

# セメント硬化体中の湿気拡散における相似律について

岐阜大学 正 大浜文彦

〃 〃 〇森本博昭

## 1. まえがき

コンクリートやモルタル, エアーモルタル等のセメント硬化体中に発生する乾燥収縮応力の第1の発生原因はセメント硬化体中の微小要素固有の収縮歪の分布であると考えられる。従って収縮応力の算定にあたっては, まずこの収縮歪の分布を明らかにする必要がある。一般にセメント硬化体(以下において単に硬化体と記す)の収縮は硬化体の含水量の変化に起因するのであるが, この含水量の変化は周囲の相対湿度と密接な関係とを有する。従って湿度分布を知ることは硬化体中の収縮歪分布を推定する上で重要な手がかりとなる。この硬化体中の湿度分布推定法として次の3つが考えられる。

- (1) 対象部材に適當な間隔で小孔を設け適時小孔中の湿度を測定し湿度分布を推定する。
- (2) 多孔質物質中を湿流が透過する現象は熱伝導と類似な現象とみなし湿流に關する拡散方程式を導き, この方程式を適當な境界条件のもとで解き部材中の湿度分布を推定する。
- (3) (1)と同じ電気湿度計による実測の際に対象部材が非常に大きく, また測定用の小孔を設ける事が困難な場合, 相似律を考慮した実物模型を作り, その模型中の湿度分布の実測値より実物中の湿度分布を推定する。元素, 硬化体中の湿度の変化は非常にゆるやかであり部材の形状が大きくなれば一般と若くしくなる。この長模型実験法によれば模型の構成材料に適當なものをを用いることにより短時間のうちに実物部材中の湿度の長期的変化を推定でき, 且て部材の形状にもあまりとらわれずに解析が可能であるなどの利点を有すると考えられる。

本報告はこの模型実験法について述べたものである。なお本研究ではセメント硬化体の一例としてエアーモルタルを取り上げたがこのエアーモルタルはモルタル中に99量の空気を運行したもので最近土木建築の各分野において広く用いられている。またエアーモルタルはプレフォーラム法により製造した。

## 2. 実物と模型との間における相似律

実物と模型との間に表-1に示すような関係があるものとする。

実物と模型との寸法比, 湿度比, 時間比をそれぞれ  $\varphi, \delta, \varepsilon$  とすれば表-1を参照して次式が成立する。

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

硬化体中を透過する湿流は熱伝導型の拡散方程式に従うものと仮定

し, 直交座標において実物の座標長を  $(x_1, y_1, z_1)$  模型のそれを  $(x_2, y_2, z_2)$  とすれば実物および模型についての基礎方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial H_1}{\partial t_1} = K_1 \left\{ \frac{\partial^2 H_1}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 H_1}{\partial y_1^2} + \frac{\partial^2 H_1}{\partial z_1^2} \right\} \quad \text{————— (2)}$$

$$\frac{\partial H_2}{\partial t_2} = K_2 \left\{ \frac{\partial^2 H_2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 H_2}{\partial y_2^2} + \frac{\partial^2 H_2}{\partial z_2^2} \right\} \quad \text{————— (3)}$$

ここに  $K_1, K_2$  はそれぞれ実物および模型を構成する材料の湿気拡散率である。

今, 式-(1)より

$$H_1 = \delta H_2 \quad \text{————— (4)}$$

表-1 実物と模型との関係

	実物	模型
寸法	$l_1$	$l_2$
湿度	$H_1$	$H_2$
時間	$t_1$	$t_2$

式-(4)を $x_1$ で微分して次式を得る。

$$\frac{\partial H_1}{\partial x_1} = \delta \frac{\partial H_2}{\partial x_1} = \delta \frac{\partial H_2}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial x_2}{\partial x_1} = \delta / \rho \frac{\partial H_2}{\partial x_2} \quad \text{--- (5)}$$

同様に式-(4)を $x_2$ で微分して次式を得る。

$$\frac{\partial H_1}{\partial x_2} = \delta \frac{\partial H_2}{\partial x_2} = \delta \frac{\partial H_2}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial x_2}{\partial x_2} = \delta / \rho \frac{\partial H_2}{\partial x_2} \quad \text{--- (6)}$$

式-(6)を再度 $x_1$ で微分して次式を得る。

$$\frac{\partial (\partial H_1 / \partial x_2)}{\partial x_1} = \delta / \rho \frac{\partial (\partial H_2 / \partial x_2)}{\partial x_1} = \delta / \rho^2 \frac{\partial^2 H_2}{\partial x_1^2} \quad \text{--- (7)}$$

同様にして次式を得る。

$$\frac{\partial^2 H_1}{\partial y_1^2} = \delta / \rho^2 \frac{\partial^2 H_2}{\partial y_2^2}, \quad \frac{\partial^2 H_1}{\partial z_1^2} = \delta / \rho^2 \frac{\partial^2 H_2}{\partial z_2^2} \quad \text{--- (8)}$$

式-(7)と式-(8)を式-(2)に代入して次式を得る。

$$\frac{\partial H_1}{\partial x_2} \cdot \delta / \rho = K_1 \left\{ \frac{\partial^2 H_2}{\partial x_2^2} \cdot \delta / \rho^2 + \frac{\partial^2 H_2}{\partial y_2^2} \cdot \delta / \rho^2 + \frac{\partial^2 H_2}{\partial z_2^2} \cdot \delta / \rho^2 \right\} \quad \text{--- (9)}$$

すなわち

$$\frac{\partial^2 H_2}{\partial x_2^2} = K_1 \rho / \delta \left\{ \frac{\partial^2 H_2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 H_2}{\partial y_2^2} + \frac{\partial^2 H_2}{\partial z_2^2} \right\} \quad \text{--- (10)}$$

実物と模型における湿気拡散現象の状態が相似となるためには式-(9)と式-(10)が同一の形であればならない。従って、次式が成立する。

$$K_2 = K_1 \rho / \delta \quad \text{あるいは} \quad \rho = \delta^2 K_2 / K_1 \quad \text{--- (11)}$$

式-(11)において $\rho$ は長さの二乗の比であるから対応する面積 $A_1$ と $A_2$ との比を表わしていることがわかる。従って、式-(11)より次式が成立する。

$$\rho = x_1 / x_2 = A_1 / K_1 / A_2 / K_2 \quad \text{あるいは} \quad A_1 / x_1 K_1 = A_2 / x_2 K_2 = \text{一定} \quad \text{--- (12)}$$

次に境界における相似律について考察する。本研究では供試体が打ち込み直後から温度、湿度共に一定の場所で乾燥される場合を取り上げる。この様な場合、境界条件式として次の様なものが考えられる。

$$H_1^p = a\% \quad , \quad H_2^p = a\% \quad (\text{添字 } p \text{ は境界を表わす}) \quad \text{--- (13)}$$

ただし $a\%$ は周囲の湿度である。すなわち供試体の表面における湿度は打ち込み直後から周囲の湿度と常に等しくなると考える。式-(13)より明らかなるように境界の相似条件として次式が成立する。

$$H_1^p = H_2^p \quad \text{すなわち} \quad \delta H_2 = H_2 \quad \text{従って} \quad \delta = 1 \quad \text{--- (14)}$$

以上の考察により式-(11)あるいは(12)と式-(14)が成立すれば実物と模型の湿度分布は相似状態となる。

### 3. 実物および模型供試体の作成と実験方法

図-1に実物供試体の形状寸法を示す。模型供試体は実物の1/2の大きさであり実物と模型の構成材料であるエアーモルタルは同一で、その配合と湿気拡散率の値を表-1に示す。各供試体には図-1に示すように湿度測定用の小孔(φ10mm)を上下間隔4cm(模型においては2cm)で計13個設けた。各供試体は打ち込み後24時間をもつて脱型し供試体側面には1 $\mu$ ラフィンで十分な防湿処理をほどこし、また小孔にはゴムせんをした後、湿度55 $\pm$ 2%の恒温室で乾燥を開始し適時、電気湿度計で小孔中の湿度を測定していった。今の場合式-(11)より時間比 $\rho = \delta^2 K_2 / K_1 = 2^2 \cdot \frac{24.5}{24.5} = 4$ 、湿度比 $\delta = 1$ であるので模型中の湿度変化は実物の4倍の速さとなることがわかる。くわしくは発表当日に行う。

図-1. 実物供試体(模型)

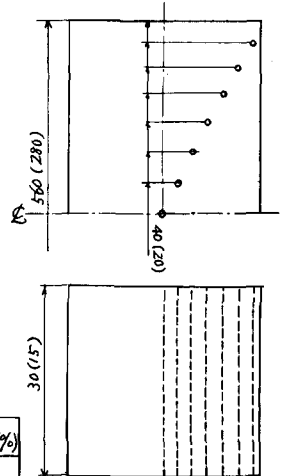


表-2 IP-モルタルの配合と湿気拡散率

湿気拡散率(%)	空気量(%)	W/C(%)	S/C	AE/C(%)
24.5 $\times 10^{-6}$	17.3	55	1	0.13