

# 乾燥するコンクリートの内部含水状態について

岩手大学 学生員 ○ 川辺 直  
 岩手大学大学院 〃 飯泉 章  
 岩手大学 正員 藤原 忠司

## 1 まえがき

乾燥過程におけるコンクリート中の水の流れが拡散方程式で表現できれば、コンクリートの乾燥過程において生ずる諸現象を解析する上で有力な基礎資料となり、そのメリットは大きいと考えられる。本研究の目的は、コンクリートの内部含水状態を独自の方法で実験的に明らかにし、その実験値と拡散方程式より算出した推定値を比較して、拡散方程式の適用可能性を検討するところにある。

## 2 実験概要

実験は次のような手順で行った。打設した供試体を28日間恒温水槽(20℃)で標準養生する。水中から取り出した後、ただちに表面水を拭いとり、1面(4×4cm)を残し他の面はすべてパラフィンでシールし、恒温室(30℃)に設置して所定の日数で供試体を乾燥面より順次1cmずつ15個に割裂し、各点の含水量を求めて含水量曲線を描いた。供試体および配合は、それぞれ図1と表1に示すとおりである。ここで軽量コンクリートに重点を置いた理由は、今後の研究において、乾燥過程における強度低下問題の解析の基礎資料にするためである。

図-1 供試体

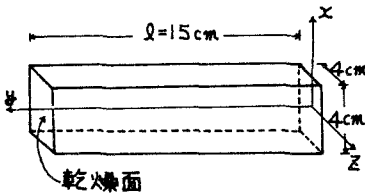


表-1 配合表

| コンクリートの種類 | 供試体記号 | 単位量       |           |           |           | w/c (%) | s/a (%) | 粗骨材の初期含水量 |
|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|
|           |       | W (kg/m³) | C (kg/m³) | S (kg/m³) | G (kg/m³) |         |         |           |
| 普通コンクリート  | N     | 183       | 366       | 723       | 382       | 50      | 43      | 4.0       |
| 軽量コンクリート  | L     | 〃         | 〃         | 〃         | 〃         | 〃       | 〃       | 11.0      |
| 〃         | Lg    | 〃         | 〃         | 〃         | 〃         | 〃       | 〃       | 27.0      |

## 3 拡散方程式の概要

本実験のように水の流れがy方向のみで、かつ拡散係数を一定とした場合、拡散方程式は(1)式で表わされる。この式の解法には、(a)~(c)の3種類を用いた。

$$\frac{\partial W}{\partial t} = k \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \quad (1) \quad W: \text{含水量}(\%), k: \text{拡散係数}(\text{m}^2/\text{day}), t: \text{時間}(\text{day})$$

(a)変数分離法 
$$W = W_\infty - \frac{4}{\pi} (W_\infty - W_0) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} e^{-k(2n+1)^2 \pi^2 t / 4l^2} \cos \frac{(2n+1)\pi y}{2l} \quad (2)$$

初期条件:  $(W)_{t=0} = W_0$  (初期含水量), 境界条件:  $(W)_{y=\pm l} = W_\infty$  (平衡含水量)

(b)フーリエ級数による解 
$$\frac{W'}{W_\infty} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} e^{-T B_n^2} F_n \frac{\cos B_n \frac{y}{l}}{\cos B_n} \quad (3) \quad * W' = W_0 - W, W_\infty = W_0 - W_0$$

初期条件:  $(W')_{x=0} = 0$ , 境界条件:  $(\frac{\partial W'}{\partial y})_{y=l} = f/k (W_\infty - W')$ ,  $(\frac{\partial W'}{\partial y})_{y=0} = 0$

ここで  $T = k t / l^2$ ,  $B = f l / k$ ,  $F_n = 2B / (B^2 + B_n^2)$ ,  $B_n: B \tan B = B$  のn次根, f: 表面係数( $\text{m}^2/\text{day}$ )

(c)誤差関数による解 
$$\frac{W'}{W_\infty} = \phi \left[ \frac{1 - \frac{y}{l}}{2\sqrt{T}} \right] - \phi \left[ \frac{1 - \frac{y}{l}}{2\sqrt{T}} + B\sqrt{T} \right] e^{B(1 - \frac{y}{l}) + B^2 T} \quad (4)$$

初期条件:  $(W')_{x=0} = 0$ , 境界条件:  $(\frac{\partial W'}{\partial y})_{y=l} = f/k (W_\infty - W')$ ,  $(\frac{\partial W'}{\partial y})_{y=-\infty} = 0$

ここで  $\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-x^2} dx$  (Gaussの誤差関数)

拡散係数を求める方法としては、Fickの第1法則を用いるのが一般的で理論的にも厳密である。しかし、この方法を用いるには定常状態でのコンクリート内部の含水量分布を求めておく必要があり、実験的にやっかいである。その点、非定常状態においても供試体の重量を測定することにより比較的容易に拡散係数を求めることができる次の式は実用的である。

$$k = \frac{0.049 \times (2L)^2}{\Delta t} \quad (5)$$

右: コンクリート供試体の初期含水量を $w_i$ , 平衡含水量を $w_e$ とすると、含水量が $\frac{(w_i - w_e)}{2}$ になるまでに要する日数。

(5)式には、拡散の初期において、拡散量と時間の平方根の間には直線関係がなければならぬという条件がつくが、本実験結果を解析したところ、両者には直線関係があると判明した。そこで、拡散係数は(5)式を用いて決定した。

#### 4 結果および考察

図2に測定および計算のいくつかの例を示す。前述した3種の解法を比較してみると、図から明らかなように一般的に用いられている(a)の解法よりも、(b)と(c)の解法のほうがかなり実験値に近似している。(a)と(b), (c)との相違点は表面部における境界条件であり、(a)の場合は表面部の含水量が乾燥開始後ただちに周囲の湿度に平衡すると仮定しているが、本研究結果によればこの仮定に無理があるため実験値と合致しないように思われる。

また(b)と(c)を比較して実験値との近似の観点から優劣を決定することは困難であるが、数値計算的な観点からみると次のことが言える。一般に(b)の解は $T$ が大きいくほど、すなわち乾燥期間が長くなるほど収れんがよいが、逆に(c)の解法は悪くなる。また、両者の解法は $f$ の値が大きくなるほど収れんが悪くなる。このようなことを考慮に入れて検討すると、本実験の範囲内では(c)の解法は乾燥期間が2〜3週程度

まで、(b)の解法は1〜2週以降について用いるのがよいと言える。次に、N, Lおよび $L_2$ の近似の程度を比較すると、 $L_2$ は一部を除いてはNおよびLほど近似していない。それは $L_2$ の粗骨材の初期含水量が27%と高く、細骨材やセメントペーストとの含水量の差がかなりあるが、その特異性が計算値で考慮されていないためと考えられる。

以上のことより拡散係数を一定としても、境界条件等を適当に選定すれば、拡散方程式で実際の含水状態をよく表現できることが明らかになった。

図-2

●---● 実験値  
△---△ (a)の解法  
○---○ (b)の解法  
×---× (c)の解法  
縦軸は含水量(%), 横軸は乾燥面からの距離(cm)である  
\* 供試体記号の右下の番号は乾燥日数を表わす

