭灰、シリカフェーム、高炉スラグ微粉末

連絡先 〒739-0046 広島県東広島市鏡山 3-9-1 中国電力(株)エネルギー総合研究所 TEL 082-420-0700

次に、A/W 低下による材料コスト低減を目的に、表-2 に示す配合ケース I ~ III (A/W=0.17, 0.16, 0.15) によりジオポリマーを製造し材齢と強度について実験し強度特性把握を試みた。さらに、強度確保のため高炉スラグ微粉末 (BS) を骨材と置換して不足する強度の向上を検討 (表-2: 配合ケースIV) した。

併せて、可使時間延伸のために流動化材 (グルコン酸ナトリウム) 添加率と強度特性を把握するため、添加率 (1.0~2.5%) を変化した場合の強度およびスランプ特性について実験した。

#### 4. 結果と考察

##### (1) SF 添加タイミングによる強度特性の評価

表-2 の配合ケース I により、SF 添加タイミングを変えた実験結果を図-1 に示す。SF は粉体の状態で骨材空練りに添加した場合、NaOH へ事前溶解した場合と比較し、若干の圧縮強度低下が確認された。しかし要求性能である 24 N/mm<sup>2</sup> 以上は確保されている。本実験により SF の前添加によるジオポリマー製造が可能が確認された。

##### (2) A/W 調整による材齢強度の評価

表-2 の配合ケース I, II, III による実験結果を図-2 に示す。横軸は材齢 (2 日, 7 日, および 27 日), 縦軸は圧縮強度である。A/W を 0.15 にすると初期強度は不足し, 28 日強度でも要求性能である 24 N/mm<sup>2</sup> 程度となった。製造効率向上には弱材齢での確実な強度確保が必要なため, ケース III 配合の BS 置換率を増加 (表-2: ケース IV) して強度増加を図ることとした。

##### (3) 流動化剤添加率と強度およびスランプの関係

表-2 の配合ケース III, IV において, 流動化剤 (グルコン酸ナトリウム) 添加率を変化した場合の添加率と圧縮強度およびスランプの関係を図-3, および図-4 に示す。流動化剤を添加することで, 圧縮強度の若干の増加が確認された。また, スランプについては添加率に合わせて流動性が向上している。A/W を低下した配合ケース IV においてグルコン酸ナトリウム添加率を 1.0~2.5% とする配合設計により, 本研究での要求性能である圧縮強度 24 N/mm<sup>2</sup>, スランプ 18cm を満足することが可能である。

#### 5. 結論

工場でのジオポリマー二次製品製造時の効率化を目標に①シリカフェーム混入タイミング (図-1), ②アルカリ水比 (A/W) の調整 (図-2), および③打設作業の可使時間延伸を考慮した流動化剤添加率 (図-3, 4) について実験し, ジオポリマー製造配合について新たな知見を得た。本研究で得られた配合により, ジオポリマー二次製品を製造 (写真-3) した。品質性能は JIS-A-5371 (プレキャスト無筋コンクリート製品) の規格を満足するものであった。

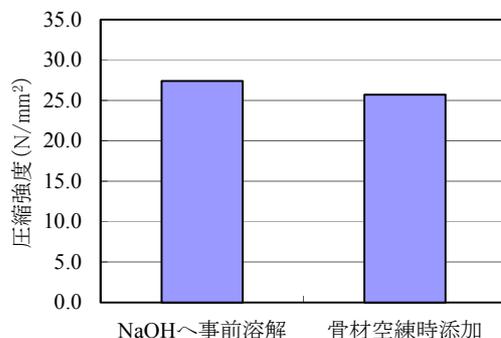


図-1 SF 添加タイミングと強度の関係

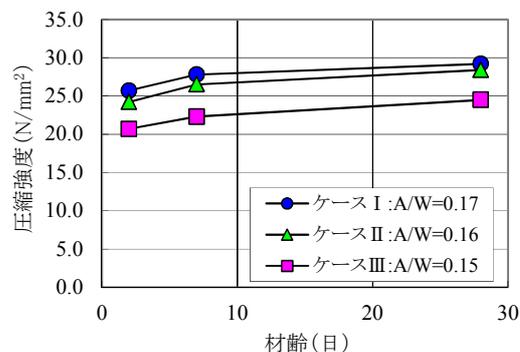


図-2 A/W 毎の材齢と圧縮強度の関係

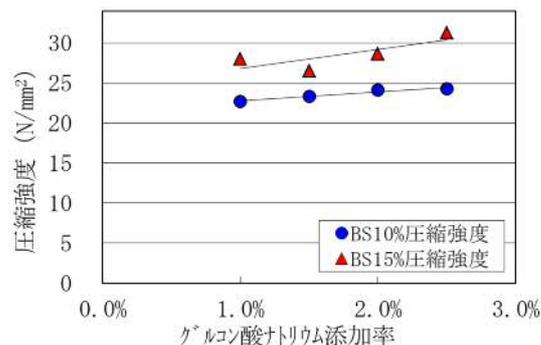


図-3 流動化剤添加率と圧縮強度の関係

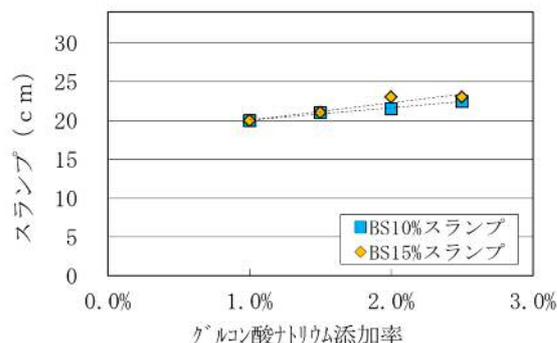


図-4 流動化剤添加率とスランプの関係



写真-3 検討配合で製造したジオポリマー側溝