

V-13 中空微小球と高炉スラグ微粉末を併用した コンクリートの耐凍害性について

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
北海道開発局	正 会 員	堺 孝 司
信越化学工業(株)	正 会 員	山 川 勉
北見工業大学	正 会 員	桜 井 宏

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ことが報告されている¹⁾。

筆者らは、セルロース系の混和剤を使用した高流動コンクリートや水中不分離性コンクリートの耐凍害性の改善方法として、高流動コンクリートには高炉スラグ微粉末の使用²⁾などを、水中不分離性コンクリートに対しては特殊な中空微小球の使用^{3) 4)}などを提案してきた。しかしながら、中空微小球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、高炉スラグ微粉末と中空微小球(Expanded Plastic Micro-Spheres 以後、EPM)を併用し、水中不分離性コンクリートの耐凍害性と強度性状の改善を図った。

2. 実験の内容

2.1 使用材料及び配合

表-1に使用材料、表-2に混和剤を示す。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 μ m程度以下である。また、105℃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-3に配合を示す。EPMは単位セメント量に対して1.0、2.0%添加している。高炉スラグ微粉末の分量は、単位セメント量に対して30、60%とした。水中不分離性混和剤、流動化剤、AE減水剤、AE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を用いた。練混ぜ方法は、セメント+高炉スラグ微粉末+細骨材+粗骨材+水中不分離性混和剤→60秒間空練り→練混ぜ水+AE剤+AE減水剤+EPM→60秒間練混ぜ→流動化剤→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℃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

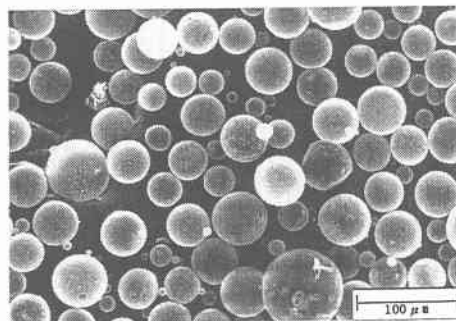
Frost Resistance of Concrete Using Expanded Plastic Micro-Spheres and Blast-Furnace Slag.
by Takayuki NANAUMI, Koichi AYUTA, Koji SAKAI, Tsutomu YAMAKAWA and Hiroshi SAKURAI

表－１ 使用材料

	高炉スラグ微粉末を混合していない配合	高炉スラグ微粉末を混合している配合
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 ² /g	普通ポルトランドセメント 比重3.16、比表面積：3370cm ² /g
混和材		高炉スラグ微粉末 比重2.90、粉末度：4580cm ² /g
細骨材	川砂 比重2.62、吸水率2.27%、粗粒率2.68	川砂 比重2.65、吸水率1.87%、粗粒率2.65
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	川砂利 最大寸法25mm 比重2.65、吸水率1.46%、粗粒率6.99

表－２ 混和剤

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－３ 配合

供試体名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					水中 不分離性 混和剤 (kg/m ³)	流動化 剤 (C×%)	AE 減水剤 (C×%)	AE剤 (C×%)	EPM (C×%)
			高炉 スラグ 微粉末	C	W	S	G					
AE											0.021	—
EPM-1.0			—	400		638	971				—	1.0
EPM-2.0											—	2.0
AE-BS30											0.021	—
EPM-1.0-BS30	55	40	120	280	220			2.3	0.5	0.20	—	1.0
EPM-2.0-BS30						645	967				—	2.0
AE-BS60											0.021	—
EPM-1.0-BS60			240	160							—	1.0
EPM-2.0-BS60											—	2.0

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±0.5%である。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

土木学会標準「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約5分後のスランプフローを測定した。

(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、試験開始材齢まで20℃水中養生した後、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。試験開始材齢は、高炉スラグ微粉末を混合していないものは14日、高炉スラグ微粉末を混合したものについては14日と28日とした。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サイクル終了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⁵⁾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、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」に準拠した。

圧縮強度は、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。

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－4に示す。

表－4 実験結果

供 試 体 名	空 気 量	スランブ フロー (%)	凍結融解試験*1				硬化コンクリートの気泡組織			圧縮強度	
			開始材齢14日		開始材齢28日		空気量 (%)	気泡間隔 係数 (μm)	比表 面積 (cm ² /cm ³)	(N/㎠)	
			質 量 減少率 (%)	耐久性 指数	質 量 減少率 (%)	耐久性 指数				材 齢 14 日	材 齢 28 日
AE	4.3	48.5	(8.14)	1	—	—	2.2	284	288	25.4	31.6
EPM-1.0	4.5	49.0	7.79	68	—	—	3.4	237	281	24.3	27.8
EPM-2.0	5.0	49.0	1.92	90	—	—	4.0	225	281	21.0	24.6
AE-BS30	4.2	49.0	(-0.78)	1	(-0.34)	9	3.1	272	254	23.4	30.0
EPM-1.0-BS30	4.2	51.0	2.64	67	-0.25	73	3.7	234	256	22.1	28.1
EPM-2.0-BS30	3.8	51.5	1.31	86	0.05	89	4.1	226	263	20.8	27.5
AE-BS60	4.4	50.0	(-0.49)	2	(-0.34)	10	3.0	280	249	21.9	28.5
EPM-1.0-BS60	3.9	51.5	-0.03	71	-0.18	78	3.7	245	254	20.9	26.9
EPM-2.0-BS60	4.6	52.0	-0.04	87	-0.10	92	3.9	240	254	19.0	25.3

*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

凍結融解開始材齢14日のAE-BS30、AE-BS60は凍結融解回数54回で破壊、質量減少率は凍結融解回数30回終了時の値

凍結融解開始材齢28日のAE-BS30、AE-BS60は凍結融解回数129回で破壊。質量減少率は凍結融解回数102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 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を添加せずにAE剤を用いた場合スランブフローは小さいが、EPM添加

量が増加するにつれてスランプフローが大きくなった。これはEPMがエントレインドエアと同様に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⁶⁾。

図-2に高炉スラグ微粉末の分量とスランプフローの関係について示す。EPMの添加量にかかわらず、高炉スラグ微粉末を添加していない場合スランプフローは小さいが、高炉スラグ微粉末の分量を30%、60%と増加させるとスランプフローは大きくなった。

以上の結果から、EPMと高炉スラグ微粉末を併用することで流動性が改善されることが明らかになった。

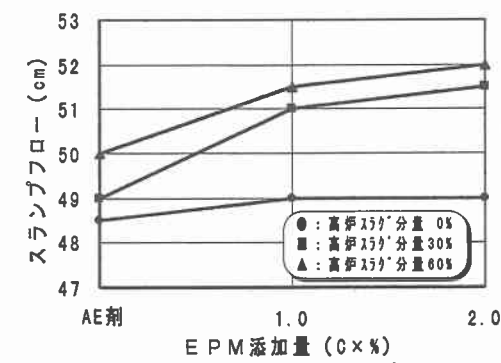


図-1 EPM添加量とスランプフロー

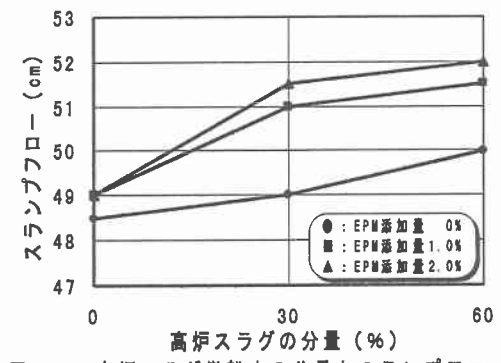


図-2 高炉スラグ微粉末の分量とスランプフロー

3.2 耐凍害性

図-3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を添加せずにAE剤を用いた供試体、EPMを添加せずにAE剤と高炉スラグ微粉末を併用した供試体は、凍結融解300サイクル以前で破壊したため、質量減少率は破壊サイクル時(表-3欄外参照)の値を示してある。EPM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2.0(C%)とすると質量減少率は2.0%以下となった。

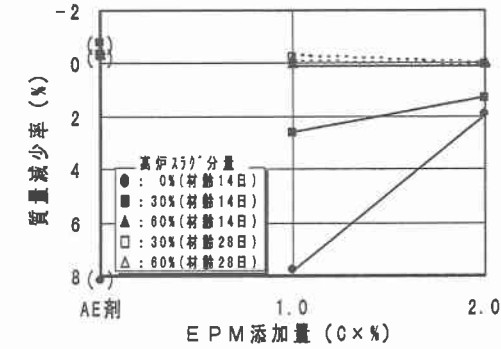


図-3 EPM添加量と質量減少率

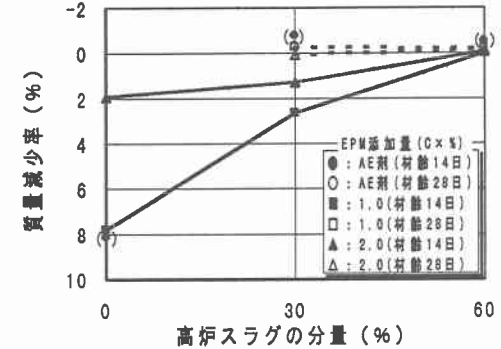


図-4 高炉スラグ微粉末の分量と質量減少率

図-4に高炉スラグ微粉末の分量と質量減少率の関係を示す。材齢14日から凍結融解試験を開始した供試体は、高炉スラグ微粉末の分量を増加させるにつれて、質量減少率の値が小さくなっている。また、材齢28日から凍結融解試験を開始した供試体の質量減少率は、高炉スラグ微粉末の分量にかかわらず、極めて小さい。

以上の結果から、EPMの添加量、高炉スラグ微粉末の分量を増加させることによって、水中不分離性コ

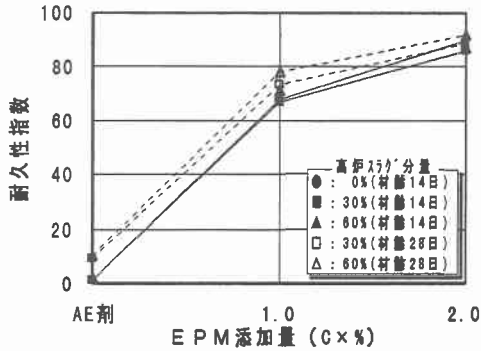


図-5 EPM添加量と耐久性指数

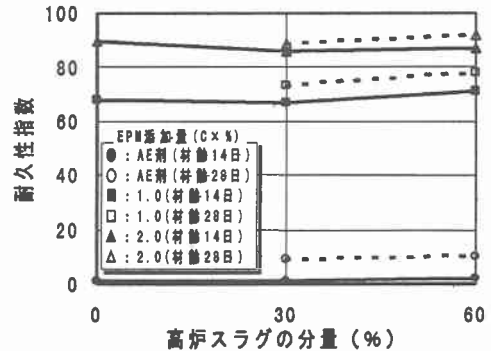


図-6 高炉スラグ微粉末の分量と耐久性指数

ンクリートのスケーリング抵抗性を改善することができることが明らかになった。

図-5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剤を用いた場合、高炉スラグ微粉末の混合の有無にかかわらず非常に低い耐久性指数を示している。一方、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%)とすると耐久性指数が85以上を示した。

図-6に高炉スラグ微粉末の分量と耐久性指数の関係を示す。高炉スラグ微粉末の分量を60%とした供試体は、高炉スラグ微粉末の分量を30%とした供試体より耐久性指数は、同等または若干上回っている。これは、高炉スラグ微粉末の混合によりコンクリートの組織が緻密化したためと思われる。

以上の結果から、EPMの添加量、高炉スラグ微粉末の分量を増加させることによりスケーリング抵抗性を改善し、耐凍害性を向上させることが可能であることが明らかになった。

3.3 硬化コンクリートの気泡組織

図-7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剤を用いた場合は気泡間隔係数が大きく、EPM添加量が増加するにつれて気泡間隔係数が小さくなった。このことが、EPMの添加により水中不分離性コンクリートの耐凍害性が向上する一因と思われる。

3.4 圧縮強度

図-8に高炉スラグ微粉末の分量が材齢28日の圧縮強度に及ぼす影響を示す。高炉スラグ微粉末の分量を増加させるにつれて圧縮強度が低くなる傾向にあり、高炉スラグ微粉末の分量を60%とした供試体の圧縮強度は、高炉スラグ微粉末の分量を30%とした供試体より5~10%程度低い値を示した。

図-9にEPM添加量と圧縮強度の関係を高炉スラグ微粉末の分量及び材齢別に示す。材齢14日の圧縮強度の場合、EPM添加量を増加させるにつれて圧縮強度が低くなった。材齢28日の場合も同様に圧縮強度が低くなったが、EPM添加量を2.0(C%)とした場合、高炉スラグ微粉末を混合したものは、高炉スラグ微粉末を混合していないものと比較して圧縮強度が大きくなった。

以上の結果から、材齢14、28日ともにEPMの添加量を増加させると圧縮強度は低くなるが、材齢28日の場合、EPM添加量を2.0(C%)としたものは、高炉スラグ微粉末を混合することによって圧縮強度の低下

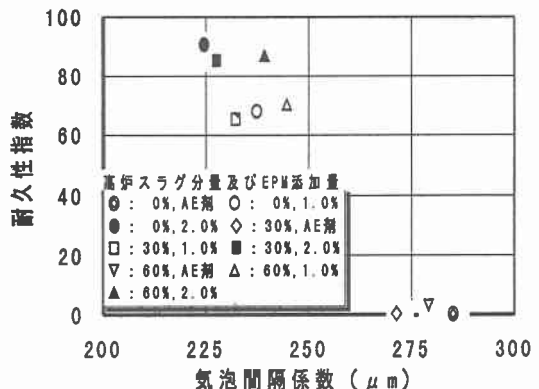


図-7 気泡間隔係数と耐久性指数

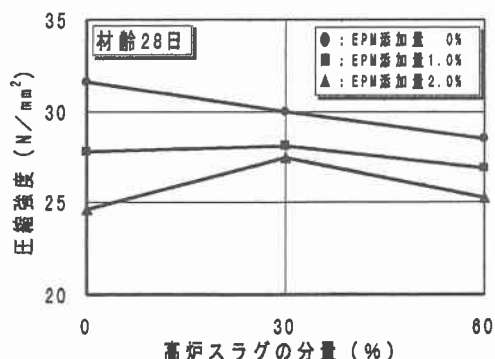


図-8 高炉スラグ微粉末の分量と圧縮強度

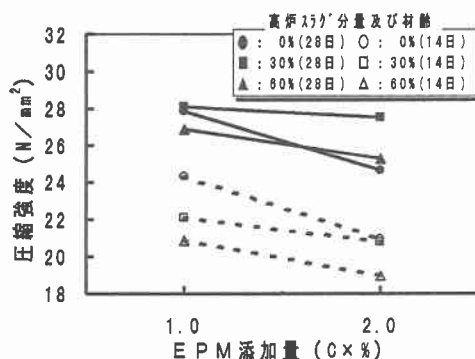


図-9 EPM添加量と圧縮強度

を小さくすることが可能である。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下のようになる。

(1) EPM添加量を1.0から2.0 (C%) に、高炉スラグ微粉末の分量を30%から60%に増加させるにつれ、スランプフローが大きくなり、かつ、EPMと高炉スラグ微粉末を併用することで流動性が改善される。

(2) 凍結融解試験において、EPM添加量を1.0から2.0 (C%) に、高炉スラグ微粉末の分量を30%から60%に増加させることで質量減少率を抑制し、耐久性指数を大きくすることが可能である。また、EPMと高炉スラグ微粉末を併用することによって耐久性指数は大きくなる。

(3) 高炉スラグ微粉末の混合の有無にかかわらず、EPMを添加したコンクリートは、気泡間隔係数が小さくなり耐久性が向上した。

(4) EPM添加量が多くなると圧縮強度が低くなる傾向にあるが、EPM添加量が2.0 (C%) であっても、高炉スラグ微粉末を分量で30%混合することによって材齢28日の圧縮強度の低下を小さくすることが可能である。

【参考文献】

- 1) 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)
- 2) 須藤祐司・鮎田耕一・佐原晴也・竹下治之：増粘剤を添加した高流動コンクリート耐凍害性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14、No. 1、pp. 1003-1008、(1992)
- 3) 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)
- 4) 佐野智之・鮎田耕一・桜井宏・堺孝司：耐凍害性向上のために中空微小球を用いたコンクリートの性状について、土木学会北海道支部論文報告集、第51号(A)/V-9、pp. 382-387 (1995)
- 5) 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)
- 6) 鮎田耕一・堺孝司・山川勉：中空微小球添加水中不分離性コンクリートの耐凍害性、セメント・コンクリート論文集、No. 49、pp. 656-661 (1995)