

乾燥が自由水量の変化と細孔構造の形成に与える影響

千葉工業大学大学院 学生員 高羅 信彦

東京大学大学院 学生員 伊代田 岳史

千葉工業大学 F 会員 足立 一郎

東京大学国際・産学共同研究センター F 会員 魚本 健人

1.はじめに

水和過程において乾燥を受けたコンクリートは、乾燥を受けないものに比べ強度や耐久性が著しく低下すると報告されている。この原因としては内部水分の逸散による水和反応の停止が考えられる。そこで本研究では、強度や耐久性を著しく低下させるような養生環境の把握および水和停止のメカニズムを解明することを目的として、セメントペーストの自由水量と水和反応の関係について検討した。

2.実験概要

本研究では、W/C=35%のセメントペースト供試体を作製し実験を行った。実験要因は、表-1 に示した通りである。打設した供試体は、温度 20、湿度 90 ± 5%RH の環境で乾燥開始材齢まで前養生し、脱型後それぞれの養生環境で養生した。測定材齢は、脱型してから 1,3,7,14,28,56,91 日とし、強熱減量法により水和率、水銀圧入式ポロシメータにより細孔径分布の測定を行った。また、次節で説明する方法により内部水分量の測定を行った。

3.水和反応の停止，内部水分量の定義とその測定方法

(1)水和反応停止の定義... 養生中に乾燥を与えた場合、材齢が経過しても水和率の増加率がマイナスとなる事がある。これは水和の進行速度よりも供試体ごとの水和率の差の方が大きく出たためであるといえる。そこで本研究の水和反応の停止の定義は、材齢 n で結合水量の増加率がマイナスとなった時、供試体による差が生じたと考え、n-1 の材齢の時に水和反応は停止すると定義した。

(2)内部水分量の定義... 内部水分量は図-1 のように、それぞれの養生環境で蒸発する水を蒸発水、50 で蒸発する水を自由水，1000 で蒸発する水を結合水と本研究では 3 種類に定義した。

(3)内部水分量の測定方法... 所定材齢において、硬化体を 5mm 角程度に粉碎し、その時点での質量と空隙満水時(真空ポンプにより水を圧入),50 ,1000 で脱水させた時の質量を測定した。同時に体積測定を行い、それぞれの密度差から上記で分類した水分量を求めた。

4.実験結果および考察

(1)水和反応の停止

表-2 に定義に基づいたそれぞれの実験要因における水和停止時の水和率とその時の材齢を示した。表より湿度 50,85%RH の養生環境における水和反応は、水中養生と比較して早期に水和が停止することがわかる。また水和停止時の水和率は乾燥開始時期が早期であるほど、また養生環境が低湿度であるものほど低い傾向にあり、特に湿度 85%と 95%の間でその差は顕著に表れた。

表-1 実験要因(温度 20)

養生環境	乾燥開始時期	記号
湿度50%RH	6hrs	50-6
	12hrs	50-12
	24hrs	50-24
湿度RH85%RH	6hrs	85-6
	12hrs	85-12
	24hrs	85-24
湿度95 ± 5 %RH	6hrs	WET-6
	12hrs	WET-12
	24hrs	WET-24
水中養生	24hrs	水中
封緘養生	24hrs	封緘

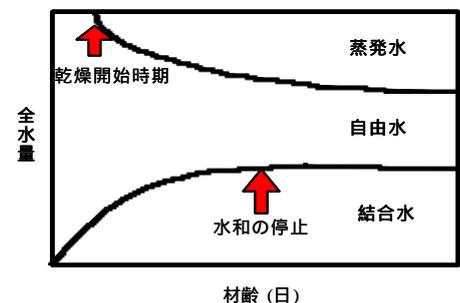


図-1 内部水分の分類

図-2 水和停止時の水和率

養生環境	水和停止時	
	材齢	水和率
記号		
50-6	1	46.01
50-12	1	56.28
50-24	1	59.55
85-6	14	60.81
85-12	14	66.33
85-24	14	71.06
WET-6	56	91.04
WET-12	56	87.50
WET-24	56	90.18
水中	56	91.34
封緘	14	81.20

キーワード：養生，乾燥，水和反応，細孔，自由水

〒106-8558 東京都港区六本木 7-22-1 TEL03-3403-6231

(2)自由水の経時変化

図-2 に自由水の経時変化の一例を示す。図より低湿度であるものほど自由水量が少ないことが分かる。このことから水和反応速度と水分蒸発速度では水分蒸発速度のほうが大きいということがいえる。また水和反応が停止しても水和に起因しない自由水が多量に存在するということが分かった。

次に、各実験要因における水和停止時の水和率とその時の自由水量との関係を図-3 に示す。図より乾燥履歴によらず、水和停止時の水和率と自由水量の間には強い相関性があることが分かった。

(3)細孔構造の形成過程

一般に水和反応による細孔構造の経時変化は、ピーク径は小さくなり、その細孔量は、減少する傾向にあるということが知られている。ここで本研究において水和過程で乾燥を受け水和の停止した時のそれぞれの供試体の細孔径分布を図-4 に示す。図より乾燥開始時期が同一であれば、いずれの養生環境ともほぼ同一のピーク径を持つことが分かる。また、その細孔量は低湿度なほど多くなる。このことから、前養生後の環境が乾燥環境であればピーク径は乾燥開始材齢に依存し、ピーク径の細孔量は湿度に依存することがわかる。

次に、乾燥過程における細孔径分布の経時変化の一例として85-6を図-5 に示す。図より水和反応が進行していても乾燥開始時点のピーク径は変化せず、その量が減少する傾向があるということが分かった。紙面の関係上、図に示すことができないが、湿度50%RHにおいても同様の結果であった。

以上のことから水和過程において乾燥を与えた時、細孔構造は乾燥開始時点で骨格付けられていると考えられる。

(4)乾燥過程における水和反応のメカニズム

水和に起因しない自由水の存在と乾燥過程における水和反応はピーク径が変化しないという事実を考慮すると、乾燥過程における水和反応を以下のように推察できる。

乾燥過程における水和反応は、飽和しやすい小さなセメント粒子によるものであり、これにより形成された小さい空隙部分に反応ができず、また蒸発のできない自由水が残留していると考えられる。一方、大きなセメント粒子によって形成される空隙径は大きく、またその水和反応速度が遅いことから、反応する前に水分が蒸発し、その結果水和反応が停止しピーク径を形成すると考えられる。

5.まとめ

本研究により得られた成果を以下に示す。

乾燥により水和は停止することが分かった。

水和が停止しても硬化体の内部に多量の自由水が存在しているということが分かった。また乾燥履歴によらず水和が停止した時の水和率とその時の自由水量には強い相関性がある。

同材齢において水和過程で85%以下の乾燥を与えた時、湿度によらず同一のピーク径をもつ。

水和過程で乾燥を与えた時、水和が進行しても乾燥開始時点のピーク径から変化しない。

水和過程において乾燥受ける時の水和反応のメカニズムは、セメント粒径に関係があると考えられる。

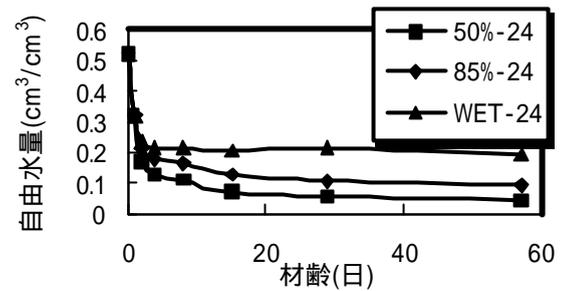


図-2 自由水の経時変化

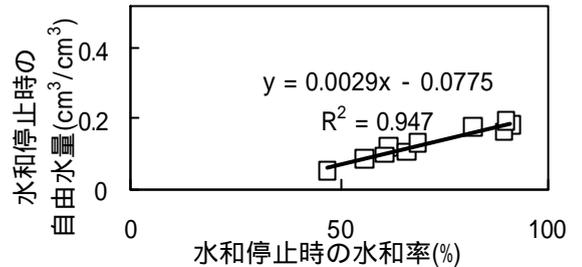


図-3 水和停止時の水和率と自由水量

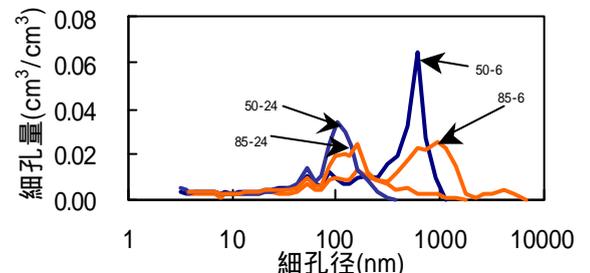


図-4 水和停止時の細孔径分布

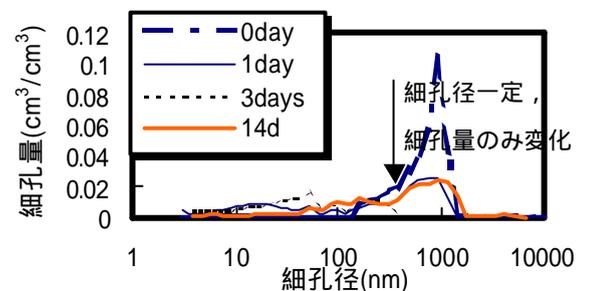


図-5 細孔径分布の経時変化(85-6)