コンクリートの拡散係数の予測に関する研究

岡山大学大学院　学生員○小西　克典
岡山大学環境理工学部　正会員　綾野　克紀
岡山大学環境理工学部　正会員　阪田　憲次

1.はじめに

本研究は、コンクリートの拡散係数を求める新たな方法を提案するものである。実験により任意の乾燥期間における任意の場所の水分損失を求め、その水分損失を逆解析することにより拡散係数を求めた。また、円柱供試体より測定された水分損失とこの拡散係数を用いた解析値との比較を行い、本実験で求めた拡散係数の妥当性を検討した。

2.実験および解析概要

コンクリート中の水分損失は、厚さ3mm、断面100×150mmにスライスしたコンクリート11枚からなる供試体を用いて測定した。11枚のコンクリートの側面をアルミニウムの粘着シートで巻くことで、それぞれのスライスしたコンクリートを固定するとともに、水分の移動を一次元とした。このような供試体を温度20℃、相対湿度45％の恒温恒湿度内で乾燥させ、その後スライスコンクリート中の水分量を測定することにより水分損失量を求めた。このようにして求めた水分損失量を、以下に示す逆解析法によりコンクリート中の拡散係数を求めた。ただし、コンクリートの乾燥面からx(mm)の位置における乾燥期間t(day) での水分量を$\omega(x,t)$とする。単位時間当たりに単位断面積を通過する水分量qは、$d\omega/dx$に比例する(すなわち、$q=D(\omega)\times d\omega/dx$)とすれば、質量保存則に基づき次式が成り立つ。

$$\frac{\partial\omega(x,t)}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(D(\omega)\cdot\frac{\partial\omega(x,t)}{\partial x}\right) \qquad (1)$$

ここに、$D(\omega)$が、コンクリートの拡散係数(mm^2/day)であり、コンクリート中の水分の移動のしやすさを表す係数である。(1)式は、コンクリート中のいかなる位置においても成り立たなければならないので、任意の関数に対して次式が成り立たなければならない。

$$\int_{x_{surface}}^{x_{center}}F\cdot\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(D\cdot\frac{\partial\omega}{\partial x}\right)-\frac{\partial\omega}{\partial t}\right\}dx=0 \qquad (2)$$

(2)式の右辺第1項を部分積分すれば、

$$\int_{x_{surface}}^{x_{center}}F\cdot\frac{\partial}{\partial x}\left(D\cdot\frac{\partial\omega}{\partial x}\right)dx=\left[F\cdot D\cdot\frac{\partial\omega}{\partial x}\right]_{x_{surface}}^{x_{center}}-\int_{x_{surface}}^{x_{center}}\frac{\partial F}{\partial x}\cdot D\cdot\frac{\partial\omega}{\partial x}dx \qquad (3)$$

となる。任意関数Fを水分量$\omega(x,t)$をとし、(4)式に示す境界条件を考慮に入れ、(3)式を(2)式に代入すると(5)式が得られる。q_tは、単位時間に乾燥面の単位断面積当たりを通過する水分量である。

$$q_t=-D\cdot\frac{\partial\omega(x_{surface},t)}{\partial x},\quad \frac{\partial\omega(x_{center},t)}{\partial x}=0 \qquad (4)$$

$$\int_{x_{surface}}^{x_{center}}D\cdot\left(\frac{\partial\omega}{\partial x}\right)^2dx=\omega(x_{surface},t)\cdot q_t-\int_{x_{surface}}^{x_{center}}\omega\cdot\frac{\partial\omega}{\partial t}dx \qquad (5)$$

コンクリートの水分に関する拡散係数が、(6)式に示される指数式で表されるとし、l_iのスライス幅を持った各スライス供試体より得られる水分量ω_iを用いて(5)式を書き換えれば(7)式が得られる。ただし、$i=1\sim6$で$i=1$のとき乾燥面におけるスライスコンクリートを、$i=6$のとき中央におけるスライスコン

表-1　配合表

Name of mixture	G Max (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight per volume (kg/m³)			
				W	C	S	G
M 200	4	50	100	200	400	1708	――
G 16	16	50	50	200	400	854	880

表-2　拡散係数およびフィルム係数

Name of mixture	Diffusion coefficient	Film coefficient (mm/day)
M 200	$D=16.6 \cdot e^{-3.32(1-w)}$	2.44
G 16	$D=6.47 \cdot e^{-3.23(1-w)}$	1.36

w : Moisture content

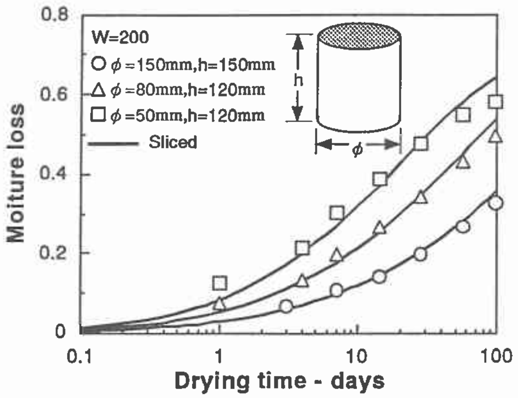

図-1　解析値と実験値の経時変化における比較

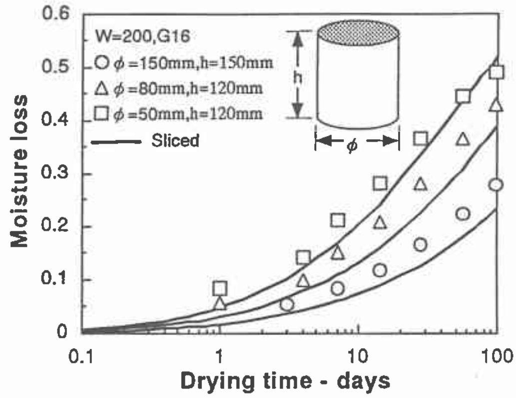

図-2　解析値と実験値の経時変化における比較

クリートを表す。またl_i=3mm(i=1～5)、l_6=1.5mm である。

$$D(\omega) = a \bullet e^{b \bullet (1-\omega)} \tag{6}$$

$$a \bullet \sum_{i=1}^{6} e^{b \bullet (1-\omega_i)} \bullet \left(\frac{d\omega_i}{dx}\right)^2 \bullet l_i = \omega(x_{surface}, t) \bullet \sum_{i=1}^{6} \frac{d\omega_i}{dt} \bullet l_i - \sum_{i=1}^{6} \omega_i \bullet \frac{d\omega_i}{dt} \bullet l_i \tag{7}$$

(7)式においては、拡散係数を表す関数に含まれる係数 a および b を除いて、全ての値が実験値より求まる。従って、最小二乗法を用いることにより、a および b の最適値が求められ、拡散係数を決定することが可能となる。

本実験に用いたコンクリートの配合を表-1に示す。また解析により求められた拡散係数およびフイルム係数を表-2に示す。

3.実験結果および考察

図-1 および図-2 に、円柱供試体における水分損失率の経時変化を示す。ただし、図の縦軸は、蒸発可能な水分量に対する水分損失量の比で表している。すなわち、この値が1.0であれば、蒸発可能な水分すべてが蒸発していることになる。図中の実線は表-2中の拡散係数を用いて有限要素法により求めた解析値であり、○、△および□はそれぞれ円柱供試体の直径が150mm、80mm および50mm の実験値を示したものである。これらの図より実験値と解析値はほぼ一致しており、(7)式によって求められた拡散係数の精度は比較的高いことが分かる。

4.まとめ

本研究より、スライス供試体を用いて得られる拡散係数は、実際のコンクリートの拡散係数として十分妥当性があることが分かった。したがって、本研究で示される逆解析法は、拡散係数を求める有効な解析法ということができる。また、拡散係数を(6)式のように指数式で表してもよいことが分かった。