

報告 施工現場におけるポリマーセメントモルタルの養生方法の提案

内田 明*1・中井 裕司*2・辻 総一朗*3・豊福 俊泰*4

要旨: ポリマーセメントモルタルは、セメントモルタルにない優れた性能から、近年、補修・補強用の材料として注目されている。この種の材料においても養生が肝要であるが、現時点では十分な検討がなされているとは言えず、具体的な方法が定められていない。本報告では、現場で実施可能な養生方法について、硬化体表面からの水分逸散に着目した実験を行い、その有効性を評価した。すなわち、材齢 2 日までの初期養生が有効であることを示し、提案する養生方法の妥当性について促進中性化試験および塩化物イオン浸透深さ試験によって検証した。

キーワード: ポリマーセメントモルタル, 初期養生, 水分逸散, 被膜養生剤, 促進中性化試験

1. はじめに

ポリマーセメントモルタル（以下 PCM と称す）は、セメントモルタルの欠点を改善することを目的として、1950 年代から研究が始まっている。1980 年代になって PCM の品質が安定するとともに、優れた引張・付着特性に加えて耐久性が高いことから、補修・補強用の材料として注目され、耐震補強用他様々な用途で使われている。しかしながら、各メーカーが販売する材料は多岐に渡っており、使うポリマーの種類によってその性状や扱いは大きく異なるが、PCM の品質は、JIS A 1171 の試験方法¹⁾で評価することが定められている。JIS A 1171 の試験方法では、PCM の性能を発揮させるため、材齢 2 日で脱型し、材齢 7 日まで水中養生を行った後に材齢 28 日まで気中養生することが定められている。これは、PCM はセメント水和相とポリマーフィルム相の複合体であり、両者の性能が発揮されるよう、最初に水中養生でセメント水和組織を構築した後に、乾燥させてポリマーフィルムの形成を促す方法が基本となっているからである。

すなわち、PCM の品質を確保するためには、JIS A 1171 に準拠し養生を行わなければならないが、「PAE 系ポリマーセメントモルタルを用いた構造物の補修・補強に関する設計・施工マニュアル(案)」²⁾が発刊されるまでは、各材料とも具体的な養生方法は示されておらず、多くは現場に委ねられている。その結果、養生が十分でない場合には材料の品質は確保されず、再劣化の原因の一つになっていたものと考えられる。

本研究は、上述の観点に立って、施工時に設計で要求されている品質を発揮させるために必要な養生方法、特に初期養生について種々実験を行い、現場で適用可能な養生方法について検討を加えたものである。

2. 実験概要

2.1 実験の背景

PCM では図-1 に示すごとく、エマルジョン中のポリマー成分は水分が逸散することでセメントモルタル中の空隙内にポリマーフィルムを形成する。一方、エマルジョン中の水分は、粉体であるコンパウンド内のセメントと水和反応してモルタルを形成する。すなわち、ポリマーフィルムが形成されるためには、水分の逸散が必要で、セメント硬化体の形成には水分の供給が必要である。それゆえ、PCM には相反する養生条件が要求されることになる。

筆者らは、過去の研究で各種養生方法の相違が PCM の性能、特に耐久性に関する性能に与える影響について整理し、脱型までの 2 日間の養生の影響が大きく、概ね良好な耐久性能を確保するためには、少なくとも 1 日間は 90% の湿度のもとで養生することが必要であると報告している³⁾。ここでは、このような養生条件を現場で実現する方法として、シートによる覆いとミスト発生装置が有効であるとした。

ところがその後の施工実績から、このミスト発生装置による養生方法は施工性が困難であることが問題点と

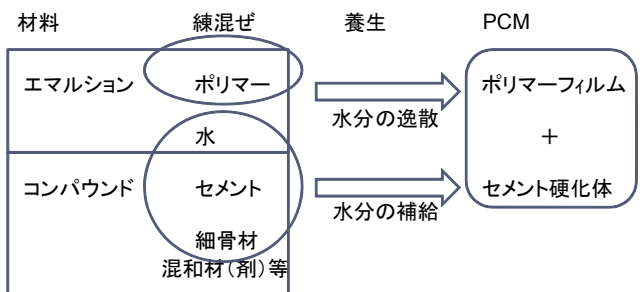


図-1 PCM の複合体の構造

*1 前田工織 (株) インフラ事業部門 博 (工) (正会員)
 *2 前田工織 (株) インフラ事業部門 メンテナンス推進部 (正会員)
 *3 前田工織 (株) 開発技術部
 *4 九州産業大学 工学部 都市基盤デザイン工学科教授 工博 (正会員)

なり、橋脚の補強工事で写真-1のようなエアークャップによる封緘養生を行って、封緘養生内部の湿度変化を計測したところ、90%以上の湿度が確保されることが明らかとなった⁴⁾。そこで、封緘養生やコンクリートの被膜養生剤など、ミスト発生装置によるミスト養生に代わる初期養生方法について検討を加えることとした。

2.2 使用した PCM

本論では、ポリアクリル酸エステル強重合樹脂系 (PAE系) 特殊ポリマーを用いた 2 材型 PCM を研究の対象としている。PCM は、水セメント比 $W/C=31.6\%$ 、ポリマーセメント比 $P/C=11.7\%$ および砂セメント比 $S/C=2.0$ の配合となっている。

2.3 養生方法

本論で検討した PCM の若材齢における養生の条件は、以下の 7 通りである (以後、これらのボードの記号で養生条件を表す)。

JIS A 1171 ; 基準の養生として、JIS A 1171 に準拠して養生を行う。すなわち、PCM 打設後相対湿度 (以後 RH と称す) 90% で養生し、2 日で脱型後材齢 7 日まで水中養生を行い、材齢 8 日から 28 日までの 21 日間は空中養生を継続する。

RH60 ; PCM の打設後、RH60% で連続養生を行う。

湿布 n ; PCM の打設後、水を含んだ不織布を用いて試験体表面に湿布養生を行う。湿布養生の期間 n は、1 日、2 日、3 日および 4 日の 4 水準とする。

封緘 n ; PCM の打設後、直ちにポリエチレンシートで試験体を覆い、封緘養生を行う。封緘養生の期間 n は、1 日、2 日、3 日および 4 日の 4 水準とする。

RH90n ; PCM の打設後、直ちに RH90% の雰囲気において湿空養生を行う。湿空養生の期間 n は、1 日、2 日、3 日および 4 日の 4 水準とする。

養生剤 ; 通常コンクリートの硬化後に塗布するのが一般的であるが、本研究では PCM の打設 30 分後に、

被膜養生剤を試験体表面に散布し、RH60% の雰囲気中で養生する。養生剤には、市販の有機-無機複合型⁵⁾の被膜養生剤を使用する。

プライマー ; PCM の打設後 RH60% で 1 日養生した時点で、塗料を塗るためのエポキシ樹脂プライマーを塗布する。その後、中塗り上塗りを行って塗料による表面被覆工を行う。

なお、所定の養生終了後は、RH60% の雰囲気中で養生を行う。

2.4 PCM 表面からの水分逸散量試験

初期養生の良否は、養生面からの水分逸散の程度に依存すると考えられることから、以下の要領にて試験体表面からの水分の逸散量を計測した。

大きさ 160mm×218mm で深さ 35mm の市販のバットに厚さ 35mm で PCM を打設した。表面をコテで仕上げた後、初期質量を計測し、JIS A 1171 からプライマーまでそれぞれ 7 通りの養生を行い、PCM 表面からの水分の逸散量を計測した。質量の計測頻度は、材齢 5 時間、1, 3, 5, 7, 14 および 28 日の 7 材齢とし、試験体の質量減少分を水分の逸散量とした。なお、質量計測時に、水分計 (高周波容量式コンクリート・モルタル水分計) によって PCM の水分率も計測した。

2.5 PCM のフレッシュ性状試験

試験体製作のため必要な PCM は、同時に採取できないことから、使用する PCM の品質を確認するため、練り上がり直後に以下の品質について試験を実施した。練り上がり直後の PCM のフレッシュ性状として、フロー値、単位容積質量と空気量をそれぞれ「JIS A 1171-6.1 フロー試験」、「6.3 単位容積質量試験」と「6.4 空気量試験」に準拠して実施した。

2.6 付着強度試験

過酷な環境下で供用される構造物に対して PCM の施工を行う場合、耐久性を確保するために、表面保護工法を併用するのが一般的である。この場合、PCM の表面と表面保護工に使用する塗料のプライマーとの接着性が重要となる。そこで、水分逸散試験終了後 (材齢 28 日) に、これら試験体表面にエポキシ系プライマーを塗布し材齢 35 日において、建研式付着試験を行い付着強度と破壊面の状況を計測した。

2.7 促進中性化試験

中性化深さは、「JIS A 1171-7.7 中性化深さ試験」に準じて、それぞれの養生方法に対して計測した。試験体は、寸法 100×100×100mm の立方体であり、JIS A 1171 を除く養生方法の試験体は、材齢 2 日脱型直後に 4 側面をアルミテープでシールした。なお、JIS A 1171 については、促進試験直前に 4 側面をアルミテープによってシールした。材齢 28 日に促進養生室 (温度 30℃, RH60% および



写真-1 エアークャップによる封緘養生の一例

二酸化炭素濃度 5%) に試験体を移動した。

中性化深さの計測は、促進試験期間 4 週と 8 週で各 3 個の試験体を割裂し、試験面から 1%フェノールフタレイン溶液に対する未反応部分までの深さ (mm) をノギスで計る方法とした。試験面は、本論では仕上げ面の養生方法に着目していることから、試験体上面 (仕上げ面) および試験体下面 (型枠面) の 2 面とした。

2.8 塩化物イオン浸透深さ試験

塩化物イオン浸透深さ試験は、「JIS A 1171-7.8 塩化物イオン浸透深さ試験」によって、各養生方法に対して計測を行った。試験体の大きさと事前の処理は中性化試験のそれと同じであるが、塩分溶液浸漬前に、アルミテープのシールをはがして、同一箇所をエポキシ樹脂塗料で再シールした。浸漬期間は 28 日間で、浸漬後試験体を割裂し、0.1%フルオレセインナトリウム水溶液および 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧して、試験面から蛍光を発しない部分までの深さをノギスで計測し、浸透深さ(mm) を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 使用した PCM のフレッシュ性状

フレッシュ時の PCM の計測結果は、フロー値が 140 ~155mm, 空気量が 10.5~14.0%, および単位容積質量が 1.99~2.07kg/lとなり、フレッシュ PCM の品質は安定していた。

3.2 水分逸散量測定結果

初期養生は、PCM の骨格であるセメントモルタルの形成に重要な役割を果たす。ここでは、養生方法の効果を水分逸散の観点から考察する。

図-2、図-3 および図-4 はそれぞれ、**湿布**、**封緘**そして **RH90** で養生した場合の試験体表面からの水分の逸散量の測定結果を示したものである。横軸は材齢で、縦軸の水分逸散量は単位面積 (m²) 当たりの逸散した水分量(g)を表したものである。それぞれ養生期間 n をパラメータとした結果であり、図中には基準とした養生方法 **JIS A 1171** と **RH60** の結果もプロットしている。

図-2 の**湿布**養生では、養生期間が 1 日の場合、養生終了時点から材齢 2 日までの間に水分逸散が急激に生じ、その後はなだらかな勾配で推移している。養生終了から材齢 2 日までの、水分逸散が大きいことから、材齢 28 日の時点での水分逸散量は、**RH60** の 2/3 程度となっている。これに対して、2 日、3 日および 4 日と湿布養生期間を長くすると、湿布から PCM への水分が補給されることにより、試験体質量は増加する。なお、4 日間湿布養生を継続した場合、材齢 28 日における水分逸散量は **JIS A 1171** のそれを下回っており、PCM においてもコンクリート同様、初期の養生によって水分の逸散を防ぐ

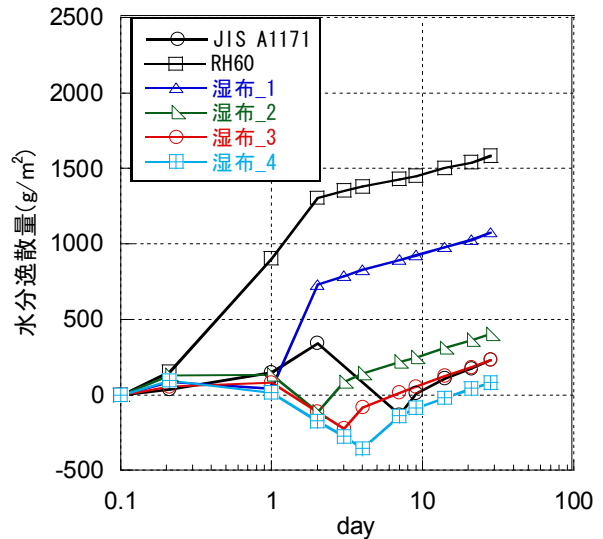


図-2 湿布養生の水分逸散

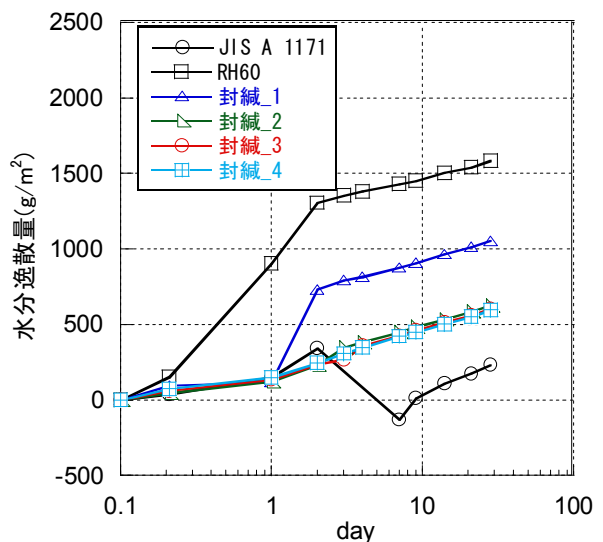


図-3 封緘養生の水分逸散

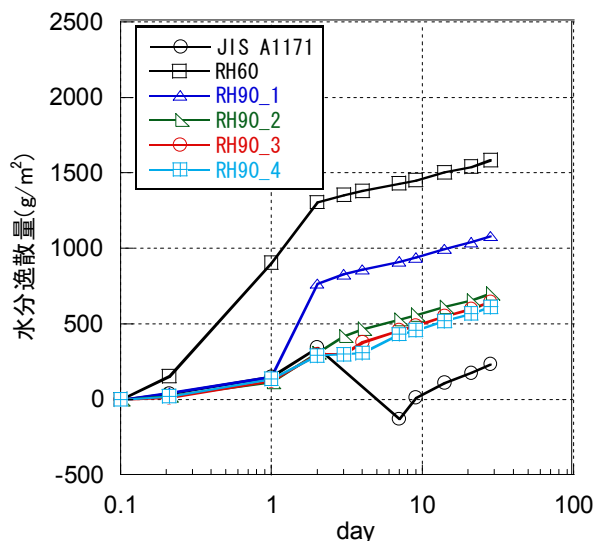


図-4 RH90 養生の水分逸散

ことができることがわかる。

図-3は、封緘養生について示したものであるが、湿布養生と異なり、養生期間2日を越えると水分逸散の傾向に変化が生じなくなっている。そして2日以上養生を行えば、材齢28日における水分逸散量はRH60の約1/3程度と少なくなっている。RH90の場合も同様な傾向を示し、養生期間2日で水分逸散量の低下は頭打ちとなっている(図-4参照)。

図-5は、上記3通りの養生期間が2日のデータに養生剤とプライマーのデータを加えて、比較示したものである。材齢28日における水分逸散の傾向は、湿布、封緘およびRH90養生のグループと、RH60、養生剤およびプライマー養生のグループに分かれ、水分逸散量は前者の封緘養生のグループが、後者の養生剤グループの半分以下となっている。養生剤の場合、養生剤に含まれる水分が失われてPCMの表面に被膜が形成されるまでの間、そして、プライマーについてはプライマーを塗布するまでの24時間に大きな水分逸散が生じている。そして、プライマーの場合、プライマー硬化後は、材齢と水分逸散量のグラフは、ほぼ水平になっており、水分逸散は生じていない。なお、封緘とRH90養生の場合、いずれも養生期間2日でその効果が頭打ちになっていることは興味深い傾向である。この理由は、RH60の水分逸散に見られるように、材齢28日までの水分逸散の大半が、材齢2日までの間に生じているからであると思われる。このことは、PCMにおいても施工直後の水分逸散の激しい2日間は、水分が逸散しないよう十分養生を行うことの重要性を示唆している。

3.3 付着強度試験結果

養生期間をパラメータとした湿布、封緘およびRH90の付着試験の結果を図-6に示す。図の左縦軸は付着強度を、右縦軸は破壊面における母材の凝集破壊の割合をそれぞれ示したものである。すべての条件で養生期間1日の場合、破壊はPCMの表層で生じ凝集破壊は生じなかった。2日目以降ではPCMの本体で破壊する凝集破壊が100%程度となっている。付着強度は、破壊がPCMの表層から凝集破壊に移行することで大きくなっている。付着の弱点はPCM表面とエポキシプライマーとの接着面と考えられるが、これが養生によって改善されていく様子を伺い知ることができる。

図-7は、JIS A 1171とRH60ならびに他の養生方法の付着強度を比較して示したものである。JIS A 1171は凝集破壊に対し、RH60は表層破壊が生じた結果、付着強度はJIS A 1171よりRH60が小さな値となっている。湿布2、封緘2およびRH90_2は、それぞれの養生を2日間行なった場合の結果を示したものであるが、破壊面が同じJIS A 1171と同等の結果となっている。なお、表

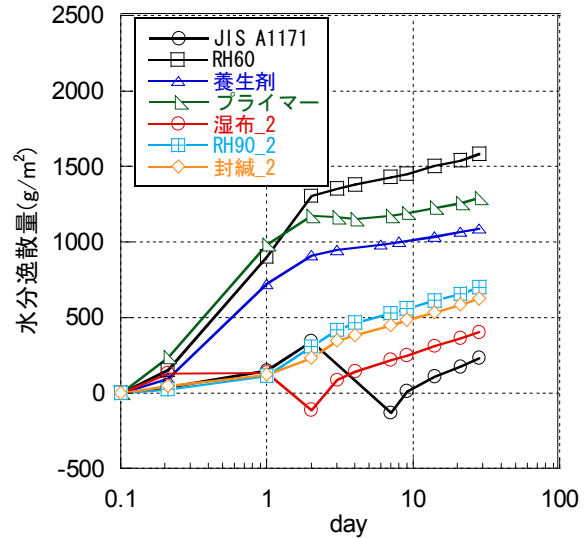


図-5 養生方法と水分逸散

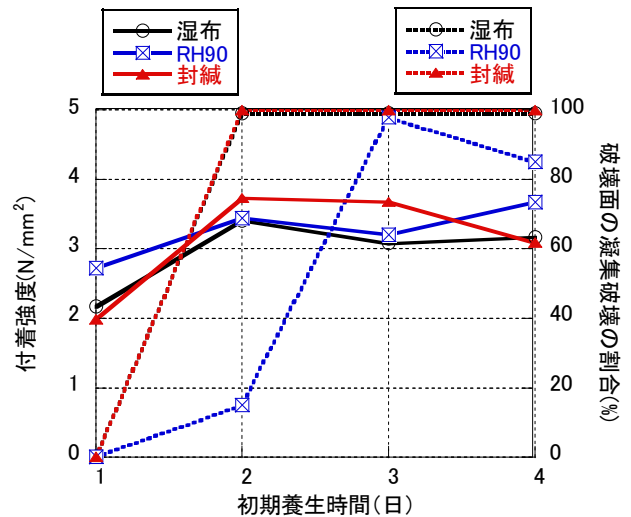


図-6 初期養生期間と付着特性

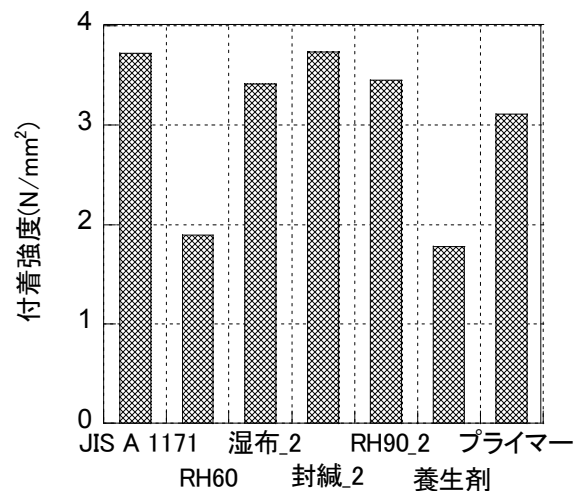


図-7 養生方法と付着強度の関係

面保護工を対象としたプライマー養生については、凝集が支配的な破壊となっており、結果として遜色のない付着強度が得られている。このように、養生方法が異なると付着強度にも影響が生じるため、PCM の設計に際しては、施工上必要な条件を満足するよう適切な養生方法を選定することが求められる。

3.4 促進中性化試験結果

JIS A 1171 による促進中性化試験では、試験体の打設面と型枠底面を含む 4 側面をシールし、残りの 2 側面が試験の対象となっている。しかしながら、本論では打設面の養生方法に着目していることから、中性化試験が対象とするのは、打設面とその対面である型枠底面となる。

図-8 と図-9 は、それぞれ打設面と型枠底面での中性化深さの計測結果を、養生条件をパラメータとして整理したものである。なお、中性化試験を実施した養生条件は、JIS A 1171、RH60、湿布 2 と養生剤およびプライマーの 5 条件である。

図-8 をみると、基準とした JIS A 1171 の中性化深さを下回るものは、養生剤とプライマー塗布後に塗料を塗布したプライマー養生だけである。特に、最終的に塗料の塗膜で表面保護工を行っているプライマー養生は、塗膜の効果が卓越しており、中性化は全く生じていない。これに対して、養生剤の場合中性化阻止能力は、プライマー養生に比べ若干劣るものの、JIS A 1171 の半分程度となっている。一方、湿布養生を 2 日間行った湿布 2 は RH60 より中性化深さが小さくなっており、初期養生の効果が現れている。

図-9 は、試験体底面での中性化深さの計測結果を図示したものであるが、打設面の結果と大きく異なり、JIS A 1171 以外は、すべて同じ結果となっている。型枠底面は、材齢 2 日で脱型するまで密封状態となっていることから、脱型前後の養生条件が JIS A 1171 を除き、すべて同じであることが、結果が一致の理由である。また、その傾向は、仕上げ面の湿布 2 と同等となっていることから、底面の養生は湿布養生に匹敵する理想的な密封養生と評価することができる。なお、脱型後 5 日間水中養生を行う JIS A 1171 養生では、RH60 に比べ中性化深さが約 1/3 になっており、JIS A 1171 の養生方法が PCM の養生として適していることが分かる。写真-2 に、中性化促進試験の試験体の状況を示す。

3.5 塩化イオン浸透深さ試験結果

図-10 と写真-3 は、塩化物イオン浸透深さの計測結果を示したものである。図-10 は、浸透深さを打設面と型枠底面のそれぞれの結果について表したものである。型枠底面に対しては、中性化深さの結果と同様に、養生方法によらずほぼ同じ値となっているが、打設面については、養生方法の影響がはっきりと生じている。表面保

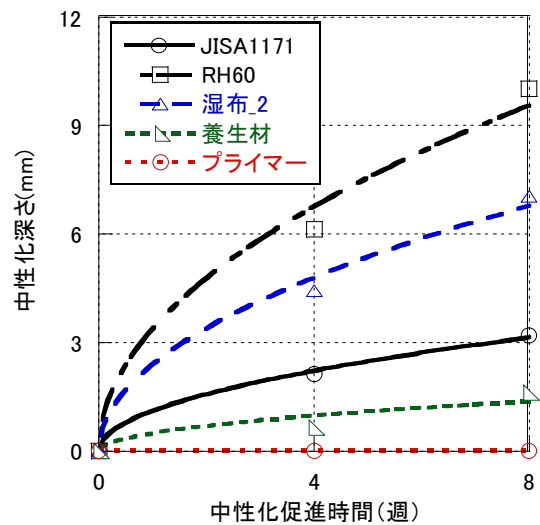


図-8 養生方法と中性化深さ(打設面)

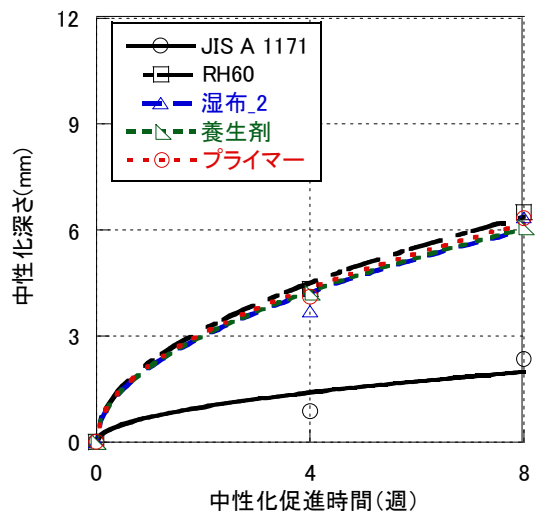
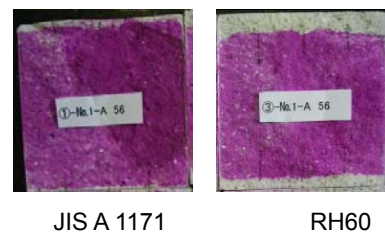


図-9 養生方法と中性化深さ(底面)



JIS A 1171

RH60



湿布 2

養生剤

プライマー

写真-2 中性化深さ試験体の断面

護工を最終的に行うプライマー養生は、中性化試験同様塗膜の効果が現れ、塩化物イオン浸透深さが 0mm となっている。これに対して養生剤は、塗装ほど効果は期待できないものの、JIS A 1171 より良い結果となっている。これらより、PCM の塩化物イオンに対する抵抗性は、打設後に適切な養生を行うことだけでは、中性化に対する抵抗性ほど有効な性能向上が認められない。厳しい塩害環境下においては、表面保護工と併用することとしている「PAE 系ポリマーセメントモルタルを用いた構造物の補修・補強に関する設計・施工マニュアル(案)」²⁾の判断が、妥当であることも明らかとなった。

4. 結論

PCM の養生の必要性について、水分逸散に着目して現場で施工可能な養生方法の効果を評価した。また、PCM の耐久性を直接確認するために、中性化深さと塩分浸透深さへの影響について検討を行った。その結果、本論の

結論として以下のことが言える。

- (1) PCM は、セメントコンクリートと同様に、打設後に適切な養生を行うことにより、所要の品質を確保することができる。
- (2) PCM の水分逸散は、その大半が打設後材齢 2 日までに生じる。
- (3) PCM の養生方法として、湿布養生、封緘養生および RH90 養生は、材齢 2 日まで養生を継続することでほぼ同様な養生効果が現れ、水分逸散量が養生なしの 1/3 程度まで減少し、中性化深さが減少する。
- (4) PCM の打設直後に有機-無機複合型の被膜養生剤を散布する養生は、中性化や塩分浸透に対する阻止性能が向上する。
- (5) 表面保護工を行う場合のプライマー塗布による養生は、中性化および塩分浸透に対する阻止性能が極めて高く優れた養生方法と言える。
- (6) 塩害環境の厳しい地域では、表面保護工を併用することが有効である。

著者らは、ポリマーセメントモルタルの性能について、養生の観点から検討を加え、施工後の初期養生が適切に実施されないと、設計で要求している性能が確保されないことを指摘し、施工上の留意点として養生を取り上げることが極めて大切であると考えている。すなわち、新設のコンクリート工事と同様に、この種の補修・補強工事においても、設計・計画の段階で有効な現場での養生方法を示すことが肝要であると言える。

参考文献

- 1) 日本工業規格：JIS A 1171, ポリマーセメントモルタルの試験方法
- 2) PCM 工法協会：PAE 系ポリマーセメントモルタルを用いた構造物の補修・補強に関する設計・施工マニュアル(案), 2012.4
- 3) 中井裕司, 豊福俊泰, 内田明：補修用ポリマーセメントモルタルの養生方法と中性化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1678-1683, 2012.7
- 4) 宮口博孝, 三ツ井達也, 東山浩士：施工現場におけるポリマーセメントモルタルの養生方法の検討, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, VI, pp.57-58, 2013.9
- 5) DENKA：RIS フルコート；商品カタログ

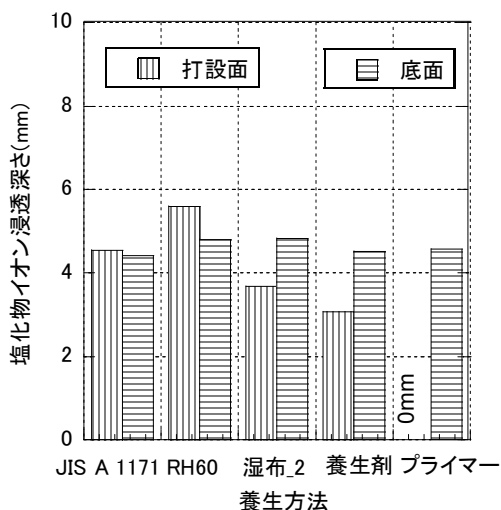


図-10 塩化物イオン浸透深さ

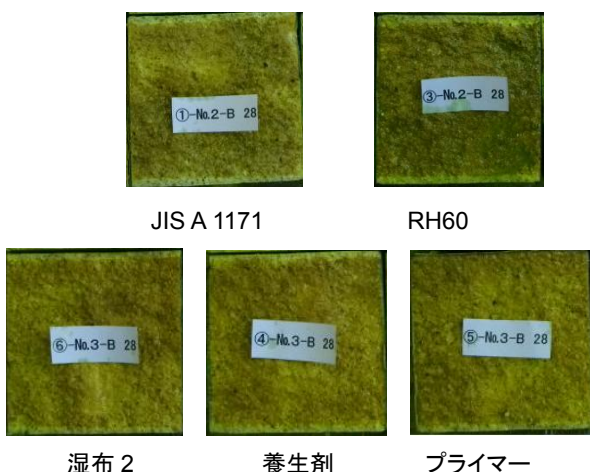


写真-3 塩化物イオン試験の試験体断面