

## V-10

## 中空微小球を用いて空気を連行させた水中不分離性コンクリートの耐凍害性

北見工業大学	学生会員	七海隆之
北見工業大学	フェロー	鮎田耕一
北見工業大学	正会員	桜井宏
北見工業大学	正会員	猪狩平三郎

## 1. はじめに

コンクリートの耐凍害性を確保するために一般にはAE剤が用いられているが、特殊な混和剤、例えば、セルロース系の水中不分離性混和剤と併用した場合、空気の安定的な連行が難しくなり、耐凍害性が損なわれる場合がある。そこで、筆者らは、水中不分離性コンクリートの耐凍害性を向上させるために、AE剤の代わりにプラスチック系の中空微小球(Hollow Micro-Spheres 以後、HMS)をコンクリートに添加し、エントレインドエアに相当する気泡を混入させる方法を試みてきた<sup>1) 2)</sup>。その結果、高い耐凍害性が得られることを明らかにした。しかしながら、HMSの入手が必ずしも容易でないこと、また、HMSの添加に伴う圧縮強度の低下等解決すべき点も明らかになった。

そこで本研究では、HMSと同等の性質をもち、かつ入手しやすい中空微小球(Expanded Plastic Micro-Spheres 以後、EPM)(主成分:ポリ塩化ビニリデン)を用いた水中不分離性コンクリートの耐凍害性と強度性状について検討した。

## 2. 実験の内容

## 2.1 使用材料及び配合

表-1に使用材料を示す。EPMの電子顕微鏡写真を写真-1に示す。EPMは、空気を内包したプラスチック球であり、写真で明らかなように、その径のほとんどが50 $\mu$ m程度以下である。また、105 $^{\circ}$ Cで一定質量になるまで乾燥して求めたEPMの含水率は81.4%であった。

表-2に配合を示す。水中不分離性混和剤、流動化剤、AE減水剤の使用量は、スランプフローが50 $\pm$ 3cmになるように定めた。EPMを添加していない配合のAE剤の使用量は空気量が4.5 $\pm$ 0.5%になるように定めた。なお、EPMの含水量は単位水量に含めた。

## 2.2 練混ぜ及び養生

コンクリートの練混ぜには、容量50リットルの強制練りミキサーを用いた。練混ぜ方法は、セメント+細骨材+粗骨材 $\rightarrow$ 60秒間空練り $\rightarrow$ 練混ぜ水+AE剤+AE減水剤+EPM $\rightarrow$ 60秒間練混ぜ $\rightarrow$ 流動化剤 $\rightarrow$ 120秒間練混ぜ、の手順で行った。供試体は、各試験材齢まで標準養生(20 $^{\circ}$ C水中)を行った。

## 2.3 試験方法

## (1) フレッシュコンクリート

## ① 空気量

JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力法)」に準拠して、練上がり直後の空気量を測定した。AE剤を用いた配合の空気量の目標値は4.5 $\pm$ 0.5%である。なお、EPMを添加した配合には空気量の目標値を設定していない。

## ② スランプフロー

土木学会規準「コンクリートのスランプフロー試験方法」に準拠して、スランプコーンを引き上げてから

Freeze-Thaw Resistance of Antiwashout Underwater Concrete Containing Expanded Plastic Micro-Spheres. by Takayuki NANAUMI, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Heizaburoh IGARI

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16、比表面積：3320cm <sup>2</sup> /g
細骨材	川砂 比重2.62、吸水率2.27%、粗粒率2.68
粗骨材	川砂利 最大寸法25mm 比重2.66、吸水率1.54%、粗粒率6.87
EPM	主成分：ポリ塩化ビニリデン
水中不分離性 混和剤	水溶性セルロースエーテル
流動化剤	高縮合トリアジン系化合物
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物 ポリオール複合体
AE剤	天然樹脂酸塩

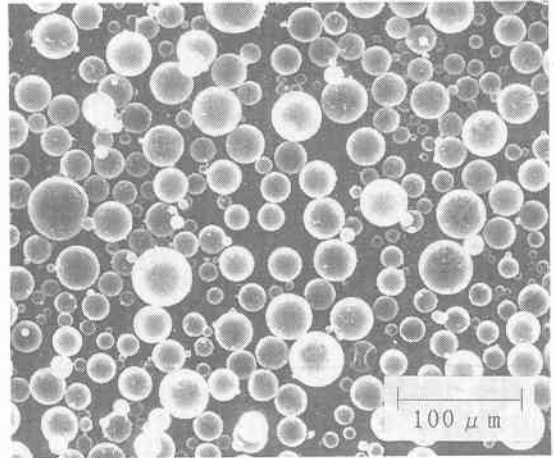


写真-1 EPM

表-2 配合

供試体名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				水中 不分離性 混和剤 (kg/m <sup>3</sup> )	流動化 剤 (C×%)	AE 減水剤 (C×%)	AE剤 (C×%)	EPM (C×%)
			C	W	S	G					
AE	55	40	400	220	638	971	2.3	0.5	0.20	0.021	—
EPM-1.0										—	1.0
EPM-2.0										—	2.0
EPM-3.0										—	3.0
EPM-1.0-AE										0.021	1.0
EPM-2.0-AE										0.021	2.0

約5分後のスランプフローを測定した。スランプフローの目標値は50±3cmである。

(2) 硬化コンクリート

①耐凍害性

10×10×40cmの角柱供試体を用い、材齢14日まで20℃水中養生した後、材齢14日から土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し、水中における急速凍結融解試験を行い耐凍害性を評価した。また、ASTM C 666「Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing」に準じて凍結融解300サイクル後の耐久性指数を求めた。

②気泡組織

ASTM C 457「Standard Test Method for Micro-scopical Determination of Parameters of the Air Void System in Hardened Concrete」の修正ポイントカウント法に準拠して、画像解析システム<sup>3)</sup>を用い、空気量、気泡間隔係数、気泡の比表面積を測定した。

③圧縮強度

供試体の作製は、気中と水中で行った。気中の供試体作製方法は、土木学会規準「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準拠して行った。また、水中の供試体作製方法は、土木学会規準「水中不分離性コ

ンクリートの圧縮強度試験用水中作製供試体の作り方(案)」(JSCE-F 504-1990)に準拠して行った。

圧縮強度試験方法は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験法」に準拠し、φ10×20cmの円柱供試体を用い、試験材齢まで20℃水中養生を行い、材齢14日、28日に試験した。

④電子顕微鏡による観察

走査型電子顕微鏡で、凍結融解試験前後の硬化コンクリート中のEPMを観察した。供試体をハンマーで砕き、2mmふるいを通過し、1mmふるいに残るセメントペースト部分を試料とした。

3. 実験結果及び考察

フレッシュコンクリートの性状、凍結融解試験、気泡組織測定及び圧縮強度試験の結果を表-3に示す。

表-3 実験結果

供試体名	空気量 (%)	スラン プフ ロー (cm)	凍結融解試験*1		硬化コンクリートの気泡組織			圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )			
			質量 減少率 (%)	耐久 性指 数	空気量 (%)	気泡間 隔係 数 (μm)	比表面積 (cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	気中作製		水中作製	
								材齢 14日	材齢 28日	材齢 14日	材齢 28日
AE	4.3	48.5	8.14	1	2.2	284	288	249	310	231	279
EPM-1.0	4.5	49.0	7.79	68	3.4	237	281	238	272	208	247
EPM-2.0	5.0	49.0	1.92	90	4.0	225	281	206	241	179	221
EPM-3.0	5.0	51.0	0.19	98	4.3	196	309	180	219	164	199
EPM-1.0-AE	5.2	49.0	11.01	79	3.5	202	327	246	270	219	251
EPM-2.0-AE	5.5	50.0	3.62	90	3.9	217	291	221	244	192	219

\*1: AEは凍結融解回数98回で破壊、質量減少率は凍結融解回数75回終了時の値  
その他の配合は凍結融解回数300回で試験終了、質量減少率は凍結融解回数300回終了時の値

3.1 EPM添加量とスランブフロー

図-1にEPM添加量がスランブフローに及ぼす影響を示す。水中不分離性混和剤、流動化剤、AE減水剤の使用量は一定である。EPM添加量が増加するにつれてスランブフローが大きくなる傾向にある。既往の研究結果<sup>2)</sup>と同様に、EPMがエントレインドエアと同じくコンクリート中でボールベアリングの作用をしたためと思われる。

3.2 EPM添加量と耐凍害性

(1)質量減少率

図-2にEPM添加量が凍結融解300サイクル終了時の質量減少率に及ぼす影響を示す。EPM

Mを添加せずにAE剤だけを使用した場合の質量減少率は、凍結融解300サイクル以前で破壊したため、破壊サイクル時(表-3欄外参照)の値を示してある。EPMのみを添加した場合は、EPM添加量を増加させるにつれてスケーリング抵抗性が改善され、EPM添加量を3.0(C%)とすると凍結融解作用による質量の減少はほとんどなくなった。また、EPMとAE剤を併用した場合も、EPM添加量を増加させるにつれてスケーリング抵抗性が改善されるが、EPMのみ添加した場合と比較すると質量減少率は大きい値を示した。

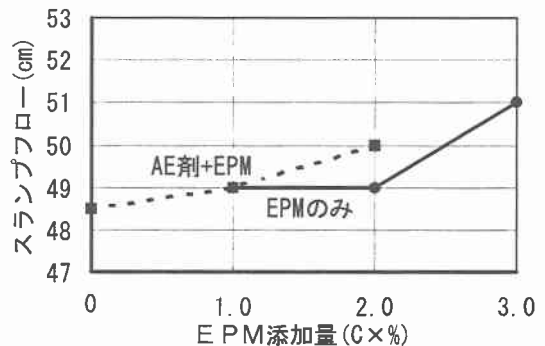


図-1 EPM添加量とスランブフロー

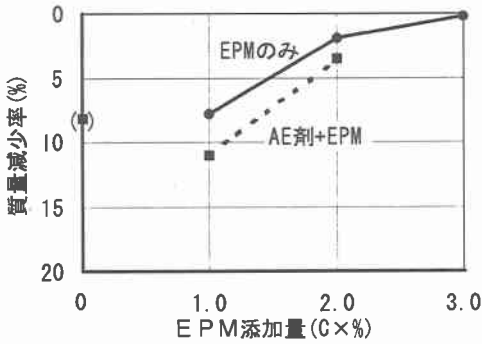


図-2 EPM添加量と質量減少率

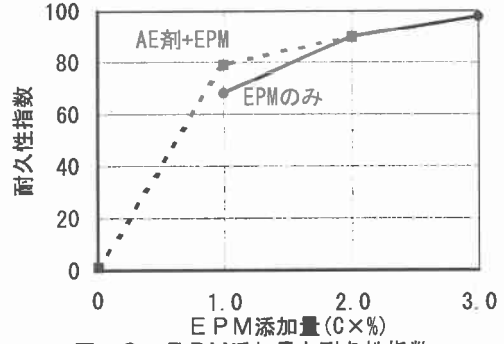


図-3 EPM添加量と耐久性指数

## (2) 耐久性指数

図-3にEPM添加量が耐久性指数に及ぼす影響を示す。EPMを添加せずにAE剤だけを使用した場合には非常に低い耐久性指数を示しているのに対して、EPM添加量を増加させるにつれ耐久性指数が高くなり、EPM添加量を2.0(C%)以上とすると耐久性指数が90以上を示した。また、EPMとAE剤を併用した場合、EPM添加量を1.0(C%)とすると、EPMのみ添加した場合より耐久性指数は高くなった。

(1)、(2)の結果から、EPMを添加することにより耐凍害性を向上させることが可能であること、AE剤を併用すると質量減少率が大きいものの耐久性指数は同等以上になることが明らかになった。

## 3.3 EPM添加量と硬化コンクリートの気泡組織

### (1) 空気量

図-4にEPM添加量がエアロスに及ぼす影響を示す。ここでのエアロスは、フレッシュコンクリートの空気量から硬化コンクリートの空気量を差し引いたものである。EPM添加量が増加するにつれてエアロスが少なくなっている。AE剤を併用した場合にエアロスが比較的多いのは、水中不分離性混和剤の中に含まれている消泡剤がエントレインドエアも消したためと思われる。

### (2) 気泡間隔係数

図-5にEPM添加量が気泡間隔係数に及ぼす影響を示す。EPMを添加せずにAE剤だけを使用したものに比べて、EPMを添加した場合には、気泡間隔係数は小さくなっている。

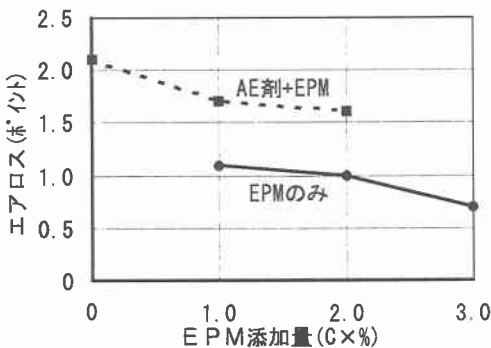


図-4 EPM添加量とエアロス

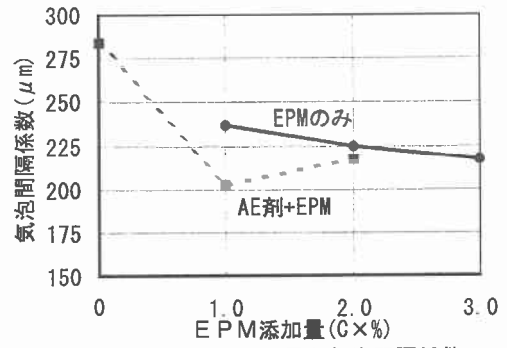


図-5 EPM添加量と気泡間隔係数

図-6に気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示す。EPMを添加せずにAE剤だけ使用した場合は、気泡間隔係数が大きく、耐久性指数も非常に低くなっている。一方、EPMを添加すると気泡間隔係数が小さくなり、耐凍害性も向上した。

以上の気泡組織の試験結果から、EPMを添加するとエアロスが少なく、気泡間隔係数が小さくなるのが明らかになった。その結果、水中不分離性コンクリートの耐凍害性が向上したものと考えられる。

### 3.4 硬化コンクリート中のEPM

写真-2に、凍結融解試験前のコンクリート(EPM-3.0)の電子顕微鏡写真を示す。写真で明らか

のように、硬化コンクリート中でもEPMは、大部分が完全な球体を保っており、練混ぜ時につぶれずに安定して存在している。しかしながら、変形しているものもわずかに存在した。写真-3は、凍結融解試験300サイクル終了後の同じ配合のコンクリートの電子顕微鏡写真である。既往の研究結果<sup>2)</sup>と同様に、凍結融解試験前のEPMと比べると、完全な球体を保っているものは少なく、変形したり、破損したりしている。これは、凍結融解作用によって発生した水圧がEPMに作用したためと考えられるが、EPMは中空なのでプラスチック膜が破れた後にはエントレインドエアと同じ効果を発揮しているものと思われる。

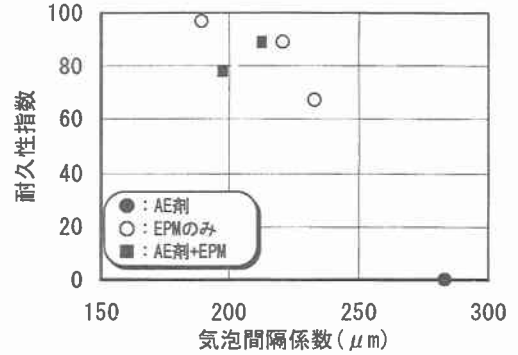


図-6 気泡間隔係数と耐久性指数

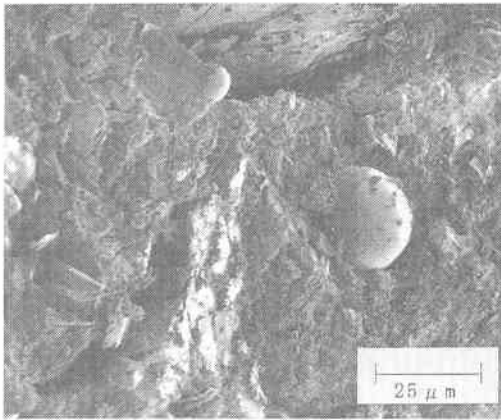


写真-2 硬化コンクリート(EPM-3.0)中のEPM (凍結融解試験前)

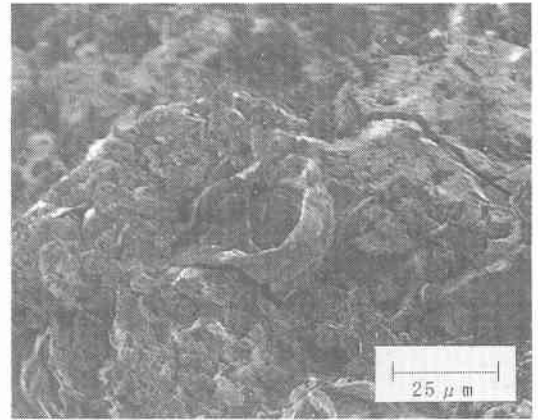


写真-3 硬化コンクリート(EPM-3.0)中のEPM (凍結融解試験後)

### 3.5 EPM添加量と圧縮強度

図-7にEPM添加量が圧縮強度に及ぼす影響を示す。気中、水中で作製した供試体ともに、EPM添加量が増加するにつれて圧縮強度は低下した。水中作製供試体の圧縮強度は、気中作製供試体のそれより約1割程度低い値を示している。EPMとAE剤を併用した場合の圧縮強度は、EPMのみを添加した場合の圧縮強度とほぼ同じであり、AE剤使用に伴う圧縮強度の低下は認められなかった。

図-8にEPM添加量が圧縮強度比に及ぼす影響を示す。なお、ここでの圧縮強度比は、気中、水中作製供試体の材齢28日の圧縮強度を、EPMを添加せずにAE剤を用いた配合(配合「AE」)を気中で作製した材齢28日の圧縮強度(310kgf/cm<sup>2</sup>)で除した値を百分率で示したものである。

EPM添加量を1.0(C×%)ごと増加させると、EPMのみ添加した場合、EPMとAE剤を併用した場合と

もに、圧縮強度は約1割程度低下している。これは、EPM添加コンクリートでは硬化コンクリートの空気量がEPM無添加コンクリートより多いことが一因と考えられる。

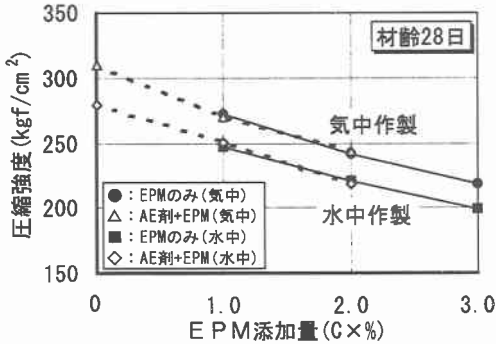


図-7 EPM添加量と圧縮強度

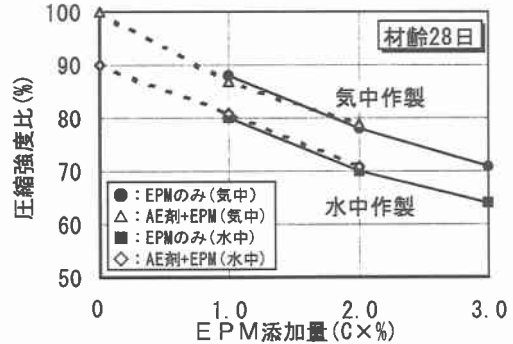


図-8 EPM添加量と圧縮強度比

#### 4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下ようになる。

- (1) EPM添加量が増えるにつれ、スランブフローが大きくなる傾向にあった。
- (2) EPM添加量を2.0(C%)以上とすると、耐凍害性は向上した。また、AE剤を併用すると質量減少率が大きくなるが、耐久性指数は大きくなった。
- (3) EPMを添加した水中不分離性コンクリートは、エアロスが少なく、気泡間隔係数が小さい。
- (4) 硬化コンクリート中のEPMは、凍結融解の繰返しを受ける前は、大部分が球形を保っているが、急速凍結融解試験300サイクル後には変形、破損する。EPMは中空なためプラスチック膜が破れた後は、エントレインドエアと同様な効果を発揮していると考えられる。
- (5) EPMの添加の有無にかかわらず、水中作製供試体の材齢28日の圧縮強度は、気中作製供試体のそれより約1割程度低かった。また、EPM添加量が1.0(C%)増加するにつれ材齢28日の圧縮強度は、AE剤使用の有無にかかわらず、約1割程度ずつ低下した。

#### 【参考文献】

- 1) 渡辺宏・堺孝司・鮎田耕一：中空微小球による水中不分離性コンクリートの耐凍害性改善効果、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16、No. 1、pp. 567-572 (1994)
- 2) 鮎田耕一・桜井宏・猪狩平三朗・七海隆之：中空微小球を用いた水中不分離性コンクリートの性状及び耐凍害性、寒地技術シンポジウム'95講演論文集、PP. 69-73 (1995)
- 3) 鮎田耕一・桜井宏・田辺寛一郎：硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析、土木学会論文集、第420号/V-13、pp. 81-86 (1990)