

# 論文 泡を用いた二次養生が蒸気養生モルタルの諸性状に及ぼす影響

原 美伊奈\*1・瀧川 瑞季\*2・新貝 勝信\*3・伊達 重之\*4

**要旨:** プレキャスト製品の二次養生において、散水養生時の養生水に界面活性剤を添加することで散水養生と比較し、強度増進することが確認されている。これは、養生水の浸透力向上だけでなく、養生中に発生する泡により保温され、急激な温度低下を防いだためである。本稿ではこの泡を用いた養生を二次養生として蒸気養生後に施し、異なる泡の作製条件が蒸気養生モルタルの諸性状に及ぼす影響を確認した。その結果、供試体表層部と内部の温度差低減及び表面美観向上が確認された。また、実製品を想定した際に強度増進の効果が得られることが推定された。

**キーワード:** プレキャストコンクリート, 散水養生, 界面活性剤, 泡養生, 保温効果, 洗浄効果

## 1. はじめに

近年、日本の建設業界では少子高齢化による労働者不足などの影響により、作業の効率化が求められており、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)の活用が注目されている<sup>1)</sup>。

PCaは蒸気養生を施すことで早期の強度発現を可能にし、生産性向上を図っているが、高温環境下で養生を施しているため、微細ひび割れ発生が懸念される<sup>2),3)</sup>。一方で、蒸気養生後に脱型を行い、二次養生が施される。二次養生として、一般的に気中保管(以下、気中養生)が施され、場合によっては水中養生が施されることもある。**Table1**に筆者らが考えている各二次養生方法の特徴を示す。気中養生及び水中養生の特徴を踏まえ、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が可能な散水養生を施すことで、生産性及び品質の向上が期待できると考えた。

既往の研究より、勝岡ら<sup>6)</sup>は二次養生に上水道水を養生水に使用した散水養生を施すことで、強度増進することが確認されたが、供試体に色むらが発生することが懸念されている。また、篠崎ら<sup>7)</sup>は養生水の浸透力を向上させることで更なる強度増進を図ることができると考え、養生水に界面活性剤を添加し散水養生を施した際の強度発現特性へ及ぼす影響の検証が行われている。この結果、散水養生を施した場合と比較し、強度増進することが確認された。また、養生水に界面活性剤のうち、アミン系

界面活性剤を添加することで、浸透系界面活性剤を添加した際と比較し、強度増進することが確認された。特に、炭素鎖の長いアミン系界面活性剤(以下、AOL)を添加した際、より強度増進することが確認された。また、界面活性剤を用いた散水養生時に泡の発生を確認した。このことから、藤崎ら<sup>8)</sup>は泡の保温効果により微細ひび割れが抑制され、強度増進すると推察し、AOLを養生水に添加し、二頭口の噴霧器(0.68L/min)を用いて散水した際、発生した泡と液状の養生水による養生(以下、泡散水養生)の強度増進効果についても検証が行われた。この結果、添加率増加に伴い、強度増進することが確認され、実際にPCa工場で泡散水養生を施す際の費用対効果を考慮し、AOLの添加率は0.25wt%が合理的と推察された。

本研究では、界面活性剤の添加による養生水の浸透力向上及び泡の保温効果の相乗効果が泡養生モルタルの諸特性に及ぼす影響について確認を行った。なお、本研究では、発泡機を用いて養生(以下、泡養生)を施し、ノズルから1分間あたりに射出される溶液量及び空気量を調整することで、泡養生で使用する異なる泡の作製条件が泡の性状に及ぼす影響に関して検証した。この結果を踏まえ、実際のPCa工場で泡養生を施すことを想定した際の費用対効果を考慮したうえで、泡の作製条件を選定し、泡養生モルタルの供試体表層部と内部の温度差及び異なる泡の作製条件が強度発現特性に及ぼす影響に関して検証した。さらに、泡養生がモルタルの表面美観に及

**Table1 Feature of secondary curing**

| Secondary curing method | Positive impact   | Negative impact   |
|-------------------------|---|---|
| Atmosphere curing       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Easy</li> <li>• Cheap</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Water diffusion<sup>4)</sup></li> <li>• Drying shrinkage<sup>4)</sup></li> </ul> |
| Water curing            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strength improvement<sup>5)</sup></li> <li>• Prevent from micro cracking<sup>5)</sup></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficult to secure space</li> <li>• Hard to install curing pool</li> </ul>      |

\*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 秋田大学 理工学部 システムデザイン工学科 博(工) (正会員)

\*3 住友大阪セメント(株) セメントコンクリート研究所 修(工) (正会員)

\*4 東海大学 建築都市学部 土木工学科 博(工) (正会員)

**Table2 Materials used**

| Materials       | Mark | Remarks  |
|-----------------|------|--|
| Cement          | C    | Ordinary Portland Cement   |
| Fine aggregate  | S    | River sand from Kanagawa<br>Density : 2.69g/cm <sup>3</sup><br>Water absorption : 1.46%<br>Fineness modulus : 3.03 |
| Mixing water    | W    | Tap water  |
| Curing additive | AOL  | Amine oxide base surfactant<br>(long carbon chain)   |

**Table3 Conditions of foam used in foam curing**

| Mark                               | A    | B    | C    | D |
|------------------------------------|------|------|------|---|
| Dosage(wt%)                        | 0.25 |      |      |   |
| Amount of diluted solution (L/min) | 1    | 0.50 | 0.25 |   |
| Air (L/min)                        | 10   | 20   |      |   |

ばす影響に関して検証を行った。加えて、実製品を想定した際の泡養生による強度増進の確認を目的とし、泡養生が異なる比表面積のモルタルの強度発現特性に及ぼす影響を検証した。

## 2. 異なる泡の作製条件が泡養生モルタルの強度発現特性及び温度応力に及ぼす影響

篠崎ら<sup>7)</sup>は強度発現特性の向上を図るためには、供試体内部への水分供給が必要と推察した。また、界面活性剤の持つ表面張力を低下させる作用<sup>8)</sup>に着目し、散水養生時の養生水に界面活性剤を添加することで浸透力が向上し供試体内部まで水分供給がされたと推察している。

そこで、本研究では発泡機を用いた際、ノズルから1分間あたりに射出される溶液量及び空気量を調整し、泡養生の泡の作製条件に及ぼす影響に関して検証を行った。また、結果を踏まえ、実際のPCa工場で泡養生を施すことを想定し、費用対効果を考慮したうえで、異なる泡の作製条件が泡養生モルタルの強度発現特性及び温度応力に及ぼす影響に関して検証を行った。

### 2.1 実験概要

#### 2.1.1 使用材料

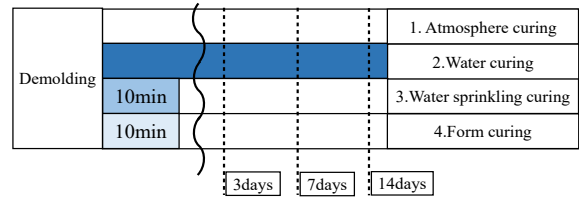
**Table2**に使用材料を示す。**Table2**より、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂(神奈川県山北産)、練混ぜ水は上水道水、養生水添加剤は既往の研究<sup>7)</sup>で最も強度増進が確認されたAOLのみを使用した。

#### 2.1.2 配合条件

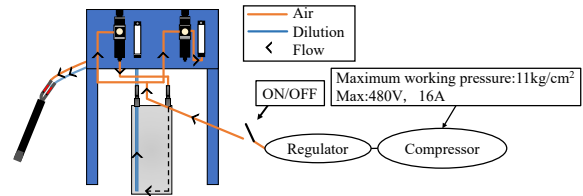
配合条件は、W/C=40%、S/C=2.0とした。これらの配合条件は、実際にPCa製造時に用いられる条件を模擬した。温度測定の供試体はφ100×200mm、強度試験の供試体は40×40×160mmのモルタル供試体を使用した。

#### 2.1.3 泡の作製条件

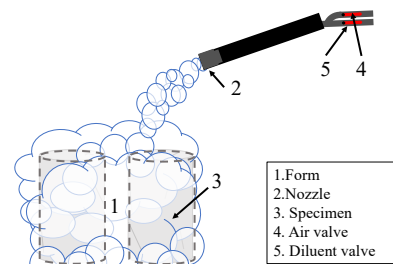
泡の性状評価では界面活性剤の添加率を、0.25、0.50、1.0、2.0wt%とし、養生水に添加した。これらの添加率は



**Fig.1 Methods of secondary curing**



**Fig.2 Schematic of foaming machine**



**Fig.3 Image of foam curing**

費用対効果を考慮し決定した。**Table3**に強度発現特性及び温度差に及ぼす影響の検証で用いた、泡養生で使用する泡の作製条件を示す。**Table3**より、界面活性剤添加率を0.25wt%一定とし、ノズルから1分間あたりに射出される溶液量及び空気量を調整した4水準をA~Dとした。

### 2.1.4 実験方法

#### 1) 養生条件

一次養生として蒸気養生(前置き時間 2.5h, 最高温度 65°C, 最高温度保持時間 5.5h)を施し、脱型は 8h 後にを行った。**Fig.1**に二次養生条件を示す。**Fig.1**より脱型後は、気中養生(室温 20°C, 湿度 60%), 水中養生(水温 20°C), 散水養生(二頭口噴口 0.68L/min), 泡養生の計 4 水準を設け、検証を行った。また、散水養生及び泡養生では、脱型直後に上水道水または泡を 10 分間かけ続け、その後、供試体表面を拭き取らずに所定の材齢まで気中養生を施した。**Fig.2**に発泡機の概略図、**Fig.3**に泡養生のイメージ図を示す。**Fig.2**に示す発泡機を用いて本研究では泡養生を施した。**Fig.3**のように、発泡機によって供試体に泡をかけ養生を行った。タンクに界面活性剤を添加した養生水を入れる。そして、空気をコンプレッサーからレギュレーターを介し発泡機本体に送り、ノズルから1分間あたりに射出される溶液量及び空気量を調整することで泡の作製条件を変化させ、泡を供試体に噴射した。

#### 2) 試験方法及び評価方法

本研究では泡の性状、強度発現特性、泡の保温効果の

3 項目について評価を行った。泡の性状評価では、各添加率における発泡倍率及び消泡時間の測定を行い、ノズルから射出される泡の体積比及び保持時間の確認を目的に、費用対効果を考慮したうえで、泡養生の効果が得られる最適な条件を確認した。発泡倍率の測定<sup>10)</sup>は、容積法を用い、消泡時間の測定<sup>10)</sup>は、文献を参考に 50%の泡が消泡し、もとの溶液に戻るまでの時間の測定を行った。加えて、泡養生に使用する異なる泡の作製条件が強度発現特性へ及ぼす影響の確認を目的とし、圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験では、JIS R 5201 に準拠し、材齢は 3, 7, 14 日とした。本研究では圧縮強度増進効果 (以下, EE) を用いて強度発現特性の評価を行った。以下に、EE の式(1)を示す。本研究では気中養生を施した際の強度低下( $\sigma_w - \sigma_a$ )は 3 日で約 21N/mm<sup>2</sup>, 7 日で約 10N/mm<sup>2</sup>, 14 日で約 13N/mm<sup>2</sup> であり、その値を用いた。

$$EE = \frac{\sigma_s - \sigma_a}{\sigma_w - \sigma_a} \times 100(\%) \quad (1)$$

- EE : 圧縮強度増進効果(%)
- $\sigma_w$  : 水中養生を施した場合の圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_a$  : 気中養生を施した場合の圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_s$  : 散水養生, 泡養生を施した場合の圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

さらに、泡養生時に発生する泡の保温効果の確認を目的とし、熱電対を供試体水平断面の中心かつ表層から 2, 50mm の位置にセットし、脱型直後から継続して 60 分間温度測定を行った。また、脱型直後 10 分間は各二次養生を施し、泡養生及び散水養生はその後気中養生を施した。その際、供試体表層部と内部の温度測定で得られた結果から温度差を算出した。

## 2.2 実験結果及び考察

### 2.2.1 泡養生で使用する泡の性状評価

Fig.4 にノズルから射出される溶液量 1L/min 及び空気量 20L/min を一定とし界面活性剤の添加率のみを変化させた場合の発泡倍率及び消泡時間を示す。Fig.4 より、発泡倍率及び消泡時間ともに界面活性剤の添加率増加によ

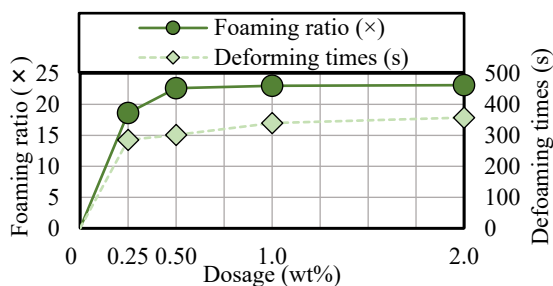


Fig.4 Relation between dosage and Foaming ratio, Defoaming times (Amount of diluted solution 1L/min)

る大差はなく、今回用いた発泡機ではどの添加率においても発泡倍率が高く、消泡時間が長くなることが確認された。このことから、費用対効果を考慮した際、既往の研究<sup>8)</sup>で用いた噴霧器の添加率と同様、本研究で用いた発泡機の場合も、添加率 0.25wt% が良いと推察される。

Fig.5 に界面活性剤の添加率 0.25wt% 及びノズルから射出される溶液量 1L/min を一定とし、ノズルから 1 分間あたりに射出される空気量のみを調整した際の発泡倍率及び消泡時間を示す。Fig.5 より、1 分間あたりの空気量増加に伴い、発泡倍率が高く、消泡時間が長くなることが確認された。条件 A は、発泡倍率は約 11 倍、消泡時間は 152 秒であると確認された。また、ノズルから射出される空気量が条件 A の 2 倍である条件 B は、発泡倍率は約 20 倍、消泡時間は約 336 秒であると確認された。このことから、溶液量に対し混入する空気量増加により発泡倍率及び消泡時間が高く、長くなったと推察される。

Fig.6 に界面活性剤の添加率 0.25wt% 及びノズルから射出される空気量 20L/min を一定とし、ノズルから 1 分間あたりに射出される溶液量のみを調整した際の発泡倍率及び消泡時間を示す。Fig.6 より、1 分間あたりの溶液量増加に伴い、発泡倍率が低くなる傾向が確認された。消泡時間は溶液量増加に伴い、やや長くなる傾向が確認された。条件 C は、発泡倍率は約 23 倍、消泡時間は約 275 秒であると確認された。また、ノズルから射出される溶液量が条件 C の 2 倍である条件 D は、発泡倍率は約 21 倍、消泡時間は 319 秒であると確認された。

以上を踏まえ、添加率の変化による発泡倍率の大差はなく、今回用いた発泡機では発泡倍率は約 23 倍が頭打

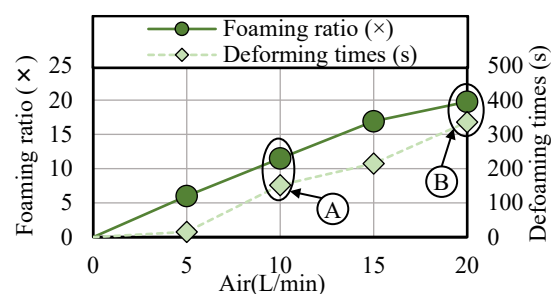


Fig.5 Relation between Air and Foaming ratio, Defoaming times

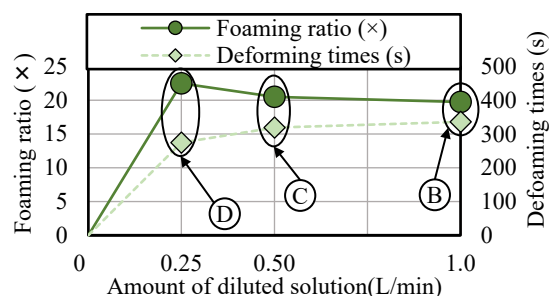


Fig.6 Relation between diluent volume and Foaming ratio, Defoaming times

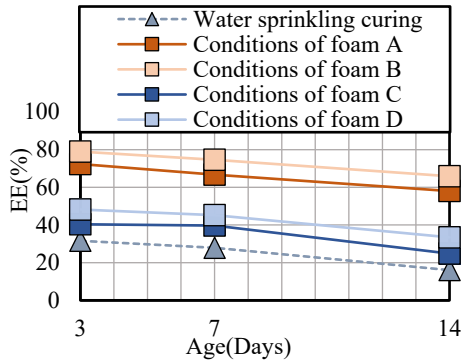


Fig.7 Relation between EE and foam magnification

ちと推察される。また、ノズルから射出される溶液量のみ増加すると発泡倍率が低くなり、ノズルから射出される溶液量及び空気量が増加すると消泡時間が長くなることが確認された。これは泡の膜厚が厚くなったことで発泡しづらく、破裂しにくくなったと推察される。

### 2.2.2 各種二次養生が強度発現特性に及ぼす影響

Fig.7に各二次養生を施した際のEEと材齢の関係を示す。Fig.7より、泡養生を施すことで、散水養生を施した際と比較し、どの泡の作製条件においてもEEが高いことが確認された。また、泡養生を施すことで散水養生を施した際と比較し、特に材齢3日から14日のEEの増加が確認された。これは、界面活性剤の添加により供試体内部まで水分が浸透したことや泡により供試体内部の水分逸散が抑制されたことと推察される。ノズルから1分間あたりに射出される空気量のみを変化させた条件A、Bの泡養生を施すことで、溶液量のみを変化させた条件C、Dの泡養生を施した際と比較し、泡が途切れて供給されることがなく、養生中に供試体を覆う泡の量が増加したため、より保温効果が得られたと推察される。さらに、条件A、Bで泡養生を施した際、条件Aと比較し、条件BはEEが高いことが確認された。これは、泡養生後に供試体に付着した泡を取り除かず保管するため、消泡時間の長い条件Bは条件Aと比較し、泡養生後の泡による保温効果がより長く継続されたことと供試体内部の水分逸散が抑制されたことでEEに差が出たと推察される。

### 2.2.3 各種二次養生が供試体表層部と内部の温度差に及ぼす影響

Table4に各養生方法における供試体表層から2, 50mmの脱型直後から60分間の温度、その際の最大温度差及び泡の保温効果の評価を示す。泡養生は条件A、Bで作製した泡を使用して比較を行った。Table4より、散水養生の温度差が約33.2°Cとなることが確認され、最も高い温度差であることが確認された。これは、散水による供試体の冷却のみならず、供給された水分の気化潜熱による冷却の双方が作用したと推察される。また、泡養生を施すことで、散水養生を施した際と比較し、最大約70%

Table4 Temperature difference inside the specimen

|                             | Atmosphere curing | Water sprinkling curing | Foam A | Foam B | Water curing |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------|--------|--------|--------------|
| 2mm                         | 56.1              | 31.6                    | 40.8   | 46.2   | 41.4         |
| 50mm                        | 65.3              | 64.8                    | 54.3   | 57.9   | 60.2         |
| Temperature difference (°C) | 9.2               | 33.2                    | 13.5   | 11.7   | 18.8         |
| Heat preservation effect    |                   | ×                       | ○      | ◎      |              |

の温度差軽減が確認された。これは、泡の持つ保温効果により、供試体と空気間に泡の断熱層ができること<sup>11)</sup>で供試体の温度低下を低減したと推察される。また、条件Bの泡を使用して泡養生を施すことで、条件Aの泡を使用した泡養生と比較し、温度差が約2°C低減することが確認された。これは、ノズルから1分間あたりに射出される空気量の増加に伴い発泡倍率が上昇したことで泡が増加し、断熱層が厚くなり<sup>11)</sup>保温されたと推察される。

以上のことから、条件Bの泡養生が最も高い強度増進効果が得られた。条件C、Dの泡では条件A、Bの泡と比較し、泡の供給量が少ないことが確認された。これは、溶液量の減少により、界面活性剤中の分子量が減り安定した泡が形成できなかつたと推察される。また、条件Bの泡養生を施すことで散水養生を施した際と比較し、供試体表層部と内部の温度差低減が確認された。そのため、本研究では、界面活性剤添加率0.25wt%、発泡倍率は約20倍、消泡時間は約336秒の条件Bの泡が最も費用対効果が高いと推察される。さらに、泡養生は温度応力ひび割れの発生を抑制し、耐久性及び表面美観の向上にも貢献できると期待される。また、今後は1分間あたりの溶液量を変化させた際、供試体への浸透力が保温効果に及ぼす影響の検討も必要だと考える。

### 3. 各種二次養生がモルタルの表面美観に及ぼす影響

2章の結果より、泡養生を施すことで強度増進が確認されるだけでなく、泡による保温効果によって、蒸気養生後の急激な温度低下を抑制する効果が確認された。このことから、温度応力ひび割れの抑制だけでなく、水分逸散抑制の観点から表面美観の向上に貢献できるのではないかと推察された。加えて、泡養生を施した供試体が目視では白っぽくなっているように見られた。以上を踏まえ、本章では泡養生がモルタルの表面美観に及ぼす影響に関して検証を行った。

#### 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。

### 3.1.2 配合条件

配合条件は 2.1.2 と同様とした。

### 3.1.3 実験方法

#### 1) 養生条件

蒸気養生条件, 二次養生条件は 2.1.4 と同様とした。

2 章で費用対効果が最も高いと推察された界面活性剤の添加率 0.25wt%, ノズルから射出される溶液量 1L/min 及び空気量 20L/min である条件 B の泡で泡養生を施した。

#### 2) 試験方法及び評価方法

界面活性剤の洗浄効果が及ぼす影響の確認を目的に, 供試体の明度測定を行った。測定方法は色彩色差計(コニカミノルタ社, CR-400)を用いて測定を行った。供試体は 100×100×400mm の角柱モルタル供試体を使用した。また, 測定箇所は, 供試体底面の 10 箇所測定を行った。底面を選定した理由は, 型枠に塗布した油性離型剤が底面にたまり最も油性離型剤の影響を受け, 色むらが発生する可能性があるためである。セメントの種類による色彩に大差はなく<sup>12)</sup>, 今回は全ての水準で普通ポルトランドセメントを使用したため, 明度(L\*値)のみ測定し, 評価を行った。測定した明度の標準偏差を算出し, ばらつきが大きい程, 色むらが発生したとし, 定量的評価を行った。

### 3.2 実験結果及び考察

Fig.8 に各二次養生を施した際の供試体表面の明度並びにその標準偏差の関係をグラフに示す。Fig.8 より, 供試体の白さを示す明度では, 泡養生を施した際, 約 49 と最も高いことが確認された。また, 気中養生と比較した際, 泡養生は明度が約 6 向上することが確認された。これは主に, 養生水に添加した界面活性により, 油性離型剤の一部が洗い流されたと推察される。また, 水中養生を施した供試体の明度が 2 番目に高くなることを確認された。これは主に, 炭酸カルシウム生成のもととなる水酸化カルシウムが多く析出し, 溶脱したものが供試体表面に付着したことで白くなったと推察される。さらに, 色むらの指標となる標準偏差では, 泡養生を施した際に約 1.4 と最も低いことが確認された。泡養生を施すことで, 散水養生を施した際と比較し, 標準偏差は約 1.2 低くなることを確認された。これは, 界面活性剤の洗浄効果だけでなく, 発泡状態の養生水がむらなく供試体表面に接触することで色むらが低減したと推察される。

以上のことから, 泡養生を施すことで界面活性剤の洗浄効果により表面の明度が向上し, さらに色むらが低減されることが確認された。

### 4. 養生効果に及ぼす供試体比表面積の違いによる影響

本章では実製品に泡養生を施すことを想定し, 供試体寸法を変え, 泡養生が異なる比表面積のモルタルの強度

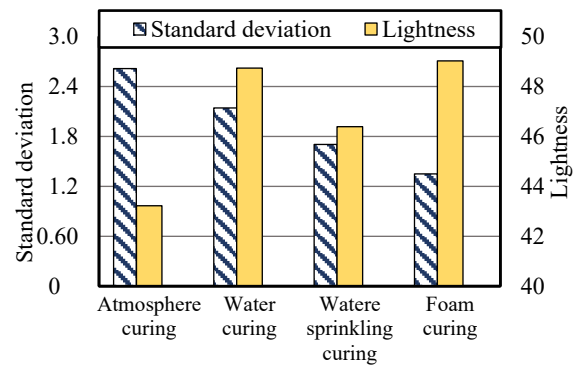


Fig.8 Relation between lightness and standard deviation of secondary curing and surface

発現特性に及ぼす影響に関して検証を行った。

### 4.1 実験概要

#### 4.1.1 使用材料

使用材料は 2.1.1 と同様とした。

#### 4.1.2 配合条件

配合条件は 2.1.2 と同様とした。

#### 4.1.3 実験方法

##### 1) 養生条件

蒸気養生条件, 二次養生条件は 2.1.4 と同様とした。

2 章で費用対効果が最も高いと推察された界面活性剤の添加率 0.25wt%, ノズルから射出される溶液量 1L/min 及び空気量 20L/min である条件 B の泡で泡養生を施した。

##### 2) 試験方法及び評価方法

泡養生を施した際, 対象物の比表面積の違いが強度発現特性に及ぼす影響の確認を目的とし, 圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験は JIS A 1108 に準拠した。なお, 供試体寸法は  $\phi 50 \times 100 \text{mm}$ (比表面積  $0.10 \text{mm}^2/\text{mm}^3$ ),  $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ (比表面積  $0.050 \text{mm}^2/\text{mm}^3$ ),  $\phi 150 \times 300 \text{mm}$ (比表面積  $0.033 \text{mm}^2/\text{mm}^3$ )とした。強度発現特性は EE を用いて評価を行った。また, 一般的な PCa に泡養生を施すことを想定した際の EE を比表面積別に算出した。実際の PCa 製品とし, ボックスカルバート(RC-1 600×600mm)及び U 字溝(PU-1 150)を想定した。ボックスカルバート及び U 字溝の比表面積をそれぞれ  $0.013$  及び  $0.058 \text{mm}^2/\text{mm}^3$ とした。

### 4.2 実験結果及び考察

Fig.9 に比表面積と EE の関係を示す。併せて, 一般的な PCa に泡養生を施すことを想定した際のボックスカルバート及び U 字溝の比表面積と EE を Fig.9 中に示す。Fig.9 より, 比表面積増大に伴い EE が増加することが確認された。また, 散水養生及び泡養生ともに材齢経過するにつれて, EE は減少することが確認されたが, 泡養生を施すことで, 材齢 3 日から 14 日の EE 減少量は小さいことが確認された。これは, EE 減少は供試体内部の水分逸散が原因であるが, 泡養生の際は, 水分の浸透力向上による水和反応の促進だけでなく, 泡の保温効果による

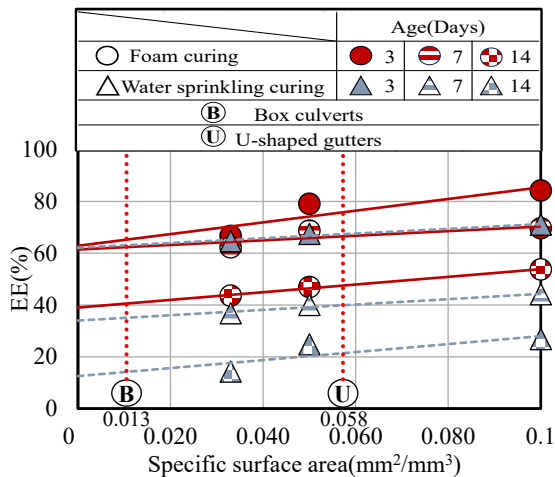


Fig.9 Relation between EE and Specific surface area (mm<sup>2</sup>/mm<sup>3</sup>)

供試体内部の水分逸散低減により EE 減少量が小さくなったと推察される。また本研究の結果から、実製品を想定した際、材齢 14 日時点で、ボックスカルバートでは約 40%、U 字溝では約 45%の EE が期待できると予測できた。したがって、実際の PCa においても泡養生を施すことで約 40~45%の EE が期待できると推察された。さらに、泡養生を施すことで、散水養生を施した際と比較し、材齢 14 日時点の EE が約 30%高いことが確認された。これは養生水が供試体内部に浸透したと推察される。

以上のことから、実製品に泡養生を施すことで、散水養生を施した際と比較し EE 増加が確認された。しかし、Fig.7(角柱供試体)と Fig.9(円柱供試体)のそれぞれ材齢 3 日における結果を比較した場合、両者とも比表面積が 0.1 程度と同程度であるにもかかわらず、後者の EE の方が高い傾向にあった。これは、離型剤の違いの影響、供試体の形状と設置方法(全表面積に対する側面積比率の差および供試体設置間隔)の差などによるものと推察されるが、今後この点も精査が必要だと考えられる。

## 5. まとめ

泡養生で使用する異なる泡の作製条件がモルタルの強度発現特性を含む諸特性に及ぼす影響について検証を行った。また、泡養生がモルタルの表面美観に及ぼす影響や、比表面積の違いが強度発現特性に及ぼす影響に関して確認を行った。本研究で得られた結果から、以下の知見を得た。

- (1) 界面活性剤の添加率 0.25wt%, ノズルから射出される溶液量 1L/min 及び空気量 20L/min で作製した泡は発泡倍率が約 20 倍、消泡時間が約 336 秒であった。また、この条件の泡を使用した泡養生が最も高い強度増進効果を得られた。
- (2) 泡養生を施すことで、散水養生を施した際と比較し、

供試体表層部と内部の温度差低減が確認された。さらに、発泡倍率の上昇に伴い温度差が低減されることも確認された。

- (3) 泡養生を施すことで、他の二次養生を施した際と比較し、供試体表面の明度向上及び色むらの抑制が確認された。
- (4) 泡養生を施すことで一般的なプレキャストコンクリート製品(ボックスカルバート、U 字溝)を想定した際、圧縮強度増進効果は材齢 14 日時点で約 40%以上期待できると推察される。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：「第 13 回コンクリート生産性向上検討協議会」, 2024
- 2) 杉木六郎：コンクリートの促進養生, コンクリート・ジャーナル, Vol.12, No.8, pp.1-14, 1974
- 3) 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
- 4) 佐々木謙二ほか：PCa 製品を想定した温度履歴を与えたコンクリートの収縮性状に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.517-522, 2013
- 5) 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
- 6) 勝岡夏那ほか：蒸気養生モルタルの強度発現に及ぼす初期散水養生の効果, 第 75 回セメント技術大会講演要旨, pp.132-133, 2021
- 7) 篠崎友希ほか：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, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1003-1008, 2024
- 8) 藤崎祐佳ほか：蒸気養生モルタルの強度に及ぼすアミン系界面活性剤を用いた二次養生の影響, 令和 6 年度土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会講演概要集, V-180, 2024
- 9) 江田啓一ほか：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
- 10) 株式会社防災屋：泡消火薬剤の発泡倍率と 25%還元時間, 最終更新日 2016 年 11 月 28 日 (最終閲覧日 2024 年 11 月 29 日)
- 11) 近藤靖史ほか：断熱材の性能変化要因の検討と振動による断熱性能変化の実験, 日本建築学会環境系論文集, Vol.74, No.643, pp.1049-1057, 2009
- 12) 鈴木保任ほか：セメントの品質管理試験の開発 (その 2) -セメント種別の特定判別のための簡易で安価な色差計の開発-, Cement Science and Concrete Technology, No.65, pp.76-81, 2011