

# 論文 界面活性剤を用いた散水養生が蒸気養生モルタルの強度増進におよぼす影響

篠崎 友希\*1・佐藤 空翔\*1・瀧川 瑞季\*2・伊達 重之\*3

**要旨** : PCa の養生に関する研究において、蒸気養生後の散水養生によって水和反応が促進されることで、気中養生と比較して、強度の増進が確認されている。そこで、本稿では散水養生による強度増進効果の向上を目的とし、養生水に界面活性剤を用いた散水養生が蒸気養生モルタルの強度増進に及ぼす影響に関して検討を行った。その結果、界面活性剤を用いることで、従来の散水養生と比較して強度増進していることが確認された。また、界面活性剤の発泡効果に着目し、泡による保温効果が温度応力ひび割れに及ぼす影響に関して検討を行った。その結果、温度応力ひび割れの抑制に一定の効果があることが確認された。

**キーワード** : 蒸気養生, 散水養生, 界面活性剤, 浸透力, 泡, 強度

## 1. はじめに

近年、日本の建設業界では生産性向上を目的として、プレキャストコンクリート（以下、PCa）製品の活用が注目されている<sup>1)</sup>。

PCa において、早期の強度発現は生産性向上を行う上で重要な要素の1つであり、一次養生として蒸気養生が施された後、ストックヤードにて二次養生として気中保管(以下、気中養生)が施されることが一般的である<sup>2)</sup>。気中養生は比較的容易な二次養生方法であるが、蒸気養生の過程で発生した微細ひび割れの乾燥収縮による拡大・進展だけでなく、水分の逸散に伴う水和反応の停滞等による強度低下が懸念されている<sup>3)</sup>。上記の対策として、二次養生として水中養生を施すことで、PCa への継続的な水分供給が可能となり、強度および耐久性の向上が確認されている<sup>3)</sup>。また、気中養生の際に確認された乾燥収縮による微細ひび割れの拡大・進展の抑制が可能となる。しかし、水中養生は工場内に養生槽の設置が必要不可欠であり、場所的制約を受けることが多い。そこで、気中養生と同等のスペース/レイアウトで、比較的容易に水分供給を行うことが可能である散水養生を行うことで、生産性と品質の向上が期待できると考えた。

既往の研究より蒸気養生後に二次養生として散水養生を施すことで、気中養生を施した場合と比較して、強度が増進することが確認されている<sup>4)</sup>。また、異なる種類のセメントを使用した場合においても、散水養生による強度の増進が確認されている。さらに、環境負荷低減の観点から、ミキサやアジテータ車などの洗浄排水の上澄み水を散水養生時の養生水として、再利用した研究において、上水道水を使用した散水養生と比較して、強度増進されることが確認されている<sup>4)</sup>。

本研究では散水養生による強度増進効果の更なる向上を目的とし、界面活性剤を用いた散水養生が蒸気養生モルタルの強度増進に及ぼす影響に関して検討を行った。この結果を踏まえた上で、泡が蒸気養生モルタルの温度及び強度増進へ及ぼす影響に関して検討を行った。

## 2. 界面活性剤を添加した養生水を用いた散水養生効果

既往の研究成果<sup>4)</sup>から、著者らは散水養生による強度増進効果の向上を図るためには、コンクリート内部への水分供給が重要であると推察した。そこで、界面活性剤が持つ表面張力の低下作用に着目し、散水養生に界面活性剤を用いた際に蒸気養生モルタルの強度増進に及ぼす影響に関して検討を行った。

### 2.1 実験概要

#### 2.1.1 使用材料

表-1 に使用材料を示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂、練混ぜ水は上水道水を使用した。

表-1 使用材料

| 使用材料 | 記号 | 備考欄   |
|------|----|---|
| セメント | C  | 普通ポルトランドセメント<br>(密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> )                        |
| 細骨材  | S  | 川砂(神奈川県山北産)<br>密度: 2.69g/cm <sup>3</sup><br>吸水率: 1.46%<br>粗粒率: 3.03 |
| 練混ぜ水 | W  | 上水道水  |

\*1 東海大学大学院 工学研究科 建築土木工学専攻 (学生会員)

\*2 住友大阪セメント株式会社 セメントコンクリート研究所 (正会員)

\*3 東海大学 建築都市学部 土木工学科 (正会員)

表-2 養生水添加剤

| 記号  | 界面活性剤の種類       | 発泡効果 |
|-----|----------------|------|
| TEA | トリエタノールアミン     | なし   |
| SS  | スルホコハク酸塩系      | ややあり |
| AOS | アミノキサイド系(短炭素鎖) | あり   |
| AOL | アミノキサイド系(長炭素鎖) | あり   |

表-2 に使用した養生水添加剤を示す。一般的にセメント製造時に粉砕助剤として使用されるトリエタノールアミン(以下, TEA)は, セメントの水和活性を刺激する効果がある。また, 浸透力の向上を図るために使用されるスルホコハク酸塩系界面活性剤(以下, SS), 炭素鎖が短いアミノキサイド系界面活性剤(以下, AOS)と炭素鎖が長いアミノキサイド系界面活性剤(以下, AOL)の 4 種類の界面活性剤を使用した。なお, 表-2 に示す通り TEA 以外は発泡作用を有する。

### 2. 1. 2 配合条件

配合条件は W/C=40%, S/C=2.0 とした。これらの条件は, PCa 工場で一般的に使用される条件を想定したものである。

### 2. 1. 3 実験方法

#### 1) 養生条件

蒸気養生条件は前置き時間を 2.5 時間設け, 最高温度は 65°C で 5.5 時間保持した。本研究では実際の PCa の製造における一般的な蒸気養生条件をもとに設定した。

図-1 に二次養生条件を示す。図-1 より, 二次養生方法は, 気中養生(室温 20°C, 湿度 60%RH), 水中養生(水温 20°C)だけではなく, 散水養生に使用する養生水への界面活性剤の添加有無での 4 水準を設け, 検討を行った。なお, 養生水に界面活性剤を添加しない散水養生を無添加散水養生とする。二次養生後は所定の材齢まで気中養生を行った。また, 散水養生では, 実際の PCa 工場で脱型から散水を開始するまでの時間を想定し, 脱型から 10, 30, 60 分後に各水準 10 分間の散水を行った。

界面活性剤を用いた散水養生の場合はそれぞれの添加率を 0.5, 1.0, 2.0wt% とした。

#### 2) 試験方法及び評価方法

界面活性剤を添加した際の浸透力の確認を目的とし, 接触角計(株式会社あすみ技研社製 B100)を使用し, スライドガラス表面にて, 接触角の測定を行った。また, 本研究においては接触角が小さいほど浸透力が高いものとした<sup>5)</sup>。さらに, その際の浸透力の違いが強度増進に及ぼす影響を評価するため, JIS R 5201 に準拠し圧縮強度試験を行った。なお, 材齢は 3, 7, 14 日の 3 水準とした。

### 2. 2 実験結果及び考察

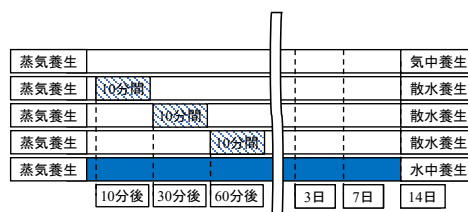


図-1 二次養生条件

#### 2. 2. 1 界面活性剤が養生水の浸透力に及ぼす影響

図-2 に界面活性剤の溶液濃度と接触角の関係を示す。上水道水と比較した場合, 界面活性剤を養生水に添加することで接触角が 20%~80%程度小さくなることが確認された。また, 界面活性剤は溶液濃度が高くなるにつれて, 接触角が小さくなる傾向も確認された。これは, 溶液中の界面活性剤の濃度が高くなるごとに界面活性剤に含まれる親水基と疎水基の割合が増え, 水の表面張力が低下したためと考えられる<sup>6)</sup>。一方, アミノキサイド系界面活性剤の炭素鎖の違いが接触角に及ぼす影響を比較した結果, 炭素鎖が長いほうが, 接触角が小さくなることを確認された。これは, 炭素鎖が長いことで界面活性剤の疎水基が長くなり, 水の表面張力をより低下させ, 浸透力が向上したためと考えられる<sup>6)</sup>。

#### 2. 2. 2 界面活性剤が強度に及ぼす影響

図-3 に養生別の材齢と圧縮強度の関係を示す。図-3 より, 散水養生に使用する養生水に界面活性剤を添加することで, 気中養生と比較して, 圧縮強度が増進することが確認された。また, 無添加散水養生と比較した場合, 界面活性剤を養生水に添加することで圧縮強度が増進することが確認された。これは, 養生水の浸透力が向上し, 供試体内部まで水分が供給されたことで水和反応が促進され, 強度増進に影響を及ぼしたと推察される。

また, 界面活性剤の種類で比較した際は, AOL を用いたケースの圧縮強度が最も高くなることを確認された。これは, AOL の浸透力向上効果及びアミンの触媒活性効果<sup>6)</sup>が水和反応に影響を及ぼしたと考えられる。

図-4 に材齢 14 日時の添加材種別の圧縮強度に及ぼす散水開始時間の影響を示す。この結果, 添加剤なしのケースも含めて, すべてのケースで脱型 10 分後に散水養生を施した場合の圧縮強度が高くなることを確認された。これは乾燥に伴って水和反応が停滞したモルタルに早期の水分供給を施すことで, 水和反応が促進され, 強度増進に影響を及ぼしたものと推察される。

図-5 に AOL 添加散水養生による強度増進効果を示す。この結果, AOL を用いて散水養生を施した際の圧縮強度は, どの材齢においても AOL の濃度に関わらず無添加散水養生のケースと比較して, 圧縮強度が高くなることを確認された。しかしながら, 濃度の差ほど強度増進効果に差は認められなかった。このことから, 本技術

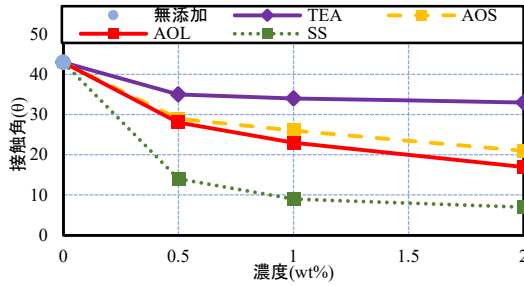


図-2 接触角と溶液濃度の関係

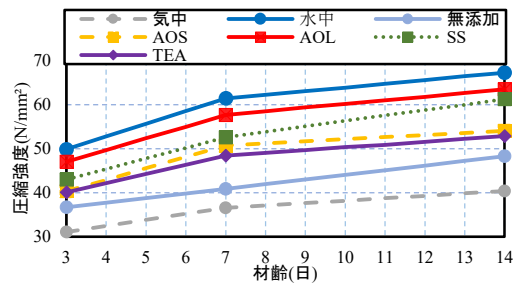


図-3 圧縮強度に及ぼす添加剤の影響  
(10分後10分間、濃度:2.0wt%)

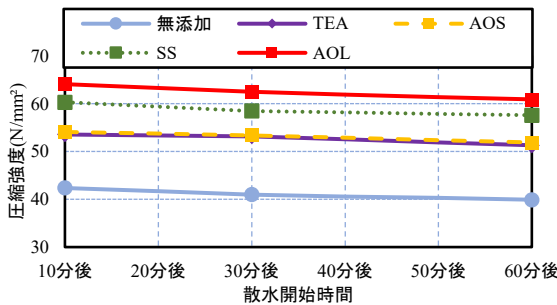


図-4 圧縮強度に及ぼす散水開始時間の影響  
(材齢14日、濃度:2.0wt%)

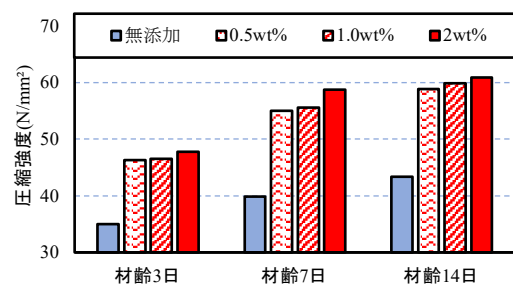


図-5 AOL 添加散水養生による強度増進効果

を実装する場合、費用対効果も踏まえて添加率0.5wt%もしくはそれ以下の濃度を選定することが合理的と推察される。材齢14日では、AOLの濃度に関わらず無添加散水養生と比較して30%程度以上の強度の増進が確認された。

以上のことから、浸透力の評価においては、SSが最も浸透力が高く、散水養生に用いることで強度増進が期待されたものの、結果から、浸透力向上のみならずアミンによる初期水和活性向上効果が期待されるAOLが最も高い強度増進効果が得られることが確認された。

したがって、散水養生による強度増進には、養生水の浸透力向上は有効であるが、アミンによる触媒活性効果も重要な要素である<sup>7)</sup>と考えられる。しかし、詳しいメカニズムの解明には更なる検討が必要である。

また、消泡作用を有するTEAを除いて界面活性剤を養生水に添加した際の散水養生では、発泡した状態で、供試体に供給されることが確認された。加えて、その際は養生を行っている間、供試体に泡が常に付着している状態であることが確認された。

### 3. アミン系界面活性剤を用いた二次養生方法が蒸気養生モルタルの温度応力に及ぼす影響

前章では、界面活性剤を養生水に添加した際にTEAを除いて、添加剤混和養生水の発泡が確認された。また、蒸気養生モルタルの供試体表面に発泡した際の泡が残ることが確認された。この泡の保温効果が無添加散水養生時に懸念される温度応力ひび割れのリスクを低減するの

ではないかと考えた。

そこで本章では、泡の発生が確認された散水養生と発生した泡のみを用いて二次養生を施した場合の2ケースについて、強度増進及び表層と内部の温度差に及ぼす影響に関して検討を行った。

#### 3.1 実験概要

##### 3.1.1 使用材料

使用材料は2.1.1と同様とした。泡の発生はSS, AOL及びAOSなどの界面活性剤を添加し散水養生を施した際に確認された。しかし、本章では2.2.2で最も高い強度増進効果が確認されたAOLのみを用いて、検討を行った。

##### 3.1.2 配合条件

配合条件は2.1.2と同様とした。温度測定の供試体はφ100×200(mm)のモルタル供試体を使用した。また、強度試験の供試体は2.1.3と同様とした。

##### 3.1.3 実験方法

###### 1) 蒸気養生条件及び二次養生条件

蒸気養生条件は2.1.3と同様とした。図-6に二次養生条件を示す。図-6より、蒸気養生終了後は気中養生(室温20°C、湿度60%RH)、水中養生(水温20°C)および、散水養生に使用する養生水へのAOL添加の有無、発生した泡に浸漬する養生の5水準で検討を行った。なお、養生水にAOLを添加した場合の散水養生を、泡散水養生とし、泡の排水処理を目的とし、泡散水養生にのみ槽の有無を設けた。図-7にその様子を示す。図-7より、槽なしの場合は供試体下部に泡が蓄積する。そのため、

蓄積した泡の有無がその後の養生に及ぼす影響について確認を行った。また、櫓ありは泡が蓄積しない。そのため、継続的に新しい泡のみを供給し続けた際の強度増進に及ぼす影響の確認を行った。

このほかに、容器に溜めた泡のみで行う養生(以下、泡浸漬養生とする)も併せて検討した。泡浸漬養生は、泡による水分浸透と供試体の保温を狙ったものである。本研究では泡浸漬養生で使用する泡は専用のポンプを使い、発泡倍率 10.5 倍一定の泡を作製した。無添加散水養生、泡散水養生及び泡浸漬養生は脱型直後に 10, 30, 60 分間の養生を施し、その後は所定の材齢まで気中養生を施した。加えて、泡の温度を 20℃と 45℃に調整した泡散水養生の櫓なしも施した。この水準は温度測定のみを行った。

## 2) 試験方法及び評価方法

本章では泡による保温効果の確認を目的として、熱電対及びデータロガーを供試体水平断面の中心かつ表層から 2mm と 50mm の位置にセットし、温度測定を行った。その際に確認された温度差を用いて、コンクリート標準示方書[設計編]に準拠し、ひび割れ発生確率の評価を行った。また、2 章と同様に圧縮強度試験も行った。加えて、本研究では圧縮強度増進効果(以下、EE)を用いて強度増進の評価を行った。以下に EE の式(1)を示す。

$$EE = \frac{\sigma - \alpha\sigma}{w\sigma - \alpha\sigma} \times 100(\%) \quad (1)$$

EE: 圧縮強度増進効果 (%)

$\sigma$ : 散水養生を施した場合の圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha\sigma$ : 気中養生を施した場合の圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$w\sigma$ : 水中養生を施した場合の圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

以下に、表層と内部の温度差による温度応力に起因するひび割れリスクの簡易評価法<sup>8)</sup>(2)を示す。

$$I_{cr} = 15/T_i \quad (2)$$

$I_{cr}$ : ひび割れ指数

$T_i$ : 部材内側と外側の温度差(℃)

式(2)を用いて算出した  $I_{cr}$  を安全係数と仮定し、コンクリート標準示方書<sup>8)</sup>に示される安全係数とひび割れ発生確率の関係図から照査し、ひび割れ発生確率を求めた。

### 3. 2 実験結果及び考察

#### 3. 2. 1 供試体表層と内部の温度差

図-8 に二次養生別の経過時間と供試体内部の温度差の関係を示し、図-9 に二次養生方法とひび割れ発生確率の関係を示す。また、図-8 より、無添加散水養生を施した場合の温度差が最も高いことが確認された。これは、散水による供試体の冷却のみならず、供給された水の気化潜熱による冷却の双方が作用したことによるものと考えられる。

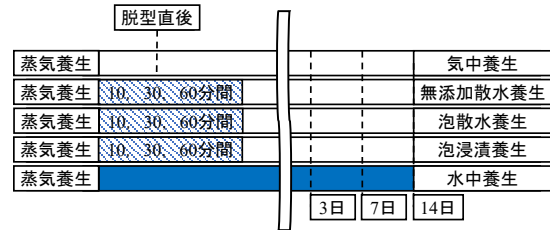


図-6 二次養生条件

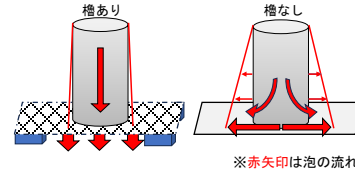


図-7 泡散水養生の櫓の有無

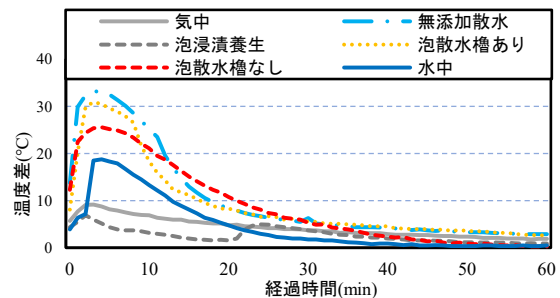


図-8 各養生方法と温度差の関係  
(表層 2mm, 50mm, 供試体サイズφ10×20  
散水時間及び浸漬時間 10 分間)

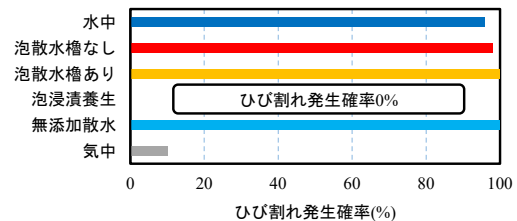


図-9 各養生方法とひび割れ発生確率  
(散水時間及び浸漬時間 10 分間)

泡散水養生は無添加散水養生と比較して櫓の有無に関わらず、温度差を低減することが確認された。また、櫓の有無で比較した場合、櫓なしのケースが温度差を 18%程度低減することが確認された。これは、櫓を無くすことで、噴霧された泡が蓄積し、供試体を覆う為、泡による保温効果を得られやすい養生環境であったためと考えられる。

泡浸漬養生は、気中養生と比較して温度差を最大 25%程度低減することが確認された。これは、気中養生初期に脱型後の供試体から確認される湯気による気過冷却が泡が抑制したと考えられる。さらに、泡浸漬養生は最も温度応力ひび割れが懸念される無添加散水養生と比較して、温度差を最大 80%程度低減することも確認された。また、図-9 から図-8 の無添加散水養生と泡散水

表-4 各養生の評価

|            | 養生の状況                  | 供試体表面の状態                            | 供試体表面の冷却        | 保温効果 |
|------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------|------|
| 無添加散水      | 供試体表面に常に流水あり           | 0.5mm程度の水膜                          | 冷却及び蒸発潜熱による冷却あり | ×    |
| 泡浸漬養生      | 供試体表面に接触した泡は消え、空気層が生じる | 供試体表面に3cm程度の空気層及び1cm~4cm程度の泡層       | ほぼなし            | ◎    |
| 泡散水養生(槽なし) | 泡が常に供給される供試体下部に泡の蓄積あり  | 5mm~10mm程度の泡層<br>供試体下部に2~5cm程度の泡の蓄積 | ややあり            | ○    |
| 泡散水養生(槽あり) | 泡が常に供給される泡の蓄積なし        | 5mm~10mm程度の泡層                       | あり              | △    |

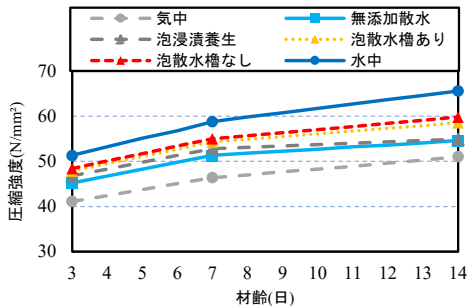


図-10 圧縮強度に及ぼす養生方法の影響 (無添加散水、泡散水及び泡養生 10 分間)

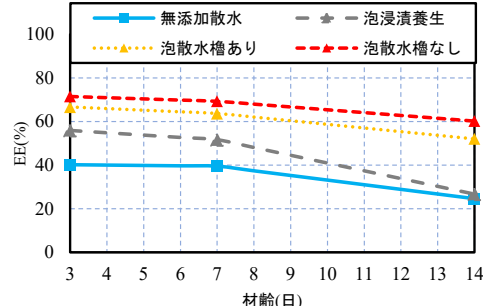


図-11 EEに及ぼす養生方法の影響 (無添加散水、泡散水及び泡養生 10 分間)

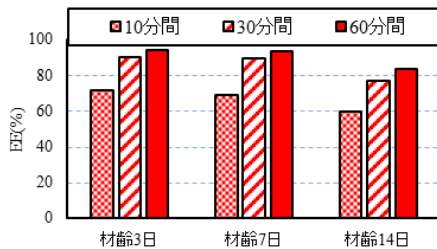


図-12 養生時間とEEの関係 (泡散水養生の槽なし)

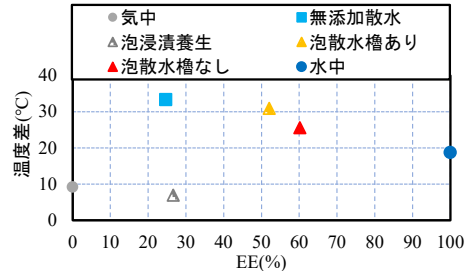


図-13 各二次養生方法の温度差とEEの関係

養生の温度差の関係と同様に、ひび割れ発生確率も同程度となることが確認された。これは、泡散水養生においては、泡の供給以外に泡とならなかった水分が供試体へ噴霧されることで気過冷却が行われ、表層と内部の温度差を生じさせたことが要因だと考えられる。また、泡浸漬養生においては、気中養生と比較してひび割れ発生確率を低下させ、0%になることが確認された。

また、表-3 に泡の温度と最高温度差の関係を示す。45°Cの泡を用いて養生を施すことで、20°Cの泡と比較して、最大 41%程度温度差を低減することが確認された。これは、供給される泡の温度が高いことで、供試体表層を冷却が抑制されたと考えられる。

表-4 に各養生の評価を示す。結果より、散水養生による二次養生時に懸念されている温度応力ひび割れの抑制に関しては、泡浸漬養生を施すことでひび割れ発生のリスクを低減することが可能と考えられる。

### 3. 2. 2 養生方法の違いが強度に及ぼす影響

図-10 に界面活性剤 (AOL) を添加した養生水を用い

表-3 泡の温度と最高温度差の関係

| 泡の温度(°C) | 最高温度差(°C) |
|----------|-----------|
| 20       | 25.6      |
| 45       | 15        |

て、様々な方法で養生を施し、その強度発現に及ぼす影響について示す。また、図-11 に各材齢におけるEEの結果を示す。

図-10 より、無添加散水養生、泡浸漬養生及び泡散水養生はどの材齢においても気中養生の圧縮強度を上回っていることが確認された。また、図-8 でも示したように温度差を最も低減した泡浸漬養生の圧縮強度は無添加散水養生と比較して、材齢7日までは上回ることが確認されたが、材齢14日では、同程度となることが確認された。一方、ひび割れ発生率において、95%以上のひび割れ発生率が確認された泡散水養生を槽なしで施した場合の圧縮強度は、水中養生を除き最も高い圧縮強度であることが確認された。また、図-11 より、EEにおいても

図-10と同様に泡散水養生の櫓なしのEEが最も高いことが確認された。さらに、材齢14日において無添加散水養生のEEが25%程度であるのに対して、泡散水養生の櫓なしのEEは60%程度であり、無添加散水養生と比較して35%程度高いEEであることが確認された。これは、AOLの浸透力向上とアミンの触媒活性効果による水和反応の促進が強度増進に影響を及ぼしたと考えられる。

図-12に最も強度増進が確認された泡散水養生の櫓なしにおける各材齢のEEと養生時間の関係を示す。図-12より、養生時間で比較した場合は、養生時間60分間の場合のEEが最も高く、材齢14日においては84%程度であることが確認された。また、わずか10分間の養生であっても、材齢14日において60%程度のEEが確認された。このことから、10、30、60分間と養生時間が長くなるにつれてEEが高くなることが確認されたものの、10分と30分の差よりも30分と60分の差のほうが小さいことがわかった。初期の水分供給時間が重要であることの証左であると推察される。

図-8と図-11の結果を踏まえ、図-13に各養生方法の温度差とEEの関係を示す。図-13より、泡浸漬養生を施した場合、供試体に接触した泡は消泡し、表層から浸透するものの、供試体周囲は空間ができる状態にあった。ゆえに継続した水分供給は行われていないことが見て取れるが、それでも気中養生と比較して、強度が増進することが確認された。このことは、些少とはいえ脱型直後に水分が供試体に浸透/供給された効果によるものと考えられる。また、EEはどの水準においても気中養生と比較して高くなることが確認された。さらに水中養生を除き、泡散水養生の櫓なしが最も高いEEであることが確認された。櫓なしの場合、泡浸漬養生と異なり供試体表面に常に泡が接触し、連続的に水分供給がなされるためと推察される。これらの結果を踏まえた上で、ひび割れ発生確率が98%であることが確認されたが、最も強度増進が確認された泡散水養生がPCa製品の品質を最も向上させる養生方法であると考えられる。加えて、PCa製品のサイズが大きい場合は温度応力ひび割れを抑制可能な泡浸漬養生、小さい場合は場所的制約を受けにくい泡散水養生を施すことで、PCa製品の更なる品質の向上が期待できると考えられる。

本技術を生産現場に実装するにあたっては、製品の寸法、形状ならびに管理材齢における必要な強度等を踏まえ、費用対効果を考慮した合理的な養生方法を設定する必要がある。そのためには、本実験で設定していなかった添加剤濃度、二次養生開始時間/継続時間などを新たなデータを蓄積することが不可欠である。加えて、泡浸漬養生では、泡を貯める容器ではなく、パーティショナ

どでPCa製品を覆った際の泡の養生方法などについて検討する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では、界面活性剤を養生水に添加した際の散水養生の強度増進に及ぼす影響について検討を行った。また、その際に発生した泡が強度増進に及ぼす影響についても確認を行った。以上のことから、以下の知見を得た。

- (1) 散水養生に使用する養生水に界面活性剤を添加することで、浸透力の向上が確認され、散水養生による強度増進効果の向上が確認された。
- (2) 散水開始時間で比較した場合、脱型後、早期に散水養生を施すことで、高い強度増進効果が確認された。
- (3) 界面活性剤の種類で比較した場合、浸透力の影響よりも、アミン系界面活性剤に含まれるアミンによる触媒活性の影響の方が強度増進に影響を及ぼすことが確認された。
- (4) 界面活性剤の添加率においては、散水に使用する養生水にAOLを0.5%添加した場合であっても無添加散水養生と比べ、40%程度の強度増進効果が期待できることが確認された。
- (5) AOL添加散水養生を施すことで、無添加散水養生と比較して、強度増進と温度差の低減が期待できることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：「第2回コンクリート生産性向上検討協議会資料」2018（抜粋）
- 2) 河野清：コンクリート製品とひび割れ，コンクリートジャーナル，Vol.11，No.9，pp.94-99，1973
- 3) 渡辺敬一：二次製品における品質管理の現状，コンクリート工学，Vol.39，No.5，pp.60-63，2001
- 4) N.Katsuoka, T.Sato, Y.Uno, S.Date：Effect of Initial Water Sprinkling Curing on Strength Development of Precast Concrete, Materials Science Forum, Vol.1084, pp157-164, 2023
- 5) 金氏裕也，谷口朋代：接触角の動的変化を伴う毛管力を考慮した毛細管内の液状水分浸透解析，土木学会論文集A2(応用科学)，Vol.75，No.1，pp.37-46，2019
- 6) 江田啓一，福田純一：界面活性剤水溶液の表面張力(第1報)，日本化学雑誌，Vol.79，No.9，pp.1088-1093，1958
- 7) 宮川美穂，岩城圭介，小山智幸：アミン系強度増進剤の各種混和材に対する効果に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp111-116，2016
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編](2017)