

フライアッシュ系ジオポリマーの強度特性に対する高炉スラグの影響

九州工業大学大学院 正会員 ○合田 寛基
西松建設株式会社 正会員 原田 耕司
九州工業大学大学院 正会員 日比野 誠

1. 背景ならびに目的

ジオポリマーは、既往の研究より高い環境性能と耐久性能を有していることが知られている¹⁾。活性フィラーとしてフライアッシュや高炉スラグ微粉末、さらに細骨材として高炉スラグを用いることで、産業副産物のより一層の有効利用が可能であることから、建設用の新材料として注目されている。一方で、フライアッシュに関しては、フライアッシュの品質がジオポリマーの性状に与える影響について検討された報告²⁾はあるが、高炉スラグ微粉末の性状がジオポリマーに与える影響に関して詳細に検討された報告は希少である。

そこで本研究では、高炉スラグがジオポリマーの性状に与える影響に関して検討した。検討内容は、高炉スラグ微粉末のブレン値、全粉体に対する置換率ならびに高炉スラグ細骨材が強度特性に与える影響である。

2. 実験内容

実験に用いた使用材料を表-1に示す。ジオポリマー溶液は、水ガラスに苛性ソーダを混ぜ密度 1.27g/cm³に調整したものを使用した。フライアッシュは日本全国で入手が容易なフライアッシュⅡ種品を採用した。今回の実験では、高炉スラグ微粉末のブレン値の違いがジオポリマーの性状に与える影響を検討するために、ブレン値 2,000 クラス (2,010cm²/g)、4,000 クラス (4,230 cm²/g) および 6,000 クラス (6,210 cm²/g) の3種類を用いた。

高炉スラグ微粉末の置換率が、ジオポリマーの性状に与える影響を検討するため、表-2に示すとおり、全粉体(P=FA+BS)に対する高炉スラグ微粉末置換率(以下、置換率と呼ぶ)を0%、10%、20%、30%および50%に変化させた。ジオポリマー溶液は、最もフロー値が小さくなる置換率50%において、施工可能な単位量を基準とした。また、高炉スラグ細骨材の影響を見るために、表-3の配合についても検討した。

練混ぜは、容量 2.0L のホバート型ミキサを用いた。標準砂(高炉スラグ細骨材)+フライアッシュ+高炉スラグ微粉末で空練りを30秒行い、ジオポリマー溶液を投入後1分間練混ぜ、一度ミキサを止め15秒で掻き落しを行い、続いて2分間低速で練混ぜて排出した。練混ぜ後、3時間かけて温度を60℃まで上昇させ、その状態を6時間保持し、再び3時間かけて20℃まで温度を下げ、その後速やかに脱型した。試験材齢まで20℃CRH60%で気中養生を行った。試験材齢は、1日とした。試験項目は、40×40×160mmのモルタルバーを対象とした圧縮強度試験ならびにモルタル小片を対象としたポロシメーター計測である。

表-1 使用材料

記号	材料	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
GPW	ジオポリマー溶液	1.27	—
FA	フライアッシュⅡ種品	2.32	3,580
BS	高炉スラグ微粉末	2.91	2,010
			4,230
			6,210
BSS	高炉スラグ細骨材	2.78	—
STS	標準砂	2.64	—

表-2 配合表(標準砂)

BS/P (%)	単位量 (kg/m ³)			
	GPW	FA	BS	STS
0	318.8	598.6	0	1296.2
10	318.8	538.7	75.3	1296.2
20	318.8	478.8	150.7	1296.2
30	318.8	419.0	226.0	1296.2
50	318.8	299.3	376.7	1296.2

表-3 配合表(高炉スラグ細骨材)

BS/P (%)	単位量 (kg/m ³)			
	GPW	FA	BS	BSS
0	318.8	598.6	0	1365.0
10	318.8	538.7	75.3	1365.0
20	318.8	478.8	150.7	1365.0
30	318.8	419.0	226.0	1365.0
50	318.8	299.3	376.7	1365.0

キーワード ジオポリマー、フライアッシュ、高炉スラグ、圧縮強度、ポロシメーター

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学大学院 TEL 093-884-3122

3. 結果および考察

図-1 に、標準砂における圧縮強度と高炉スラグ微粉末のブレン値の関係を示す。いずれのブレン値においても、高炉スラグ微粉末の置換率が大きくなると圧縮強度が大きくなることから分かる。さらに、高炉スラグ微粉末のブレン値が大きくなると、圧縮強度が増加する。高炉スラグ微粉末のブレン値 $2,010\text{cm}^2/\text{g}$ の圧縮強度と比較して、ブレン値 $6,210\text{cm}^2/\text{g}$ では、2 倍程度圧縮強度が増加している。これは、高炉スラグ微粉末のブレン値が大きくなると、強度発現に必要な成分が GP 溶液中へ多量に溶出するためと考えられる。

図-2 に、細骨材毎の高炉スラグ微粉末置換率と圧縮強度の関係を示す。置換率 50%を除いて、高炉スラグ細骨材を使用することにより、圧縮強度は標準砂より大きくなる傾向がみられた。標準砂の圧縮強度に対する高炉スラグ細骨材の圧縮強度の比は、置換率 0%で約 1.8 倍、置換率 10%では約 1.5 倍、置換率 20%では約 1.4 倍、置換率 30%では約 1.1 倍と、置換率が大きくなるに従って小さくなっている。置換率が小さい方が、高炉スラグ細骨材の圧縮強度への影響が大きい。置換率 50%では、高炉スラグ細骨材による強度への影響がないことが分かる。

図-3 に、累計細孔量と細孔径の関係を示す。同図より、細骨材の種類に関係なく、置換率が大きくなると累計細孔量が小さくなっている。細孔量が小さくなっている細孔径は、 100nm 程度より小さい細孔であった。すなわち、今回の実験条件では、置換率が大きくなるとジオポリマーの組織が緻密化される傾向が伺える。また、先ほどの圧縮強度試験で、置換率が大きくなると圧縮強度が増加した原因の一つとして、置換率が大きくなるとジオポリマーの累積細孔量が小さくなるためと考えられる。

4. 総括

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 高炉スラグ微粉末のブレン値は、圧縮強度に影響を及ぼし、ブレン値が大きいほど、圧縮強度が大きくなる。圧縮強度への影響は高炉スラグ微粉末の置換率が小さい方が大きい傾向にあった。
- 2) 高炉スラグ微粉末を混和すると、 100nm 以下の細孔が少なくなりジオポリマーの組織が緻密化された。

参考文献

- 1) 原田耕司，一宮一夫，津郷俊二，池田攻：ジオポリマーモルタルの耐久性に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1937-1942，2011
- 2) 上原元樹：ジオポリマー法による環境負荷低減コンクリートの開発，鉄道総研報告，Vol.22，No.4，pp.41-46，2008.4

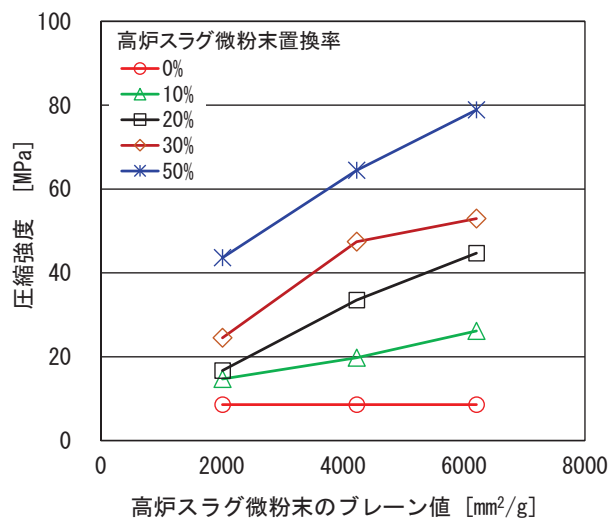


図-1 標準砂を細骨材に用いたケースにおける圧縮強度と高炉スラグ微粉末ブレン値

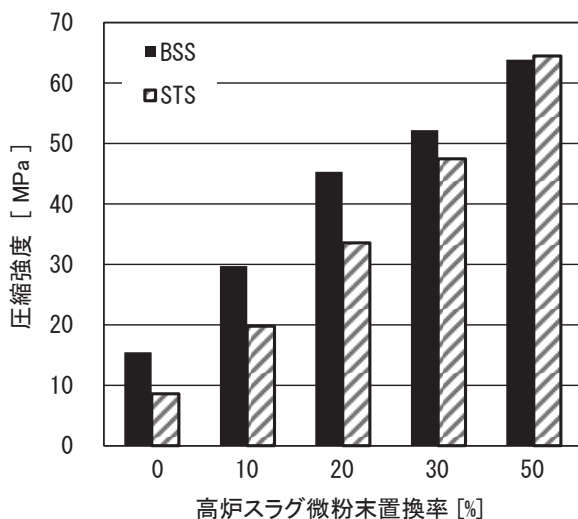


図-2 細骨材毎の圧縮強度と高炉スラグ微粉末置換率の関係

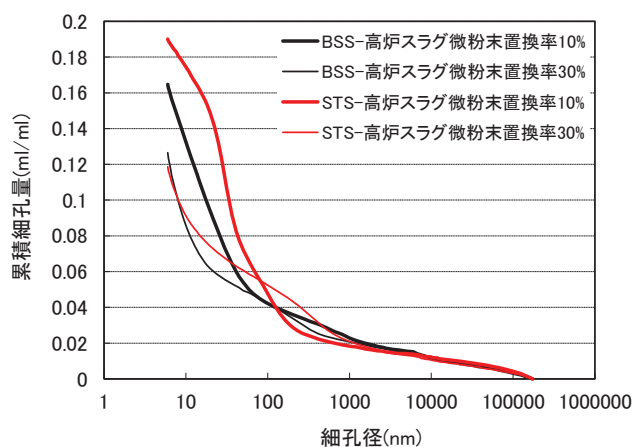


図-3 累積細孔量と細孔径の関係