

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

ゼオライト混入セメント固化体の物質透過性評価

BASIC RESEARCHES ABOUT SOLIDIFICATION OF CESIUM ADSORBED ZEOLITE
PERMEABILITY OF CEMENT SOLID FORM MIXED WITH ZEOLITE

八戸工業高等専門学校建設環境工学科 ○学生会員 酒井大誠 (Taisei Sakai)
八戸工業高等専門学校専攻科 学生会員 馬渡大壮 (Hiroaki Mawatari)
八戸工業高等専門学校 正会員 庭瀬一仁 (Kazuhito Niwase)

1. はじめに

2011 年の東北地方太平洋沖地震時に起こった福島第一原子力発電所の事故により、原子炉建屋内に流入した地下水や炉心冷却により大量の高濃度放射性汚染水が発生した。現在、この放射性汚染水は、高い陽イオン交換機能を有すゼオライトによって、主要核種であるセシウム（以下、Cs）を吸着させることで除去されている。Cs は発熱が低減されるまで中間管理することが想定されているが、Cs を吸着させたゼオライトが二次廃棄物として増加し続けているのが現状であるため¹⁾、最終処分を踏まえた中間管理方法の確立が急務となっている。要求される事項としては、放射能の漏洩を抑止することはもとより、高放射線環境下における廃棄体の製作性や、発生量が多いことを踏まえた廃棄物の減容などにより経済性が優れていることが求められる。セメント固化技術は、低レベル放射性廃棄物の埋設処分の実績等から、先に述べた要求事項を満足し得る処理方法として、選択肢の一つとされている。

本研究では、Cs 吸着ゼオライトのセメント固化技術の実現性検討に向けた基礎的研究として、ゼオライトを混入したセメント固化体（以下、Z 混入固化体）の物性を評価する。実際の Cs 吸着ゼオライトは発熱性を有しているため、セメント固化技術を検討するにあたり、熱による内部構造への影響は重要な検討項目である。そのことを踏まえ、Z 混入固化体に関して配合条件の違いに加え、養生温度の違いによる内部構造の変化に着目し、物質透過性を評価した。

2. 試験概要

2.1 配合条件

本実験の示方配合と記号の説明を表 1 に示す。配合は、普通モルタル（Mortar）と Z 混入固化体の 2 種類に大別し、W/B は 50%で統一した。Z 混入固化体の配合名称

は、先頭の文字をセメント種（OPC、HPC）とし、続いて FA がフライアッシュ、FA に続く数字がフライアッシュの置換率（15%、30%）を表している。Z 混入固化体の配合は、結合材（OPC、HPC、FA）と FA の置換率（15%、30%）によって 5 ケースを選定した。普通モルタルは、比較対象とした。Z 混入固化体は、細骨材を体積置換した量のゼオライトを使用した。ゼオライトは高い吸水性をもち、セメントペーストからの吸水により施工性の低下が見込まれたため、単位水量とは別に、外割りで吸水率 53.9wt%分の水を練り混ぜ時に加えた。表 1 に外割り分の水量を追記した。S/C は、ゼオライトに置換した時の施工性を考慮し、2.0 とした。なお、今回使用したゼオライトは粒径 0.5mm 以下であり、発熱性を有するため絶乾状態で使用した。

2.2 供試体作製・養生条件

本実験では、インドラム方式によるセメント固化体作製を模擬するため、200L のドラム缶とハンドミキサーを使用した作製方法とした。供試体作製手順は、①ドラム缶内に水（外割り分も含む）、結合材を投入し、②ハンドミキサーで 30 秒間練り混ぜ、その後、③ゼオライト（普通モルタルの場合、細骨材）を投入し 60 秒間練り混ぜ、④円柱型枠（φ100×200mm）に打込み、⑤24 時間静置した後、脱型を行った。実際の廃棄体製作時には、セメント固化体の硬化期間に水の放射線分解や発熱で、水和に要する水が不足する状態が想定される。そのため脱型後、外部からの水を遮断するためにエポキシ樹脂を供試体表面にコーティングした。コーティング後、養生を開始した。

本研究では、Cs 吸着ゼオライトの発熱による熱影響を模擬するため、養生温度を 20℃、50℃、80℃とした。養生期間は 28 日とした。本実験のケースを表 2 に示す。

表 1 示方配合

Name	W/B	S/C	Unit content (kg/m ³)					ゼオライト吸水量 W' (kg/m ³)
			W	B		S	Z	
				C	FA			
Mortar	0.5	2.0	318	637	-	1273	-	-
O	0.5	-	31	637	-	-	349	188
H	0.5	-	318	635	-	-	349	188
O-FA15	0.5	-	311	529	93	-	349	188
O-FA30	0.5	-	309	427	183	-	349	188
H-FA30	0.5	-	304	426	183	-	349	188

O：普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/m³） H：早強ポルトランドセメント（密度 3.14g/m³）
FA：フライアッシュ（密度 2.29g/m³） S：細骨材（乾燥密度 2.65g/m³） Z：ゼオライト（乾燥密度 0.727g/m³）

表 2 実験条件

配合	養生期間(日)	養生温度(°C)
Mortar	28	20
		50
		80
O	28	20
		50
		80
H	28	20
		50
		80
O-FA15	28	20
		50
		80
O-FA30	28	20
		50
		80
H-FA30	28	20
		50
		80

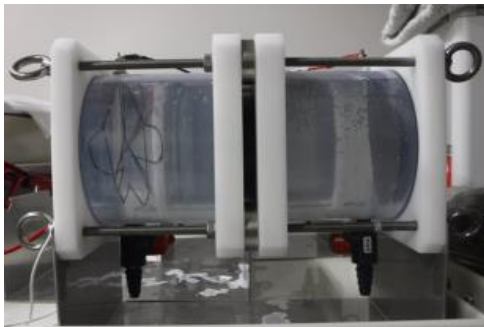


図 1 拡散セル



図 2 電気泳動用供試体

2.3 電気泳動試験

セメント固化後に放射能漏洩が起きないように、固化体の物質透過性を評価する必要がある。本研究では、電気泳動試験による塩化物イオンの実効拡散係数を測定し、物質透過性の代替指標として評価した。測定は、土木学会基準「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法（案）（JSCE-G 571-2003）」²⁾に準拠して行った。

本実験で使用した拡散セルを図 1 に示す。この拡散セルは、供試体側面をエポキシ樹脂と熱により収縮するゴムで図 2 に示す状態とし、その上で NaCl 溶液側と NaOH 溶液側のセルが分括される様に考慮されている。これにより、塩化物イオンは供試体内のみを移動し、供試体側部接合面からの移動が抑止される。微細な隙間からもし溶液漏れが発生していた場合でも、供試体外での溶液の接触が無い場合、データに反映されないという利点をもつ。

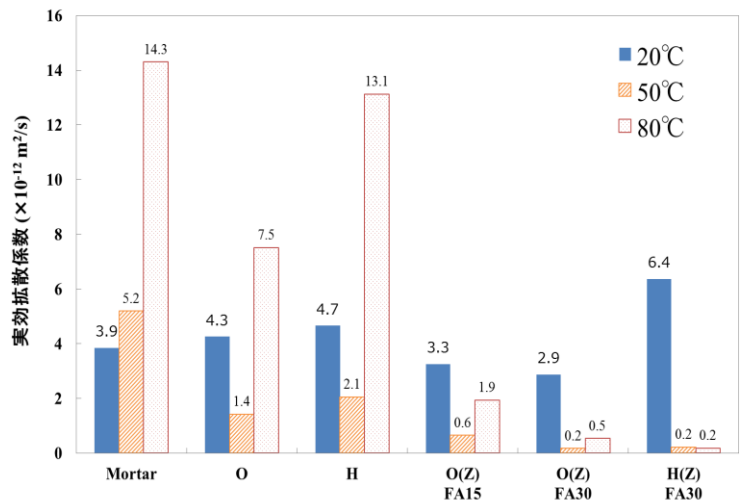


図 3 実効拡散係数

3. 実験結果・考察

図 3 に電気泳動試験の結果を示す。養生温度による変化を見ると、Mortar は養生温度を上げると実効拡散係数が高くなるのがわかる。これは、高温養生による急速な水和反応で、粗な構造になったと考える。一方、Z 混入固化体は 50°C 養生の方が 20°C 養生より、実効拡散係数が低くなった。80°C 養生では、O、H は Mortar と同様に実効拡散係数が 20°C、50°C 養生より高い数値となったが、FA を混入させた配合では、20°C 養生よりは実効拡散係数が低いという結果となった。

配合条件の違いによる変化を見ると、高温養生した場合において、Mortar よりも Z 混入固化体の方が、実効拡散係数は低くなる。O と H を比較すると、H の方が実効拡散係数が高い。O、O(Z)FA15、O(Z)FA30 を比較すると、フライアッシュの置換率が高くなるほど実効拡散係数が低い。HPC が OPC に比べ、若材齢で粗な構造になること、フライアッシュの添加によって緻密化されることが確認できた。

4. まとめ

- 1) 普通モルタルは高温養生すると、実効拡散係数が高くなる。これは、急速な水和反応により粗な構造となることに起因するものと考えられる。
- 2) Z 混入固化体は 20°C 養生より 50°C 養生の方が、実効拡散係数が低くなるが、80°C 養生では Mortar と同様に急速な水和反応によって粗な構造となり、実効拡散係数が高くなった。
- 3) Z 混入固化体において、FA を混入させた配合は、80°C 養生でも比較的低い実効拡散係数となった。高温養生により、ポゾラン反応が促進されたと考察する。

5. 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むけた検討状況、第 5 回特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会(2017)
- 2) 土木学会基準「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法（案）（JSCE-G 571-2003）」