

構造物中のコンクリートの含水状態予測モデルの拡張および高精度化

コンクリート研究室 本馬幸治
指導教員 下村 匠

1. はじめに

コンクリート構造物の代表的な劣化現象である塩害や凍害、乾燥収縮は、耐久性の低下をもたらす。これらの現象は、コンクリート中の水分または水分を媒介とする物質の拡散・移流等の移動現象が関係している。したがって設計段階での耐久性予測、および既設の構造物が持つ性能を適切に評価するために、供用環境下における経時的な含水状態を予測することの意義は大きい。

既往の研究ではコンクリートの含水状態予測モデルが提案されており、温度・湿度が一定値に制御された環境における再現解析の結果、水分の逸散挙動を適切に表現するに至っている。一方、実環境レベルで適用可能な予測モデルとするためには、屋外コンクリート構造物が経験する気温や湿度変動、降雨や日射などの実環境作用をどのように予測手法に反映させ、適切に表現するかが課題となる。

本研究では、屋外環境における含水状態予測モデルの再現性を明らかにすることを目的として、屋外一般環境を含めた複数環境でコンクリート供試体の暴露試験を実施し、既往の提案モデルを用いて実験結果の再現を行った。さらにモデルの適用範囲の拡張を目的として、表面含浸材により撥水機構を付与したコンクリートについてモデル化の検討を行った。

2. 実験概要

暴露試験に用いたコンクリートは水セメント比 50%の普通コンクリートとした。100×100×200mm の型枠に打設し、1日後に脱型し 20℃の養生槽で 28 日間水中養生した。その後 100×100mm の一面を除きエポキシ系樹脂でシーリングを施した。シーリング後、20℃、60%RH の恒温恒湿室に 21 日間静置して乾燥させた後、各試験環境に暴露した。

供試体の重量を 1 日毎に電子天秤で測定した。水中養生終了後の初期重量との変化量で表し、供試体に含まれる総水分量の経時変化を観測した。

3. コンクリート中の含水状態予測モデルの概要

コンクリートが空気に接している状態で生じる乾燥と吸湿過程は、コンクリートの細孔構造と細孔組織中の気液二相水分の熱力学的挙動に基づいた水分移動モデルを用いる。降雨などによりコンクリート表面が液状水に接した際に生じる吸水過程は、毛細管吸水現象をコンクリート細孔中に拡張したモデルを用いる。このように乾燥・吸湿過程と吸水過程とでそれぞれの水分移動メカニズムに対応したモデルを使い分け、差分陰解法による数値解析でコンクリート中の水分分布を求めることで、乾燥湿返し過程におけるコンクリート中の水分移動現象を解析する。

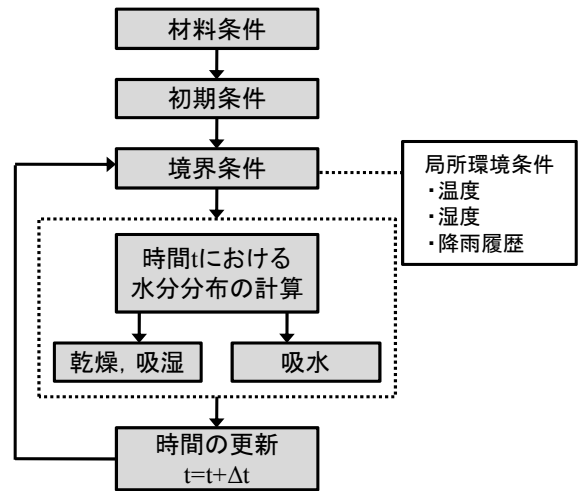


図 - 1 水分移動解析のフロー

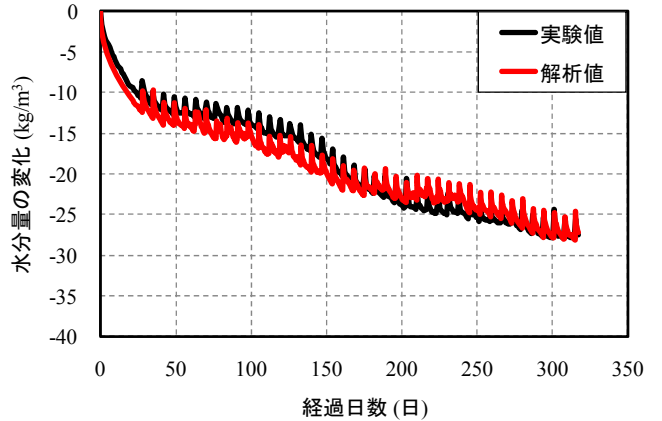


図 - 2 屋内(人工降雨)環境における再現解析の結果

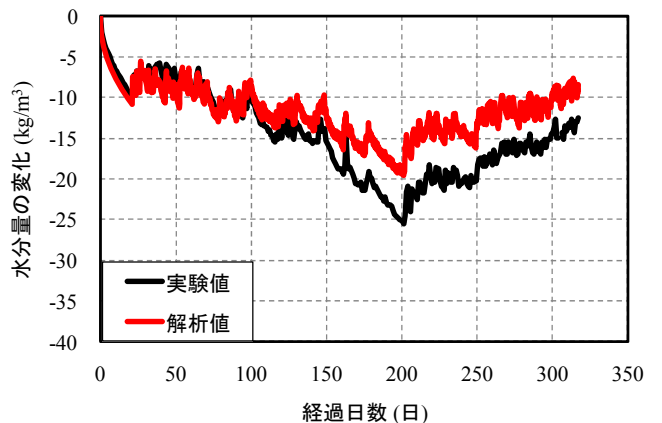


図 - 3 屋外一般環境における再現解析の結果

4. 既往の含水状態予測モデルの検証

屋内環境に暴露し、定期的に降雨を模した散水を施す環境の再現解析の結果を図 - 2 に、屋外の一般環境における再現解析の結果を図 - 3 に示す。図 - 2 から水分逸散する挙動、散水時の吸水挙動が再現されていることが確認できる。また、

図-3に示す屋外一般環境における再現解析でも、実験値と解析値は概ね同様の傾向を示している。したがって、既往の研究で提案されている含水状態予測モデルは屋外環境でも適用可能であること、概ね良好な再現性を示すこと明らかとなった。ただし、屋内環境に比べ、屋外環境の実験値と解析値との相違は大きい。要因としては、実験期間の屋外は幅広い温度環境であったこと(図-4)、コンクリート中の水分移動には温度依存性があり、既往のモデルでは屋外環境における季節的な温度変動に対応できていないこと、日射を受けたコンクリートの乾燥促進が解析で再現されていないことが考えられる。温度依存性の表現精度が十分でなくても、実験結果における温度の影響が可逆であれば、年間では高温期と低温期のずれがキャンセルされ、平均値の傾向は解析値と一致する可能性がある。しかし現在の結果では、乖離が生じる前後の春季(100日以前)と秋季(200日以降)では同様の気象条件であっても双方の挙動は一致せず、夏季に生じた乖離による差異が保たれる傾向が見られる。これは、実験値の温度依存性には非可逆な成分が含まれていることを示唆しており、温度依存性の考慮する際には、検討を要する。日射による乾燥促進も含め水分移動現象に関わる温度の影響をどのように解析に反映させるかが、高精度化に向けた課題である。

5. 含水状態予測モデルの拡張および検証

5.1 撥水メカニズムに基づく既往モデルの拡張

本研究では、既往のモデルの適用範囲を拡張することを目的とし、表面含浸材を塗布したコンクリートの撥水メカニズムを含水状態予測モデルに反映させ、再現解析を試みた。表面含浸材の撥水機構は、降雨等による液状水の浸透条件下でのみ効果を発揮すると考えられる。したがって、吸水過程で用いる水分移動モデルの修正を行った。

撥水の現象を評価する代表的な手法は接触角を計測することである。図-5は表面含浸材を塗布したコンクリートと水滴との接触角を撮影したものである。この接触角の大きさ($\theta = 85^\circ$)がコンクリート中の毛管内におけるメニスカスでも形成されると仮定する。さらにこの接触角が観測されるのは表面含浸材による撥水層(10mm)のみであるとし、非撥水層では $\theta = 0^\circ$ とする仮定(図-6)を水分移動モデルに組み込んだ。

5.2 撥水メカニズムを考慮したモデルの検証

表面含浸材を塗布した供試体の暴露試験の結果、および再現解析の結果を図-7に示す。表面含浸材を塗布すると、無塗布に比べ吸水量が抑制されること、結果として内部に含む水分量は低い状態が保たれることがわかる。撥水メカニズムを考慮した拡張モデルによる再現解析の結果では、これらの現象が表現されていることから、既往の含水状態予測モデルに撥水性を考慮した拡張モデルは、妥当な仮定を用いた一定の信頼性を有するモデルであると言える。ただし、塗布された表面含浸材の効果持続性は十分に検討されていないため、

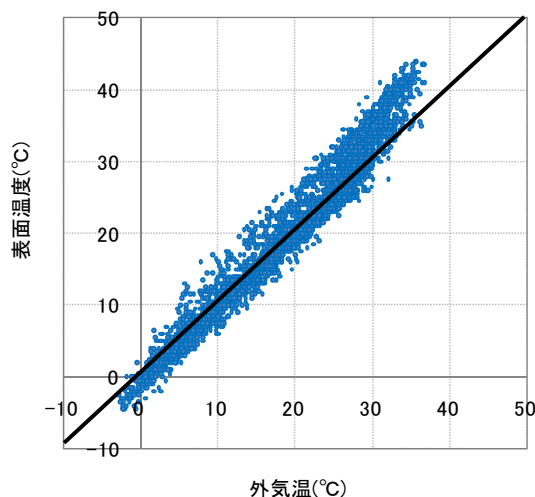


図-4 外気温と表面温度の関係



図-5 接触角の違い

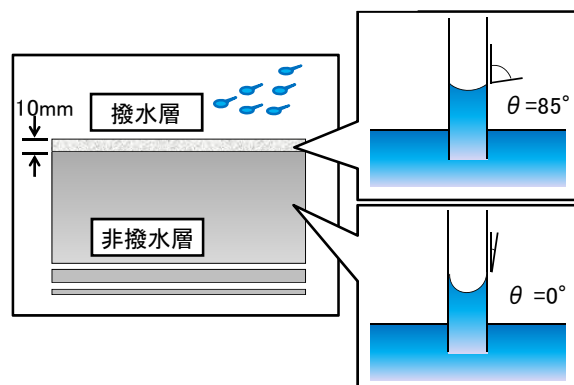


図-6 接触角による撥水層と非撥水層の仮定

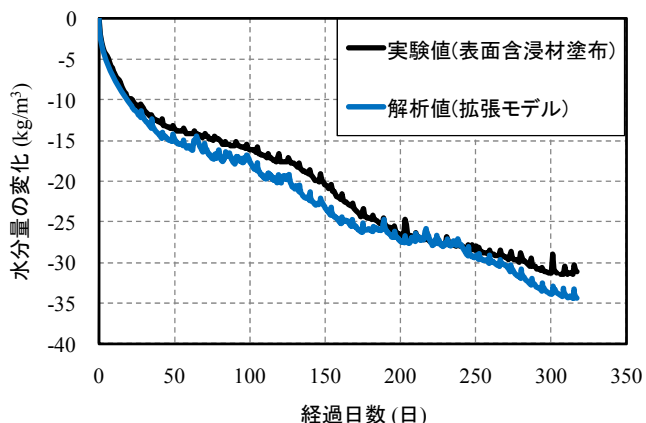


図-7 拡張モデルによる再現解析結果(人工降雨環境)

数十年のスパンで供用されるコンクリート構造物の含水状態を、どの程度再現することができるかは不明である。効果持続性を明らかにし、解析上でどのようにその現象を再現するかが、撥水性表面含浸材を塗布したコンクリートの含水状態予測の精度向上に向けた課題である。