

フライアッシュと水酸化ナトリウムで作製するゼオライト硬化体の作製方法と圧縮強度に関する研究

茨城大学大学院 学生会員 ○小沼 遥佑
 茨城大学大学院 正会員 木村 亨
 茨城大学 正会員 沼尾 達弥

1. はじめに

近年、フライアッシュの生産量は増加傾向にあり、今後、更なる増加が予想されている。フライアッシュの大量使用と二酸化炭素の削減から、セメントを使用しない硬化体として、ジオポリマーやゼオライト硬化体の開発が進められている。しかし、ジオポリマーは、活性フィラーに安価なフライアッシュを用いても珪酸モノマーである珪酸ナトリウム等は高価であるため、製造コストが高くなる。また、ゼオライト硬化体は、作製に拘束治具とオートクレーブ養生が必要となるため、生産できる製品に限りがある¹⁾。

そこで本研究では、拘束治具を使用せずにフライアッシュと水酸化ナトリウムのみで作製するゼオライト硬化体の作製方法とその圧縮強度について実験的に検討した。

2. 実験方法

表1に実験1および実験2の要因と水準を、表2に実験に用いた使用材料を、表3にフライアッシュの化学成分を、表4にゼオライト硬化体の配合を示す。ゼオライト硬化体の作製方法は、JIS A 6201のⅡ種に適合したフライアッシュと水酸化ナトリウム、水道水または電気分解処理した市販の高アルカリ水を混合したもの（以下、ゼオライトペーストとする）を恒温恒湿室内（20±1℃，65±5%RH）で0日間または14日間保管した後に細骨材を投入し練混ぜた。蒸気養生（前置き 30℃・2h，昇温 15℃/h，最高温度 65℃・5h）または 100℃の炉内で24時間加熱した後（以下、炉内養生とする）、恒温恒湿室内で気中養生を行い、材齢1日、7日、28日後に圧縮強度をJIS A 1108に準じて測定した。

3. 実験結果

3.1 実験1 ゼオライトペーストの保管期間が及ぼす影響

図1に実験1における圧縮強度と材齢の関係を示す。ゼオライトペーストを14日間保管にすると、0日間保管した場合に比べ著しく圧縮強度が増加するとともに、蒸気養生を行った場合より炉内養生を行った場合の方が圧縮強度は高くなる。これは、14日間保管することで水酸化ナトリウム水溶液のOH⁻基によりフライアッシュの非晶質部がゲル化したためと、炉内養生は最高温度が高いため、反応が促進されたためと考えられる。

表1 要因と水準

要因	実験1の水準	実験2の水準
練混ぜ水	水道水	水道水 高アルカリ水
水酸化ナトリウムの添加量	120 g	120 g 240 g
ゼオライトペーストの保管期間	0 日間 14 日間	14 日間
養生方法	蒸気養生後気中養生 炉内養生後気中養生	

表2 使用材料

材料名	記号	詳細
練混ぜ水	W	水道水
	WA	高アルカリ水 pH=11.9
フライアッシュ	FA	JIS A 6201 Ⅱ種 密度：3.15 g/cm ³
水酸化ナトリウム	Na	特級試薬 JIS K 8576
細骨材 (陸砂)	S	粗粒率：2.43(F.M.) 表乾密度：2.58 g/cm ³ 吸水率：2.72

表3 フライアッシュの化学成分表

化学成分(%)								熱減量
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	他	
61.20	27.97	3.46	1.14	2.66	1.39	0.48	1.70	3.22

表4 ゼオライト硬化体の配合（重量比）

記号	W/FA or WA/F A (%)	Na/ FA (%)	W (g)	WA (g)	FA (g)	Na (g)	S (g)
W120	50	20	300	—	600	120	1200
W240	50	40	300	—	600	240	1200
WA120	50	20	—	300	600	120	1200
WA240	50	40	—	300	600	240	1200

キーワード：フライアッシュ、ゼオライト硬化体、ジオポリマー

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学大学院理工学研究科 Tel:0294-38-5274

3.2 実験2 ゼオライトペーストの練混ぜ水の違いおよび水酸化ナトリウムの添加量が及ぼす影響

図2に実験2における圧縮強度と材齢の関係を示す。ゼオライトペーストの練混ぜ水に高アルカリ水を用いた場合および水酸化ナトリウム添加量を240gに増やした場合、養生方法に関わらず圧縮強度は低下した。また、W240およびWA240（保管期間14日）に蒸気養生を行った場合、材齢1日において脱型できるほどの強度が得られなかった。高アルカリ水を用いる、または水酸化ナトリウムの添加量を増やすことで、フライアッシュの非晶質部をより多くゲル化でき、圧縮強度が高まると考えたが、予想に反して圧縮強度は低下した。この原因は不明であり、水酸化ナトリウムの適正な添加量の把握や配合修正などは今後の課題となる。

また、実験1および実験2ともに材齢経過に伴い圧縮強度の増加が確認された。ゼオライト硬化体の硬化メカニズムはまだ解明されていないが、フライアッシュがゲル化することで、フライアッシュ内のアルミニウムイオンとシリカイオンが縮重合反応を起こすジオポリマーに類似した硬化機構だと筆者らは推測している。そのため、炉内養生においても硬化体内の水分を十分に逸散できず残留したため、材齢経過に伴い強度が増進したと考えられる。

写真1に実験2におけるゼオライト硬化体の外観写真を示す。W120（保管期間14日）に蒸気養生および炉内養生を行った場合、外観に養生方法の差は無く、どちらも一般的なコンクリートと同等に見える。しかし、W120（保管期間14日）で炉内養生を行った場合、材齢28日においてひび割れの発生が観測された。これは、硬化時の体積変化によって発生した可能性が大きいと考えられる。

また、W240（保管期間14日）に炉内養生を行った場合、表面が黒い結晶で覆われた状態となった。なお、この表面の結晶層は薄く剥がれやすいため、剥がすと通常のコンクリートと同様な表面が現れる。このことから、炉内養生中に収縮し、型枠とゼオライト硬化体の間に隙間ができ、そこに黒い結晶層が薄く析出したと考えられる。なお、析出した黒い結晶層の組成は調べていない。

4. まとめ

本実験で作製したフライアッシュと水酸化ナトリウムで作製したゼオライト硬化体の作製方法と圧縮強度について、以下のことを明らかにした。

- 1) フライアッシュと水酸化ナトリウム、水道水を混合し、14日間保管することで、0日間保管する場合よりも圧縮強度が高くなる。

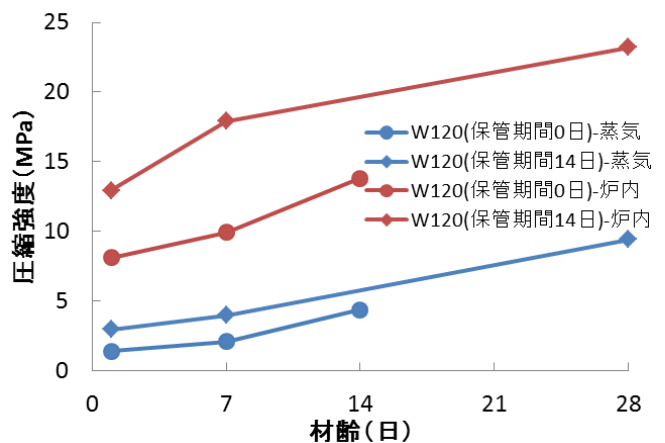


図1 実験1における圧縮強度と材齢の関係

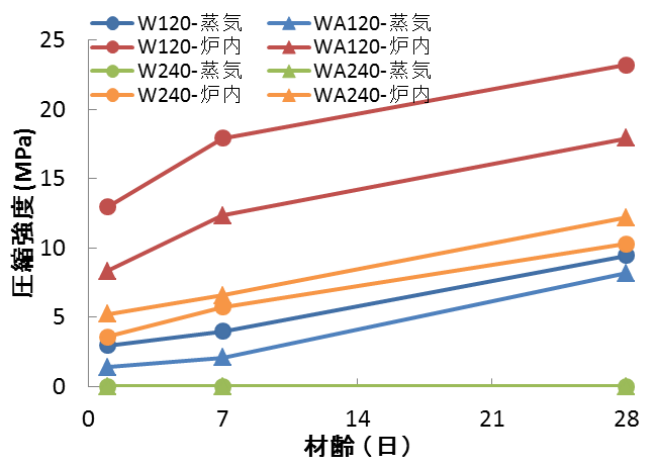


図2 実験2における圧縮強度と材齢の関係



写真1 実験2におけるゼオライト硬化体の外観写真

- 2) 練混ぜ水に高アルカリ水を用いると、水道水を用いた場合より圧縮強度が低くなる。
- 3) 水酸化ナトリウムの添加量を120gから240gに増やすと圧縮強度が低くなる。
- 4) 100℃の炉内で24時間加熱養生を行うと、蒸気養生を行うより圧縮強度が高くなる。

<参考文献>

- 1) 山本武志:フライアッシュを用いた高強度ゼオライト硬化体製造技術の開発, 土木学会第65回年次学術講演会, V-452, pp.903-904.