

発熱性セメント固化廃棄体の模擬供試体による 圧縮強度の熱影響評価

THERMAL EFFECT EVALUATION OF COMPRESSIVE STRENGTH
WITH SIMULATED SUPECIMENS OF EXOTHERMIC CEMENT SOLIDIFIED WASTE

八戸工業高等専門学校建設環境工学科 ○学生員 橋本龍 (Ryu Hashimoto)
八戸工業高等専門学校産業システム工学科 正員 庭瀬一仁 (Kazuhito Niwase)

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故に伴い発生する放射性廃棄物処分の技術開発が急務となっている。現在、原子炉建屋内に流入した地下水や炉心冷却水等の放射性汚染水は、セシウム（以下、Cs）をゼオライトに吸着させることで処理されている¹⁾。ゼオライトは多数の微細な細孔、陽イオン交換機能を持つ物質であり、Cs吸着能が高いことが知られている。Csは発生量と被ばく線量低減の観点から最重要な核種であり、処分においては、崩壊に伴う発熱性に配慮することが求められている。Csを吸着したゼオライトは、発熱が低減するまでの間、中間管理として安全かつ合理的に保管されることが想定される。その中間管理方法としてセメント固化技術は、ガラス固化やジオポリマーによる固化法と比較して、経済性や製作性の観点から優れている。しかし、核種閉じ込めを目的とするセメント系材料は、力学的安定性、物質移行抵抗性に加え、発熱特性及び水の放射化分解を考慮した材料設計が要求される。そこで本研究では、高温履歴を付与した模擬廃棄体を作製し、圧縮強度試験を行った。

2. 試験概要

本実験の示方配合を表1に示す。セメント種は、普通ポルトランドセメント（以下、OPC）と低熱ポルトランドセメント（以下、LPC）の2種類を用いた。OPCについては、セシウムの崩壊に伴う発熱を模擬するため、内部温度を測定しながらヒーターで加熱した供試体も併せて作製した。図1に加熱供試体の概略図を、図2に供試体作製の様子を示す。その他結合材として、長期での緻密性を向上させるためフライアッシュ（以下、FA）を混合した。FA混合セメントではポゾラン反応により、内部組織の緻密性が向上する。混合率はセメント重量の30%置換とした。ゼオライトは、粒径0.5mm以下の天然ゼオライトを使用した。ゼオライトは多孔質で吸水性が高く、セメントペーストから吸水することが明らかになっている²⁾。そのため、フレッシュ時の流動性を確保するよう、ゼオライトの吸水量を予め加え、併せて高性能AE減水剤を使用した。供試体は二軸強制練りミキサーで練り混ぜた後、中間管理を想定し、廃棄体を模擬した55Lドラム缶に充填した。また、φ100×200mmの円柱供試体も作製した。打込み後は20℃恒温室内で静置し、気中養生とした。円柱供試体は3日養生後に脱型し、圧縮強度試験を行った。ドラム缶供試体は7日及び28日

養生後コアリングでφ45mmの円柱形サンプルを採取し、高さ90mmにカットし圧縮強度試験を行った。図3にドラム缶供試体のサンプル採取位置の概略を示す。サンプルは圧縮試験後、熱重量示差熱分析、水銀圧入法による細孔径分布測定のため粒径2.5-5.0mmに調整し、水和停止処理を施した。

表1 示方配合

	ゼオライトの 体積率(%)	W/(C+F) (%)	単位量(kg/m ³)					
			W	C	FA	Z	SP	吸水量
OPC-FA30	100	50	281	411	176	364	12.3	196
LPC-FA30	100	50	282	413	177	364	12.4	196

OPC：普通ポルトランドセメント（密度3.16g/m³）
LPC：低熱ポルトランドセメント（密度3.22g/cm³）
FA：フライアッシュ（密度2.29g/m³）
Z：ゼオライト（乾燥密度0.727g/m³）
SP：高性能AE減水剤（マスターイース3030）

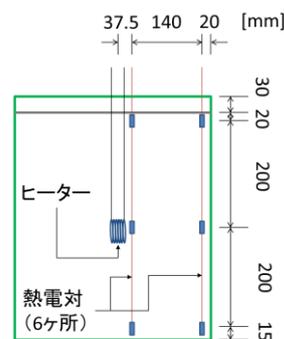


図1 供試体概略図



図2 供試体作製の様子

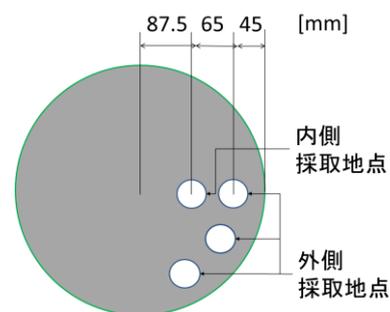


図3 サンプル採取位置

3. 試験結果と考察

図4に圧縮試験の結果を示す。円柱供試体について比較すると、3日強度はLPC-FA系供試体で0.57N/mm²、OPC-FA系供試体で4.28N/mm²となった。また、加熱無しのドラム缶供試体からコアリングしたサンプルについて比較すると、7日強度はLPC-FA系供試体で1.26N/mm²、OPC-FA系供試体で6.92N/mm²となった。放射性物質のセメント固化廃棄体については、積み上げや落下に耐えうるよう1.5 N/mm²の強度を確保するよう要求されている³⁾。そのため、初期養生の段階で十分な強度発現を要求する場合は、LPCでは強度不足となる可能性が高い。

図5に温度測定の結果を、図6に養生期間中の平均内部温度を示す。平均内部温度については、ドラム缶供試体内に図1で示した位置に設置した熱電対で測定した温度をもとに、内部で三次元方向に直線的な温度勾配となっていると仮定し、サンプル採取地点の温度を推測した。加熱した供試体の7日強度について比較すると、内部温度が約60℃であった内側のサンプルは13.6 N/mm²、約40℃であった外側のサンプルは10.4 N/mm²となった。養生中の温度が高くなるほど圧縮強度は大きくなる傾向があることがわかる。これは、温度が高くなることで水和反応が促進され、早期のうちに強度が発現したことが要因だと思われる。

28日強度について比較すると、LPC-FA系供試体で5.26N/mm²、OPC-FA系供試体で16.0N/mm²となった。水分が供給されない養生条件においては、LPCの水和反応速度は特に低く、強度発現には長期を要すると思われる。また加熱した供試体については、内側で26.2 N/mm²、外側で24.9 N/mm²となり、差はほとんど見られなかった。これは、どちらも水和反応がある程度完了したためだと考えられる。

4. まとめ

本研究では、模擬廃棄体から採取したサンプルについて圧縮強度の測定、検討を行い、以下の結果を得た。

- 1) 初期の段階で十分な強度発現を要求する場合は、LPCでは強度不足となる可能性が高い。
- 2) 高温履歴を付与された供試体の強度は、加熱無しの供試体に比べて大きくなった。これは、水和反応が促進されたためだと考えられる。
- 3) 28日養生の時点では、高温履歴を付与されたセメント固化体の圧縮強度について、温度の違いによる差は見られなかった。

5. 今後の予定

7日及び28日養生で水和停止処理を施したサンプルについて熱重量示差熱分析、水銀圧入法による細孔径分布測定を行う。熱重量示差熱分析では、400~450℃付近の吸熱ピークにおける減量率をもとに水酸化カルシウム量を測定し、水和反応とポゾラン反応の進行の様子について考察する。細孔径分布測定では、数十nm~数百nmの範囲の空隙と数μm~数十μmの範囲の空隙の二つの空隙径範囲に着目して考察を示し、内部組織の緻密性の評価を行う。これらの試験から、高温環境がゼオライトのセメント固化体に与える影響について鉱物組成変化

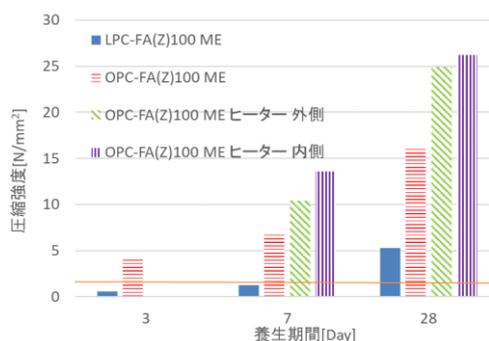


図4 圧縮強度

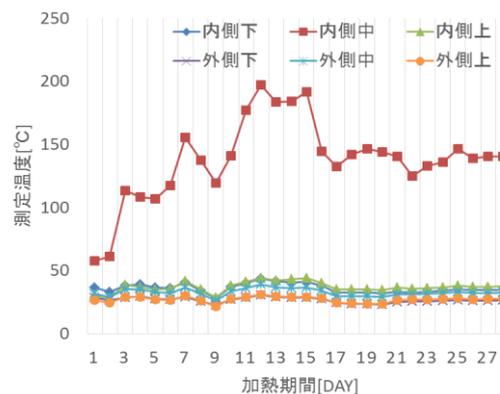


図5 各日における測定温度

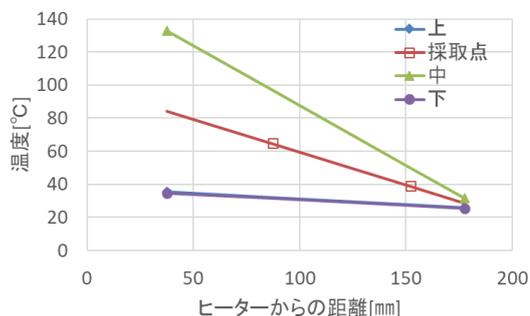


図6 各位置における平均測定温度

の面から考察し、核種閉じ込め性能の指標となる物質移行抵抗性の評価につなげる。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費（基盤研究(C)(15K06174)）を受けて行ったものである。

6. 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) 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，No.1，pp.653-660，2017
- 3) 原子力規制庁：廃棄物確認に関する運用要領の制定について，2014