

セシウム吸着ゼオライトのセメント固化技術に関する基礎研究
～化学混和剤によるセメント固化体の製作性及び力学的安定性への影響～

BASIC STUDY OF CEMENT SOLIDIFICATION TECHNOLOGY FOR SOLIDIFICATION OF CESIUM ADSORBED
ZEOLITE ~ ABOUT INFLUENCE ON MANUFACTURABILITY AND STRENGTH OF CEMENT SOLIDIFICATION BY
CHEMICAL ADMIXTURE ~

八戸工業高等専門学校建設環境工学科 ○学生員 須藤大空 (Suto Sora)
八戸工業高等専門学校建設環境工学科 学生員 今淵敦史 (Atsushi Imabuchi)
八戸工業高等専門学校 正会員 庭瀬一仁 (Niwase Kazuhito)

1. はじめに

現在、福島第一原子力発電所の事故に伴う放射性汚染水の処理が問題となっている。放射性汚染水には、セシウム 134 及び 137 が大量に含まれている。汚染水処理はセシウムをゼオライトに吸着させることで除去している。セシウムの半減期は Cs134 が約 2 年、Cs137 が約 30 年である。そのため長期的な安全性を考慮した処理・処分方法が必要となり、多様な検討がなされている。その中でもセメント固化技術は、すでに低レベル放射性廃棄物の埋設処分で実績があり、比較的に実現性の高い技術である。

本研究ではセシウム吸着ゼオライトの処理方法として信頼性や経済性の観点からセメント固化技術を提案することを最終的な目的とし、固化体製作の際のセメント系固化材に関する基礎的なデータを取得した。本研究の特徴は、ゼオライトに対する化学混和剤の影響を確認するという点である。試験は最小限のセメント固化体容積で多くのゼオライトの処理・処分を可能にするために、高性能 AE 減水剤(以下, SP)と硬化促進剤を使用して、製作性を考慮した高流動で適度な粘性を持つ配合となることを指向して実施した。

2. 試験概要

本研究では、流動性と強度を考慮して配合を決定するために、各試験の配合を調整した。流動性については、モルタルフロー試験、スランプフロー試験及び V ロート試験により検討した。スランプフローは 65±10cm を目標とした。強度については、圧縮強度試験により処理・処分の際に必要な一軸圧縮強度を確認した。

3. 配合検討

3.1 初期配合の検討

表-1 に初期配合を示す。初期配合は、セメント種による影響と流動性を確認するために、普通ポルトランドセメント(以下, OPC)、低熱ポルトランドセメント(以下, LPC)、早強ポルトランドセメント(以下, HPC)の 3 種で、各種化学混和剤との組み合わせにより全 15 配合とした。W/B は 50%とし、ゼオライトの混合率は 50%とした。ここでゼオライトの混合率とは、セメントペーストの体積に対するゼオライトの体積の比とする。SP はマスターグレンウム SP8SV(以下, MG)とマスターイース 3030(以下, ME)を使用した。硬化促進剤はマスターエッ

表-1 初期配合

	単位体積重量(kg/m ³)					
	W	C	FA	ZP	SP	MXS
OPC-FA(Z)	391	547	235	242	-	-
OPC-FA(Z),MG	386	547	235	242	4.92	-
OPC-FA(Z),MG,MXS	370	547	235	242	4.92	16.41
OPC-FA(Z),ME	386	547	235	242	4.92	-
OPC-FA(Z),ME,MXS	370	547	235	242	4.92	16.41
LPC-FA(Z)	393	550	236	242	-	-
LPC-FA(Z),MG	388	550	236	242	4.95	-
LPC-FA(Z),MG,MXS	372	550	236	242	4.95	16.50
LPC-FA(Z),ME	388	550	236	242	4.95	-
LPC-FA(Z),ME,MXS	372	550	236	242	4.95	16.50
HPC-FA(Z)	390	546	234	242	-	-
HPC-FA(Z),MG	385	546	234	242	4.92	-
HPC-FA(Z),MG,MXS	369	546	234	242	4.92	16.39
HPC-FA(Z),ME	385	546	234	242	4.92	-
HPC-FA(Z),ME,MXS	369	546	234	242	4.92	16.39

表-2 使用材料表

材料	記号	概要
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント
		密度=3.160g/cm ³
	LPC	低熱ポルトランドセメント
		密度=3.220g/cm ³
フライアッシュ	FA	早強ポルトランドセメント
		密度=3.140g/cm ³
ゼオライト	ZP	密度=0.727g/cm ³
高性能AE減水剤	SP	マスターグレンウムSP8SV
		マスターイース3030
硬化促進剤	MXS	マスターエックスシード120JP

クスシード 120JP(以下, MXS)を使用した。初期配合では、化学混和剤の添加率をそれぞれの標準的な添加率とした。MG,ME の添加率は、セメント量に対して 0.9%、MXS の添加率は、セメント量に対して 3.0%である。

3.2 流動性の評価

初期配合でモルタルミキサーによる練り混ぜをおこなったのち、モルタルフロー試験をおこなった。モルタルフロー試験の結果と写真をそれぞれ図-1,図-2 に示す。図-1 より、各セメント種で比較をすると少量の値の差は見られるものの、大きな影響はないと判断した。さら

に、SP の種類別に着目すると、2 種類でそれぞれ異なる傾向がみられた。MG 添加では、OPC が最も大きな値となり、それに対して HPC と LPC は低い値となった。ME 添加では、LPC が最も大きな値となり、次いで OPC、HPC の順となった。

図-2 にモルタルフローの状態を示す。全配合において均質となり、端部においても水の分離は見られなかった。

SP 添加率の範囲は 0.5%から 3.0%であり、初期配合での添加率には余裕があると考え、ゼオライト混合率を増加できると判断した。

3.3 配合の調整

調整後の配合を表-3 に示す。初期配合からの変更点はセメント種の数、ゼオライトの混合率、SP 添加率である。セメント種は、分離の有無の確認のため、ゼオライトに対して比重差の最も大きい低熱ポルトランドセメントで検討した。ゼオライトの混合率は初期配合の2倍の100%とし、SP 添加率は0.9%、2.0%、3.0%として、再度モルタルフロー試験をおこなった。

配合調整後のモルタルフロー試験の結果を図3に示す。結果から、ゼオライトを用いた場合にも SP 添加率の増加によって流動性が向上していることが確認できる。

以上の結果から、SP 添加率は最も流動性の高い 3.0%とした。

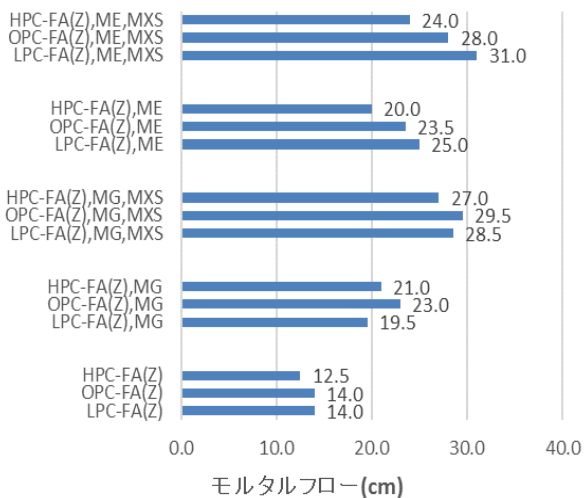


図-1 モルタルフロー試験結果

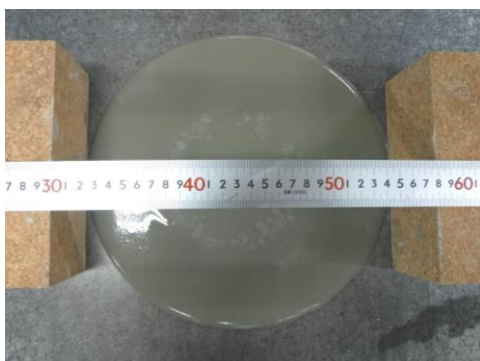


図-2 モルタルフローの状態

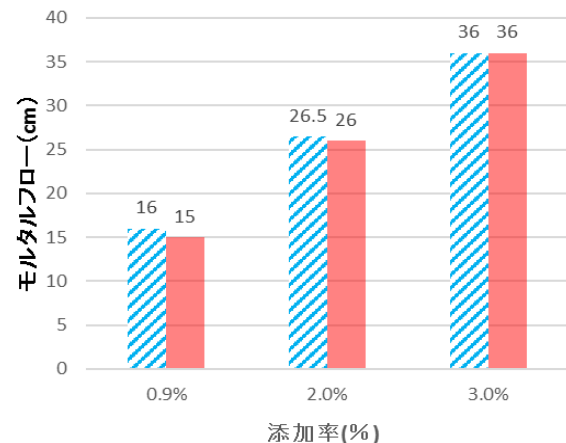
4. 配合の決定と供試体作製

4.1 流動性の確認

ここまでの結果から、配合はゼオライト混合率 100%、W/B=50%、SP 添加率 3.0%に決定した。決定配合を表-4 に示す。セメント種による分離が見られなかったことから、セメント種は OPC を用いてスランブフロー試験、V ロート試験をおこなった。スランブフロー試験および V ロート試験の結果をそれぞれ図-4、図-5 に示す。この結果から、ゼオライト混合率 100%、SP 添加率 3.0%の配合は製作性が良好な配合であると判断した。特に ME は、長時間の流動性が比較的持続するため、時間に余裕を持った製作が可能となる。それに対して MXS を添加した配合では、ME は 30 分、MG は 60 分で V ロートを流下しないため、練上がりから短時間で製作が可能な場合のみの使用が望まれる結果を得た。OPC-FA(Z)は SP を添加していないため、高流動にならなかった。

表-3 調整後の配合

	単位体積重量(kg/m ³)				
	W	C	FA	ZP	SP
LPC-FA(Z),MG(0.9%)	291	413	177	364	3.71
LPC-FA(Z),MG(2.0%)	287	413	177	364	8.26
LPC-FA(Z),MG(3.0%)	283	413	177	364	12.39
LPC-FA(Z),ME(0.9%)	291	413	177	364	3.71
LPC-FA(Z),ME(2.0%)	287	413	177	364	8.26
LPC-FA(Z),ME(3.0%)	283	413	177	364	12.39



■ LPC-FA(Z),MG ■ LPC-FA(Z),ME

図-3 高性能 AE 減水剤添加率別

表-4 決定配合

	単位体積重量(kg/m ³)					
	W	C	FA	ZP	SP	MXS
OPC-FA(Z)	293	411	176	364	—	—
OPC-FA(Z),MG	281	411	176	364	12.32	—
OPC-FA(Z),MG,MXS	268	411	176	364	12.32	12.32
OPC-FA(Z),ME	281	411	176	364	12.32	—
OPC-FA(Z),ME,MXS	268	411	176	364	12.32	12.32

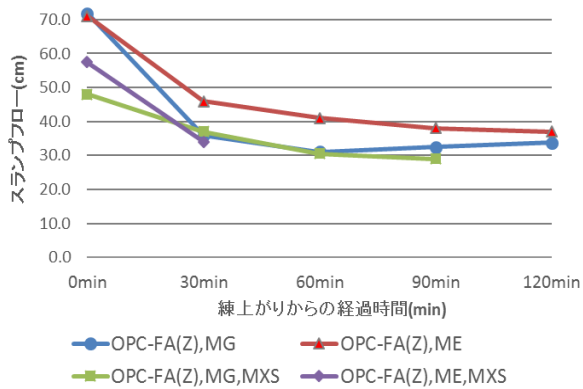


図-4 経過時間別スランプフロー結果

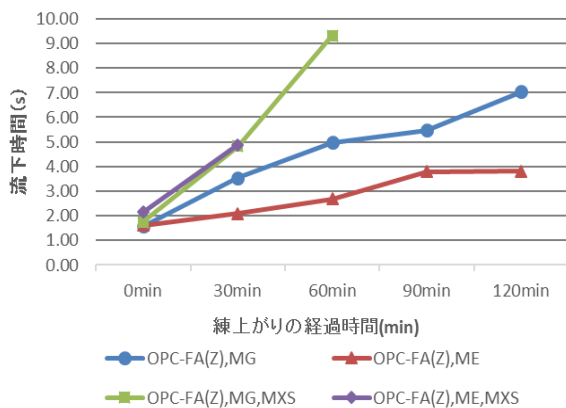


図-5 経過時間別 V ロット流下時間

4.2 供試体の作製

決定配合(表-4)で供試体の作製をおこなった。供試体は円柱供試体とし、養生期間は1ヶ月と3ヶ月で1条件あたり3体作製した。養生方法は水中養生とした。

4.3 強度の評価

養生期間 1 ヶ月の圧縮強度試験の結果を図-6 に示す。結果から、ME,MGのみを使った配合と SP を使用していない配合の圧縮強度は近い値となった。MXS を加えた場合はさらに圧縮試験は高くなった。特に ME と MXS を使用した際の最大応力は他の 4 つの配合と比べて、大幅に大きな値となった。

5 配合で圧縮強度の値に差が出たが、全配合で処理・処分の際に必要な強度である 1.5N/mm^2 程度を十分に上回ることが確認できた。

5. まとめ

本研究から、以下の知見が明らかになった。

- 1) ゼオライトの混合率 100%、W/B=50%では SP 添加率 3.0%、MXS 添加率 3.0%の配合が最終的な決定配合となった。
- 2) 施工時の流動性と粘性を重視するのであれば、MXS を添加せずに SP のみを添加することが望ましい。特にゼオライトに対しては MG より ME が適しているという結果となった。
- 3) 強度に関しては、全配合で処理・処分に必要な強度を確認できたため、施工時の状況に応じて配合を選択することが可能である。

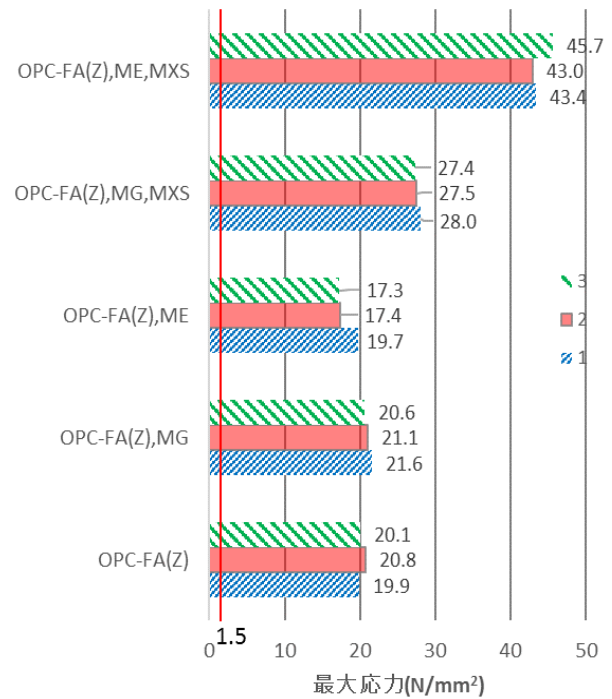


図-6 圧縮強度試験結果

- 4) 圧縮強度試験は、ME と MXS を添加した際の圧縮強度が最大となった。他の配合との圧縮強度の差が生じた原因について明らかにする必要がある。

6. 今後の課題

今後の課題として、施工方法の無人化が挙げられる。実際の現場では高放射線環境下での作業が想定されるため、無人での混合方法等についても今回の供試体作製時の状況を踏まえて検討する必要がある。

ゼオライトの混合率を増加させることで一度に多くのセシウム吸着ゼオライトの処理が可能となるため、できるだけゼオライトの混合率を増加させることが必要である。しかし結果より、ゼオライトの混合率を増加させる場合には SP の添加率も増加させなければならない。ゼオライトの混合率 100%で、すでに最大添加率が必要となるため、現状のままでは混合率を増やすことは困難である。そこで、本研究で用いた 2 種類の SP の成分の違いによる影響を検討する必要がある。

7. 参考文献

- 1) 東京電力ホールディングス株式会社:水処理二次廃棄物の処理に向けた検討状況、第 5 回特定原子力施設放射性廃棄物規制委員会(2017)
- 2) 馬渡大壮, 庭瀬一仁, 佐藤正知: セシウム吸着ゼオライト固化技術における HPC-FA 系充填剤の物性評価, セメント技術大会講演要旨, Vol 71, Apr. 2017
- 3) 原子力環境整備促進・資金管理センター: 低レベル放射性廃棄物の廃棄体に要求される技術基準、原子力環境整備促進・資金管理センター HP (<http://www.rwmc.or.jp/library/pocket/low-level/>) (閲覧日: 2017 年 11 月 17 日)