

論文

[1151] 中空微小球を用いたコンクリートの耐凍害性

渡辺 宏*¹・堺 孝司*²

1. まえがき

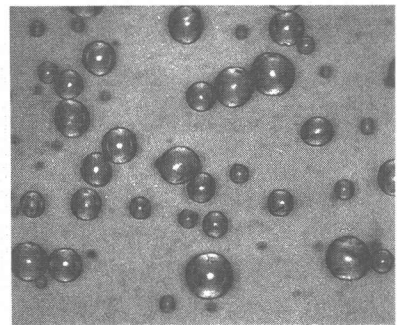
コンクリートの耐凍害性を改善する一般的な方法としてAE剤が用いられている。すなわち、AE剤により所要の空気泡がコンクリート中に連行されると然るべき条件の下では耐凍害性が得られる。しかし、コンクリートの運搬時間の遅延、あるいは内部振動機による過度な締め固めなどの施工上の問題によりコンクリート中の空気泡が逃げ、所要の空気泡が確保されていない場合が考えられる。一方、コンクリートの特性を変えるために用いられる混和剤が空気泡の連行あるいは安定的な確保を困難にすることがある。たとえば、水中不分離性コンクリートに用いられるセルロース系の混和剤には消泡剤が混入されているため、このような混和剤を用いたコンクリートは、良質な空気泡の確保が困難となり、一般に耐凍害性に劣ると言われている[1], [2]。

このようなことを背景に、本研究では、通常のAE剤の代わりにプラスチック系の中空微小球を用いた普通および水中不分離性コンクリートの耐凍害性について検討した。

2. 実験概要

2. 1 中空微小球

中空微小球（以下、HMSと略称）は、空気を内包したプラスチック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。HMSの顕微鏡写真を写真-1に示す。



50 μm

写真-1 H M S

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。コンクリートは、普通コンクリートと水中不分離性コンクリートの2種類とした。HMSの添加率は、0~2%の間で変化させた。また、水中不分離性コンクリートでは、空気連行剤を用いて目標空気量を5~9%としたケース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。水中不分離性コンクリートの供試体は、普通コンクリートと同様に気中で作成した。コンクリートの養生は、材令28

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	小樽市見晴産砕石 比重 2.68 吸水率 1.17
AE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
増粘剤	セルロース系高分子化合物
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）

表-2 コンクリートの配合

コンクリートの種類	水セメント比 w/c (%)	HMS 添加率 (C%)	水中不分離性混和剤添加率 (%)	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	AE減水剤	空気連行剤	流動化剤		
普通コンクリート	50	1.2	0	2	45	156	312	871	1,069	3.74	-	-	-	-		
		0			5±1	44	141	256	855	1,092		-	0.64		0.013	
	0.5	2		46	159	289	897	1,056	1.45	-		-				
	1.2								3.47							
	2.0								5.78							
60	2.0	47	159	289	925	1,047	5.30	-	-							
水中不分離性コンクリート	40	1.0	1.0	3.5	42.2	187	468	710	976	4.68	1.96	-	-	9		
		0			5±1	45.3	167	371	806	976	-				1.76	0.603
		0.5			9±1	41.9	167	371	700	976	-				1.113	
	45	1.0		3.5	45.4	175	389	809	976	1.95	1.84					
		0.5								3.89						
		1.5								5.84						
50	1.5	47.0	170	340	862	976	5.10	1.79	-							

* HMS添加率は、セメント重量に対する比として、HMSは単位水量として扱う。

日まで20℃の水中で行った。圧縮強度試験は材令28日で行った。また、凍結融解試験の開始材令も28日とした。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリート

図-1に、スランプおよびスランプフローに及ぼすHMS添加率の影響を示す。普通コンクリートの場合、HMSの添加率が大きくなるとスランプは大きくなった。これは、HMSが球形であることによるボールベアリング効果と思われる。しかし、水中不分離性コンクリートの場合は、スランプフローに及ぼすHMSの影響は明らかでなかった。

図-2に、空気量に及ぼすHMS添加率の影響を示す。空気量は、HMSの添加率が大きくなると増大し、HMS 1%当たりの空気増加量は0.5~1.0%であった。なお、HMSを用いた場合、フレッシュコンクリートの空気量は、後述するように硬化コンクリートの空気量より小さなものであった。このことは、ここで用いた空気量の測定法がHMSの空気量を正確に計測できないことを意味する。

表-3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ試験 (普通コンクリート)	JIS A 1101
スランプフロー試験 (水中不分離性コンクリート)	コンクリートのスランプフロー試験方法 (案) (JSCE)
空気量	JIS A 1118
圧縮強度試験	JIS A 1108
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)

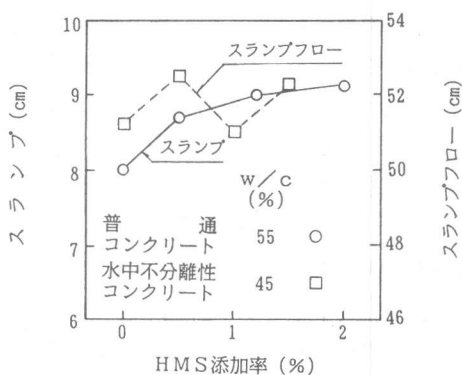


図-1 スランプおよびスランプフローに及ぼすHMS添加率の影響

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ったが、HMSを最大添加した場合の圧縮強度でも、HMSを添加せずに空気連行剤により空気量を5%としたものより大きくなった。とくに、水中不分離性コンクリートでHMSを添加した場合と、耐凍害性改善の目的で空気連行剤により空気量を9%とした場合との強度差は顕著であった。HMSを添加した場合において圧縮強度が大きくなったのは、図-2に示すように、HMSを添加した場合の空気量が空気連行剤を用いて空気量を5%としたものより小さくなったためであると思われる。写真-2に、普通コンクリートでHMSを2%添加した場合の硬化コンクリートのSEM写真を示す。

3.3 耐凍害性

凍結融解試験結果を図-4に示す。普通コンクリートの場合、質量減少率は初期サイクルより凍結融解の繰り返しに伴い増加した。水セメント比が55%でHMS添加率が0.5%の場合、凍結融解の繰り返しに伴う相対動弾性係数の減少が大きく、200サイクル以降でそれが顕著になった。水中不分離性コンクリートの質量減少率は、HMSを添加したものでは100サイク

ル程度から、空気連行剤により空気泡を連行したものでは50サイクル程度から凍結融解の繰り返しに伴い増加した。空気量を5%連行したものでは凍結融解の繰り返しに伴う相対動弾性係数の減少は他のものより大きく、300サイクルの相対動弾性係数は73%であった。しかし、空気量を9%連行したものでは300サイクルの相対動弾性係数は87%となった。

図-5に、質量減少率および耐久性指数に及ぼすHMS添加率および水セメント比の影響を示す。普通コンクリートで水セメント比が55%の場合、HMS添加率が1.2%以上では耐久性指数は90以上であったが、

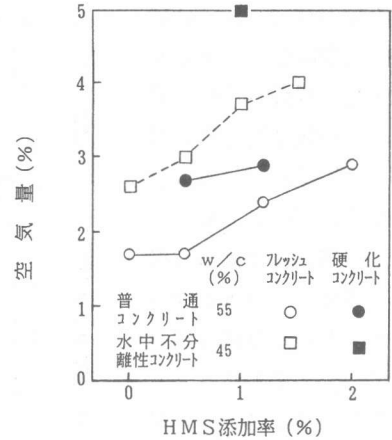


図-2 空気量に及ぼすHMS添加率の影響

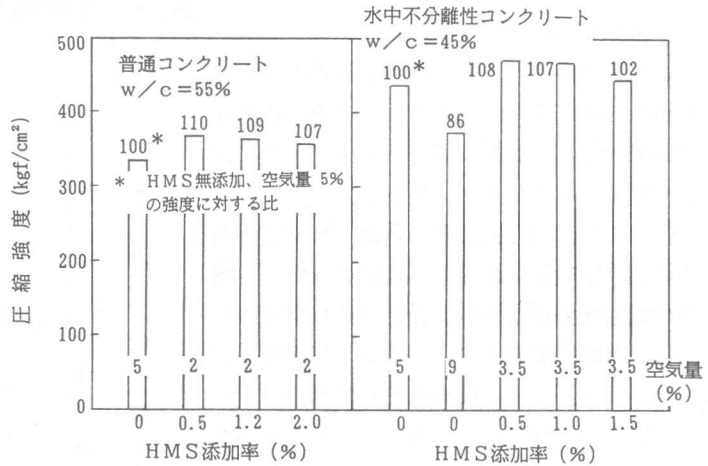


図-3 圧縮強度に及ぼすHMS添加率の影響

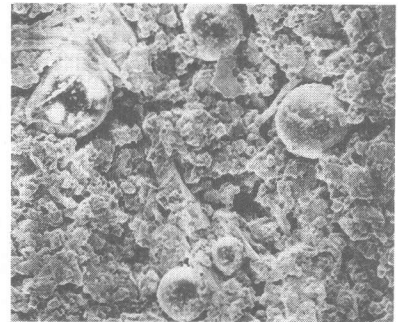


写真-2 硬化コンクリート中のHMS

添加率が 0.5%では耐久性指数は60以下となった。質量減少率も耐久性指数と同様にHMS添加率が 1.2%以上ではほぼ同じであったが、0.5%では 1.2%の場合の 1.4倍となった。水中不分離性コンクリートで水セメント比が45%の場合、HMS添加率が 0.5%以上では質量減少率および耐久性指数ともほぼ同じであり、耐久性指数は93~95と著しく良好な値であった。

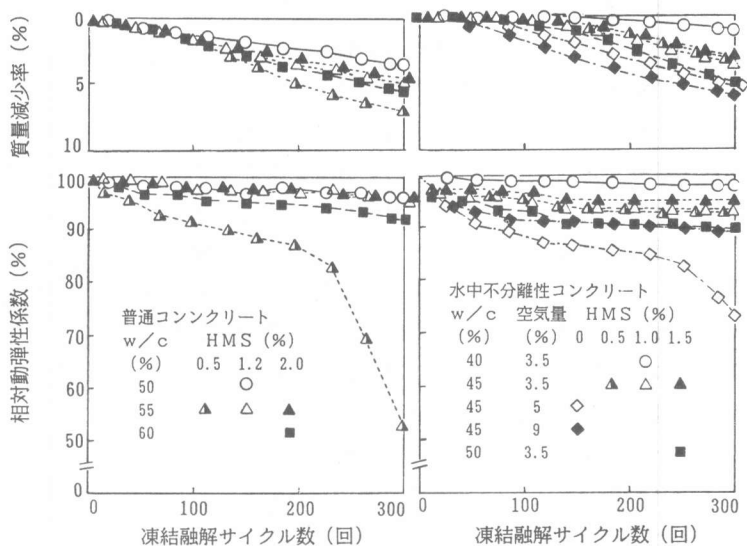


図-4 凍結融解試験結果

水セメント比が大きくなると質量減少率は増加し、耐久性指数は減少している。これらの結果から、質量減少率は水セメント比に大きく影響されることが分かる。

図-6に、気泡径分布に及ぼすHMS添加率および空気量の影響と、HMSを用いた場合の気泡径分布と空気連行を用いた場合の気泡径分布の比較を示す。ここで、気泡数は、トラバース長が 2,560mm当たりの測定値を示す。普通コンクリートで水セメント比が55%の場合、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。

水中不分離性コンクリートで水セメント比が45%、HMSが無添加の場合、空気連行剤により連行された空気量が 9%の気泡数は、気泡径が 100 μ m以下では 5%のものほとんど変わらなかったが、100 μ m以上では 5%のものより大きくなった。本実験における水中不分離性コンクリートでは、増粘剤および空気連行剤により空気が連行されているが、連行された空気泡の分布および消泡剤の作用メカニズムについては不明である。なお、空気連行剤の添加量は、空気量を 5%とした普通コンクリートの場合と単位セメント当たりで比較すると、空気量 5%ではその33倍、9%では60倍であった。

HMSを 1.0%添加した場合と、空気連行剤により空気量を 5%とした場合との気泡径分布を

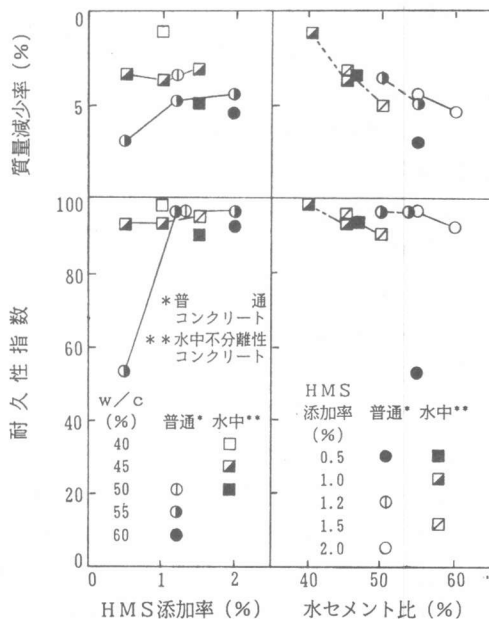


図-5 質量減少率および耐久性指数に及ぼすHMS添加率および水セメント比の影響

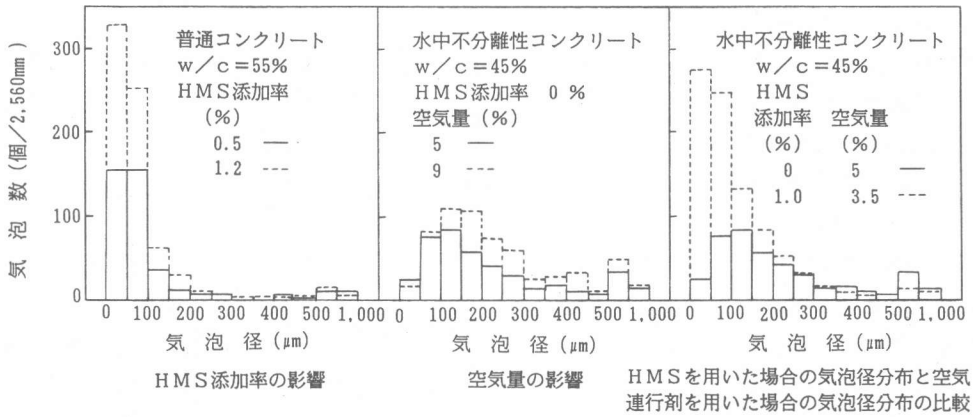


図-6 気泡径分布

比較すると、前者の気泡数は後者のそれより気泡径が 100 μ m以下のものが多く、特に50 μ m以下のものが顕著であった。写真-3は、HMSを1.0%添加した場合と空気量を5%とした場合

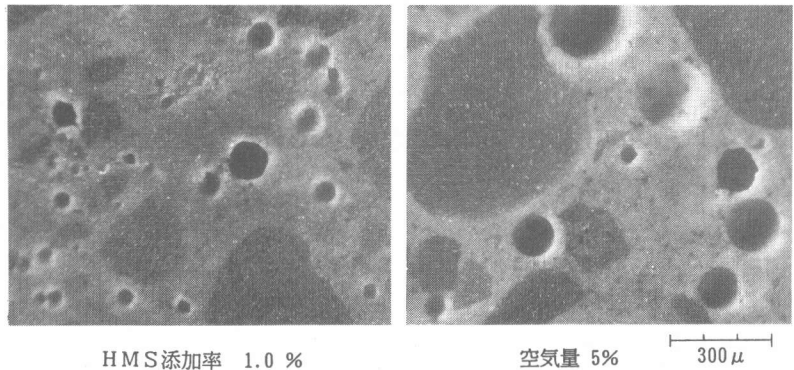


写真-3 気泡分布状況 (水中不離性コンクリート)

の顕微鏡写真である。HMSを用いた場合、明らかに微細な気泡が均一に分布している。

図-7に、耐久性指数に及ぼす硬化コンクリートの空気量および気泡間隔係数の影響を示す。普通コンクリートで水セメント比が55%場合、HMS添加率が0.5%では硬化コンクリートの空気量は2.7%で耐久性指数は60以下であったが、HMS添加率が1.2%では硬化コンクリートの空気量は2.9%と0.5%の場合と比べて若干の増加であるにもかかわらず耐久性指数は90以上となった。このように、HMSは、耐凍害性を得るために必要な量をコンクリートに添加しても総空気量の増加を少なくすることができると言える。図-7より、気泡間隔係数が減少すると耐久性指数が増加しているのが分かる。一般に、気泡間隔係数が250 μ mで耐凍害性が得られると言われているが [3]、本実験結果は、普通コンクリートにHMSを添加した場合に十分な耐凍害性を得るためには従来から言われている気泡間隔係数より小さくしなければならないことを示している。これは、表-2に示すように、HMSを添加した場合の単位水量がAE減水剤を用いた場合より大きくなるのがその原因の一つと考えられる。また、HMSを添加した場合、AE減水剤を用いていないため、セメントの分散性に依存する細孔組織の緻密化の程度も関係しているものと思われる。

水中不離性コンクリートで水セメント比が45%、HMS添加率が1.0%の場合、気泡間隔係

数は 181 μm であり、耐久性指数は90以上となった。水中不分離性コンクリートの耐凍害性の改善に関して、たとえば、大和ら[1]は、連行空気量を増大して気泡間隔係数を小さくすることにより耐凍害性を改善できる場合があることを示した。本実験においても、水セメント比が45%で空気連行剤を用いた場合について検討した。その結果、気泡

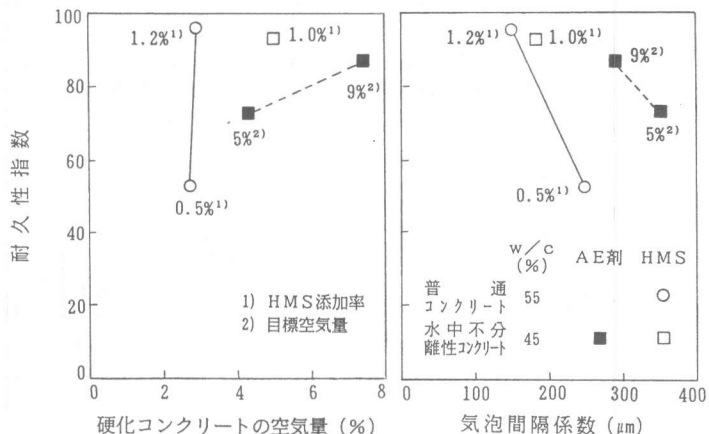


図-7 耐久性指数に及ぼす硬化コンクリートの空気量および気泡間隔係数の影響

隔係数は 250 μm 以上であるにもかかわらず、耐凍害性が得られた。これは、本実験で用いたコンクリートでは、通常の水中不分離性コンクリートの場合と比べて、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いことなどによるものであると思われる。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下ようになる。

- (1) HMS添加率が大きくなると普通および水中不分離性コンクリートとも空気量は増加し、圧縮強度は小さくなった。
- (2) 普通コンクリートで水セメント比が55%の場合および水中不分離性コンクリートで水セメント比が45%の場合、それぞれのHMSの添加率を 1.2%および 0.5%にすると90以上の耐久性指数が得られた。
- (3) HMSを添加したコンクリートは気泡径が 100 μm 以下の気泡数が増大し、特に50 μm 以下のものの増大が顕著であった。また、HMSは、耐凍害性を確保するために必要な量をコンクリートに添加しても総空気量の増加が少なく、かつ、気泡間隔係数を小さくすることができる。
- (4) 水中不分離性コンクリートの耐凍害性を連行された空気泡により確保するには、本実験のように耐凍害性に対する悪条件が少ないコンクリートの場合でも多量の空気とそれを連行させるための多量の空気連行剤が必要であり、それより条件の悪い通常の水中不分離性コンクリートでは耐凍害性の確保が困難な場合が多い。これに対し、HMSはその形態から通常の水中不分離性コンクリートの耐凍害性を確保できる可能性を有していると考えられる。

【参考文献】

- 1) 大和竹史・江本幸雄・添田政司：水中不分離性コンクリートの耐凍害性、水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集、pp.161-166、1990.8
- 2) 長合友造・山本泰彦：水中不分離性コンクリートの耐凍害性に関する基礎研究、水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集、pp.167-174、1990.8
- 3) Neville, A. M. : Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, pp.477, 1981