

## セメント硬化体中の水分移動に及ぼす温度の影響

茨城大学工学部 正会員 ○舟川 勲

茨城大学工学部 正会員 沼尾達弥

## 1. はじめに

セメント硬化体のような多孔質材料において、水分移動は一般に拡散過程として取り扱われている。ここで、方程式内の拡散係数は、セメント硬化体内中の含水容量や温度に依存する高度な非線形性を持つ。更に、加熱乾燥下のコンクリート物性の変化が定量的に捉えられていないため、十分に解明されるに至っていない。本研究では、セメント硬化体中の水分移動に関する実験結果を基に、拡散係数に及ぼす温度の影響について考察を行った。

## 2. 実験概要

## 2.1 供試体および配合

供試体は、供試体内部が外部環境と比較的短期間のうちに湿度平衡状態となるなどの理由から、厚さ約1mm、長さ約100mm、外径20mmの薄肉円筒型のモルタル供試体を使用した。供試体は水中養生(20℃)を行い、材齢4週間後で実験に用いた。使用材料は、普通ポルトランドセメント( $\rho: 3.15\text{g/cm}^3$ )、豊浦標準砂( $\rho: 2.60\text{g/cm}^3$ )を用いた。配合はW/C=40%, s/a=0.4とした。

## 2.2 実験方法

本研究では、拡散係数を構成する含水容量、透湿係数に及ぼす温度の影響を考察するため、実験の環境温度を20、70℃の2種類とした。

## 1) 脱着吸着等温線の測定

乾燥湿潤の移行過程を図1に示す。この図に示す様に、各種の飽和塩を用いて飽和状態から順次乾燥させていく脱着過程と、その後、逆に湿潤させていく吸着過程について、供試体の重量変化がなくなる湿度平衡状態(各段階毎に400時間程度)まで、その湿度環境下に置き供試体の重量を測定した。相対湿度と含水率の関係(脱着吸着等温線)を求め、その曲線の勾配により、含水容量を算出した。

## 2) 透湿係数

透湿実験概要を図2に示す。供試体内外に種類の異なる飽和塩を配置することで湿度差(湿度勾配)を発生

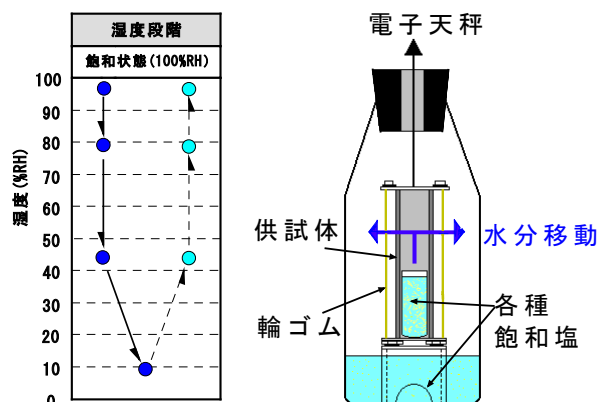


図1 乾燥湿潤過程

図2 透湿実験概要

させ、供試体や治具を含めた重量を測定することで飽和塩の重量変化を求め、透湿係数を算出した。

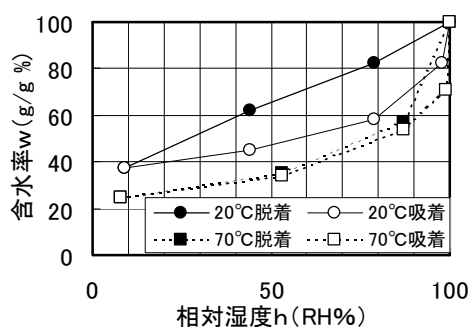


図3 脱着吸着等温線

## 3. 実験結果

## 3.1 温度と配合の影響

脱着吸着等温線の結果を図3に示す。20℃では、脱着曲線はほぼ線形を示し、吸着等温線は、穏やかな楕円を描く結果となっている。しかし、70℃では、80~100%RHの範囲において20℃との違いが見られ、結果に急激な減少や増加が

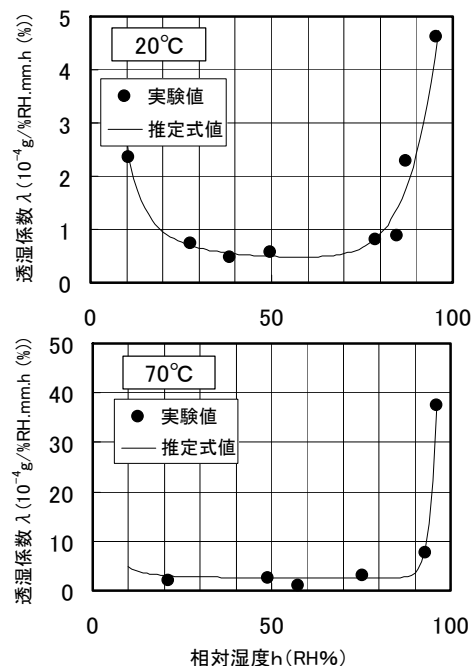


図4 相対湿度と透湿係数の関係

キーワード セメント硬化体, 温度, 水分移動, 脱着吸着等温線, 拡散係数

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 Tel:0294-38-5168

示されている。また、80%RH 以下では、ほぼ同じ線形を示し、同じ経路により脱着吸着を繰り返すことが示されている。また、脱着時の水分の逸散量も 20℃に比べ多い結果となった。

相対湿度と透湿係数の実験結果を図 4 に示す。いずれの温度においても高湿度域で急激な変化を示し、中湿度域ではほぼ一定となる傾向を示している。なお、20℃では、低湿度で透湿係数の上昇が見られた。また、70℃での透湿係数は、20℃に比べ大きな値となっている。これらの結果から 70℃程度の加熱においても、脱着吸着等温線や透湿係数に対する温度の影響は非常に大きいことを示唆している。

#### 4. 水分逸散過程の解析的考察

セメント硬化体中の水分逸散過程を解析的に表現する場合には、拡散過程として拡散方程式によって取り扱われるのが一般的である。この方程式内の拡散係数は、式(1)の様に表される。

$$D = \lambda / \rho C \quad (1)$$

ここで、 $D$ ：拡散係数、 $\lambda$ ：透湿係数、 $\rho$ ：比重、 $C$ ：含水容量

含水容量  $C$  は、湿度の変化に対してセメント硬化体内に保持される水分量を表している。すなわち、脱着吸着等温線の勾配 ( $dw/dh$ ) となる。脱着吸着等温線は、吸着の理論的な考察から色々なモデルが提案されている。一般的に多孔質材料の相対湿度と含水量の関係は、吸着および毛細管凝縮現象との関係で議論されている。本研究では、実験結果を表す為に様々な式の当てはめを試みたが、20℃と 70℃について、統一して表せるものがなかったために、極めて実験式的ではあるが、式(2)によって表されるものとした。

$$w = (1-h) \left\{ 1 - \left[ A + (1-A) \left[ 1 + \left( \frac{h}{1-B} \right)^{N1} \right] \right] \right\} + h \left\{ C + (1-C) \left[ 1 + \left( \frac{1-h}{1-D} \right)^{N2} \right] \right\} \quad (2)$$

ここで、 $w$ ：含水率、 $h$ ：相対湿度、 $A, B, C, D$ ：材料パラメータ

式(2)により得られた相対湿度と含水率の関係を図 5 に示す。この推定結果を基に、各湿度における脱着吸着等温線の勾配を求め、含水容量を算出した。

透湿係数については図 4 に示すように、今回の実験において、特に 20℃の場合に低湿度で再び上昇する傾向を示しており、この現象も含めて表すために、式(3)のような実験式を用いた。

$$\lambda = A + \left( \frac{h}{B} \right)^{N1} + \left( \frac{C}{h} \right)^{N2} \quad (3)$$

ここで、 $\lambda$ ：透湿係数、 $h$ ：相対湿度、 $A, B, C, D, N1, N2$ ：材料パラメータ

上記の式を実験結果に当てはめ (図 4 参照)、式(1)を用いて拡散係数の変化過程を示したものが、図 6 である。これらの実験式を用いて、含水容量およびその逆数を算出して、透湿係数の実験式との積を求め、 $D$  の変化過程を求めた。

これらの結果から、20℃では拡散係数は高湿度域での大きな減少

とそれに続く中低湿度域で一定の値で推移する結果を示している。この傾向は、多くの既報<sup>1)</sup>の傾向と一致している。一方、70℃に加熱される場合では、中湿度でピークを持ち、高湿度と低湿度で減少する傾向を示す結果となっており、20℃の場合と著しく異なる結果となった。このことは、70℃程度の加熱においても、セメント硬化体中の水分移動に対する温度の影響は非常に大きく、温度変化を伴う場合には、より複雑な現象となることを示している。

#### 5. まとめ

本研究の結果より、拡散係数に対する温度の影響は非常に大きいことが示された。セメント硬化体中の水分移動を解析する場合では、温度変化により物性の変化が顕著となる可能性があり、拡散係数に及ぼすそれらの影響を十分に考慮する必要があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 例えば、Z.P.Bazant: Mathematical Modeling of Creep and shrinkage of Concrete, A Wiley-Interscience Publication, 1987

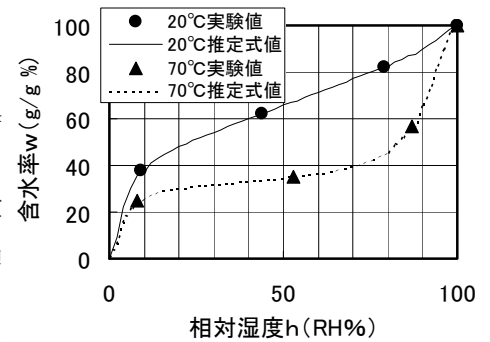


図 5 相対湿度と含水率の関係

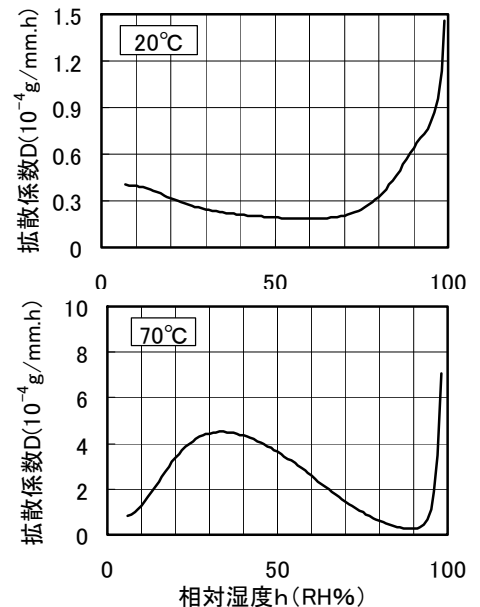


図 6 相対湿度と拡散係数の関係