

論文 乾湿変化に伴うセメントペーストの長さ変化に及ぼす温度ならびにアルカリ含有量影響に関する研究

中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻
中央大学 理工学部土木工学科教授 工博

学生会員 ○小柳 朋宏
正会員 大下 英吉

1. はじめに

セメント硬化体の乾燥収縮は，使用材料，配合および形状寸法などの内的要因ならびに環境条件等の外的要因に支配されるとともに，それらが複合して起こる現象である¹⁾。その発生メカニズムに関しては現在も精力的な研究が遂行されているが，依然として未解明な部分を多く残しているのが現状である。

本研究では，細孔構造が同一で R_2O 濃度の異なる供試体を作成し，各種の雰囲気温度においてセメントペーストの長さ変化試験を実施することにより，温度および R_2O 濃度が長さ変化挙動に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とした。さらに，異なる雰囲気温度においてセメントペーストの吸脱着量の測定を実施し，温度条件の違いがセメントペーストの吸脱着性状に及ぼす影響を評価することにより，吸脱着性状に関連付けた長さ変化とアルカリ含有量との関係についても併せて議論することとした。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用したセメントは，普通ポルトランドセメントである。セメントペーストの配合および実験パラメータを表 - 1 に示す。細孔構造が同一で R_2O 濃度のみが異なる供試体の作成は，練混ぜ水にアルカリを添加せずに同バッチで作成したセメントペースト角柱供試体を材齢 28 日の時点でアルカリ濃度が 0%，2%，4%の水酸化ナトリウム水溶液に所定の期間浸漬させることにより実施した。浸漬期間は表 - 2 に示すように，W/C が小さいほど長い期間浸漬させた。

供試体は 40mm×40mm×160mm の角柱供試体とした。打設後 24 時間で脱型し，6 日間 20 の水槽にて水中養生を行った後，雰囲気温度 20 ，相対湿度 60%の恒温恒湿室にて気中養生とした。材齢 28 日の時点で濃度が 0%，2%，4%の水酸

化ナトリウム水溶液に所定の期間浸漬させた。なお，供試体名称は図 - 1 に示す通りである。

2.2 細孔径分布の測定

細孔径分布の測定には，水銀圧入型のポロシメータを使用した。測定試料は，セメントペースト角柱供試体の中心部分を，2.5mm～5mm の粒径に調整し，サンプルとした。前処理には凍結乾燥機を使用した。

2.3 吸脱着量の測定

吸脱着量の測定には，セメントペースト角柱供試体の中心付近を，2.5mm～5mm の粒径に調整し，サンプルとした。試料の前処理は，105 で 3 日間乾燥させた。そして，吸脱着量の測定は，絶乾状態から湿潤過程を開始し，相対湿度が 95%に達した時点から乾燥過程を開始した。

3. 実験結果および考察

3.1 温度ならびに R_2O 濃度と長さ変化²⁾

図 - 2 は，雰囲気温度が 20 ，40 における W/C60%のセメントペーストのひずみの経時変化を表したものであり，各図(a)，(b)はそれぞれ湿潤膨張および乾燥収縮ひずみの経時変化を示している。同図(a)より，雰囲気温度の違いに着目すると， R_2O 濃度によらず，雰囲気温度が

表 - 1 実験パラメータ

温度()	W/C(%)	単位量(kg/m ³)				供試体名称
		Water	Cement	AE剤	NaOH水溶液濃度(%)	
20	30	469	1621	C×0.01	0	P-30-0-20
					2	P-30-2-20
					4	P-30-4-20
	50	602	1227	-	0	P-50-0-20
					2	P-50-2-20
					4	P-50-4-20
	60	645	1090	-	0	P-60-0-20
					2	P-60-2-20
					4	P-60-4-20
40	30	469	1621	C×0.01	0	P-30-0-40
					2	P-30-2-40
					4	P-30-4-40
	50	602	1227	-	0	P-50-0-40
					2	P-50-2-40
					4	P-50-4-40
	60	645	1090	-	0	P-60-0-40
					2	P-60-2-40
					4	P-60-4-40

表 - 2 水酸化ナトリウム水溶液浸漬期間

W/C (%)	水酸化ナトリウム水溶液浸漬期間(Day)
30	36
50	28
60	16

P: 同バッチで作成後NaOH水溶液に浸漬
P-60-2-20
W/C 雰囲気温度
浸漬させたNaOH水溶液の濃度

図 - 1 供試体名称一例

キーワード 湿潤膨張，乾燥収縮，雰囲気温度，アルカリ含有量，比表面積，吸脱着性状

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院理工学研究科 TEL 03-3817-1892 FAX 03-3817-1803

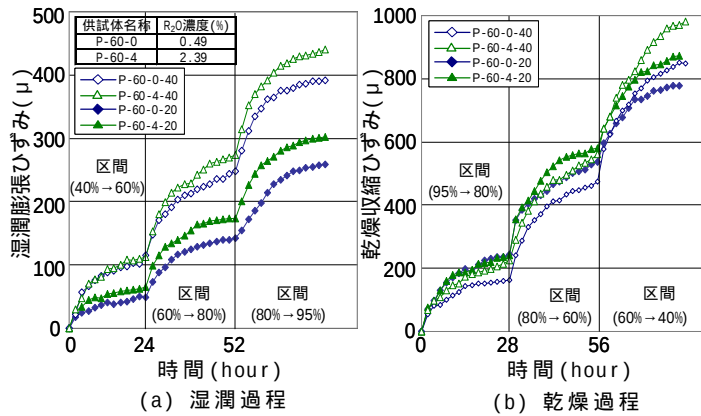


図 - 2 ひずみ～時間関係 (雰囲気温度 20 , 40)

20 で実施した湿潤膨張ひずみに比べ、40 で実施した湿潤膨張ひずみが大きくなる傾向が認められる。また、雰囲気温度が 20 および 40 のいずれの場合においても、R₂O 濃度が高いほど、湿潤膨張挙動は大きくなっている。そして、この傾向は同図(b)に示す乾燥収縮ひずみにおいても同一である。

3.2 比表面積の温度依存性

図 - 3 に、雰囲気温度が 20 , 40 における W/C60%のセメントペーストの比表面積を水酸化ナトリウム水溶液濃度毎に示す。同図より、雰囲気温度が 40 におけるセメントペースト内部の比表面積は小さくなる傾向があり、その傾向は水酸化ナトリウム水溶液濃度によらずほぼ同一である。一般に、セメントペーストの線膨張係数は $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と言われており、この観点から温度と比表面積との関連性を検討すると、雰囲気温度が上昇するにしたがってセメントペーストが体積変化を引き起こし、その変形の一部を細孔が吸収するため、比表面積が減少したものと考えられる。

3.3 比表面積と水分の吸脱着量

図 - 4 に、雰囲気温度が 20 , 40 における W/C60%のセメントペーストの単位比表面積当たりの吸着量を水酸化ナトリウム水溶液濃度毎に示す。同図より、雰囲気温度の上昇に伴いセメントペーストの単位比表面積当たりの吸着量は大きくなる傾向があることが確認できる。

3.3 吸脱着性状の温度依存性

図 - 5 は、濃度が 0%の水酸化ナトリウム水溶液に浸漬させた W/C60%のセメントペーストの飽和度と相対湿度の関係を表したものであり、図中には雰囲気温度が 20 および 40 の結果

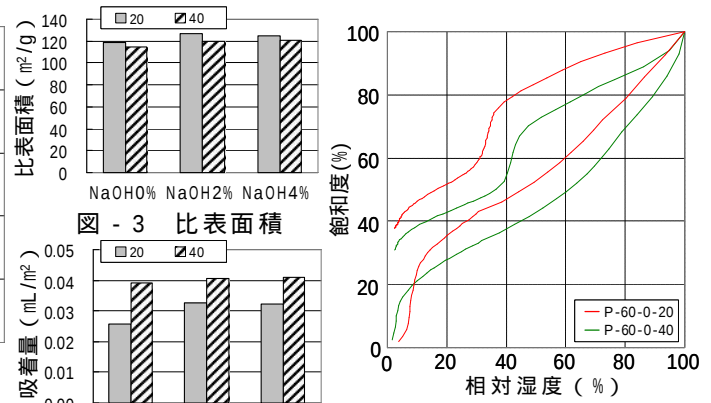


図 - 3 比表面積

図 - 4 吸着量

図 - 5 吸脱着ヒステリシス

掲載してある。同図より、セメントペーストの吸着過程に着目すると、相対湿度が 0~20%の湿度区間において、雰囲気温度 40 の場合に比べて急激に飽和が進行する傾向がある。その後、相対湿度が 20~60%の湿度区間においては、雰囲気温度によらず飽和度の傾きはほぼ同じである。そして、相対湿度が 60%以上の高い湿度区間においては、雰囲気温度が 40 において、20 の場合に比べて、急激に飽和が進行している。この現象より、異なる雰囲気温度にあるセメントペーストは、内部の空隙構造に変化が起きた可能性が考えられる。

4. まとめ

以下に本研究により得られた知見を示す。

- (1) 雰囲気温度上昇に伴って、セメントペースト内部の比表面積は小さくなることが明らかとなった。
- (2) セメントペーストの単位比表面積当たりの吸着量は温度条件に大きく依存し、異なる雰囲気温度における乾湿変化に伴うセメントペーストの長さ変化挙動に大きな影響を及ぼす可能性が示唆された。
- (3) 異なる雰囲気温度における飽和度と相対湿度の関係より、雰囲気温度の変化がセメントペースト内部の空隙構造に変化を引き起こす可能性が示唆された。

参考文献

- 1) クリープ・乾燥収縮小委員会(308): コンクリートのクリープおよび乾燥収縮 1997, 0
- 2) 小柳朋宏, 大下英吉: 乾湿変化に伴うセメントペーストの体積変化に及ぼすアルカリ含有量の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.30, No.1 pp.477-482, 2008