

# 論文 プレキャストコンクリートの耐凍害性向上へのダブルミキシングの有効性に関する研究

鈴木 翔太\*1・田澤 榮一\*2・Jariyathitipong Paweena\*3・笠井 哲郎\*4

**要旨:** プレキャストコンクリート工場では、ジャンカや表面気泡（あばた）等の不具合を防止するために各種振動機を過度に使用し、コンクリート中の空気量の減少に伴い耐凍害性が低下することが指摘されている。本研究ではプレキャストコンクリート製造にダブルミキシング（DM）を適用した場合について、耐凍害性向上への有効性について検討した。その結果、DMにより振動締固めによるコンクリート中の空気量の減少および耐凍害性に寄与する気泡間隔係数の増加を低減できることが判明した。

**キーワード:** ダブルミキシング, 常圧蒸気養生, 凍結融解抵抗性, 空気量, 気泡間隔係数, 振動締固め

## 1. はじめに

コンクリート製品工場におけるプレキャスト部材の製造においては生産性の向上を目的として通常、常圧蒸気養生を実施している。この常圧蒸気養生は、型枠にコンクリートを打設後、所定の前置時間を取った後、蒸気の通気により緩やかに温度を上げ、最高温度を一定時間保持して行われる。現在、このプレキャストコンクリートの製造工程において、さらなる生産性の向上やコスト削減の観点から、コンクリートの力学特性や耐久性などの品質を損なうことなく、養生時間を短縮することが求められている<sup>1), 2)</sup>。

一方、セメントペーストの製造において、練混ぜ水を最適比率で分割し、練り混ぜるとセメントペーストのブリーディングは大幅に減少する。この練混ぜ方法は、練混ぜ水を一括投入して行う従来の練混ぜ方法（シングルミキシング(SM)）に対し、ダブルミキシング(DM)と呼ばれ、これまで多くの研究が行われてきた<sup>3)-4)</sup>。また、DMはブリーディングが減少するだけでなく、セメントの初期水合が促進することから<sup>5), 6)</sup>、これを常圧蒸気養生す

るプレキャストコンクリートの製造に適用すると、SMの場合より脱型直後だけでなく、材齢7日および28日の場合とも圧縮強度が大きくなり、プレキャストコンクリートの製造における養生工程、特に前置時間の短縮に有効であることが明らかとなった<sup>7)</sup>。また、著者らはコンクリート工場において、DMで製造したコンクリートの凍結融解抵抗性がSMで製造したものより大幅に向上することを報告した<sup>8)</sup>。しかし、工場製造と異なる骨材を用いた実験室内で製造したコンクリート供試体（突き棒を用いた打込み）では、凍結融解の繰返しによる相対動弾性係数のSMとDMの明確な差は再現できなかった。プレキャストコンクリート工場では、型枠の形状などに応じて振動台や内部振動機あるいは型枠振動機等の振動機を使用し、コンクリートの締固めを行っている。しかし、ジャンカや表面気泡（あばた）等の不具合を防止するため振動機の過剰な使用により空気量が減少し、凍害性などに大きく影響することが指摘されている<sup>9), 10)</sup>。以上のことより、前述の工場と実験室での差は、供試体製造時の締固めの程度により、供試体内の凍結融解抵抗性

表 - 1 使用材料

|      | 種類           | 記号 | 物性または主成分   |
|------|--------------|----|--|
| セメント | 普通ポルトランドセメント | C  | 密度: 3.16 g/cm <sup>3</sup> 比表面積: 3300 cm <sup>2</sup> /g |
| 細骨材  | 岡山県産         | S1 | 表乾密度: 2.56 g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 1.47%                  |
|      | 菊川支流産        | S2 | 表乾密度: 2.59 g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 2.18%                  |
| 粗骨材  | 岡山県産         | G1 | 表乾密度: 2.61 g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 0.98% 最大寸法: 15mm       |
|      | 青梅産          | G2 | 表乾密度: 2.70 g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 0.62% 最大寸法: 20mm       |
| 混和剤  | 高性能減水剤       | SP | ポリカルボン酸エーテル系化合物  |
|      | AE助剤         | AE | 変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤                                      |

表 - 2 コンクリートの配合

| 配合No. | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |       |      |        |
|-------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|------|-------|------|--------|
|       |         |         | W                        | C   | S1  | S2   | G1    | G2   | SP     |
| シリーズ1 | 40      | 42      | 170                      | 425 | 702 | 985  | 1019  | 2.55 | 0.0425 |
| シリーズ2 |         |         |                          |     | 699 |      |       |      |        |
| シリーズ3 |         |         |                          |     | 708 | 2.13 | 0.021 |      |        |
| シリーズ4 |         |         |                          |     |     |      |       |      |        |

\*1 東海大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (学生会員)

\*2 広島大学 名誉教授 工博 (正会員)

\*3 ランデス (株) 本部技術センター研究所 (正会員)

\*4 東海大学 工学部土木工学科 教授 工博 (正会員)

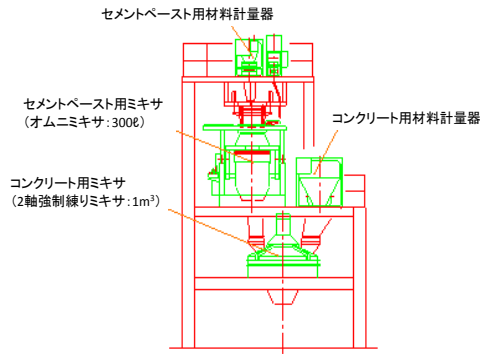


図 - 1 実機プラントの概念図

に有効な空気量に差が生じたことが一要因であると推察される。

そこで、本研究では、常圧蒸気養生するプレキャストコンクリートの耐凍害性の向上において、DM の有効性をより明確にすることを目的として、まず、プレキャストコンクリートの実機製造ラインと同一の骨材を用いた実験室内での再現性の検討、および供試体の締固めの程度が凍結融解抵抗性と細孔構造に及ぼす影響に関し、実験的検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

使用材料を表 - 1 に、コンクリートの配合を表 - 2 に示す。シリーズ 1 は実機製造ライン実験を、シリーズ 2 はシリーズ 1 と同一の S1, G1 の骨材を使用し試験室内実験を行ったものである。シリーズ 3, 4 は S2, G2 の骨材を使用し試験室内実験にて供試体の締固めの際の振動の有無の影響について検討したものである。シリーズ 1 は設計基準強度が  $30\text{N/mm}^2$  で目標スランプ値は  $8 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量は  $4.5\% \pm 1.5\%$  である。なお、試験室内実験において、混和剤は練混ぜ水に対して内割りで添加した。

### 2.2 コンクリートの練混ぜおよび供試体

#### (1) 実機製造ライン実験 (シリーズ 1)

コンクリートの練混ぜは、実機プラント (図 - 1) を用い SM および DM にて行った。DM ではオムニミキサにてセメントペーストを製造した後、これを細、粗骨材とともにコンクリート用ミキサに投入し 90 秒間練混ぜてコンクリートを製造した。DM のセメントペーストの製造は、練混ぜ水を 2 分割して練り混ぜる方法で練混ぜ水の一部 (一次水:  $W_1$ ) を添加して、練り混ぜた後、水の残部 (二次水:  $W_2$ ) と混和剤 (SP と AE) を加え練り混ぜた。なお、DM における一次水セメント比 ( $W_1/C$ ) は 24% とした。この値 (最適  $W_1/C$ ) は、DM においてプリーディングが最も小さく、セメントの初期水和が促進する条件である<sup>4-7), 11)</sup>。SM ではコンクリートミキサに材料を

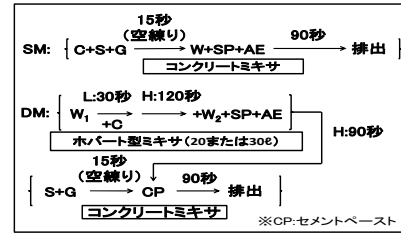


図 - 2 練混ぜ方法

一括投入し、90 秒間練り混ぜた。供試体は圧縮試験用として  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  および凍結融解試験用として  $100 \times 100 \times 400\text{mm}$  をそれぞれ必要本数作製した。

#### (2) 試験室内実験 (シリーズ 2, 3, 4)

図 - 2 にコンクリートの練混ぜ方法を示す。DM におけるセメントペーストの練混ぜにはホバート型モルタルミキサ (容量 20 または 30ℓ) を使用した。コンクリートの練混ぜにはパン型強制練りコンクリートミキサ (100ℓ) を用いた。DM における一次水セメント比 ( $W_1/C$ ) はシリーズ 1 と同様に 24% とした。コンクリートの型枠への打込みはシリーズ 2 と 3 では JIS A 1132 の突き棒を用いる場合に準拠して行った。また、シリーズ 4 は供試体の締固めの程度の影響を検討するために、テーブル振動機を用いて打ち込みを行った。テーブル振動機を用いる場合は、テーブル振動台 ( $450 \times 450\text{mm} - 750\text{W} - 200\text{V} - 1700\text{rpm} - 3.5\text{A}$ ) を使用し、突き棒で突いた後、各層 15 秒間の振動締め固めを行った。供試体は圧縮試験用として  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  および凍結融解試験用として  $100 \times 100 \times 400\text{mm}$  をそれぞれ必要本数作製した。

### 2.3 養生条件

#### (1) 実機製造ライン実験 (シリーズ 1)

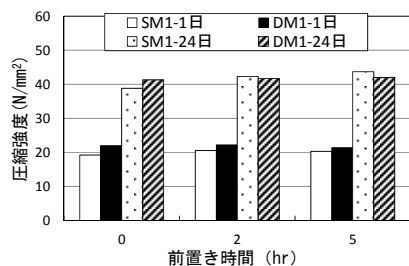
常圧蒸気養生は、実機の恒温恒湿槽を用いて前置時間を 0, 2, 5 時間 (室温  $20^\circ\text{C}$ ) と変化させ、蒸気の通気により昇温速度を  $20^\circ\text{C/h}$ 、最高温度を  $60^\circ\text{C}$ 、最高温度保持時間を 3 時間となるように設定した。常圧蒸気養生終了後の供試体は、所定の試験材齢まで室温  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 65% の条件で気中養生した。なお、SM および DM で製造した供試体は、前置時間を変えたそれぞれの恒温恒湿槽で同時に養生を行った。

#### (2) 試験室内実験 (シリーズ 2, 3, 4)

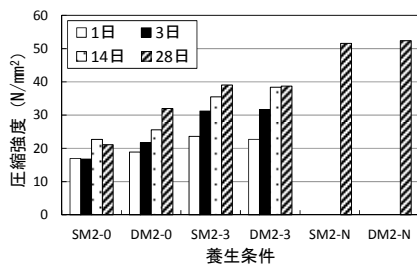
コンクリート供試体の養生は標準養生および常圧蒸気養生にて行った。標準養生は水温  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  の水中養生、常圧蒸気養生は恒温恒湿槽を用いて前置時間を 0, 3 時間 (室温  $20^\circ\text{C}$ 、湿度 65%) と変化させ、昇温速度を  $20^\circ\text{C/h}$ 、最高温度を  $65^\circ\text{C}$ 、最高温度保持時間を 3 時間 (室温  $65^\circ\text{C}$ 、湿度 98%) とした。常圧蒸気養生終了後の供試体は、所定の材齢まで室温  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 65% の条件で気中養生した。

表 - 3 フレッシュコンクリートの試験結果

| 配合 No. | 名称     | 空気量 (%) | スランプ値 (cm) |
|--------|--------|---------|------------|
| シリーズ 1 | SM 1   | 4.8     | 8.0        |
|        | DM 1   | 4.3     | 8.0        |
| シリーズ 2 | SM 2-N | 5.7     | 9.0        |
|        | SM 2-3 | 5.0     | 5.0        |
|        | SM 2-0 | 5.3     | 6.0        |
|        | DM 2-N | 6.0     | 8.3        |
|        | DM 2-3 | 5.5     | 7.5        |
|        | DM 2-0 | 6.5     | 9.0        |



(a) 実機製造ライン実験



(b) 試験室内実験

図 - 3 コンクリートの圧縮強度試験結果

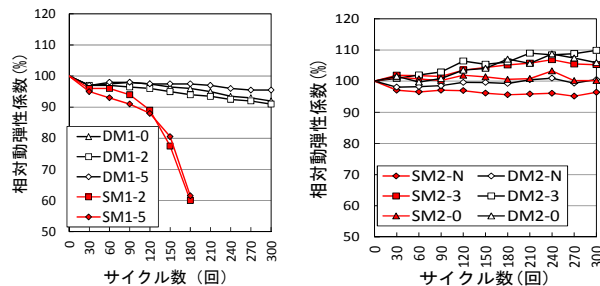
## 2.4 試験項目および方法

### (1) 実機製造ライン実験 (シリーズ 1)

スランプ試験 : JIS A 1101, 空気量試験 : JIS A 1128, 圧縮強度試験 : JIS A 1108 および凍結融解試験 : JIS A 1148 (A 法) を JIS 規格に準拠して行った。なお, 圧縮強度試験の材齢は 1, 24 日とした。また, 凍結融解試験では材齢 24 日まで気中養生した後, 28 日まで水中養生 (20°C) し, 試験に供した。同一条件の供試体本数は圧縮強度 3 本, 凍結融解試験では 2 本とした。

### (2) 試験室内実験 (シリーズ 2, 3, 4)

シリーズ 1 と同様にスランプ試験, 空気量試験, 圧縮強度試験および凍結融解試験を JIS に準拠して行った。なお, シリーズ 4 では標準養生用のコンクリートに関して, 練混ぜ直後の空気量を測定した後, 前述 2.2 (2) と同様に振動台で締め固めを行い再度, 空気量の測定を行った。圧縮強度試験の材齢は 1, 3, 14, 28 日とした。また, 凍結融解試験では材齢 21 日まで気中養生した後, 28 日まで水中養生 (20°C) し, 試験に供した。同一条件の供試体本数は圧縮強度試験で 3 本および凍結融解試験で 2 本とした。気泡間隔係数の測定は ASTM C 457 リニアトラバース法に準じて行った。細孔径分布の測定は, 水銀



(a) 実機製造ライン実験 (b) 試験室内実験

図 - 4 凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の変化

圧入法にて行った。両試験の供試体は, 凍結融解試験に用いる供試体と同一の製造・養生条件のものとした。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 シリーズ 1, 2

#### (1) コンクリートの基礎物性

表 - 3 は, フレッシュコンクリートの試験結果を示したものである。表の名称欄は練混ぜ方法, シリーズ No., 養生条件の順に記載した。(練混ぜ方法: SM または DM, シリーズ No : 1 または 2, 養生条件 : 標準養生は N, 促進養生は前置時間 0 または 3 時間)。表 - 3 よりシリーズ 1 におけるスランプおよび空気量は目標の範囲となった。シリーズ 1 の図 - 3(a) より, 材齢 1 日および 24 日とも SM では前置時間が短いほど圧縮強度が小さくなっているが, DM では前置時間の短縮による強度低下が見られず, また材齢 1 日ではどの前置時間においても SM より DM の方が圧縮強度が大きくなった。また, シリーズ 2 の図 - 3(b) においては前置 3 時間および標準養生では SM と DM の圧縮強度はほぼ同等となった。しかし, 前置 0 時間においては DM の方が圧縮強度が大幅に大きくなっている。前置時間が短い場合, コンクリート中の空気泡や練混ぜ水が昇温に伴い熱膨張し, 蒸気養生の初期段階で硬化体内部に微細ひび割れ等の欠陥が生じている。一方 DM の脱型直後(材齢 1 日)の圧縮強度には前置時間の影響が殆ど現れていない。これは DM の方が SM より凝結が速いため, 前述のような内部欠陥が生じにくいと推察される。このことは強度発現性を損なうことなく, 常圧蒸気養生工程における前置時間を短縮する方法として, DM が有効であることを示すものであり, 文献 7) の結果と一致する。

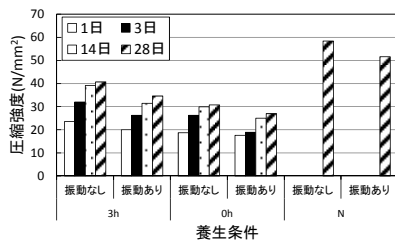
#### (2) 凍結融解試験

シリーズ 1 の図 - 4 (a) より, DM ではいずれの前置時間の条件においても相対動弾性係数の低下は僅かであるのに対し, SM では前置時間 2 および 5 時間の場合ともサイクル回数 180 回で相対動弾性係数が 60% 以下に低下した (SM の前置時間 0 時間は試験を実施していない)。

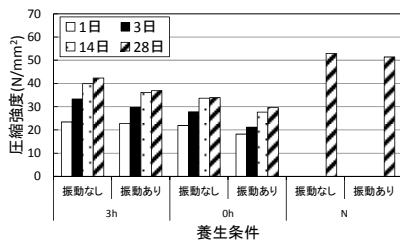
表 - 4 フレッシュコンクリートの試験結果

| 配合 No. | 名称       | 空気量 (%)   | スランプ値 (cm) |
|--------|----------|-----------|------------|
| シリーズ 3 | SM 3-N   | 4.5       | 7.5        |
|        | SM 3-3   | 4.5       | 7.5        |
|        | SM 3-0   | 4.6       | 9.0        |
|        | DM 3-N   | 4.5       | 9.5        |
|        | DM 3-3   | 4.5       | 9.5        |
| シリーズ 4 | DM 3-0   | 4.4       | 9.0        |
|        | SM 4-N-V | 4.9 (2.8) | 11.0       |
|        | SM 4-3-V | 4.9       | 11.0       |
|        | SM 4-0-V | 4.6       | 10.0       |
|        | DM 4-N-V | 5.0 (3.3) | 8.5        |
|        | DM 4-3-V | 4.5       | 8.0        |
|        | DM 4-0-V | 4.5       | 7.0        |

※ ( ) 内は振動台で加振後の空気量



(a) SM



(b) DM

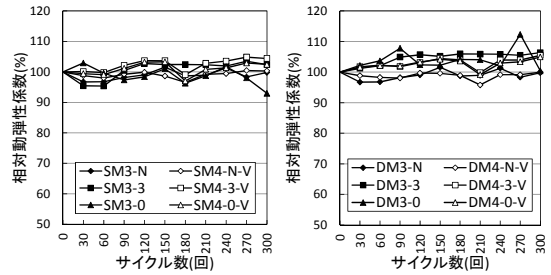
図 - 5 コンクリートの圧縮強度

一方、シリーズ2の図-4(b)より、シリーズ1で見られたSMの大幅な相対動弾性係数の低下は生じていないものの、同一養生条件においてSMよりDMの方が相対動弾性係数は大きくなっている。以上の結果から、実験室におけるシリーズ2では、シリーズ1のSMの相対動弾性係数の大幅な低下は再現できなかったが、SMよりDMの方が耐凍害性が向上する傾向にあることがわかった。これらのことより、強度発現性だけでなく凍結融解抵抗性を損なうことなく、前置時間を短縮する方法として、DMが有効であると考えられる。

### 3.2 シリーズ3, 4

#### (1)コンクリートの基礎物性

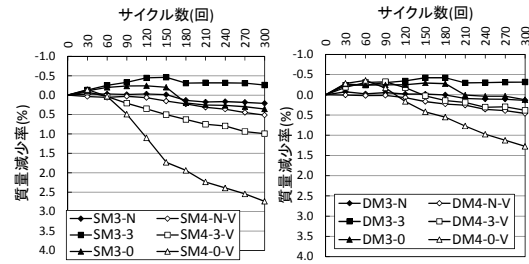
表-4はフレッシュコンクリートの試験結果を示したものである。表の名称欄は、表-3と同一順に記載し、振動を加えた場合にVを付記した。シリーズ4の標準養生に関し振動締め後の空気量の測定を行った。(表のカッコ内数字が、振動締め後の測定値である。)振動締めをすることにより空気量は練混ぜ直後に比べ、SMで2.1%、DMで1.7%低下した。



(a) SM

(b) DM

図 - 6 凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数



(a) SM

(b) DM

図 - 7 凍結融解サイクルに伴う質量減少率

図-5は、練混ぜ方法、養生条件別に振動台により打ち込んだ場合(振動あり)と突き棒で打ち込んだ場合(振動なし)における、コンクリートの圧縮強度を示したものである。図より、蒸気養生する場合は、前置時間に拘わらず、DMの方がSMより圧縮強度は大きくなった。また、「振動なし」と「振動あり」を比較すると、「振動あり」の方が「振動なし」よりSM, DMとも圧縮強度が小さくなっている。これは、過度な振動締めによる材料分離(ブリーディングと骨材分離)が影響しているものと推察される。しかし、振動締めによる低下は、SMよりDMの方が小さくなる傾向にある。Nではその傾向が明確に現れている。これは、DMはSMよりブリーディングが小さく材料分離抵抗性が高いことに起因しているものと考えられる。

#### (2)凍結融解試験

図-6, 7はそれぞれ、凍結融解の繰り返しの伴う相対動弾性係数と質量変化率をSM, DMおよび「振動あり」、「振動なし」ごとに示したものである。図-6より、SM, DMとも相対動弾性係数の明確な低下等は見られず、また、打ち込み方法による相対動弾性係数の差は認められなかった。しかし、図-7の質量変化率では、SMよりDMの方が質量変化率が小さくなっており、シリーズ1, 2で示したと同様にDMは耐凍害性の向上に有効であるものと考えられる。打ち込み方法の比較では、どの養生条件および練混ぜ方法においても、「振動あり」の方が「振動なし」の場合より、質量変化率が大きくなっている。これは、振動締めによる空気量の低下が主な原因であると考えられる。しかし、SMとDMを比較すると、振

表 - 5 フレッシュおよび硬化後の空気量

| 配合 No. | 名称       | 空気量 (%)  |     |
|--------|----------|----------|-----|
|        |          | フレッシュ    | 硬化  |
| シリーズ 3 | SM 3-N   | 4.5      | 3.9 |
|        | SM 3-3   | 4.5      | 4.4 |
|        | SM 3-0   | 4.6      | 6.3 |
|        | DM 3-N   | 4.5      | 4.4 |
|        | DM 3-3   | 4.5      | 4.9 |
|        | DM 3-0   | 4.4      | 4.9 |
| シリーズ 4 | SM 4-N-V | 4.9(2.8) | 2.4 |
|        | SM 4-3-V | 4.9      | 2.1 |
|        | SM 4-0-V | 4.6      | 2.7 |
|        | DM 4-N-V | 5.0(3.3) | 4.0 |
|        | DM 4-3-V | 4.5      | 3.5 |
|        | DM 4-0-V | 4.5      | 3.6 |

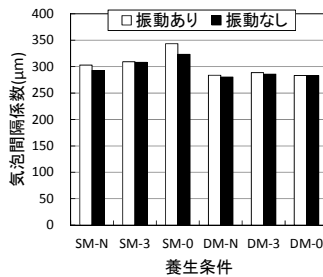


図 - 8 気泡間隔係数

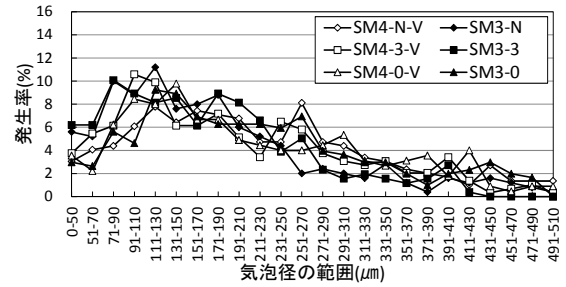
動締固めの有無による質量変化率の差異はどの養生条件においても DM の方が小さくなっている。

以上のことは、プレキャストコンクリートの製造において、過度な振動締固めが行われた場合でも、DM で練混ぜることで耐凍害性の低下を抑制できることを示唆するものである。

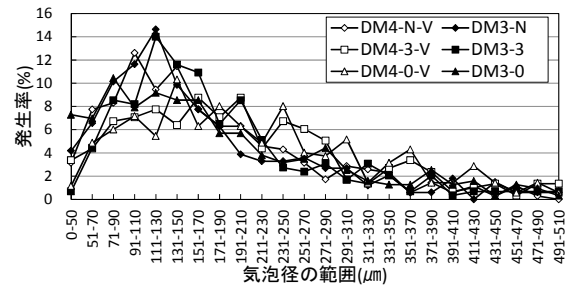
### 3.3 細孔構造

表 - 5 に、フレッシュコンクリートの空気量とリニアトラスパス法で測定した硬化コンクリートの空気量を、図 - 8 に気泡間隔係数の測定結果を示す。シリーズ 3 において、フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの空気量を比較すると、SM の前置時間 0 時間 (SM3-0) 以外の条件のものは、フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの空気量がほぼ同程度となっているが、SM3-0 ではフレッシュコンクリートの空気量に比べ硬化コンクリートの空気量が大きく測定されている。これは、蒸気養生時の昇温過程で気泡が僅かに膨張した状態で硬化したことが一要因であると推察される。一方、シリーズ 4 では、フレッシュコンクリートの空気量より硬化コンクリートの空気量が 1~2%程度小さくなっている。これは、振動機による締固めの影響と考えられる。しかし、SM に比べ DM の方が硬化コンクリートの空気量の減少量が小さくなっている。

気泡間隔係数に関し、一般に十分な凍結融解抵抗性が得られる気泡間隔係数は、200-250μm 以下とされているが<sup>11),12)</sup>、図 - 8 において、全体にこの値より大きい値となっている。SM と DM で比較すると、どの養生方法と

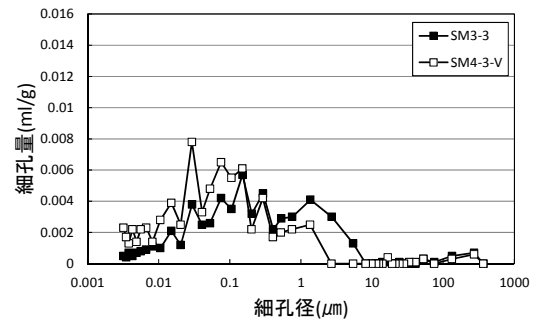


(a) SM

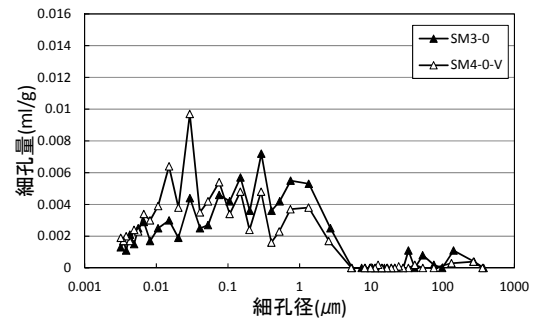


(b) DM

図 - 9 気泡径の範囲とその発生率



(a) SM - 前置時間 3 時間



(b) SM - 前置時間 0 時間

図 - 10 細孔径分布

も SM より DM の方が気泡間隔係数が小さい値となった。DM は養生条件の相違による気泡間隔係数の差は小さいが、SM では SM-N<SM-3<SM-0 の順に大きくなっており、前置時間の影響が明確に現れている。また、振動機による振動締固めの影響に着目すると、SM では「振動あり」の方が「振動なし」より気泡間隔係数が大きくなっており、SM-0 でその傾向が最も大きく現れている。一方、DM では気泡間隔係数に及ぼす振動締固めの影響

は小さい。これらのことは、DM で製造することで蒸気養生の前置時間を短縮しても SM の場合より気泡間隔係数の増加を抑えることができるだけでなく、過度な振動締固めが行われた場合でも、DM で練混ぜることで耐凍害性の向上に有効であることを示唆するものである。

図 - 9 は、リニアトラバース法で測定された弦長を気泡径とし、その気泡径を  $0-50\mu\text{m}$ 、それ以降  $510\mu\text{m}$  まで  $20\mu\text{m}$  の範囲の気泡径ごとに気泡の個数を全気泡数で除して、各気泡径範囲における気泡発生率として示したものである。図より、DM は SM に比べ  $90-190\mu\text{m}$  の気泡径範囲における気泡発生率が高く、大きい範囲の気泡発生率は低くなっている。また、振動締固めの影響に着目すると、「振動あり」の場合でも SM より DM の方が、 $90-190\mu\text{m}$  の気泡径範囲における気泡発生率が高くなっている。

図 - 10 は、コンクリートの細孔径分布の測定結果の一例として、SM の前置き時間 0 時間と 3 時間に関し、「振動あり」と「振動なし」の場合を同時に示したものである。(a)、(b) 両図とも、「振動なし」に比べ、「振動あり」の場合は、細孔径  $1\mu\text{m}$  近傍の細孔量が少なく、細孔径  $0.1\mu\text{m}$  以下の細孔量が多くなる傾向を示している。この傾向は、DM でも同様となった。このことは、振動締固めにより、硬化体組織がより緻密になることを示すものである。

以上より、振動締固めにより硬化体は密な組織になるものの、凍結融解抵抗性に寄与する気泡が減少し、また、気泡間隔係数も大きくなることから、耐凍害性が低下することを示唆するものである。しかし、DM で製造することで細孔構造のこれらの変化を低減できるものと考えられる。

#### 4.まとめ

本研究の範囲内で以下の結論が得られた。

- (1)工場実験での SM の相対動弾性係数の大幅な低下は実験室内での試験では再現できなかったが、SM より DM の方が耐凍害性が向上する傾向にあることが分かった。
- (2)プレキャストコンクリートの製造において、過度の振動締固めが行われた場合でも、DM で練混ぜることで耐凍害性の低下を低減できる。
- (3)振動締固めにより硬化体は密な組織になるものの、凍結融解抵抗性に寄与する気泡が減少し、気泡間隔係数も大きくなることから、耐凍害性が低下することが示唆された。しかし、DM で製造することで細孔構造のこれらの変化を低減できるものと考えられる。

以上のことから、ダブルミキシングは常圧蒸気養生す

るプレキャストコンクリートの製造における養生工程、特に前置時間の短縮だけでなく、過度の振動締固めによる耐凍害性の低下を軽減するのに有効であることが明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 新田智博ほか：蒸気養生を行った加圧成形コンクリートの強度性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, pp.637-642, 1997
- 2) 田所龍雄，松崎勇二，友竹博一：コンクリート製品の生産性向上に関する実験的研究，土木学会第 65 回年次学術講演会，pp.1349-1350, 2010
- 3) 田澤榮一ほか：ダブルミキシングで作製したセメントペーストの諸物性について，コンクリート工学年次講演会論文集，pp.125-128, 1982
- 4) 田澤榮一，笠井哲郎：フレッシュセメントペーストのダブルミキシング効果，土木学会論文集，第 396 号/V-9, pp.135-142, 1988
- 5) 笠井哲郎ほか：ポリマーおよびシリカフェームをダブルミキシングで混入したセメントペーストの水和特性，広島大学工学部研究報告第 37 巻，第 1 号，pp.31-37 巻，1988
- 6) 中川好正ほか：ダブルミキシングがセメントの初期水和反応に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.1, pp.51-56, 2007
- 7) 笠井哲郎，田澤榮一，磯貝寛幸：常圧蒸気養生で製造するコンクリート製品へのダブルミキシングの適用に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31, No.1, pp.2185-2190, 2009
- 8) 鈴木翔太ほか：ダブルミキシングで製造したプレキャストコンクリートの耐凍害性と細孔構造に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36, No.2, pp.355-360, 2014
- 9) 坂ノ上宏ほか：コンクリート製品の空気量および凍結融解抵抗性に及ぼす影響その 2 硬化後の空気量測定および凍結融解試験，土木学会第 58 回年次学術講演会，pp.409-410, 2003
- 10) 笠井英志ほか：コンクリート製品の空気量および凍結融解抵抗性に及ぼす影響その 1 振動機の締固め時間とフレッシュ時の空気量，土木学会第 58 回年次学術講演会，pp.411-412, 2003
- 11) 木村順哉ほか：エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.34, No.1, pp.1486-1491, 2012
- 12) 長谷川寿夫，藤原忠司：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 凍害，技報堂出版，pp.62-68 1998