

低アルカリ性を有するセメント系材料の高温環境下における硬化物性に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○向 俊成 取違 剛 山野泰明 中嶋翔平 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

著者らは、放射性廃棄物処分事業における調査ボーリング孔の閉塞に係る検討を行っている。ボーリング孔の閉塞においては、処分した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、透水性の低いベントナイト系材料を充填することが検討されている。また、ベントナイトの膨潤による透水性の変化を抑えるため、セメント系材料や金属プラグでベントナイトの変形を抑える施工方法が検討されている。ボーリング孔は地下深度約 1,000m という環境が想定されるため、圧力や温度が通常の水中とは異なる環境でセメント系材料を施工しなければならない。筆者らはこれまで、普通ポルトランドセメントを用いた水中不分離性コンクリートを異なる温度 (20, 40, 60, 80℃) の水中に打設し、養生温度が圧縮強度と細孔構造に与える影響を検討してきた¹⁾。本検討では、新規開発された低アルカリ性を有するセメント系材料を用いた水中不分離性コンクリートの高温環境下における強度特性、鉱物組成等について評価した。

2. 実験概要

2.1 使用材料とコンクリートの配合

使用材料を表-1に示す。本検討では、特殊な粉体と水を混合した特殊セメントスラリー (シェイクセメント N, SHCN) を用いた。同スラリーは、水酸化アルカリ (CI) を主成分とする硬化開始剤の添加によって硬化する。骨材には一般的な材料を用いた。また、水中不分離性

混和剤として水溶性セルロースエーテル系のものを用いた。コンクリートの配合を表-2に示す。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℃とした。

2.2 供試体作製方法

SHCN と骨材, UWB を強制二軸ミキサに投入して 90 秒練り混ぜた。その後、CI と混和剤を投入して 120 秒間練り混ぜてミキサから排出し、所定のフレッシュ性状が得られることを確認した。その後、φ100×h200mm の円柱供試体ならびに 100×100×400mm の角柱供試体を作製した。供試体作製の際には、実際に想定されるボーリング孔内の打設環境を想定して、20, 40, 60, 80℃に調整した水中にて型枠内にコンクリートを打ち込んだ。その後、各温度環境にて所定の材齢まで脱型せずに水中養生を行った。

2.3 測定項目

円柱供試体を用いて材齢 7, 28, 91 日において JIS A 1108 に準拠して圧縮強度を、水銀圧入式ポロシメータを用いて空隙率を測定した。また、角柱供試体を用いて、(公社)日本コンクリート工学会「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に準じて埋込みひずみ計にて長さ変化を材齢 91 日まで計測した。さらに、表-2

表-1 使用材料

使用材料	記号	摘要
セメント	SHCN	特殊セメントスラリー(シェイクセメント N), 密度=1.61g/cm ³
スラリー	CI	密度=1.01 g/cm ³ , 硬化開始剤, 水酸化アルカリ
細骨材	S	砕砂, 密度=2.64g/cm ³ , F.M. 2.61
粗骨材	G	砕石, 密度=2.65g/cm ³ , Gmax=20mm
混和剤	UWB	水溶性セルロースエーテル系水中不分離性混和剤
	SP	流動化剤, メラミンスルホン酸系化合物
	DA	消泡剤

表-2 コンクリートの配合

スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)						
		SHCN	CI	S	G	UWB	SP	DA
45.0	3.5	755	29	483	728	2.90	13.68	0.20

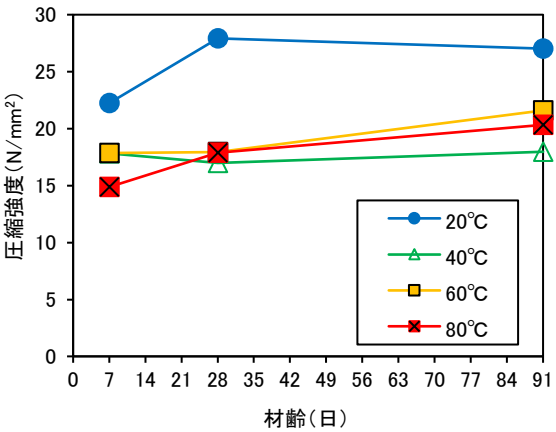


図-1 各温度における材齢と圧縮強度

キーワード 水中不分離性コンクリート, 高温, 圧縮強度, 長さ変化, 膨張, エトリンガイト, SHCN

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 042-485-1111

に示す配合から骨材を除いたセメントペーストを別途作製し、各養生温度にて 91 日間養生した後、粉末 X 線回折による鉱物組成の定性分析を行い、リートベルト解析にて鉱物量を定量評価した。

3. 実験結果および考察

材齢と圧縮強度の関係を図-1 に示す。20℃で養生した場合、SHCN を用いたコンクリートの圧縮強度は材齢 7 日で約 22N/mm²、材齢 28 日で 28N/mm² 程度であったのに対し、40℃以上の高温で養生することによって強度が 15～20N/mm² 程度に低下した。次に、材齢と空隙率の関係を図-2 に示す。材齢 7 日では 20℃養生における空隙率が大きいものの、材齢 28 日以降は養生温度による空隙率に差は見られない。一般に、コンクリートの圧縮強度と空隙率には高い相関があるとされているが、本検討においては両者に相関がみられなかった。

各養生温度における長さ変化の測定結果を図-3 に示す。同図の縦軸はプラスが膨張側を示している。SHCN を用いたコンクリートは養生温度によらず、ごく初期に大きく膨張することが確認された。一般的なコンクリートは水和反応に伴う自己収縮によって 100～200μ 程度収縮することから、SHCN の反応は一般的なコンクリートの水和とは異なると考えられた。コンクリート用膨張材を多量に添加した既往の研究事例において、変形を拘束せずに膨張量が過大になると、コンクリートの強度が低下する現象が指摘されており²⁾、本検討においても、40℃以上の高温環境では供試体の過膨張による強度低下が生じた可能性がある。なお、この強度低下は、周囲を拘束することによって防止できるとされており²⁾、ボーリング孔の閉塞材として SHCN を用いた場合には、強度低下は生じにくいと考えられる。

粉末 X 線回折ならびにリートベルト解析によって得られた各養生温度における材齢 91 日の鉱物の定量結果を図-4 および表-3 に示す。SHCN は、一般的なセメント系材料に見られる C-S-H が存在せず、エトリンガイトやモノサルフェート、Al(OH)₃ が主成分であることが確認された。自己収縮試験における大きな膨張は、主にエトリンガイトの生成に起因するものと考えられる。また、図-4 に示すように、養生温度が高くなるとエトリンガイトとギブサイトが減少し、これらに含まれる Al が相組成を変化させてモノサルフェートが増加すること、ならびに Al(OH)₃ の結晶形態自体が変化することが確認された。これら鉱物のうちエトリンガイトの安定性は、pH に大きく依存することから、今後、これらの鉱物の化学的な安定性について評価する必要がある。

参考文献

1) 山野泰明ほか: 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, 土木学会第 76 回年次学術講演会, CS12-18, 2021

2) 楠元孝夫, 杉田英明: 石灰系膨張混和材がコンクリートの膨張及び強度性状に及ぼす影響, セメント技術年報, No.31, pp.237-241, 1977

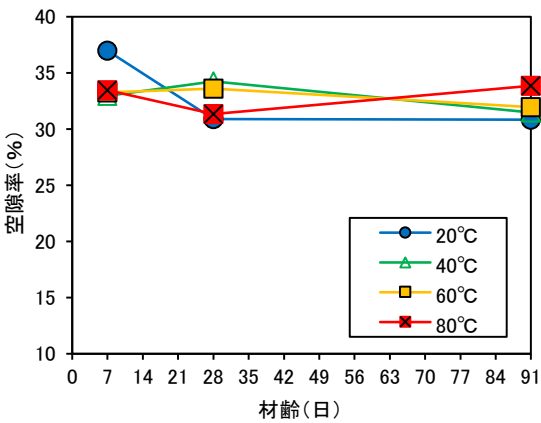


図-2 各温度における材齢と空隙率

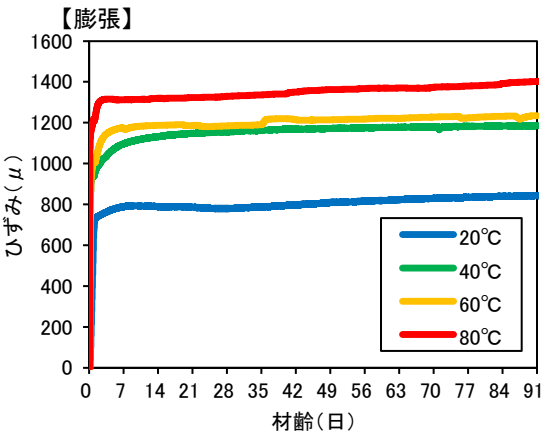


図-3 各養生温度における長さ変化

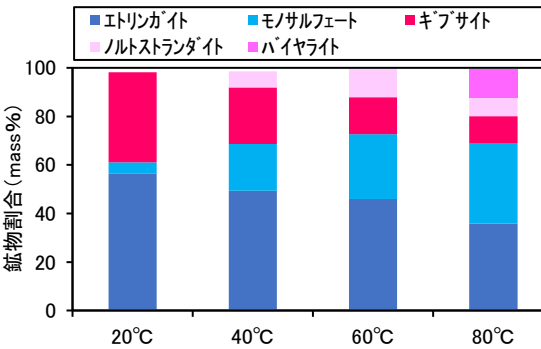


図-4 養生温度と鉱物組成割合の関係

表-3 リートベルト解析による鉱物の定量結果 (mass%)					
定量結果 (mass%)					
鉱物名	化学式	20℃	40℃	60℃	80℃
CA	2CaO・Al ₂ O ₃	1.8	—	—	—
エトリンガイト	3 CaO・Al ₂ O ₃ ・3CaSO ₄ ・32H ₂ O	56.5	49.4	46.0	35.9
モノサルフェート	3CaO・Al ₂ O ₃ ・CaSO ₄ ・12H ₂ O	4.6	19.2	26.6	33.1
モノカーボネート	3CaO・Al ₂ O ₃ ・0.5CaCO ₃ ・0.5 Ca(OH) ₂ ・11.5H ₂ O	—	1.4	0.5	0.5
ギブサイト	Al(OH) ₃	37.1	23.3	15.3	11.1
ノストラングイト	Al(OH) ₃	—	6.7	11.6	7.5
バイヤイト	Al(OH) ₃	—	—	—	11.9

「—」は定性分析でピークが確認できないため定量対象外