

## 高温高圧環境が水中不分離性コンクリートの硬化物性と鉱物組成に与える影響

鹿島建設(株) 正会員 ○中嶋翔平 取違 剛 山野泰明 向 俊成 フェロー会員 瀬尾昭治  
原子力発電環境整備機構 國丸貴紀 西尾 光

### 1. はじめに

筆者らは、放射性廃棄物処分事業で実施されるボーリング調査で掘削したボーリング孔の閉塞に係る検討を行っている。処分したガラス固化体から放射性核種がボーリング孔を通じて地上に漏洩しないように、異なる水理場がボーリング孔で連通することを抑制する必要がある。そのため、国外ではベントナイト系材料、セメント系材料および金属プラグをサンドイッチ状に設置してボーリング孔の閉塞を行う方法が検討されている。ボーリング孔の掘削長 1,000m 程度の条件下で、セメント系材料には、ボーリング孔内を低透水性の状態を確保するための機能が期待されているため、高温・高水圧の地下水下での水中施工となる。そのため、当該セメント系材料には水中不分離性が求められ、また、硬化後には岩盤との密着性や低透水性、処分事業で想定されている期間における化学安定性が求められる。そこで本検討では、高温高圧の環境が水中不分離性コンクリートの硬化物性と鉱物組成に与える影響を評価した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験ケースおよびコンクリートの配合

本研究では、養生条件がコンクリートの諸特性に及ぼす影響を評価するため、一般的な 20°C 水中養生に加えて、60°C 水中養生、60°C/10MPa 養生の 3 ケースについて検討を行った。コンクリートの配合を表-1 に示す。普通ポルトランドセメントを使用し、一般的な水中不分離性コンクリートに用いられる水溶性セルロースエーテル系水中不分離性混和剤とメラミンスルホン酸系の水中不分離性コンクリート用流動化剤を添加したコンクリートを使用した。スランプフロー45cm、空気量 3.5%とし、コンクリートの練上がり温度は 20°C とした。

#### 2.2 供試体作製および養生

60°C/10MPa の圧力養生を行った試験体の作製手順を図-1 に示す。水温 60°C

の水槽内に  $\phi 100\text{mm} \times h200\text{mm}$  のプラスチック製型枠を沈め、同型枠内にコンクリートを打ち込んだ後、直ちに水槽から取り出し、60°Cの恒温室内に配置した圧力容器に型枠ごと移して 60°Cの温水で容器内を満たした。その後、直ちに蓋をして 10MPa の圧力をかけることで、コンクリートを硬化前から 60°C/10MPa の環境にして養生を行った。20°C 水中養生、60°C 水中養生のケースについては、打込みの翌日に脱型し、所定の温度に調整した水槽内にて養生した。

#### 2.3 測定項目

上記、60°C/10MPa 養生、20°C 水中養生、60°C 水中養生の 3 ケースについて、表-2 に示す試験を実施した。透水係数は、材齢 91 日経過後、 $\phi 100\text{mm} \times h30\text{mm}$  の大きさで試料を切り出し、フローポンプ法による透水試験を実施して求めた。鉱物組成は、骨材の影響を取り除くため、別途同養生条件にして作製したセメントペーストを用いた。

キーワード：水中不分離性コンクリート、高温、高圧、養生温度、圧縮強度、透水係数、細孔径、XRD

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-1 コンクリートの配合

W/C (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			水	普通セメント	細骨材	粗骨材	水中不分離性混和剤	流動化剤
50.0	45.0	3.5	227	470	612	924	2.12	8.0

セメント密度:3.16g/cm<sup>3</sup> [表乾密度] 細骨材:2.64 g/cm<sup>3</sup> 粗骨材:2.65 g/cm<sup>3</sup>

表-2 試験項目

測定項目	試験方法	水準
圧縮強度	JIS A 1108	材齢 7, 28, 91 日
透水係数	フローポンプ法	材齢 91 日
空隙率	水銀圧入式ポロシメータ	材齢 91 日
鉱物組成	粉末 X 線回折 (リートベルト法による定量分析)	材齢 91 日 (セメントペースト)



図-1 圧力養生試験体の作製手順

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 圧縮強度

材齢と圧縮強度の関係を図-2に示す。20℃水中養生と比較して、60℃水中養生においては、材齢7日では圧縮強度が大きくなり、材齢91日では2割程度小さくなった。また、60℃/10MPa養生では、60℃水中養生に比べて、材齢7日時点での圧縮強度が5N/mm<sup>2</sup>程度大きくなり、材齢91日においても若干高い結果となった。長期材齢でみた場合、圧力養生が圧縮強度に与える影響は小さいと考えられる。

#### 3.2 透水係数

各養生における透水係数を図-3に示す。20℃水中養生と比較して、60℃水中養生においては透水係数が1オーダー程度大きくなった。一方、60℃/10MPa養生では、60℃水中養生よりも透水係数が小さくなる結果となった。圧力養生によって細孔構造が変化し、透水係数に影響を与えた可能性が示唆された。

#### 3.3 細孔構造

各養生条件における材齢91日の細孔径分布を図-4に示す。20℃水中養生と比較して、60℃水中養生では、細孔径分布が大径側にシフトし、細孔構造が粗となっていることが確認された。一方、60℃/10MPa養生では、60℃水中養生に比べて0.1μm以上の比較的大きな空隙の量が減少し、0.01~0.1μmの空隙の量が増加しており、空隙が緻密化していることが確認された。小林ら<sup>2)</sup>は、水深約200mの海底に608日間暴露したモルタルにおいて、水圧の影響で、結晶サイズの大きなエトリングライトが、密に析出されることをSEM観察によって確認している。本検討においてもこれと同様に、10MPaの圧力によって水和物が密に析出して緻密化し、これが透水試験結果に影響したと考えられる。

#### 3.4 鉱物組成

粉末X線回折による定量結果を図-5に示す。20℃水中養生と比較して、60℃水中養生の場合、エトリングライトがモノサルフェートに転移し、カトアイトが生成することが確認できた。酒井ら<sup>3)</sup>は、硬化した普通コンクリートを65℃で加熱養生した際に、モノサルフェートとともに、カトアイトが生成されることを報告しており、当試験結果は既往の報告と同様の傾向を示した。また、60℃水中養生と60℃/10MPa養生を比較すると、鉱物組成が極似していることがわかる。以上より、鉱物組成に影響を与える主要因は温度であり、10MPa程度の高圧環境が鉱物組成に与える影響は小さいことが明らかになった。

### 4. おわりに

60℃の高温環境の水中に打込み後、10MPaの高圧環境で養生された水中不分離性コンクリートの硬化物性および鉱物組成を確認した。その結果、圧力の影響によって細孔構造が密になり、透水性は低くなること、ならびに圧力が鉱物組成へ及ぼす影響は極めて小さいことがわかった。

#### 参考文献

- 1) 山野泰明ら：温度環境の違いが水中不分離性コンクリートの強度と細孔構造に与える影響，土木学会年次学術講演会，CS12-18，2021。
- 2) 小林真理ら：深海底におけるセメントモルタルの物理的特性と水和物の変化，セメント・コンクリート論文集，Vol.72，pp.247-254，2018。
- 3) 酒井正樹ら：100℃未満の加熱を受けたコンクリートの物性変化，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.562-567，2012。

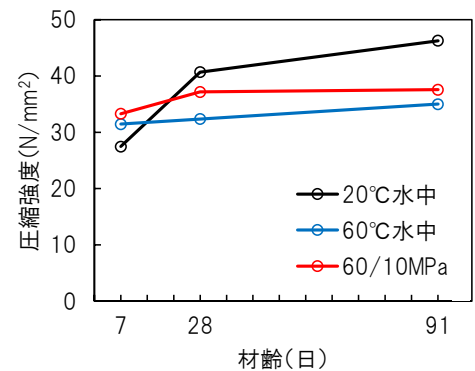


図-2 圧縮強度

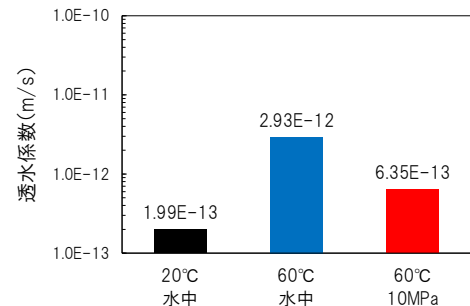


図-3 各温度，圧力下における透水係数

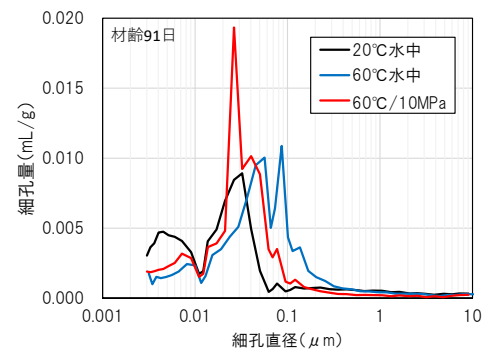


図-4 各養生条件における細孔径分布

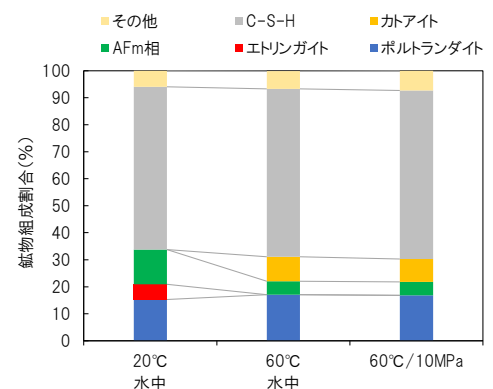


図-5 各温度，圧力下における鉱物組成