

論文 コンクリート表面改質材による塩害・凍害複合劣化抑制に関する研究

谷本 文由^{*1}・濱 幸雄^{*2}・新 大軌^{*3}・齊藤 恒雄^{*4}

要旨：塩分供給環境下において、コンクリートに塗布するケイ酸系表面改質材とシラン系表面改質材を組み合わせたコンクリートの RILEM-CDF 法による凍結融解抵抗性能試験を行った。コンクリートを打設してからコンクリートに表面改質材を塗布するまでの期間とそれぞれの表面改質材の組合せ・塗布方法によって、凍結融解抵抗性が変動する結果となった。塗布するまでの期間が2週間のものおよび期間が3週間以上のものの最適な組合せ・塗布方法を明らかにした。

キーワード：RILEM-CDF 法, ケイ酸系表面改質材, シラン系表面改質材, 組合せ・塗布方法

1. はじめに

近年、コンクリートの劣化対策として施工が容易且つ比較的安価である表面改質技術が注目され、ケイ酸系表面改質材はコンクリート表面の組織を緻密化し、また、シラン系表面改質材は吸水防止効果により、塩害や凍害防止、中性化抑制など総合的な劣化対策が行われる材料として期待されている。しかし、既往の研究^{1) 2) 3)}では種類にもよるが、塩分供給環境下におけるケイ酸系表面改質材は複合劣化防止に効果があるという報告と効果が期待できないという報告もある。一方でシラン系表面改質材の方がケイ酸系より効果があるというものもあれば、劣るというものもあり様々である。

そこで、表面改質材の改良という観点から、ケイ酸系表面改質材の緻密効果に加え、シラン系表面改質材の吸水防止効果を重ね合わせることで塩分供給環境下においても凍害防止効果が向上するのではないかと考えた。また、シラン系表面改質材は打設から早期に表面改質材を塗布した場合、吸水防止効果のため水和反応が十分進行しないことの懸念も考えられた。

本研究の目的は、ケイ酸系表面改質材とシラン系表面改質材の併用効果により、塩分供給環境下においても凍害による劣化に効果を示せるかを検討すると共に、改質材を塗布する時期による劣化抑制効果を検討したものである。

2. 実験方法

2.1 実験材料

実験に使用したコンクリート材料および表面改質材を表-1、コンクリートの配合を表-2、生コンクリートの性状を表-3に示す。

2.1.1 表面改質剤

ケイ酸系表面改質材は表層組織の緻密化を効果とした主成分をケイ酸リチウムのもを使用し、シラン系表面改質材Aは吸水防止層の形成を効果とした主成分がアルキルアルコキシシランのもので、シラン系表面改質材Bは撥水層の形成を効果とした水系シランを主成分としたものを使用した。

2.1.2 コンクリート

コンクリートの材料は北海道産の天然骨材を使用し、コンクリートの空気量は早期に凍害劣化を起こさせることを目的に AE 剤を使用せず、消泡剤を使用して、目標空気量を $2 \pm 0.5 \%$ となるよう調整した。

表-1 使用材料

記号	材 料	種類or主成分	密度(g/cm ³)
W	水	地下水	1.00
N	普通ポルトランドセメント		3.16
BB	高炉セメントB種		3.05
S	細 骨 材	浦河町杵白産陸砂	2.64
G	粗 骨 材	浦河町杵白産陸砂利	2.70
K	ケイ酸系改質材	ケイ酸リチウム	—
S-A	シラン系改質材A	アルキルアルコキシシラン	—
S-B	シラン系改質材B	水系シラン	—

表-2 コンクリートの配合表

試験体名	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(Kg/m ³)				
			W	C	S	G	消泡剤
N	55	45	165	300	879	1102	12.00
BB	55	45	169	308	869	1085	12.32

*1 J F E ミネラル (株) 環境プロジェクト部 部長 (正会員)

*2 室蘭工業大学大学院 工学研究科くらし環境系領域准教授 博士 (工学) (正会員)

*3 室蘭工業大学大学院 工学研究科くらし環境系領域助教 博士 (工学) (正会員)

*4 (株) マレックス技研 技術部 部長 (正会員)

表-3 生コンクリートの性状

試験体名	スランプ(cm)	空気量(%)	温度(°C)
N	8.0	2.2	14
BB	8.5	2.1	13

2.2 実験計画

φ 10cm × 20cm のコンクリート供試体の上面に打込み2週, 3週, 5週間経過後に「ケイ酸系表面改質材を1回塗布・シラン系表面改質材Aを2回塗布したもの」と「ケイ酸系表面改質材を2回塗布・シラン系表面改質材Aを1回塗布したもの」および「ケイ酸系表面改質材を2回塗布・シラン系表面改質材Aを塗布後, シラン系表面改質材Bを1回塗布したもの」とし, 比較用に無塗布のもの4水準とした。実験の組合せを表-4に示す。

表-4 組合せ

試験体名	セメント	改質材塗布時期	改質材種類・塗布回数	
N-ムトフ	普通	—	無塗布	
N-2W-A			K1回, S-A2回	
N-2W-B			K2回, S-A1回	
N-2W-C		打込み2週間後	K2回, S-A1回, S-B1回	
N-3W-A			ポルト	K1回, S-A2回
N-3W-B				ランド
N-3W-C		セメント		
N-5W-A			打込み5週間後	
N-5W-B				K2回, S-A1回
N-5W-C		K2回, S-A1回, S-B1回		
BB-ムトフ		高炉	—	無塗布
BB-2W-A				K1回, S-A2回
BB-2W-B	K2回, S-A1回			
BB-2W-C	打込み2週間後		K2回, S-A1回, S-B1回	
BB-3W-A			セメント	K1回, S-A2回
BB-3W-B				B種
BB-3W-C	打込み3週間後			
BB-5W-A			打込み5週間後	
BB-5W-B				K2回, S-A1回
BB-5W-C	K2回, S-A1回, S-B1回			

シラン系表面改質材とケイ酸系表面改質材の併用効果による塩害と凍害の複合劣化に対する抵抗性についての性能を評価するために, RILEM-CDF法による凍結融解試験を行った。

RILEM-CDF法は下面吸水条件で一面凍結融解を行うもので, 凍害劣化とあわせて凍結融解条件下での吸水性状を測定することにより, 限界飽水度も把握することができるものである。脱型後, 20°C, 湿度60%で気中養生し, 表面改質材を塗布後も同様の養生として, 全ての

供試体の養生日数は5週間+3日となるようにした。その後, 試験体側面をブチルゴム付のアルミテープでシールし, 7日間の下面吸水を行い, CDF試験装置で最高温度+20°Cを1時間保持, 最低温度-20°Cを3時間保持, 温度勾配±10K/h rで1日2サイクルの下面吸水状態での一面凍結融解試験を28サイクル繰り返した。その後, 20°Cで2週間乾燥し, 再び下面吸水状態での一面凍結融解試験を28サイクル繰り返した。試験溶液として3%のNaCl溶液を用いた。

図-1に実験のフローチャートを示す。

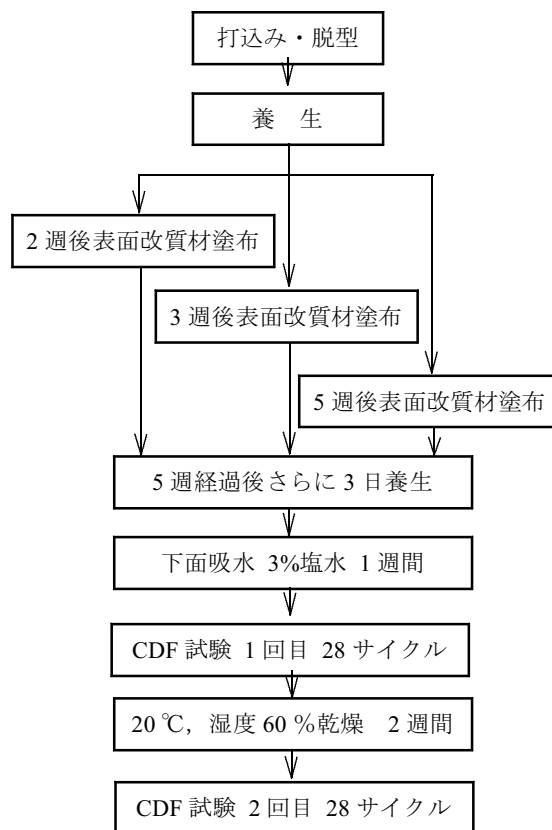


図-1 実験フローチャート

2.2 測定項目

2.2.1 吸水率

各測定サイクル時に試験容器ごと3分間の超音波洗浄を行った後, 供試体に付いた水を拭き取り, 質量を測定し吸水率を求めた。

2.2.2 剥離量

超音波洗浄後, 溶液を濾過し, 剥離片を105°Cで24時間乾燥させ, 剥離片の質量を測定した。

2.2.3 縦振動の1共鳴振動数

JIS A 1127共振法デジタル式動弾性係数測定器SS-Aを用いて供試体のたわみ振動の1次共鳴振動数を測定した。

3. 実験結果

3.1 剥離量

図-2～7にサイクル数と剥離量の関係を示す。いずれの試験体においても無塗布に比べて剥離量が抑制されており、表面改質材の効果が見られる。

セメントの種類による傾向をみると、NよりBBの方が剥離量が多くなっている。これは、水セメント比が同一であるためNの方がBBより呼び強度が高くなり、初期強度も早期に発現するためと考えられる。

塗布時期による傾向は、N、BBいずれにおいても、塗布時期2WではBの組合せの剥離量が最小を示した。また、塗布時期3Wおよび5WでAの組合せが最小を示し、B、Cの組合せの順に大きくなった。1回目より2回目からのサイクル数の増加による剥離量の増加の割合が大きくなる傾向を示すものが多い。

図-8に組合せと総剥離量の関係を示す。2回目の総剥離量が1回目終了時の2倍以上で、多いものは5倍程度となった。

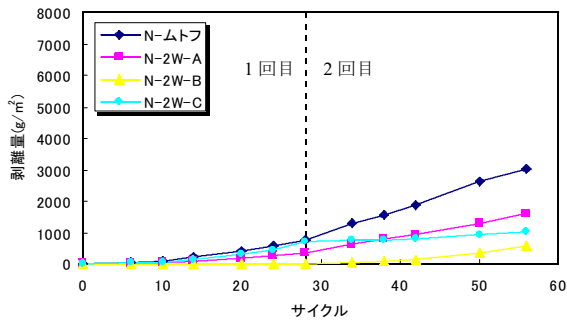


図-2 サイクル数と剥離量の関係(N-2W)

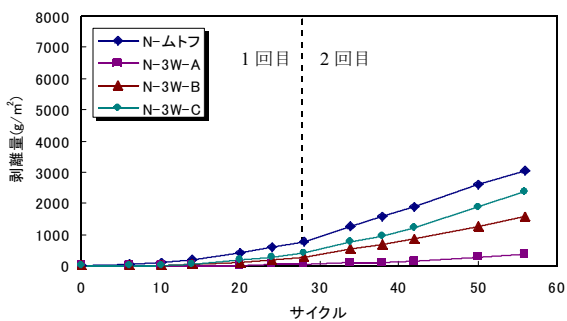


図-3 サイクル数と剥離量の関係(N-3W)

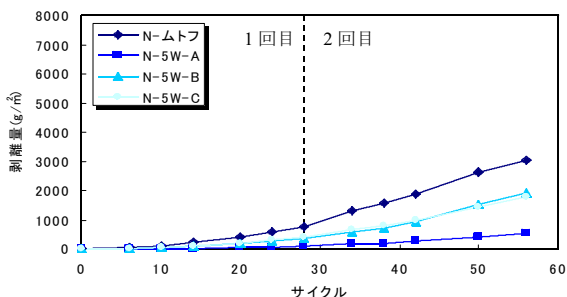


図-4 サイクル数と剥離量の関係(N-5W)

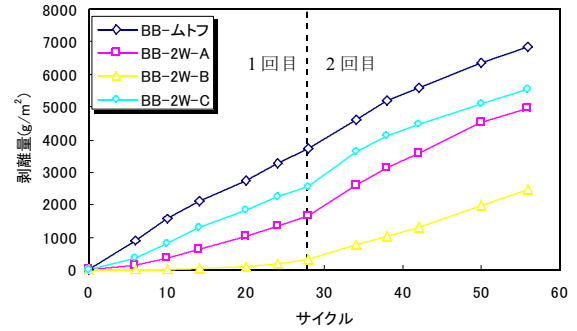


図-5 サイクル数と剥離量の関係(BB-2W)

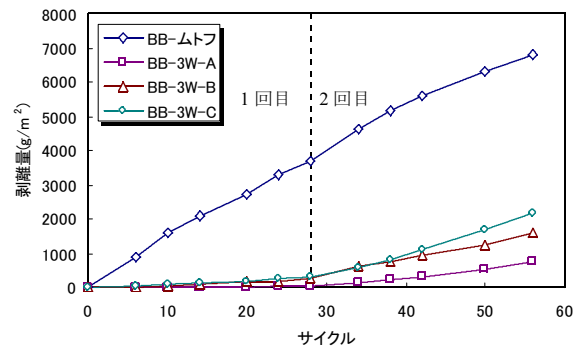


図-6 サイクル数と剥離量の関係(BB-3W)

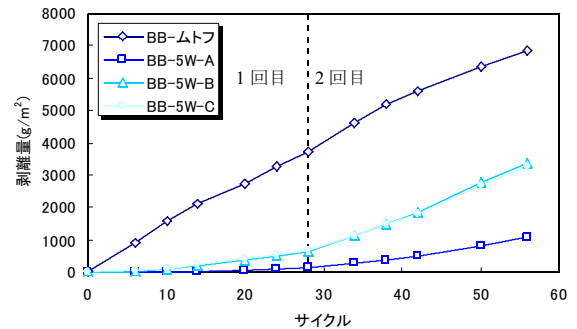


図-7 サイクル数と剥離量の関係(BB-5W)

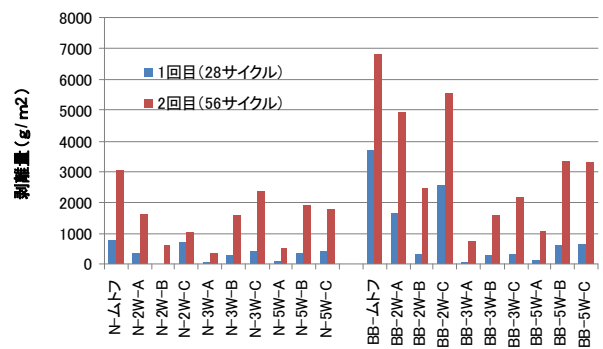


図-8 組合せと総剥離量の関係

3.2 吸水率

図-9～14にサイクル数と吸水率の関係を図-15に組合せと吸水率の関係を示す。ムトフと比べて吸水が抑制されたもの、促進されたものが見られ、2回目終了時の

吸水率の順序は1回目終了時の吸水率の順序と同じであった。N, BBともに2WではBの組合せの吸水率が最小を示し, 3Wおよび5WではAの組合せが最小を示す結果となった。この傾向は, サイクル数と剥離量の関係と似たような傾向を示し, 試験直後の下面吸水率試験結果において, 吸水率が最も小さいものは, 最終吸水率まで最小となり, その順位は一部を除き, ほぼ一定となっている。また, 全てにおいて1回目の傾きが2回目の傾きより急になった。これは, 凍結融解作用時に1回目の方が2回目より強く Micro-ice lens pomp 効果の影響を受けたものと思われる。

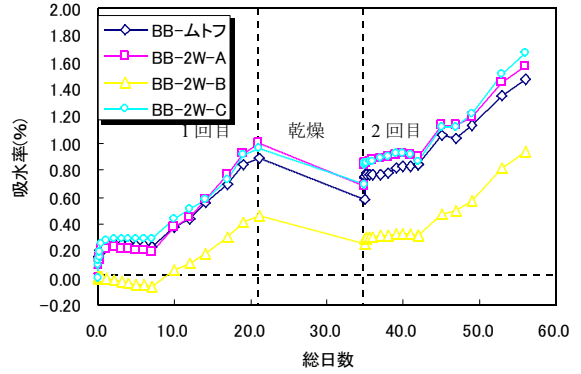


図-12 総日数と吸水率の関係(BB-2W)

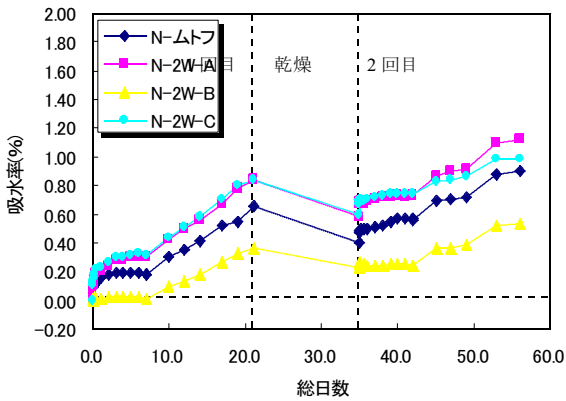


図-9 総日数と吸水率の関係(N-2W)

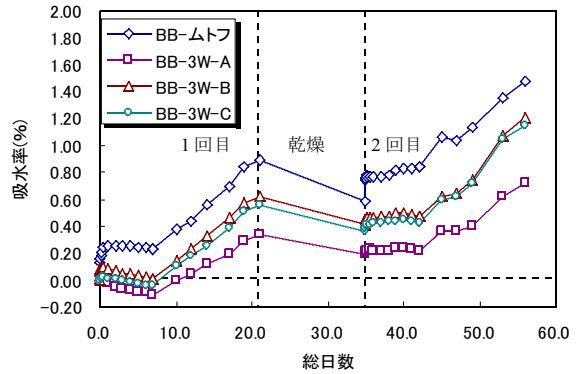


図-13 総日数と吸水率の関係(BB-3W)

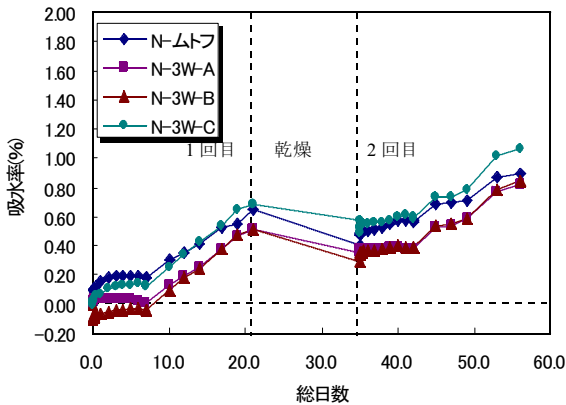


図-10 総日数と吸水率の関係(N-3W)

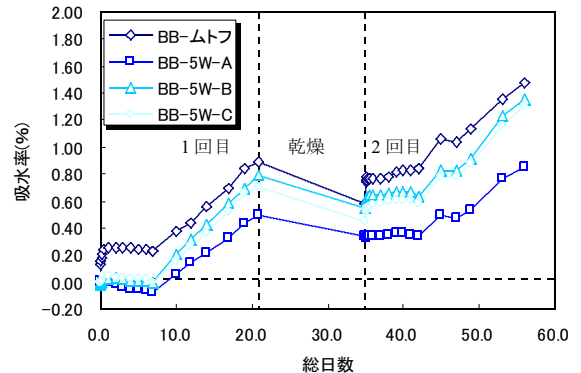


図-14 総日数と吸水率の関係(BB-5W)

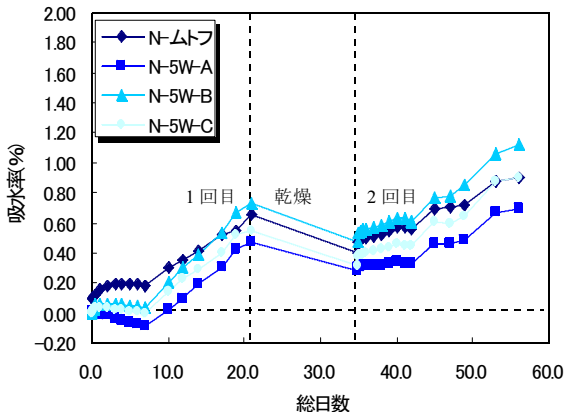


図-11 総日数と吸水率の関係(N-5W)

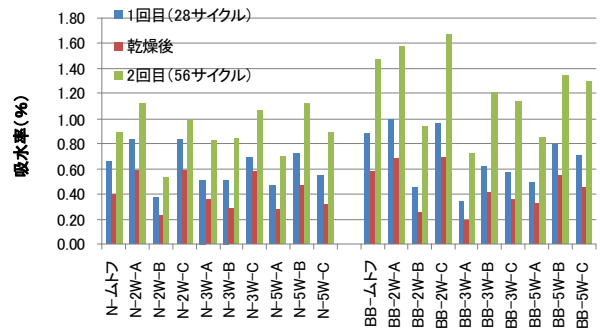


図-15 組合せと吸水率の関係

3.3 相対動弾性係数

図16~21にサイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。Nでは1回目, 2回目終了時の凍結融解試験は全てで相

対動弾性係数の低下は見られなかった。BBの2回目の凍結融解試験では、ムトフに相対動弾性係数の低下が見られたが、他はムトフの半分程度の低下に抑えられ、凍害抑制効果を示しており、剥離量・吸水率と同様の傾向が見られた。

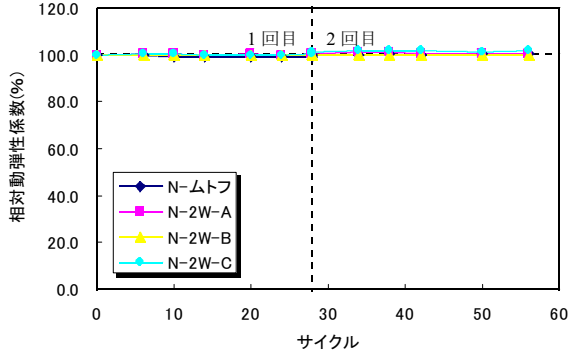


図-16 サイクル数と相対動弾性係数の関係 (N-2W)

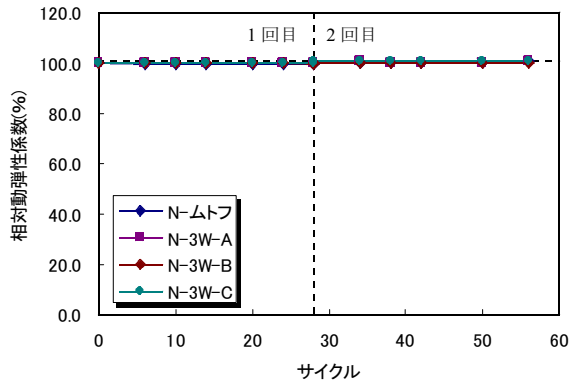


図-17 サイクル数と相対動弾性係数の関係 (N-3W)

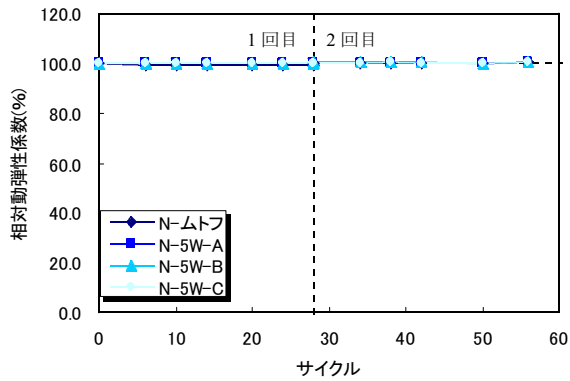


図-18 サイクル数と相対動弾性係数の関係 (N-5W)

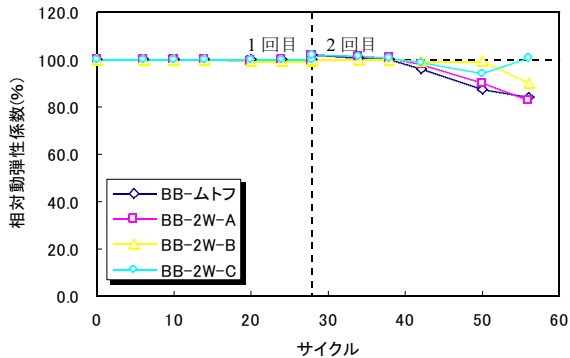


図-19 サイクル数と相対動弾性係数の関係 (BB-2W)

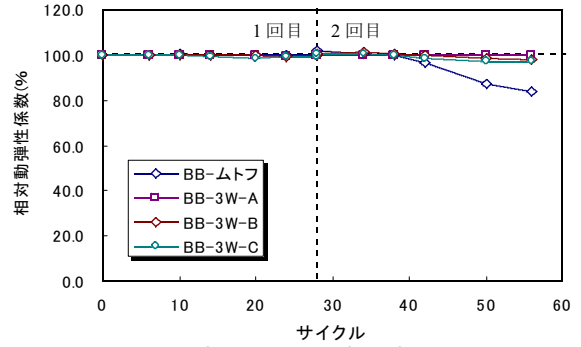


図-20 サイクル数と相対動弾性係数の関係 (BB-3W)

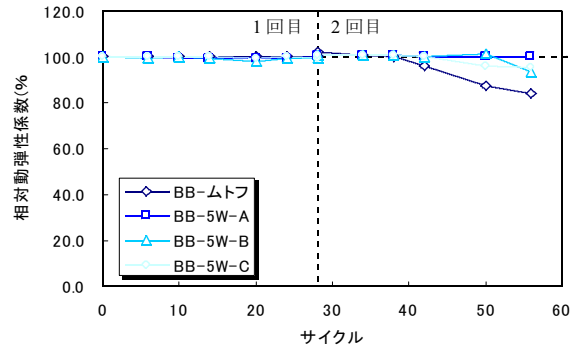


図-21 サイクル数と相対動弾性係数の関係 (BB-5W)

3.4 吸水率と相対動弾性係数

図-22, 23に吸水率と相対動弾性係数の関係を示す。相対動弾性係数の大きな低下が見られなかったので、吸水率との関連づけは難しいが、図-23よりBBにおいては吸水率が上がると相対動弾性係数が低下する傾向があると推測できる。

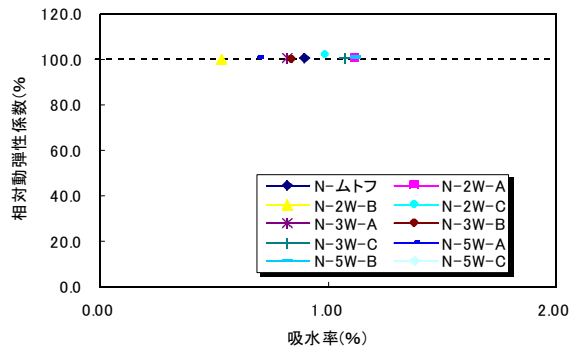


図-22 吸水率と相対動弾性係数の関係 (N)

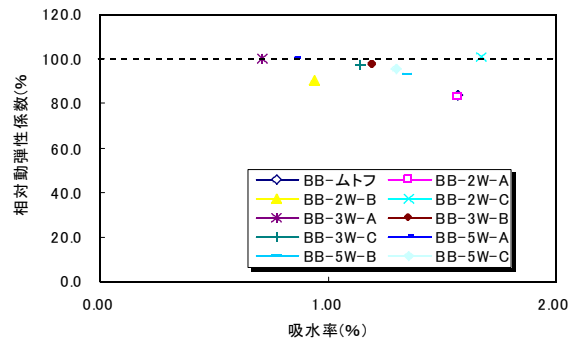


図-23 吸水率と相対動弾性係数の関係 (BB)

3.4 吸水率と最終剥離量

図-24, 25に吸水率と最終剥離量の関係を示す。Nの相関係数が0.5754でBBは0.9147となり、BBの方が相関係数が大きい結果となった。また、BBでは吸水率が大きくなると剥離量が大きくなり、一般的に言われている吸水率の大きいコンクリートは凍害に弱いという結果を表している。

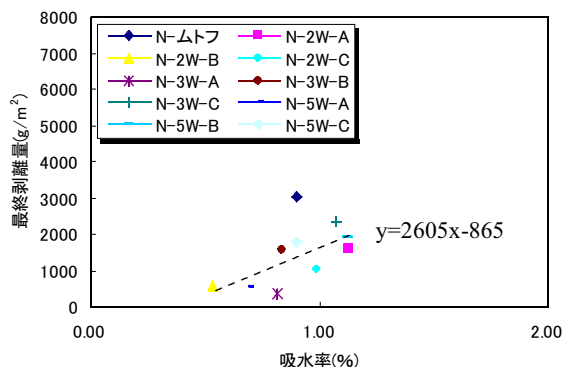


図-24 吸水率と最終剥離量の関係(N)

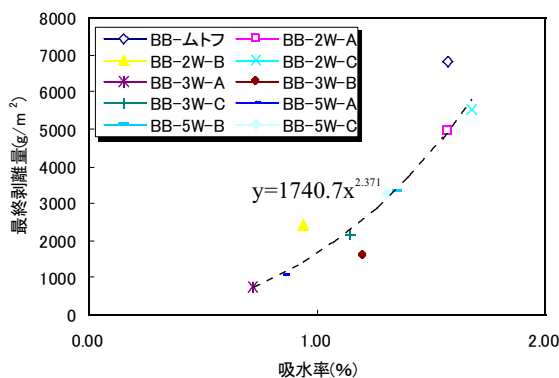


図-25 吸水率と最終剥離量の関係(BB)

4. 結論

ケイ酸系表面改質材とシラン系表面改質材を併用した結果、全ての供試体について、無塗布に比べて剥離量が小さく、相対動弾性係数の低下も小さくなり、表面改質材による塩害と凍害の複合劣化に対する耐久性は高くなる結果となった。しかし、吸水率は条件によって、無塗布に比べて大きくなる場合があった。

本研究結果より、以下のことが言える。

i) コンクリート打設から2週間で塗布する場合

ケイ酸系表面改質材2回・シラン系表面改質材(主成分:アルキルアルコキシシラン)1回塗布の組合せが最適である。

ii) コンクリート打設から3週間以降

ケイ酸系表面改質材1回・シラン系表面改質材(主成分:アルキルアルコキシシラン)2回塗布の組合せが最適である。

参考文献

- 1) 武田三弘, 大塚浩司: 浸透性吸水防止材によるコンクリートのスケーリング抑制効果に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.18No.1, Issue43, pp1-8, 2007
- 2) 遠藤裕丈, 田口史雄, 小野俊博, 登靖博: ケイ酸塩系表面含浸材を施工したコンクリートのスケーリング抵抗性の基礎的評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.29No.1, pp1203-1208, 2007
- 3) 遠藤裕丈ほか: シラン系表面含浸材によるコンクリートのスケーリング抑制対策に関する研究-試験施工1年目の評価-, 寒地土木研究所月報, No.640, pp10-20, 2006. 9