

ゼオライト混入セメント固化体の強度特性および化学混和剤がセメント固化体に及ぼす影響

八戸工業高等専門学校 産業システム工学専攻 学生員 ○今淵 敦史
八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 正会員 庭瀬 一仁

1. 目的

福島第一原子力発電所の廃炉に向けて、放射性廃棄物の処分が課題となっている。セシウム吸着ゼオライトは、放射性汚染水の処理の過程において発生する二次廃棄物であり、その処分方法の確立が急務となっている。本研究では、セメント固化技術の実現性評価に資することを目的とし、ゼオライトを混合したセメント固化体の強度特性とフレッシュ特性について評価を行った。

2. 検討内容と結果

2.1 セメント固化の可能性検討

セメント固化技術の可能性検討で用いた配合を表 1 に示す。ゼオライト混合率は、セメントペーストの体積に対するゼオライトの体積と定義した。ゼオライトは、モルデナイト型天然ゼオライトを用いた。このゼオライトは、セメントペースト中においても、水分のみを速やかに吸水して、フレッシュ特性を損ねる¹⁾。この対策としては、ゼオライトの吸水量を予め配合に加えることが有効である。そこで、ゼオライトの吸水量(表 1 括弧内数字)を、単位水量に外割で加えることで、フレッシュ特性を確保した。加えて、ポゾラン反応によるセメント固化体の緻密化により、閉じ込め性能の向上が期待されることから、フライアッシュを使用した。材齢は、7、28、91 および 365 日とした。供試体の養生条件は、水中養生と封緘養生の 2 種類とした。封緘養生の採用は、実際のセシウム吸着ゼオライトのセメント固化体内部における、水分の欠乏を模擬するものである。

圧縮強度試験の結果を図 1 に示す。圧縮強度は、ゼオライト混合率の増加に伴って減少した。また、封緘養生の圧縮強度は、1 年材齢において低下した。しかし、この強度低下は、フライアッシュの使用により抑制された。低レベル放射性廃棄物の廃棄体に要求される技術基準を参照すれば、セメント固化体に要求される圧縮強度は、1.5N/mm² 程度である。本研究の範囲内であれば、圧縮強度は、養生条件によらず 7 日材齢時点で十分に確保されることが、全ての配合において確認された。

2.2 ゼオライト混合率の検討

ゼオライト混合率の検討で用いた配合を表 2 に示す。高性能 AE 減水剤(以下、SP と表記)は、マスターグレンウム SP8SV(以下、MG と表記)とマスターイース 3030 (以下、ME と表記)を使用した。

フロー試験の結果を図 2 に示す。フロー値は、MG と ME で、同程度となった。ME を添加した配合では、フロー値は、混合率 150% で 224mm、200% で 172mm となり、十分な流動性が確認された。しかし、混合率 250% 以上の配合では、流動性が低下した。以上の結果から、実用性を有するフレッシュ特性の指標としてフロー値 150mm を定めた。ゼオライト混合率は、確実な充填性を得るため、フロー値 150mm を満足する 200% が、最大の混合率と考えられる。

キーワード セシウム吸着ゼオライト、セメント固化技術、低レベル放射性廃棄物、フライアッシュ、圧縮強度
連絡先 〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 TEL0178-27-7307

表 1 セメント固化の可能性検討で用いた配合

名称	ゼオライト 混合率 (%)	W/B (%)	単位重量 (kg/m ³)			
			W	B		Z
				OPC	FA	
Z-50	50	50	538 (131)	816	-	242
Z-100	100		502 (196)	612	-	364
Z-FA-100	100		487 (196)	407	175	364
Z-150	150		480 (235)	489	-	436

W:水、B:結合材、OPC:普通ポルトランドセメント
FA:フライアッシュ、Z:ゼオライト

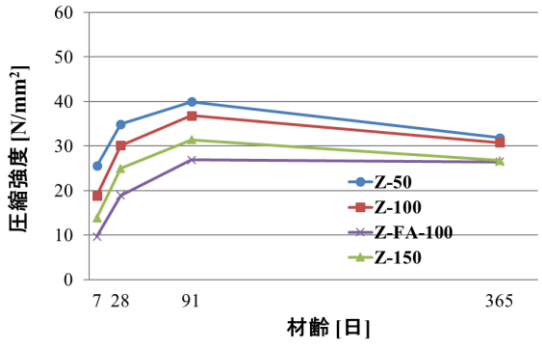


図 1 圧縮強度(封緘養生)

表 2 ゼオライト混合率の検討で用いた配合

名称	ゼオライト 混合率 (%)	W/C (%)	単位重量 (kg/m ³)			
			W	OPC	Z	SP (C×%)
MG-150	150	50	465 (235)	489	436	3.0
ME-150	150					
MG-200	200		453 (261)	408	485	
ME-200	200					
MG-250	250		444 (280)	350	519	
ME-250	250					
MG-300	300		438 (294)	306	545	
ME-300	300					

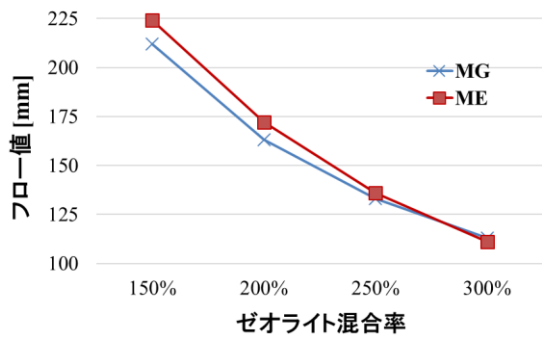


図 2 フロー値

2.3 化学混和剤の種類及び組合せの検討

化学混和剤種類の検討で用いた配合を表3に示す。初期強度の向上のために、硬化促進剤としてマスターエックスシード120JP（以下、MXSと表記）を使用した。SPは、MGとMEの2種類を使用した。配合は、フライアッシュと化学混和剤の組合せにより、合計8ケースとした。養生条件は、水中養生と封緘養生の3日材齢とした。

圧縮強度試験の結果を図3に示す。圧縮強度は、全ての配合において、1.5N/mm²以上を確保することが確認された。また、MGとMEで、圧縮強度は同程度となった。しかし、MXSを添加した配合では、封緘養生の圧縮強度が、水中養生に比べて大きく減少する傾向を示した。

2.4 高温環境下における強度特性評価

実際のセシウム吸着ゼオライトは、セシウムの崩壊熱により高温であることが想定される。そこで、高温環境下で封緘養生した供試体について、圧縮強度試験を行った。

配合を表4に示す。この配合は、2.2および2.3により得られた結果を考慮して設計された。SPは、フロー値、圧縮強度ともに同程度であったことから、今回はMEを添加した。MXSは、封緘養生では効果が小さかったため、添加しなかった。図3より、ME-FA-200の圧縮強度は、封緘養生で2.1N/mm²であり、十分な余裕がない。そこで、ゼオライト混合率は、100%とした。養生温度は、セメント硬化体において、110℃を超えると結晶中の結合水が脱離することから、一般的なセメント固化技術の適応範囲が100℃程度以下となると考え、50、80℃とした。材齢は、3、7日とした。

圧縮強度試験の結果を図4に示す。ただし、養生温度20℃における圧縮強度は、既往の実験²⁾により得られた結果である。圧縮強度は、一般的な促進養生と同様に、養生温度の増加に伴って大きくなる傾向を示した。また、50℃養生と80℃養生の圧縮強度の差は、3日材齢で5.8N/mm²、7日材齢で1.2N/mm²となった。これについては、80℃養生において、セメントの水和による強度増進が完了に近づき、一方ポズラン反応による強度増進が始まっていない状態であると考察した。総じて、圧縮強度は、1.5N/mm²を十分に満足した。これより、セメント固化体は、高温環境下においても十分な強度特性を有する。今後は、長期材齢の検討を進める計画である。

3. まとめ

本研究では、セメント固化体の強度特性および化学混和剤がセメント固化体に及ぼす影響について検討を行い、以下の結果が得られた。

- (1) セメント固化体 ME-FA-100 は、高温環境下においても、低レベル放射性廃棄物の廃棄体に要求される圧縮強度を十分に満足する。
- (2) ゼオライトを固化する場合でも、フライアッシュの使用による強度特性の向上が期待できる。
- (3) MXSの効果は、封緘養生において小さくなる。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費(基盤研究(C)(17K07015))を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 馬渡大壮、庭瀬一仁、佐藤正知：セシウム吸着ゼオライトのセメント固化技術における早強セメントとフライアッシュ併用系充填材の物性評価、セメント・コンクリート論文集、Vol.71、pp653-660（2017）
- 2) 橋本龍、庭瀬一仁：発熱性セメント固化廃棄体の模擬廃棄体による圧縮強度の熱影響評価、土木学会北海道支部 論文報告集、第75号、G-06（2019）

表3 化学混和剤種類の検討で用いた配合

名 称	ゼオライト 混合率 (%)	W/B (%)	単位重量 (kg/m ³)					
			W	B		Z	SP (B×%)	MXS (C×%)
				OPC	FA			
MG-200	200	50	453 (261)	408	-	485	3.0	-
ME-200			429 (261)					6.0
MG-MXS-200			444 (261)	272	116			-
ME-MXS-200								427 (261)
MG-FA-200								
ME-FA-200								
MG-MXS-FA-200								
ME-MXS-FA-200								

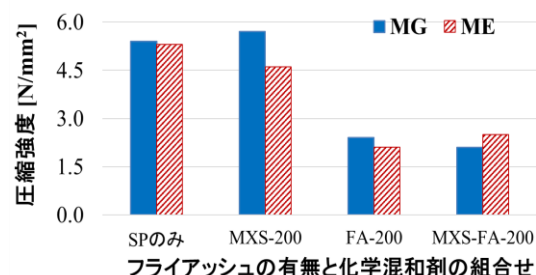


図3 圧縮強度(封緘養生、3日材齢)

表4 高温環境下における評価に向けた配合

名称	ゼオライト 混合率 (%)	W/B (%)	単位重量 (kg/m ³)			
			W	B		Z
				OPC	FA	
ME-FA-100	100	50	477 (196)	411	176	364

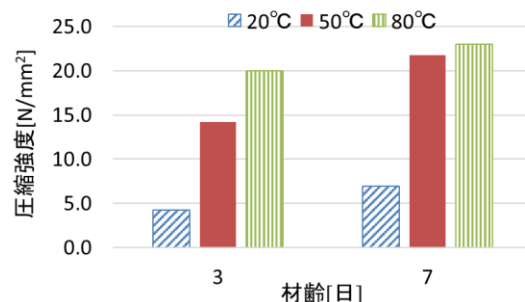


図4 圧縮強度(ME-FA-100)