

コンクリートの非線形湿気移動解析に関する研究

岐阜大学大学院工学研究科 学生会員 ○堀部 謙

岐阜大学大学院工学研究科 森川友博

岐阜大学工学部土木工学科 中村恭香

岐阜大学工学部土木工学科 正会員 森本博昭

1. はじめに

本研究では、コンクリート表面からの蒸発率を実験的に同定するとともに、これを導入した非線形湿気移動解析法を提案した。そして、実験により本解析手法の合理性を検証した。

2. コンクリート中の湿気移動解析

本研究では、湿気移動則から次の湿気移動の非線形支配方程式を用いる。

$$\left(\frac{dq}{dP}\right)_P \cdot \frac{\partial P}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda_P \cdot \nabla P) - \left(\frac{dq}{dt}\right) \quad (1)$$

また、境界条件式として、次式を仮定する。

$$-\lambda_P \frac{\partial P}{\partial n} = \alpha \cdot (P - P_c) \quad (2)$$

ここに、 λ_P : 透湿率($\text{g} \cdot \text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{mmHg}$)、 P : 蒸気圧(mmHg)、 S : 湿流が通過する面積(m^2)、 q : 湿気密度(g/m^3)、 t : 時間(h)、 $(dq/dP)_P$: 湿気容量($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{mmHg}$)、 (dq/dt) : 水和による湿気密度変化($\text{g}/\text{h} \cdot \text{m}^3$)、 α : 蒸発率($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$)、 P_c : コンクリート周囲の蒸気圧(mmHg)、である。すなわち、解析では、式(1)を式(2)のもとで解けばよいことになる。

3. コンクリートの湿気移動実験と解析

湿気移動に関する物性値である蒸発率の同定と解析手法の精度を検証するために湿気移動実験を行った。実験では、図1に示す $150 \times 150 \times 150 \text{mm}$ の小型角柱供試体の乾燥に伴う重量変化と体内の相対湿度と温度を測定した。小型供試体の側面に、相対湿度測定用は、蒸発面から 10mm 、 30mm 、および 50mm の位置、一方、蒸発量測定用は、蒸発面近傍にそれぞれ温度・湿度測定用の小孔($\phi 10 \text{mm}$)を設けた。供試体の側面の一面のみを蒸発面とし、他面は封緘処理を施した。供試体は材齢 3 日で脱型し、封緘処理した後、28 日間湿布養生を行った。乾燥開始後、小孔中の温度と相対湿度を小型電気湿度計で、蒸発量は秤にて測定した。供試体コンクリートの水セメント比(W/C)は、30%、45%、57%、65%とした。また、水セメント比 57%の供試体については、風洞実験装置を用いて一定の風(風速 5.5m/s)を与える場合と与えない場合および蒸発面に表面被覆剤を塗布したものについて実験を行った。環

境条件は、温度 20°C の一定とし、相対湿度は $80 \sim 30\%$ の間を変動させた。

解析では、透湿率 λ_P と湿気容量 $(dq/dP)_P$ は、図2~3に示すように相対湿度の関数として評価した¹⁾。また、蒸発率は次節で述べるように湿気移動実験から求めた。

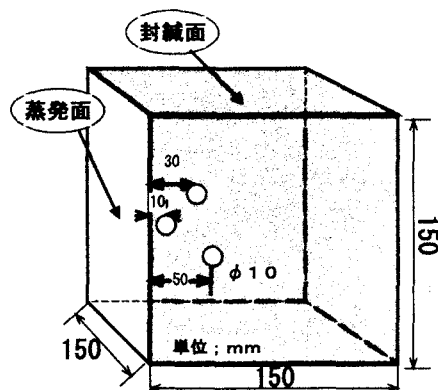


図1. 小型供試体

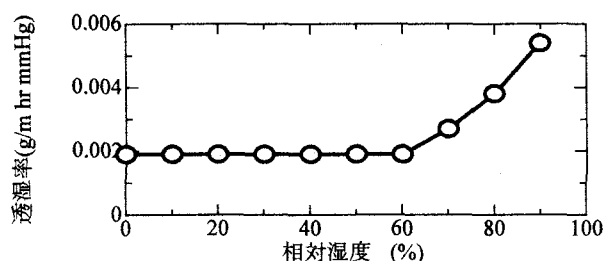


図2. 透湿率の相対湿度依存性

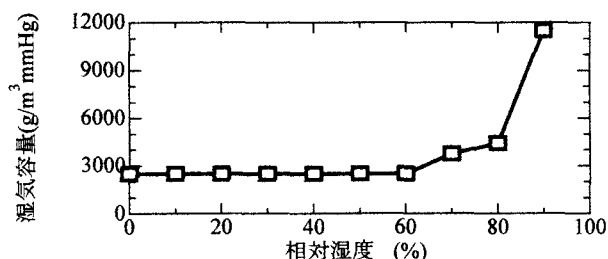


図3. 湿気容量の相対湿度依存性

4. 蒸発率の測定法

(2)式の左辺はコンクリートからの水分蒸発量を表すので供試体の時間 t (h)における蒸発量 $\Delta Q(t)$ (g)は次式で表される。

$$\Delta Q(t) = \int_0^t S \cdot \alpha \cdot (P - P_0) dt \quad (3)$$

ここに、 S : 供試体上面の面積(m^2)、 α : 蒸発率($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$)、 P : 供試体上面の蒸気圧(mmHg)、 P_0 : 周囲の蒸気圧(mmHg)、である。(3)式の左辺はコンクリートか

らの水分蒸発量を表すから、供試体の乾燥に伴う単位時間 Δt 当りの重量減（水分蒸発量） ΔQ を測定すれば、蒸発率 α は上式により算出することができる。

5. 実験結果と解析結果

5.1 蒸発率変化

図4～5に、蒸発量の実測値に式(3)を適用することにより算出した蒸発率の値を示す。図4より、蒸発率 α は、コンクリート表面近傍の相対湿度の低下に伴い小さくなり、蒸発率 $\alpha=0.1(\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$ に収束していく傾向がある。このことより、蒸発率 α は、表面近傍の相対湿度に大きく依存すると考えられる。また、W/C が小さいほど蒸発率は大きくなる傾向が見受けられた。図5より、表面被覆剤は、蒸発率を低下させるが、水分の蒸発を遮断することはない。蒸発率は、風 (5.5m/s) をあたえることにより $0.1(\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$ 程度増大する。以上の結果より、本研究では、蒸発率 α を透湿率 λ_p と湿気容量 $(dq/dp)_p$ と同様に相対湿度の関数として評価し、解析に用いることにした。

5.2 相対湿度変化

図6～7に、W/C=57%の供試体における相対湿度の経時変化の測定値と解析値を示す。図6の解析値は、比較のために蒸発率 $\alpha=0.3$ (一定) として解析を行ったものである。図6から表面近傍湿度が70%付近から、解析値が測定値に比べ大きく相対湿度の低下を評価した。この原因は、蒸発率を一定としたため、表面近傍湿度が70%以下になると、蒸発率を大きく評価するためである。解析値と実験値との相対湿度の低下の差は、コンクリート表面に近づくほど大きくなることわかる。これは、蒸発率がコンクリート表面付近の湿気移動に大きな影響を及ぼしていることを示している。図7の解析値は、蒸発率 α を図5をもとに、表面近傍の相対湿度の関数として評価して、解析に用いたものである。図7から、解析値では供試体中の相対湿度の推移を全体的によく表していると考えられる。しかし、表面近傍の位置での解析値において、周囲相対湿度が急激に低下した場合、測定値に比べ湿度低下の反応がやや鈍くなる傾向が見受けられた。

6. まとめ

コンクリート表面からの蒸発率は、コンクリート表面近傍の相対湿度の低下に伴い低下し、 $0.1(\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$ 付近に収束していく傾向を示した。蒸発率に相対湿度依存性があると考えられる。また、W/C が小さいほど蒸発率は大きくなる傾向が見受けられた。蒸発率は、コンクリート表面に表面被覆剤を塗布することにより小さくなるが水分を遮断することはない。風 (5.5m/s) をあたえることにより、蒸発率は、 $0.1(\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$ 程度増大する傾向にあった。

解析では、湿気移動実験をもとに蒸発率を相対湿度の関数として評価し、解析に適用することにより解析精度の向上を計ることができた。

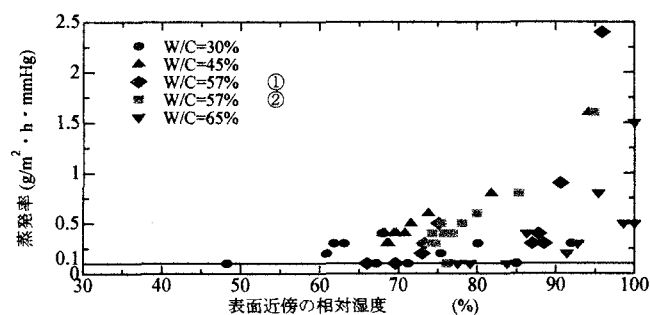


図4.蒸発率 (1)

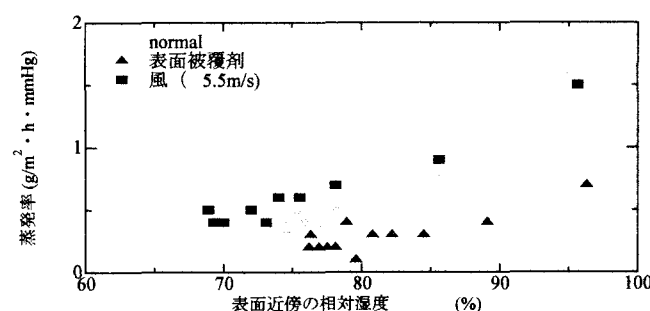


図5.蒸発率 (2) (W/C=57%)

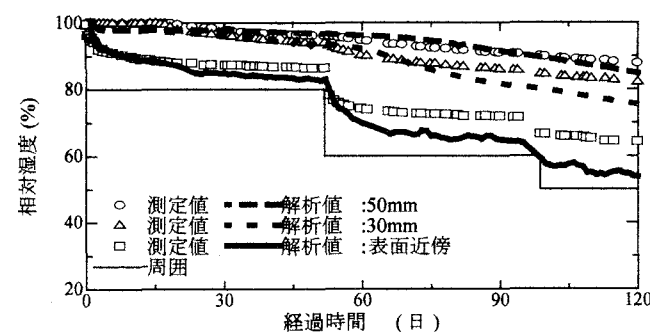


図6.湿度変化測定値と解析値(蒸発率；線形)

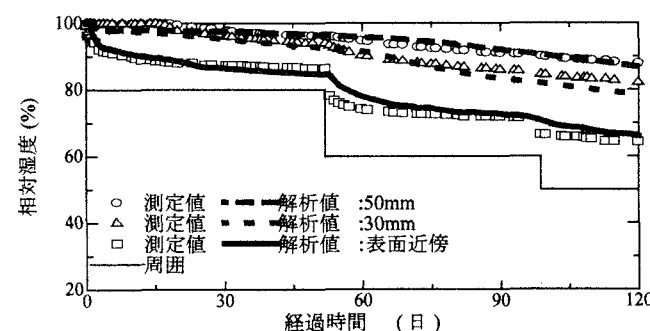


図7.湿度変化測定値と解析値(蒸発率；非線形)

【参考文献】

- 1) 西岡栄香、原田 有：多孔質物質の透湿率および湿気拡散について、セメント技術年報、X V、pp.274 - 278、1961