

V-6

拡散方程式による水分移動解析の問題点

東北工業大学 正会員 ○ 秋田 宏
岩手大学 正会員 藤原忠司

まえがき

乾燥や吸湿にともなって生じるセメント硬化体中の水分移動を解析するのに、これまでは非線形の拡散方程式が用いられ、乾燥過程と吸湿過程に関しては良好な結果が得られてきた。しかし吸水過程については、拡散方程式を用いたのでは不都合な点がいくつか見受けられるので、本稿ではそれらの問題点を実例を挙げて具体的に論ずる。

実例

第1の例は、絶乾したモルタル供試体に吸水させた実験の一部である。セメント硬化体中の水分移動が拡散方程式で表わされるものとすれば、ボルツマン変換を用い、含水率に応じた拡散係数（水分伝導率）を求めることができる。相対含水率を R 、拡散距離を x 、時間を t 、ボルツマンの導入した変数を

$$\eta = \frac{x}{2\sqrt{t}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

とすれば、吸水過程における $R-\eta$ の関係は図-1となる。これは、 $4\times 4\times 16\text{cm}$ のモルタル供試体の4面をシールして、1次元の吸水実験を行ない、その含水率分布を η に対して表わしたものである。

これらの曲線を基に、任意の R に対する拡散係数 D を求めることができ、 D_1 （ $R=100\%$ に対する D ）に対する比で表わせば図-2のようになる。この関係は、時間や位置によらず一定であるが、 D_1 は x に対して図-3のように大きく変化する。ここで、 x は吸水面から含水率が急激に小さくなる点までの距離であり、毛管水移動とみなした場合の平均的なメニスカスの位置と考えられる。

このように、位置によって拡散係数の値が大きく変わることは、吸水過程を拡散方程式で表わすことに無理があることを示している。また、粒状体中の水分移動が低含水率領域では水蒸気拡散が主となり、高含水率領域では毛管水移動が主な役割を果たしていると考えられることはすでに知られている。すなわち、セメント硬化体においても、吸水過程は毛管水移動が主な役割を果たしていると考えられるのである。

第2の例は、水中養生後の飽水状態のモルタル供試体を用いて、定常状態法により拡散係数を求めた実験の一部である。図

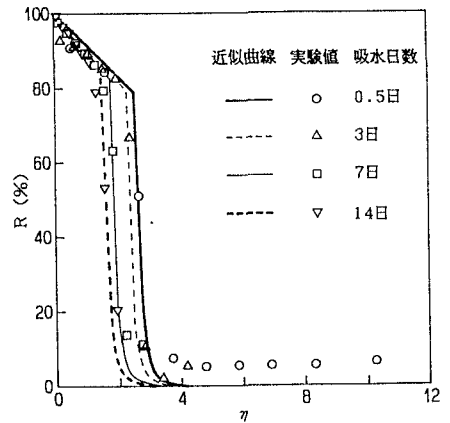


図-1

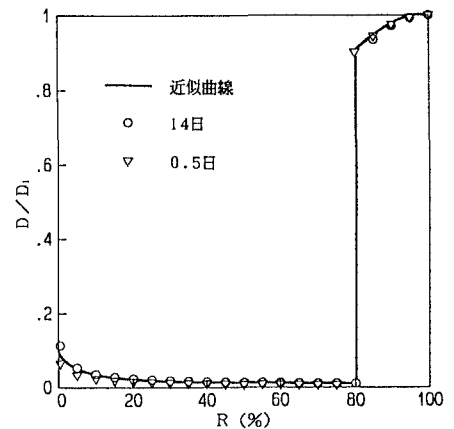


図-2

－4のように4面をシールした角柱供試体を用い、底面から吸水させ上面から蒸発させて1年ほど保ち、1次元の定常状態を実現する。定常状態では、任意の水平断面を通過する水分が等しいので、

$$D \frac{dR}{dx} = \text{const.} \quad \cdots \cdots (2)$$

となる。図－5のR－x曲線は、定常状態での相対含水率分布を示しており、これからdR/dxが決まり、const. は通過した水分量から決まるため、その位置でのRに対応したDが定まる。図－5のD/D₁－R曲線がその結果であり、ここでのD₁はRがxに対してほぼ直線的に変化する、R=82%前後での値である。

Rが82%よりも大きくなるに従いDは急激に小さくなっているが、これは吸水過程が拡散方程式に従うとした仮定からの帰結である。すなわち、R－x曲線でR=100%からの減少が急激であるが、dR/dxが大きければ(2)式からDが小さくなるのは当然である。実際は、この近辺の急激なRの減少は、限界上昇高さの小さい毛管が存在するためだと思われ、毛管水移動による現象を無理矢理拡散方程式に当てはめたために生じたものと考えられる。

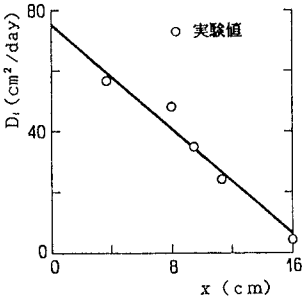
図－5のD/D₁－R曲線では、D/D₁すなわちDがR=100%で最大にならないことが、図－2と大きく異なっている。すなわち、異なる方法で求めた拡散係数が、R≤82%ではほぼ一致しているが、R>82%ではまったく異なる変化を示している。図－5の変化は直感的に理解しにくいものではあるが、これを用いて計算した含水率分布は実験値と良く合うのである。すなわち、設定した前提の範囲で最適な解を与えていることにはなると考えられる。

あとがき

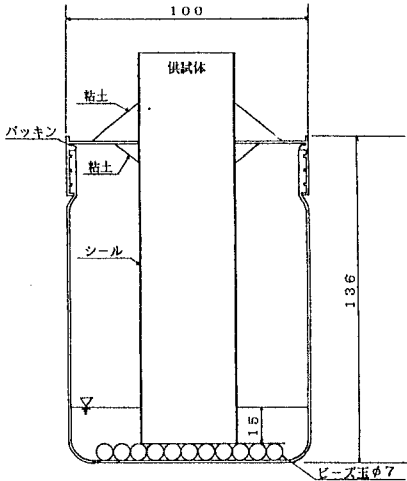
ここでは2例を取り上げたが、他にも不都合な点はある。これらはもともと毛管水移動が主であると考えられる現象に、拡散方程式を適用したために起こった不都合であると考えられる。したがって、この不都合な点への対処を考えるためにも、現象の理解のためにも、毛管水移動に立脚した解析の実行が必要であると考えられる。

参考文献

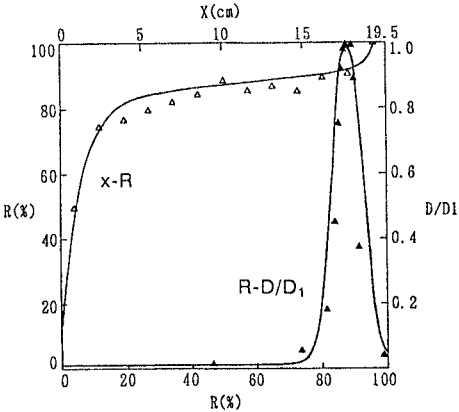
- 1) Bazant, Najjar, Material Structures, 1972.
- 2) 阪田・蔵本, 土木学会論文報告集, 1981.
- 3) 秋田・藤原・尾坂, 土木学会論文集, 1990.
- 4) 秋田・藤原, セメント・コンクリート論文集, 1995.



図－3



図－4



図－5