# 低炭素型モルタルの二次養生における養生剤の水分逸散抑制効果の評価

ライフサイクル工学分野
上谷幸太郎

養生剤　　水分逸散　　低炭素
プレキャスト　　二次養生　　アブサンデン現象

## 1. はじめに

日本建設連合会は2050年のカーボンニュートラルの達成に向けて、「2030年までに施工段階における$CO_2$排出量の原単位で2013年度比40%削減」の目標を掲げている[1)]。セメントは生産する際の$CO_2$排出量単位が大きいため、セメントに代わり、産業副産物を混和材に用いた低炭素型コンクリートが開発、研究されている。しかし、この低炭素型コンクリートは、性能のばらつきや中性化速度の増加など様々な課題が報告されている[2)]。そのため、低炭素型コンクリートの普及のためには、性能の向上が必須である。本研究では、これらの問題の解決に向けて、コンクリート用養生剤に注目した。養生剤は、水分逸散を抑制して水和反応の停滞を防ぎ、力学性能や耐久性能の向上が期待できる。その一方、低炭素型コンクリートに養生剤を用いた場合の検討例は少ない。

これらの背景から、本研究では、低炭素型モルタルに養生剤を用いた際の水分逸散の抑制効果を検証する。また、結合材にセメントのみを使用した、普通モルタルを比較対象として、低炭素型モルタルに養生剤を用いることの優位性について論じる。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体のパラメータ

実験の比較要素を表－1に示す。結合材のセメントの割合として100%のものと、5%のものを用意した。

本研究ではプレキャスト製品を想定し、加熱養生を施した後、種々の養生方法に分けて養生を行った。加熱養生後の養生の方法は、屋内または屋外での気中養生において、養生剤の有無により4通り、また、屋内での封緘養生と水槽での水中養生を含め、計6通りについて検討を行った。

### 2.2 使用材料と調合

使用材料には、結合材として、普通ポルトランドセメント（C）を用い、その内、混和材には、高炉スラグ微粉末（GGBS）、改質フライアッシュ（CfFA）およびシリカフューム（SF）を用いた。細骨材には、砕砂と陸砂を重量比 1:1 で混ぜ合わせたもの（S）を用いた。混和剤には、高性能減水剤（SP）を用いた。モルタルの調合表を表－2 に示す。C5 については、鈴木ら[3)]の調合表（C4）を参考に作製した。

### 2.3 養生剤の効果、塗布方法

本研究では、ノニオン系界面活性剤を主成分とする養生剤を使用した。ノニオン系とは、イオン性基をもたないことを指し、電解質の影響を受けにくい特徴を持つ[4)]。この養生剤は水溶性で、密度も水に近く、水に均一に溶解する。また、低蒸気圧、高粘度という特徴があるほか、分子の両末端にヒドロキシ基を持つため、水分子と水素結合を形成する。すなわち、水素結合の一部に低蒸気圧、高粘度の成分が混在することで、水分逸散が抑制されていると考えられる。

養生剤は脱型直後の硬化モルタル全表面に、市販のローラーを用いて塗布した。一度塗布した後、養生剤が浸透し、試験体表面に水分のつやが見られなくなってから、二度目の塗布を行った。二度の塗布で計 150 g/m$^2$ を塗布した。

### 2.4 各種試験方法

#### 2.4.1 質量変化試験

加熱養生後（材齢 1 日）の質量を基準として、試験体表面からの水分逸散に伴う質量減少率を測定した。求めた質量変化率で試験体の水分逸散量を評価した。

#### 2.4.2 圧縮強度試験、中性化試験

圧縮強度試験は JIS A 1108 を、中性化試験は JIS A 1152 を参考に行った。中性化試験に関しては、測定した中性化深さから$\sqrt{t}$則を用いて中性化速度係数を算出し、中性化深さの予測曲線を描いた。

#### 2.4.3 削り試験

削り試験は Chen ら[5)]の厚さ減少率試験を参考に、試験体を万力で固定し、重しを載せた真鍮製ブラシを用いて、試験体を削った。ブラシと重しを合わせた質量は 605 g とし、2 秒で 1 往復する速度で 100 往復した。ここで、1 往復とは、

表－1　実験の比較要素

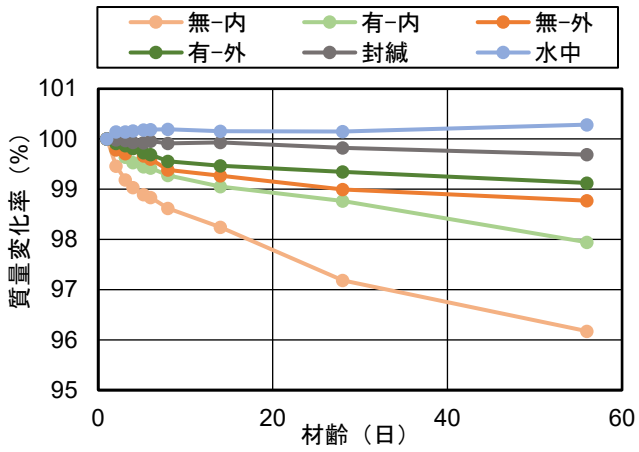
| 項目 | 種類 | 略称 |
|---|---|---|
| 結合材中のセメントの割合 | ・100 %（普通モルタル）<br>・5 %（低炭素型モルタル） | C100<br>C5 |
| 加熱養生後の養生方法 | ・養生剤無し－屋内養生<br>・養生剤有り－屋内養生<br>・養生剤無し－屋外養生<br>・養生剤有り－屋外養生<br>・養生剤無し－封緘養生<br>・養生剤無し－水中養生 | 無－内<br>有－内<br>無－外<br>有－外<br>封緘<br>水中 |

表－2　試験体の調合表

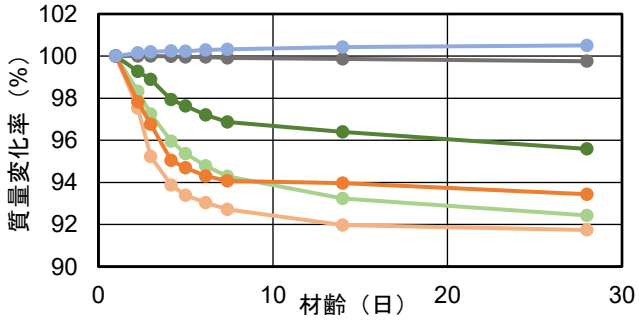
| | 単位質量（kg/cm$^3$） | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B（結合材） | | | | S | W（水） | SP |
| | C | GGBS | CfFA | SF | | | |
| C100 | 570 | | | | 1367 | 302 | |
| C5 | 40 | 484 | 242 | 40 | 1291 | 202 | 4.0 |

Evaluation of the effect of curing agent on moisture loss in cement concrete for $CO_2$ emissions reduction

UETANI Kotaro




（a）C5 の質量変化率




（b）C100 の質量変化率

図−1　質量変化試験の結果

ブラシの右端を試験体の左端まで、ブラシの左端を試験体の右端まで動かすこととした。試験の前後で試験体の質量減少率を測定し、表面劣化現象の程度を評価した。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 質量変化試験

各シリーズの質量変化率の推移を図−1 に示す。C5、C100 のどちらでも、養生剤を塗布することで、気中養生時の質量変化率を小さくする結果となったため、養生剤による水分逸散の抑制効果が確認できた。C5 の質量変化率が C100 よりも小さいのは、C5 の単位水量が C100 よりも小さいためだと考えられる。

### 3.2 圧縮試験

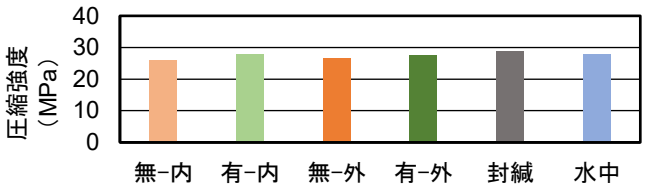
各シリーズの材齢 28 日における圧縮強度を図−2、図−3 に示す。C5 について、養生剤の塗布により、圧縮強度が微少ながら増加する結果となった。故に、養生剤の水分の逸散抑制により、水和反応が滞りなく進行したと考えらえる。

### 3.3 中性化試験

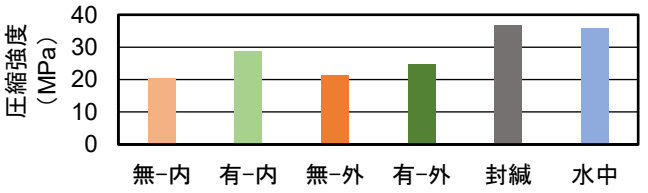
C5 の各シリーズの中性化深さを図−4 に示す。養生剤を塗布することで、中性化深さが大きく低減される結果となった。これは、養生剤の水分の逸散抑制により、水分逸散に由来する空隙の増加を防ぎ、$CO_2$ の侵入量を減少させたためだと考えられる。

### 3.4 削り試験

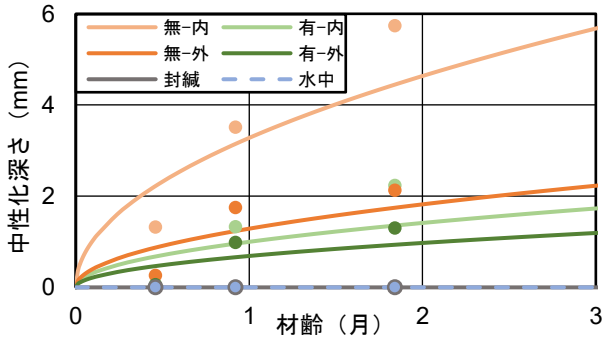
C5 の各シリーズの材齢 28 日における削り試験結果を図−5 に示す。養生剤を塗布したことで質量減少率が小さくなる結果となった。よって、養生剤によりアブサンデン現象[5]を抑制できることが確認できた。



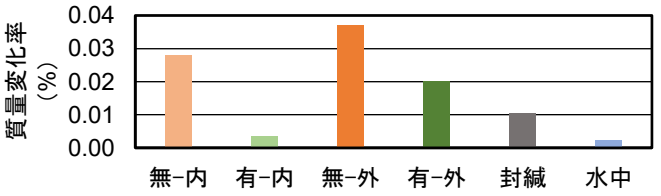

図−2　C5（材齢 28 日）の圧縮強度




図−3　C100（材齢 28 日）の圧縮強度




図−4　C5 の中性化試験結果




図−5　C5（材齢）28 日の削り試験結果

## 4. まとめ

本研究では、養生剤を塗布した場合、低炭素型モルタルでも水分逸散の抑制効果、特に、材齢初期における中性化の抑制に大きく貢献することが確認できた。今後は、異なる作用機序の養生剤でも検証を行い、より低炭素型コンクリートに適した養生剤の考察を行う必要がある。

[参考文献]


1) 脱炭素社会（施工段階における $CO_2$ 排出削減目標）：https://www.nikkenren.com/kankyou/lowcarbon/（閲覧日：2025 年 1 月 2 日）
2) 小林利充、コンクリート工学、Vol. 54、No. 5、pp. 578-581、2016
3) 鈴木南都ら、コンクリート年次論文集、Vol. 45、No. 1、pp. 1054-1059、2023
4) 近藤行成、色材協会誌、Vol. 89、No. 2、pp. 59-63、2016
5) Chen J. ら、コンクリート年次論文集、Vol. 46、No. 1、pp. 1315-1320、2024