

塩分による蒸気圧降下がコンクリートの乾湿挙動に及ぼす影響の検討

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○原田 健二
長岡技術科学大学 正会員 下村 匠

1. はじめに

塩害の進行には、コンクリートへの水分の浸透、および水分を媒介とした塩分の移動が影響している。既往の研究には、溶媒である水分の移動が溶質である塩分の移動に及ぼす影響が考慮されているものはあるが、逆に塩分が水分の移動におよぼす影響が考慮されているものはない。しかし、塩分のような溶質を含む溶液は、図-1 に示すように溶媒分子が液相から抜け出しにくくなり蒸気圧降下が発生する。そのため、コンクリート中に存在する水分に塩分が含まれるとコンクリートの乾燥が抑制されると考えられる。また、塩化ナトリウムは潮解性を有しているため、図-2 に示すように高湿度の環境下では結晶表面に水が凝縮し結露に近い現象が発生する。したがって、コンクリート表面に塩分が存在するとコンクリートの湿潤が促進されることがあると考えられる。このような塩分の存在がコンクリートの乾湿挙動に影響を及ぼす現象が無視できない程度生じるのであれば、コンクリート中の水分移動解析において考慮しなければならない。

本研究は、その基礎実験の結果を報告するものである。

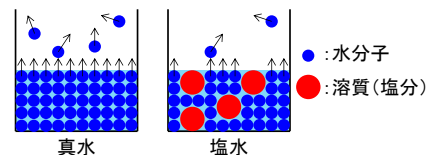


図-1 蒸気圧降下イメージ図

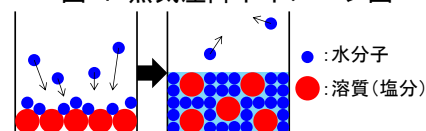


図-2 潮解イメージ図

2. 実験概要

2.1 実験方法

実験は、容器中にある水道水と塩水の乾燥速度の違いを検討する実験 1 とモルタル供試体の空隙中が水道水と塩水で満たされた場合の乾燥および乾燥後の吸湿の違いを検討する実験 2 を行った。

実験 1 では、水道水と飽和塩水(密度: 1190kg/m^3 , 濃度: 26.7%) 100mL を内径 28mm(大気との接触面積 616mm^2)のメスシリンダーに入れ、温度 $20^\circ\text{C} \pm 6^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 10\%$ の室内の環境で乾燥させながら重量の経時変化を測定した。

実験 2 に用いた供試体は $200 \times 200 \times 12\text{mm}$ のモルタルである。W/C は 50%であり、28 日封かん養生した。実験工程を以下に示す。

110°C の乾燥炉で供試体の重量が変化しなくなるまで乾燥させ、供試体を絶乾状態とする。乾燥させた供試体を水道水もしくは塩水(実験 1 で使用したものと同様)で養生終了直後の重量より大きくなるまで吸水させる。そして、温度 $20 \pm 6^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 10\%$ の室内で供試体重量が平衡に達するまで乾燥させ(43 日)、その後に温度 20°C 、相対湿度 95%の恒温恒湿槽で吸湿させる。実験期間中、供試体重量の経時変化を測定する。

2.2 実験結果および考察

実験 1 における水道水と塩水の蒸発量を図-3 に、実験 2 における供試体重量の経時変化を図-4 にそれぞれ示す。いずれも基準値は乾燥開始時の重量とした。

図-3 より、塩分の存在により、蒸発が抑制されることが確認された。これは、塩分の溶解による蒸気圧降下によるものと考えられる。またこの結果から、飽和塩水ほどの高濃度であれば塩分の存在による蒸発速度の違いは無視キーワード 潮解, 蒸気圧降下, 水分移動, 液状水量, 数値解析

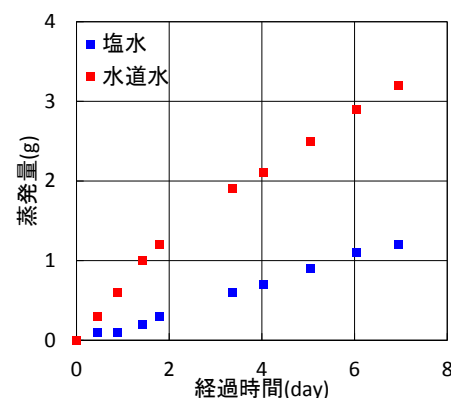


図-3 水道水と塩水の蒸発速度

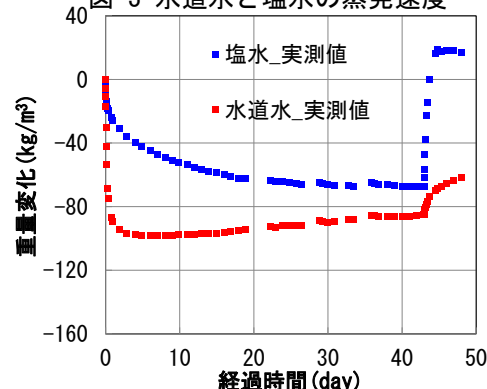


図-4 供試体重量の経時変化

できないほど大きいといえる。

図-4より、塩分の存在によってモルタル供試体からの水分の逸散が抑制されること、吸湿が促進されることが確認された。

乾燥過程を詳しく見ると、水道水により飽和させた供試体と塩水により飽和させた供試体とでは乾燥速度だけでなく、平衡液状水量に差があることがわかる。乾燥速度の違いが生じたのは、実験1と同じメカニズムであると考えられる。平衡液状水量の違いは、図-5に示すように塩分の溶解による飽和水蒸気圧が低下により同一水蒸気圧を示すときの Kelvin 半径が大径側にシフトすることと、塩分の存在による見かけの空隙量の減少により説明できる。

吸湿過程では逆に、塩水を含んだ供試体が急激に重量増加している。これは、相対湿度 95%と高湿度の環境であるため図-6に示すように供試体表面に存在する塩化ナトリウム結晶の潮解が発生し、凝縮水が供試体中に吸水されたと考えられる。一方、水道水の供試体はこのような現象は生じず、吸湿が進行した。

3. 解析概要

3.1 解析方法

実験で観察された塩分によるコンクリート中の水分移動への影響を数値解析において表現することを試みる。コンクリート中の水蒸気拡散、液状水移動を考慮したプログラム⁹⁾を用いて一次元解析を行う。前章の実験結果とメカニズムの考察に基づき以下を新規に考慮する。

(1)塩分の存在による水分の平衡点の変化は、温度に対応する飽和水蒸気圧を低下させることで表現する。本研究で用いた塩は塩化ナトリウムであるため、その飽和水溶液が示す相対湿度 75%に対応するように飽和水蒸気圧を 0.75 倍して解析する。

(2)塩分による水分の移動速度の低下は、実験1の結果より、液状水から水蒸気の相変化に有限な蒸発速度則を仮定することが本来であると考えられるが、本研究の段階では、水分移動の拡散係数を低下させることで表現する。実験1の結果に対応するように、塩分が存在する場合、水蒸気と液状水の拡散係数を 0.4 倍して解析する。

(3)潮解により表面に凝縮水が生じたと判定されるときは、外気の相対湿度を 100%とした場合の吸水で表現する。

解析に用いる物質移動に関する各種材料パラメータは実験結果の乾燥時の液状水量の経時変化から同定した。また、実験で用いた塩水は高濃度であり塩分の体積を無視できないため、図-5に示すように解析では塩分の体積を差し引いた総細孔容積を用いる。

3.2 解析結果および考察

図-7に供試体重量の経時変化の解析結果と実験結果を示す。乾燥過程における水分の平衡点は再現できるが、乾燥速度の低下は上記(2)の方法では精度よく表現できないことが確認された。一方、吸湿過程では、水道水を用いたケースの実験値と解析値の差が大きいことが確認された。その理由は、乾燥と吸湿を可逆として扱っているためである。しかし、潮解が生じた場合の吸水は良好に再現されている。

なお、コンクリート中に供給される海水や凍結防止剤を含んだ路面排水の塩分濃度は 3~5%程度であるので、塩分の存在が水分移動に及ぼす影響は今回の実験ほど極端ではない。ただし、乾湿繰返し環境下ではコンクリート表面においては塩分が高濃度となることがあるので、本研究のように潮解現象を考慮する必要があると考えられる。

参考文献

1)小林悟志, 下村匠: コンクリート中の物質移動と鉄筋の腐食に関する数値解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp831-836, 2002

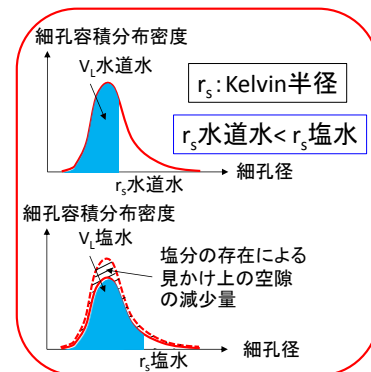


図-5 塩分の影響



図-6 潮解による表面の濡れ

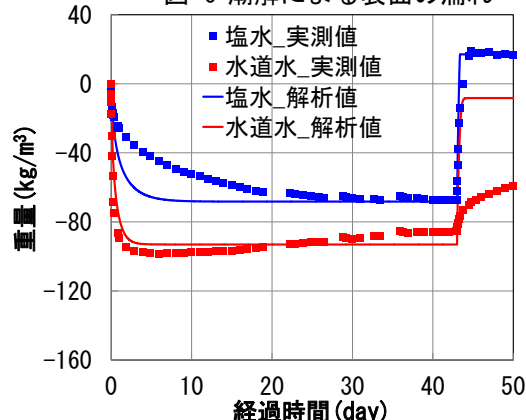


図-7 供試体重量の経時変化の解析結果