

湿度による乾燥を受けたフライアッシュセメントペーストの 塩化物イオンの拡散性状に関する基礎的検討

琉球大学 正会員 ○須田 裕哉
琉球大学 正会員 富山 潤
新潟大学 正会員 斎藤 豪
新潟大学 正会員 佐伯 竜彦

1. 背景および目的

コンクリートへの塩化物イオンの移動性状を明らかにすることは塩害を適切に評価する上で重要である。近年、地域間の乾燥作用の違いによってセメント硬化体の空隙構造が変化することが報告されているが、これら空隙構造の変化と塩化物イオンの拡散性状の関係は明確ではない。本研究では、乾燥作用として湿度に着目し、湿度の変化による乾燥を受けたセメントペーストの塩化物イオンの拡散性状を調査した。また、養生温度の違いやフライアッシュの有無についても検討した。さらに、乾燥後のひずみも取得し、乾燥による固体（水和物）の構造変化に着目した上で塩化物イオンの移動性状に及ぼす乾燥作用の影響について考察を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料および乾燥条件

供試体はペーストとし、使用材料は研究用普通ポルトランドセメントとフライアッシュ（II種：以下，FA）とした。水結合材比はFA無し試料（以下，NC）、有り試料（以下，NF）ともに55%とし，FAの置換率は30%とした。養生温度は20℃，40℃，70℃とし，飽和水酸化カルシウム溶液中で28日間養生した。養生後の試料は，相対湿度（RH）80%，56%，43%，22%のデシケータ内で約5ヶ月乾燥させた。また，乾燥前の材齢28日の供試体も測定試料とし，NFでは選択溶解法によってFAのポゾラン反応率を測定した。

(2) 拡散セルによる塩化物イオンの拡散実験

各湿度で乾燥後の試料を24h吸水させた後，拡散セル装置を用いて塩化物イオンの拡散係数を測定した。測定は，NaCl（0.5mol/L）溶液側から試料を通過したイオン交換水中の塩化物イオンの濃度をイオンクロマトグラフィーによって経時的に測定し，時間と濃度の変化から塩化物イオンの拡散係数を求めた。

(3) 乾燥収縮ひずみおよび吸水・飽水時のひずみの測定

乾燥収縮ひずみは，接触型変位計より1試料につき最大5試験体のひずみを測定した。乾燥時の相対湿度は75%，56%，43%，22とし約5ヶ月間，試料を乾燥させた。また，塩化物イオンの拡散試験時の試料と同じ状態を再現するため，乾燥後の試料をイオン交換水中に24h浸漬させ，吸水・飽水時のひずみも測定した。

3. 実験結果

(1) 塩化物イオンの拡散係数

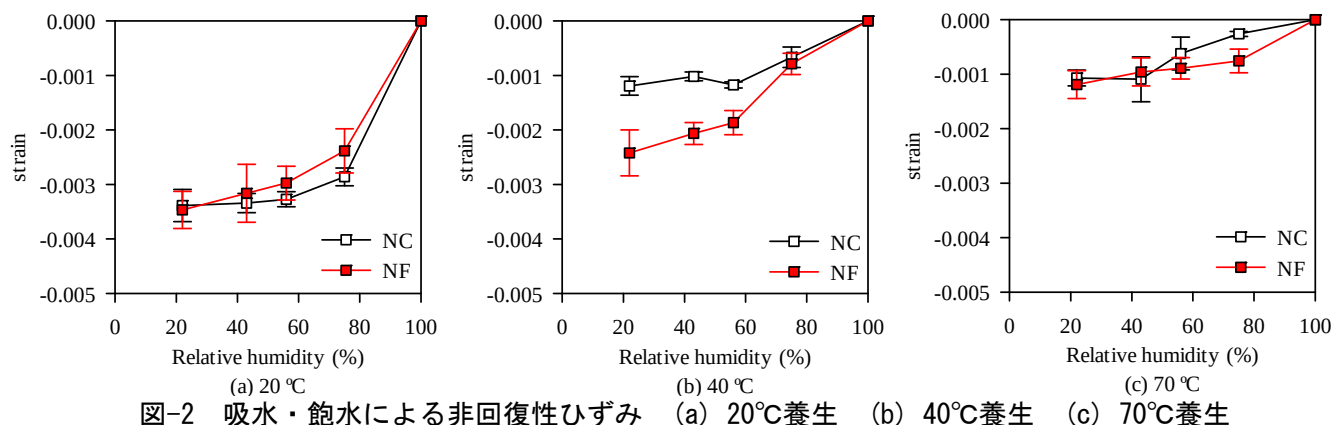
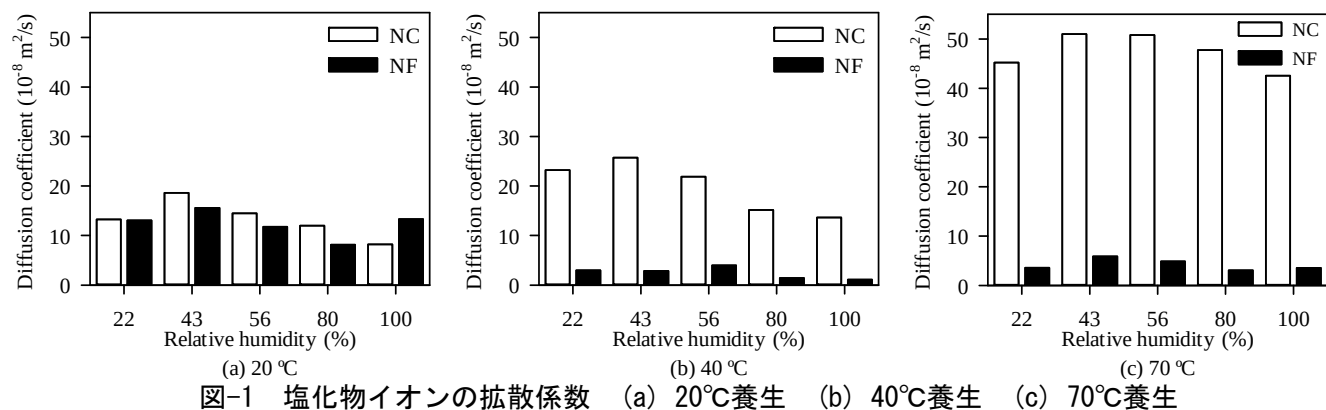
図-1に，湿度による乾燥を受けたNCおよびNFの塩化物イオンの拡散係数を示す。なお，図の横軸の100%RHは乾燥を与えていない試料の結果である。図より，NCおよびNFともに中湿度程度（56%~43%RH）で塩化物イオンの拡散係数は最大値を示した。また，養生温度で比較すると，NCでは温度が高くなるほど拡散係数は大きく，NFでは養生温度40℃の試料がもっとも小さい値を示し，20℃養生の試料はNCとほぼ同程度の値を示した。選択溶解法よりFAのポゾラン反応率は，20℃，40℃，70℃で4.7%，29.7%，45.1%（FAの全量基準）となり，養生温度によるNFの拡散係数の違いは，FAのポゾラン反応によるものと考えられる。

(2) 吸水・飽水時のひずみ

図-2に，各試料を乾燥後，24hの吸水・飽水处理を行った試料のひずみを示す。図より，いずれの試料とも

キーワード フライアッシュ，乾燥，塩化物イオン，拡散係数，非回復性ひずみ，構造変化

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町線千原1 琉球大学 工学部 TEL：098-895-8570



に、吸水・飽水処理後のひずみは完全には回復していない。この非回復性のひずみは乾燥時の湿度が低く、養生温度が低いほど大きくなった。各試料で比較すると 20°C 養生では、NF よりも NC のひずみが大きく、40°C と 70°C の試料では、NC よりも NF のひずみが大きくなった。非回復性のひずみは、乾燥によってケイ酸カルシウム水和物 (C-S-H) の層間シラノール基の重合による不可逆的な構造変化によって生じることが報告されている²⁾。本研究結果は養生温度が高いほど、非回復性のひずみは減少しており、この結果は既往の研究と一致する。また、養生温度が 40°C の試料では FA の置換によって非回復性ひずみが大きくなり、これは FA のポゾラン反応によって生成した C-S-H の構造の違いに起因するものと考えられるが、詳細な検討が必要である。

さらに、乾燥による C-S-H の構造変化は、セメント硬化体のミクロからマクロスケールの空隙構造に影響を及ぼすことが報告されている³⁾。したがって、乾燥による C-S-H の不可逆的な構造変化に伴いセメント硬化体のスケールの異なる空隙構造が変化し、これら空隙構造の違いにより、乾燥によって塩化物イオンの拡散係数が変化したと推察される。また、FA のポゾラン反応の有無でその影響の程度は異なることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、湿度による乾燥を受けたセメントペーストの塩化物イオンの拡散性状について、乾燥による固体の構造変化に着目し検討を行った。本研究より得られた結果を下記に示す。

- (1) 乾燥を受けたセメントペーストの塩化物イオンの拡散係数は中湿度程度で最大値を示した。
- (2) セメントペーストの非回復性のひずみは乾燥時の湿度が低く、FA の反応が進むほど大きい値を示した。

この固体の構造変化に起因した空隙構造の変化が塩化物イオンの拡散性状に影響することが示唆された。

謝辞 本研究は、基盤研究 A (17H01285)、若手研究 B(17K14709)により実施された。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村暢, 濱幸雄, 谷口円: 乾燥によるモルタル直径 40~2000nm の細孔量変化と温度時間席の関係, 日本建築学会構造系論文集, Vol.80, No.713, pp.981-989, 2015.
- 2) L.J. Parrott: Recoverable and irrecoverable deformation of heat-cured cement paste, Magazine of Concrete Research, Vol. 29, pp. 26-30, 1977.
- 3) H.M. Jennings, J.J. Thomas, J.S. Gevrenov, G. Constantinides, F.-J. Ulm: A multi-technique investigation of the nanoporosity of cement paste, Cement and Concrete Research, Vol. 37, pp.329-336, 2007.