報告　補修用ポリマーセメントモルタルの養生方法と中性化深さに関する研究

中井裕司[*1]・内田　明[*1]・豊福俊泰[*2]

要旨：ポリマーセメントモルタルの優れた耐久性能は，実験室レベルの研究で実証されてはいるものの，施工条件を加味した養生条件での評価は必ずしも十分とは言えない。本研究報告は，施工上考えられる様々な養生条件下で促進中性化試験を実施し，養生方法が中性化に及ぼす影響について研究した。その結果，脱型までの 2 日間の初期養生が，ポリマーセメントモルタルの耐久性能を決定するために，極めて大切であることを明らかにした。さらに，耐久性を確保するために必要な養生条件を満足するための，現場での簡易な養生方法について提案する。

キーワード：ポリマーセメントモルタル，養生条件，促進中性化試験，中性化深さ，ミスト養生

1. はじめに

ポリマーセメントモルタル（以下：PCM）は，エマルションとモルタルを混合することによって得られるモルタルの一種である。エマルションは，モルタルに対して減水作用を有している一方で，エマルションから水分が逸散し乾燥することによりポリマーフィルムを形成する。このフィルムは，PCM の付着強度，引張強度，および曲げ強度などの強度特性を向上させ，さらに，劣化因子の侵入を防ぐバリヤ性能を向上させると言われている。エマルションのセメントに対する添加量が多くなると上記の傾向が強くなり，添加量が少なくなると普通モルタルの性能に近づくことになる。

エマルションは高分子ポリマーを希釈混合することで得られる。様々な種類や形態のものが用いられており，また，モルタルへの添加量も一様ではない。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 材型の PCM を中心に，エマルションのセメントに対する配合比（P/C）を 10%前後とした材料を研究の対象としている。

ところで，コンクリートの初期養生はその耐久性能に影響が大きいことが理解されており，新設構造物の初期養生技術の発展には目覚ましいものがある。一方，PCM は既設構造物の補修・補強を目的として，断面修復や増厚工法に多用されているが，この種の工事では，初期の乾燥ひび割れを防止するために，風や直射日光を避ける程度の養生しか行われていないのが一般的である。

PCM の初期養生の耐久性指標に係わる研究は，槙島らの気中養生と封緘養生の比較 [1)]，濱崎らの水中養生，気中養生，5 日間のシート養生などをパラメータとした比較試験 [2)] などがあるが，既往の研究が少なく，実施工を想定した養生方法を提案しているとは言いがたい [3)]。

そこで，本研究では，PCM の初期養生条件をパラメータとした中性化促進試験を通して，PCM の初期養生と中性化深さの関係を明らかにし，現場における養生方法の提案を行うものである。

2. 実験概要

2.1 使用した PCM

PCM の構成材料は，ポリマーの性能を比較する目的で，セメント，ケイ砂およびエマルションの 3 材料のみとし，収縮低減剤や増粘剤などの助剤は添加していない。PCM の基本配合を，**表－1** に示す。エマルションの原材料のポリマーは，PAE 系の P1，P2 と比較用として SBR 系の P3 の 3 材料を用いている。水セメント比 W/C=31.6%，ポリマーセメント比 P/C=11.7%，砂セメント比 S/C=2.0 を，基準としている。一般に商品化されている PCM との比較では，ポリマーリッチであることと，エマルションと粉体の 2 材型配合であることが特徴的である。本研究では，これらの配合の施工性やその他の特性について

表－1　PCM および普通モルタルの基本配合

配合 No.	ポリマーの種類	W/C	P/C	(W+P)/C	S/C
1	P1	31.6	11.7	43.3	2.0
2	P2	31.6	11.7	43.3	2.0
3	P3	31.6	11.7	43.3	2.0
4	-	43.3	-	43.3	2.0
5	P1	35.5	7.8	43.3	2.0
6	-	60.0	-	60.0	3.0

*1　前田工繊（株）メンテナンス推進部　（正会員）
*2　九州産業大学　工学部　都市基盤デザイン工学科　教授　（正会員）

は考慮していない。比較対象の普通モルタルの水セメント比は，43.3%と 60%とした。ここで，W/C=43.3%のモルタルの水量は, PCM のポリマー質量を水に置き替えた場合の(W+P)/C=43.3%と同一となる。

2.2 養生条件

PCMの初期養生は, 次の5レベルに設定した。ここで，レベル 1 は過酷な施工条件での養生を，レベル 2 は国内における平均的な PCM の養生条件を想定したものである。レベル 3，4 は今後の PCM における実施工での養生を想定したもので，レベル 5 は「ポリマーセメントモルタルの試験方法　JIS A 1171 : 2000」に規定されている養生方法である。

レベル 1 : PCM 打設後に 20℃，相対湿度 RH30%環境にて静置し, 2 日で脱型し, 以後 26 日間 20℃, RH30%環境で静置する。

レベル 2 : PCM 打設後に 20℃,RH60%環境にて静置し，2 日で脱型し，以後 26 日間 20℃,RH60%環境で静置する。

レベル 3 : PCM 打設後に 20℃,RH90%環境にて 1 日間静置し，20℃, RH 60%環境移動し， 2 日で脱型して，同環境で材齢 28 日まで静置する。

レベル 4 : PCM 打設後に 20℃, RH 90%環境にて 2 日間静置し, 20℃, RH 60%環境移動し， 脱型して，同環境で材齢 28 日まで静置する。

レベル 5 : PCM 打設後に 20℃,RH90%環境にて静置し，2 日で脱型し，5 日間水中養生し，以後 21 日間 20℃,RH60%環境で静置する。

2.3　PCM のフレッシュ性状と強度試験

フレッシュ性状のフロー，単位容積質量と空気量の測定は，「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，圧縮強度と曲げ強度は，それぞれの養生後，「7.2　曲げ強さ及び圧縮強さ」に準じて測定した。

2.4　促進中性化試験

中性化深さは，それぞれの養生後，「JIS A 1171-7.7　中性化深さ試験」に準じて測定した。各試験体とも，材齢 26 日で 4 面（ステップ 1 では，打設面を含む 4 面，ステップ 2 では 4 側面）をアルミテープでシールし，材齢 28 日目に中性化促進槽に設置した。中性化促進試験の環境条件は，30℃，RH60%，二酸化炭素濃度 5%である。中性化深さの計測は，各 3 個の試験体を割裂し，試験面の両側の計 6 か所で, 1%フェノールフタレイン溶液に対する未反応深さを電子ノギスで測定し，平均値を求めた。

2.5 実験のパラメータ

実験のパラメータは，**表－2** に示すとおりであり，初期養生条件をパラメータとして，促進中性化試験と強度試験を実施した。第 1 ステップは，養生条件をレベル 2 とレベル 5 として，PCM の性能を比較した。促進中性化期間は 4 週間である。

ステップ 2 は，ステップ 1 の優れた性能を有するポリマーを対象にして，レベル 1 からレベル 5 までの初期養生条件に対して促進中性化試験を実施した。なお，ステップ 2 では，促進中性化の対象面は実施工を鑑みて打設面と底面としている。促進中性化期間は 8 週間である。

表－2　実験のパラメータ

ステップ	試験体名(注 1)	配合 No	初期養生レベル (注 2)				
			1	2	3	4	5
1	A	No.1		△			○
	B	No.2		○			○
	C	No.3		△			○
	D	No.4		○			○
2	E	No.5	□	□	□	□	○
	F	No.6	□	□	□	□	○

注 1)　試験体名は，英字の後に，養生条件のレベルを示す数字を添えて表す（例えば，A2)。

注 2)　○：強度試験と中性化促進試験
△：強度試験（曲げ，圧縮試験）のみ
□：中性化促進試験のみ

3. 実験結果と考察

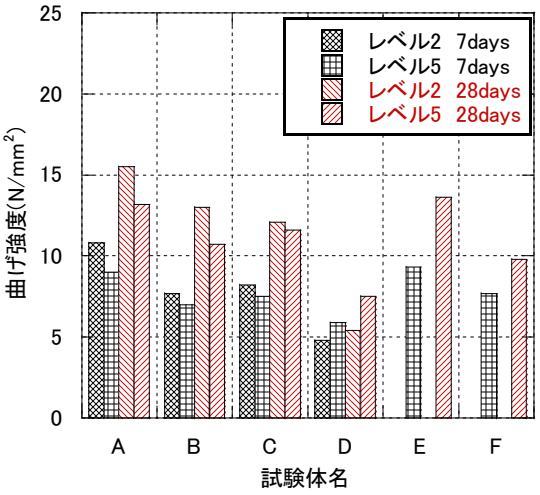
3.1 フレッシュ性状について

PCM およびモルタルのフレッシュ性状を**表－3** に示す。これらのフレッシュ性状は，コントロールする助剤を加えていないので，後に示す強度特性や中性化深さに対する参考値として記している。

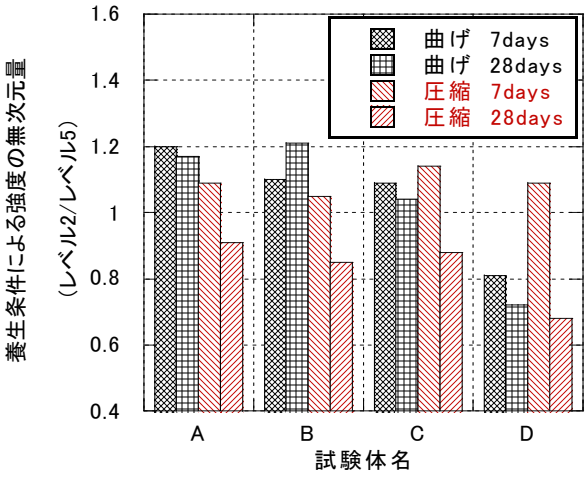
フローと単位容積質量は，一般的な PCM と同様である。空気量が異なるのは，練混ぜ時のポリマーの空気連行性能による相違と考えている。これらのモルタルを商品とするためには，粘性や収縮特性などの必要な機能の調整が残されている。

表－3　PCM とモルタルのフレッシュ性状

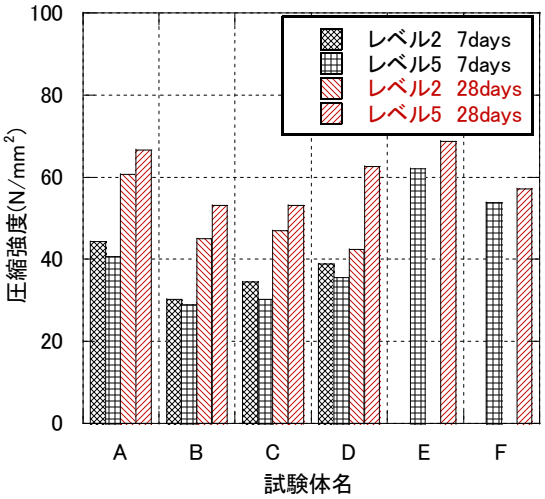
試験体名	フロー (mm)	単位容積質量 (kg/ℓ)	空気量 (%)
A	184	2.15	7.1
B	158	2.06	11.0
C	182	2.04	12.0
D	174	2.20	6.5
E	159	2.15	7.2
F	176	2.10	7.3



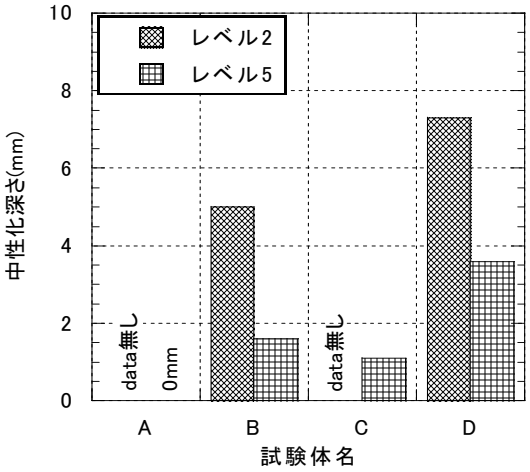
図－1　曲げ強度に対する養生条件と材齢の影響



図－3　養生条件による強度変化の割合



図－2　圧縮強度に対する養生条件と材齢の影響



図－4　ステップ１の中性化促進試験結果

3.2 強度特性について

PCM とモルタルの養生条件レベル 2 と 5 の相違による材齢 7 と 28 日における曲げ強度と圧縮強度を**図－1** と**図－2** に示す。ステップ 1 の全ての PCM において，曲げ強度は養生条件レベル 2 がレベル 5 より大きい。一方，圧縮強度は材齢 7 日において養生条件レベル 2 がレベル 5 より大きい傾向を示すが，材齢 28 日では明らかに逆転する。

図－3 に，養生条件レベル 5 の強度を基準として，養生条件レベル 2 の各材齢における曲げ強度と圧縮強度を無次元化した結果を示す。PCM のレベル 2 養生の強度発現割合の変化はモルタルに比較して小さいが，曲げ強度はレベル 2 養生が大きな値を示す。これに対して，圧縮強度は材齢28日でレベル2養生が小さな値を示している。

PCM の強度特性は，水和によるモルタル骨格の形成とポリマーから水分が逸散することによるポリマーフィルムの形成の 2 点が支配していると考えられる。レベル 2 養生はポリマーフィルムの形成には有利に作用するが，モルタル骨格の形成には不利に働くことが分わかる。このことは，PCM の初期養生は上記の 2 点をバランスさせる必要のあることを示唆しているものと判断される。

3.3 促進中性化試験について

(1)　ステップ１について

初期養生条件レベル 2 と 5 を比較した 4 週間の中性化促進試験の結果を**図－4** に示す。試験体 A5 は中性化深さが 0mm である。一方，W/C=43%のモルタルを対象とした D5 は，中性化深さが 3.6mm となっている。このように，(W+P)/C=43%，すなわちモルタルの水量の一部が良質のポリマーで置換された PCM は，モルタルに比較して中性化の進行が著しく遅くなることが分かる。

初期養生条件の相違による中性化深さは，[B,D][2,5] の比較により明瞭な違いが生じている。レベル 2 養生は，レベル 5 養生に比較して，中性化の進行は早く，PCM の

場合もモルタルと同様に，初期養生がその耐久性能に大きな影響を与えることが明らかとなった。

すなわち，中性化深さの進行の要因は，ポリマーフィルムの形成の有無だけによるものでなく，養生条件の相違によるセメント骨格の緻密度も関係していると推定できる。なお，レベル 5 試験体の高周波静電容量式水分計で測定した表面水分率は 3.9 から 4.8%であった。

この結果を見ると，ポリマーの種類による中性化深さに対する性能差は存在し，また，同じ PAE 系ポリマー(A と B)にも性能に相違のあることが分かる。

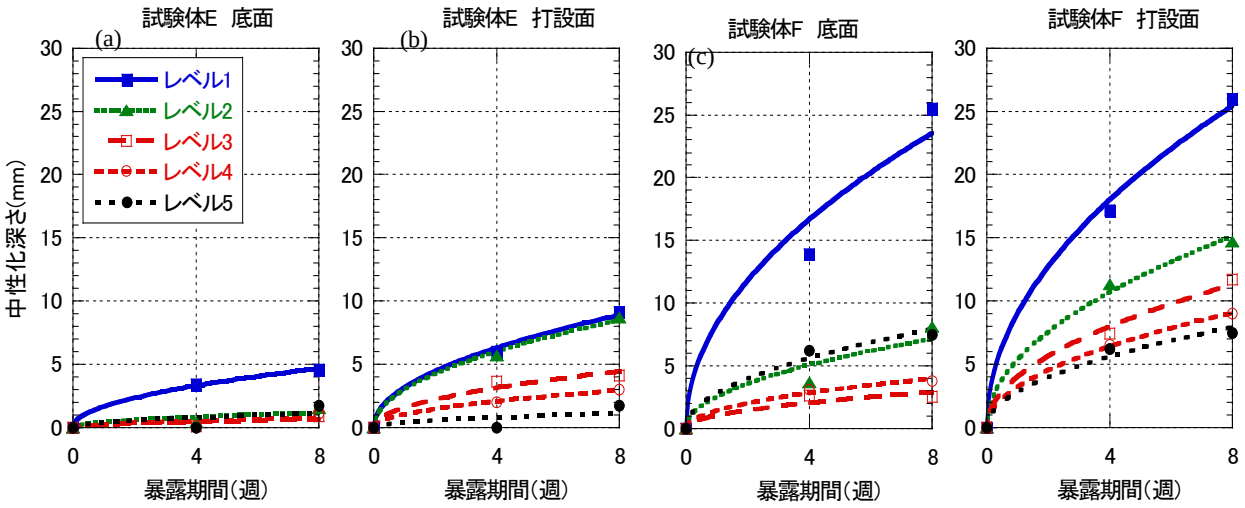
(2)　ステップ 2 について

ステップ 1 の試験結果をうけて，試験体 E,F の実験を行った。試験体 E は，A と同一のポリマーを用いて，P/C を 7.8%に低減したことから，それに従い W/C が若干大きくなっている。試験体 F は，W/C=60%のモルタルである。

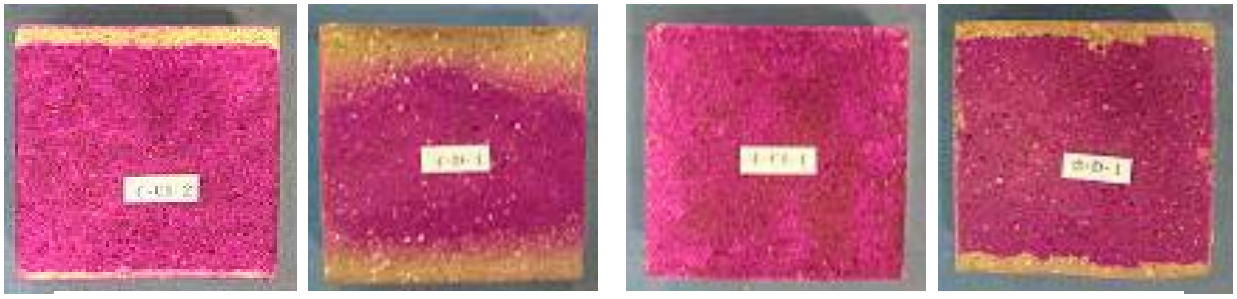
初期養生条件をパラメータとした中性化促進試験の結果を**図－5** に示す。試験体 E は F に比較して中性化深さが非常に浅くなっており，PCM は中性化の進行を遅らせる性質を有していることが分かる。両者の水セメント比の大きな相違によるセメント骨格の緻密度の差に加え，前述したポリマーフィルムの形成が中性化深さに影響したものと考えられる。

初期養生条件によっても，中性化深さがそれぞれの試験体で大きく異なっている。最も厳しい初期養生条件として設定したレベル 1 は全ての試験体で最も深い中性化深さを示し，理想的な養生として設定したレベル 5 は，一部を除いて最も浅い中性化深さを示している。定性的には，養生条件のグレードが上がるに従い中性化深さが浅くなる傾向を見出すことができる。

型枠の底面と打設面の養生条件の差異は，打設後 2 日間の条件が異なるだけである（**写真－1**）。底面は 2 日間型枠で覆われているのに対して，打設面は打設直後からそれぞれの初期養生条件に晒されている。PCM にもモルタル同様に，この初期 2 日間の環境条件の影響が顕著に表れている。すなわち，この 2 日間を適切に養生すれば PCM の中性化抑制性能を向上・付与することができると考えられる。また，現場での簡易な養生を前提として設定しているレベル 2 は，打設面において，レベル 5 の 2 倍以上の中性化深さとなっており，モルタルはもちろんのこと PCM においても，施工後の初期養生が中性化に大きな影響を与えていることが分かる.



図－5　ステップ 2 の初期養生条件をパラメータとした中性化促進試験結果



試験体 E　　試験体 F　　試験体 E　　試験体 F

(a)　養生レベル 1　　(b) 養生レベル 5

写真－1　中性化試験の写真（写真の上側が打設面）

したがって，かぶりの著しく薄い補強部材や厳しい環境における PCM の初期養生は，レベル 3 もしくは 4 を選択することが必要となる。実際に PCM が適用される場面でのかぶり厚さと 50 年の設計余寿命を考慮すると，施工後少なくとも 24 時間を相対湿度 90%以上の環境下にで養生することが求められる。

試験結果より回帰された中性化速度係数を**表－4** に示す。レベル 5 で中性化速度係数は，試験体 E が F の約 1/5 になっているが，養生の条件によって，その比は大きく変化する。

また，普通コンクリートでは，空隙が多く透気性が大きい場合（表面水分率約 5%以下），透過する気体が乾燥により水分の逸散した空隙を流れるため，中性化深さが大きくなることが確認されている [4)]。そこで，試験体の表面水分率とその面の中性化深さの関係を**図－6** に示す。両者の関係は PCM とモルタルで異なり，同一の表面水分率でも試験体 E は中性化深さが浅くなる傾向が見て取れる。さらに，表面水分率を 4%以上有する試験体は，中性化深さが非常に浅くなっていることが分かる。

コンクリート標準示方書にも示されているように，中性化速度係数は有効水結合材比の一次関数で示されるので，PCM とモルタルの中性化深さの相違は水セメント比の影響を受けている。その上で，初期養生により表面部分のセメント骨格を緻密化することで，表面水分率を高く保持できるようになり，各材料の中性化深さの相違が養生方法をパラメータとして生じている．さらに，PCM の場合には，ポリマーフィルムの形成によって，中性化深さが浅くなるものと考えることができる。

4. 初期養生方法の検討

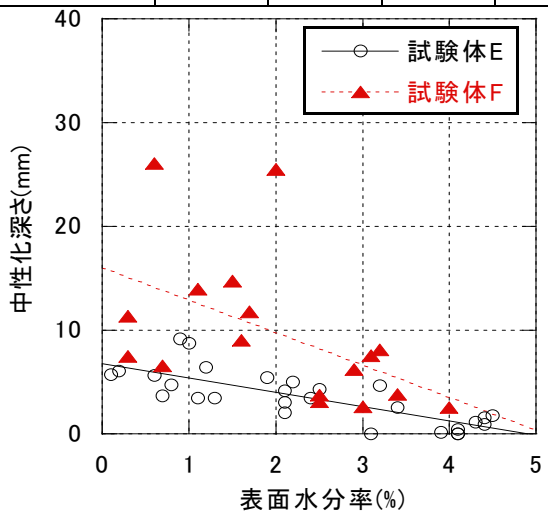
写真－2 は，現場養生に使用するミスト発生装置を示している。この装置はミストの発生量を制御できることから，これを用いて養生容積を 32 空 m^3 としたシート養生内の湿度のコントロール方法について実験を行った。

影響要因は，雰囲気の温度と湿度であり，レベル 3 および 4 の狙いである相対湿度 90%を得ることのできるミスト量について調査した。

図－7 は，相対湿度 RH90%を得るために必要なミストの量を，雰囲気の温度と湿度をパラメータに計算で求め

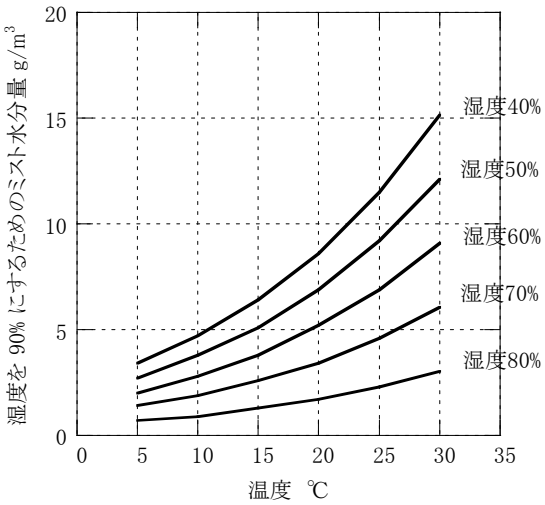
表－4　回帰された中性化速度係数(mm/√週)

試験体名 ＼ 養生条件	試験体 E		試験体 F	
	底面	打設面	底面	打設面
レベル 1	1.65	3.14	8.33	9.00
レベル 2	0.42	3.00	2.53	5.35
レベル 3	0.23	1.57	1.02	3.99
レベル 4	0.26	1.04	1.41	3.20
レベル 5	0.40	0.59	2.80	2.80



図－6　表面水分率と中性化深さの関係

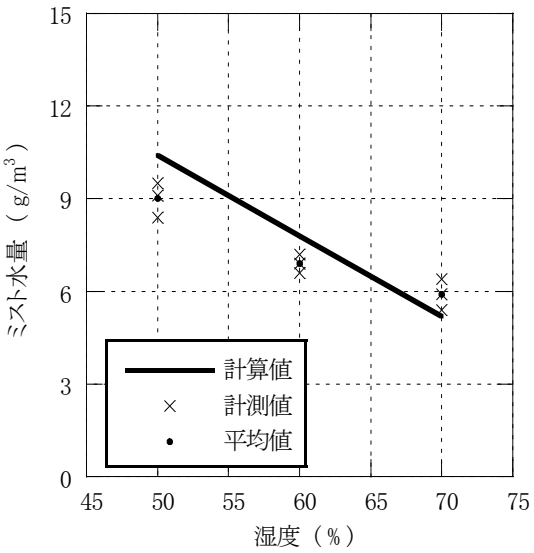
写真-2　ミスト発生装置



図－7　各種温度で相対湿度 90%に必要な水分量

た結果を示している。これによると，温度 25℃湿度 60%の雰囲気では 7g/m^3 のミストが必要となることが分かる。一方，**図－8** は，ミスト発生装置を用いた実験の結果を整理したものである。実験は気温が約 27℃の時に実施したが，湿度 60%での必要ミストの量は約 6g/m^3 と計算値より若干少なくなっている。試験精度を考慮すると，この結果は，計算値と概ね良く一致していると言える。

この結果は，施工後に足場を使ってシートで囲う養生さえすれば，このような簡易な装置で僅かな水分をミスト状にして噴霧することにより，必要なレベル 3 および 4 の養生を行うことができることを示しており，現場でも十分に対応可能であると考えることができる。



図－8　相対湿度 90%に必要な水分量の試験値

5. まとめ

PCM は，補修・補強用の材料として多くの実績を残しているにも拘らず，この材料の注目すべき耐久性能に関する現場の施工性を加味した養生方法の影響についての報告は少ない。そのため，維持管理の施工現場では，施工者の判断で養生方法を選定しているのが現状であり，適切な施工方法を確立することが要望されている[3)]。

本研究は，このような観点に立って，現実にありうる養生条件の下で，耐久性の一つの指標である中性化性能に及ぼす影響について検討したものであり，以下の結論が得られた。

(1) 施工後に全く養生を行わない場合，PCM といえども，その耐久性能を十分に発揮することができない。

(2) 試験体の打込み面と底面での中性化深さを見ると，底面より打込み面の中性化深さが大きくなっており，脱型までの 2 日間の養生の影響が大ききことが分かる。

(3) PCM の中性化深さは，形成されるポリマーフィルムだけではなく，モルタル分の緻密な組織に依存するところが大きい。

(4) 養生方法によって各材料の試験体の表面水分率が異なり，表面水分量と中性化深さには線形の関係が認められる。

(5) 少なくとも 1 日間 90%の湿度で養生することで，概ね良好な耐久性能を確保することができる。
さらに，

(6) このような養生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。

今後は，封緘養生の効果や中性化以外の性能，例えば塩分遮断性能等についても検討していく必要があると考えている。

謝辞

本研究は，「PAE 系ポリマーセメントモルタルを用いたコンクリート構造物の補修・補強工法技術委員会（委員長 松井繁之大阪工業大学特任教授）」のもとに実施したものであり，設計・施工マニュアル（案）[5)]として，コンクリート構造物の補修・補強に活用されることになりました．ここに，深く感謝する次第です。

参考文献

1) 槙島修，魚本健人：吹付け施工による断面修復材の耐久性に関する研究，コンクリート工学，Vol.25，No.1，pp.1529-1534，2003.6

2) 濱崎仁ほか：補修用ポリマーセメントモルタルの耐久性および吸発熱特性に関する実験，日本建築学会学術講演梗概集（関東），pp.277-282，2011.8

3) 土木学会：表面保護工法施工施工指針(案)，2005.4

4) 塩屋陽平，豊福俊泰：エコーチップ法・トレント法・水分計法による構造物中のコンクリートの品質試験法，平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.905-906，2006.3

5) PCM 工法協会：PAE 系ポリマーセメントモルタルを用いたコンクリート構造物の補修・補強に関する設計・施工マニュアル（案），2012.4(予定)