

処分空洞構築時に用いるセメント系材料の化学的変質に関する検討

— 地下空洞型処分施設機能確認試験 (その 11) —

鹿島建設(株) 正会員 ○山川 剛 取違 剛 横関康祐
 (株)大林組 正会員 佐藤 伸
 東電設計(株) 正会員 矢込吉則
 原環センター 正会員 広中良和 藤原啓司 田中正人 寺田賢二

1. はじめに

著者らは、地下空洞型処分施設における閉鎖後長期の管理に資するモニタリング技術の確立やその実証試験の必要性に鑑み、中深度処分施設の人工バリアや周辺岩盤の長期にわたる機能確認方法の確立を目的とした調査・検討を進めている¹⁾。中深度処分施設は規制期間である300~400年の間に、人工バリア構成部材間の相互作用や、周辺岩盤との相互作用によって化学的変質を起こすことが想定されており、その管理においては、人工バリアが設計を逸脱することなく性能を発揮しつつあることを地下水等モニタリングによって確認することが求められている²⁾。周辺岩盤と最初に接するのは処分空洞の支保部材である吹付けコンクリートであるため、その化学的変質が直接的に地下水等モニタリングの結果に影響を与え、周辺の人工バリアや岩盤との相互作用にも影響を与えると考えられる。特に、吹付けコンクリートに使用される急結剤は硫酸イオンを含んでおり、それが化学的変質に影響を与えることが想定される。そこで吹付けコンクリートの化学的変質に関する知見を得て、モニタリング計画の一助とすることを目的に、硫酸イオンを含む急結剤を使用したセメントペーストの溶解試験を実施した。

2. 試験概要

使用材料およびペースト配合をそれぞれ表-1 および表-2 に示す。配合は、一般的な高強度吹付けコンクリートの配合からセメントペースト部分を抜き出したものであり、カルシウムサルフォアルミネートを主成分とする急結剤を用いている。急結剤は混入後、直ちに硬化し始めることから、本試験ではテーブルバイブレータで振動を与えながらφ50×100mmの供試体を採取した。練混ぜは20℃環境で行い、40℃、60%RHの恒温恒湿室で材齢56日まで封緘養生を行った。養生終了後は、大気中のCO₂との反応を防ぐために、窒素ガス環境下で供試体を破砕し、1.2~2.5mmの大きさに粒度調整した後、イオン交換水に浸漬した。なお、本試験では液固比を10、100と設定した。浸漬材齢14日、28日、56日で固液分離を行い、採取した溶液は表-3に示す各種イオンの濃度を測定し、残存した固相は粉末X線回折(リートベルト法)によって鉱物組成を定量した。

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	イオン交換水
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント:密度 3.16g/cm ³
急結剤	AC	急結剤(カルシウムサルフォアルミネート系)、密度 2.80 g/cm ³
高性能減水剤	SP	高性能減水剤(ポリエチレングリコール系)

表-2 ペースト配合

W/B (%)	単位量 (kg/m ³)			
	W	OPC	AC (外割り)	SP (内割り)
45	540	1202	120	13

表-3 分析項目

試料	手法	項目
養生終了時固相	粉末X線回折(リートベルト法)	エーライト、ビーライト、アルミネート、フェライト、エトリンガイト、モノサルフェート、Ca(OH) ₂ 、非晶質
溶解試験		pH、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、Fe ²⁺ 、Al ³⁺ 、全S、イオン状Si、全Si、CO ₃ ²⁻

3. 試験結果および考察

(1) 養生終了時(浸漬前)

養生終了時の鉱物組成を表-4に示す。C-S-HやC-A-H等の非晶質のほか、Ca(OH)₂やエトリンガイト、モノサルフェートが生成されている。特にエトリンガイトの量が多く、これは急結剤の水和過程で生成したものと考えられる。

キーワード 放射性廃棄物、地下空洞型処分、中深度処分、吹付けコンクリート、化学的変質、急結剤

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6760

表-4 鉱物組成の経時変化

試料	材齢 (日)	鉱物組成割合 (mass%)							
		エーライト	ビーライト	アルミネット	フェライト	エトリンガイト	モノサルフェート	Ca(OH) ₂	非晶質
養生終了時	0	5.86	2.70	0.22	4.26	7.97	1.80	13.43	63.75
液固比 10	14	4.50	3.19	0.00	2.44	13.29	1.79	13.17	61.62
	28	3.31	2.45	0.04	2.20	15.18	0.38	10.88	65.56
	56	3.62	2.30	0.00	2.26	16.34	0.48	10.97	64.03
液固比 100	14	4.42	3.65	0.05	2.73	10.86	1.23	7.07	69.99
	28	3.89	3.14	0.07	2.46	15.92	0.55	4.87	69.12
	56	3.62	2.84	0.00	2.41	17.10	0.29	3.13	70.62

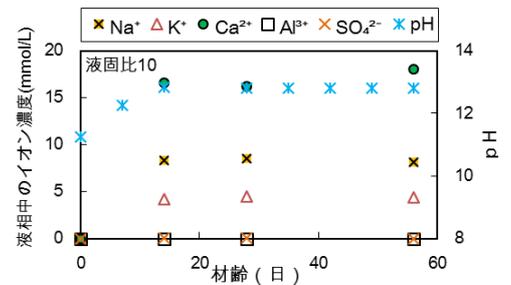


図-1 イオン濃度の推移 (液固比 10)

(2) 浸漬水のイオン濃度の変化

浸漬水のイオンでは、主に Na⁺, K⁺, Ca²⁺が検出された。これらのイオンと、急結剤の主成分であるカルシウムサルフォアルミネートを構成するイオンである Al³⁺と SO₄²⁻, pH の経時変化を図-1 および図-2 に示す。浸漬材齢 28 日目以降、pH は液固比 10 のときに 12.8、液固比 100 のときに 12.5 で一定となっており、固相と液相の溶解・沈殿現象はほぼ平衡状態にあると考えられる。液固比 10 のとき、Na⁺ や K⁺ は高濃度であるが、液固比 100 のときは、元々の含有量が少いため低濃度となった。一方で、Ca²⁺ はいずれの液固比のときも濃度が高い。25℃環境下で Ca(OH)₂ 飽和水溶液の pH は 12.6 であることから、液固比 10 では pH の値に NaOH や KOH が影響しており、液固比 100 では Ca(OH)₂ が支配的と考えられる。また、Al³⁺ や SO₄²⁻ は微量しか検出されず、溶解せずに固相に留まっているか、液相中に浸出した後、他のイオンとの反応によって沈殿したと考えられる。

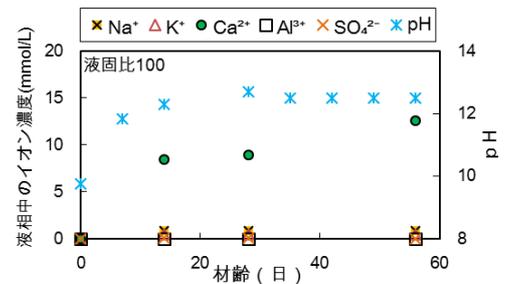


図-2 イオン濃度の推移 (液固比 100)

(3) 鉱物組成の変化

浸漬後の残渣の鉱物組成の経時変化を表-4 に、特に明確な変化が認められた Ca(OH)₂, エトリンガイト, モノサルフェートの経時変化を図-3 および図-4 に示す。液固比によらず、Ca(OH)₂ とモノサルフェートの組成割合が経時的に減少する一方で、エトリンガイトの組成割合は逆に増加している。非晶質部分の詳細分析は実施できていないものの、本試験結果より、急結剤を含むセメント系材料が移流の影響のない環境下で水と接する場合には、主に Ca(OH)₂ より溶出する Ca²⁺ とモノサルフェートや非晶質の一部から溶出する Al³⁺ や SO₄²⁻ が反応して、エトリンガイトが生成されると考えられる。

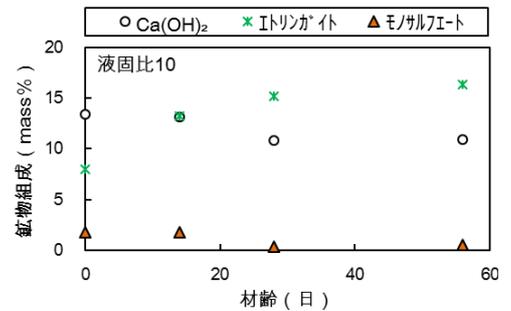


図-3 鉱物組成の推移 (液固比 10)

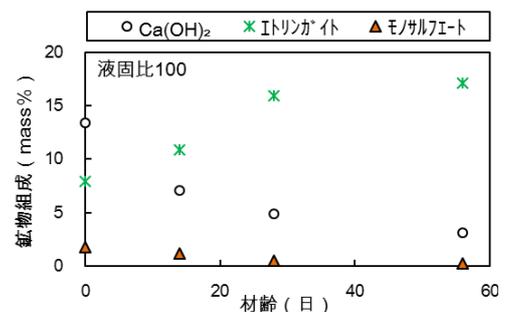


図-4 鉱物組成の推移 (液固比 100)

4. おわりに

硫酸イオンを主成分とする急結剤を使用したセメントペーストを用いて溶解試験を実施し、化学的変質に関する知見を得た。今後、本知見を利用して、吹付けコンクリートや処分空洞内の人工バリア、空洞周辺の岩盤の化学的変質について更なる検討を行い、モニタリング計画に反映させていく。なお、本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託による「低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業 地下空洞型処分施設機能確認試験」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 藤原ほか: 地下空洞型処分施設機能確認試験の事業概要—地下空洞型処分施設機能確認試験(その1)—, 土木学会第72回年次学術講演会, VII-028, 平成29年9月
- 2) 佐々木ほか: 地下空洞型処分施設における機能確認の目的と位置づけ—地下空洞型処分施設機能確認試験(その2)—, 土木学会第72回年次学術講演会, VII-029, 平成29年9月