

重炭酸アルカリ塩および亜硝酸リチウムを反応促進剤として用いた けい酸塩系表面含浸材の性能評価

維持管理工学研究室 大野 洋嵩

1. 研究背景と目的

近年、コンクリート構造物の補修工法の中で、けい酸塩系表面含浸工法が注目されている。

本研究では、地盤改良時に注入するグラウト材に含まれる重炭酸アルカリ塩、および塩害や ASR 劣化の補修材料として用いられる亜硝酸リチウムをけい酸材の反応促進剤として適用する検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用した表面含浸材および反応促進剤を表 1 および表 2 に示す。表面含浸材はけい酸ナトリウム、けい酸カリウム、けい酸リチウムが主成分であり、すべて SiO₂ 濃度は 16% である。また、撥水型けい酸塩は、添加剤としてけい酸塩系表面含浸材にシリコンを 3% 混合したものをを用いた。撥水型けい酸塩および亜硝酸カルシウムを主成分とする反応促進剤については、細孔径分布測定試験でのみ用いた。塗布量の管理値は、けい酸塩はいずれも 250g/m²、反応促進剤は亜硝酸 Ca のみ 125g/m²、その他は 250g/m² である。

表 1 使用した表面含浸材

略称	物性
けい酸塩	2.5%Na ₂ O 水溶液, 3%K ₂ O 水溶液, 0.15%Li ₂ O 水溶液
撥水型けい酸塩	2.5%Na ₂ O 水溶液, 3%K ₂ O 水溶液, 0.15%Li ₂ O 水溶液, 撥水剤 3%

表 2 使用した反応促進剤

主成分	略称	物性
亜硝酸リチウム	亜硝酸 Li	10%, 20%, 40% LiNO ₂ 水溶液
亜硝酸カルシウム	亜硝酸 Ca	20% Ca(NO ₂) ₂ 水溶液
重炭酸アルカリ塩	重炭酸 Na	6% NaHCO ₃ 水溶液
	重炭酸 K	10%, 20% KHCO ₃ 水溶液
	重炭酸 NH ₄	10% NH ₄ CO ₃ 水溶液

2.2 供試体概要

図 1 に供試体概要を示す。モルタルを打設、養生した後、試験面に所定量の反応促進剤および表面含浸材を塗布し、さらに養生して試験体とした。

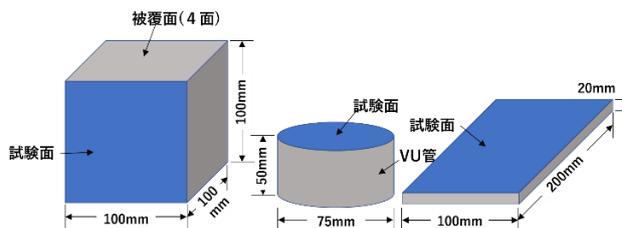


図 1 供試体概要

3. 各試験方法と試験結果および考察

各種試験は、土木学会規準「表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K571-2004)」¹⁾および「けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K572-2012)」²⁾に準拠して行った。

3.1 透水量試験

図 1 の立方体供試体を用いて、7 日間の透水量を測定した。けい酸塩等を塗布した場合の無塗布供試体に対する透水比を図 2 に示す。反応促進剤として亜硝酸 Li を用いることで透水比が減少し、抑制効果が増大することが確認された。

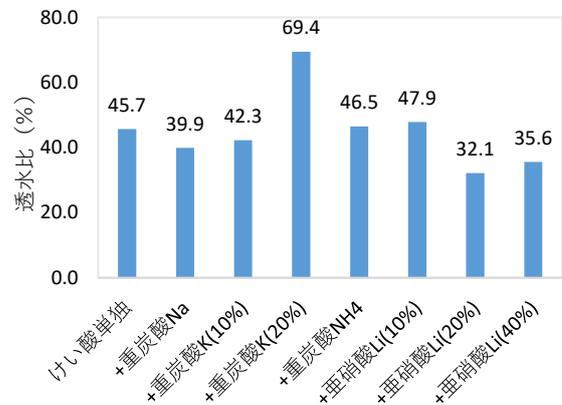


図 2 透水量試験の結果

3.2 塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験

図 1 の立方体供試体を用いて試験した。供試体を 63 日間 3% NaCl 水溶液に浸漬後、割裂し、塩化物イオンの浸透深さを測定した。無塗布供試体に対する塩化物イオン浸透深さ比を図 3 に示す。反応促進剤として亜硝酸 Li を用いることで浸透深さ比が減少し、透水量試験と同様に抑制効果が増大することが確認された。

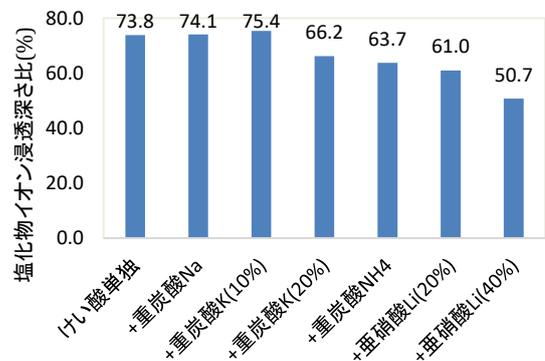


図 3 塩化物イオン浸透深さ試験の結果

3.3 スケーリングに対する抵抗性試験

図1の立方体供試体の含浸材塗布面を3%NaCl水溶液に浸漬し、20°C~20°Cの凍結融解サイクルを60サイクル繰り返し、スケーリング片の質量より無塗布供試体に対する質量損失比を算出した。結果を図4に示す。反応促進剤として重碳酸アルカリ塩を用いることでスケーリング抵抗性が向上した。亜硝酸Liを用いた場合は、けい酸塩との反応による白華現象が見られ、白華成分が剥離・溶出することで質量損失比が大きくなったと考えられる。

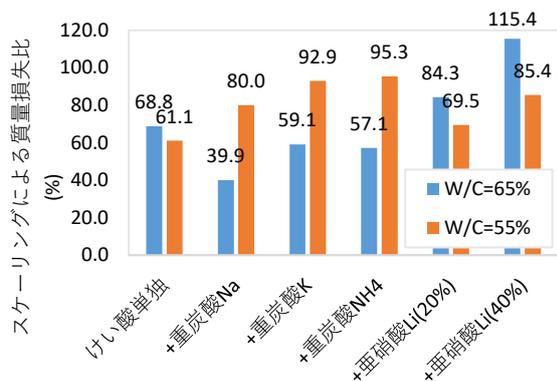


図4 スケーリング抵抗性試験の結果

3.4 ひび割れ透水性試験

図1の円柱供試体に載荷試験機にて幅0.2mm以下および幅0.3mmのひび割れを導入し、ひび割れ透水量の初期値を測定した。その後、試験面にけい酸塩等を塗布・養生後、再びひび割れ透水量を測定し、塗布前に対するひび割れ透水比を算出した。なお、幅0.3mmのひび割れを導入した供試体の一部には、けい酸塩等をひび割れに沿って塗布する線塗布を行った。線塗布の塗布量は0.7g/cmとした。結果を図5に示す。幅0.2mm以下のひび割れに対するけい酸塩系表面含浸材の閉塞効果を改めて確認できた。また、反応促進剤として亜硝酸Liおよび重碳酸アルカリ塩を併用することで、ヘアクラックよりも大きな幅0.3mmのひび割れに対するひび割れ透水抑制効果の増大が確認された。また二つの塗布方法の比較から、ひび割れ部への塗布量を増やすことでその効果が増大することが確認された。

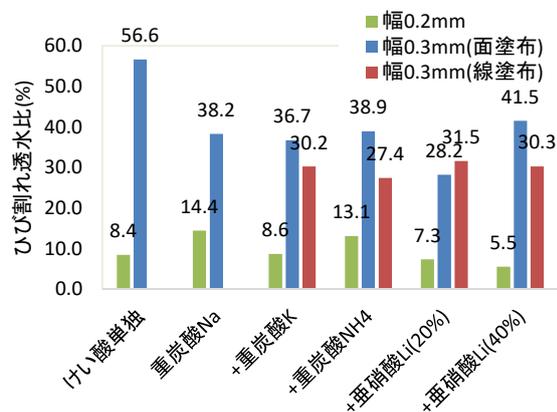


図5 ひび割れ透水性試験の結果

3.5 細孔径分布測定試験

図1の平板供試体を用いて水銀圧入法により試験した。試料は、5~10mm程度の大きさで10~15個程度、試験面ができるだけ多く含まれるように採取した。水銀圧入ポロシメーターを用いて、圧入された水銀量から試料内の細孔径分布を測定した。結果を図6に示す。毛細管空隙の存在範囲(0.01μm~1μm)に着目すると、0.02μm~0.3μmの範囲において、けい酸塩を使用することで空隙径が小さくなることが確認された。添加剤、反応促進剤の有無による影響は確認できず、これは試料にけい酸塩の塗布面以外の部分が含まれており、塗布面のみ性状を細部まで正確に表せていないためであると考えられる。

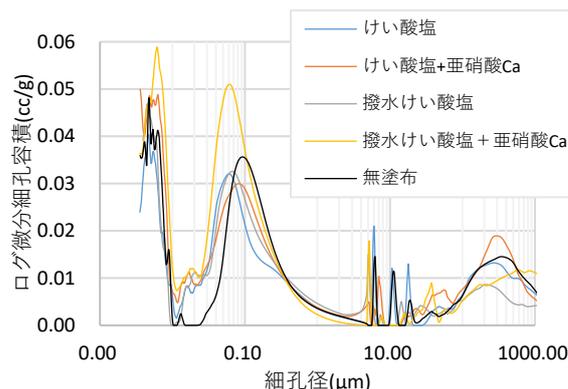


図6 細孔径分布

4. まとめ

- ① けい酸塩系表面含浸材と亜硝酸Liを併用することで、透水抑制効果および塩化物イオン浸透抑制効果が增大することが確認された。
- ② けい酸塩系表面含浸材と重碳酸アルカリ塩を併用することで、スケーリングに対する抵抗性が高まることが確認された。
- ③ スケーリングに対する抵抗性試験において、けい酸塩系表面含浸材と亜硝酸Liを併用することで、白華現象が起り、反応生成物が溶出することが確認された。
- ④ けい酸塩系表面含浸材と亜硝酸Liおよび重碳酸アルカリ塩を併用することで、ヘアクラックよりも大きなひび割れに対するひび割れ透水抑制効果が增大することが確認された。
- ⑤ ひび割れ部へのけい酸塩系表面含浸材および反応促進剤の塗布量を増やすことでひび割れ透水抑制効果が增大することが確認された。
- ⑥ けい酸塩系表面含浸材を使用することで、毛細管空隙が充填され、0.02μm~0.3μmの範囲で空隙径が小さくなることが確認された。

参考文献

1. 土木学会規準「表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K571-2004)」
2. 土木学会規準「けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K572-2012)」