

凍結融解抵抗性を確実に確保できる中空微小球を用いたコンクリートの気泡制御技術

Control Technology for Air Voids in Concrete Using Microspheres that Assure Freeze-Thaw Resistance

水野 浩平 林 大介
橋本 学 坂田 昇

要 約

寒冷地のコンクリート構造物に生じる凍害を抑制するためには、コンクリート中に微細な独立気泡を連行することが有効であるとされている。著者らはこれまでに、アクリロニトリル系樹脂製の微細な中空球体である「中空微小球」に着目し、コンクリートの凍結融解抵抗性に関する実験的検討を行い効果を確認してきた¹⁾。本報では、中空微小球の添加による、フレッシュコンクリートの性状及び硬化後の気泡径分布への影響程度を明らかにするとともに、実施工を想定して、現場到着時（以下、現着時）のアジテータ車に中空微小球を投入し、適切に練混ぜが可能か否かについて検討した。その結果、パルプ製の水溶紙に中空微小球を梱包することで、アジテータ車の高速攪拌においても中空微小球がばらつくことなく均一に分散されることを確認した。

目 次

- I. はじめに
- II. 中空微小球が硬化後の気泡径分布に及ぼす影響
- III. 中空微小球がフレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響
- IV. 実施工に向けた中空微小球の添加方法の検討
- V. 後添加した中空微小球の分散性に関する検討
- VI. おわりに

I. はじめに

寒冷地のコンクリート構造物では、コンクリート中に含まれる水分が凍結（膨張）と融解を繰り返すことによって、Photo 1 に示すように、ひび割れや骨材自体のポップアウト、スケーリングなどの凍害劣化が問題となる場合がある。コンクリート構造物の凍結融解抵抗性を確保するためには、コンクリート中に存在する微細な気泡が重要とされており、一般的には AE 剤により微細な独立気泡（直径 25~250 μm）を連行することで、凍結作用によって発生する圧力を緩和することが有効とされている。一方で、施工時のバイブレータによる過度な締固めなどによって気泡が消失することが考えられ、AE 剤を適正量用いた場合でも、凍結融解抵抗性に有効な気泡が確保されない場合がある²⁾。また、既往の研究では、コンクリートの硬化過程で連行された微細気泡がブリーディング水などによって、気泡同士が合泡や破泡することで消失すること³⁾や、フライアッシュに含まれる未燃炭素に AE 剤が吸着されることで AE 剤の効果が低下し、凍結融解抵抗性が確保できない場合がある⁴⁾ことが明らかとされている。

中空微小球はアクリロニトリル系の樹脂からなる空気を内包した混和材料で、平均粒径及び見掛け密度は 40 μm 及び 016 g/cm³、80

μm、013 g/cm³と 2 種類が取り揃えられており、非常に微小かつ軽量である（Photo 2）。また、AE 剤によって連行される気泡とは異なり、消失することのない微細な独立気泡としてコンクリート中に導入することができる。中空微小球の SEM 画像を Photo 3 に示す。

本報では、コンクリート中において消失することのない中空微小球に着目し、中空微小球を用いたコンクリートについて、フレッシュ性状及び硬化後の気泡径分布に及ぼす影響程度を明らかにするとともに、実施工を想定して、アジテータ車に積載した状態のコンクリートに中空微小球を投入し、高速攪拌によって中空微小球が均一に練り混ぜられているか否かを検討するための各種実験を実施した。



Photo 1 凍害によるコンクリート構造物の劣化例
(A degradation Example of a Concrete Structure by Freezing Damage)



Photo 2 中空微小球
(Micro Sphere)

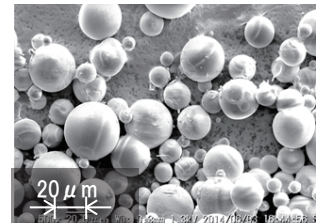


Photo 3 SEM による画像
(Picture by SEM)

キーワード: 中空微小球, 凍結融解抵抗性, 気泡径分布, 気泡間隔係数

Keywords: micro sphere, freezing and thawing resistance, air void diameter distribution, spacing factor

II. 中空微小球が硬化後の気泡径分布に及ぼす影響

既往の研究より、中空微小球を添加することで、コンクリートの凍結融解抵抗性が向上するという報告がなされている⁹⁾。本検討では、硬化後の気泡径分布に着目し、中空微小球による凍結融解抵抗性の向上効果を定量的に評価した。

1. 使用材料及びコンクリートの配合

使用材料を Table 1 に示す。中空微小球については平均粒径 80 μm のものを使用した。

コンクリートの配合を Table 2 に示す。配合は工場の保有する JIS 規格適合の配合を参考に定めた。スランブは目標を 8.0 cm、空気量は目標を 4.5% とした。中空微小球はコンクリート 1m³ に対して外割で添加し、添加量は体積換算で 1.0vol% とした。コンクリートの練混ぜにはバッチャープラントの強制二軸式ミキサを用いた。材料投入後 30 秒間練り混ぜ、ミキサを停止後、中空微小球を投入し、さらに 60 秒間の練混ぜを行った。

2. 試験項目

コンクリートの試験項目を Table 3 に示す。空気量については、中空微小球と気泡の圧力伝達は異なるため、圧力法によって測定された空気量の値は、実際に混入された空気量よりも小さい値として測定されると考えられる。そこで本検討では、質量法による測定結果を用いて考察することとした。硬化後の気泡径分布測定は ASTM C 457 に準拠しリニアトラバース法により実施した。

3. 試験結果

(1) 硬化後の気泡径分布

硬化後の空気量をスランブ及びフレッシュコンクリートの空気量と併せて Table 4 に、硬化後の気泡径分布を Fig.1 に示す。気泡径分布より、ベースコンクリートについては 0.125 mm 付近に空気量 0.47% とピークが認められるのに対し、中空微小球を 1.0vol% 添加した場合は直径 0.075 mm 付近に空気量 0.90% の明瞭なピークが認められた。これは、平均径 0.08 mm である中空微小球が空気泡として抽出された結果と考えられる。

(2) 凍結融解抵抗性向上に寄与する気泡径分布

既往の研究⁹⁾より、0.15 mm 未満の微細な空気泡を 0.45% 以上連行することで、耐久性指数 60% 以上凍結融解抵抗性を確保することができるとの報告がされている。そこで、0.15 mm 未満の空気量を算出し、既往の研究より得られた 0.15mm 未満の空気量と気泡間隔係数の関係を今回得られた結果と併せてプロットした図を Fig.2 に示す。0.15 mm 未満の空気量はベースコンクリートの 0.84% に対し、中空微小球を 1.0vol% 添加した場合は 1.70% となり、中空微小球の添加により 0.86% (1.70% - 0.84%) 増加する結果が得られた。今回の実験結果において得られた 0.15 mm 未満の空気量は 0.45% を大きく上回っており、中空微小球を用いることで、非常に高い凍結融解抵抗性を確保できることが示唆される結果となった。

III. 中空微小球がフレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響

中空微小球がフレッシュコンクリートに及ぼす影響は詳細に明らかとされていない。そこで、一般的な RC 構造物を対象に、中空微小球の径や添加量がフレッシュコンクリートのスランブ及び空気量に及ぼす影響について定量的に評価した。

1. 使用材料及びコンクリートの配合

使用材料を Table 5 に、コンクリートの配合を Table 6 に示す。中空微小球については、平均粒径 40 μm 及び 80 μm の 2 種類 (以下、D40, D80 と称す) を使用した。

「SL8-50-4.5」は、目標スランブ 8 cm、水セメント比 50%、中空微小球を添加していないベースコンクリートの設計空気量 4.5% とした。「SL10-50-4.5」は同様に、目標スランブ 10 cm、水セメント比 50%、中空微小球を添加していないベースコンクリートの設計空気量 4.5% とした。この 2 配合については、AE 剤により練上がり時の空気量を調整した。また、中空微小球はコンクリート 1m³ に対し外割で添加し、添加量は体積換算で 0.5vol%、1.0vol% 及び 1.5vol% の 3 水準とした。

「SL8-55-1.5」は、目標スランブ 8 cm、水セメント比 55%、中空微小球を添加していないベースコンクリートの設計空気量 1.5%

Table 1 使用材料 (Used Material)

材料名	記号	摘 用
水	W	上澄水
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度:3.16 g/cm ³
細骨材	S	砕砂、表乾密度:2.65 g/cm ³ 、粗粒率:3.00 砕砂、表乾密度:2.65 g/cm ³ 、粗粒率:3.00 山砂、表乾密度:2.58 g/cm ³ 、粗粒率:2.00 (グレード比、①:②:③=30:35:35)
粗骨材	G	碎石 2005、表乾密度:2.66 g/cm ³ 、実積率:60.0%
混和剤	Ad	AE 減水剤、リネグン系ポリカルボキシ酸化合物
	AE	AE 剤、変性ポリカルボキシ酸化合物系陰イオン界面活性剤
中空微小球	D80	密度:0.13 g/cm ³ 、粒径:50~90 μm、アクリロニトリル樹脂

Table 2 コンクリートの配合 (Combination of Concrete)

W/C (%)	s/a (%)	SL (cm)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)				Ad C× (%)	AE C× (%)	D80 vol (%)
				W	C	S	G			
55.0	48.0	8.0	4.5	170	310	868	950	1.10	0.0020	1.0

Table 3 試験項目 (Test Item)

試験項目	試験方法	備 考
練上がり温度	JIS A 1156 「フレッシュコンクリートの温度測定方法」	目標:20℃
スランブ	JIS A 1101 「コンクリートのスランブ試験方法」	8.0±2.5 cm
フレッシュコンクリートの空気量(質量法)	JIS A 1116 「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法(質量方法)」	4.5±1.5%
硬化後の気泡径分布	ASTM C 457「リニアトラバース法」	

Table 4 試験結果 (The Result of Test)

要因	スランブ (cm)	空気量 (質量法)	単位容積質量 (kg/m ³)	硬化後の空気量 (%)			
				気泡間隔係数 (μm)	合計	0.15mm 未満	1mm 以上
ベース	9.5	3.8	2314	319	4.4	0.84	0.94
中空微小球 1.0vol%	8.0	5.2	2282	213	4.5	1.70	0.83

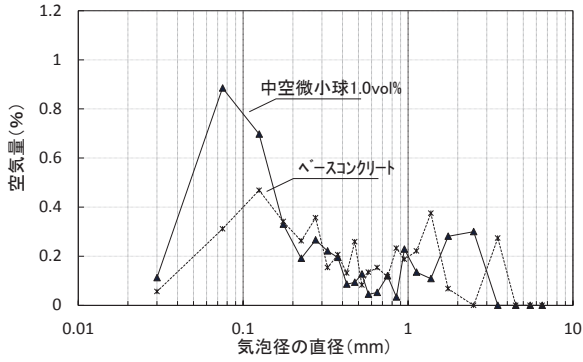


Fig.1 気泡径分布
(Air Void Diameter Distribution)

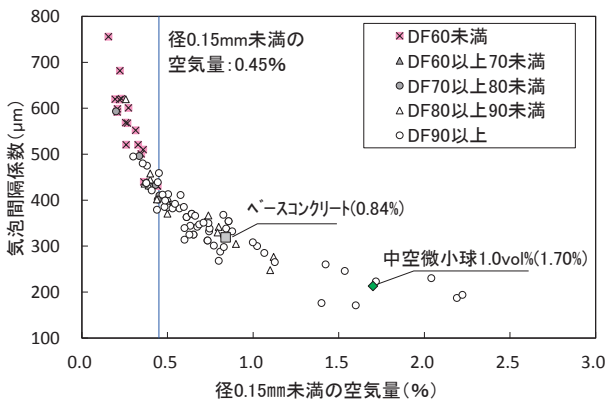


Fig.2 0.15 mm 未満の空気量と気泡間隔係数の関係
(Relation between the Air Volume of the 0.15 mm Sheep Rise and Spacing Factor)

とし、消泡剤を使用することで練上がり時の空気量を調整した。中空微小球はコンクリート 1m³に対し外割で 1.0vol%添加し、D40 及び D80 の単体のケースと、それぞれを 0.5vol%ずつ混合したケースの 3 水準にて実験を行った。

コンクリートの練混ぜには容量 50 L の強制二軸式ミキサを用いた。セメント及び骨材の投入後に中空微小球を投入し、合計 90 秒間練り混ぜた。

2. 試験項目

フレッシュコンクリートの性状（練上がり温度、スランプ、空気量）は前述の Table 3 に示す方法で実施した。なお、空気量は上述のとおり質量法にて実施した。

3. 試験結果

空気量試験結果を Fig.3 に、スランプ試験結果を Fig.4 に示す。

設計空気量を 1.5%とした「SL8-55-1.5」に着目すると、空気量はベースの 2.3%に対し、D40 では 3.0%、D80 では 2.9%、D40 と D80 の併用では 3.2%となり、中空微小球を 1.0vol%添加することにより、その径によらず 0.7%程度増加した。また、スランプはベースの 7.5 cm に対し、D40 では 10.5 cm、D80 では 9.5 cm、D40 と D80 の併用では 11.5 cm となり、中空微小球を 1.0vol%添加することにより、3.0 cm 程度増加した。これは、空気量の増加に伴い、ス

Table 5 使用材料
(Used Material)

材料名	記号	摘 用
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度:3.16 g/cm ³
細骨材	S	①砕砂、表乾密度:2.63 g/cm ³ 、粗粒率:2.97 ②山砂、表乾密度:2.60 g/cm ³ 、粗粒率:1.67 (ブレンド比、①:②=85:15)
粗骨材	G	①砕石 2010、表乾密度:2.65 g/cm ³ 、実積率:62.9% ②砕石 1005、表乾密度:2.65 g/cm ³ 、実積率:62.4% (ブレンド比、①:②=50:50)
混和剤	Ad	AE 減水剤、リネン系有機化合物
	AE	AE 剤、変性ポリリン酸化合物系陰イオン界面活性剤
	DA	消泡剤、ポリシリコン系誘導体
中空微小球	D40	密度:0.16 g/cm ³ 、粒径:35~55 μm、アクリロニリル系樹脂
	D80	密度:0.13 g/cm ³ 、粒径:50~90 μm、アクリロニリル系樹脂

Table 6 コンクリートの配合
(Combination of Concrete)

配合名	W/C (%)	s/a (%)	SL (cm)	Air (%)	単体量 (kg/m ³)				Ad Cx (%)	AE Cx (%)	DA Cx (%)	D40 vol (%)	D80 vol (%)
					W	C	S	G					
SL8-50-4.5	50.0	44.6	8.0	4.5	168	336	799	999	0.25	0.0045	—	0.5 1.0 1.5	—
SL10-50-4.5	50.0	44.6	10.0	4.5	175	350	785	983	0.25	0.0045	—	0.5 1.0 1.5	—
SL8-55-1.5	55.0	45.2	8.0	1.5	170	310	817	998	0.25	—	0.0400	— 1.0 0.5	— 1.0 0.5

ランプが増大したものと考えられる。

一方、設計空気量を 4.5%とした「SL8-50-4.5」に着目すると、空気量はベースの 4.8%に対し、0.5vol%では 4.8%、1.0vol%では 4.5%、1.5vol%では 5.0%となり、中空微小球の添加量によらず、ベースと同程度であった。「SL10-50-4.5」についても同様に、空気量はベースの 5.3%に対し、0.5vol%では 5.2%、1.0vol%では 5.4%、1.5vol%では 5.8%となり、中空微小球の添加量によらず、ベースと同程度であった。また、「SL8-50-4.5」においてスランプは、ベースの 8.0 cm に対し、0.5vol%では 8.0 cm、1.0vol%では 6.0 cm、1.5vol%では 6.0 cm となり、中空微小球の添加量が増加した場合にやや減少する結果が得られた。「SL10-50-4.5」についても、スランプは、ベースの 10.0 cm に対し、0.5vol%では 9.5 cm、1.0vol%では 9.5 cm、1.5vol%では 8.5 cm となり、同様の傾向が認められた。これは、中空微小球の添加により、コンクリート中の粉体量が増加し粘性が高くなり、スランプが減少したものと考えられる。

以上より、設計空気量 4.5%の一般的な RC 構造物を対象とした場合は、1.5vol%程度の中空微小球の添加量の範囲で、フレッシュコンクリートの性状に大きな影響を及ぼさず適用可能であることが確認された。

IV. 実施工に向けた中空微小球の添加方法の検討

実施工を想定した場合、現場内でコンクリートの打込み直前に、アジテータ車に積載した状態のコンクリートに中空微小球を投入し、高速攪拌により分散させる方法が考えられる。しかし、強制二軸式

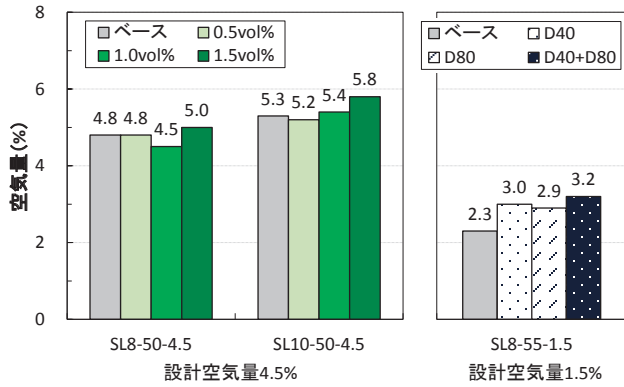


Fig.3 空気量試験結果
(The Result of Air Volume)

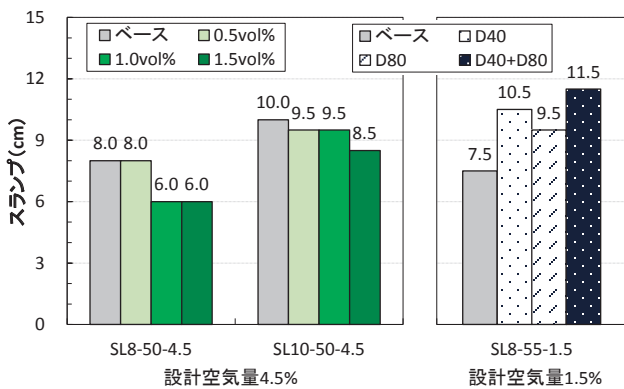


Fig.4 スランプ試験結果
(The Result of Slump)

ミキサとアジテータ車では、その攪拌能力が異なるため、アジテータ車の高速攪拌により、中空微小球がコンクリート中に適切に分散するか否か懸念される。そこで、実施工を想定し、現着時のアジテータ車に積載した状態のコンクリートに中空微小球を後添加し、その分散性を検討することとした。また、アジテータ車のホッパから中空微小球を直接投入すると、風の影響を受け飛散すること、アジテータ車のドラム壁面に中空微小球が塊となって付着することなどが懸念され、適切に混和できない可能性が考えられる。この課題を解決するために、中空微小球を水溶性の袋に梱包し投入する方法について検討した。本章では、実施工を想定した実機による実験に先立ち、水溶性の袋自体の材料がフレッシュコンクリートの性状に与える影響について室内試験により検討した。

1. 使用材料及びコンクリートの配合

使用材料は Table 6 に示す材料を使用した。なお、中空微小球は D80 を使用した。また、水溶紙は Photo 4 に示すポリビニルアルコール（以下、PVA と記す）製及び Photo 5 に示すパルプ製の 2 種類を使用した。コンクリートの配合は Table 6 に示す SL-8-50-4.5 とした。

2. 試験方法

コンクリートの練混ぜは容量 50 L の強制二軸式ミキサを用いた。0.5vol% の中空微小球を水溶紙に梱包し、コンクリートを 30 秒間練



Photo 4 PVA 製水溶紙
(PVA, Made of Water-Soluble Paper)



Photo 5 パルプ製水溶紙
(Water-Soluble Paper Made of the Pulp)

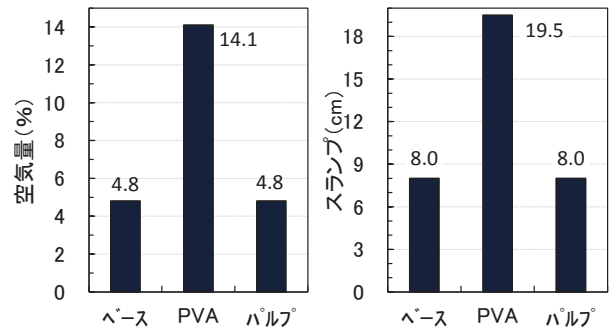


Fig.5 空気量及びスランプの試験結果
(Test Result of the Air Volume and the Slump Deg)

り混ぜた後に投入し、さらに 60 秒間（合計 90 秒間）練り混ぜた。練混ぜ後、Table 3 に示す試験方法にて、スランプ試験及び空気量試験（質量法）を実施した。

3. 試験結果

空気量及びスランプの試験結果を Fig.5 に示す。PVA 製の水溶紙を用いた場合、空気量が 14.1% まで増大し、規格値 (4.5±1.5%) を大幅に超える結果となった。これは、PVA 自体が増粘成分を有しているため、練混ぜ時に空気を巻き込み、空気量が増大したものと考えられる。また、中空微小球を添加していないベースコンクリートのスランプが 8.0 cm であるのに対し、中空微小球を添加したものは 19.5 cm に増加した。これは、空気量の増大に伴いスランプも増大したものと考えられる。一方で、パルプ製の水溶紙を用いた場合、スランプ及び空気量ともにベースと同等の性状が得られた。パルプ製の水溶紙は繊維がほどけるように溶解する状況が確認され、空気を巻き込むことなく均一に練り混ぜられたものと考えられる。

以上の結果より、パルプ製の水溶紙を採用することとした。

V. 後添加した中空微小球の分散性に関する検討

前章の結果より、パルプ製の水溶紙に中空微小球を梱包することで、フレッシュコンクリートの性状に影響を及ぼすことなく、中空微小球を添加可能であることが確認された。本章では実施工を想定し、現着時のアジテータ車に積載した状態のコンクリートに中空微小球を後添加し、フレッシュコンクリートの性状を確認するとともに、その分散性を各種試験により検討した。

1. 使用材料及びコンクリートの配合

使用材料はレディーミクストコンクリート工場保有の材料を用い、Table 1 に示す材料を使用した。なお、中空微小球は D80 を使用し

た。水溶紙はパルプ製のものを使用した。

コンクリートの配合は工場が保有する JIS 規格適合の配合を参考として定め、Table 2 に示す配合とした。

2. 試験方法

レディーミクストコンクリート工場にて強制二軸式ミキサを用いて 4 m³のコンクリートを 30 秒間練り混ぜた。その後コンクリートをアジテータ車に積載し、運搬時間を想定して 30 分待機させた後に、ホッパから 1.0vol%の中空微小球を投入し、120 秒間高速攪拌させた。中空微小球はパルプ製の水溶紙に梱包し、手で投入しやすいように 1 袋あたり 0.25 m³分に分割して合計 16 袋を投入した。サンプリングは 1.0 m³を排出するごとに 3 回実施（頻度は前、中、後と表記）し、中空微小球の分散性をフレッシュ性状及び硬化後の空気量により評価した。フレッシュコンクリートの空気量は質量法により測定し、硬化後の気泡径分布は ASTM C 457 に準拠しリニアトラバース法で実施した。

3. 試験結果

アジテータ車への中空微小球の投入状況を Photo 6 に示す。水溶紙に梱包することで、中空微小球は飛散することなく適切にアジテータ車のドラム内に投入され、高速攪拌時も飛散する状況は認められなかった。

スランブ試験結果を Fig.6 に示す。スランブは前、中、後の 3 水準においてそれぞれ 9.5 cm、8.5 cm、8.5 cm であり、同程度の結果が得られた。また、ベースコンクリートの 9.5 cm と同程度の結果であり、中空微小球の投入による顕著な影響は認められなかった。

空気量試験結果を Fig.7 に示す。フレッシュ時の空気量に着目すると、前、中、後でそれぞれ 5.4%、5.0%、5.2%であり、同程度の



Photo 6 ミキサへの中空微小球の投入状況

(The Investment Situation of the Micro Spheres to a Blender)

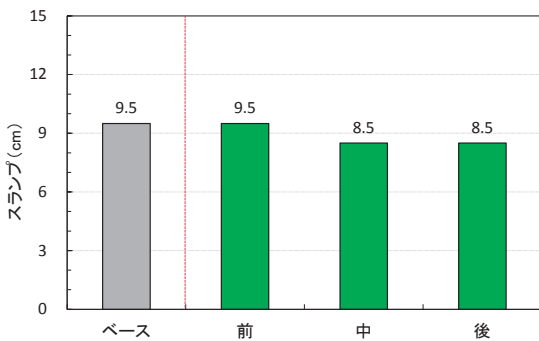


Fig.6 スランブ結果

(Compressive Strength Test)

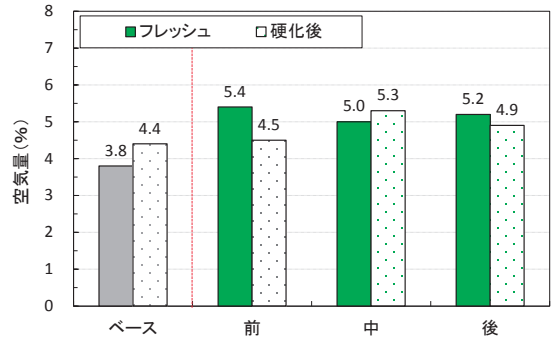


Fig.7 空気量試験結果

(Test Result of Air Content)

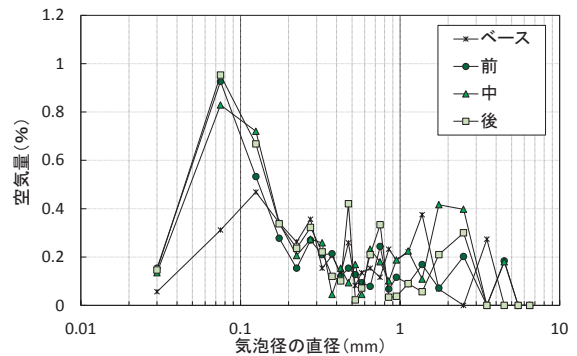


Fig.8 硬化後の気泡径分布

(The Air Void Diameter Distribution After Indurating)

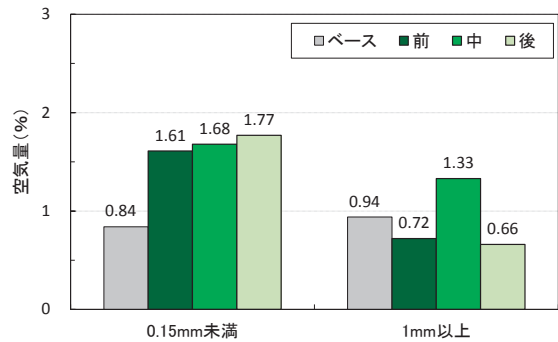


Fig.9 各気泡径における硬化後の空気量

(The Air Volume After Indurating in Each Air Void Diameter)

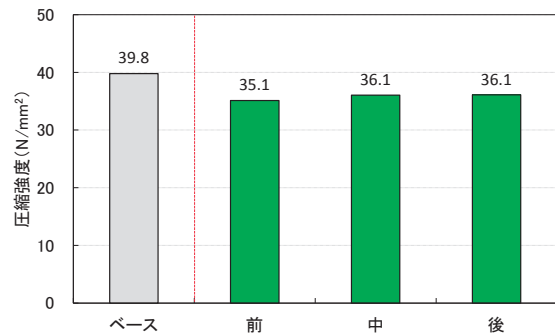


Fig.10 圧縮強度試験結果

(Test Result of Compressive Strength)

結果が得られた。また、ベースコンクリートの3.8%に対し、中空微小球の添加後に1.5%程度増加した。硬化後の空気量に着目すると、前、中、後でそれぞれ4.5%、5.3%、4.9%であり、前においてやや空気量が少ない結果が得られた。また、ベースコンクリートの4.4%に対し、中空微小球の添加後に空気量が増加した。これは、中空微小球による空気量の増加分とアジテータ車の高速攪拌による空気量の増加分が含まれるものと考えられる。この結果について気泡径分布に着目して考察した。気泡径分布をFig.8に、硬化後の空気量のうち0.15 mm未満と1 mm以上に区分した空気量をFig.9に示す。気泡径分布より、前、中、後のいずれも直径0.075 mm付近に空気量0.9%程度の明瞭なピークが認められた。一方、ベースコンクリートについては0.125 mm付近に空気量0.47%とピークが認められる。この両者の違いより、中空微小球の平均径が80 μm (0.08 mm)であることから、直径0.075 mm付近の空気量は中空微小球が抽出されたものと考えられ、アジテータ車の高速攪拌により均一に中空微小球が分散されたことを示唆するものと考えられる。直径1 mm以上の空気量については前、中、後でそれぞれ0.72%、1.33%、0.66%であり、ばらつきが認められるが、一般に、1 mm以上の空気泡はエントラップドエア⁶⁾に区分されることから、巻込み空気によるものと考えられる。0.15 mm未満の空気量は前、中、後ではそれぞれ1.61%、1.68%、1.77%であり同程度の結果が得られた。また、ベースコンクリートの0.84%に対し、中空微小球の添加により0.9%程度増加していることから、高い凍結融解抵抗性を付与できたものと考えられる。

圧縮強度試験結果をFig.10に示す。圧縮強度は前、中、後でそれぞれ35.1 N/mm²、36.1 N/mm²、36.1 N/mm²であり同程度の結果が得られた。これらはベースコンクリートの39.8 N/mm²に対し1割程度低い値であった。一般に、フレッシュ時の空気量が1%増加すると圧縮強度は5%程度低下するとされており、今回の試験においても、中空微小球を添加した場合、ベースに対して1.5%程度フレッシュ時の空気量が増加していることが圧縮強度に影響を及ぼしたものと考えられる。

VI. おわりに

中空微小球を使用したコンクリートに関して、今回の検討の範囲

で以下に示す知見を得た。

- ①中空微小球を添加することにより、硬化後の気泡径分布より、直径0.075 mm付近に空気量0.9%程度の明瞭なピークが認められ、凍結融解抵抗性に有効な0.15 mm未満の空気泡が確実に増加することが確認された。
- ②設計空気量4.5%の一般的なRC構造物を対象とした場合は、中空微小球を1.5vol%程度の添加量の範囲とすることで、フレッシュ性状に大きな影響を及ぼすことなく適用可能であることが確認された。
- ③中空微小球をパルプ製の水溶紙に梱包することで、フレッシュコンクリートの性状に大きな影響を及ぼすことなく、均一に練り混ぜが可能であることが確認された。
- ④実施工を想定し、現着時のアジテータ車に対して中空微小球を後投入した場合においても、硬化後の気泡径分布より、中空微小球がばらつきなく均一分散されることを確認した。

参考文献

- 1) 林大介, 高木英知, 橋本学, 樋口隆行, 寺崎聖一, 五十嵐数馬; 中空微小球を用いたコンクリートのフレッシュ性状および凍結融解抵抗性に関する一考察, 土木学会第71回年次学術講演会, V-265, 2016.
- 2) 橋本学, 湯浅昇, 緒方英彦, 林大介; コンクリートの配(調)合および打込み・締めが硬化後の気泡分布に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, 2016, pp.1557-1562.
- 3) 坂田昇, 菅侯匠, 林大介, 作榮二郎; コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼすブリーディングの影響に関する一考察, コンクリート工学論文集, Vol.23, No.2, 2012, pp.59-69.
- 4) 長瀬重義, 大賀宏行, 嶋田久俊; フライアッシュを混和したコンクリートの耐凍害性評価, セメント技術年報, No.41, 1987, pp.371-374.
- 5) 坂田昇, 菅侯匠, 林大介, 橋本学; コンクリートの気泡組織と耐凍害性の関係に関する考察, コンクリート工学論文集, Vol.23, No.1, 2012, pp.35-47.
- 6) 日本コンクリート工学会; コンクリート便覧, 1996, pp.212-231.

Control Technology for Air Voids in Concrete Using Microspheres that Assure Freeze-Thaw Resistance

Kohei Mizuno, Daisuke Hayashi, Manabu Hashimoto and Noboru Sakata

Freezing damage in concrete structures in cold climates can be reduced by entraining minute isolated air voids into the concrete. The authors have conducted experiments on the freeze-thaw resistance of concrete using microspheres, which are minute hollow spheres made of acrylonitrile resins. This report describes how the addition of microspheres affects the properties of fresh concrete and the air void diameter distribution after curing and investigates by supposing an actual construction site whether the microspheres can be properly mixed on site into concrete inside the concrete mixer truck. The results showed that by packing the microspheres in water-soluble paper made from pulp they were dispersed evenly, even when the concrete mixer was operated at high speed.