けい酸塩系表面含浸材の塗布効果に及ぼすセメント種類の影響

前橋工科大学　学生会員　○小池　拓斗
正会員　佐川　孝広

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久力向上，長寿命化のため様々な技術開発が行われている．特に，コンクリートの表層品質を改善させる表面含浸材(けい酸塩系，シラン系)が注目されている．けい酸塩系表面含浸材とは，空隙内でコンクリート中の水酸化カルシウム(CH)と反応し，C-S-H ゲルが生成されることで空隙の充填が図られる材料である．未反応の成分が，乾燥によって固化物となる固化型と水が供給されることで再び反応が起きる反応型がある [1].

しかし，表面含浸材がコンクリートの硬化体特性や，セメント水和反応へ及ぼす影響について理解されているとは言いがたく，特に混和材料を用いた際の影響などは知見が不足しているのが現状である．

そこで本研究では，表面含浸材がコンクリートに及ぼす上記の影響を包括的に評価し，けい酸塩系表面含浸材の塗布効果に及ぼすセメント種類の影響について検討した．

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究では，普通セメント（N），無水石こう入り高炉スラグ微粉末(BFS)，JIS 規格標準砂を用いた．実験に用いたセメントは N, N に BFS を内割 45%置換した高炉セメント B 種（BB）の 2 種類とした．表面含浸材はけい酸ナトリウムとけい酸リチウムを混合したけい酸塩系(統合型)を用いた．

2.2 実験方法

(1)供試体の作製

セメントペーストおよびモルタルの水セメント比は 50%とした．養生方法は水中，湿布，塗布の 3 種類とした．水中養生のセメントペーストは，40×55mm のチャック付ポリ袋に薄板状に成型した．塗布，湿布養生のセメントペースト 40×40×160mm の型枠に成型し，脱型後 40mm に切断した．供試体側面 1 面を解放面とし，他面はアルミテープで封かんした． モルタルは JIS 配合とし，φ50×100mm の円柱供試体に成型した．ペーストおよびモルタルの養生方法と表面含浸材の塗布方法を表 1 に示す．ペースト供試体は 40×40mm の 1 面を塗布面とし，モルタルは供試体全面に塗布した．なお，湿布，塗布ともに BB の湿潤養生期間は N より 2 日間長く設定した [2].

表 1　養生方法と測定材齢

パターン	脱型		養生方法	測定材齢	
	N	BB		N	BB
水中	1日		20°C水中養生	3，7，28，91日	
塗布	1日	3日	100 g /m³を2回塗布 →20°C60％R.H.	3，7，28，91日	7，28，91日
湿布	1日	3日	Nは材齢3日,BBは材齢5日まで湿布 →20°C60％R.H.		

(2)強熱減量

供試体は，中性化の影響を排するため解放面から 2mm 程度を切断し，そこから 5mm 程度を測定試料とした．試料は多量のイソプロパノールにて水和停止後真空脱気し，40℃24h の乾燥を行った．乾燥試料は遊星ミルにて微粉砕．N は 950℃，BB は 900℃で 30 分加熱し，強熱後の質量に対する減量を結合水率として求めた．

(3)粉末 X 線回析(XRD)

N，BB のペースト試料の XRD 測定を行い，セメント反応率を算定した．

(4)モルタル圧縮強度

表 1 に示す材齢にて各養生条件でのモルタル供試体の圧縮強度を測定した．

(5)凍結融解

モルタルは 15cm³ のスチロール棒瓶に成型し，材齢 28 日まで養生後，供試体は 3%の NaCl 水溶液に 48 時間浸漬させた後に表乾質量を測定し，凍結融解を行った．凍結融解作用は 24 時間を 1 サイクルとし，凍結温度-20℃で 16 時間，融解温度+20℃で 8 時間とし，所定の凍結融解サイクル終了毎に供試体の表乾質量を測定し，試験開始時の表乾質量を 100%とした質量残存率として評価した [3].

キーワード　表面含浸材，けい酸塩，塗布効果，セメント種類
連絡先　〒371-0816　群馬県前橋市上佐鳥町 460-1　TEL：027-265-0111

3. 実験結果および考察

図 1 に N，BB の圧縮強度を示す．N，BB ともに材齢 3，7 日強度は養生条件による差異は認められず，材齢 28 日以降では塗布，湿布で強度増進は小さかった．以上から，本試験の範囲で含浸材の塗布が圧縮強度に及ぼす影響は小さいといえる．

図 2 に結合水率と圧縮強度の関係を示す． BB では，養生条件に関わらず結合水率と圧縮強度に相関が認められた．しかし N では，塗布での結合水率の増大に伴う強度増進が他と比較して小さかった．塗布面の表層を測定試料としたペースト供試体では，含浸材の反応の影響が顕著となり結合水率が増大し，一方のモルタル供試体では，表層での C-S-H の生成が強度発現に結びつかなかったと推測される．

図 3 に N，BB の凍結融解試験結果を示す．N，BB ともに水中が最も凍結融解抵抗性が低かった．本実験では試験開始前の事前吸水を行っているが，水中と湿布・塗布とでは飽水度に差があり，飽水度の高い水中の凍結融解抵抗性が低くなったと考えられる [3]．BB は湿布，塗布の凍結融解抵抗性は同程度であった．N では湿布は 15 サイクルを超えた時点でスケーリングが進行し，塗布はスケーリングが認められないまま，供試体は一気に崩壊した．N，BB のいずれも湿布，塗布でサイクル初期の質量増加が認められ，融解工程での飽水度の増大やセメント水和反応の進行等が考えられる．さらに，N の塗布でこの傾向が顕著なのは，これに加えて含浸材の反応の進行も考えられる．ただし N の塗布は含浸材の反応で表層が緻密化し，スケーリングを生じることなく内部ひび割れが発生したことで表乾質量が増大したとも考えられ，サイクル初期の質量の増加は複数の要因が影響した結果と推測される．

以上の図 2，図 3 の結果から，本実験条件では含浸材の反応は BB に比較して N でより進行していると考えられる．また本実験は，含浸材塗布後の養生条件は 20℃RH60%の気中養生とした．含浸材の反応には CH と水分の供給が必要であり，塗布後の養生条件の影響の検討が今後必要と考えている．

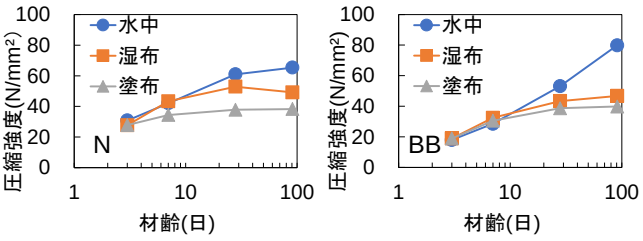

図 1　材齢と圧縮強度の関係

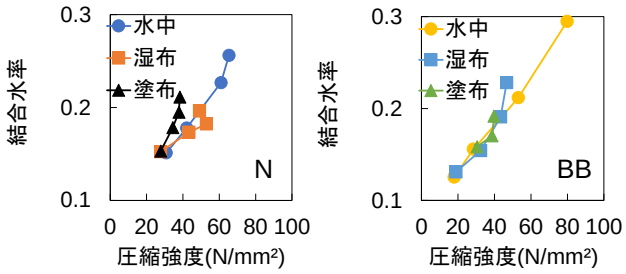

図 2　結合水率と圧縮強度の関係

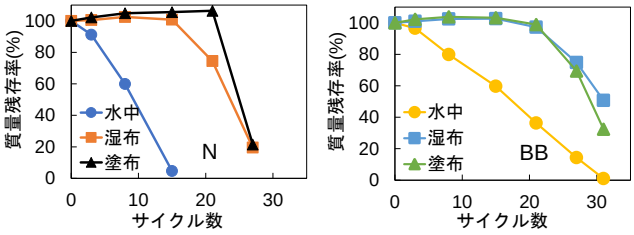

図 3　凍結融解試験結果

4. まとめ

本実験で得られた結論をまとめる．

(1)圧縮強度試験では，含浸材の塗布効果は N，BB ともに認められなかった．

(2)含浸材の塗布が凍結融解抵抗性に及ぼす影響は，BB では顕著には認められず，N ではスケーリングが抑制され，内部ひび割れによる劣化が生じた．

(3)本実験条件では，含浸材の反応は BB と比較して N でより進行していると考えられた．

参考文献

1） 遠藤裕丈：シラン系およびけい酸塩系表面含浸材の適切な使い方，道路構造物ジャーナル NET，2014，https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/series/13340/

2） 土木学会：コンクリート標準示方書［施工編］，2017

3） 佐川孝広，山本真奈海：高炉スラグの化学組成が高炉セメントの硬化体特性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，2021