

論文 表面被覆・改質を行った中品質再生粗骨材コンクリートの耐凍害性

長谷川 拓哉^{*1}・千歩 修^{*2}

要旨：中品質再生骨材を使用したコンクリートは、普通骨材を使用したコンクリートと比較して一般に耐凍害性が低いと言われており、使用する場合、凍結融解作用を受けない地域または部位に限定されているのが現状である。本研究は、用途拡大のための基礎的検討として、再生粗骨材Mを使用したコンクリートの表面被覆・表面改質による耐凍害性の変化を明らかにすることを目的とし、実験的検討を行った。その結果、軽微な乾燥により耐凍害性が向上すること、仕上材は凍害劣化を遅らせる効果があること、表面改質材は条件によって耐凍害性を低下させる場合があること等の知見を得た。

キーワード：再生粗骨材M, 耐凍害性, 仕上材, 表面改質材, 乾湿繰返し

1. はじめに

近年、再生骨材に関して、JIS 制定等の動きがあり、今後、使用量が増大していくことが予想される。しかし、中低品質の再生骨材を用いたコンクリートは、一般に普通骨材を用いたものに比べ、乾燥収縮性状、耐凍害性等で劣るとされており、その用途を限定されているのが現状である。長期的な視点にたてば、より多く生産可能で低コストである中低品質再生骨材の用途拡大に目を向ける必要があると考えられる。

ここで、建築物では一般に仕上材が施工される場合が多く、土木構造物でも維持管理の観点から表面被覆材・表面改質材等を施工する場合が増えてきている。こうした仕上材等には、鉄筋コンクリート部材を一定程度保護する効果があることが知られており、中低品質再生骨材を用いたコンクリート部材の耐久性を向上させる可能性がある。しかし、その点に関し、明らかになっていない点が多いのが現状である。

本研究は、表面被覆・改質を行った中低品質再生骨材コンクリートの耐久性を明らかにすることを目的としている。本報では再生粗骨材M

を用いたコンクリートの耐凍害性を対象とし、各種表面被覆材（以下「仕上材」）及び表面改質材を施工した場合の耐凍害性について、実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験の概要

実験計画を表-1 に、実験フローを図-1 に、使用したコンクリートの調合及び基礎性状を表-2 に示す。実験は、水セメント比 50%の再生粗骨材Mを用いたAEコンクリートに、各種仕上材及び表面改質材を施工した試験体について、JIS A 1148 A 法（水中凍結・水中融解）に準じて凍結融解試験を行った。凍結融解試験前の条件として、図-1 に示す所定の養生後すぐと、実環境を考慮した乾湿繰返し¹⁾を7サイクル（以下「d7」と呼称）行った後とした。試験体は、図-2 に示す通り、7.5×7.5×40cmの角柱試験体とし、7.5×40cmの4面に仕上材または表面改質材をメーカー指定の塗付量で施工した。7.5×7.5cmの小口2面はエポキシ樹脂によりシールを行った。なお、仕上材は、専門技術者が施工した。使用した仕上材・表面改質材の概要を表-3 に示

*1 北海道大学 大学院工学研究科 空間性能システム専攻 准教授 博士（工学）（正会員）

*2 北海道大学 大学院工学研究科 空間性能システム専攻 教授 工学博士（正会員）

す。仕上材は、建築物に一般的に用いられている3種類の建築用仕上塗材を選定した。仕上材の物質透過性の程度を把握するため、濾紙下地の仕上学会法²⁾によって透湿量を測定した。表面改質材は、主に防水剤として使用されているものについて、メーカーの異なる珪酸塩系の2製品を選定した。また、仕上材と表面改質材の組合せの影響をみるため、両者を組合せたものの試験も行った。

3. 再生粗骨材Mコンクリートの耐凍害性

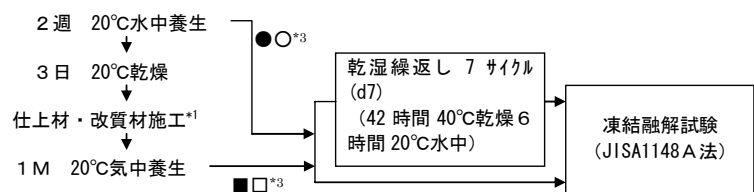
図-3に、コンクリートのみの試験体について、試験開始前条件を変えた凍結融解試験結果を示す。相対動弾性係数の結果から、2週水中養生後すぐに試験したものは早期に相対動弾性係数が低下しているが、乾湿繰返し後および1ヶ月乾燥後に試験したものは低下が遅くなり、耐凍害性が向上していることがわかる。質量変化率をみると、1ヶ月気中養生後に試験したものは、

試験開始からしばらく吸水により質量が増加していることから、乾燥によって含水状態が低くなったと考えられる。これから、乾湿繰返しまたは乾燥によってコンクリートの含水状態が低下した影響により、耐凍害性が向上したと考えられる。また、1ヶ月気中養生+乾湿繰返し後に試験したものは、1ヶ月気中養生後に試験したものより耐凍害性が低下している。これは乾湿繰返しによって、1ヶ月気中養生したものよりも含水状態が高くなった影響と考えられる。ここで、吸水率が高い等、再生粗骨材Mと似た性質をもつ人工軽量骨材を用いたコンクリートは、乾燥によって耐凍害性が向上することが報告されている³⁾⁴⁾。JIS A 5002-2003⁴⁾の解説によれば、このような人工軽量骨材は、養生後すぐの含水状態が高い状態で凍結融解試験を行うと、耐凍害性が低いと評価されるため、実際の使用条件を考慮し、14日間の乾燥後、凍結融解試験を行うことについての記載がある。これまで、

表-1 実験計画

表面処理種類	試験種類
なし	●○■□
薄塗E	■□*
防水形薄塗E	■□*
複層E	■□*
改質材①	■□
改質材②	■□
改質材②+薄塗E	■□
改質材②+複層E	■□

●:2週水中養生後 凍結融解試験(JIS A 1148 A法)
○:乾湿繰返し後 凍結融解試験(同上)
■:1ヶ月気中養生後 凍結融解試験(同上)
□:1ヶ月気中養生+乾湿繰返し後 凍結融解試験(同上)
*:仕上材の透湿試験(仕上学会法・濾紙下地)



*1 改質材+仕上材は、改質材施工後、1日20℃気中養生後、仕上材を施工
*2 48時間吸水後、凍結融解試験を開始 *3 表1中の記号

図-1 実験フロー

表-2 使用したコンクリートの調合及び基礎性状

W/C (%)	S/A (%)	単位質量 (kg/m ³)				空気量 (%)	スランプ (cm)	圧縮強度 (N/mm ²)
		W	C	S	G			
50	44.7	185	370	760	877	4.0	18.0	32.3

*セメント:普通ポルトランドセメント(密度:3.16) 細骨材:勇弘産陸砂(表乾密度:2.61) 粗骨材:再生骨材M(表乾密度:2.21・吸水率:4.6%)

表-3 使用した仕上材・表面改質材の概要

表面処理種類	種類	本論文での呼称	使用量(kg/m ²)			透湿量*3 (g/m ² ・24h)
			下塗	主材	上塗	
仕上材	外装合成樹脂エマルジョン系薄付け仕上塗材	薄塗E	—	1.4	—	188
	防水形外装合成樹脂エマルジョン系薄付け仕上塗材	防水形薄塗E	0.15*1	1.4	—	29
	合成樹脂エマルジョン系複層仕上塗材	複層E	0.15*1	1.5	0.38*2	81
表面改質材	珪酸塩系表面改質材(A社)	改質材①	—	0.35	—	—
	珪酸塩系表面改質材(B社)	改質材②	—	0.2	—	—

*1 水性シーラー *2 水性ウレタン *3 仕上学会法による

4面:仕上材または表面改質材施工

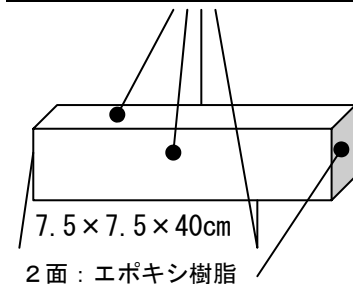


図-2 試験体概要

再生粗骨材Mコンクリートの耐凍害性は、水中養生後すぐに JIS A 1148 A 法を行った結果で評価されることが多かった。しかし、ここに示したように乾燥により耐凍害性が向上することを考えると、人工軽量骨材と同様、実際の使用条件を考慮した評価が必要と考えられる。ただし、使用条件によっては危険側の評価となることも考えられるため、今後、実環境のデータ蓄積を行い、評価することが必要と考えられる。

4. 仕上材・表面改質材を施工した再生粗骨材Mコンクリートの耐凍害性

4.1 乾湿繰返し結果

図-4 に、乾湿繰返し時の性状を示す。仕上材系では、質量変化率、相対動弾性係数ともに、

防水形薄塗E、複層Eは、乾燥／湿潤の変動が小さく、サイクルが進むにつれて質量が小さくなる傾向を示している。一方、薄塗Eでは、乾燥／湿潤の変動が、なし（コンクリートのみ）とほぼ同じ傾向を示している。これは、表-3 に示す透湿量で、薄塗E＞複層E＞防水形薄塗Eの順に小さくなっていることから、仕上材の物質透過性の違いによるものと考えられる。改質材系では、質量変化率、相対動弾性係数ともに、改質材①・②とも、なしに対し、乾燥／湿潤の変動に大きな違いがない結果となっている。また、改質材②に薄塗Eまたは複層Eを施工したものは、表面改質材を施工しない薄塗Eまたは複層Eと、それぞれ同様の乾燥／湿潤の変動を示している。しかし、改質材②+薄塗Eの質量

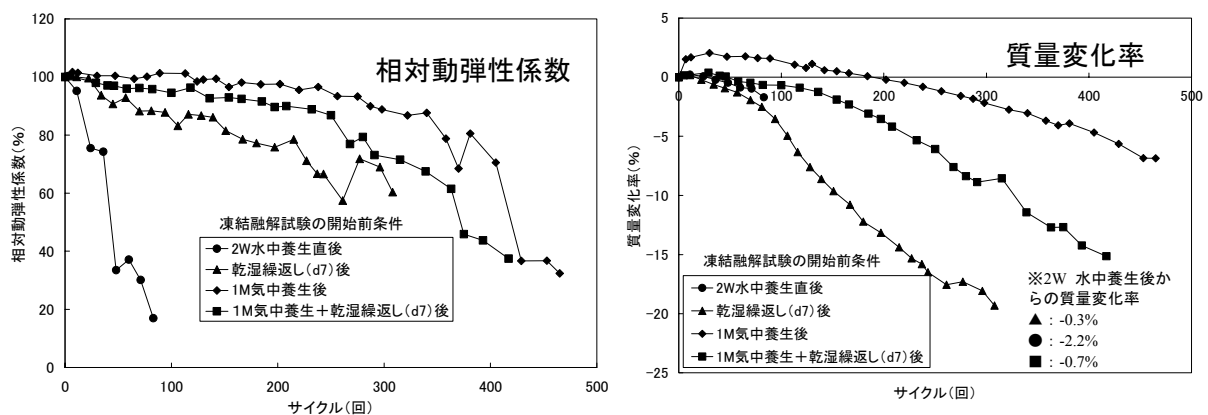


図-3 コンクリートのための試験体の前処理条件を変えた凍結融解試験結果

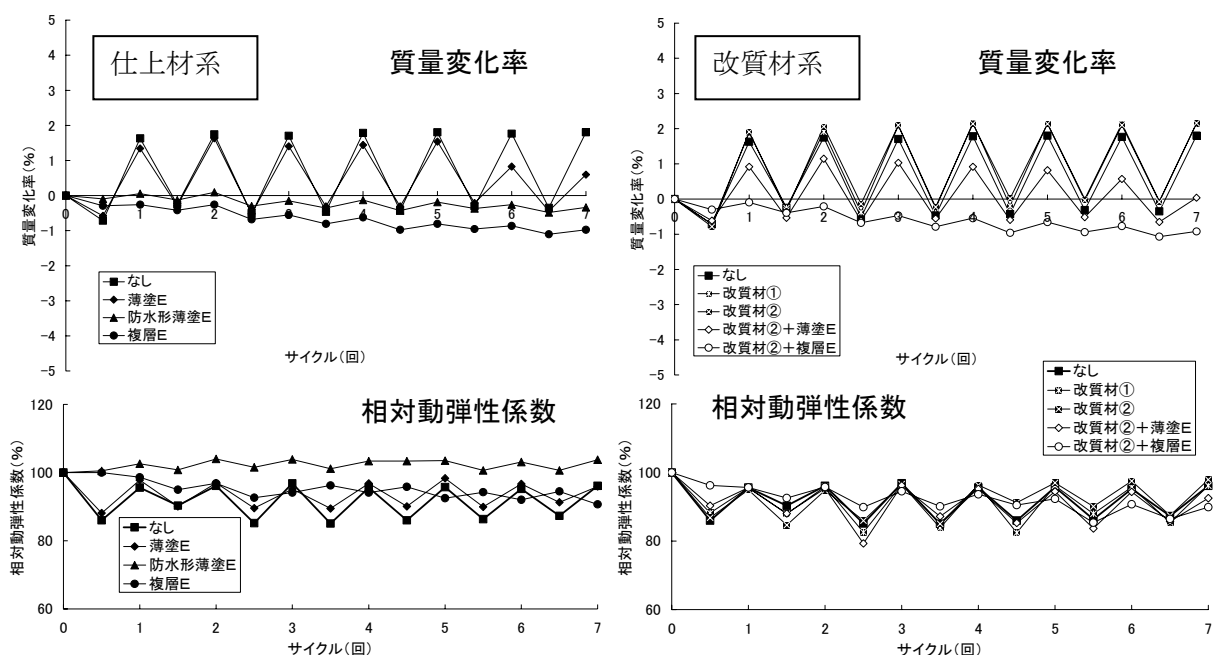


図-4 乾湿繰返し試験結果

変化率は、表面改質材を施工していない薄塗Eに比べて、湿潤時の質量増加が小さい傾向を示している。このことから、乾燥／湿潤の変動は、表面の仕上材の影響が大きい、物質透過性が高い仕上材の場合、下地コンクリートの影響を受けやすいと考えられる。

4.2 凍結融解試験結果

(1) 仕上材等養生後すぐの凍結融解試験結果

図-5に、仕上材等養生後（1ヶ月気中養生後）すぐの凍結融解試験結果（仕上材系）、図-6に同結果（改質材系）をそれぞれ示す。図-5より、仕上材系では、なし（コンクリートのみ）を含め、全ての試験体において300サイクルで相対動弾性係数が90%前後を保った結果となっている。試験を300サイクル以降も継続すると、なし、薄塗E、複層E、防水形薄塗Eの順に相対動弾性係数が低下しはじめる傾向を示しており、仕上材による凍害劣化の抑制効果を確認できた。質量変化率をみると、全ての試験体で質量が増

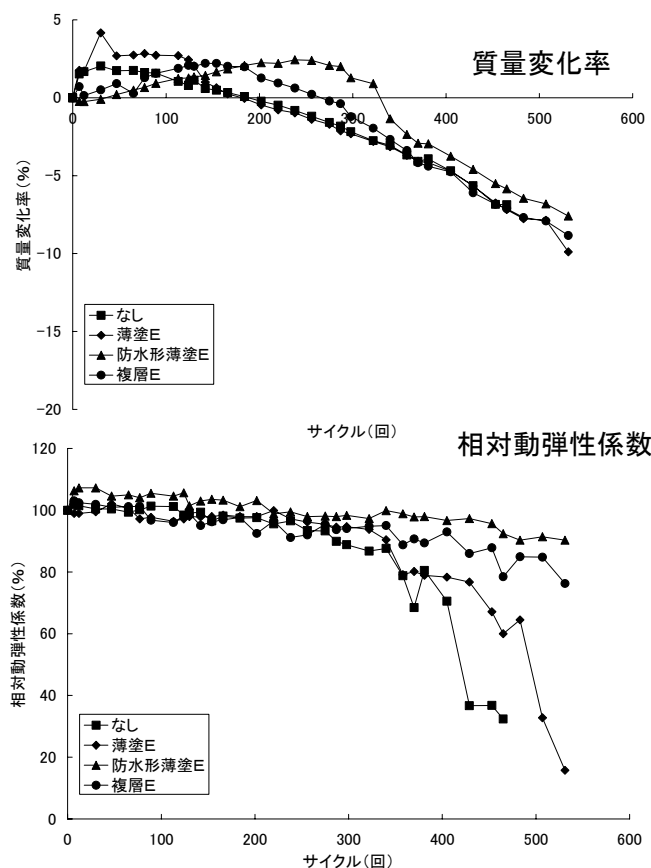


図-5 仕上材等養生後の凍結融解試験結果
(仕上材系)

加後減少する傾向が見られる。増加後減少し始めるまでのサイクルは、なし、薄塗E、複層E、防水形薄塗Eの仕上材の物質透過性が大きい順に遅くなっている。この結果は筆者らの既往の研究⁵⁾と同様の傾向であることから、仕上材は外からコンクリートへの水分供給を遅らせる効果があると考えられる。仕上材によって、コンクリートが高い含水状態となることを遅らせることで、凍害劣化が抑制されると考えられる。

図-6より、改質材系では、改質材①・②がともに、なし（コンクリートのみ）よりも早期に相対動弾性係数が低下する傾向となっている。質量変化率をみると、質量の増加率は、なしよりも改質材①・②が低くなっている。これから、改質材①・②は、なしに比べ気中養生中に乾燥しなかったため、早期に相対動弾性係数が低下したと考えられる。このことから、改質材は、使用条件によっては耐凍害性を低下させる場合があり、注意を要すると考えられる。改質材②

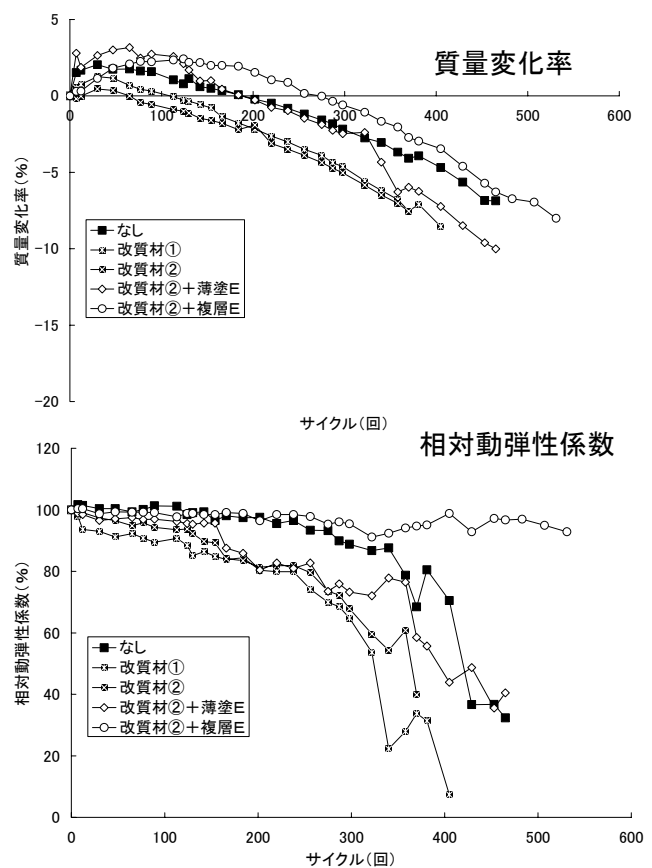


図-6 仕上材等養生後の凍結融解試験結果
(改質材系)

+薄塗Eまたは複層Eは、改質材②に比べて相対動弾性係数の低下が遅く、仕上材の効果が顕著となり凍害劣化が抑制されたと考えられる。

(2)乾湿繰返し後の凍結融解試験結果

図-7に乾湿繰返し後の凍結融解試験結果(仕上材系)、図-8に同結果(改質材系)をそれぞれ示す。仕上材系において、乾湿繰返し後の場合(図-7)は、仕上材等養生後すぐに試験した場合(図-5)よりも、相対動弾性係数が早期に低下していることがわかる。これは、乾湿繰返しによってコンクリートの含水状態が高くなったためと考えられる。また、薄塗Eは、なしよりも相対動弾性係数が早期に低下している。本結果と同様に、防水性が不完全な仕上材(表面被覆材)の場合、仕上材無しよりも劣化が大きくなることが報告^{5), 6)}されており、使用条件によって仕上材選定に注意が必要と考えられる。

改質材①・②ともに、乾湿繰返し後の場合(図-8)は、仕上材等養生後すぐに試験した場合(図

-6)よりも、相対動弾性係数の低下が遅く、耐凍害性が向上している。これは、乾湿繰返しにより表層の養生が進んだためと考えられる。しかし、改質材②+薄塗Eまたは複層Eについては、仕上材等養生後すぐに試験した場合よりも、相対動弾性係数は早期に低下している。これは、コンクリート表面の養生が進んだ効果以上に含水状態が高くなった影響が大きいためと考えられる。これから、仕上材と表面改質材を両方施工する場合、それぞれの効果の特徴を考慮して選定することが必要と考えられる。

(3)乾湿繰返しによる耐久性指数の変化

図-9に仕上材等養生後と乾湿繰返し後の凍結融解試験結果の耐久性指数の関係を示す。一般に、なし(コンクリートのみ)を含め、乾湿繰返し後、耐久性指数が低下している傾向がみられる。これは、前述の通り、仕上材等養生後はコンクリートが乾燥しており、耐凍害性が高かったためと考えられる。改質材①・②は、乾

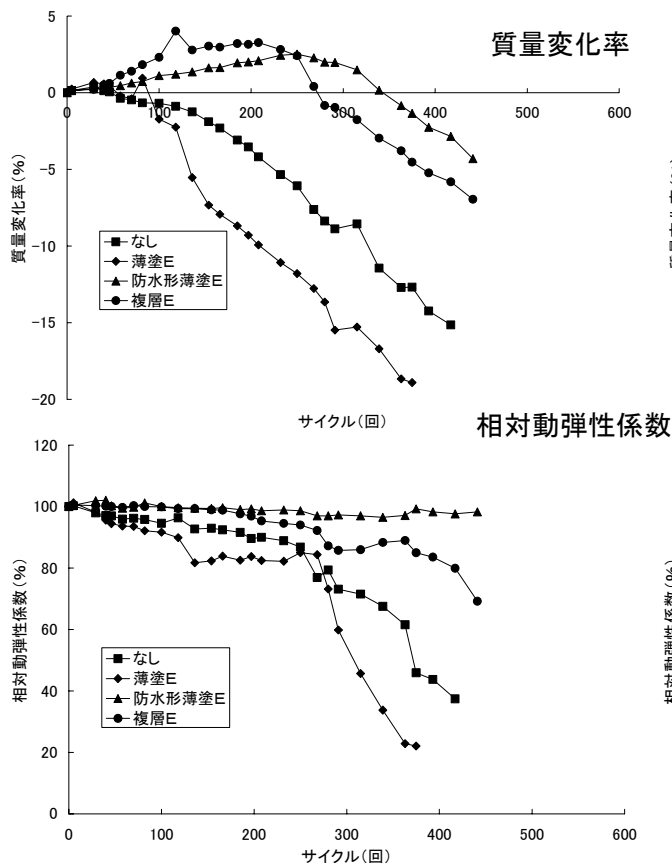


図-7 乾湿繰返し後の凍結融解試験結果
(仕上材系)

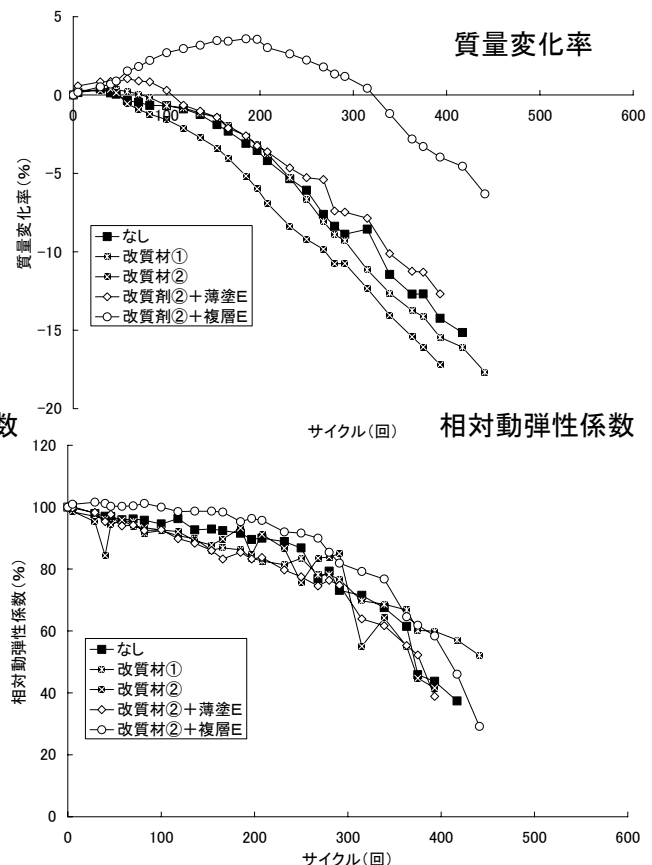


図-8 乾湿繰返し後の凍結融解試験結果
(改質材系)

湿燥返し後、耐久性指数が向上している。乾湿燥返しによる水分供給で養生が進んだためと考えられるが、なしに比べ耐久性指数が小さい結果となっており、表面改質材による耐凍害性の向上は大きくないと考えられる。防水形薄塗Eは、乾湿燥返しの有無で耐久性指数に変化がみられなかった。このことから、仕上材の物質透過性が低ければ、外部からの水分による凍害劣化を抑制できると考えられる。しかし、防水形薄塗Eは、屋外暴露条件では仕上材自体の劣化が生じることが報告⁷⁾されており、仕上材による凍害劣化抑制のためには、仕上材自体の劣化についても考慮に入れる必要があると考えられる。

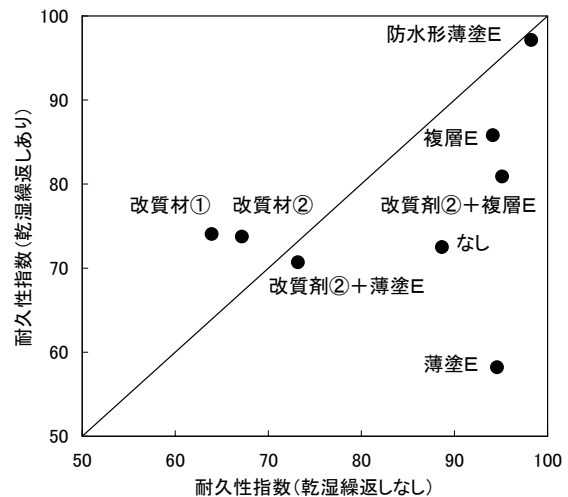
5. まとめ

再生粗骨材Mを用いたコンクリートについて、各種仕上材及び表面改質材を施工した場合の耐凍害性について、以下の知見を得た。

- (1)再生粗骨材Mを用いたコンクリートは、軽微な乾燥により耐凍害性が向上する。
- (2)今回使用した仕上材は、一般に再生粗骨材Mコンクリートの凍害劣化を抑制する効果がある。ただし、防水が完全ではない仕上材は、仕上材無しのものと比較して、早期に凍害劣化を生じさせる場合がある。
- (3)表面改質材を使用した再生粗骨材Mコンクリートは、乾燥を抑制するため、乾燥した表面改質材なしのものと比較して、耐凍害性が低くなる場合がある。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費若手研究(B)「表面被覆・改質による低品質再生コンクリートの耐久性向上技術」(課題番号:17760445)及び(独)建築研究所課題「建築構造用再生粗骨材およびそれらを使用したコンクリートの品質管理等に関する研究委員会」の研究の一部として実施した。また、仕上材の施工では、(株)村山塗装商会、村山豊氏の御協力を得た。実験では、本学大学院生、相川葉月氏、酒井正樹氏の御協力を



図－9 仕上材等養生後と乾湿燥返し後の凍結融解試験結果の耐久性指数の関係

得た。ここに記して心からの謝意を表します。

参考文献

- 1)相川葉月，千歩修，長谷川拓哉，酒井正樹：実環境を考慮した乾湿燥り返しがコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集第28巻 No.1, pp.899-905, 2006.7
- 2)千歩修：「透湿性材料の透湿性・透水試験方法（原案）」，共通試験の概要及び「透湿性材料の透湿性試験方法（案）の提案」，FINEX, pp.11-18,1996.3
- 3)例えば，長谷川寿夫，洪悦郎：人工軽量骨材コンクリートの乾燥と耐凍害性の関係，セメント技術年報 No.36, pp.367-370, 1982
- 4)JIS A 5002（構造用軽量コンクリート骨材）-2003 解説，2003.11
- 5)長谷川拓哉，千歩修：仕上塗材が高強度コンクリートの耐凍害性に及ぼす影響，日本建築学会大会梗概集, pp.527-528, 2006.9
- 6)里隆幸ほか3名，「表面被覆材によるコンクリートの凍害抑制に関する研究」，コンクリート工学年次報告集, Vol.16 No.1, pp.561-566, 1994
- 7)長谷川拓哉，千歩修，馬場明生，渡部嗣道：モデル建物の11年屋外暴露試験結果に基づく表面仕上材の中性化に対する保護効果，日本建築学会構造系論文集 NO.555, pp.37-43, 2002.5