

# 超高強度コンクリート中の気泡の形状と寸法の違いが フレッシュ性状および強度特性に与える影響

## Effect of Differences in Shape and Dimension of Bubbles on Fresh Properties and Strength Characteristics of Ultra-high-strength Concrete

技術研究所 峯 竜一郎 MINE RYUICHIRO  
技術研究所 松田 拓 MATSUDA TAKU  
生産機械技術部 蓮尾 孝一 HASUO KOICHI

空気量調整剤の添加が超高強度コンクリートの流動性と圧縮強度に及ぼす影響を確認することを目的とし、AE 剤と消泡剤の添加量を変化させ、空気量の異なる試料を作製し、各種測定を行った。その結果、AE 剤と消泡剤を添加したものの流動性が低下する傾向が見られた。AE 剤と消泡剤の添加による気泡の形状と寸法の変化に着目し、硬化した試料を用いて画像解析を実施した。その結果、AE 剤と消泡剤を添加したモルタルは、形状のいびつな気泡が増加しており、このことが流動性低下の要因の一つと考えられた。

**キーワード：** 超高強度コンクリート、空気量、流動性、圧縮強度、いびつな気泡

This paper describes the effect of air control agent on fluidity and compressive strength of ultra-high-strength concrete. Samples with different air content where both AE agent and antifoaming agent addition amount was changed were manufactured and various measurement was carried out. Fresh concrete showed less fluidity as the additional amount of both AE agent and antifoaming agent increased. Focusing on the change in bubble's shape and dimension by adding both AE agent and antifoaming agent, the image analysis was employed for hardened sample. It was confirmed that, when both AE agent and antifoaming agent were added, the amount of distorted air bubbles increased. This result is considered to be one of the reasons of deterioration of fluidity.

**Key Words:** Ultra-high-strength Concrete, Air Content, Fluidity, Compressive Strength, Distorted Air Bubbles

### 1. はじめに

コンクリート中の空気量は、AE 剤や消泡剤といった空気量調整剤を添加することで制御されている。しかし、それらの添加量がフレッシュ性状および圧縮強度へ及ぼす影響についてはデータ蓄積が十分とは言えず、とりわけ超低水結合材比のコンクリートの各種性状と空気量に関する報告は少ない。そこで、本研究は水結合材比が W/B=12%のコンクリートを対象に、AE 剤と消泡剤の添加量がフレッシュ性状および圧縮強度に与える影響を確認することを目的とし、AE 剤と消泡剤の添加量を変え、空気量を変化させたコンクリートとモルタルのフレッシュ性状および圧縮強度の確認を行った。その結果、空気量が同程度の条件で「AE 剤と消泡剤を添加

した試料」と「AE 剤と消泡剤どちらも無添加の試料」とを比較すると、圧縮強度は両者で同等な一方、流動性は前者が後者よりも低下する傾向となった。

そこで光学顕微鏡を用いて硬化モルタル断面の画像を解析し、気泡の形状と寸法の違いが流動性に与える影響について考察した。

### 2. 使用材料および調査

表-1 に使用材料、表-2 にコンクリートおよびモルタルの調査条件および試験項目を示す。コンクリートは著者らが開発した  $F_c=220\text{N/mm}^2$  級超高強度コンクリート<sup>1)</sup>とした。水結合材比(W/B)=12%、結合材(B)としてシリカフェームプレミックスセメント(SFPC)とフライアッシュ

シュ(FA)(JIS I 種相当品), 細骨材はフェロニッケルスラグ(FNS), 粗骨材(G)は最大粒径 20mm の硬質砂岩とした。高性能減水剤(SP)の添加量は, コンクリートは B×1.9%, モルタルは B×2.3%に統一し, AE 剤(AE)および消泡剤(AF)の量を増減させることでコンクリートおよびモルタルの空気量を変化させた。また, モルタルの調合は, コンクリートの調合におけるセメントペーストと細骨材の容積比率( $V_s/V_p=44%$ )が同様になるように計画した。

### 3. 実験概要

#### (1) コンクリート

コンクリートの練混ぜは強制 2 軸ミキサを使用し, 水と空気量調整剤以外の材料を投入して 30 秒攪拌後に水と空気量調整剤を投入し, 15 分間練混ぜた。全調合において練混ぜ量は 45L とした。練混ぜ完了後, ただちにフレッシュ性状試験および圧縮強度試験用の円柱供試体( $\phi 100 \times H=200\text{mm}$ )の採取を行った。空気量の測定に関しては, エアメータを使用した。また, CON-8 において AE 剤を用いて空気量を大幅に増大させたコンクリートを作製し, フレッシュ性状試験後にミキサに戻し, 消泡剤を後から外割りに添加(20 倍液に希釈)して 3 分間練り混ぜ作製したコンクリートを CON-8' とした。円柱供試体は作製後 20°C 一定の恒温室で封かん養生とし, 注水開始時間から 48h 以内に 40°C および 90°C に設定した養生槽に移動し試験材齢まで養生した。

#### (2) モルタル

モルタルの練混ぜについてはモルタルミキサを用いた。SFPC, FA および FNS を投入し 30 秒空練りした。その後, 水と空気量調整剤を入れ低速で 5 分, 高速で 11 分

の計 16 分間練混ぜた。全調合において練混ぜ量は 5L とした。練混ぜ完了後, フレッシュ試験を行った。また, 圧縮強度試験用および光学顕微鏡観察用の円柱供試体( $\phi 50 \times H=100\text{mm}$ )の採取を行った。モルタルフローは 0 打フローとし, 空気量はモルタルエアメータを用いて測定を行った。円柱供試体はコンクリートと同様の養生方法とした。

### 4. 実験結果

#### (1) コンクリートのフレッシュ性状

表-3 にフレッシュ性状試験結果を示す。CON-8 の空気量については, 空気量測定時にエアメータの検針が目盛り最大値である 10%を超えたため, 目盛りの間隔と目測から空気量を 13%と読んだ。表中には硬化した円柱供試体の密度から算出した空気量も併記した。硬化後の空気量はフレッシュ時の空気量と比較すると, 同程度であった。図-1 に空気量とスランプフローの関係, 図-2 に空気量と 50cm スランプフロー時間の関係および図-3 に 50cm スランプフロー時間とスランプフローの関係を示す。AE 剤を添加し空気量を 13%まで大幅に増加さ

表 - 1 使用材料

名称	種類	物性等	記号	
セメント	シリカフェウム プレミックスセメント	密度: 3.04 比表面積: 6690cm <sup>2</sup> /g	SFPC	
細骨材	フェロニッケル スラグ細骨材	密度: 2.98 粗粒率: 2.60	FNS	
粗骨材	碎石2005 (硬質砂岩)	密度: 2.62 実績率: 62.1%	G	
水	工業用水	-	W	
混和材	フライアッシュ (JIS I 種相当品)	密度: 2.40 比表面積: 5300cm <sup>2</sup> /g	FA	
化学 混和剤	高性能減水剤(I種)	ポリカルボン酸系	SP	
	空気量 調整剤	消泡剤	エステル脂肪酸系	AF
		AE剤	アルキルエーテル系	AE

表 - 2 コンクリートおよびモルタルの調合条件および試験項目

種別	記号	W/B [%]	s/a [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]				目標 空気量 [%]	目標 スランプ フロー [cm]	化学混和剤添加量			フレッシュ 試験	試験項目		顕微鏡 観察		
				W	B		FNS			G	SP [B×%]	AE [B×%]		AF [B×%]	圧縮強度試験			
					SFPC	FA									40°C 封かん養生 材齢28日		90°C 封かん養生 材齢91日	
コン クリート	CON-1	12	55	135	900	225	729	549	3.0	70	1.9	-	-	○	○	-		
	CON-2												0.0010	○	○	○	-	
	CON-3												0.0004	○	○	○	-	
	CON-4												0.0050	○	○	○	-	
	CON-5												0.0500	○	○	○	-	
	CON-6												0.0020	○	○	○	-	
	CON-7												0.0100	0.0500	○	-	-	-
	CON-8												0.1000	0.0050	○	-	○	-
CON-8'	0.1000	0.0140	○	○	○	-												
モルタル	MOR-1	-	-	169	1127	282	905	-	-	-	2.3	0	0	○	○	○	○	
	MOR-2											0	0.0200	○	○	○	○	
	MOR-3											0.0500	0	○	○	○	○	
	MOR-4											0.0500	0.0200	○	○	○	○	

表 - 3 コンクリートのフレッシュ性状試験結果

記号	化学混和剤添加量			フレッシュ性状試験結果					硬化後密度から算出した空気量 [%]	
	SP [B×%]	AE [B×%]	AF [B×%]	練上がり温度 [°C]	スランブフロー [cm]	50cmスランブフロー時間 [sec]	空気量 [%]	単位容積質量 [t/m <sup>3</sup> ]		
CON-1	1.9		-	30.0	76.8	5.17	4.8	2.50	5.1	
CON-2			0.0010	30.0	76.8	7.98	3.2	2.55	3.4	
CON-3			0.0004	29.0	75.3	8.32	4.1	2.52	4.5	
CON-4			0.0050	29.5	75.8	7.22	2.8	2.56	2.9	
CON-5			0.0500	30.9	76.3	8.04	2.4	2.57	2.9	
CON-6			0.0020	30.9	75.5	6.09	2.9	2.55	3.3	
CON-7			0.01	0.0500	30.3	77.3	6.87	2.6	2.57	-
CON-8			0.10	0.0050	28.5	69.0	11.97	13.0	2.27	10.6
CON-8'	0.10	0.0140	27.7	70.8	16.54	4.6	2.52	4.5		

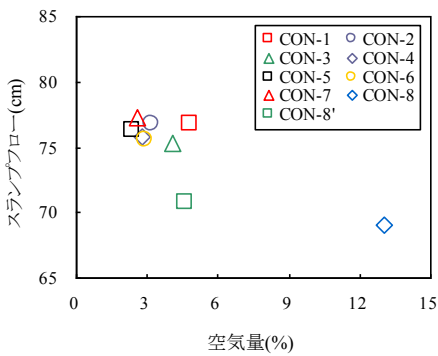


図 - 1 空気量とスランブフローの関係

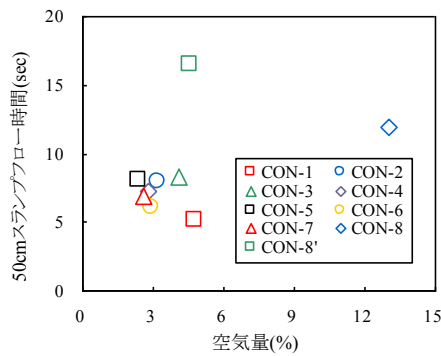


図 - 2 空気量と50cmスランブフロー時間の関係

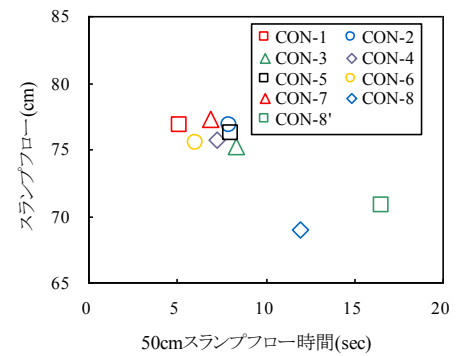


図 - 3 50cmスランブフロー時間とスランブフローの関係

せた CON-8, および CON-8 に消泡剤を後添加することで空気量を減らした CON-8'を除くと, 空気量とスランブフローの関係および空気量と 50cm スランブフロー時間の関係に相関は認められず, スランブフローは 69.0 ~ 77.3cm, 50cm スランブフロー時間は 10 秒以内となった。AE 剤で空気量を増加させた CON-8 を見ると, CON-1 ~ CON-7 に比べ, スランブフロー値は小さく 50cm スランブフロー時間は長いことから, 流動性が低下している。また, AE 剤と消泡剤のどちらも添加していない CON-1 と CON-8' を比べると, 両者の空気量は同程度だが, スランブフロー値は CON-8' の方が小さく, 50cm スランブフロー時間は CON-8' の方が長い。すなわち, CON-8' は CON-1 よりも流動性が低い。

(2) コンクリートの圧縮強度試験結果

図-4 にコンクリートの空気量と圧縮強度の関係を示す。40°C封かん養生および 90°C封かん養生のどちらも空気量が多いほど強度が低下する傾向が見られた。また, AE 剤と消泡剤を添加していない CON-1 と, AE 剤を添加した後に消泡剤を添加した CON-8' は空気量が同程度であり, 圧縮強度も同様の結果となった。また, 図中に以下に示す空気量と強度の関係<sup>2)</sup>の近似式を併記した。

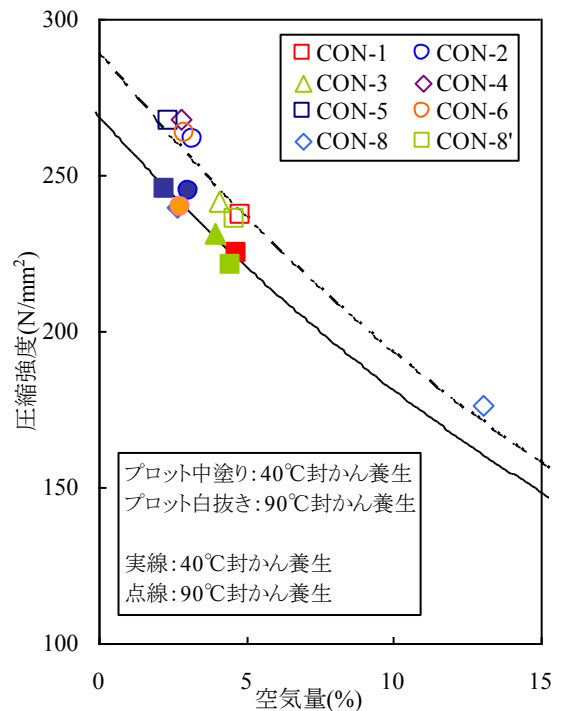


図 - 4 空気量と圧縮強度の関係 (コンクリート)

$$F = F_0 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right)^{Air} \quad (1)$$

ここに、

$F$  : 圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$F_0$  : 空気量 0%の圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 強度低下率(%)

$Air$  : 空気量(%)

一般的に空気量の増加による強度低下率は、空気量1%につき4~6%低下とされている<sup>3)</sup>。コンクリートの強度低下率は、40℃封かん養生材齢28日および90℃封かん養生材齢7日でそれぞれ3.9%、4.1%となった。強度低下率はおおむね3~4%程度となり、既往の研究報告<sup>2)</sup>と同様の傾向が見られた。 $F_c=200\text{N/mm}^2$ を超える超高強度コンクリートにも(1)式が適用可能だと考えられる。

### (3) モルタルのフレッシュ性状結果

表-5 にモルタルのフレッシュ性状試験結果を、図-5 に空気量とモルタルフローおよびスランブフローの関係を示す。図-5 にはコンクリートのフレッシュ結果(CON-1, CON-5, CON-8, CON-8')も併せてプロットした。AE 剤と消泡剤をどちらも添加していない MOR-1 と AE 剤と消泡剤を両方添加した MOR-4 を比較すると、空気量は同程度であるが、MOR-4 のフロー値が小さくなり、コンクリートと同様に空気量が同程度であっても AE 剤と消泡剤を両方添加したものの流動性が低下する結果となった。

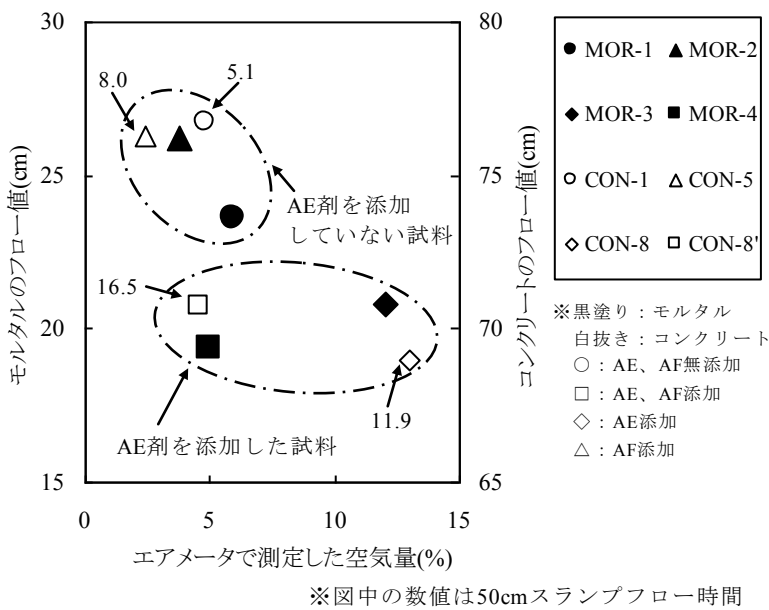


図-5 空気量とモルタルフローおよびスランブフローの関係

### (4) モルタルの圧縮強度試験結果

図-6 にモルタルの空気量と圧縮強度の関係を示す。図中には(1)式による近似式も併記した。AE 剤と消泡剤を添加していない MOR-1 と AE 剤と消泡剤を添加した MOR-4 は空気量と圧縮強度どちらも同様の結果となり、コンクリートと同様の結果となった。(1)式による強度低下率は、40℃封かん養生材齢28日および90℃封かん養生材齢7日でそれぞれ3.5%、2.9%となった。モルタルについても強度低下率はおおむね3~4%程度となった。

### (5) 考察

本研究では、コンクリートとモルタルについて、空気量が同程度の条件において、「AE 剤と消泡剤を添加した試料」と「AE 剤と消泡剤どちらも無添加の試料」とを比較した。一般に、AE 剤を添加するとコンクリー

表-5 モルタルのフレッシュ試験結果

記号		MOR-1	MOR-2	MOR-3	MOR-4
フレッシュ試験結果	モルタルフロー (cm)	23.6	26.2	20.8	19.4
	空気量 (%)	5.9	3.8	12.0	5.0
	単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	2.45	2.50	2.28	2.47
	練上がり温度 (°C)	30.7	28.5	31.3	30.2

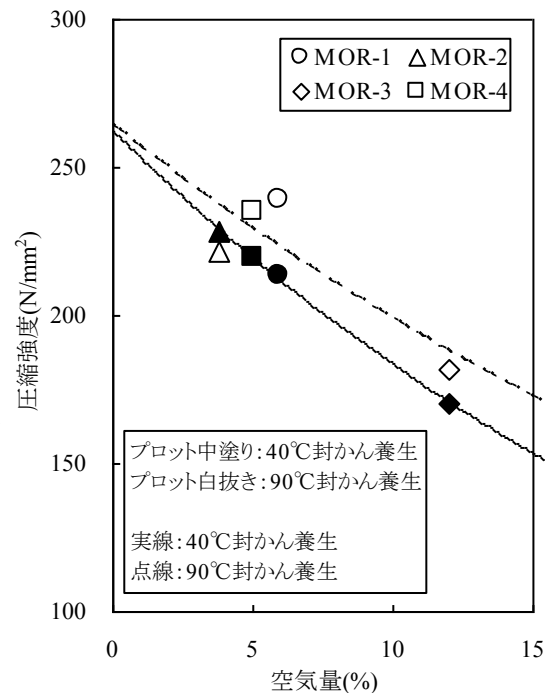


図-6 空気量と圧縮強度の関係 (モルタル)

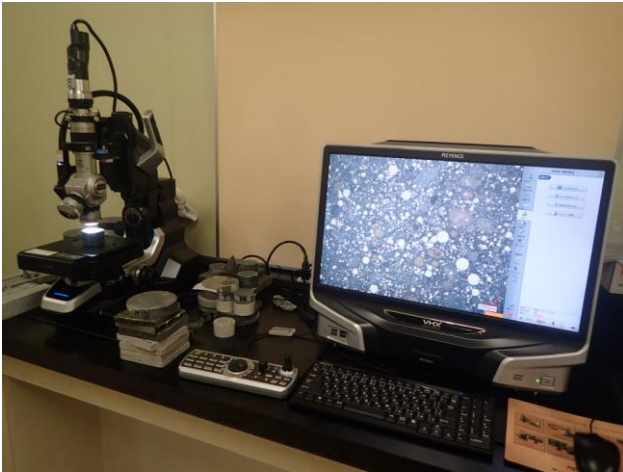


図 - 7 光学顕微鏡

ト中に微細な気泡が連行され、これが流動性の向上に寄与するために、ワーカビリティが改善されると言われている<sup>4)</sup>。しかしながら、図-5に示したように本研究の範囲では空気量が同程度でも AE 剤を添加した試料の流動性が低くなり、この理由を説明できないと考えられた。そこで、AE 剤と消泡剤の添加による気泡の形状と寸法の変化に着目し、次章において画像解析による検討を実施することとした。

なお、圧縮強度は前者と後者とで大差はないことから、AE 剤と消泡剤の添加量よりも空気量の絶対量の影響が大きいと考えられる。

## 5. 光学顕微鏡を用いた硬化モルタルの気泡観察

### (1) 観察方法

前章で得られた流動性低下の理由を考察するため、AE 剤と消泡剤の添加量の違いによる気泡の形状と寸法の違いを確認することを目的に、光学顕微鏡を用いて硬化モルタルの断面観察を試みた。観察には図-7に示す光学顕微鏡(キーエンス社製 VHX-5000)を用いた。観察画像に対して付属のソフトを用いて 2 値化処理を行い、最大寸法、最小寸法、周囲長、面積などを個別データとして取得できる。なお、各気泡の画像は 1 画素を最小単位とした画素の集合体である。また、最大寸法と最小寸法は、各気泡画像のそれぞれの輪郭画素の中心点から任意の 2 点間距離が最大および最小となる長さである。本実験においては倍率 20 倍で観察を行い、モルタル断面の画像(約 4cm×4cm)を得た。一般に、硬化コンクリートの断面の気泡に着目した 2 値化画像を取得する場合、コンクリートの観察断面に黒色インキを含浸させ、ZnO と流動パラフィンとを混合させたものを塗布することで気泡空隙部分を白色にし、それ以外を黒色にして 2 値化処

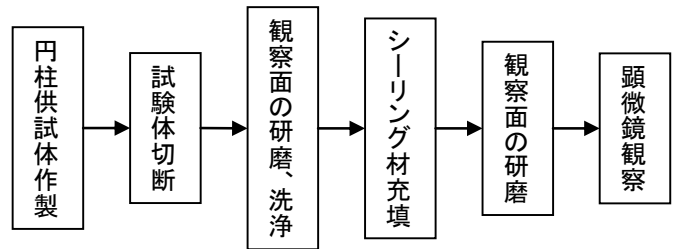


図 - 8 観察用試料作成手順

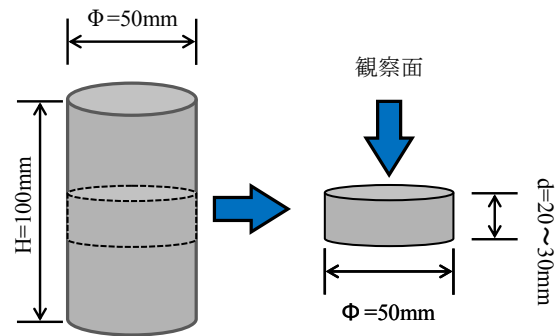


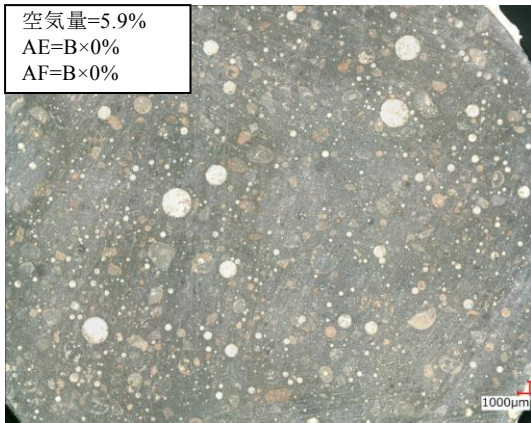
図 - 9 円柱供試体の切断位置

理を行う<sup>5)</sup>。

本実験で作製した超高強度モルタルはセメントペースト部が黒色に近いため、黄色のシーリング材を気泡空隙部分に充填させ着色することで 2 値化画像を得た。観察用の試料は図-8に示す手順で作製した。まず、図-9に示すように、円柱供試体(φ50×H=100mm)の中間部をコンクリートカッターで厚さ 20~30mm に切断し、表面の研磨および洗浄を行った。次に、切り出した試料の観察面に 1 成分変性シリコーン系シーリング材を塗布し、気泡空隙部分に充填させた。その後、サンドペーパーで研磨を行い、表面の気泡空隙以外に付着しているシーリング材を除去し、観察用試料とした。観察画像は 1600×1200 画素であり、1 画素は約 9.6 μm×9.6 μm とした。なお、2 値化のしきい値は測定者が目視で決定し、気泡以外の空隙と判断した部分については手動で除去した。

### (2) 観察結果

各気泡の形状と寸法が流動性に与える影響を考察するため、光学顕微鏡で観察した超高強度モルタルの断面画像に 2 値化処理を行った。図-10に示す MOR-1 の 2 値化前の画像を見ると、試料断面の空隙に充填されたシーリング材や骨材が明瞭に判別でき、かつ広範囲の画像が観察出来ている。図-11に示す MOR-1~MOR-4 の 2 値化後の画像を比較すると、AE 剤と消泡剤の添加量の違いによる気泡の大きさや数が異なる様子を観察できる。



MOR-1

図 - 10 超高強度モルタルの 2 値化処理前画像

なお、MOR-1 と MOR-2 はどちらも AE 剤を添加していない(すなわち微細な気泡を連行させていない)にもかかわらず気泡は独立した球形で、粗大で不整なものは見当たらない。これは、本実験の調合が超低水結合材比であり、普通強度のコンクリートに比べ、比較的粘性が高いためであると推察されるが、今後調合の範囲を広げて確かめる予定である。

### (3) 気泡径分布

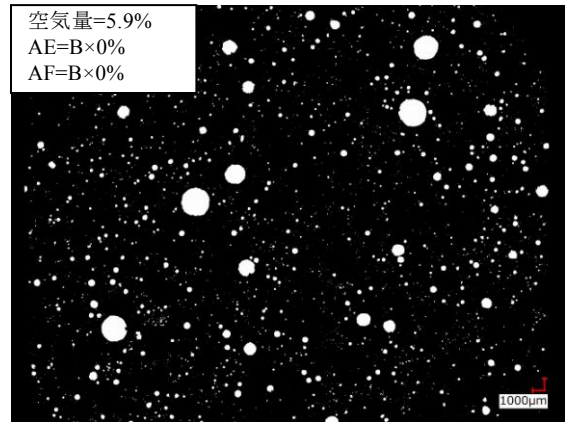
画像解析より取得した気泡データを整理した。図-12 に超高強度モルタルの気泡径分布を示す。空気量は面積法より算出した。なお、 $20\mu\text{m}$  以下の気泡は内圧が高まり溶解する<sup>6)</sup>と考えられていることから、検討時に除外した。MOR-3 は AE 剤の空気連行作用によって  $25\sim 250\mu\text{m}$  の範囲の空気量が著しく多くなった。また、AE 剤と消泡剤を添加していない MOR-1 と AE 剤と消泡剤を両方添加した MOR-4 を比較すると、フレッシュ時の空気量は同程度だったが、MOR-4 の方が  $250\mu\text{m}$  以下の微細な気泡が若干ではあるが多い結果となった。

### (4) 気泡形状のいびつさの評価

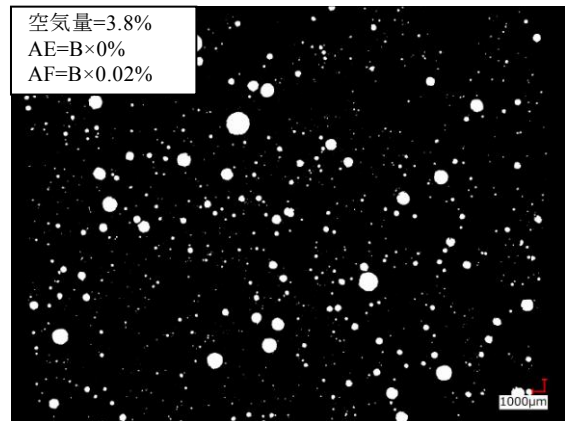
ここでは、空気量調整剤の影響による気泡形状の違いを確認するため、2 値化した各気泡の画像を用いて形状のいびつさの評価を試みた。西らは気泡形状のいびつさを円形度を用いて評価している<sup>6)</sup>が、本実験では 5. (1) で前述した最大寸法および最小寸法を用いて以下に示す  $R'$  を定義した。

$$R' = \text{最大寸法} / \text{最小寸法} \quad (2)$$

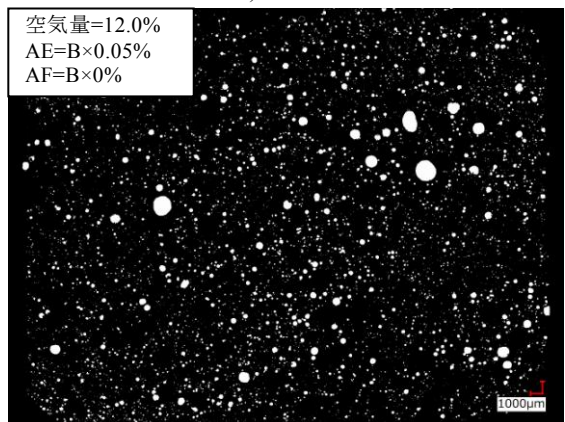
$R'$  は気泡形状のいびつさを表す指標である。すなわち、 $R'$  の値が大きいほど気泡の形状がいびつであり、1 に近づくほど円形に近いと仮定した。図-13 に平均径と



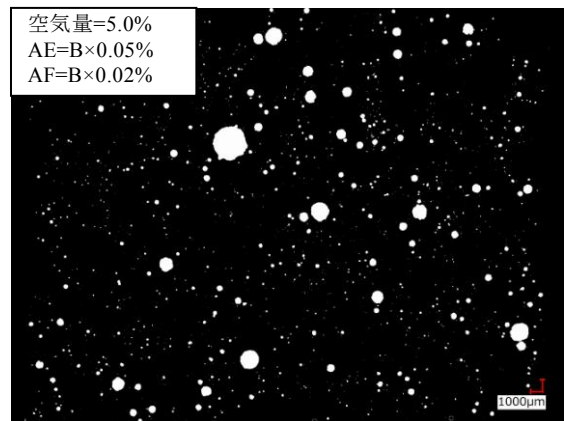
a)MOR-1



b)MOR-2



c)MOR-3



d)MOR-4

図 - 11 超高強度モルタルの 2 値化処理後画像

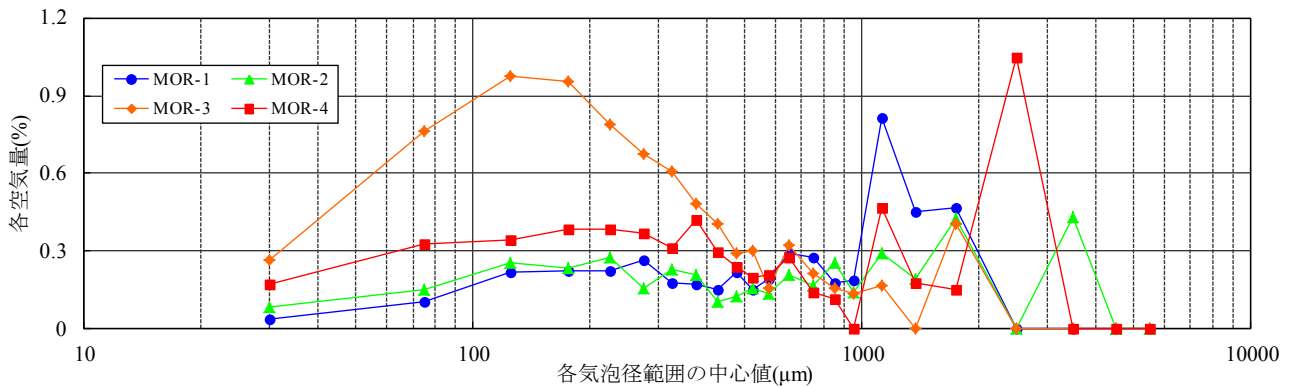


図 - 12 超高強度モルタルの気泡径分布

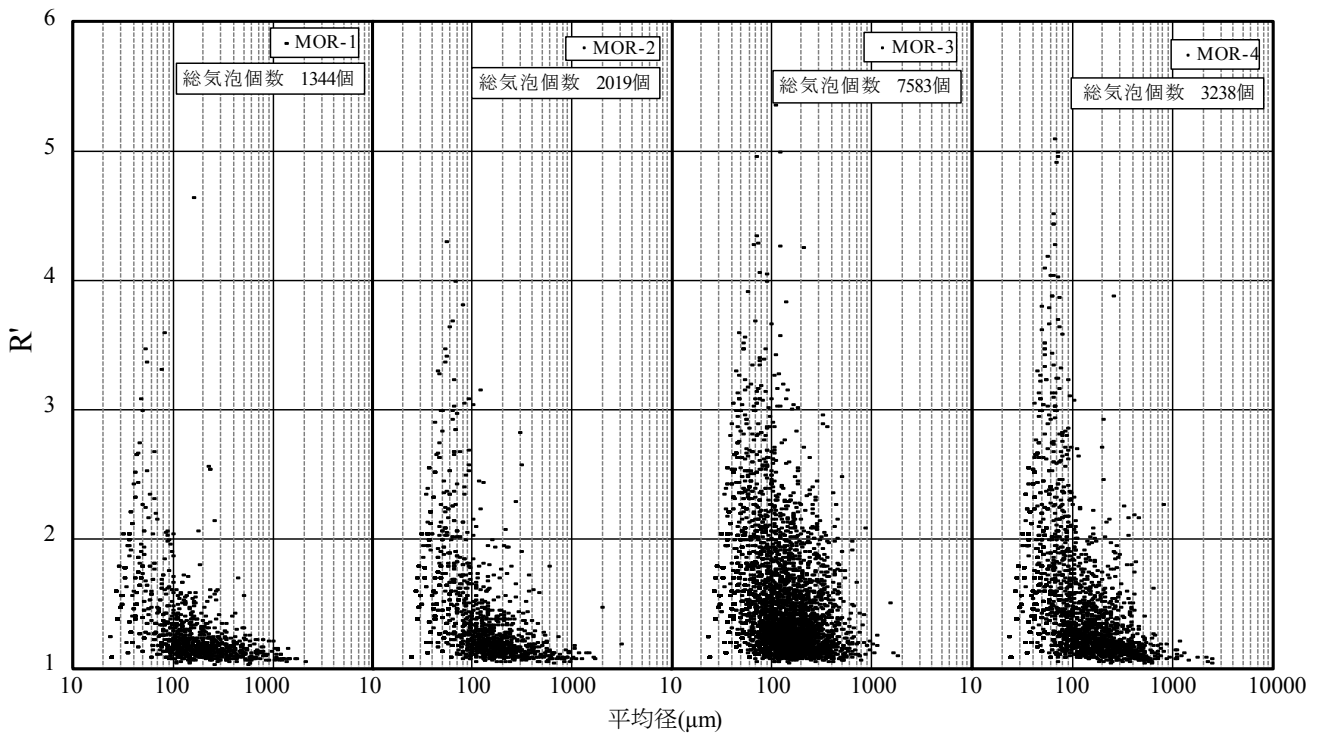


図 - 13 平均径と R' の関係

R' の関係を示す。一般的にエントレインドエアと言われている  $25 \sim 250 \mu\text{m}$ <sup>7)</sup> の範囲に着目し、MOR-3 を見ると、AE 剤を添加したことで  $250 \mu\text{m}$  以下の気泡個数が増大しているが、R' の値の大きいものが増える傾向が見られた。次に、AE 剤と消泡剤を添加していない MOR-1 と、AE 剤と消泡剤を添加した MOR-4 を比較すると、MOR-4 は  $250 \mu\text{m}$  以下の気泡個数が MOR-1 と比べ多いが、R' の値が大きいものも多く、比較的形状のいびつな気泡が多い傾向が見られた。すなわち、AE 剤と消泡剤を両方添加した結果、 $250 \mu\text{m}$  以下の微細な気泡は増加したが、形状のいびつな気泡も増加したため、流動性が低下したと考察する。

次に、気泡の中で流動性の向上に寄与する形状の丸さの度合い(すなわち、いびつでない度合い)、およびその寸法について、以下に示す手順で気泡径の範囲を区切って検討を行った。

- ① 平均径の  $20 \mu\text{m}$  以下の気泡データを除去する。
- ②  $20 \sim 250 \mu\text{m}$  の気泡径の範囲より  $50 \mu\text{m}$  単位で範囲を区切り、各範囲の空気量(たとえば、 $\text{Air}_{20 \sim 50 \mu\text{m}}$ )の総和を算出する。
- ③ R' の範囲を  $1 \sim 1.10$ ,  $1 \sim 1.15$ ,  $1 \sim 1.20$  のように  $0.05$  単位で区切り、その範囲内の気泡面積の量の総和(たとえば、 $\text{Air}'_{20 \sim 50 \mu\text{m}}$ )を算出する
- ④ 各気泡径の範囲における気泡面積の総和に対する③で求めた気泡面積の総和の比率(たとえば  $\text{Air}'_{20 \sim 50 \mu\text{m}} / \text{Air}_{20 \sim 50 \mu\text{m}}$ )を算出する。
- ⑤ 各気泡径の範囲ごとに、④で求めた比率とモルタルフローの関係を直線回帰し、寄与率( $R^2$  値)を求める。

検討結果を表-6 に示す。気泡径範囲が  $100 \mu\text{m}$  以下では寄与率が低くなった。また、R' の範囲を広げると、寄与率が低くなる傾向が見られた。気泡径  $151 \sim 200 \mu\text{m}$  の範囲で  $1 \leq R' \leq 1.15$  の場合の寄与率が  $0.923$  と最も

高くなった。すなわち、気泡径 151~250 μm の範囲で  $1 \leq R' \leq 1.15$  の気泡は流動性向上に寄与すると考えられる。図-14 に最も相関性のあった  $Air'_{151 \sim 200 \mu m} / Air_{151 \sim 200 \mu m}$  とモルタルフローの関係を示す。フレッシュ時の空気量が同程度だった MOR-1 と MOR-4 に着目すると、MOR-1 は MOR-4 に比べて 151~200 μm の範囲の空気量中の  $1 \leq R' \leq 1.15$  の空気量の割合が 10%程度大きくなった。

以上の結果から、少なくとも本研究で実施した実験の範囲において、気泡の形状は流動性に影響するものと考えられる。すなわち超高強度コンクリートでは、①形状が円形に近い気泡は流動性の向上に寄与し、②形状のいびつな気泡は流動性の低下に寄与する。③AE 剤を添加することで微細な気泡は増加するが、形状のいびつな気泡も増加するものと考えられる。今後、調合条件の範囲や空気量調整剤の種類を広げて検討することで、本考察の一般性を確かめる予定である。

6. まとめ

空気量調整剤の添加が超高強度コンクリートの流動性と圧縮強度に及ぼす影響について以下の知見を得た。

- ① AE 剤および消泡剤を両方添加することで、空気量が同等でもフロー値が小さくなった。この傾向はコンクリートとモルタルのどちらも同様だった。
- ② 空気量が大きくなると圧縮強度は低下する傾向が見られた。また、強度は空気量が 1%増加すると約 3~4%低下した。
- ③ 気泡の形状と寸法の違いが圧縮強度に与える影響は小さく、空気量の絶対量が圧縮強度に与える影響が大きい。
- ④ 画像解析によって各気泡の最大寸法および最小寸法のデータを取得し、その比率を用いて気泡形状のいびつさを評価し、気泡形状の流動性への影響の評価を試みた。
- ⑤ AE 剤の添加により微細な気泡が増加したが、同時に形状のいびつな気泡が増加する傾向が見られた。形状のいびつな気泡の増加が流動性低下の要因の一つと考えられた。

参考文献

1) 松田拓, 松丸真, 蓮尾孝一, 加納嘉, 小室邦博, 野口貴文: 250N/mm<sup>2</sup> 級高強度プレキャストコンクリートの開発, 日本建築学会梗概集, pp.229-233,2015  
 2) 建設省総合技術開発プロジェクト 鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発, 平成 4

表 - 6 各気泡径と R'の範囲の寄与率

R'の範囲	寄与率(R <sup>2</sup> 値)				
	気泡径範囲(μm)				
	20~50	51~100	101~150	151~200	201~250
$1 \leq R' \leq 1.10$	0.706	0.377	0.232	0.751	0.482
$1 \leq R' \leq 1.15$	0.148	0.325	0.558	0.923	0.636
$1 \leq R' \leq 1.20$	0.133	0.108	0.671	0.695	0.640
$1 \leq R' \leq 1.25$	0.068	0.227	0.550	0.748	0.543
$1 \leq R' \leq 1.30$	0.099	0.196	0.649	0.684	0.603
$1 \leq R' \leq 1.35$	0.106	0.215	0.670	0.567	0.499
$1 \leq R' \leq 1.40$	0.133	0.165	0.625	0.625	0.572
$1 \leq R' \leq 1.45$	0.188	0.132	0.625	0.600	0.471
$1 \leq R' \leq 1.50$	0.325	0.142	0.639	0.551	0.447

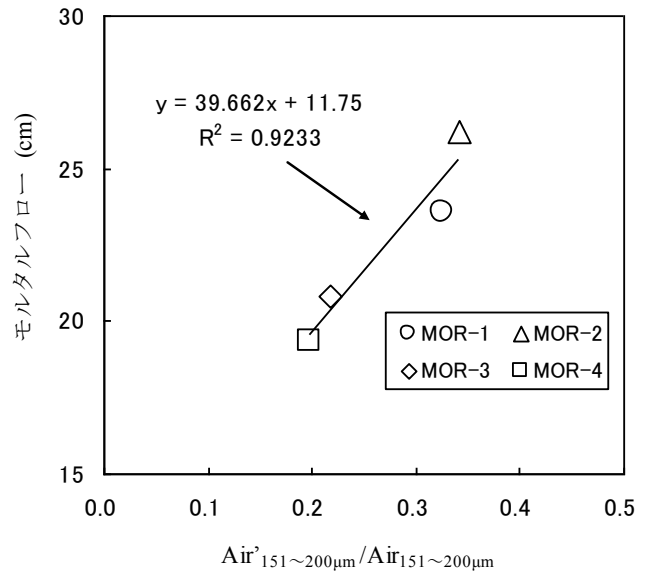


図 - 14  $Air'_{151 \sim 200 \mu m} / Air_{151 \sim 200 \mu m}$  とモルタルフローの関係

年度 高強度コンクリート分科会報告書, 1993.3  
 3) 狩野春一: AE コンクリートの空気量, 軟度および強度に就いて, 日本建築学会論文集 (45), pp.7-14, 1952.12  
 4) 日本建築学会: 高性能 AE 減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針・同解説, 1999.2  
 5) たとえば古東秀文, 室谷卓実, 五十嵐心一: モルタルの低倍率画像から得られる気泡間隔特性値と気泡間隔係数の対応, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, 2016.6  
 6) 西祐宜, 名和豊春: 凍結融解作用による劣化抵抗性を改善した疎水性化合物系乾燥収縮低減剤の諸特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 79 巻, pp.191-200, 2014.2  
 7) 公益社団法人日本コンクリート工学会: コンクリート中の気泡の役割・制御に関する研究委員会報告集, 2016.6