コンクリート中の水分移動に基づく収縮ひずみ解析

岡山大学大学院　学生員○正木　利和
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および乾燥収縮係数を求める新たな実験方法を提案するものである。幅３mmにスライスした11枚の供試体を用いてこれらの係数を求めた。また、円柱供試体より測定された乾燥収縮ひずみとこれらの係数を用いた解析値との比較を行い、本実験で求めた係数の妥当性を検討した。

２．実験および解析概要

コンクリート供試体の幅が薄いとき、乾燥収縮ひずみとコンクリートの湿度は比例する。[１] このとき、乾燥収縮ひずみが、(１)式で表されるとすれば、コンクリートの相対湿度ｈは(２)式で求められる。

$$ShrinkageStrain = c_0 + \frac{c_2 \cdot t}{c_1 + t} \tag{1}$$

$$h = 1 - \frac{(1 - R.H.)}{c_1 + t} \tag{2}$$

ここにｔは乾燥期間(day)、R.H.は外気の湿度、c_0、c_1およびc_2はコンクリートの乾燥収縮の経時変化を表す係数である。

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での湿度を$h(x,t)$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、dh/dxに比例する(すなわち、$q = D(h) \times dh/dx$)とすれば、質量保存則に基づき次式が成り立つ。

$$\frac{\partial h(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D(h) \cdot \frac{\partial h(x,t)}{\partial x} \right) \tag{3}$$

ここに、D(ｈ)はコンクリートの拡散係数(mm^2/day)である。(３)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。

$$\int_{x_{surface}}^{x_{center}} F \cdot \left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(D \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{\partial h}{\partial t} \right\} dx = 0 \tag{4}$$

(４)式の右辺第１項を部分積分すれば、

$$\int_{x_{surface}}^{x_{center}} F \cdot \frac{\partial}{\partial x}\left(D \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) dx = \left[F \cdot D \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right]_{x_{surface}}^{x_{center}} - \int_{x_{surface}}^{x_{center}} \frac{\partial F}{\partial x} \cdot D \cdot \frac{\partial h}{\partial x} dx \tag{5}$$

となる。任意関数Fを湿度$h(x,t)$をとし、(６)式に示す境界条件を考慮に入れ、(５)式を(４)式に代入すると(７)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湿度である。

$$q_t = -D \cdot \frac{\partial h(x_{surface}, t)}{\partial x}, \quad \frac{\partial h(x_{center}, t)}{\partial x} = 0 \tag{6}$$

$$\int_{x_{surface}}^{x_{center}} D \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 dx = h(x_{surface}, t) \cdot q_t - \int_{x_{surface}}^{x_{center}} h \cdot \frac{\partial h}{\partial t} dx \tag{7}$$

コンクリートの湿度に関する拡散係数が、(８)式に示される指数式で表されるとし、l_i(=3mm)のスライス幅を持った各スライス供試体より得られる湿度ｈ$_i$を用いて(７)式を書き換えれば(９)式が得られる。

$$D(h) = a \cdot e^{b \cdot (1-h)} \tag{8}$$

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 240	4	50	100	240	480	1536	——
G 16	16	50	50	200	400	854	880

表-2　乾燥収縮係数、拡散係数およびフィルム係数

Name of mixture	Shrinkage strain	diffusion coefficient	H_F(mm/day)
M 240	$Sh=2170\cdot(1-h)^{0.918}$	$D=26.3\cdot e^{-7.21(1-h)}$	0.773
G 16	$Sh=1370\cdot(1-h)^{0.749}$	$D=22.0\cdot e^{-8.26(1-h)}$	0.541

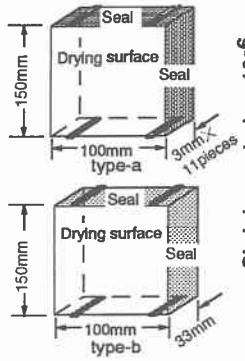

図-1　供試体の形状および寸法

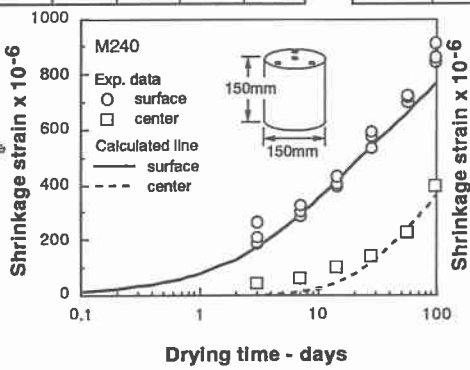

図-2　解析値と実験値の経時変化における比較

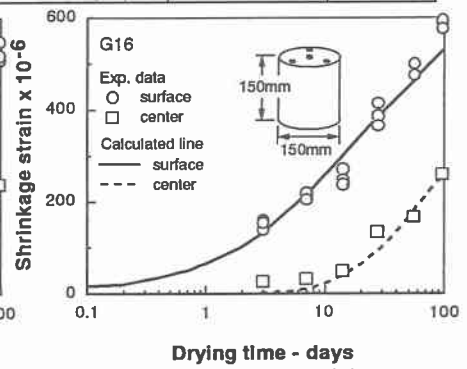

図-3　解析値と実験値の経時変化における比較

$$a\cdot\sum_{i=1}^{6}e^{b(1-h)}\cdot\left(\frac{dh_i}{dx}\right)^2\cdot l_i=h\left(x_{surface},t\right)\cdot\sum_{i=1}^{6}\frac{dh_i}{dx}\cdot l_i-\sum_{i=1}^{6}h_i\frac{dh_i}{dx}\cdot l_i \qquad (9)$$

(9)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。

乾燥期間 t において、コンクリートの湿度と乾燥収縮ひずみ Sh_i の関係が(10)式で表されるとき、図-1(b)に示す角柱供試体の乾燥収縮ひずみ ε_{avg} は(11)式で表すことができる。ここで未定係数 a および b は最小二乗法から最適値を求めることができる。

$$Sh_i(t)=a\cdot\left(1-h_i(t)\right)^b \qquad (10)$$

$$\varepsilon_{avg}(t)=\frac{1}{11}\sum_{i=1}^{11}a\cdot\left(1-h_i(t)\right)^b \qquad (11)$$

本実験に用いた配合表を表－1に、供試体の形状および詳細を図－1に示す。

3．実験結果および考察

図-1に示した供試体より得られた実験値を用いて、(9)式と(11)式より求められた拡散係数および乾燥収縮係数を表－2に示す。表－2の値を使い円柱供試体の収縮ひずみを解析した値と実際の収縮ひずみの経時変化における比較を図－2、図－3に示す。○および□は、それぞれ円柱供試体の円周上の三点および中心で測定された乾燥収縮ひずみの値である。実線および破線は、解析から得られた円柱供試体の円周および中心の乾燥収縮ひずみの値である。これより解析値は実験値と非常によい一致を示していることが分かる。以上のことからこの実験方法によって得られた拡散係数および乾燥収縮係数の値は妥当なものであるといえる。

4．まとめ

本研究よりスライス供試体を用いて得られた各係数は、乾燥収縮予測において十分妥当性があることが分かった。

[参考文献]

1). Wittmann, F.H., Grundlagen eines Modells zur Beschreibung charaakteristischer Eigenschafe n des Betons, Scrifenreihe Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton, Heft290, Berlin, 1977, pp. 43～101