

論文

[1092] 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

里 隆幸*1・堺 孝司*2・熊谷政行*3・辻 敏幹*4

1. はじめに

一般に、コンクリートの凍害は、AE剤の適切な利用と環境条件を考慮した水セメント比の設定によって防ぐことが出来るとされているが、種々の要因によりコンクリート構造物は凍害を受けているのが実態である。

凍害対策の一つとして、表面被覆材の塗布によりコンクリート表面から侵入する水を遮断する方法が考えられる。現在、コンクリートの表面被覆材は、美観上の目的の他、塩害対策、中性化対策、アルカリ骨材反応対策等を目的として用いられているが、凍害対策用としての表面被覆材に関する研究は少ない。

本研究は、コンクリートの凍害抑制に対する表面被覆材の効果を明らかにするための基礎的研究として、種々の表面被覆材および被覆方法を用いたモルタルおよびコンクリートの凍結融解作用下の挙動について検討したものである。

2. 実験概要

2. 1 モルタル試験

(1) 供試体

寸法40×40×160mmのモルタル供試体を、水セメント比50%、目標フロー値190として「セメントの物理試験方法 (JIS R 5201)」の強さ試験に準じて作製した。セメントは普通ポルトランドセメント、砂は豊浦産標準砂を使用し、AE剤は使用しなかった。

表-1 表面被覆材の種類及び塗装仕様

塗装仕様	A種塗装系 (道路橋の塩害対策指針(案))	B種塗装系	厚膜柔軟型エポキシ樹脂塗装系	ポリブタジエン樹脂塗装系	湿潤面硬化型エポキシ樹脂塗装系	有機無機複合型水系被覆材	油性系	変性ポリエステル共重合樹脂系
略称	A種	B種	厚膜柔軟型	ゴム系	湿潤硬化型	有機無機複合型	油性系	浸透型
プライマー	エポキシ樹脂プライマー				湿潤面硬化型エポキシ樹脂プライマー	有機無機複合型水系被覆材	長油性フタル酸樹脂塗料	1液性浸透型
パテ	エポキシ樹脂パテ				—	有機無機複合型水系パテ	—	
中塗	エポキシ樹脂塗料中塗	ポリウレタン樹脂塗料中塗	厚膜柔軟型エポキシ樹脂塗料中塗	ポリブタジエン樹脂塗料中塗	湿潤面硬化型エポキシ樹脂塗料	有機無機複合型水系被覆材	長油性フタル酸樹脂塗料	
上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗	柔軟型ポリウレタン樹脂塗料上塗			同上	同上	同上	
総合膜厚	90μm	90μm	430μm	530μm	1000μm	400μm	90μm	—

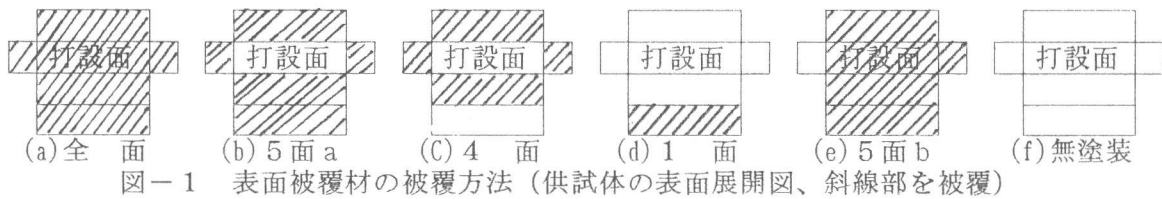
*1 大日本塗料 (株) 新規事業部 (正会員)

*2 北海道開発局開発土木研究所構造部材料研究室室長、工博 (正会員)

*3 北海道開発局開発土木研究所構造部材料研究室

*4 大日本塗料 (株) 新規事業部課長 (正会員)

供試体は打設後1日で脱型し、その後6日間20℃の水中で養生し、21日間の気中乾燥（温度20℃、湿度60%RH）を行った。そして表-1に示す8種類の表面被覆材を図-1に示す6種類の被覆方法で行った。表面被覆材塗布後再び28日間気中乾燥を行った。なお、被覆方法による比較では厚膜柔軟型のみ使用した。



(2) 試験方法

1) 試験 I

凍結融解試験を土木学会規準の「コンクリートの凍結融解試験方法（JSC E-1986）」に準じて300サイクルまで行い、重量変化率測定、および外観観察を行った。なお、供試体は1本のゴム容器に4本ずつ入れ、凍結融解中に常に約3mm厚の水で供試体の全面が覆われるように各々をゴム製の板で仕切った。

2) 試験 II

実際のコンクリート構造物が置かれる環境条件では、凍結・融解以外に乾燥の条件も存在するため、試験 I に乾燥条件を加え、新しい凍結融解試験とした。新しい凍結融解試験は、250サイクルまでを（-18℃水中凍結2時間）～（5℃水中融解2時間）～（30℃、60%RH気中放置4時間）の条件で、251サイクル目以降300サイクルまでは1サイクルの試験時間を短縮するために（-18℃水中凍結2時間）～（5℃水中融解2時間）～（40℃、30%RH気中放置2時間）の条件で行い、外観観察、重量変化率の測定を行った。

2. 2 コンクリート試験

(1) 供試体

コンクリート供試体は水セメント比を40、50、70%の3種類、スランプが 8 ± 2.5 cm、空気量が 5 ± 1.0 %として、 $10 \times 10 \times 40$ cmの型枠を用いて作製した。使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は樽前産海砂（比重；2.79）、粗骨材は見晴産砕石（比重；2.67）、混和剤にリグニンスルホン酸系のものを用いた。表面被覆材についてはモルタル試験の結果に基づき、表-2に示す4仕様について全面被覆および1面被覆（厚膜柔軟型のみ）の試験を行った。被覆材の仕様、被覆方法についてはモルタル試験と同様である。また、コンクリートが乾燥している場合と内部が湿潤している場合の比較を行うために2種類の方法で養生を行った。供試体は、打設後1日で脱型し、その後6日間20℃の水中で養生し、その後乾燥させるものは21日間気中乾燥（20℃、湿度60%RH）を行い、湿潤に保つものは引き続き21日間水中養生を行った。表面被覆材を塗布した後再び28日間の気中乾燥を行った。

表-2 コンクリート試験の供試体

被覆材料	水セメント比	被覆方法	含水状態	被覆材料	水セメント比	被覆方法	含水状態
厚膜柔軟型	50	全 面	乾 燥 湿 潤	有機無機複合浸透型	50	全 面	乾 燥 湿 潤
		1 面	乾 燥				乾 燥
	70	全 面	湿 潤 乾 燥				無 塗 装
40	湿 潤 乾 燥		50				
ゴム系	50		湿 潤		70		

(2) 試験方法

1) 試験 I

凍結融解試験を土木学会規準の「コンクリートの凍結融解試験方法 (J S C E - 1 9 8 6)」に準じて 300 サイクルまで行い、外観観察、重量変化率、及び相対動弾性係数の測定を行った。なお、コンクリート供試体に表面被覆材が有る場合と無い場合とで共鳴振動数に差が無いことを確認している。

2) 試験 II

新しい凍結融解試験は (-18℃水中凍結2時間) ~ (5℃水中融解2時間) ~ (60℃、30%RH 気中放置2時間) の条件で 600 サイクルまで行い、外観観察、重量変化率、及び相対動弾性係数の測定を行った。なお、供試体は上述 2.2 (1) のうち湿潤供試体のみ使用した。

3. 試験結果及び考察

3.1 モルタル試験

(1) 試験 I

1) 外観観察

全面被覆を行った供試体では、油性系と浸透型を除き外観上の劣化を起こしていなかった。浸透型は、著しいスケーリングを生じ、無塗装供試体以上の劣化となった。油性系では塗膜にわれを生じたものもあった。5面被覆を行ったモルタルの劣化は、被覆材の種類に関わらずほぼ同程度であったが、A種塗装系では塗膜にわれが生じ、厚膜柔軟型では塗膜自体の損傷は生じなかった。また、有機無機複合型では塗膜の伸びが生じ、小さなわれも多数発生していた。被覆方法による比較では、1面被覆のものが特に劣化が早く、次いで5面a被覆、4面被覆が無塗装と同程度の劣化を示した。

2) 重量変化率

図-2 にモルタル試験 I の各サイクル毎の重量変化率を示す。全面被覆したものでは、浸透型が無塗装のものと同程度の吸水による重量増加を示し、その後のスケーリングによる重量減少はむしろ無塗装のものより大きくなった。次いで油性系が吸水速度が高く塗膜損傷も生じた。油性系の3本の供試体のうち劣化の著しかった1本だけに注目すると、吸

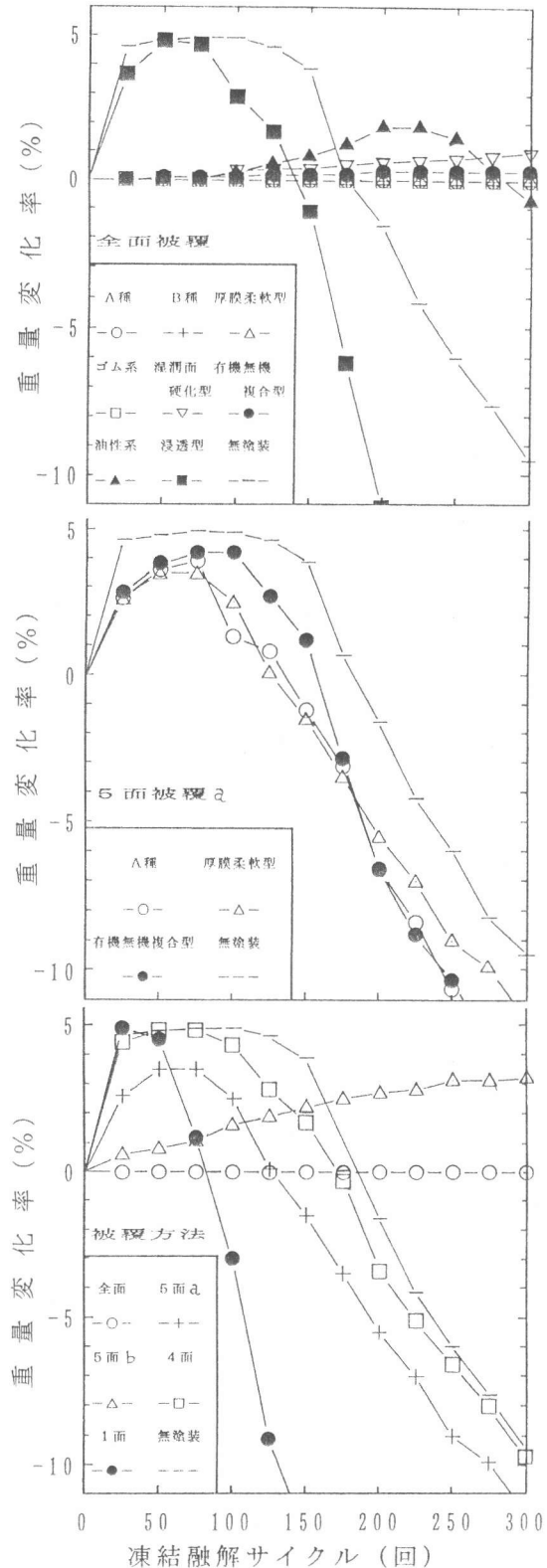


図-2 モルタル試験 I の重量変化率

水速度は遅かったが、吸水後の劣化は無塗装以上に速かった。5面被覆したものでは、何れの供試体も無塗装のものに比べ吸水は遅かったが、吸水後の劣化は速かった。被覆方法による比較では、吸水後の劣化は、1面被覆が著しく、次いで4面被覆、5面a被覆及び無塗装が同程度の劣化を示した。5面b被覆および全面被覆では劣化による重量減少は見られなかった。以上の結果から、供試体の一部を被覆したものが無塗装よりも激しい劣化を生じることもあり、被覆方法および被覆材の種類によっては、塗膜の存在が悪影響を及ぼすことのあることが明らかとなった。表面被覆材自身の性能に関しては、厚膜柔軟型では、塗膜が剥離した後も塗膜のわれや伸び等が生じなかった。これらの結果から、表面被覆材には、浸透型や油性系のように硬くて薄膜のものは向かず、柔軟で厚膜のものが有効であると考えられる。

(2) 試験Ⅱ

1) 外観観察

全面被覆した供試体において、被覆材毎の塗膜劣化に明確な差異が認められた。A種及びB種では塗膜に小さなふくれが発生した。油性系では塗膜にふくれ、われ、はがれが発生した。浸透型では塗膜のはがれや表面の軽いスケーリング及び供試体の膨張も見られた。厚膜柔軟型、ゴム系、湿潤面硬化型および有機無機複合型では外観上の変化がなく、優れた結果を示していた。このことは、厚膜型の被覆材程良いことを意味し、塗膜の防水性能が強く影響していると思われる。5面被覆した供試体では、モルタルの劣化状態は被覆材の種類に拘わらず概ね同様であった。しかし、塗膜劣化の形態には違いが見られ、ほとんどの被覆材で塗膜のふくれが発生していたのに対し、有機無機複合型のみふくれが生じていなかったことは注目される。この原因として、有機無機複合型の塗膜は、供試体中の水分を水蒸気として逸散する特性を有しているためと思われる。一方、A種では塗膜のわれが認められた。これは塗膜が薄膜で、硬質であるためと思われる。被覆方法による比較では、1面被覆と5面a被覆の劣化が最も早く、次いで無塗装供試体の劣化が早く、4面被覆および5面b被覆は塗膜損傷やスケーリング等が無く良好な外観を示していた。ここで、1面被覆は最終のスケーリングが著しかったのに対し、5面b被覆はスケーリングの始まりは前者とほぼ同時期であったが最終のスケーリング量は少なく、一方で塗膜のふくれは著しかった。

2) 重量変化率

図-3にモルタル試験Ⅱの各サイクル毎の重量変

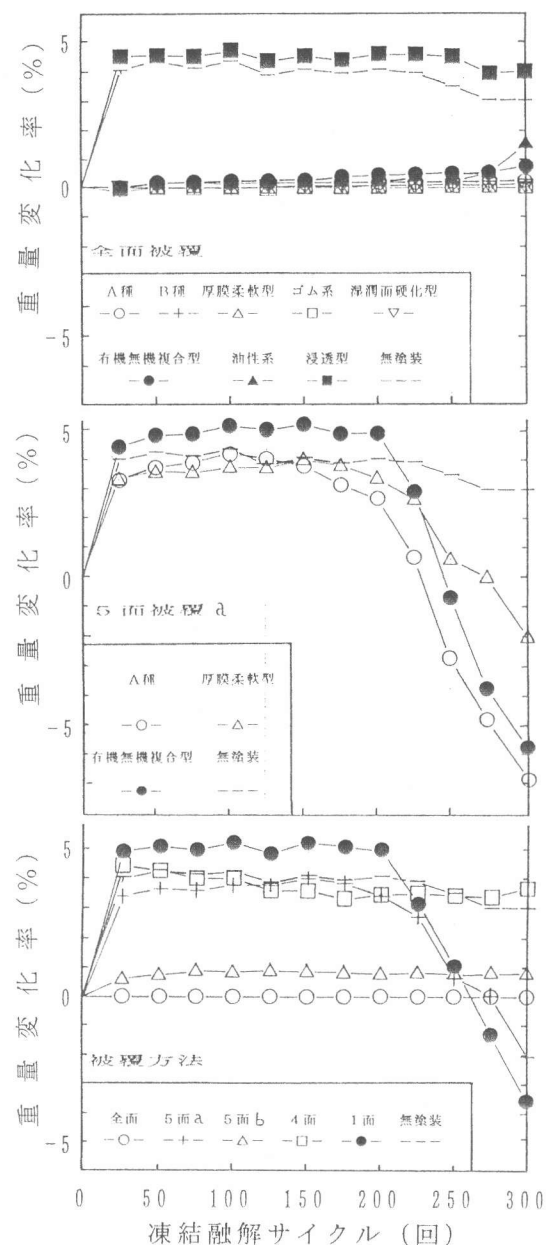


図-3 モルタル試験Ⅱの重量変化率

化を示す。全面被覆したものでは、浸透型が無塗装よりも高い吸水による重量増加を示し、その後のスケーリングによる重量減少は無塗装とほぼ同程度であった。次いで油性系の吸水量が多く、これは塗膜損傷によるものと考えられる。その他の供試体に関しては、総じて1%以下の重量変化率で推移しており良好な結果を示している。5面被覆では、被覆材の種類によらず概ね同様の重量変化となった。そして、何れの供試体も無塗装に比べ吸水後の重量減少は早くなっていた。被覆方法による比較では、吸水速度は1面被覆、4面被覆のものが早く、特に1面被覆では無塗装とほぼ同程度であった。これに次いで5面a被覆、5面b被覆、全面被覆の順となった。一方、重量減少の順位は重量増加の順位とは必ずしも一致しておらず、1面被覆、5面a被覆、無塗装の順となった。

3. 2 コンクリート試験

(1) 試験 I

1) 外観観察

外観観察の結果、無塗装で水セメント比70%の場合に25サイクルから軽いスケーリングが生じ始め、300サイクル時点では表面のモルタル部分が脱落し、粗骨材が露出していた。その他の供試体については、300サイクル時点において表面に軽いスケーリングが見られる程度で、それ以外の劣化は見られなかった。また、被覆材も良好な外観状態を保っていた。

2) 重量変化率及び相対動弾性係数

図-4及び図-5に各サイクル毎の重量変化率及び相対動弾性係数の結果を示す。重量変化率の結果を見ると、全面被覆した供試体（乾燥状態）では、無塗装で水セメント比70%の場合の重量が50サイクルから大きく減少した。その他の無塗装及び浸透型においては、1%前後の重量増加は見られたが減少に転じるものはなかった。浸透型以外の全面被覆した供試体では重量の変化はほとんど見られなかった。塗装面積の比較では、1面被覆供試体に無塗装面からの吸水が原因の重量増加が見られたが何れの供試体も減少には転じなかった。乾燥・湿潤の比較では、何れも重量の変化はなく、差は見られなかった。相対動弾性係数の結果を見ると、無塗装で水セメント比70%の場合の相対動弾

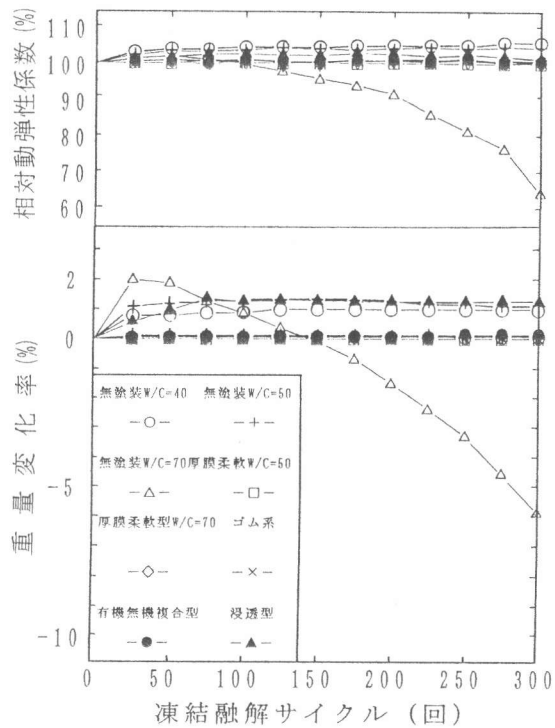


図-4 重量変化率及び相対動弾性係数
(コンクリート試験 I、
全面被覆、乾燥状態)

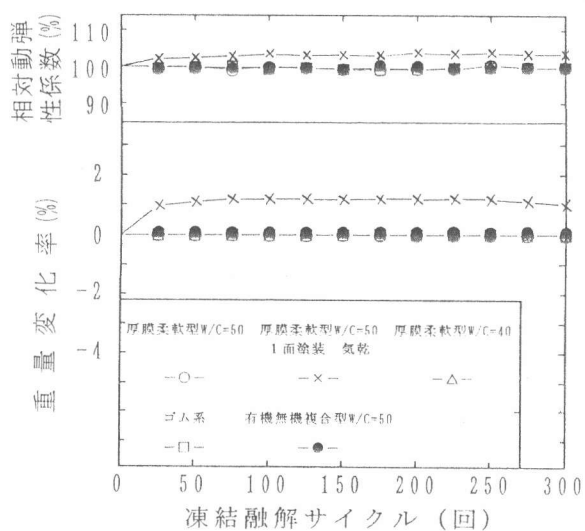


図-5 重量変化率及び相対動弾性係数
(コンクリート試験 I、
塗装面積、乾燥・湿潤の比較)

性係数が、75サイクルから減少し始め300サイクルでは64%まで低下した。浸透型の相対動弾性係数は初期の増加の後減少傾向にあるが、最終的には100%以下にはならなかった。水セメント比40%と50%の無塗装供試体及び1面被覆した供試体では、相対動弾性係数の増加が見られたが減少は起こらなかった。その他の全面被覆した供試体ではほとんど変化が見られなかった。

(2) 試験Ⅱ

1) 外観観察

600サイクル終了時点で、無塗装で水セメント比50%（乾燥）の供試体表面に軽いスケーリングと角部の欠損が見られたが、その他の表面被覆した供試体には塗膜劣化やスケーリングは認められなかった。

2) 重量変化率及び動弾性係数

図-6に重量変化率及び相対動弾性係数の結果を示す。無塗装で水セメント比50%（乾燥）の供試体では、初期の吸水による重量増加の後にスケーリングに伴う重量減少へと移行しているのに対し、表面被覆した供試体では、ほとんど変化がなかった。相対動弾性係数は、無塗装で水セメント比50%（乾燥）では、わずかな増加が見られたが、その他の表面被覆した供試体ではほとんど変化は見られなかった。

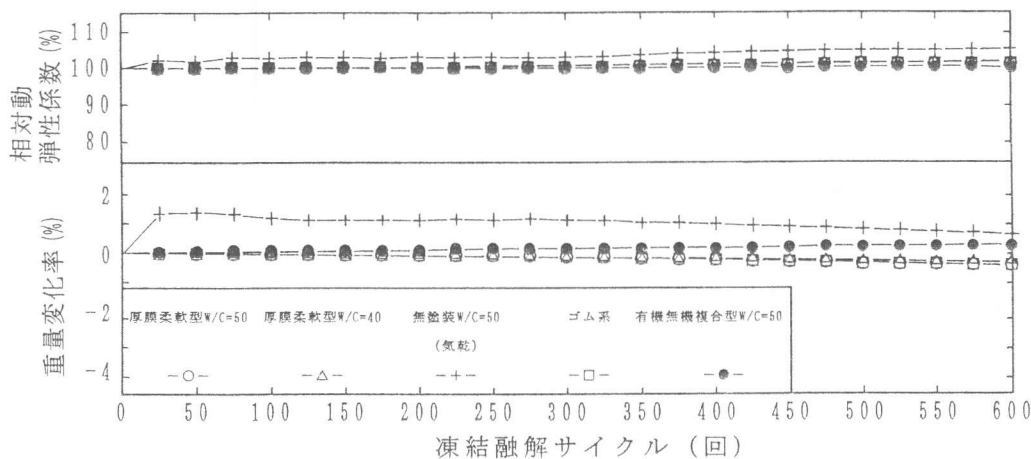


図-6 重量変化率及び相対動弾性係数（コンクリート試験Ⅱ、湿潤供試体）

4. まとめ

- (1) モルタルまたはコンクリートに表面被覆材を施した場合、被覆材の防水性が高ければ凍害防止に有効である。
- (2) 凍害防止に用いる被覆材は、浸透型のように防水性が不完全なもの、A種や油性系のように塗膜が硬質のものや、薄膜のものは避けた方が良い。特に、浸透型は、無塗装以上の劣化を生じることがある。
- (3) 表面に被覆されていない面があると、無塗装以上に激しい劣化を生じることがある。
- (4) 新しい凍結融解試験は、モルタルまたはコンクリート表面の被覆材にふくれや、われ等の劣化を生じさせることができ、実環境に即した評価が可能となる。