Ⅱ−31

セメント硬化体における湿気拡散の相似模型実験

岐阜大学　正　大浜文彦
〃　〃　○森本博昭

1. まえがき

セメント硬化体に発生する収縮応力を算定するにはセメント硬化体(以下では単に硬化体と記す)内の収縮歪分布を推定する必要がある。この硬化体内の歪分布は直接測定することが不可能であるから現在，硬化体内の湿度分布からこれを推定する試みがなされている。この湿度分布を測定する方法として湿度計による直接測定方法，微分方程式による解析的方法などがまずあげられるがこの他に前記の二つの方法の中間的手法として模型実験法が考えられる。本研究はこの相似模型実験法についての2．3の検討を行なったものである。

2. 相似模型実験法

硬化体中の湿度分布を推定する方法としての本法は解析の対象となる部材(以下では実物と称する)の模型供試体中の湿度分布を直接測定しこの結果に解析的方法における微分方程式及び境界条件式から導いた相似律を適用することにより実物中の湿度分布を推定するものである。以下に実物と模型との間に成立する相似律について述べる。実物と模型との間に表−1に示す関係があるものとする。

表−1 実物と模型の関係

湿度	H_1	H_2
寸法	l_1	l_2
時間	t_1	t_2

実物と模型の寸法比，湿度比，時間比をそれぞれ φ, δ, τ とすれば

$$\varphi = l_1/l_2 \quad , \quad \delta = H_1/H_2 \quad , \quad \tau = t_1/t_2 \quad \text{——(1)}$$

以下では実物に関するものを添字1，模型に関するものを添字2で表わす。実物，模型中の湿気拡散現象についての基礎式を記すと

$$\partial H_1/\partial t_1 = K_1 \nabla^2 H_1 \quad \text{——(2)} \qquad \partial H_2/\partial t_2 = K_2 \nabla^2 H_2 \quad \text{——(3)} \qquad (K：湿気拡散率)$$

式(1)より　$H_1 = \delta H_2$ ——(4)　　式(4)より $\partial H_1/\partial t_1 = \delta\, \partial H_2/\partial t_2 \cdot \partial t_2/\partial t_1 = \delta/\tau\, \partial H_2/\partial t_2$ ——(5)

同じく式(4)より　$\partial^2 H_1/\partial x_1^2 = \partial(\partial H_1/\partial x_1)/\partial x_1 = \delta/\varphi \cdot \partial(\partial H_2/\partial x_2)/\partial x_2 \cdot \partial x_2/\partial x_1 = \delta/\varphi^2 \cdot \partial^2 H_2/\partial x_2^2$ ——(6)　$(\because \partial H_1/\partial x_1 = \delta/\varphi\, \partial H_2/\partial x_2)$

同様にして　$\partial^2 H_1/\partial y_1^2 = \delta/\varphi^2 \cdot \partial^2 H_2/\partial y_2^2$ ——(7)　　$\partial^2 H_1/\partial z_1^2 = \delta/\varphi^2 \cdot \partial^2 H_2/\partial z_2^2$ ——(8)　式(7)(8)を式(2)に代入して

$$\partial H_2/\partial t_2 = K_1 \tau/\varphi^2\, \nabla^2 H_2 \quad \text{——(9)}$$

実物と模型との間に相似関係が成立する時式(3)と式(9)より

$$\tau = \varphi^2\, K_2/K_1 \quad \text{——(10)}$$

が成立する。

次に境界において成立すべき相似律は採用する境界条件式により異なったものとなってくる。本研究においては二種類の境界条件式について実験を行なった。以下にそれぞれの場合における相似律について述べる。

(1)　$(H)_P = a\%$ ——(11)　(ただし添字Pは境界を表わし，a%は周囲の湿度である。)

若干の問題点はあるが式(11)は全乾燥期間を通じて硬化体表面の湿度が常に周囲の湿度に等しい事を仮定している。この場合の相似律は次のようになる。

式(11)より実物，模型それぞれの境界条件式は次のようである。

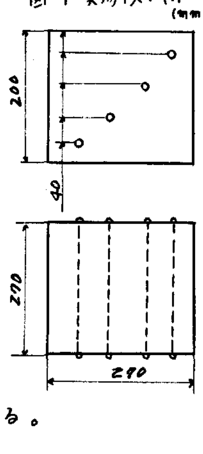
$$(H_1)_P = a \quad , \quad (H_2)_P = a \quad \text{——(12)}$$

式(4)と式(12)より次式を得る。

$$\delta \cdot (H_2)_P = (H_2)_P = a \quad \text{——(13)}$$

従って式(13)より実物と模型の湿度比を $\delta = 1$ とすればそれぞれの周囲の湿度を同じa%に保っておけばよいことがわかる。

図−1 実物供試体 (mm)



(2) $\lambda(\partial H/\partial n)_p = -k_v(h_c - h_a)\,Q\,f(w)$ ——(14)[1]　ここに k_v：比例定数，λ：物質の透湿率

$\partial H/\partial n$：湿度勾配，h_a：空気中の水蒸気張力，h_c：物質表面湿度における水蒸気最大張力

Q：物質表面の湿気密度，$f(w)$：空気の流動を表わす係数。なおVを物質の体積，W_0を湿度0%の時の重量とすると湿気密度Qは次式で表わされる。$Q = W - W_0/V$ ——(15)

また $f(w)$ は図－2に示す。（ウイルソ氏の測定結果より引用）[1]

表-2 ウイルソ氏係数 $f(w)$

空気の流動(m/sec)	ウイルソ氏係数 $f(w)$
0.50	2.5
2.23	3.4
4.50	4.6
6.70	5.6

式(14)は物質内部から表面に到達する湿気の量 $\lambda(\partial H/\partial n)_p$ と表面から外部へ蒸発する量 $k_v(h_c - h_a)\,Q\,f(w)$ が等しいことを表わしている。

従って境界条件式は　$\lambda_1(\partial H_1/\partial n_1)_p = -k_{v1}(h_{c1} - h_{a1})\,Q_1 f_1(w)$ ——(16)

$\lambda_2(\partial H_2/\partial n_2)_p = -k_{v2}(h_{c2} - h_{a2})\,Q_2 f_2(w)$ ——(17)　式(1)より $\partial H_1/\partial n_1 = \delta/\varphi \cdot \partial H_2/\partial n_2$

これを式(16)に代入して $\lambda_1 \cdot \delta/\varphi\,(\partial H_2/\partial n_2)_p = -k_{v1}(h_{c1} - h_{a1})\,Q_1 f_1(w)$ ——(18)

従って相似律として式(17)と(18)より次式を得る。

$k_{v1}\cdot\varphi(h_{c1} - h_{a1})\,Q_1 f_1(w)/\lambda_1\cdot\delta = k_{v2}(h_{c2} - h_{a2})\,Q_2 f_2(w)/\lambda_2$ ——(19)　今，近似的に $Q = AH$ ——(20)

なる関係が成立するものとする。ここにAは定数である。すると $Q_1 = A_1 H_1 = A_1 \delta H_2$ ——(21)

一方 $Q_2 = A_2 H_2$ ——(22)　式(21)と(22)を式(19)に代入して最終的な相似条件式として次式を得る。

$$k_{v1}\varphi A_1(h_{c1} - h_{a1})\,f_1(w)/\lambda_1 = k_{v2} A_2 (h_{c2} - h_{a2})\,f_2(w)/\lambda_2 \quad ——(22)$$

3. 実験方法

図－1に実物供試体の形状寸法を示す。模型供試体との寸法比 $\varphi = l_1/l_2 = 2/1 = 2$ である。実物，模型の構成材料はエアーモルタルとし双方とも同じ配合のものを使用した。表－3に配合，透湿率，湿気拡散率を示す。双方の供試体には図－1に示すように湿度測定用の小孔（ϕ10mm）を上下間隔4cm（模型は2cm）で計4個設けた。双方の供試体は打ち込み後24時間をもって脱型し供試体側面にはパラフィンで十分なる防湿処理をほどこした。また測定時以外は小孔にはゴムせんをしておいた。なお模型供試体は境界条件式(11)を用いたもの，式(14)を用いたもの各1個づつ計2個である。本研究においては前者の模型供試体をM-1，後者をM-2と呼ぶことにする。実物1個，模型2個計3個の供試体は前記のような処理をほどこした後，直ちに湿度55±3%，温度20±2℃の室で乾燥を開始し，小孔中の湿度は適時，小型電気湿度計で測定を行なった。

表-3 エアーモルタルの配合その他

λ (g/day.m.%)	K (m²/day)	空気量(%)	W/C (%)	S/C	AE/C (%)
0.071	24.5×10^{-6}	17.3	55	1	0.13

4. 相似定数について

まず実物，模型との時間比について 式(10)より

$\tau = \varphi^2 K_2/K_1 = 2^2 \times 24.5/24.5 = 4$　（実物と模型の配合は同じ，従って $K_2 = K_1$，時間比 τ はM-1，M-2とも同じ）

次に境界条件より導びかれる相似律については使用する境界条件式より次の二つの場合にわかれる。

(1) 模型供試体M-1：　式(13)より湿度比 $\delta = 1$ とすれば $(H_1)_p = (H_2)_p = 55\%$ となり実物と模型周囲の湿度は共に同じ55%に保っておけばよいことになる。なお湿度比 δ は任意に決定できる。

(2) 模型供試体M-2：　式(22)において実物と模型の配合は同一であるから $k_{v1} = k_{v2}$，$A_1 = A_2$，$\lambda_1 = \lambda_2$ となる。また実物と模型との表面上の湿度も同一とし $h_{c1} = h_{c2}$，そして周囲の水蒸気圧についても $h_{a1} = h_{a2}$ とすれば，$2f_1(w) = f_2(w)$ ——(23)（$\because \varphi = 2$）が得られる。ウイルソ氏の研究報告（表-2）を参照し $f_1(w) = 2.5$ とすれば式(23)より $f_2(w) = 5$ となり表－2より模型上（表面）の風速を約5m/secにすればよいことになる。実験結果その他は発表当日にゆずる。文献① 勝海著．寒中コンクリート工法