

高温作用がセメント硬化体の線膨張係数に与える影響の検討

埼玉大学大学院 学生会員 ○湯口 綾介
 埼玉大学大学院 正会員 浅本 晋吾
 電力中央研究所 正会員 蔵重 勲

1. 研究背景と目的

放射能レベルの比較的高い低レベル放射性廃棄物については、地表から 50–100m 程度の深度で処分する余裕深度処分が日本では検討されている。この余裕深度処分では、放射性核種の漏えいを防止する人工バリアとして、セメント硬化体を用いることが検討されているが、廃棄体に含まれる放射性核種の種類と濃度によっては発生する崩壊熱により、セメント硬化体は数年から数十年という長期にわたり、高温作用を受ける可能性がある¹⁾。長期的バリア性能を評価するためには、セメント硬化体の様々な物性変化を把握する必要がある。高温作用の影響についても多角的に検討することが重要と言える。そこで、本研究では、高温作用がセメント硬化体の線膨張係数に与える影響に着目し、基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料および試験体

使用したセメントは、普通ポルトランドセメントである。水結合材比は 0.45 とし、普通ポルトランドセメントのみを用いた配合 (OPC)、フライアッシュをセメント質量の 30% 置換した配合 (FA) のセメントペースト、モルタルの試験体を作製した。モルタルは、川砂を用い、細骨材体積を全体の 50%、空気量を 4% として配合設計を行った。また、試験体は 20×40×160mm の平板とし、試験体内の温度計測を行うため、熱電対を試験体中央付近に 2 本埋め込んだ。

(2) 養生条件および長さ変化の計測方法

養生は、20℃一定と 80℃一定環境下で、材齢 14 日と 28 日まで水中養生するもの、材齢 14 日まで 20℃一定でその後 80℃一定環境下で材齢 28 日まで水中養生するものの 3 種類とした (図 1)。高温の作用時期の影響を検討するため、上記の 3 種類の温度履歴を与えた。試験体は各条件で 2 体とし、その平均を結果とした。打込み後 1 日で脱型したのち、各条件で養生した。

上記の養生条件のもと、材齢 14 日と 28 日においてコンタクトゲージ (精度: 1/1000 mm) を用い、温度変化に伴う試験体の長さ変化の計測を行った。ステンレス容器に試験体を入れ、容器内を水で満たし、容器外側に張り付けたラバーヒーターにより容器全体を温めることで、試験体全体に均等に熱を伝え、かつ、水中で計測を行うことで試験体の乾燥収縮の影響を排除した (図 2)。

各配合・養生条件の全ての試験体で、計測前に 20℃に戻したのち、水中で 20℃–50℃–20℃、および 50℃–80℃–50℃と温度を変化させ、20℃–50℃間、50℃–80℃間における線膨張係数を求めた。計測間隔は約 10℃で行い、温度と長さ変化の関係を線形近似し、その傾きを線膨張係数とした。

3. 実験結果および考察

各配合・養生条件での線膨張係数の計測結果を、表 1 にまとめる。また、図 3 に試験体温度–ひずみ関係の計測例を示す。各温度でのひずみは昇温と降温過程で概ね一致し、温度–ひずみの関係はほぼ直線になった。

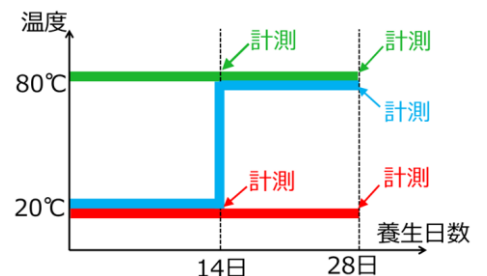


図 1 養生温度・材齢と計測日数

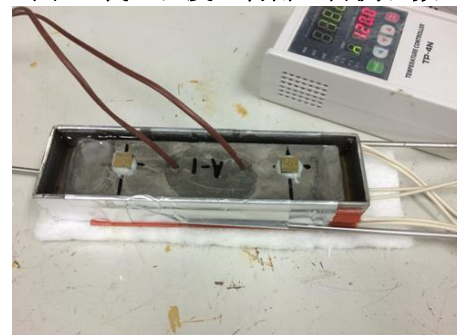


図 2 試験体ひずみ計測の様子

キーワード 線膨張係数, 高温作用, フライアッシュ, セメント系人工バリア

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-3556

表 1 試験体の線膨張係数 ($\mu/\text{℃}$)

	温度条件	OPC・材齢14日		OPC・材齢28日		FA・材齢14日		FA・材齢28日	
		20℃-50℃間	50℃-80℃間	20℃-50℃間	50℃-80℃間	20℃-50℃間	50℃-80℃間	20℃-50℃間	50℃-80℃間
セメントペースト	20℃	10.8	10.6	10.4	9.9	10.2	10.2	10.3	9.9
	80℃	8.1	8.0	7.6	7.1	10.3	10.0	7.9	8.0
	20℃→80℃			8.0	8.0			8.0	8.2
モルタル	20℃	10.3	10.0	10.1	10.0	9.9	10.0	10.0	9.9
	80℃	8.1	7.9	7.5	7.4	10.2	9.8	8.2	7.9
	20℃→80℃			8.0	8.0			8.0	8.0

また、降温後、ほぼ初期の値に戻ったことから、計測時の温度履歴による水和反応の影響は小さいと考えられる。

図 4 に、セメントペーストの 20℃-50℃間における線膨張係数を、配合ごとにまとめた。これによれば、80℃という高温の作用を受けない 20℃一定の養生においては、OPC、FA ともに線膨張係数は 10~11 $\mu/\text{℃}$ 程度であり、OPC では、材齢 14 日に比べ材齢 28 日で線膨張係数が若干低下した。セメント硬化体の線膨張係数は、水和反応による骨格形成に関連すると考えられ、反応の進行に伴い線膨張係数は低下していくと推察される。FA では水和反応の進行が遅いため、線膨張係数の低下が明確に観察されなかったと考えられる。

一方で、80℃の高温作用を受けると、線膨張係数は 8 $\mu/\text{℃}$ まで低下する傾向があった。特に、80℃一定で養生した OPC 試験体は、材齢 14 日ですでに線膨張係数の低下が進んでいる。FA 試験体では、80℃一定養生の条件でも、材齢 14 日では、20℃一定養生とさほど線膨張係数は変わらないが、材齢 28 日まで養生を施すと、8 $\mu/\text{℃}$ 程度に低下した。また、材齢 14 日まで 20℃で養生し、それ以降 80℃で材齢 28 日まで養生すると、OPC、FA ともに線膨張係数が低下したことから、フライアッシュを混和した場合、80℃という高温作用の線膨張係数に対する影響は、水和がある程度進行した状態で顕著になることが示唆された。

図 5 に、モルタルの 20℃-50℃間における線膨張係数を、配合ごとにまとめた。図 4 と比較すると、各条件の線膨張係数の変化はペーストと同様の傾向が見られることから、本骨材では、ペーストとの線膨張係数の違いによる界面損傷などの影響は小さいことが示唆された。また、図 6 に示すように、20℃-50℃間と 50℃-80℃間の線膨張係数を比較すると、いずれの条件でもさほど相違は見られず材齢 14 日も同様であった。今後、温度域の影響はセメント硬化体の状態分析も含め、詳細検討を行っていきたい。

4. まとめ

フライアッシュの混和に関わらず、セメント硬化体の線膨張係数は高温作用により低下したが、フライアッシュを混和した方が、反応が遅いため、高温作用に対する線膨張係数の応答が比較的緩慢であった。また、本条件では、骨材は線膨張係数の変化にさほど影響を与えないことが示唆された。

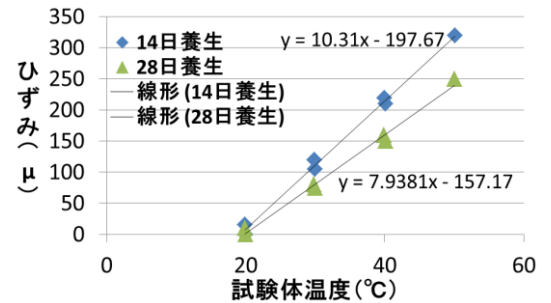


図 3 試験体温度-ひずみ関係の計測例 (FA セメントペースト・80℃一定養生)

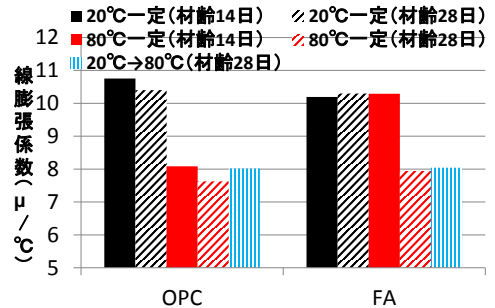


図 4 セメントペーストの線膨張係数の計測結果 (20℃-50℃間)

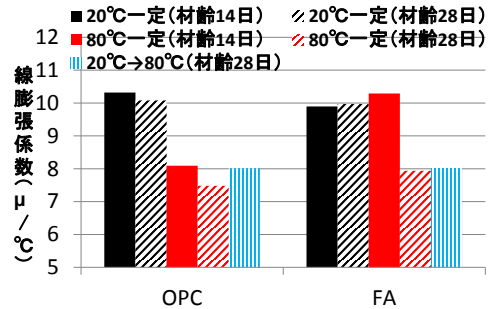


図 5 モルタルの線膨張係数の計測結果 (20℃-50℃間)

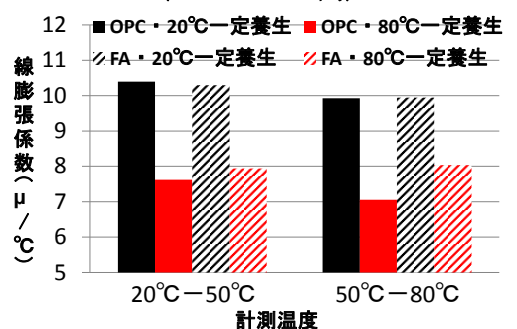


図 6 セメントペーストの異なる温度領域での線膨張係数の比較 (材齢 28 日の計測結果)

参考文献 1): 蔵重勲他: 各種温湿度雰囲気曝露したセメント硬化体の細孔構造, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp615-620, 2008