

セメントペースト中の C-S-H の炭酸化に及ぼす水セメント比・湿度の影響

日本大学大学院 学生会員 ○大竹 敦也
 日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘
 日本大学理工学部 正会員 佐藤 正己

1. はじめに

高度経済成長期に整備された我が国の社会資本施設の老朽化問題が深刻となっている。中でも中性化(炭酸化)は鉄筋腐食によって、ひび割れや剥離をもたらす原因となっている。よって、コンクリートの長寿命化を図る為に様々な環境条件を想定した検討が必要となる。炭酸化は主にコンクリートの pH 低下と鉄筋腐食に着目して研究されている。一方で、炭酸化によるコンクリート中の C-S-H の分解が強度低下をもたらす¹⁾との報告があり、本研究では異なる水セメント比のセメントペースト(CP)試料を異なる環境湿度で促進炭酸化試験を行い、C-S-H の炭酸化反応とシリカゲル生成量に着目し、水セメント比と湿度の影響について検討した。

2. 実験概要

本研究で使用した材料を表-1、CP 配合表を表-2 に示す。試料は W/C20, 60%でポリ瓶に打設後、20°Cで材齢 28 日まで封緘養生した。材齢 28 日でミルにて粉碎した後、バットに敷き均し炭酸化試験を行った。炭酸化試験条件は、CO₂ 濃度 10%固定、湿度 30, 60, 90%(以下 H30・H60・H90 と表記)の 3 水準で行った。炭酸化試験は試験開始日(0 日)から 3 日, 7 日, 14 日, 28 日で試料を採取した。試料採取時には槽内から取り出した直後のバットの質量を測定し、質量変化率を求めた後、間隙水量を測定しアセトン浸漬による水和停止を行った。間隙水量の定量は、105°C乾燥をした際の質量減少分より算出した。なお、今回の研究では、毛管水とゲル水を以下のように仮定した。

- a) 毛管水：間隙水量からゲル水量を差し引いた値
 b) ゲル水：水和停止を行った後の間隙水量

水酸化カルシウム(CH)、炭酸カルシウム(CC)量は、熱重量示差熱分析計(TG-DTA)を用い、吸熱ピーク温度の質量減少量より定量した。セメント鉱物及び結晶質水和物、非晶質量の定量は、粉末 X 線回折/リートベルト法により内部標準法を用いて CP 試料に α -Al₂O₃(内割 10mass%)を混入させ定量した。シリカゲルは、小林らの方法²⁾を参考に、サリチル酸メタノール処理による選択溶解法で非晶質中の C-S-H を溶解し、溶残分から求めた。総 CC 量は、TG-DTA の結果を用い、XRD の結果から求めた Calcite, Vaterite の質量比から含有量を分離した。

以上の試験結果を用いて相組成を算出した。また、相組成の収支計算を行い C-S-H の C/S 比を算出した。

3. 実験結果

3.1 間隙水量の経時変化

各水準の間隙水量(毛管水量, ゲル水量)の経時変化を図-1 に示す。間隙水の減少量は、湿度が低い程乾燥の

表-1 使用材料

材料の種類	略号	備考
早強ポルトランドセメント	C	密度 = 3.13cm ³ /g
		ブレン値 = 4720cm ² /g
蒸留水	W	—
超高強度用高性能減水	SP	ポリカルボン酸

表-2 使用配合

W/C	セメントペースト配合(kg/m ³)		SP添加量(C×%)
	C	W	
20	1925	385	1.5
60	1088	653	

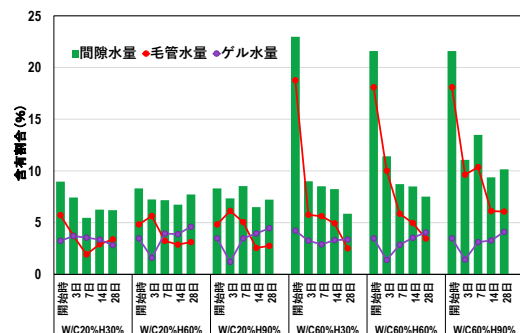


図-1 間隙水量の経時変化

キーワード 炭酸化 C-S-H W/C 湿度 シリカゲル

連絡先 〒101-8308 東京都神田駿河台 1-8-14 日本大学大学院理工学研究科土木工学科専攻 TEL/FAX 03-3259-0687

影響により多くなった。W/C60%では全水準において炭酸化試験開始時～3日の間に急激に減少した。これは乾燥による逸散が原因と考えられる。また各水準において、毛管水量の減少に伴ってゲル水量は一定もしくは増加傾向を示し、W/C20%では炭酸化試験14日においてゲル水量が毛管水量よりも多くなった。よってゲル水量はW/Cに関連なく一定となり、乾燥に伴って毛細管空隙からゲル空隙へ水分が移動していくことが分かった。

3.2 CH量とCC量の経時変化

各水準におけるCH量とCC量の経時変化を図-2に示す。CH量はW/Cが大きい程減少したが、炭酸化試験の経過に伴って停滞した。総CC量はW/Cが大きく、湿度が高い程生成量が多くなった。本実験ではCalcite及びVateriteの生成が確認された。W/C60%のH60、90%ではGypsumが炭酸化試験の経過に伴い生成された。これはEttringiteの炭酸化によって生成されたと考えられる³⁾。

3.3 C-S-H量・ゲル量の経時変化

各水準におけるC-S-H量とシリカゲル量の経時変化を図-3に、C-S-HのC/S比の経時変化を図-4に示す。C-S-H量は炭酸化によって生成されたCC量が多い程減少した。シリカゲルはW/Cが大きい程炭酸化試験初期から多く生成され、湿度が高い程同試験日での生成量が多くなった。また、シリカゲルの生成量が多い程C-S-HのC/S比が低下した。W/C60%ではシリカゲルが多く生成されC/S比も1以下にまで低下した。シリカゲル生成量は炭酸化試験開始時～3日の間に多量に生成されその後停滞した。この要因として、網目状の構造を持つシリカゲルが初期において多量に生成され、内部に存在するC-S-Hの炭酸化が阻害されたことが考えられた。

W/Cの違いが炭酸化の進行に及ぼす影響は、生成されたC-S-HはW/Cが大きい程、CC量、炭酸化分解によるシリカゲル量が多くなった。ただし、W/C20%は、60%と比較して極めて炭酸化の進行が少なくなった。この要因として、毛管水量が少ないことが大きく影響を及ぼしていること、C/S比が高いC-S-Hが生成されているほど炭酸化しにくいと考えられた。一方、湿度の違いが炭酸化の進行に及ぼす影響は、高い湿度ほど炭酸化が進行した。これは、乾燥による毛管水の減少量が少ないことが大きく影響していると考えられる。

4. まとめ

今回の研究より炭酸化反応は、従来の研究の通りコンクリート空隙中の毛管空隙中で起こることが確認された。W/Cの影響は、W/Cが低い配合では特に毛管水が少なく、C-S-HのC/S比が高いことにより水和物が分解されにくいことがわかった。環境湿度は毛管水量の増減に影響を及ぼすことがわかった。

参考文献

- 1) 熊谷 守晃ほか：50数年経過したコンクリートの物理、化学的特性と耐久性，土木学会論文集，No.686,pp.41~54,2001
- 2) 小林 一輔ほか：酸性雨によるコンクリート構造物の劣化機構に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.564,pp.243-251,1997
- 3) 金 尚奎ほか：エトリンガイトの炭酸化反応，石膏と石灰，No.237,pp.15~21,1992

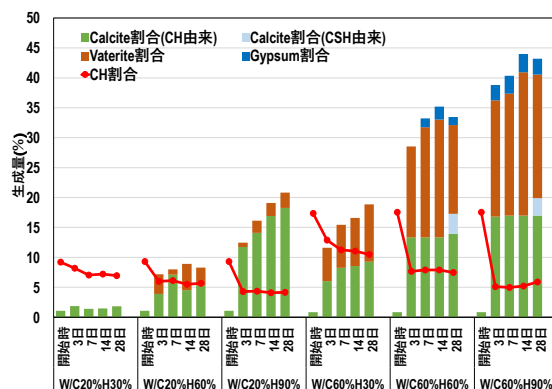


図-2 CH量とCC量の経時変化

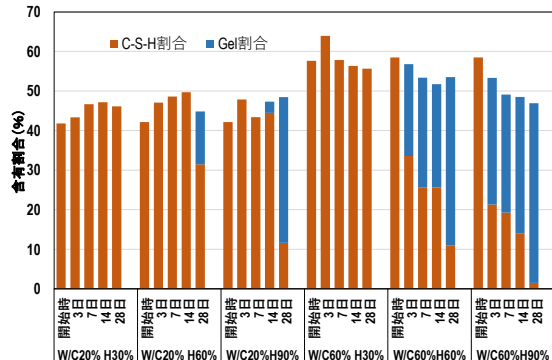


図-3 C-S-H量・ゲル量の経時変化

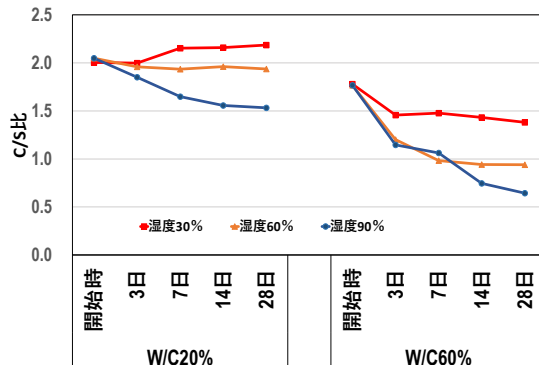


図-4 C/S比の経時変化