

岩手大学 大学院 ○ 萱場 正和  
 岩手大学 藤原 忠司  
 東北工業大学 秋田 宏

1 まえがき

本研究では、乾燥および吸湿過程におけるモルタル内部の水分移動を実験的に求め、さらに拡散方程式を用いて、水分移動の数値解析を行なっている。

2 実験概要

供試体は 4x4x16cm の角柱とし、乾燥および吸湿を一面(4x4cm)だけから許した。このモルタル内部の含水率分布を割裂法<sup>(1)</sup>によって測定した。乾燥過程での実験では、打設後 7日間 水中養生してから、相対湿度 0% のデシケータおよび 60% の恒温恒湿室に供試体を設置した。吸湿用の供試体は、水中養生後、105°C で炉乾燥して、絶乾状態とした後、相対湿度 100% のデシケータ内に設置している。温度は各過程とも 20°C の一定とした。セメントには早強セメントを用い、水セメント比は 53% としている。

3 実験結果

図-1 に乾燥過程の実験結果を示している。湿度 0% と 60% を比較すると、相対含水率(飽水時の含水率に対する割合)は乾燥面近傍を除き、全体的に差が小さく、設定した湿度条件が極端に異なることを考慮すると、予期に反した結果である。図-2 には吸湿過程の実験結果を示している。期間が長くなっても、供試体内部における相対湿度は低く、吸湿はそれほど進んでいない。

4 数値解析

①水分移動の基礎方程式: 水分移動を拡散現象としてとらえ、拡散方向を一次元として扱えば基礎方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial R}{\partial x} \right) \dots\dots\dots(1)$$

R: 相対含水率(%)、t: 時間(day)、

D: 拡散係数(cm<sup>2</sup>/day)、x: 乾燥面からの距離(cm)

境界条件としては、乾燥および吸湿とも式(2)を用いる。

$$D \left( \frac{\partial R}{\partial x} \right) + \alpha m (H_s - H_0) = 0 \dots\dots\dots(2)$$

$\alpha_m$ : 表面係数(乾燥: 3.5cm/day、吸湿: 1.0cm/day)

$H_s$ : 乾燥および吸湿面の相対湿度、 $H_0$ : 雰囲気相対湿度

②平衡含水率: 式(2)における $H_s$ を求めるため、相対含水率と相対湿度の関係が必要となる。この関係は平衡含水率曲線として知られ、実験から推定したのが、図-3の近似曲線である。

③拡散係数: 式(3)に示すボルツマン変数を適用し、式(1)から任意の相対含水率( $R_2$ )に対する拡散係数を求める式を導けば、乾燥および吸湿の場合、それぞれ式(4)、式(5)のようになる。

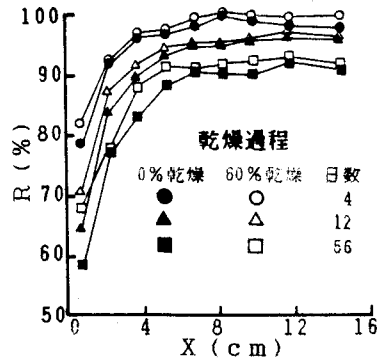


図-1 相対含水率分布(乾燥)

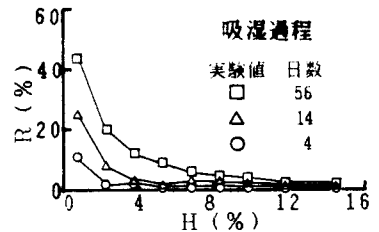


図-2 相対含水率分布(吸湿)

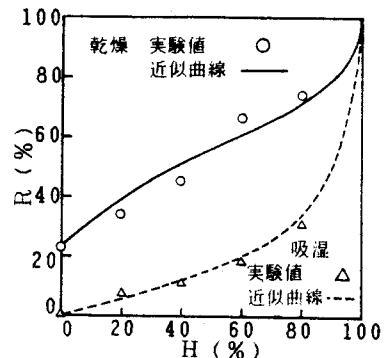


図-3 平衡含水率曲線

$$\eta = x / 2\sqrt{t} \dots\dots\dots (3)$$

$$D_{R=R_2} = 2 \left( \frac{d\eta}{dR} \right)_{R=R_2} \int_{R_2}^{100} \eta \, dR \dots\dots\dots (4)$$

$$D_{R=R_2} = -2 \left( \frac{d\eta}{dR} \right)_{R=R_2} \int_0^{R_2} \eta \, dR \dots\dots\dots (5)$$

式(4)および式(5)を計算するには、Rと $\eta$ の関係が必要となる。湿度60%乾燥の場合は図-4のようになり、各過程とも実験値は次の近似曲線で表示できる。

$$R = 100 \{ f + a / (\eta + b) \}^2 \dots\dots\dots (6)$$

ここで、a、b、fは定数であり、 $\eta = \eta_1$ でR=100% (吸湿の場合 $\eta = \eta_0$ でR=0%) なること、 $\eta = 0$ で雰囲気相対湿度に対応する相対含水率(0%乾燥:R=23%、60%乾燥:R=61%、吸湿:R=80%<sup>(1)</sup>) になること、実験値と関数値の2乗を最小にするこの3条件から定まる。これらの値は解析の対象とした3過程について表-1のようになる。

表-1 係数等

|    | 湿度   | a      | b    | f       | $D_1 \cdot D_0$ | c  | k  | $\eta_1 \cdot \eta_0$ |
|----|------|--------|------|---------|-----------------|----|----|-----------------------|
| 乾燥 | 0%   | -0.041 | 0.23 | 1.0028  | 4.74            | 37 | 0  | 3.6                   |
| 乾燥 | 60%  | -0.054 | 0.37 | 1.0036  | 4.65            | 32 | 0  | 3.5                   |
| 吸湿 | 100% | 0.012  | 0.12 | -0.0017 | 2.12            | 0  | 59 | 2.5                   |

60%乾燥において、式(4)の計算結果を $D_1$ すなわちR=100%でのDに対する比で表わし、吸湿過程においても同様に、式(5)の計算結果を $D_0$ すなわちR=0%に対する比で表わせば、図-5が得られ、これらは次式で近似できる。

$$D/D_1 = 1 / \{ c (1 - R/100) + 1 \}^{1.4} \dots (7)$$

$$D/D_0 = 1 / \{ kR/100 + 1 \}^{1.3} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、c、kは定数であり、 $D_1$ および $D_0$ とともに表-1

に示してある。また、吸湿過程でR>80% における拡散係数には吸水過程での $D^{(1)}$ を用いている。

④数値解析法および拡散方程式の適用可能性：数値解析はコントロールボリューム法により、時間積分を完全陰解法で、時間刻みを6分とした。乾燥湿度0%、60%および吸湿過程における計算結果は、それぞれ図-6、7、8であり実験値によく適合している。従って、乾燥および吸湿過程における水分移動を解析する際、拡散方程式は適用可能であるとともに、ここで示した解析過程は、数値解析法として有用なものと考えられる。  
(参考文献) (1)秋田・藤原・尾坂:モルタルの乾燥・吸湿・吸水過程における水分移動,土木学会論文集,V420

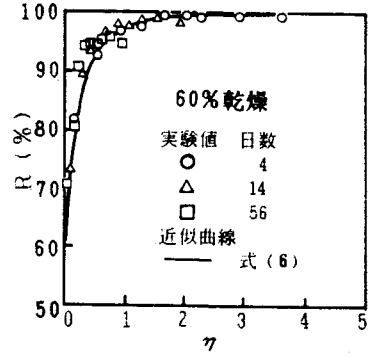


図-4 R- $\eta$ 関係(60%乾燥)

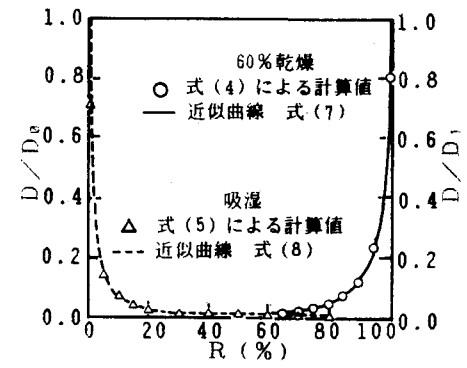


図-5 D-R関係

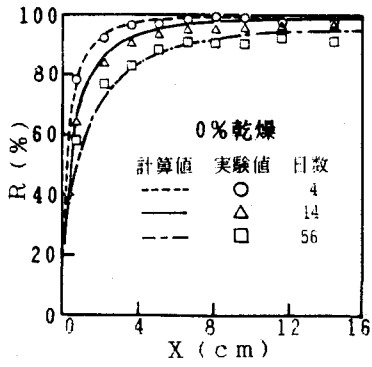


図-6 相対含水率分布(0%乾燥)

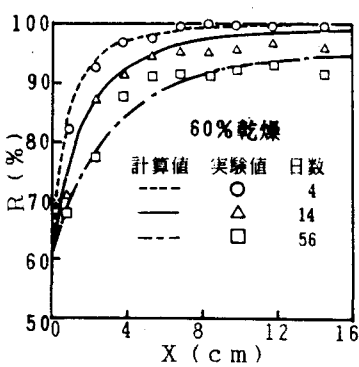


図-7 相対含水率分布(60%乾燥)

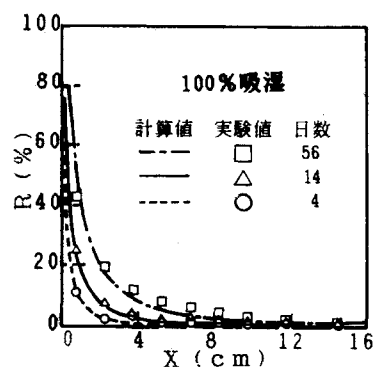


図-8 相対含水率分布(吸湿)