

フライアッシュ系ジオポリマーコンクリートの配合検討

法政大学大学院 学生会員 ○加藤遼二郎 正会員 藤山知加子
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Januarti Jaya Ekaputri

1. 目的

本研究の目的は、フライアッシュ系ジオポリマーコンクリートの力学特性を調査することである。このためマトリクスの強度を確認するためにジオポリマーペーストで強度試験を行った。次に圧縮強度 30 (N/mm²) を目標に、ジオポリマーコンクリートの配合と養生条件の検討を行った。

2. 実験概要

ジオポリマーペーストとジオポリマーコンクリートの示方配合を表1に示す。供試体名の「GC」はジオポリマーコンクリートを表し、「GP」はジオポリマーペーストを表す。表1のGC-A~GC-Cは、脱型時に破壊、もしくは表面が剥離したことで載荷試験を行っていないものを示している。表2にペーストの養生条件とパラメータを示す。供試体名の最後の数字はケイ酸ナトリウム水溶液の濃度を表している。パラメータはケイ酸ナトリウム水溶液と水酸化ナトリウム水溶液の質量比 (Na₂SiO₃/NaOH)、ナトリウムと水のモル比 (Na/H₂O) とした。Na₂SiO₃/NaOH は既往の研究¹⁾を参考に1.5と2.5の2種類とした。養生環境は温度50℃、湿度60%とし、28日間養生した。表3にコンクリートの養生条件とパラメータを示す。GC-Dは温度50℃、湿度60%で28日間養生した。使用材料を表4に示す。アルカリ溶液としてケイ酸ナトリウム水溶液と水酸化ナトリウム水溶液を使用した。活性フィラーとしてはフライアッシュII種を使用した。ケイ酸ナトリウム水溶液の濃度は3種類使用した(表5)。水酸化ナトリウム水溶液は8 (mol/L) のものを使用した。供試体寸法は、ペーストはφ50×100mm。コンクリートはφ100×200mmとした、供試体数は、GP-A-3は2体、その他は各ケース3体ずつ作成した。

3. 試験結果

3.1 ペースト強度

ペーストの圧縮強度とケイ酸ナトリウム水溶液の濃度の関係を図1に示す。ケイ酸ナトリウム水溶液の濃度が高いほど圧縮強度は増加した。これはケイ酸ナトリウム水溶液の濃度が増加することにより、Na/H₂Oの値が大きくなったことが原因と考える。またNa₂SiO₃/NaOHの値が大きい方が圧縮強度の平均値は大きかった。これは同じ溶液量でもケイ酸ナトリウム水溶液の使用量が増えることで、酸化ナトリウム (Na₂O) の含有量が高くなったことが圧縮強度増加に寄与した²⁾と考えられる。またGP-B-3は脱

表1 示方配合

	供試体名	高性能減水剤	AE剤	単体量 (kg/m ³)				
				Na ₂ SiO ₃	NaOH	FA	S	G
コンクリート	GC-A	—	—	141	141	713	436	871
	GC-B	—	FA×0.02	94	94	436	610	1068
	GC-C	FA×0.01	—	167	111	517	548	959
	GC-D	FA×0.01	—	199	79	517	548	959
ペースト	GP-A	FA×0.01	—	167	111	517	—	—
	GP-B	FA×0.01	—	199	79	517	—	—

表2 ペーストの養生条件とパラメータ

供試体名	温度 (°C)	材齢 (日)	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	Na/H ₂ O
GP-A-1	50	28	1.5	0.20
GP-A-2				0.16
GP-A-3				0.11
GP-B-1			2.5	0.21
GP-B-2				0.16
GP-B-3				0.10

表3 コンクリートの養生条件とパラメータ

供試体名	温度 (°C)	材齢 (日)	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	Na/H ₂ O
GC-D-1	50	28	2.5	0.21
GC-D-2				0.16
GC-D-3				0.10

表4 使用材料

	使用材料
アルカリ溶液	ケイ酸ナトリウム水溶液 (表5参照) 水酸化ナトリウム水溶液 (8mol/L)
活性フィラー	フライアッシュII種 (2.18g/cm ³)
細骨材	表乾密度 (2.58g/cm ³)
粗骨材	表乾密度 (2.65g/cm ³)

表5 ケイ酸ナトリウムの化学成分

名称	SiO ₂ (%)	Na ₂ O(%)	H ₂ O(%)
1	35.0~38.0	17.0~19.0	43.0~48.0
2	28.2~30.6	13.7~15.3	54.0~58.0
3	6.7~7.3	24.8~27.7	65.0~68.5

型時に破壊した(写真1)。これはNa/H₂Oの値が低いことによって縮重合反応が弱く、脱型可能な強度を得ることができなかつたためと考える。 荷重試験を行ったペースト供試体(GP-A-1~GP-B-2)は、すべてのケースで30(N/mm²)を概ね満たす圧縮強度を得た。このことからフライアッシュのみのペーストマトリクスは、構造材料として十分な強度を持つと考えられる。

3.2 コンクリート強度

GC-D-1の練り混ぜ時の様子を写真2に、GC-D-1~3の供試体を写真3に示す。GC-D-1の供試体の表面を観察すると、他の供試体よりジャンカが多く見られた。これは練り混ぜ時のコンクリートの粘性が高いために流動性、充填性が低かったことが影響していたと考える。GC-D-3は脱型時に表面が剥離した。これはNa/H₂Oの値が低いことによって縮重合反応が弱かったことが原因と考える。コンクリートの圧縮強度とケイ酸ナトリウムの濃度の関係を図2に示す。ケイ酸ナトリウム水溶液の濃度が高くなるに伴い、圧縮強度は増加した。これはペーストと同様に、Na/H₂Oの値が大きくなったことが原因と考える。圧縮強度はGC-D-1は44.1~49.7(N/mm²)で平均は46.7(N/mm²)、GC-D-2は26.5~31.8(N/mm²)で平均は29.6(N/mm²)、GC-D-3は2.17~3.21(N/mm²)で平均は2.70(N/mm²)であった。この結果からJIS2号級以上のケイ酸ナトリウム水溶液を用い、28日間50°Cで養生すれば、活性フィラーとしてフライアッシュのみを用いたジオポリマーコンクリートでも30(N/mm²)を概ね満たす強度を確保できることがわかった。

4. 結論

- 1) ジオポリマーペーストの圧縮強度は、荷重試験を行った供試体に関しては30(N/mm²)を概ね満たした。このことからフライアッシュのみを用いたジオポリマーペーストのマトリクスは構造材料として十分な強度を持つと考えられる。
- 2) ケイ酸ナトリウム水溶液の濃度はJIS2号級以上のものを用い、50°C以上の温度環境で28日間養生すればフライアッシュのみのジオポリマーコンクリートでも圧縮強度30(N/mm²)を概ね満たすことが可能である。今後は高温養生期間の検討と、圧縮疲労試験を行なう予定である。

参考文献

- 1) : Yuyun Tajunnisa, Masaaki Sugimoto, Tetsuya Sato, Januarti Jaya Ekaputri, Mitsuhiro Shigeishi : Characterization of low calcium fly ash for geopolymer paste, 16th International Conference STRUCTURAL FAULTS & REPAIR-2016,
- 2) : M.M.A. Abdullah, H. Kamarudin, H. Mohammed, I. Khairul Nizar A. R. Rafiza, and Y. Zarina : The relationship of NaOH Molarity, Na₂SiO₃/NaOH Ratio, Fly Ash/Alkaline Activator Ratio, and Curing Temperature to the Strength of Fly Ash-Based Geopolymer, Advanced Materials Research Vols. 328-330 pp 1475-1482 2011.9

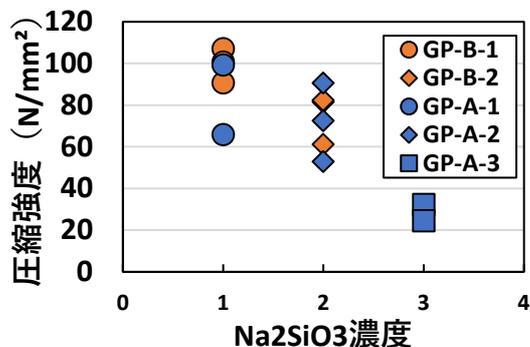


図1 ペーストの圧縮強度とケイ酸ナトリウム濃度の関係



写真1 脱型時に破壊した供試体の一例



写真2 GC-D-1 練り混ぜの様子

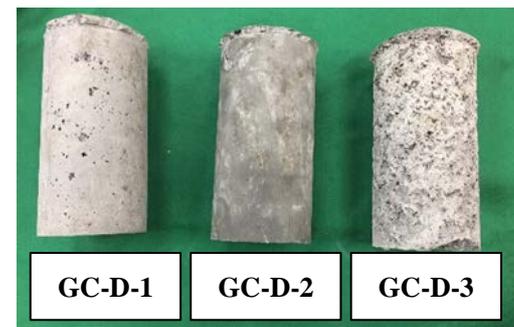


写真3 供試体写真

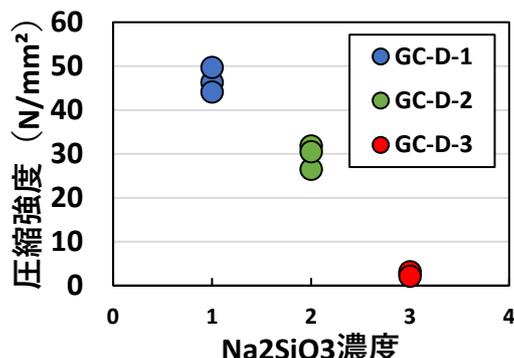


図2 コンクリートの圧縮強度とケイ酸ナトリウム濃度の関係