

含水率および浸透圧がFAコンクリートの塩化物イオン浸透性に及ぼす影響

○福岡大学 学生会員 金堀 雄伍, 福岡大学 正会員 樋原 弘貴
 福岡大学 正会員 添田 政司, 福岡大学 学生会員 松本 大幸

1. はじめに

示方書での塩害における耐久性照査には、Fick 則による塩化物イオンの浸透予測が用いられている。濃度拡散則に従うため常に一定の速度の下で塩化物イオンがコンクリート内部に浸透するものである。しかし、湿潤環境における見かけの拡散係数は、時間の経過とともに一定値に収束すること¹⁾やCl⁻の浸透が停滞する²⁾といった報告もある。この原因の一つに、移動場としての液状水の移動が徐々に低下していくこと³⁾や液状水で満たされている場合でも電氣的相互作用によりCl⁻が侵入できないという可能性⁴⁾が挙げられているが不明な点が多い。本研究は、特にこれらの知見が少ないFAコンクリートを対象として、液状水の移動はコンクリート内部の含水状態に依存することから、初期含水率や浸透圧が異なる場合の塩化物イオン拡散の経時的変化について検討を行ったものである。

2. 実験概要

実験に用いたコンクリートは、普通セメントの内割として、フライアッシュを20%置換した水セメント比55%のものを用いた。また、細骨材には海砂、砕骨材に砕石を使用している。φ10×20cm・φ7.5×15cmの円柱コンクリートを作製後、いずれも供試体の側面をアルミテープで被覆し、所定のコンクリートの含水率を得るために、温度40℃下での乾燥・気中静置・真空飽水处理を設けて含水率0, 76, 100%とそれぞれ異なるものに調整した。なお、コンクリートの含水率は、以下の式(1)によって算出しており、図-1には、含水状態が異なる供試体の調整方法について示す。

$$C_w (\%) = (W_x - W_0) / (W_{100} - W_0) \times 100 \dots \text{式 (1)}$$

※C_w : 含水率 (%), W_x : 測定重量, W₀ : 絶乾時の重量, W₁₀₀ : 飽水の重量

一方の塩水浸水試験は、図-2に示す方法で、浸透圧を変化させるために

3%NaCl水溶液の浸水高さを10, 65mmとした。また、液状水の移動を制御する目的として、未浸水部のコンクリート上面をアルミテープで閉塞したものを使った。浸水期間は、30, 91, 182日とし、浸水面からのJIS A 1154に準じて深さごとの全塩化物イオン量を電位差滴定により測定した。

3. 結果および考察

図-3は、上面を閉塞した供試体において浸水高さ10mmとした場合の全塩化物イオン量分布を含水率ごとに示す。含水率0%では、浸水期間が長くなるに従って塩化物イオンが内部に浸透している。コンクリート内部へ毛細管張力による水分移動に伴ったものと考えられる。一方の、含水率76%, 100%に調整した供試体においては、吸水面から15mm以降では浸水期間91日と182日の間に明確な差は確認されず、塩化物イオンが停滞する現象が確認できた。空隙に液状水が存在する場合でも塩化物イオンが拡散してないことが分かる。図-4には、水銀圧入法によって算出した細孔径分布を示している。細孔径は、50nm付近でピーク値を示し、6-50nmの空隙が占める体積割合は全体の50%程度であった。10nm付近を閾値とし、それ以

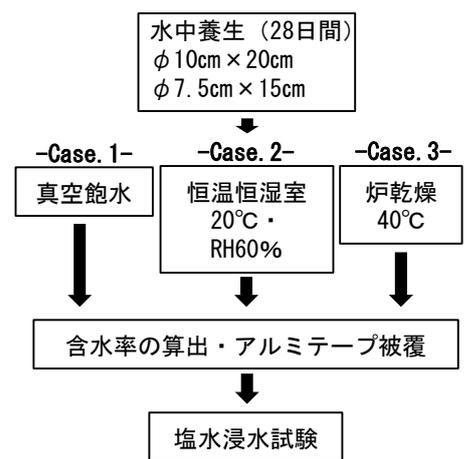


図-1 含水率の調整方法

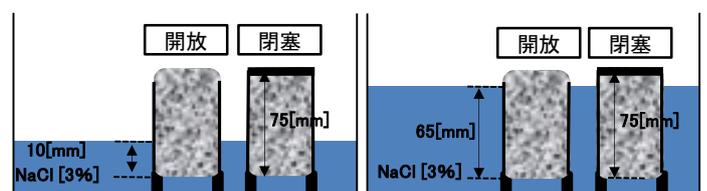


図-2 塩水浸水試験の方法

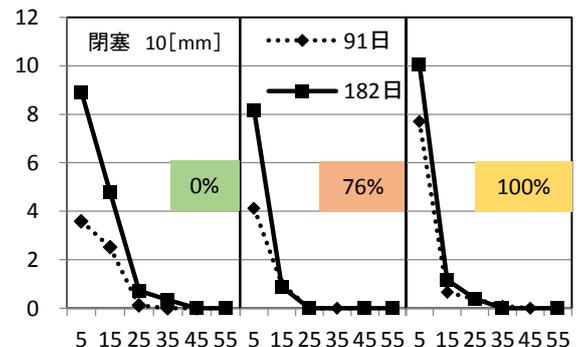
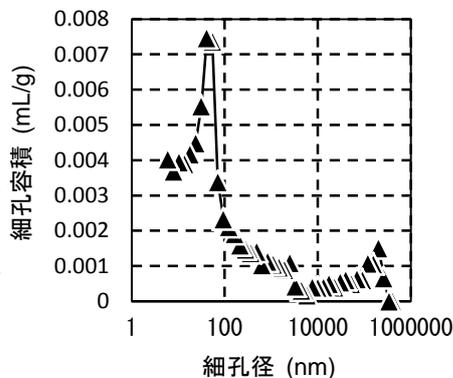
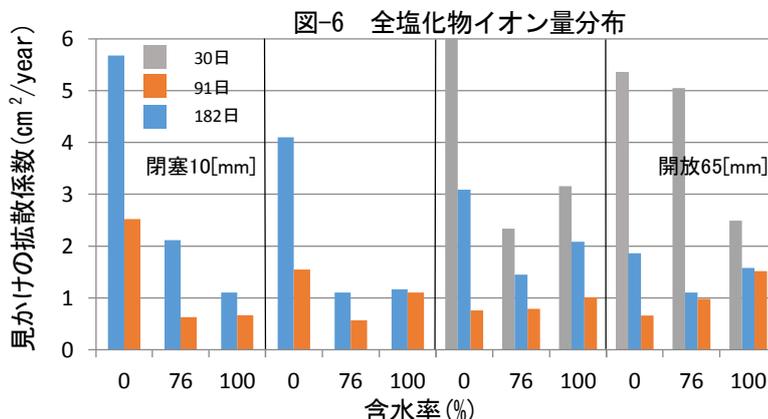
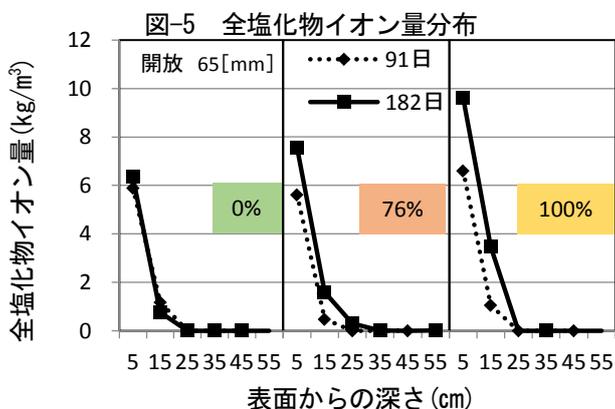
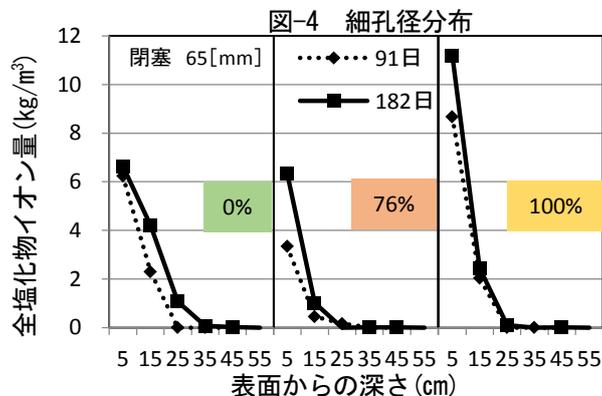


図-3 全塩化物イオン量分布

下の空隙の存在により壁面とイオンの電氣的相互作用の影響で Cl⁻が侵入できないとの報告³⁾もある。今回の結果から、10nm よりも大きな空隙径でも電氣的相互作用の影響を受ける可能性が示唆された。図-5 には、浸水高さを 65mm とした閉塞供試体の塩化物イオン量分布を示す。浸透圧が高くなると、含水率 0% においては、図-3 の結果と同様に浸水期間が長くなるに従って、塩化物イオンが内部に浸透している。また、含水率 76% においてもその傾向を確認することができた。含水率 100% になると、浸水期間に伴う塩化物イオン浸透は見られていないが、浸透圧の影響によって浸水高さ 10mm での結果よりも深さごとの塩化物イ



オン量が大きくなっている。図-6 には、浸水高さ 65mm とした開放供試体の塩化物イオン量分布を示す。図-5 に示した閉塞供試体の結果とは異なり、含水率 0% においては浸水期間に伴う塩化物イオンの浸透は確認されなかったのに対し、含水率 76%、100% と高くなるに従って、浸水期間に伴うコンクリート内部への塩化物イオンの移動が見られた。今回の試験環境の湿度は、60% 程度であったことから含水率 0% においては、吸水面からの水分移動以外にも、開放面からの吸湿により含水率が高くなり、吸水面からの水分移動が制限されたことが考えられる。一方の、含水率 76%、100% においては、コンクリート内部よりも大気環境の方が乾燥しているため、開放面に向かう水分移動に伴って塩化物イオンが浸透したと考える。図-7 は、各種試験環境ごとの見かけの拡散係数の経時変化を示したものである。いずれの試験環境においても浸水期間が長くなるに従って拡散係数が低下している。特に、浸水期間 91 日から 182 日かけての低下は、閉塞したものが開放に比べて大きい。これは、水分移動が小さいことや液状水間を塩化物イオンが拡散できなかったことによるものと考えられる。以上のことから、今回検討した FA コンクリートの品質においては、実構造物でも想定できる含水率 76%、100% を見ると、例えば、部厚が大きくコンクリート内部の水分が逸散するまでの距離が長いような場合には、塩化物イオンの停滞が生じやすく、経時的な見かけの拡散係数の低下割合が大きいことが示唆された。



4. まとめ

- 1) 10nm 径よりも大きな空隙においても電氣的相互作用を受ける可能性がある。
- 2) コンクリート上面が開放され、なおかつ浸透圧が高い場合には含水率が高くなるに従って、浸水期間に伴うコンクリート内部への塩化物イオンの移動が見られる。
- 3) コンクリート内部の閉塞性が高い場合には、塩化物イオンの停滞が生じやすく、経時的な見かけの拡散係数の低下割合が大きい。

参考文献: 1) 山路徹ほか: 海洋暴露試験に基づくコンクリート中の塩化物イオン拡散性状の時間依存性に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 14 巻, 2014.10 2) 高橋佑弥ほか: 実構造物中のフライアッシュコンクリートへの塩分浸透性状と調査時材齢の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.803-808.2010 3) 高橋佑弥ほか: 低水セメント比領域に着目したコンクリート中の塩分浸透および液状水移動に関する熱力学連成解析の高度化, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.796-801.2012 4) 中村兆治ほか: コンクリートへの塩化物イオン浸透停滞の機構に関するガラス製マイクロ/ナノ複合チップを用いた光学実験による検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, 2013

図-7 塩水浸漬試験による見かけの拡散係数