コンクリート表面に発生する白華の化学的抑制案の検討

立命館大学　学生会員　○下　友希
立命館大学　正会員　川崎　佑磨
極東興和株式会社　正会員　河金　甲

1．はじめに

コンクリートの白華は強度などの力学的性能に与える影響は少ないとされているが，美観・外観は問題となる場合もある．例えば，コンクリート表面を水が流下すると，水酸化カルシウムが水に溶解し，空気中の二酸化炭素と反応することで炭酸カルシウム（カルサイト）となり，白い筋状の白華が発生する．特に，雨や雪，風などの環境的要因を強く受ける地域では，多くの筋状白華が確認されている．この筋状白華は，外観を損なうものの，除去するには手間とコストを要する．既往研究では，シラン系塗布剤の撥水効果が白華抑制に有効であることが報告されている[1)]が，高価であるため広範囲の断面に対策する場合コストが問題となる．そこで，シラン系塗布剤と同様の撥水効果を期待でき，より安価なアクリル系塗布剤を用いて白華抑制が可能か試みた．

2．白華要因物質の析出割合に関する実験

(1) 実験概要

薬剤塗布による白華抑制効果を定量的に評価するため，白華要因物質（炭酸カルシウム；$CaCO_3$ および炭酸ナトリウム；Na_2CO_3）の析出割合を X 線回折装置により測定した．供試体は 40×40×160mm の角柱モルタルとし，供試体上面はほうき目仕上げした．配合を表-1 に示す．薬剤はアクリル系塗布剤（以下，撥水剤）を使用した．撥水剤の希釈度は標準濃度である 3 倍とした．打設翌日に脱型し，撥水剤は供試体側面および下面に塗布した．設定条件として，養生室内（温度 20℃，湿度 90%以上）で気中養生したもの，飽和水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）水溶液で作製した氷 20g をモルタル上面に載せて 4℃の低温環境下で保管したものの 2 ケースで実施した．X 線回折用の試料の調製は，白華が確認された箇所と確認されなかった箇所を 20×20×20mm となるように切り出し，解析した．上記試料は薬剤塗布後 1 日目と 7 日目に採取した．

表-1　モルタル配合

W/C (%)	単位量 (kg/m³)			高性能AE減水剤 (kg/m³)	AE助剤 (kg/m³)
	W	C	S		
52.4	225	429	1543	2.58	0.02

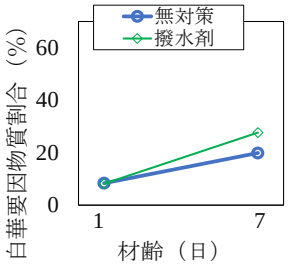

図-1　白華要因物質割合（気中養生）

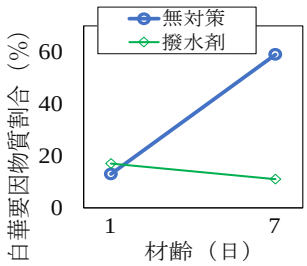

図-2　白華要因物質割合（$Ca(OH)_2$）

(2) 実験結果および考察

気中養生の結果を図-1 に，飽和水酸化カルシウム水溶液の氷を載せた場合の結果を図-2 に示す．気中養生では，無対策と撥水剤の白色要因物質割合はほぼ同等であった．一方，飽和水酸化カルシウム水溶液で作製した氷を載せた低温環境下では，撥水剤の白華要因物質割合が，材齢 7 日の無対策の場合，約 60%と明らかに高くなった．それに対し，同一条件においても撥水剤を用いると検出された割合の 1/6 に白華要因物質を抑制することができた．低温環境は冷蔵庫で模擬しており，庫内は冷気が出ている．低温かつ風の影響を受ける環境において，コンクリート表面に $Ca(OH)_2$ を含んだ水分があると白華発生につながることが確認できるとともに，その抑制には撥水剤が有効であることがわかった．

3．Ca イオン溶出量に関する実験

(1) 実験概要

コンクリート表面から溶脱する水酸化カルシウム濃度を評価することで，Ca の溶出抑制効果を確認した．供試体は 100×100×400mm の角柱コンクリートとし，水セメント比による Ca 溶出量の違いが考えられ

キーワード　筋状白華，Ca イオン，ICP 発光分析，撥水剤
連絡先　〒525-8577　滋賀県草津市野路東 1-1-1　立命館大学　ＴＥＬ077-561-2666

るため，配合は，設計基準強度 35N/mm² を想定した配合（表-2）と 50N/mm² を想定した配合（表-3）の 2 種類とした．撥水剤の希釈度は前述の実験と同様 3 倍とした．脱型後，コンクリート上面に希釈した撥水剤 100g/m² をローラーで均一に塗布した．コンクリートの側面と断面の 4 面は，アクリル板とシリコンを使用して止水処理した．図-3 に示すように，止水処理をした供試体の上面に破砕した氷を 350g 載せて，1 日および 2 日後のコンクリート上面に滞留している溶液を 100ml 採取した．その後，ICP 発光分析を用いて溶液中の Ca イオン溶出量を分析した．

表-2　コンクリート配合（35N/mm²）

s/a (%)	W/C (%)	単位量(kg/m³)				高性能AE減水剤 (kg/m³)
		W	C	S	G	
41	48	161	338	739	1038	1.69

表-3　コンクリート配合（50N/mm²）

s/a (%)	W/C (%)	単位量(kg/m³)				高性能AE減水剤 (kg/m³)
		W	C	S	G	
41	36	151	419	732	1049	2.6

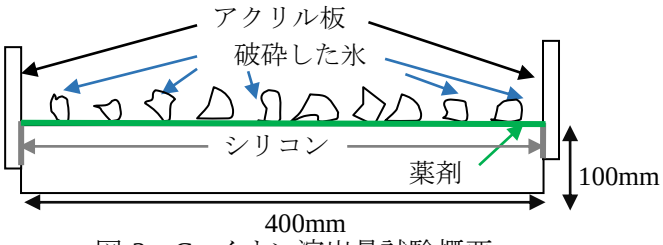

図-3　Ca イオン溶出量試験概要

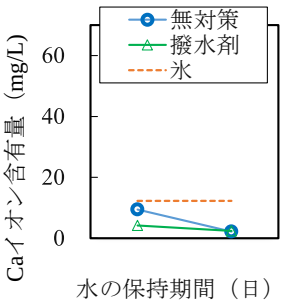

図-4　Ca イオン含有量（35N/mm²）

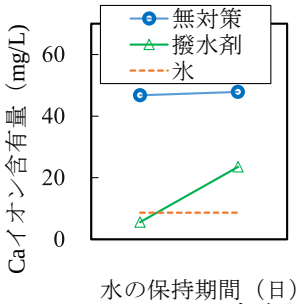

図-5　Ca イオン含有量（50N/mm²）

（2）実験結果および考察

ICP 発光分析の結果を図-4 および図-5 に示す．試験に用いた氷の Ca イオン含有量は 35N/mm² のケースで 12.3mg/L，50N/mm² のケースで 8.7mg/L であった．図-4 より，35N/mm² のケースでは，氷の Ca イオン含有量と同等以下であり，Ca イオン溶出はみられなかった．一方，50N/mm² の無対策では，Ca イオン溶出量が多くなった．50N/mm² では Ca イオン溶出量が増加したことから，Ca イオン溶出量は強度（セメント量）が関係すると推測される．50N/mm² のケースでも，撥水剤による Ca イオン溶出量の抑制効果が確認できる．撥水剤中の吸水抑制効果を持つ粒子がコンクリート上面全体に浸透することで，Ca イオン溶出量が抑制できたと考えられる．

4．実大 PC 桁への白華抑制効果に関する実験

（1）実験概要

これまでの試験から撥水剤を用いると筋状白華が抑制できる可能性がみられたので，白華が顕在化する冬季に実大の 50N/mm² の PC 桁（断面：640mm×700mm）に撥水剤を塗布して白華抑制効果を検証した．撥水剤の希釈度は 3 倍とした．PC 桁を脱型後，コンクリートの上面かつ側面にローラーを用いて各薬剤を塗布した．各薬剤の塗布量は 100g/m² で統一した．薬剤塗布後，屋外に設置し，材齢 14 日目の供試体を撮影することで白華抑制効果を確認した．

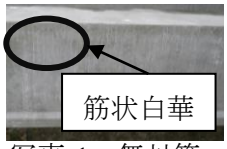

写真-1　無対策

写真-2　撥水剤

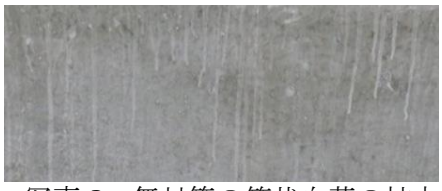

写真-3　無対策の筋状白華の拡大

（2）実験結果および考察

実大 PC 桁での実験より，写真-1 では筋状白華が発生している．しかし，撥水剤では，写真-2 に示すように筋状白華が抑制できていることが確認された．

5．まとめ

供試体を用いた試験において，白色要因物質析出抑制と Ca イオン溶出抑制に，アクリル系の撥水剤塗布が有効であることを確認できた．さらに，この撥水剤を実大の PC 桁に塗布することにより筋状の白華が抑制できた．

参考文献

1) 福岡紀枝，酒井田直樹，斎藤尚，福手勤：白華の再現方法および画像解析による定量評価方法の検討，コンクリート工学，Vol.35，No.1，pp.691-696，2013