

1. 目的

コンクリート構造物には、乾燥過程において乾燥面とコンクリート内部との含水量の差により含水量勾配が生じ内部応力が発生する。この内部応力の直接的測定技術は未だ確立しておらず現状では測定不可能である。しかし、直接的測定が不可能であっても乾燥によって生ずる内部応力は、コンクリート中の含水量の変化とほぼ比例の関係を知っておくことで間接的に測定が可能と考えられる。

以上の観点に立ち筆者らは、乾燥過程でコンクリート中に発生する内部応力の測定を最終的目標とし、その第一段階としてコンクリート中の含水量の状態を知るために多孔質物質中を透過する湿流に関する拡散方程式を得るために実験結果と対比することによってコンクリートの含水状態推定へのその適用可能性を換当してみた。

2. 拡散方程式の解法

図-1の様な供試体においてX,Y,Zの3方向から拡散が行なわれるとすると拡散方程式は式(1)で表わされる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \quad \text{----- (1)}$$

θ : 湿気密度

式(1)においてKは拡散係数と呼ばれるものであり時間tと位置(x, y, z)の関係があるが本文においては定数として取り扱う。

拡散がX方向のみから行なわれると仮定すると式(1)を一次元化することにより式(2)が得られる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \text{----- (2)}$$

式(2)の解法として変数分離法と差分法の二方法を用いあわせて換当してみた。

○変数分離法

式(2)において、初期条件 $\theta_{x=0} = \theta_0$ 、境界条件 $\theta_{x=a} = 0$ -----(3) のもとに解くと一般解は式(4)のようになる。

$$\theta = \frac{4\theta_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[(-1)^{n+1} \frac{1}{2n+1} \exp \left\{ -\frac{(2n-1)^2 K \pi^2 t}{4a^2} \right\} \cos \frac{(2n-1)\pi x}{2a} \right] \quad \text{----- (4)}$$

○差分法

条件(3)のもとにX方向に刻みh、t方向に刻みτの格子を設けると $\theta_{ij} = \theta(x_i, t_j) = \theta(0 + i h, 0 + j \tau)$

式(2)において $\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$, $\frac{\partial \theta}{\partial t}$ を Taylor 級数により近似させる

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \approx \frac{1}{h^2} (\theta_{i-1,j} - 2\theta_{i,j} + \theta_{i+1,j}) \quad \text{-----(5)} \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} \approx \frac{1}{\tau} (\theta_{i,j+1} - \theta_{i,j}) \quad \text{-----(6)}$$

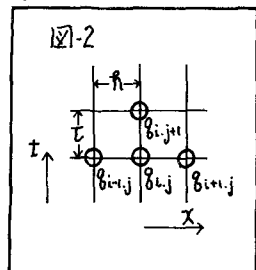
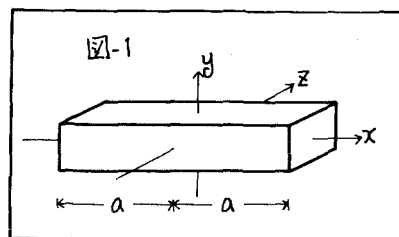
式(5)(6)を式(2)に代入し $\theta_{i,j+1} = \theta(x_i, t_j + \tau)$ について解くと

$$\theta_{i,j+1} = \frac{\tau K}{h^2} (\theta_{i-1,j} + \theta_{i+1,j}) + \left(1 - \frac{\tau K}{h^2}\right) \theta_{i,j} = \frac{1}{2} (\theta_{i-1,j} + \theta_{i+1,j}) \quad \text{-----(7)}$$

$\tau = \frac{h^2}{2K}$

○拡散係数Kの取り方

湿気密度 $\theta = \frac{W_s - W_0}{V} = \omega \times \frac{W_0}{V}$ -----(8) 湿流の速さ $J = \frac{d\theta}{dt}$ -----(9) または $J = -K S \frac{d\theta}{dx}$ -----(10)



式(9)(10)より $K = -\frac{1}{S} \frac{dW}{dx} \cdot J \dots (11)$ (W : 含水量 V : 供試体体積 W_0 : 最終供試体重量
 W_1 : 測定時供試体重量 S : 乾燥断面積

また、時間の平方根と(時間における重量減少)/(最終重量減少) = 0.5以下の間に直線関係があるなら重量減少が最終重量減少の1/2に達する時間の平方根から拡散係数を式(12)で求める。

$$K = 0.049 \times (2a^2 / \sqrt{t}) \dots (12)$$

3. 実験との比較

普通Jングリート(4×4×16cm)について7日間氷中養生後恒温(30℃)に供試体を放置して実験を行なった。配合を表-1に示す。Jングリート内部の含水状態を測定する方法として温度計を用いた例があるが温度計ではJングリート内の相対湿度が100%を下回って初めて測定可能になるという欠点をもっているため本実験では、単純ではあるが直接的であり信頼性が高いと思われる以下に述べる様な方法を用いた。つまり、図-1において拡散をX方向のみから行わせるために一面(4×4cm)のみを乾燥させ他5面はJングを施し所定の乾燥期間において乾燥面から順次1・2・3・4・5・11cmの箇所を割製し割製直後の重量とそれを飽和状態にしたときの重量を測定し含水量を求めた。この含水量の経時変化を図-3に示す。この実験値を用い式(11)より拡散係数Kを求めた結果が表-2である。また、式(12)の成立条件を実験値が満たしたので、式(12)より拡散係数を計算したところ $K = 10.85 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ が得られた。このような拡散係数を用い乾燥7日について拡散方程式の妥当性を確かめてみる。図-4は変数分離法により求められた結果であり、図-5は差分法により求められた結果である。

両図より拡散係数のとり方によって計算値が大いに異なることが認められる。これは、拡散方程式を解く上で拡散係数のとり方が結果に大きく影響を及ぼすことを示す。これら計算値の中でのKの平均値(図5印)を用いたものが最も近似している様に思われる。また、変数分離法による結果と差分法による結果を比べてみると変数分離法の方が実験値と類似している形を示している。しかし、いづれにしても実験値との誤差が大きく曲線の形を異ならせる。この原因は拡散係数を一定としてとり扱ったことによると思われるため、変数分離法で各場所の拡散係数を用いて計算してみた。図-4からわかる通りこの場合はかなり近似し得るようになる。このことは拡散係数を変数としてとり扱う必要があることを示していると思われる。この方法は拡散係数も一定として誘導した式に拡散係数を場所の関数として与えており、数学的に厳密さに欠ける。

研究に協力して戴いた岩手大学 隆子国成氏 同学生菊地久仁男君に御礼致します。
 著者: (1) Crank, J. "Mathematic of Diffusion" Oxford

表-1 配合表

粗砂	水	細砂	単位量
配合比	率	水	粗砂 細砂 粗砂
mm	%	kg/m ³	kg/m ³ kg/m ³ kg/m ³
15	50	43	183 366 723 382

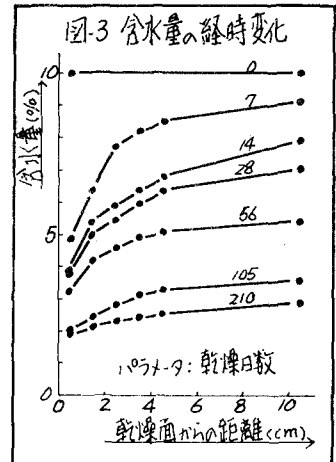


表-2 拡散係数値 ($\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

距離 X (cm)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	10~11
7	10.45	22.90	32.43	69.45	113.76	193.86
14	2.37	8.60	30.89	17.64	17.76	59.84
28	0.49	3.34	5.96	7.89	15.96	60.48
56	1.02	4.70	9.91	14.88	34.50	86.53
105	1.77	5.00	6.00	7.81	16.04	46.87

