

養生履歴の異なる充填材の空隙構造と圧縮強度試験結果に関する一考察

—地下空洞型処分施設性能確認試験による—

大成建設(株) 正会員 ○木ノ村 幸士

三菱マテリアル(株) 非会員 加藤 博康

(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 矢田 勤

1. はじめに

養生時の温度条件等の違いが硬化体の空隙構造に及ぼす影響を確認するため、上記確認試験で作製した充填材および上部充填材供試体を材齢初期から 20℃、60℃、105℃環境で養生し、空隙径分布を測定した。また、同確認試験において別途測定された同配合・同養生履歴の供試体の圧縮強度について空隙構造の観点から考察を行った。

2. 水銀圧入法による空隙径分布測定

(1) 測定ケース

平成 21 年度および平成 22 年度の確認試験で作製した充填材および上部充填材供試体の配合を表-1 に示す。なお、使用材料については既往報告書に記載の通りである^{1),2)}。水銀圧入法による空隙径分布の測定ケースと供試体の養生履歴を表-2 に示す。両配合とも材齢 1 日で脱型後、20℃、60℃のケースは水中養生、105℃のケースは乾燥炉内で気中養生を行った。充填材は材齢 91 日まで、上部充填材は測定実施時まで上記養生条件を継続した。水銀圧入用の試料には、養生条件の違いによる影響を受けやすい供試体外周部から均一に採取した試料を用いた。

(2) 測定方法

水銀圧入法は空隙率や空隙径分布といった空隙構造特性を測定する主な手法のひとつである。本測定では、加圧範囲を 0~60,000psia で制御し、365μm~3nm の範囲の空隙径分布を測定した。測定装置には Micrometrics 社製の AutoPoreIV を用いた。測定は、1 回目の高圧測定を実施した後、除圧して載荷圧力を大気圧近傍に戻し、再び水銀の圧力を昇圧して 2 回目の高圧測定を実施した。なお、以下では、1 回目の昇圧過程での圧入量を試料容積で除した値を全空隙率、2 回目の圧入量を同じく試料容積で除した値を連続空隙率として区別して定義する。

表-1 充填材および上部充填材の配合

種別	W/B (%)	W/P (%)	スランブ フロー (cm)	空気 量 (%)	単位量 (kg/m ³)							SP P×%	Ad P×%	
					水 W	粉体 P			石灰石 微粉末 S	石灰 砕砂 G	SP			Ad
						結合材 B								
						低熱セメント LPC	フライアッシュ FA	膨張材 LEX						
充填材	45	28.1	82.5±7.5	2.5	230	358	153	0	307	1205	---	0.85	0.30	
上部充填材	45	28.0	70.0±5.0	2.5	160	229	107	20	215	845	780	1.10	0.20	

表-2 空隙径分布の測定ケースと供試体の養生履歴

種別	供試体作製	養生 期間 (月)	作製供試体 の大きさ	養生履歴			
				ケース	材齢		封緘
					1 日 (脱型)	91 日	
充填材	平成 21 年 10 月	15	φ 100mm×H200mm	①	封緘	20℃水中	封緘 (室温)
				②		60℃水中	封緘 (室温)
				③		105℃気中	封緘 (室温)
上部充填材	平成 22 年 7 月	6	φ 125mm×H250mm	①	封緘	20℃水中	
				②		60℃水中	
				③		105℃気中	

キーワード 放射性廃棄物, 養生履歴, 充填材, 空隙径分布, 圧縮強度

連絡先 〒163-6009 東京都新宿区西新宿 6-8-1 大成建設(株)原子力本部 TEL 03-5381-5315

(3) 測定結果

充填材および上部充填材の積算空隙容積分布、空隙径分布を図-1、図-2に示す。

図-1より、充填材では20℃水中、60℃水中で直径10nm以上の空隙径分布がほぼ一致し、両者の違いは10nm付近にあるピーク空隙量に見られる。これは、60℃水中では材齢1日からの高温養生で急激に水和反応が進展し、セメント粒子周りに緻密な水和物層が形成された結果、その後の水和反応が抑制された影響ではないかと考えられる。一方、105℃気中養生では、300nm付近に分布のピークが見られる。この結果はポーラスな空隙が残された状態を意味しており、本来継続して水和およびポゾラン反応に使われる自由水が材齢初期に供試体から逸散した影響を反映していると考えられる。

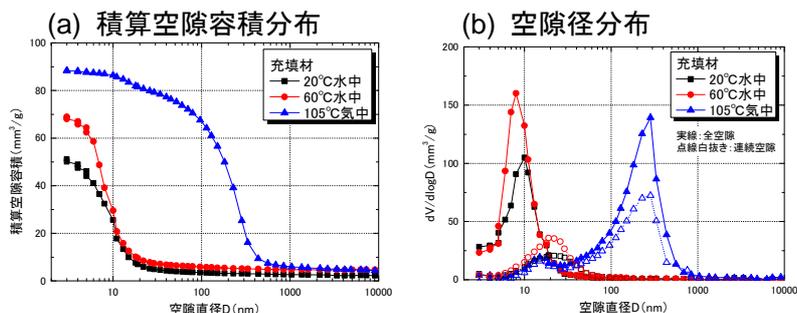


図-1 充填材の測定結果

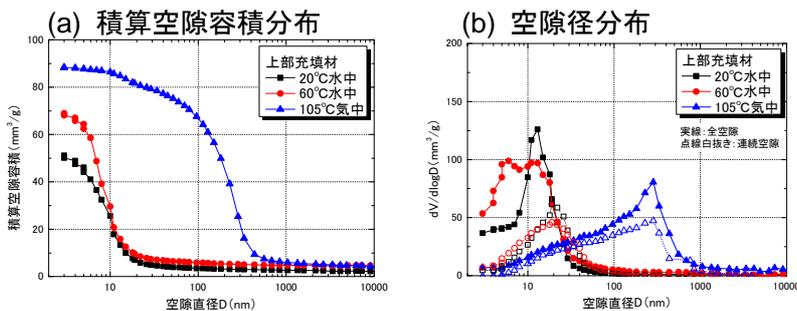


図-2 上部充填材の測定結果

また、図-2より、上部充填材についても充填材とほぼ同様の傾向が確認できる。両者の傾向の違いとしては、上部充填材の場合、60℃水中および105℃気中でのピーク径付近の空隙径分布の勾配が、ピーク径よりも小さい側で緩やかである点が挙げられる。この要因としては、上部充填材の配合には膨張材が含まれるため、高温養生した材齢初期に急激な膨張反応が生じ、析出物によって空隙構造が複雑化した影響が含まれると推測される。

3. 直径50nm以上の空隙率と圧縮強度の関係

上記測定結果を用いて、上記測定に用いた供試体と同配合・同養生履歴の供試体の圧縮強度試験結果^{1),2)}との関係を整理する。既往の研究において、セメント硬化体の圧縮強度は骨材とペーストとの界面に形成される遷移帯の空隙構造が支配的であり、直径50nm以上の空隙率との相関が高いという報告がある³⁾。そこで、50nm以上の空隙率に着目し、ペースト量の異なる充填材と上部充填材という2つの配合の空隙率を同じ評価軸で評価するため、ペースト単位体積当りの空隙率に換算して圧縮強度との関係を整理した。結果を図-3に示す。

同図より、膨張材を含まない充填材では、養生履歴に関わらず両者に高い相関が見られる。一方、膨張材を含む上部充填材では、60℃水中での強度低下が顕著である。しかし、図-2に示すように20℃水中と

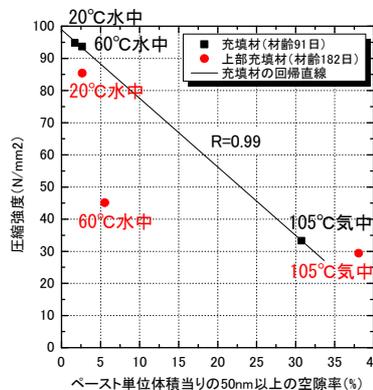


図-3 ペースト単位体積当りの50nm以上の空隙率と圧縮強度の関係

60℃水中では20nm以上の空隙径分布はほぼ一致しており、50nm以上の空隙率が60℃水中での強度低下を招いたとは考え難い。つまり、上部充填材では高温養生時の急激な膨張反応が硬化体内部に強度低下の原因となるクラックを誘発した可能性が高いと考えられる。一方、105℃気中養生の場合には、空隙構造自体がポーラスであり、膨張反応に伴うクラック影響以上にポーラスな空隙構造が全体強度を支配している可能性が高い。いずれにせよ、膨張材を含む上部充填材では高温養生時に強度低下が見られるため配合に留意する必要がある。なお、本報告は経済産業省からの委託による「管理型処分技術調査等委託費（地下空洞型処分施設性能確認試験）」の成果の一部である。

参考文献

- 1) (公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成21年度管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確認試験報告書, 2010
- 2) (公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成22年度管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確認試験報告書, 2011
- 3) H.Uchikawa, Engineering Foundation conference, Advances in cement manufacture and use, pp.271-294, 1988