

コンクリート内部の相対湿度計測と湿気移動解析

飛島建設	土木事業本部	正会員	○寺澤	正人
飛島建設	技術研究所	正会員	平間	昭信
飛島建設	技術研究所	正会員	岩城	圭介
飛島建設	土木事業本部	正会員	北	倫彦

1. はじめに

コンクリートの初期ひび割れを発生させる要因として、水和発熱（温度応力）、自己収縮および乾燥収縮がある。初期ひび割れ解析実施の際に乾燥収縮を考慮する場合、一般的には断面内で乾燥収縮歪は一様であるとして、例えば「2002年制定 コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕」に示されるような予測式にて乾燥収縮歪を算定する方法が用いられることが多い。これに対し、より実情に即した乾燥収縮歪分布を求める方法として、まず「湿気移動解析」（水分移動解析）によって断面内の相対湿度分布を求め、次にこれに適切な乾燥収縮モデルを適用して断面内の乾燥収縮歪分布を求める方法が研究¹⁾されている。筆者らは、乾燥収縮歪分布をより精度良く解析予測するためには、湿気移動解析の精度を高める必要があると考え、若材齢期からのコンクリート内部相対湿度を測定可能な埋設型湿度計測センサーによって、内部相対湿度を室内環境下にて計測し、湿気移動解析による解析値と計測値を比較して、解析時に必要となるコンクリートの湿気伝導率及び対流熱伝達率を同定し、また湿気移動解析法の妥当性を検証することとした。

2. コンクリート内部の相対湿度計測試験法

2-1 埋設型湿度計測センサー概要

若材齢期からのコンクリート内部相対湿度を計測するために、市販の湿度センサー（高分子膜・抵抗型）のセンサー部に対して耐アルカリ透湿防水フィルムによる透湿防水処理ならびに基板・ケーブルに対してシリコン樹脂・ブチルゴムにて防水処理を施した「埋設型湿度計測センサー」を使用した。

2-2 相対湿度計測用供試体作成および相対湿度計測法概要

温度 20℃相対湿度 70%RH の室内環境下で、高炉 B 種セメント、高性能 AE 減水剤標準形 I 種、砕砂、碎石（最大寸法 20 mm）を使用材料とする、水セメント比 60%、細骨材率 50%、単位セメント量 292 kg/m³、単位水量 175 kg/m³、目標スランプ 15 cm、目標空気量 4.5%のコンクリートを用いて、直径 250 mm、厚さ 50 mm の円盤型供試体を作成した。なお、上述の湿度センサーは、放湿放熱面（表面）から 10mm および 30mm の深さに設置した。コンクリートを気中養生した後、材齢 1 日で、図-1 のように供試体の側面及び底面をシールして放湿放熱面を一面に制限し、さらに放湿放熱面に対して透湿比を 30%程度に抑えたはっ水系表面含浸材（成分：特殊シラン系化合物、シリコーン樹脂）を 100g/m²塗布したもの、および無処理の 2 供試体を直ちに低湿度室内に静置し、コンクリート内の相対湿度計測を開始し、28 日間計測を継続した。なお、計測期間中の室内温度は平均 18.0℃、相対湿度は平均 26.4%RH でほぼ定常状態であった。

3. 相対湿度解析法

熱湿気同時移動モデル²⁾を基本とする二次元非定常熱水分同時移動解析（解析モデルを図-2 に示す）を適用し、湿気移動解析に必要なコンクリートの湿気伝導率を文献³⁾などを参考に 1~5 ng/msPa の範囲、無処理の場合の対流熱伝達率（ルイス則によりコンクリート表面の蒸発率と関連づけられる）を文献⁴⁾などを参考に 4~6W/m²の範囲、表面含浸材を塗布した場合の対流熱伝達率を（無処理の対流熱伝達率）×1/10~1/50 の範囲で変化させて解析し、コンクリート内部の相対湿度の解析値と計測値をフィッティングさせ、湿気伝導率及び対流熱伝達率を同定した。コンクリートの熱定数は、「2002年制定 コンクリート標準示方書

キーワード 乾燥収縮、相対湿度、湿気移動解析、ひび割れ、表面含浸材

連絡先 〒102-8332 東京都千代田区三番町 2 番地 TEL 03-5214-7092

〔施工編〕に示される標準値を参考に、比熱 1.155kJ/kg 、熱伝導率 $2.7\text{W/m}^\circ\text{C}$ 、熱伝達率 $14\text{W/m}^2\text{C}$ とした。また質量基準の平衡含水率 $\phi\text{ (kg/kg)}$ と相対湿度 $h\text{ (100\%RH = 1.0)}$ の関係は、式 (1) に示す Shiligersky の近似式によることとし、定数 $a \sim d$ は、文献⁵⁾より $a=0.05$ 、 $b=0.87$ 、 $c=-0.13$ 、 $d=16.12$ (放湿過程) とした。なお、解析においては水和の影響は考慮していない。

$$\phi = a \cdot h^b \exp[c \cdot (1 - h)^d] \quad \dots \text{式(1)}$$

4. コンクリート内部の相対湿度計測及び解析結果

図-3 にコンクリート内部の相対湿度の計測値と解析値を示す。解析値は、無処理、表面含浸材塗布とも湿気伝導率 $=2.5\text{ ng/msPa}$ 、無処理の場合の対流熱伝達率 $=4.0\text{W/m}^2$ 、表面含浸材を塗布した場合の対流熱伝達率 $=0.12\text{W/m}^2$ (無処理の約 1/30)、とした場合の値であるが、コンクリート内部相対湿度の挙動を精度良く予測解析可能であること、または水系表面含浸材の乾燥抑制効果が認められる。

5. まとめ

埋設型湿度計測センサーによるコンクリート内部相対湿度の計測および熱湿気同時移動モデルに基づく湿気移動解析を実施して以下の結論を得た。

- A) 解析定数を適切に設定すれば、熱湿気同時移動モデルに基づく湿気移動解析によって精度良く若材齢期からのコンクリート内部相対湿度挙動を予測することが可能である。今回、同定された湿気伝導率、対流熱伝達率は実測値から得られたものであり、かつ過去の研究事例での範囲内の値であり有用なものであると考えられる。
- B) 透湿比を 30%程度と低く抑えたはっ水系表面含浸材は、コンクリート表層の初期乾燥を抑制することができ、乾燥収縮ひび割れ軽減対策として利用できる可能性があると考えられる。その効果はコンクリート表面の対流熱伝達率を無処理の場合の約 1/30 であることが、解析・同定から確認された。

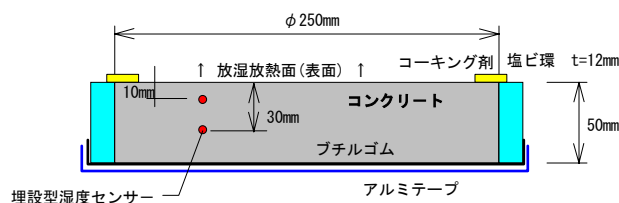


図-1 供試体概要図

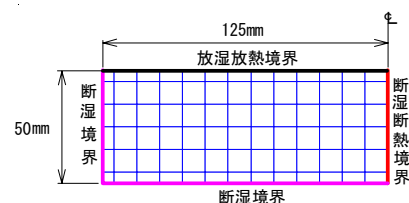


図-2 湿気移動解析モデル図

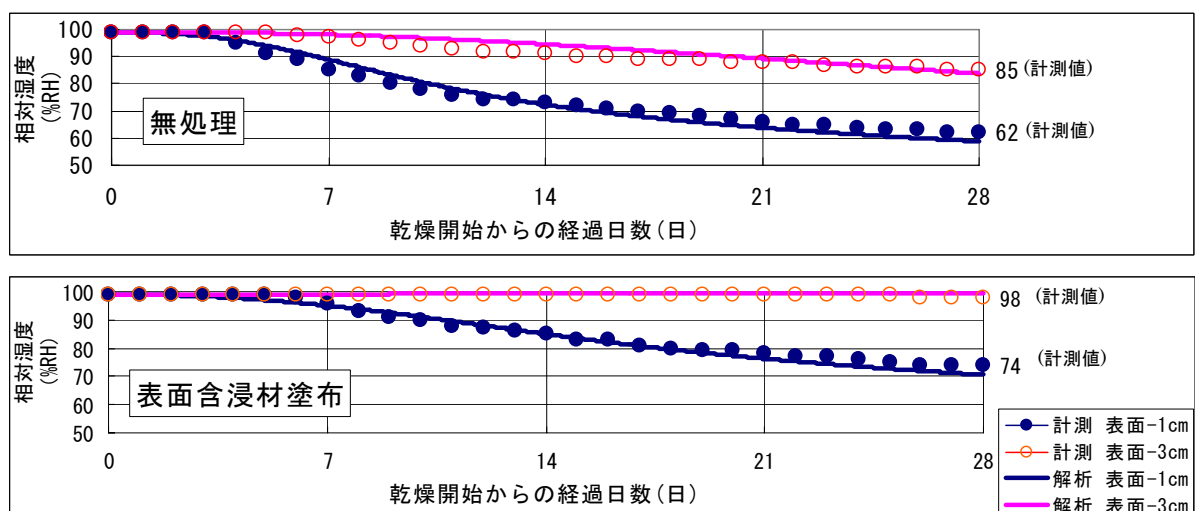


図-3 コンクリート内部の相対湿度の計測値と解析値

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートソフト作成委員会報告書，2003.11
- 2) 坂本雄三ほか：実大試験壁体における熱湿気同時移動モデルの検証，日本建築学会計画系論文集，No.457，1994.3
- 3) 恩村定幸ほか：強度の異なるコンクリートの熱・湿気物性，日本建築総合試験所 GBRC，Vol.119，2005.1
- 4) 吉田伸治ほか：(1 方程式+WET 型) Two-Layer モデルによる建物外表面の対流熱伝達率分布の数値解析，第 14 回数値流体力学シンポジウム，D07-1，2000.12
- 5) 日本建築学会編：建築材料の熱・空気・湿気物性値，丸善，2001