

コンクリートの非線形湿気移動解析手法に関する研究

岐阜大学大学院 学生員 ○秦 泳 篁橋 忍
岐阜大学工学部 古田 圭一
岐阜大学工学部 正会員 小澤 満津雄 森本 博昭

1. はじめに

乾燥収縮はコンクリート構造物に生ずるひび割れの主要な原因となっており、これに対する解析手法の確立が急務となっている。乾燥収縮はコンクリート内の水分移動による含水量の変化に伴って発生する。従って乾燥収縮を解析するためには、まずコンクリート体内の水分移動現象を明らかにしなければならない。

本研究は乾燥過程にあるコンクリート中の湿気移動について、湿気移動特性の湿度依存性ならびに乾燥中のコンクリートの温度変化の影響を考慮したコンクリートの非線形湿気移動解析法の提案するとともに、小型供試体に対する解析結果と実測値とを比較、検討することにより本手法の適用性を検証するものである。

2. 湿気移動則

コンクリート中の湿気移動則として従来から式(1)が用いられてきた。これに対して本研究では式(2)を提案する。

$$J = -\lambda S \frac{d(RH)}{dx} \dots\dots (1)$$

$$J = -\lambda S \frac{dp}{dx} \dots\dots (2)$$

ここに、 J : 湿流 (g/h)、 λ : 透湿率 ($g/h \cdot m \cdot mmHg$)、 P : 蒸気圧 ($mmHg$)、 RH : 湿度 (%)
ここで、ポテンシャル ψ (微細空隙水負圧) における湿度 RH と蒸気圧 P との関係は次式で表示される。

$$p = p^* \exp\left(\frac{\psi M_v}{RT}\right) \dots\dots (3)$$

$$RH = 100 \times \exp\left(\frac{\psi M_v}{RT}\right) \dots\dots (4)$$

$$p^* = 6.1078 \times 10^{\frac{7.5T_c}{237.3+T_c}} \text{ (hPa)} \dots\dots (5)$$

ここに、 M_v : 水蒸気の分子量、 R : 気体定数、 p^* : 飽和水蒸気圧、 T : 絶対温度、 T_c : 温度

式(3)において、温度 T_c (°C) が上昇すると、式(5)に示すように、飽和蒸気圧 p^* が増大するので蒸気圧 P も大きくなる。一方、式(4)から、湿度 RH は温度が上昇しても大きく変化しない、なぜならば、 T は絶対温度であるから温度 T_c が変化しても、式(4)右辺の値の変動は少ないと考えられるからである。一般に固体の温度が上昇すると乾燥が促進される(水分移動が大きくなる)。式(2)の湿気移動則は蒸気圧で湿気移動則を定義しているので、温度上昇による湿気移動の促進現象を表現しているが、式(1)では考慮できない。従って、コンクリートのように温度変化が生じる場合は、式(2)の蒸気圧 P による湿気移動則を用いるのが合理的である。

図1、2は、30×30×300mmの供試体を、温度 20°C、湿度 80%(蒸気圧 14mmHg)で乾燥させた場合の

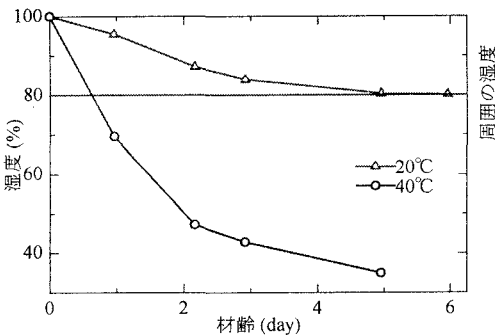


図-1 供試体の湿度

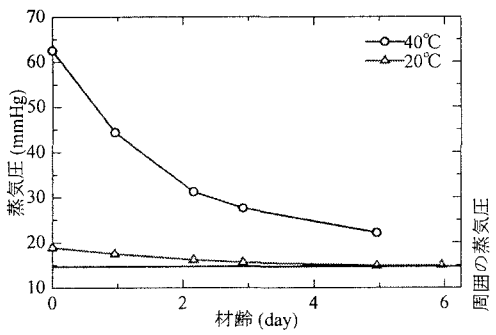


図-2 供試体の蒸気圧

コンクリート中心部の湿度および蒸気圧を測定したものである。供試体は 2 種類で、一つは温度 20℃、他の一つは 40℃にコントロールしている。図-1 から、温度 20℃の供試体中の湿度は周囲の湿度に漸近していく。しかし、温度 40℃では乾燥の進行にともない供試体中の湿度は周囲の湿度よりさらに低い湿度を示すようになる。このように、供試体温度が周囲の温度と異なる場合は、湿度では湿気移動現象を表現できないことがわかる。

一方、図-2 から、供試体中の蒸気圧に着目すると、20℃、40℃のいずれもが周囲との平衡状態に漸近しており、湿気移動を蒸気圧で定義するのが合理的であることが確認できる。

3. 湿気移動基礎式

式(2)の湿気移動則から次の湿気移動の支配方程式が導かれる。

基礎式

$$\left(\frac{dq}{dP}\right)_p \cdot \frac{\partial P}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda_p \nabla P) + \left(\frac{\partial q}{\partial t}\right)_s \dots\dots (6)$$

$$p = p^* \exp\left(\frac{\psi M_v}{RT}\right) \dots\dots (7)$$

境界条件式

$$-\lambda \frac{\partial p}{\partial n} = \alpha(p_0 - p_c)f_w \dots\dots (8)$$

ここに、 q ：湿気密度 (g/m³)、 $\frac{dq}{dP}$ ：湿気容量 (g/m³・mmHg)、

$\left(\frac{\partial q}{\partial t}\right)_s$ ：水和による湿気密度変化 (g/h・m³)、 t ：時間 (h)、 α ：蒸発率、

f_w ：空気の流動に関する係数、 p_0 、 p_c ：コンクリート表面および周囲の蒸気圧

すなわち、基礎式(6)、(7)を達成させて、境界条件式(8)のもとで解けばよいことになる。

4. 解析および実験概要

本研究で提案する非線形湿気移動解析法の適用性を検証するために、小型供試体を用いたコンクリート中の湿気移動実験を実施した。図-3 のように上面から 10mm、30mm、50mmの位置に小孔を設けた 150×150×150mmの角柱供試体を作成した、各供試体に上面のみを蒸発面とし、側面および底面はポリエステルフィルムおよびアルミ箔でシールを施した。供試体は材齢 1 日で脱型し、小孔の中の温度・湿度を小型電気湿度計により計測した。供試体温度は 20℃(一定)と 20℃～40℃(変動)二つ条件とした。また、湿気移動解析は、有限要素法(FEM)を用いた。供試体の温度は温床線により管理した。試験は温度 20℃・湿度 50%R.H.の恒温室で行った。コンクリートの配合を表-1 に示す。

5. 解析および実験結果

解析結果と実験結果については、発表当日にゆずる。

表-1 示方配合

スラン°	空気量	水セメント比	細骨材率	単位量(kg/m3)				AE減水剤
				水	セメント	細骨材	粗骨材	
(cm)	Air(%)	W/C(%)	S/a(%)	W	C	S	G	
8.0	4.5	65.0	44.1	189	292	770	976	0.73

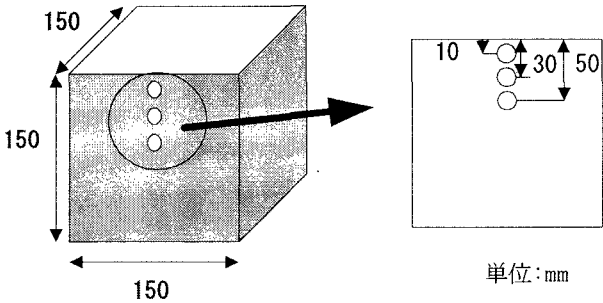


図-3 供試体