

論文 エコセメントを用いたモルタルにおけるコンクリート用養生剤の効果に関する研究

小山 善行^{*1}・早川 光敬^{*2}・陣内 浩^{*3}・山田 直毅^{*4}

要旨: 本論では、普通エコセメントと普通ポルトランドセメントを使用したモルタルの打込み面に膜養生剤を塗布して養生した場合、どのような保水効果が得られるのかについて検証を行った。膜養生剤の保水効果の検証方法は明確に確立している訳ではないため、実験では供試体質量の経時変化で直接的に検証すると共に、膜養生剤の膜効果と保水効果による中性化抑制効果によって間接的に検証することとした。試験の結果、水セメント比の高い領域では、普通エコセメントを使用したモルタルでも初期材齢に膜養生剤による保水効果が得られることが明らかとなった。また、この効果はモルタルの中性化抵抗性を若干高める効果があった。

キーワード: エコセメント, 膜養生剤, 保湿, モルタル, 中性化, 圧縮強度

1. はじめに

昨年、日本建築学会からエコセメントを使用するコンクリートの調合設計・施工指針(案)・同解説¹⁾が発刊され、建築分野にエコセメントを普及させる流れが整いはじめている。しかしながら、エコセメントを使用したコンクリートを実際の建物に適用した場合の打込みや養生方法などに関する実験データは十分とは言えず、現在でもより多くのデータの蓄積が望まれている。

昨今の研究では、エコセメントを使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用した場合に比べてブリーディング量が少なく、凝結も遅延することが明らかになってきている^{1) 2)}。したがって、エコセメントを使用したコンクリートを打込んだ後の部材表面は、一般のコンクリートよりも、水分が少ない状態で、長時間、軟らかく乾燥しやすい状態を保つことになる。

一般に、床のような水平部材に打込まれた直後のコンクリート表面は、自らのブリーディング水に加え、散水対策、養生シートや膜養生剤(以下、養生剤と称す)などを用いた保湿対策によって、湿潤状態を保っている。このような部材に、前述したような特徴のエコセメントを使用したコンクリートを適用した場合、従来のような保湿対策が有効であるのかについてはほとんど検討例が存在しない。

そこで本論では、普通エコセメントを使用したコンクリートの施工に関する基礎的なデータ整備の一環として、打込み後初期の乾燥について検証することとした。実験では、普通エコセメントを使用したモルタルの打込み面に養生剤を塗布して養生した場合、どのような保水効果が得られるのかについての検証を行うこととした。

2. 実験計画

2.1 計画概要

実験の検討要因を表-1に示す。実験は、モルタルを用いて行った。セメントは普通エコセメント(EC)と比較用の普通ポルトランドセメント(OPC)の2水準、水セメント比は44%、55%、65%の3水準とした。

モルタル供試体作製後の養生方法は、養生剤を用いた方法を3水準、養生剤なしの1水準、計4水準とした。

使用した養生剤は、パラフィンワックス系(PR)、塩性シリカ化合物系(NO)、ワックス誘導体水溶性系(M)の3種類である。製造元の示す各養生剤の主用途は、ワックス誘導体水溶性系はコテ仕上げ補助用、塩性シリカ化合物系とパラフィンワックス系はヘアークラック防止用である。

実験では、これらの供試体の初期材齢における質量変化、促進中性化深さ、および圧縮強度の比較を行った。

表-1 検討要因

項目	種類または水準
セメント種類	・普通エコセメント(EC) ・普通ポルトランドセメント(OPC)
水セメント比	・45% ・55% ・65%
養生方法 (養生剤種類)	・養生剤なし ・パラフィンワックス系(PR) ・塩性シリカ化合物系(NO) ・ワックス誘導体水溶性系(M)

*1 東京工芸大学 大学院 工学研究科 建築学専攻 (正会員)

*2 東京工芸大学 工学部建築学科 教授・博士(工学) (正会員)

*3 大成建設(株) 技術センター 主任研究員・博士(工学) (正会員)

*4 東京工芸大学 大学院 工学研究科 建築学専攻

2.2 使用材料と調合

使用材料を表-2に示す。セメントには、普通エコセメントもしくは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材には津久井産（砕砂）、市原産（陸砂）を質量比4：1の割合で組み合わせて使用した。混和剤にはリグニンスルホン酸系 AE 減水剤を使用した。

モルタルの調合を表-3に示す。各モルタルのセメントと砂の比は1：3で統一している。また、本実験では遅延効果の少ない AE 減水剤を選定しているが、条件を揃えるため、いずれのモルタルも AE 減水剤の使用量をセメントの1%（質量比）に統一した。なお、実験時には、練り上がったモルタルが型枠に密実に打ち込める流動性であることを確認している。

2.3 練混ぜと供試体の作製

練混ぜには容量55リットルのパン型ミキサーを使用した。1回の練混ぜ量は35リットルとした。

供試体の寸法を表-4に示す。試験結果が明確となるように、質量測定用平板供試体作製用容器は、写真-1に示すような乾燥面積の大きい容器を用い、実際の製作では160×230×50mmの平容器にモルタルを40mmの厚さまで打込み、上面（160×230mm）のみが外気に触れる条件で、脱型せずに質量変化を測定し続けた。

促進中性化および圧縮強度試験に用いた供試体は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に示された40×40×160mmの直方体とした。ただし、今回の実験では打込み後の供試体に養生剤を塗布していることから、水中養生を行うことができない。そこで、供試体は打込み後から温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室に保管することとした。なお、圧縮強度試験は試験材齢ごとに同室から供試体を取り出して行うこととした。中性化試験用供試体は、材齢8週まで同室内で養生した後、中性化促進装置に移動した。

2.4 表面養生剤の塗布方法

表面養生剤の塗布量は、3m²当たり1リットル程度を目安にした。実際には、質量変化測定用の平板供試体は上面（160×230mm）に対して10ml、促進中性化および圧縮強度試験用の立方体の供試体は上面（40×160mm）に対して2mlを塗布した。本来、養生剤塗布のタイミングは調合によって異なると考えられるが、本実験ではいずれの調合もブリーディング水が概ね見えなくなる時期に統一した。散布後の養生剤は、面に均等になるようにコテで均した。

3. 実験結果

3.1 質量変化測定

質量変化測定用の供試体は、温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室に保管し、養生剤塗布後30分、1、2、4、8、

表-2 使用材料

セメント	普通エコセメント（密度 3.17g/cm ³ ） 普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm ³ ）
細骨材	津久井産砕砂（表乾密度 2.61g/cm ³ ） 市原産陸砂（表乾密度 2.59g/cm ³ ）
混和剤	リグニンスルホン酸系 AE 減水剤

表-3 調合表

調合記号	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		セメント	水 W	細骨材 S1	細骨材 S2	混和剤 AE
EC45	45	495	210	1121	280	4.67
EC55	55	469	258	1124	281	4.69
EC65	65	448	291	1076	269	4.48
OPC45	45	495	223	1188	297	4.95
OPC55	55	469	258	1126	282	4.69
OPC65	65	448	291	1075	269	4.48

表-4 供試体の寸法

試験名	供試体寸法	備考
質量変化	160×230×40mm	
促進中性化	40×40×160mm	JIS R 5201
圧縮強度	40×40×160mm	JIS R 5201



写真-1 質量測定用平板供試体作製用容器

12, 24 時間後, 2, 3, 7, 14 および 21 日後に質量を測定した。本論では, この測定の時間を乾燥期間と定義する。なお, 質量測定はモルタルを平容器から脱型せずに行ったため, データの整理にあたっては, 測定した質量から打込む前の容器の質量を差し引いた値を使用している。

普通エコセメントを用いたモルタル供試体の質量の経時変化を図-1に示す。乾燥期間3日程度までは, いずれの養生剤を塗布した供試体の質量変化も, 養生剤なしのものに比べて同等もしくは小さくなる傾向が見られた。また, 乾燥期間7日以降となると, 養生剤による乾燥抑制効果はほとんど見られなくなった。

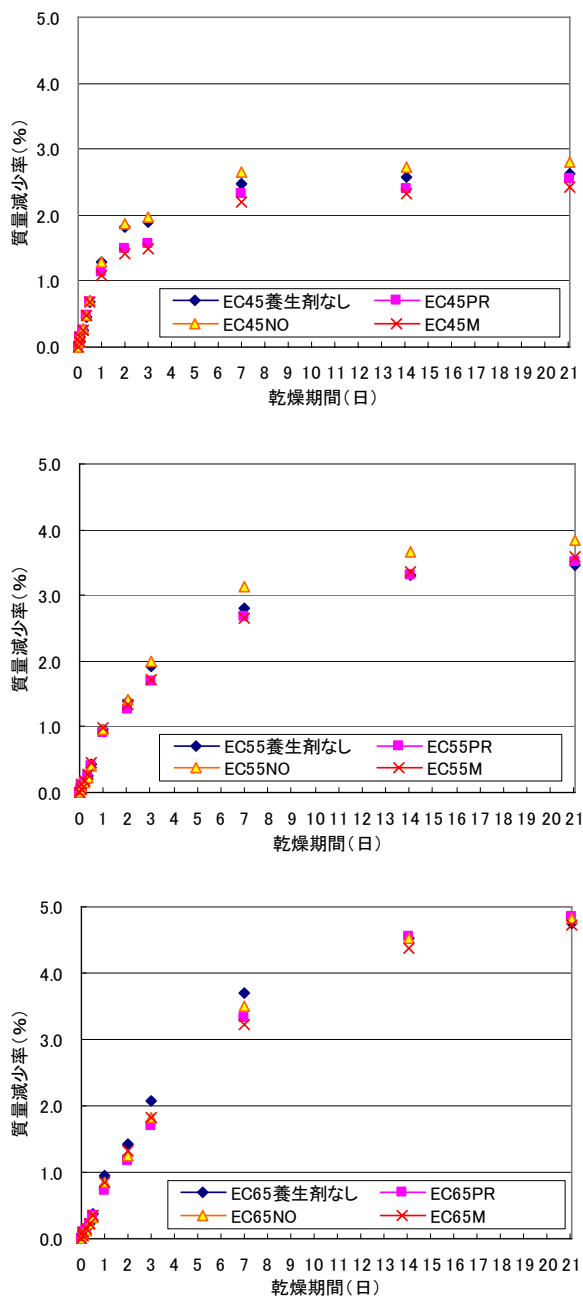


図-1 質量の経時変化 (普通エコセメント)

普通ポルトランドセメントを用いたモルタル供試体の質量の経時変化を図-2に示す。普通ポルトランドセメントを用いたモルタル供試体の質量変化は, いずれも乾燥期間 12 時間程度までは概ね近い値であったが, 12 時間以降は調査や養生剤の種類によって異なる結果となった。乾燥期間 21 日で見ると, 効果のあったものは水セメント比 65%におけるワックス誘導体水溶性系 (M) のみであった。

今回の実験範囲では, 水セメント比が低くなると養生剤の効果はほとんど期待できないと思われた。そこで, 水セメント比 65%のモルタル供試体の乾燥期間 24 時間および乾燥期間 3 日における質量減少率について普通エ

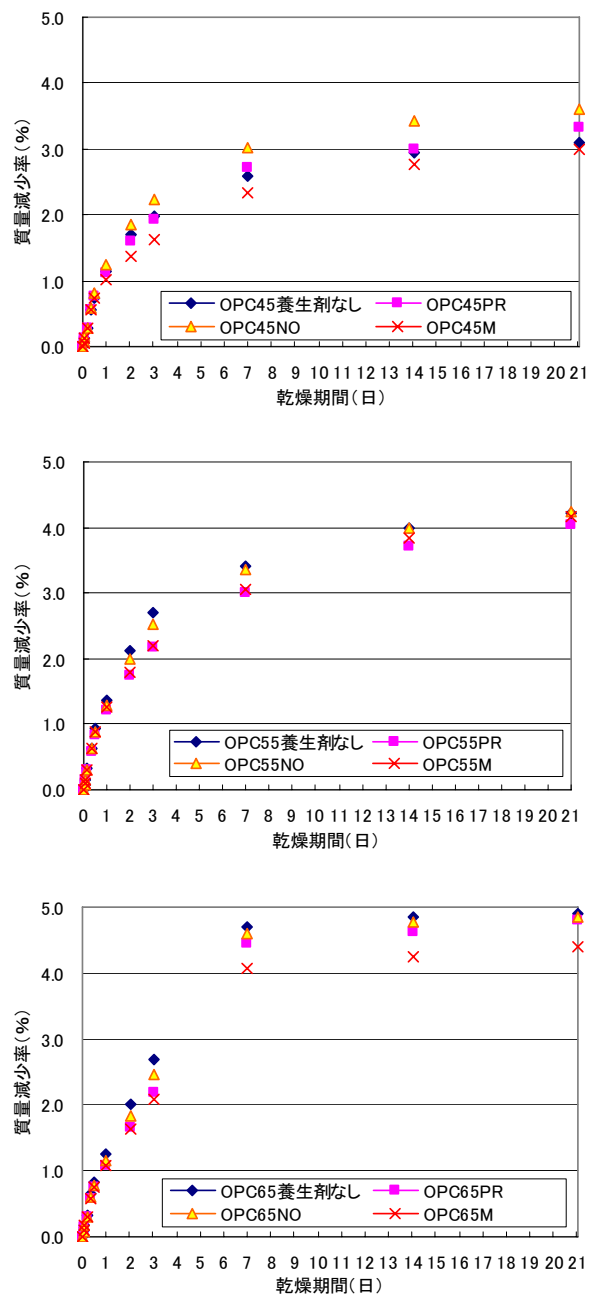


図-2 質量の経時変化 (普通ポルトランドセメント)

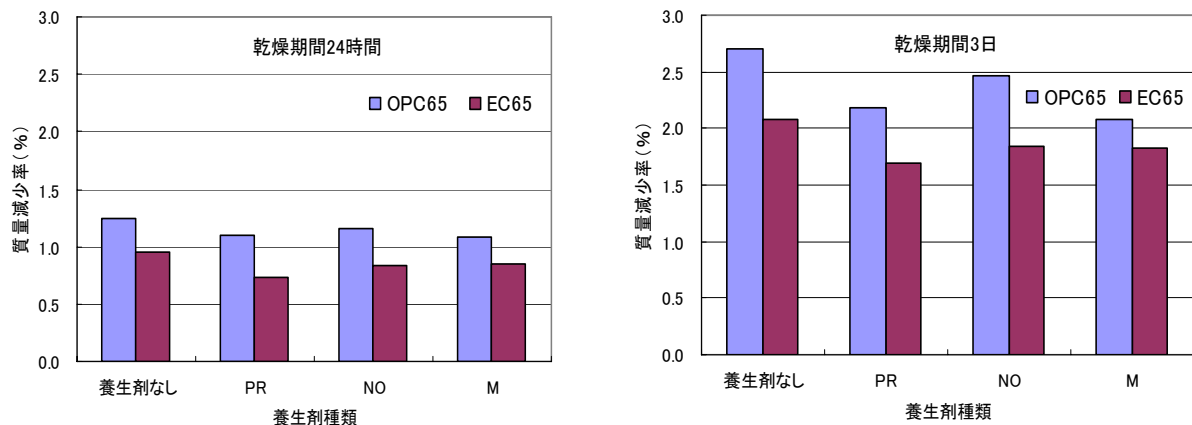


図-3 水セメント比 65%のモルタル供試体の初期材齢における質量減少率

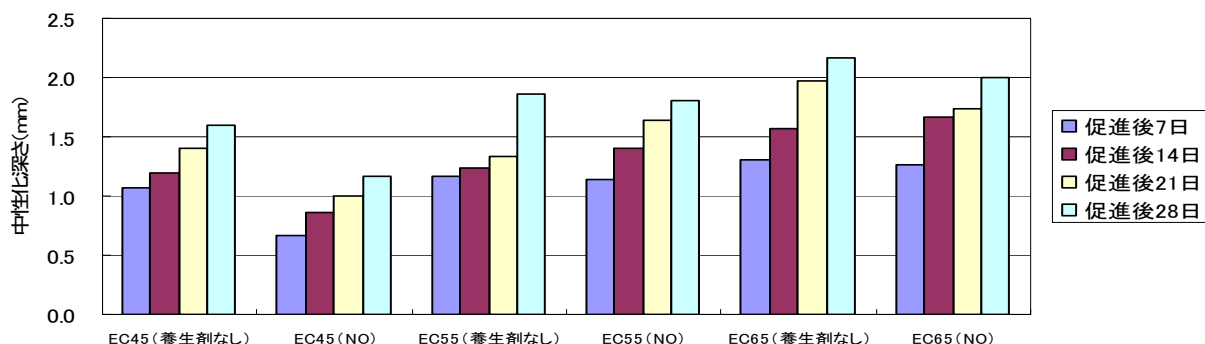


図-4 促進中性化試験結果

コセメントと普通ポルトランドセメントのデータを整理した。結果を図-3に示す。図-3のように整理すると、今回の実験範囲における水セメント比 65%のモルタル供試体では、乾燥期間 3 日以内の乾燥制御には、養生剤の効果があるという傾向が見られた。また、普通エコセメント、普通ポルトランドセメントのいずれを用いた場合でも、塩性シリカ化合物系 (NO) に比べ、パラフィンワックス系 (PR) とワックス誘導体水溶性系 (M) の保水効果がやや優れているように見える。

今回の実験結果から考察すると、普通エコセメントを用いた水セメント比の高いモルタル供試体の初期材齢における乾燥抑制には、養生剤が若干効果を示す。また、普通エコセメントを用いた場合の養生剤の効果は、普通ポルトランドセメントを用いた場合の養生剤の効果とほとんど変わらない。しかしながら、ここまでで検討したモルタルの質量変化は、構造体の性能を直接表している訳ではない。そこで次に、養生剤の膜効果と保水効果が中性化抑制効果をもたらすのかについて検討した。

3.2 促進中性化試験

促進中性化試験は、JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準じて行った。促進中性化試験用供試

体の寸法は 40×40×160mmである。中性化促進装置の設定は、室温 20℃、湿度 60%、CO₂濃度 5.0%とした。中性化測定材齢は、促進後 7、14、21、28 日とした。供試体の中性化は上面 (表面養生剤塗布面) から測定することとした。促進中性化試験は、普通エコセメントのモルタルについて行うことを基本とし、普通ポルトランドセメントのモルタルについては水セメント比 65%の調合のみ行った。

促進中性化試験結果を図-4に示す。今回の実験では、パラフィンワックス系 (PR)、ワックス誘導体水溶性系 (M) の養生剤を塗布した面の中性化は全て確認できなかったため、図からは割愛している。養生剤なしおよび塩性シリカ化合物系 (NO) を塗布した供試体は中性化したが、促進期間が短いため、いずれも中性化深さは数 mm であった。ただし、今回の実験で用いた供試体はモルタルであるため、測定による誤差は比較的小さいと考えられた。

図-4からわかるように、エコセメントを使用したコンクリートであっても、中性化深さは、水セメント比が低くなるほど小さくなる傾向にあった。また、今回の促進中性化試験の結果は、質量変化測定の結果と良い相関

があったと考えられた。すなわち、質量変化測定において、モルタルの質量変化を抑制することができたパラフィンワックス系、ワックス誘導体水溶性系の養生剤を塗布した供試体の中性化深さは、養生剤なしおよび塩性シリカ化合物系を塗布した供試体に比べて小さくなった。

水セメント比 65%における、普通エコセメントを使用したモルタルと普通ポルトランドセメントを使用した

モルタルの促進中性化試験を行った結果を図-5に示す。普通ポルトランドセメントを用いた供試体でもパラフィンワックス系、ワックス誘導体水溶性系の養生剤を塗布した供試体の中性化深さは0mmであったため、図からは割愛している。今回の実験結果では、養生剤を用いることで、普通ポルトランドセメントを使用した場合にも明確な中性化抑制効果が見られた。ここでの一連の結果は、養生剤の塗布が炭酸ガスの浸透を制御したことを示唆しており、養生剤による膜効果、保水効果のようなものは期待できると考える。なお、今回の実験では、供試体の大きさの問題（割裂できる回数の問題）から、初期材齢での中性化を確認するに留まったため、今後の課題として長期的な中性化抑制についても検討を進めたいと考えている。

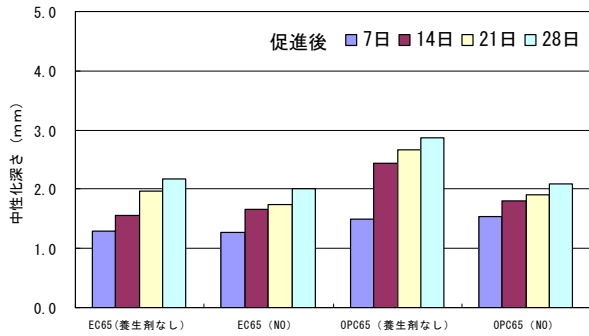


図-5 促進中性化結果

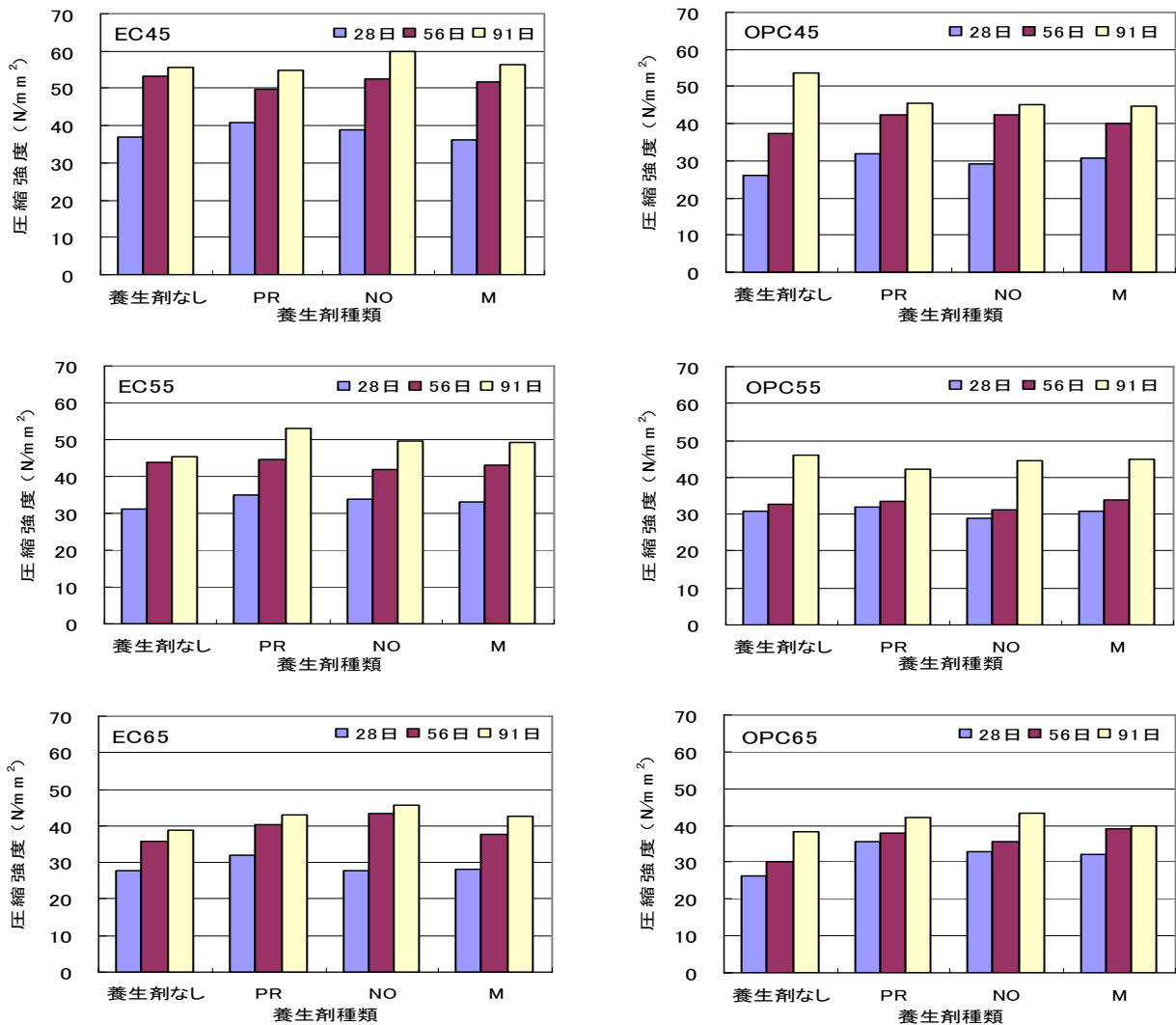


図-6 圧縮強度試験結果 (温度 20°C 湿度 60%)

3.3 圧縮強度試験

ここでは、養生剤の保水効果がモルタルの圧縮強度に及ぼす影響について検討した。圧縮強度はすべての調査、すべての養生剤について測定した。供試体の製作が可能であれば、 $\Phi 50 \times 100$ mm 供試体の側面を養生剤で塗布したような供試体で試験を行うことが理想であったが、供試体製作時にモルタル打込み面にしか養生剤を塗布できないため、ここでは打込み面にのみ養生剤を塗布した $40 \times 40 \times 160$ mm 供試体によって圧縮強度を求めるとした。また、促進中性化試験と同様に、打込み後の供試体は養生剤が塗布されていることから、ここでの供試体も恒温恒湿室養生とした。そこで、各供試体は試験材齢まで温度 20°C 、湿度 60%の恒温恒湿室で養生することとした。試験材齢となった供試体は、割裂によって3片に分割してそれぞれの圧縮強度を求め、これらの結果を平均したものをその供試体の圧縮強度とした。

圧縮強度試験結果を図-6に示す。保水自体はモルタルの養生に少なからず寄与すると考えられるが、全体像で見ると、1面のみ養生剤による養生効果がこの形状のモルタル供試体の圧縮強度を向上させるようには見えない。ただし、水セメント比 65%のモルタルでは、すべての材齢、すべての養生剤の圧縮強度が養生剤なしの供試体の圧縮強度を 0.7~20.7%上回ったため、試験の方法によっては、保水によるモルタル表面の強度改善効果が得られる可能性もあると考えられた。

4. まとめ

本論では、エコセメントの基礎的なデータ整備の一環として、普通エコセメントを使用したモルタルの打込み面に膜養生剤を塗布して養生した場合に、どのような保水効果が得られるのかについて検証を行った。結論を以下に示す。

- (1) 水セメント比の高い領域では、普通エコセメントを使用したモルタルでも初期材齢に養生剤による保水効果が得られることが明らかとなった。また、普通ポルトランドセメントを用いた場合に効果のある養生剤は、普通エコセメントを用いた場合でも効果がある傾向が見られた。
- (2) 普通エコセメントを使用したモルタルに養生剤を塗布することで、中性化を抑制することができた。

その効果は、質量変化測定で保水効果のあった養生剤のほうが大きいと考えられた。この結果は、養生剤の塗布が炭酸ガスの浸透を制御したことを示唆しており、養生剤による膜効果、保水効果のようなものは期待できると考える。

- (3) 養生剤の保水効果による圧縮強度の改善効果を検証したが、顕著な結果は得られなかった。ただし、水セメント比 65%のモルタルでは、すべての材齢、すべての養生剤の圧縮強度が養生剤なしの供試体の圧縮強度を上回ったため、試験の方法によっては、保水によるモルタル表面の強度改善効果が得られる可能性もあると考えられた。

参考文献

- 1) 日本建築学会：エコセメントを使用するコンクリートの調査設計・施工指針（案）・同解説，2007.1
- 2) 建築研究所：エコセメントを使用したコンクリートの物理・力学特性ならびに調査設計・施工技術に関する研究，建築研究報告，No.144，2005.12
- 3) 榊原泰造，近松竜一，十河茂幸：コンクリートの乾燥防止用各種養生剤の適用効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.817~822，2005
- 4) 郭度連，佐竹紳也：膨張材および収縮低減剤を用いたコンクリートの収縮低減効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.573~578，2007
- 5) 谷口秀明，樋口正典，藤田学：高強度コンクリートの表面仕上げと養生の方法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.1355~1360，2006
- 6) 瀬古繁喜，三井健郎，木之下光男，嘉本壮志：高強度コンクリートの硬化物性に及ぼす新規養生剤の効果，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.477~478，2004.8
- 7) 都築正則，一瀬賢一，小柳光生，神代泰道，堀長生：高強度コンクリートのプラスチック収縮ひび割れ低減方法の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.343~344，2006.9
- 8) 起橋孝徳，上西隆，河野政典：高強度コンクリート用各種養生剤によるひび割れ抑制効果，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.341~342，2006.9