

論文

[1093] 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

渡辺 宏*¹・堺 孝司*²・鮎田耕一*³

1. まえがき

水中不分離性コンクリートに用いられるセルローズ系の混和剤には、混和剤により巻き込まれる粗大な空気泡を消失させるための消泡剤が混入されている。この消泡剤は耐凍害性にとって重要な微細な空気泡にも影響を及ぼし、結果として気泡組織を粗大化させる。このため、このような混和剤を用いたコンクリートは、耐凍害性を確保することが難しいとされてきた。このことを背景に、著者らは、これまで、A E剤の代わりに、空気を内包したプラスチック系の中空微小球を用いた水中不分離性コンクリートの耐凍害性について検討してきた[1]。その結果、水中不分離性コンクリートに中空微小球を添加することにより、高い耐凍害性が得られることが明らかとなった。しかし、実験で用いた水中不分離性コンクリートは、通常の場合と比べて水セメント比が小さく、単位水量および水中不分離性混和剤の添加量が少なかった。このため、コンクリートに多量の空気を連行させると耐凍害性の改善が見られた。

以上のことを背景に、本研究では、水セメント比が比較的大きく、水中不分離性混和剤の添加量が多い場合における、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について検討した。

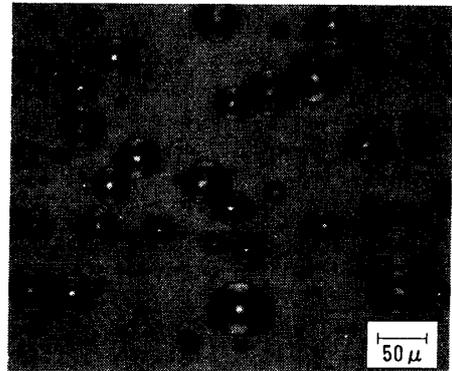


写真-1 H M S

2. 実験概要

2. 1 中空微小球

中空微小球（以下、HMSと略称）は、写真-1に示すように、空気を内包したプラスチック系球形弾性膜できており、その径のほとんどはほぼ50μm以下である。

2. 2 使用材料および配合

表-1に、使用材料を示す。表-2に、コンクリートの配合を示す。HMSの添加率は、セメント重量に対する比で0.5、1.2、および2.0と変化させた。また、比較のために、空気連行剤を用いて

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
細骨材	苫小牧市樽前産海砂 比重 2.67 吸水率 1.17 FM 2.60
粗骨材	小樽市見晴産碎石 比重 2.68 吸水率 1.17
A E減水剤	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体
空気連行剤	変性ロジン酸化合物
水中不分離性混和剤	セルローズ系高分子化合物
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物

*1 北海道開発局開発土木研究所構造部材料研究室主任研究員（正会員）

*2 北海道開発局開発土木研究所構造部材料研究室室長、工博（正会員）

*3 北見工業大学教授工学部土木開発工学科、工博（正会員）

表-2 コンクリートの配合

水セメント比 w/c (%)	HMS 添加率 (Cx%)	水中不 分離性 混和剤 添加率 (%)	目 標 空気量 (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					単位量 (ℓ/m³)		
					水 W	セメン ト C	細骨材 S	粗骨材 G	HMS	水中不 分離性 混和剤	空気連 行剤	高性能 減水剤
50	0.5	1.3	-	42.1	206	412	708	976	2.06	2.85	-	13
55	0		5	42.8	199	362	762	976	-	2.76	0.905	
			9	38.9	199	362	620	976			1.810	
			-	43.1	206	375	737	976			1.88	
0.5	-		43.1	206	375	737	976	4.50				
1.2								7.50				
2.0												
60	0		5	43.7	199	332	753	976	-	2.76	0.830	
	2.0		-	44.0	206	343	764	976	6.86	2.85	-	

* HMSは単位水量として扱う。

目標空気量を 5、9%とした場合およびHMSも空気連行剤も用いない場合についても検討した。

2.3 実験方法

試験項目および試験方法を表-3に示す。コンクリートの練り混ぜには、容量100ℓのパン型ミキサを用いた。練り混ぜ総時間は、3分30秒とした。

供試体は、気中で作成した。コンクリートの養生は、材齢28日まで20℃の水中で行った。圧縮強度試験は材齢28日で行った。また、凍結融解試験の開始材齢も28日とした。

表-3 試験項目および試験方法

試 験 項 目	試 験 方 法
スラumpfロー試験	コンクリートのスラumpfロー試験方法(案) (JSCE)
空 気 量	J I S A 1 1 1 8
圧 縮 強 度 試 験	J I S A 1 1 0 8
凍 結 融 解 試 験	コンクリートの凍結融解試験方法 (JSCE)
気 泡 組 織 の 測 定	ASTM C 457 (リニアトラバース法)

表-4 コンクリート空気量

水セメント比 w/c (%)	HMS 添加率 (Cx%)	目 標 空気量 (%)	フレッシュ コンクリート 空気量 (%)	硬化 コンクリート 空気量 (%)	
50	0.5	-	3.3	2.76	
55	0	5	5.3	3.38	
		9	8.7	5.35	
		-	3.6	2.15	
	0.5	-	43.1	3.6	2.85
	1.2			3.8	3.00
	2.0			4.2	3.87
60	0	5	4.3	2.44	
	2.0	-	4.1	3.56	

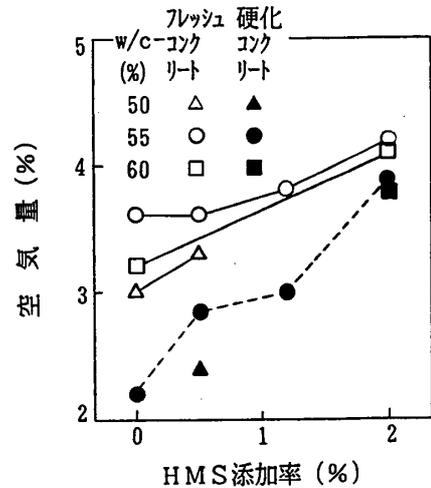


図-1 空気量に及ぼすHMS添加率の影響

3. 実験結果および考察

3.1 空気量

フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの空気量を表-4に示す。空気量に及ぼすHMS添加率の影響を図-1に示す。HMSの添加率が大きくなると、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの何れの空気量も増加した。この空気量の増加は、HMSを添加したことによるものである。水セメント比が55%の場合、HMSを2%添加することによって増加した空気量は、フレッシュコンクリートでは0.6%、硬化コンクリートでは1.7%であった。このことは、ここで用いた空気量の測定方法がHMSの空気量を正確に計測できないことを意味する。図-2に、フレッシュコンクリートの空気量に対する硬化コンクリートの空気量の比率を示す。水セメント比が55%では、HMSが無添加で空気連行剤を用いない場合、フレッシュコンクリートの空気量に対する硬化コンクリートの空気量の比率は60%となった。空気連行剤により空気量を5%および9%混入した場合においても、この比率は60%強を少し越える程度であった。消泡剤の空気消失に対する寄与の程度は不明であるが、これらの結果は、フレッシュコンクリートの空気の消失に消泡剤が大きく影響していることを示している。しかし、HMSを用いた場合、その添加量を大きくするとこの比率は増加し、HMS添加率が2%では92%となった。

3.2 圧縮強度

圧縮強度に及ぼすHMS添加率の影響を図-3に示す。HMS添加率が大きくなると圧縮強度は小さくなる傾向にある。図-4に、水セメント比が55%の場合の圧縮強度に及ぼす硬化コンクリートの空気量の影響を示す。HMSを添加した場合、空気量が大きくなると圧縮強度は減少し、その減少率は空気連行剤を用いた場合と同程度であった。単位空気量当たりの圧縮強度の減少量は20kgf/cm²となった。

3.3 耐凍害性

図-5に、水セメント比が55%でHMS添加率を変化させた場合の凍結融解の繰り返しに伴う相対動弾性係数の変化を示す。HMSを添加しない場合、20サイクルにおける相対動弾性係数は29%となった。HMSを0.5%

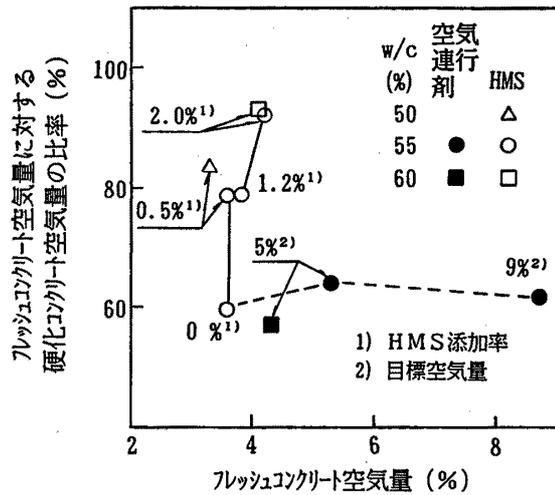


図-2 フレッシュコンクリート空気量に対する硬化コンクリート空気量の比率

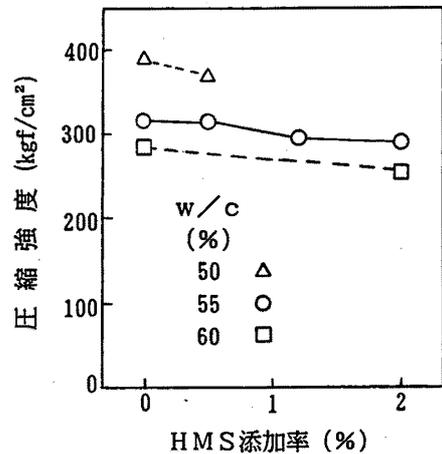


図-3 圧縮強度に及ぼすHMS添加率の影響

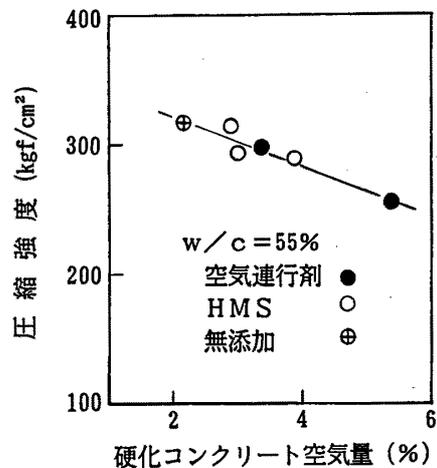


図-4 圧縮強度に及ぼす硬化コンクリート空気量の影響

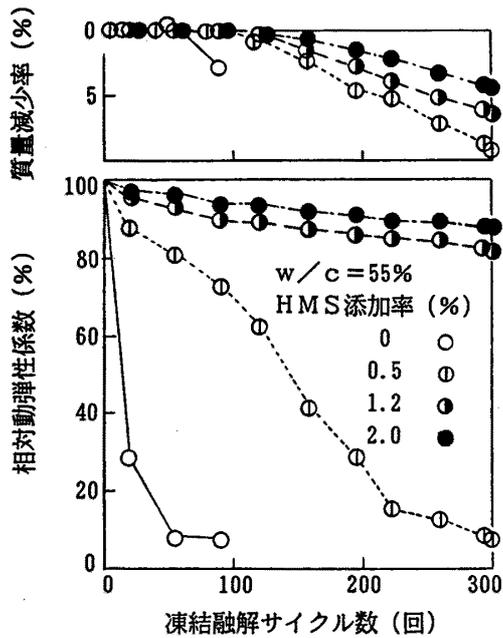


図-5 凍結融解試験結果

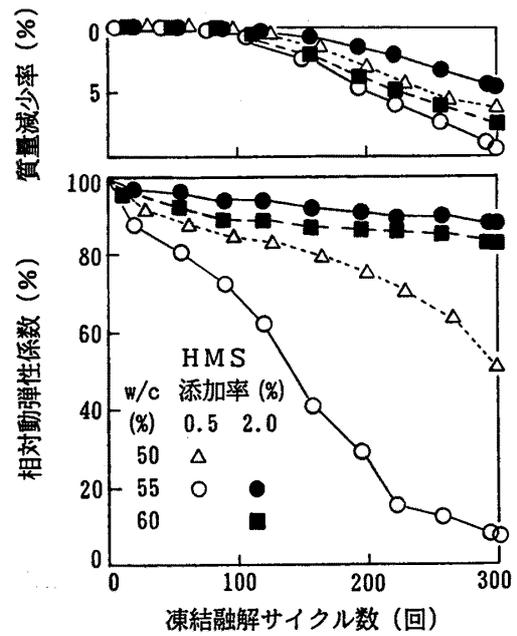


図-7 凍結融解試験結果

添加すると凍結融解の繰り返しに伴う相対動弾性係数の低下は改善されるものの、300サイクルでは7%まで低下した。HMSを添加した場合、120サイクル辺りで質量が減少し始めた。図-6に、質量減少率および耐久性指数に及ぼすHMS添加率の影響を示す。HMS添加率が大きくなると耐久性指数は増加し、水セメント比が55%の場合、H

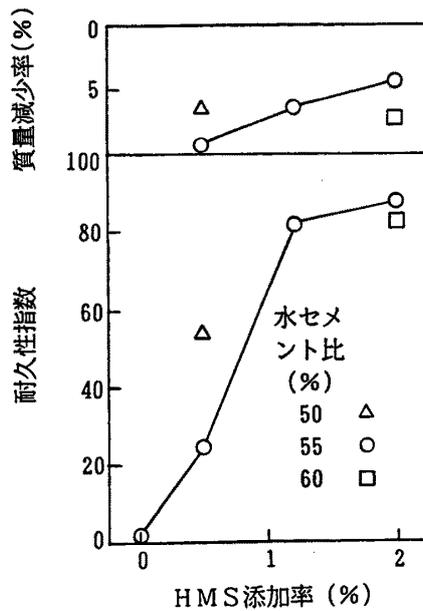


図-6 質量減少率および耐久性指数に及ぼすHMS添加率の影響

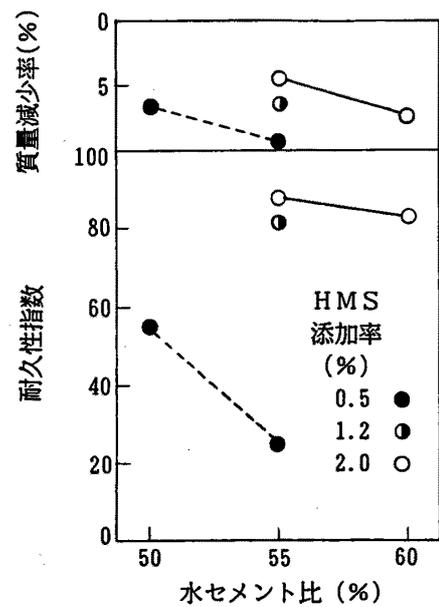


図-8 質量減少率および耐久性指数に及ぼす水セメント比の影響

M S添加率が1.2%より大きいと80以上の耐久性指数が得られた。HMS添加率が大きくなると質量減少率は小さくなった。水セメント比が55%でHMS添加率が2%の場合の質量減少率は、0.5%の場合の1/2程度となった。

図-7は、HMS添加率が0.5%および2.0%で水セメント比を変化させた場合の凍結融解の繰り返しに伴う相対動弾性係数の変化を示す。HMS添加率が0.5%の場合、水セメント比が55%では凍結融解の繰り返しに伴う相対動弾性係数の低下が大きかったが、水セメント比が50%で

は耐凍害性がやや改善され、300サイクルの相対動弾性係数は51%となった。HMS添加率が2.0%では、水セメント比が55%および60%の何れの場合も、300サイクルにおける相対動弾性係数は80%以上となった。質量の減少は120サイクル辺りから始まり、水セメント比が小さい方が質量減少率は小さくなった。図-8に、質量減少率および耐久性指数に及ぼす水セメント比の影響を示す。水セメント比が大きくなると耐久性指数および質量減少率は小さくなった。HMS添加率が2%では水セメント比が60%であっても80以上の耐久性指数が得られた。水セメント比が55%の場合、HMS添加率が0.5%では耐久性指数は25であったが、HMS添加率が1.2%では耐久性指数は82に増大した。HMSを2%添加した場合、水セメント比を55%から60%にすると、耐久性指数は約6%小さくなる程度であったが、質量減少率は1.7倍に増加した。このことは、質量減少率が水セメント比の影響を大きく受けることを示している。

図-9に、水セメント比が55%で空気連行剤により空気泡を連行した場合としない場合の凍結融解の繰り返しに伴う相対動弾性係数の変化を示す。相対動弾性係数は、空気連行剤により空気泡を連行した場合もしない場合も初期サイクルから急激に低下した。空気連行剤を添加しない場合、20サイクルで質量が増加したが、これは、コンクリート組織の緩みによりコンクリートが吸水したためである。

気泡径分布を図-10および図-11に示す。ここで、気泡数は、トラバース長2,430mmに対する測定値を示す。図-10は、気泡径分布に及ぼすHMS添加率の影響を示したものである。HMS添加率が大きくなると、気泡径が100 μ m以下の気泡数が増大し、特に50 μ m以下のものの増大が顕著であった。これは、HMSの径のほとんどが50 μ m以下であり、さらに、その形態から消泡剤の作用をうけず、HMSを添加した分だけ気泡数が増大したためである。このように、微小球の気泡数の増大が耐凍害性の改善に大きく寄与することが明らかとなった。図-11は、気泡径分布に及ぼす空気量の影響を示したものである。目標空気量に応じて50 μ mより大きな径の

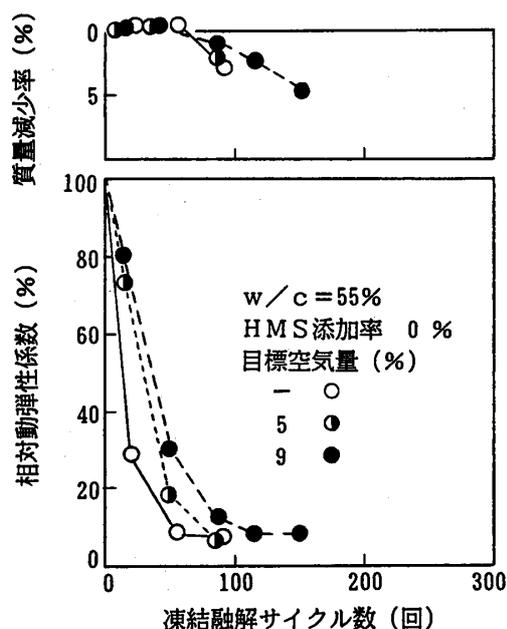


図-9 凍結融解試験結果

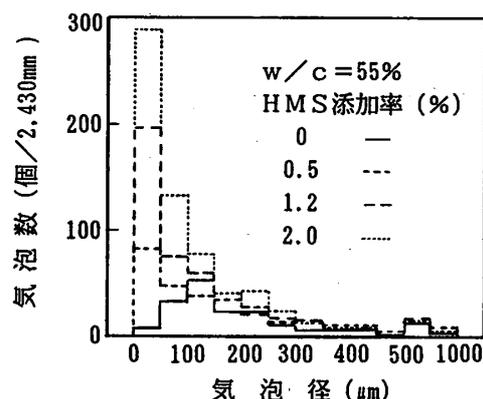


図-10 気泡径分布

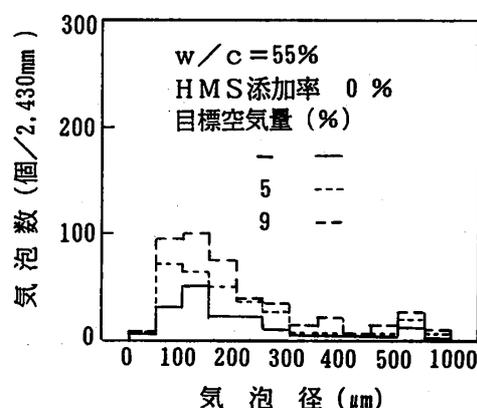


図-11 気泡径分布

空気泡は増大するが、50 μm 以下の小さな空気泡の数はほとんど変化しなかった。これは、小さな空気泡が消泡剤により消失されたためであると思われる。

図-12に、耐久性指数に及ぼす硬化コンクリートの空気量の影響を示す。HMSを用いないと、たとえ目標空気量を大きくして連行空気量を増大させても、耐久性指数の増大はほとんど見られなかった。これに対し、HMSを用いると空気量の増大は小さいが、耐久性は急激に増加し、耐久性の改善が著しかった。

図-13に、耐久性指数に及ぼす気泡間隔係数の影響を示す。空気連行剤を用いた場合と用いない場合とを比較すると、気泡間隔係数は用いた場合の方が100 μm 程度小さくなったが、耐久性指数はほとんど変わらなかった。これに対し、HMSの添加率が大きくなると、気泡間隔係数が小さくなり、耐久性指数も増加した。ここで得られた結果によれば、水セメント比が55%の場合に、耐久性指数60を得るためには気泡間隔係数を300 μm 程度にする必要がある。データが十分ではないが、水セメント比を大きくすると、同じ耐久性指数を得るためには気泡間隔係数を小さくしなければならないのに対し、水セメント比を小さくすれば気泡間隔係数を大きくしてもよいことが、この結果から推測することができる。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下のようなになる。

- (1) HMS添加率が大きくなると空気量は増加し、圧縮強度は減少した。
- (2) 水セメント比が55%の場合ではHMSを1.2%添加すると、また、水セメント比が60%の場合ではHMSを2.0%添加すると、80以上の耐久性指数が得られた。
- (3) HMSによる耐凍害性の改善効果は、HMSはその形態から消泡剤による影響を受けないこと、耐凍害性を確保するのに必要な微細な空気泡をコンクリートに混入することができることによるものであると思われる。
- (4) 水セメント比が比較的大きく、水中不分離性混和剤の添加量が多い場合においても、HMSを適切に利用すれば、水中不分離性コンクリートの耐凍害性が確保される。

【参考文献】

- 1) 渡辺宏・堺孝司：中空微小球を用いたコンクリートの耐凍害性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp.899-904、1993.6

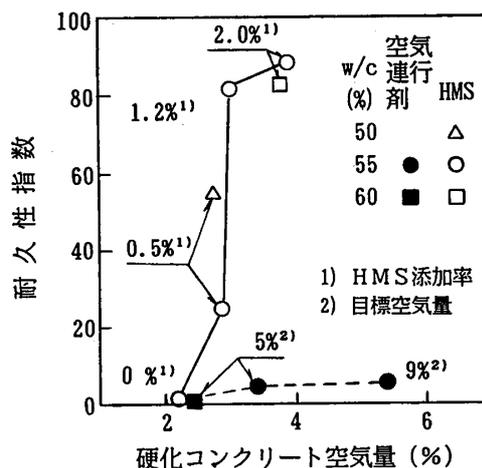


図-12 耐久性指数に及ぼす硬化コンクリート空気量の影響

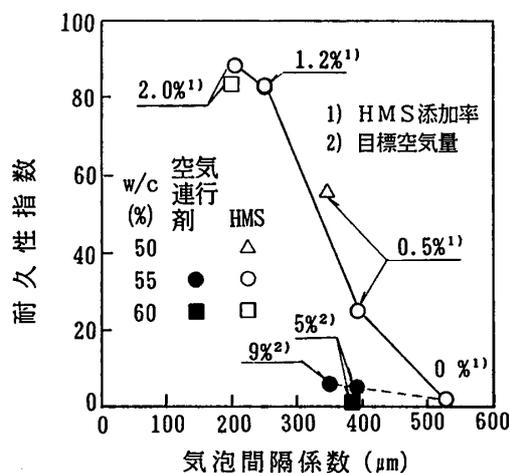


図-13 耐久性指数に及ぼす気泡間隔係数の影響