

初期養生条件がセメント硬化体の水和挙動および物質移動抵抗性に与える影響

群馬大学工学部 学生会員 ○石井 祐輔

群馬大学大学院 正会員 李 春鶴 半井 健一郎

群馬大学工学部 帯刀 寿人

1.はじめに

養生条件はセメント硬化体の内部組織構造形成に大きな影響を与え、特に初期乾燥を受けると水和反応が抑制され、空隙の緻密化が阻害される。養生過程での乾燥の影響は、強度もさることながら、耐久性に関連する物質移動抵抗性に及ぼす影響が大きいという報告がある。¹⁾これは、乾燥を受けることで空隙の連続性が高まるためであるとしている。初期乾燥による連続した空隙の増加により、セメント硬化体中の気体の拡散に及ぼす影響が大きくなり炭酸化が促進されることも考えられる。すなわち、初期乾燥の影響を解明するためには水和挙動に加え、炭酸化の影響との相互作用を含めた検討が必要と考えられる。

そこで本研究では、異なる初期養生条件を設定し、セメント硬化体の水和反応進行、内部組織構造、水和生成物の炭酸化反応、物質移動抵抗性の相互関係から、セメント硬化体の材料特性に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験概要

(1)供試体の作製

本研究では普通ポルトランドセメントを用いてセメントペースト供試体を作製した。W/C は 35%と 60%の 2 種類とした(表-1)。φ50×100mm(以下 I)、φ100×200mm(以下 II)の円柱型枠に供試体を打込み、24時間の封緘養生を行った。W/Cが35%の供試体は I のみ作製した。I は脱型後に 2.5~5.0mm の大きさに粉砕し、養生ができるだけ均一になるようにした。II は供試体上下面をエポキシ樹脂系充填接着剤でコーティングし、養生の影響が側面から均等に広がる様にした。

(2)養生条件

養生は、水中養生(以下 W)と気中養生(以下 D)を行い、気中養生については CO₂ 有りの養生(以下 DC)と CO₂ 除去の養生(以下 DN)の 2 種類とし、計 3 条件とした。DC において存在する CO₂ は室内濃度とし、DN における CO₂ 除去は密閉養生室内でソーダ石灰を使用した。養生温度は 20±0.3°C。気中養生は相対湿度は 60±3%に制御した。

(3)測定項目

a)水銀圧入試験: 試料 I をそれぞれ表-2 に示す測定材齢で

表-1 供試体の配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)		
	W	C	分離低減剤
35	525	1500	0
60	655	1091	6

表-2 測定項目と測定材齢

材齢(日)	1			14			28		
	W	DC	DN	W	DC	DN	W	DC	DN
水銀圧入	○						○	○	○
TG-DTA	○	○	○	○	○	○	○	○	○
酸素拡散							○	○	○

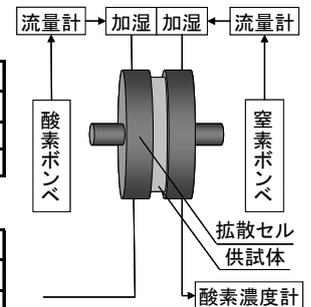


図-1 酸素拡散装置

アセトンに浸し、水和を停止させた。その後 D-dry により 48 時間乾燥させ、水銀圧入法で細孔量、細孔分布を測定した。

b)熱分析(TG-DTA): 試料 I をアセトンに浸して水和を停止させた後、105°C で 24 時間乾燥させ、90μm のふるいを全て通るよう乳鉢で粉砕した。測定は 1000°C までの質量変化として結合水量を求めた。Ca(OH)₂ と CaCO₃ はそれぞれ温度 390~450°C、550~690°C の範囲内の質量変化より算出した。

c)酸素拡散試験: 供試体 II を約 20mm の厚さに切断し、飽和度を約 50%に調節した。試験は白川らの試験方法²⁾に準じて行った。装置の概略図を図-1 に示す。

3. 実験結果と考察

図-2(a)に生成 Ca(OH)₂ 量の変化を、図-2(b)に生成 CaCO₃ 量の変化を示す。W シリーズと DN シリーズでは生成 CaCO₃ 量にほとんど差はなく、また材齢による増加もないことから DN シリーズの気中養生中には炭酸化が生じていないことが確認できる。一方、DC シリーズでは Ca(OH)₂ の減少と CaCO₃ 量の増加が見られ炭酸化が確認できる。

図-2(c)に材齢 28 日までの結合水量の変化を示す。W シリーズと D シリーズと比較すると、十分に水の供給のある W シリーズでは水和の進行が大きくなった。ただし、いずれのケースにおいても 14 日から 28 日までの変化は小さかった。DC シリーズと DN シリーズを比較した場合、CO₂ が存在する DC シリーズで若干結合水量が大きくなった。これは、水和生成物である Ca(OH)₂ の炭酸化反応の際に生じた H₂O が水和反応に使われたことと、後述するように炭酸化による細孔径の緻密化に伴い、自由水の逸散

キーワード 初期養生条件、空隙構造、物質移動抵抗性、水和生成物

連絡先 〒376-0052 群馬県桐生市天神町 1-5-1 群馬大学工学部 TEL 0277-30-1613 FAX 0277-30-1601

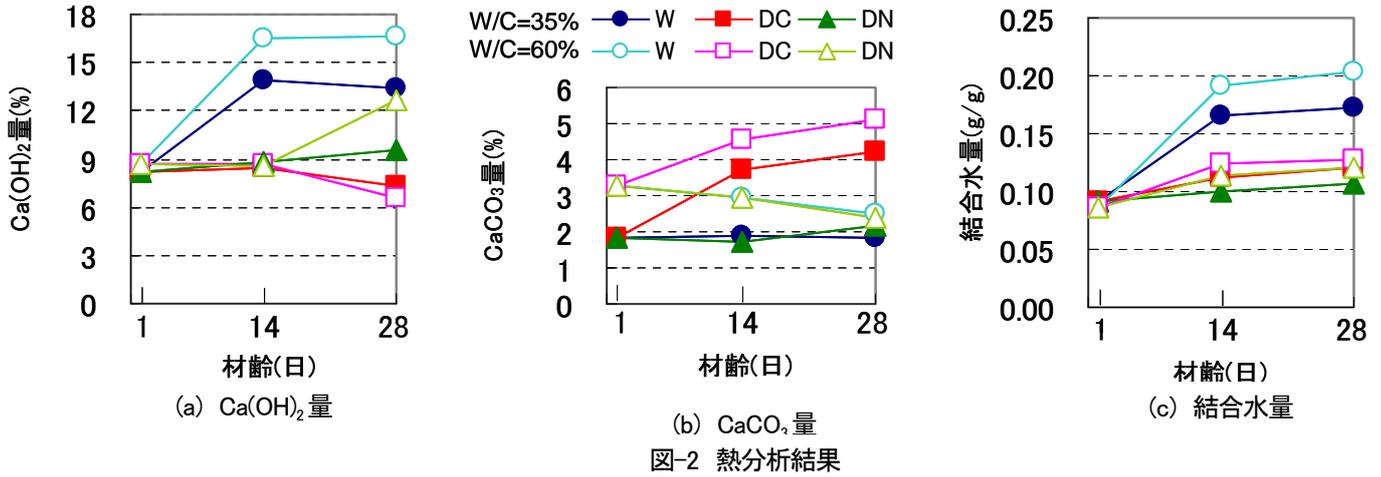


図-2 熱分析結果

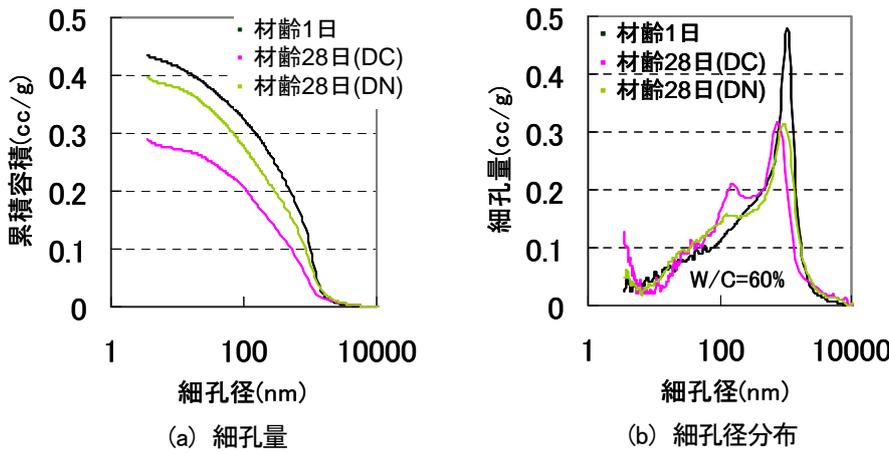


図-3 水銀圧入試験結果

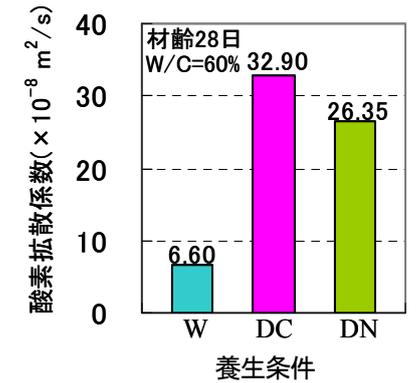


図-4 酸素拡散試験結果

が抑制されたためであると考えられる。

図-3(a),(b)に W/C60%の供試体の細孔量のおよび、細孔分布をそれぞれ示す。相対湿度 60%の乾燥条件下でもわずかに水和が進行しているため(図-2(c)),DC,DN いずれの場合でも、材齢 28 日の組織は材齢 1 日よりも組織が緻密化していることが確認できる。特に 1000nm 程度の細孔が減少し、100nm 程度のものが増加している。CO₂の有無の影響を比較すると、DCシリーズでは炭酸化反応により 1000nm 程度ピーク径が若干小径化するとともに、10nm 以下の細孔量が大幅に増え、総細孔量は 3/4 程度に大きく減少していることがわかる。これは CaCO₃の生成、並びに水和進行の影響であると考えられる。(図-2(b),(c))

図-4 は酸素拡散試験の結果を示す。W シリーズは D シリーズに比べて酸素拡散係数が大きく低下し、気中養生による物質移動抵抗性の大幅な低下が確認できる。気体の移動抵抗性は水和の進行に大きく影響していることがわかる。DC シリーズと DN シリーズを比較した場合、DC シリーズの拡散係数が大きい。これを図-3(a)に示した細孔量の結果と比較すると、炭酸化により内部組織構造は緻密化するが気体の移動抵抗性は低下するという結果になった。炭酸化が内部組織構造の連結性に何らかの悪影響を与えた可能性が考えられる。

4.まとめ

本研究では、セメント硬化体の組織形成過程に及ぼす初期養生条件の影響について検討し、次のような結果を得た。

- (1) 炭酸化の影響による水和の進行を確認した。
- (2) セメント硬化体の炭酸化反応により内部組織構造は緻密化するが、気体の移動抵抗性は低下した。

謝辞

本研究において、水銀圧入試験はユアサイオニクス株式会社の山下春義氏のご協力によるものである。また酸素拡散試験では、東京大学生産技術研究所の装置を、魚本健人教授(芝浦工業大学)、岸利治准教授の特段のご配慮と星野正孝氏のご指導により使用させて頂きました。深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 岡崎慎一郎ほか: 養生が強度と物質移動抵抗性に及ぼす影響感度の相違に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.60, 2006, pp227-234
- 2) 白川敏夫ほか: セメント硬化体中への気体の拡散係数測定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.515, 1999.1, pp.15-21