

コンクリート中の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 ○中村恭香 堀部 謙 川上寛正
岐阜大学工学部 正 会 員 森本博昭

1. はじめに

コンクリート構造物に生じるひび割れの主要原因である乾燥収縮に対する検討および解析手法の確立は重要である。乾燥収縮は、コンクリート内部の湿気の移動による含水量の変化に伴って発生するため、乾燥収縮の解析をおこなうにはコンクリート中の湿気移動を明らかにする必要がある。そこで本研究では、湿気移動解析で必要となる物性値のひとつである蒸発率 α について水セメント比(W/C)や風の影響を考慮して実験的に検討をおこなうとともに、本解析手法の合理性を検討する。

2. コンクリートの湿気移動解析

コンクリート中の湿気移動解析の基礎となる湿気移動則として次式を用いる。

$$J = \lambda_p S \left(\frac{dP}{dn} \right) \quad (1)$$

ここで、 J ：湿流 (g/hr)、 S ：湿流が通過する面積 (m²)、 λ_p ：透湿率 (g/hr・m・mmHg)、 P ：コンクリート表面の蒸気圧 (mmHg) である。

式(1)より次の湿気移動の非線形支配方程式が導かれる。

$$\left(\frac{dq}{dP} \right)_p \frac{\partial P}{\partial t} = \nabla(\lambda_p \nabla P) - \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right)_s \quad (2)$$

また、境界条件として次式を用いる。

$$-\lambda_p \frac{\partial P}{\partial n} = \alpha(P - P_0) \quad (3)$$

ここで、 q ：湿気密度(g/m³)、 $(dq/dP)_p$ ：湿気密度(g/m³・mmHg)、 t ：時間(hr)、 $(\partial q/\partial t)_s$ ：水和による湿気密度変化(g/hr・m³)、 α ：蒸発率(g/m²・hr・mmHg)、 P_0 ：コンクリート周囲の蒸気圧(mmHg)である。

3. 蒸発率の算定方法

(3)式左辺はコンクリートからの水分蒸発量を表している。単位時間 Δt あたりの供試体の水分蒸発量を ΔQ とすると次のように表すことができる。

$$\Delta Q(t) = S \alpha (P - P_0) \Delta t \quad (4)$$

ここで、 $Q(t)$ ：水分蒸発量 (g)、 S ：供試体蒸発面の面

積(m²)、 P ：供試体蒸発面の蒸気圧 (mmHg)、 P_0 ：周囲の蒸気圧 (mmHg) である。したがって蒸発率 α は供試体の水分蒸発量すなわち重量変化と供試体および周囲の蒸気圧を計測すれば(4)式により算定することができる。

4. 実験概要

実験は図-1に示すように、1面のみを蒸発面とし他面はシールで封緘処理を施した150×150×150mmの小型立方供試体を用いた。供試体は、図-1のように蒸発面から10mm、30mmおよび50mmの位置に直径10mmの小孔を設けた相対湿度計測用と、蒸発面近傍のみに同様の小孔を設けた水分蒸発量計測用の2種類とし、小孔中の相対湿度と供試体の重量変化を計測した。水セメント比(W/C)は45%と57%とし、W/C=57%の供試体については、蒸発面に風をあてる場合と、撥水性を持ちASR(アルカリ骨材反応)抑制などに用いられる表面被覆材を塗布した場合の実験も行った。風は、風洞実験装置により蒸発面のみに一定の風速(5.5m/s)を与えた。コンクリートの配合を表-1に示す。

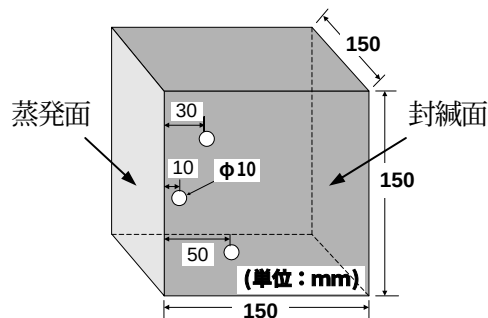


図-1 小型角柱供試体

表-1 示方配合

水セメント比 W/C(%)	スランプ sl (cm)	空気量 Air(%)	単位量(kg/m ³)				
			水(W)	セメント ¹ (C)	細骨材(S)	粗骨材(G)	混和材料 ²
57.0	8.0	3.5	180	316	851	926	3.16
45.0	7.0	3.5	155	344	817	1002	3.44

*1：普通ポルトランドセメント

*2：AE 減水剤（ポゾリス No.70）

キーワード 乾燥収縮、湿気移動、蒸発率、透湿率、湿気容量

連絡先 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 電話番号 058-293-2411

5. 解析概要

湿気移動解析を行うには、蒸発率に加え他の物性値透湿率 λ_p と湿気容量 $(dq/dP)_p$ が必要となる。透湿率と湿気容量は既往の研究により相対湿度に関する関数として評価し¹⁾、蒸発率も次節で述べるように実験により算出した結果をもとに、相対湿度の関数として評価した。

6. 実験結果および解析結果

6.1 蒸発率

図-2, 3 に計測結果を式 (4) に適用して蒸発率 α を算出した結果を示す。すべての条件において、蒸発率は供試体表面付近の相対湿度の低下に伴い小さくなり、 $\alpha = 0.1 \sim 0.2$ ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{mmHg}$) に収束する傾向がある。図-2 より、W/C が小さい方が蒸発率は若干大きくなったが大きな差異は認められなかった。図-3 より、風の影響によって蒸発率は 0.2 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{mmHg}$) 程度大きくなった。供試体蒸発面付近を通過する風により、表面付近の空気中に含まれる湿気が飛散するため、供試体表面と周囲との蒸気圧差が大きくなり湿気の移動が促進されたためであると考えられる。また表面被覆材の影響については、特に高湿度領域において小さくなった。

6.2 相対湿度変化

図-3 に示す算定結果をもとに、蒸発率 α を供試体表面付近の相対湿度の関数とし、供試体小孔中の相対湿度変化の解析を行った。図-4, 5 に解析結果を、実測値と合わせて示す。図-4 は W/C=57% の風がない場合、図-5 は W/C=57% の蒸発面に風をあてた場合である。図-4 より特に表面から 10mm における解析結果は実測値とかなり一致し、全体的に実際の相対湿度低下の推移をよく表している。図-5 より全体の推移は実際の相対湿度低下と類似するが、表面から 10mm における解析結果では相対湿度の低下が鈍く、30mm, 50mm と供試体内部では実測値に比べ過大となった。蒸発面に風があたった場合については今後蒸発率以外の湿気移動に関する物性値への検討および解析手法の両面から改善をはかる必要があると考える。

7. まとめ

(1) 蒸発率は W/C の違いによってはあまり変化せず、表面にあたる風の影響で増大する。表面被覆材の影響により特に高湿度領域で小さくなる。

(2) 蒸発率を供試体表面付近の相対湿度の関数とすることで実測値に近い解析結果が得られた。

(3) 表面付近に比べ内部の解析精度が低下する傾向があった。物性値および解析手法の両面から改善を加える

必要がある。

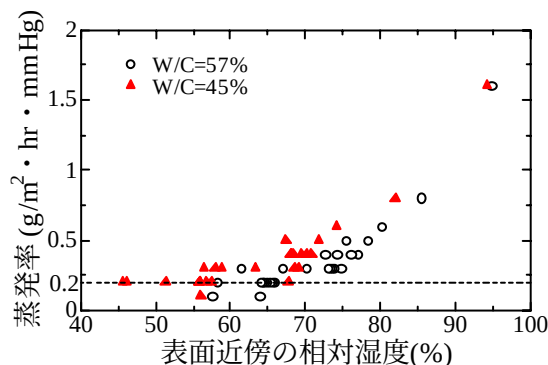


図-2 蒸発率 (W/C による比較)

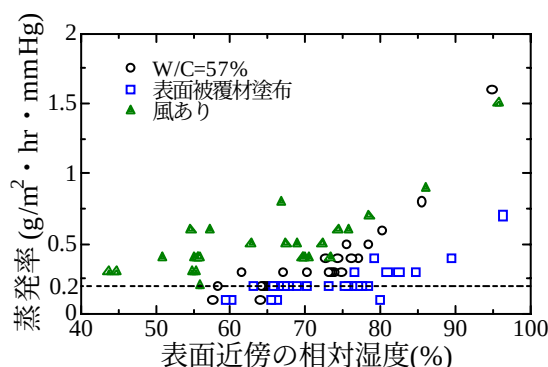


図-3 蒸発率 (風と表面被覆材の影響)

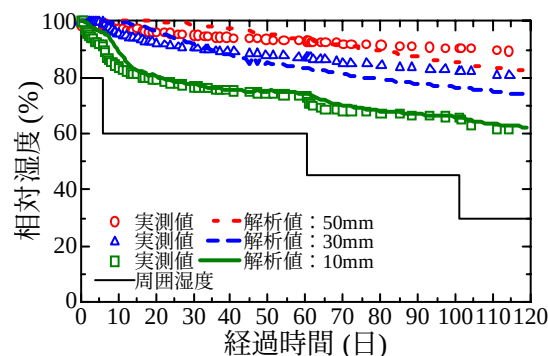


図-4 相対湿度変化 (W/C=57%, 風なし)

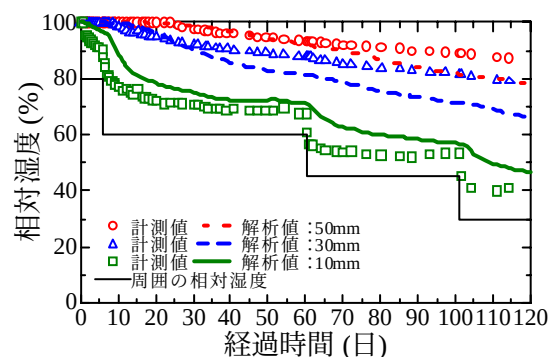


図-5 相対湿度変化 (W/C=57%, 風あり)

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, XV, pp.274 - 278, 1961