

V-22

増粘剤を用いた高流動コンクリートの基礎的研究

北見工業大学大学院 学生員 須藤 裕司

北見工業大学工学部 正会員 鮎田 耕一

北見工業大学工学部 正会員 桜井 宏

北見工業大学工学部 正会員 猪狩平三郎

1. はじめに

締めめ作業の省力化やコンクリートの品質向上を目的とした、高流動コンクリート（以下、SFCとする）の実用化が望まれており、著者らは水中不分離性混和剤と高性能減水剤を併用し材料分離抵抗性と高流動性を併せ持たせたSFCの研究を行ってきた。その結果、水中不分離性混和剤として広く使用されているメチルセルロースを主成分とした混和剤（以下、MC系混和剤とする）を用いればSFCの製造が可能であるが一方で空気が多量に導入されたり¹⁾、耐凍害性を安定的に確保するためには高炉スラグ微粉末の混合が必要である²⁾ ことなどを明らかにしてきた。

そこで、本研究ではMC系混和剤よりも空気導入性の小さい、新しいセルロース系混和剤（以下、増粘剤とする）を用いて、空気量4.5%程度のSFCを製造することを目的とし、高性能減水剤とAE減水剤の添加量が材料分離抵抗性と耐凍害性に与える影響について検討した。また、増粘剤によって導入された気泡が耐凍害性に与える影響についても併せて検討した。

2. 実験方法2.1 実験内容

実験要因の高性能減水剤とAE減水剤の添加量を表1に示す。

測定項目とその内容は次の通りである。

表1 実験要因

実験因子	水準
高性能減水剤の添加量	C×1.5, 2.0, 2.5, 3.0 %
AE減水剤の添加量	C×0, 0.1, 0.2 %

表2 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	川砂(比重2.62, 吸水率:2.27%, 粗粒率2.68)
粗骨材	川砂利(比重2.66, 吸水率:1.54%, 粗粒率6.87)
増粘剤	水溶性セルロースエーテル
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物
AE減水剤	リクニソルホン酸化合物 ³⁾ リオール複合体
AE剤	天然樹脂酸塩

①材料分離抵抗性：スランプフロー試験の際の粗骨材の分布状況から判断し、

○：良好，△：やや分離している，×：分離しているの3段階に分類し評価した。

②耐凍害性：10×10×40cmの角柱供試体を用い、材令14日まで20℃の水中で養生した後、材令14日からASTM C 666 A 法に準拠し水中で急速凍結融解試験を行い、耐久性指数を求めた。

③硬化コンクリートの気泡組織：ASTM C 457 に規定された修正ポイントカウント法に準拠して、画像解析システム³⁾を用い空気量、比表面積、気泡間隔係数を測定し、さらに気泡の平均直径、気泡数とその大きさの分布も求めた。

Fundamental Study on Super Flowing Concrete Containing Viscous Agent.

by Yuhji SUDOH, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Heizaburo IGARI

また、SFCとしての基本的性状を確認するために以下の試験も行った。

④フレッシュコンクリートの空気量

⑤スランプフロー

⑥圧縮強度：φ10×20cmの円柱供試体を用い、所定の材令まで20℃の水中で養生を行い、材令14、28日に測定。

表3 コンクリートの配合

G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
25	45	45	158	350	810	1005

2.2 使用材料と配合

使用材料を表2に、コンクリートの配合を表3に、各供試体の混和剤添加量を表4に示す。増粘剤、AE剤の添加量は、コンクリート製造直後の空気量が4.5±0.3%になるように定めた。

表4 混和剤の添加量

供試体名	混 和 剤 添 加 量			
	高性能減水剤 (C×%)	AE減水剤 (C×%)	増 粘 剤 (W×%)	AE 剤 (C×%)
SF-1	1.5	0.2	0.23	—
SF-2	2.0	0.2	0.23	—
SF-3	2.5	0.2	0.23	—
SF-4	3.0	0.2	0.23	—
SF-5	2.0	0.1	0.24	—
SF-6	2.0	0	0.25	—
ベース	—	0.2	—	—
ベースAE	—	0.2	—	0.01

2.3 練りまぜ方法

表4の供試体欄の、ベース、SF-1～SF-6、ベースAEは下記の方法で製造した。

①ベース（ベースコンクリート）は、高流動化する前の性状把握のために作製したものであり、セメント、細骨材、粗骨材を30秒間空練りした後、水、AE減水剤を加え60秒間本練りを行った。

②SFC（SF-1～SF-6）は、ベースコンクリートに増粘剤と高性能減水剤を後添加し、さらに120秒間本練りを行った。

③ベースAEは、増粘剤を使用していないコンクリートで、空練りの後、水、AE減水剤、AE剤を加え180秒間本練りを行った。

3. 実験結果と考察

フレッシュコンクリートの性状を表5に、硬化コンクリートの性状を表6に示す。フレッシュコンクリートの目標空気量は4.5±0.3%、目標スランプフローは55.0～70.0cmである。表5から、SF-1、SF-6はスランプフローが目標スランプフローに適合しておらず、SFCとしての性状（流動性）を満足していない。したがって、SF-1、SF-6に関しては材料分離抵抗性、硬化コンクリートの性状についての測定は行わなかった。また、材料分離抵抗性は先に示した3段階で評価したが、結果として○と△の2段階のみであった。

3.1 高性能減水剤の添加量を与える影響

(1) 材料分離抵抗性

高性能減水剤の添加量と材料分離抵抗性の関係を図1に示す。高性能減水剤の添加量がC×2.0%（SF-2）の場合は材料分離抵抗性は良好であるが、添加量がC×2.5%（SF-3）とC×3.0%（SF-4）の場合は材料分離がやや発生している。

この結果から、高性能減水剤の過剰な添加は材料分離を誘発するといえる。

(2) 耐凍害性

高性能減水剤の添加量と耐凍害性の関係を図2に示す。高性能減水剤の添加量がC×2.0% (SF-2) , 2.5% (SF-3) , 3.0% (SF-4) の順で増加すると、耐久性指数は各々54, 33, 20となり、高性能減水剤の添加量が増加すると耐凍害性が低下することを示している。

しかし、耐凍害性が最も大きいSF-2でも耐久性指数は54であり、耐凍害性を確保するためには高性能減水剤の添加量をさらに少なくする必要がある。しかし、前述のように高性能減水剤の添加量をC×1.5% (SF-1) とした場合、スランプフローは45.0cmとなり目標値を下回りSFCとしての流動性を確保できず、高性能減水剤の添加量を減少させる以外の方法で耐凍害性を向上させなければならない。

3.2 AE減水剤の添加量が与える影響

(1) 材料分離抵抗性

AE減水剤の添加量と材料分離抵抗性の関係を図3に示す。AE減水剤の添加量がC×0.1% (SF-5) , C×0.2% (SF-2) の場合、共に材料分離抵抗性は良好である。

(2) 耐凍害性

AE減水剤の添加量と耐凍害性の関係を図4に示す。AE減水剤の添加量がC×0.1% (SF-5) の場合は耐久性指数が94で、添加量がC×0.2% (SF-2) の場合と比べ耐凍害性が確保されており、AE減水剤の添加量が少ない方が耐凍害性に有利であることを示している。しかし、AE減水剤が無添加 (SF-6) の場合、スランプフローは49.5cmとなり目標値を下回りSFCとしての流動性を確保できず、流動性を確保するためには、AE減水剤の添加が必要である。

以上の結果から、高性能減水剤の添加量がC×2.0%で材料分離抵抗性を、AE減水剤の添加量がC×0.1%で耐凍害性は確保できるといえる。

表5 フレッシュコンクリートの性状

供試体名	空気量 (%)	スランプフロー (cm)	材料分離 抵抗性*1
SF-1	4.5	45.0	—
SF-2	4.3	63.0	○
SF-3	4.3	67.0	△
SF-4	4.3	65.0	△
SF-5	4.5	58.0	○
SF-6	4.4	49.5	—
ベース	3.1	11.0*2	—
ベースAE	4.7	10.0*2	—

*1) ○:良好, △:やや分離 *2) スランプ

表6 硬化コンクリートの性状

供試体名	硬 化 コ ン ク リ ー ト の 気 泡 組 織					耐凍害性	圧 縮 強 度	
	空 気 量 (%)	比表面積 (cm ² /cm ³)	気泡間 隔係数 (μm)	平 均 径 (μm)	気 泡 数 (個)		耐久性 指数	f'14
SF-2	2.4	304	236	151	5,981	54	327	369
SF-3	2.3	293	251	147	5,590	33	277	300
SF-4	1.4	245	369	153	2,950	20	273	299
SF-5	2.8	324	207	135	10,038	94	317	368
ベース	2.2	272	274	135	5,142	40	349	392
ベースAE	2.7	293	233	128	8,054	92	312	366

3.3 気泡組織と耐凍害性

3.1, 3.2で、高性能減水剤とAE減水剤の添加量を増減させたことによって、耐凍害性に差が生じた理由を探るため、硬化コンクリートの気泡組織を検討する。

(1) 気泡間隔係数、気泡の平均直径、気泡数と耐凍害性

(a) 気泡間隔係数と耐凍害性

気泡間隔係数と耐凍害性の関係を図5に示す。気泡間隔係数が小さいほどSF Cの耐凍害性は大きくなる傾向があり、気泡間隔係数が $200\mu\text{m}$ 程度以下ならば耐久性指数80以上となる。

(b) 気泡の平均直径と耐凍害性

気泡の平均直径と耐凍害性の関係を図6に示す。気泡の平均直径が小さいほど耐凍害性が大きい傾向にある。

(c) 気泡数と耐凍害性

試料表面 $9\times 9\text{cm}$ の範囲の気泡数と耐凍害性の関係を図7に示す。気泡数が多いほど耐凍害性が大きくなる傾向にあり、気泡数が9000個(1cm^2 当り約100個)以上ならば、耐久性指数は80以上となっている。図8は、直径 $500\mu\text{m}$ までの気泡の累計を示したもののだが、耐凍害性の大きい順すなわちSF-5、ベ-3AE、SF-2、SF-3、SF-4の順で気泡数が多いことが分かる。このように、気泡数と耐凍害性の間には密接な関係があり、気泡数が増加すると気泡間隔係数が小さくなり、耐凍害性が大きくなっている。

(2) 気泡の大きさの分布

(1)に示したように、気泡数と耐凍害性の間には密接な関係が認められた。ここでは、各コンクリートの気泡数の違いをより詳細に調べるために、気泡の大きさと気泡数の関係(気泡の大きさの分布)を検討した。

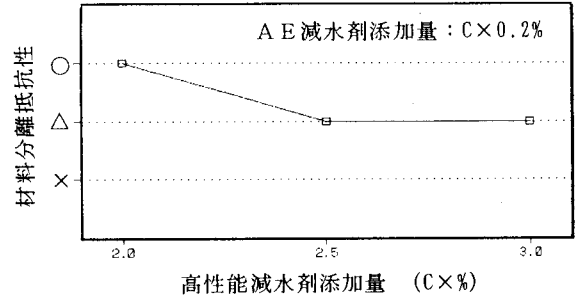


図1 高性能減水剤添加量と材料分離抵抗性

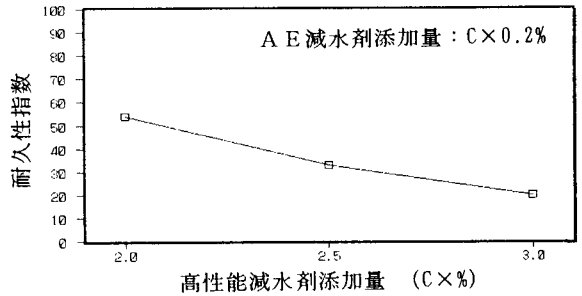


図2 高性能減水剤添加量と耐凍害性

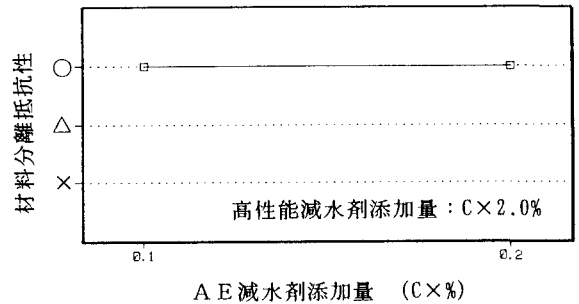


図3 AE 減水剤添加量と材料分離抵抗性

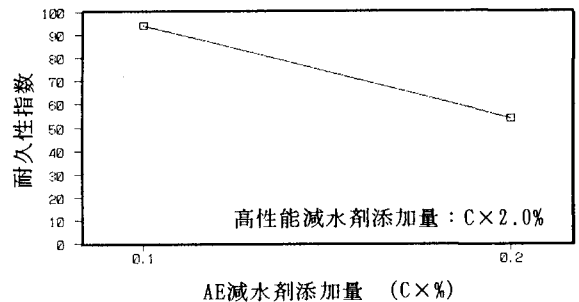


図4 AE 減水剤添加量と耐凍害性

(a) 高性能減水剤の添加量と気泡分布

高性能減水剤の添加量が気泡の大きさの分布に与える影響を図9に示す。高性能減水剤の添加量が増加すると小さい気泡の数が減少しており、その結果、気泡組織の粗大化を招き耐凍害性が小さくなったと考えられる。

この原因は、図1に示したように高性能減水剤の添加量の増加が、材料分離抵抗性の低下を誘発したためと考えられる。製造後しばらく静置したコンクリートを観察した結果、高性能減水剤の添加量が多いコンクリートほど表面に気泡が浮き出ており、このことを裏付けている。

(b) AE減水剤の添加量と気泡分布

AE減水剤の添加量が気泡の大きさの分布に与える影響を図10に示す。AE減水剤の添加量の少ない $C \times 0.1\%$ (SF-5)の方が、添加量の多い $C \times 0.2\%$ (SF-2)よりも小さい気泡の数が増加しており、これがSF-5の耐凍害性を大きくしたと考えられる。

SF-5の方がSF-2よりも小さい気泡の数が多い原因としては、次の2つの要因が考えられる。第1に、図3に示したように、SF-2、SF-5共に材料分離抵抗性は良好であったが、製造後しばらく静置したコンクリートを観察したところ、SF-2のコンクリート表面には若干気泡が浮き出していた。これは、AE減水剤の添加量の増加や増粘剤の添加量の減少（若干ではあるが）に伴って、コンクリート（モルタル）の粘性が低下したため、小さな気泡が結合したり浮き出したためと推測でき、これが小さな気泡の減少につながったと考えられる。第2に、通常のコンクリートの場合にはAE減水剤の添加量が増加すると小さい気泡の数が多くなり、気泡組織が緻密化して耐凍害性が大きくなるが、SFCの場合には空気量や気泡組織はAE減水剤のAE効果よりも増粘剤で導入された気泡の影響をより強く受けるためと考えられる。

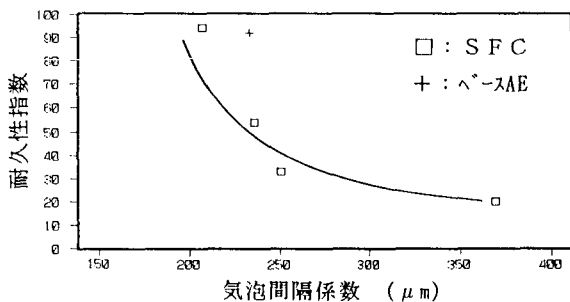


図5 気泡間隔係数と耐凍害性

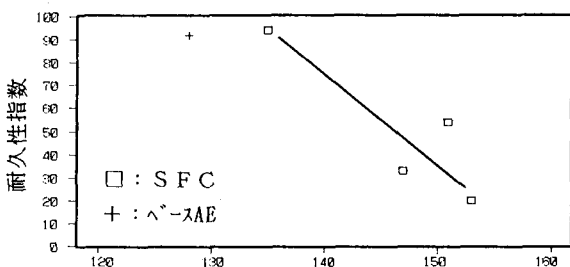


図6 気泡の平均直径と耐凍害性
気泡の平均直径 (μm)

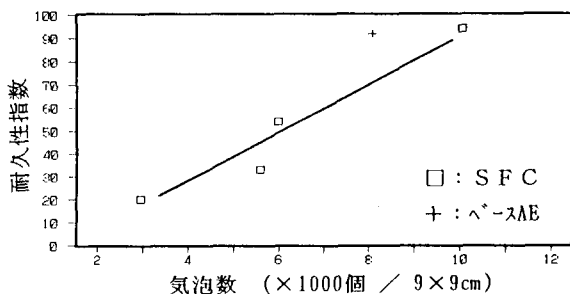


図7 気泡数と耐凍害性

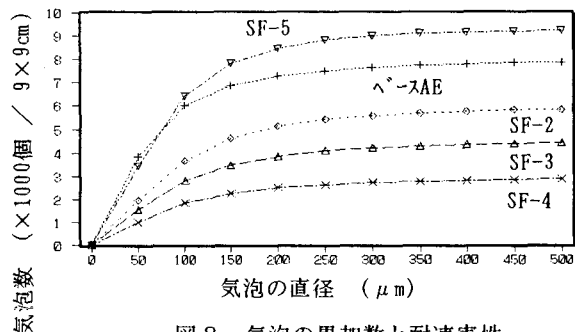


図8 気泡の累加数と耐凍害性

(c) 増粘剤で導入された気泡

図9に示したように、AE剤を用いて空気を連行したベ-スAEは、AE減水剤の添加量は同じC×2.0%で増粘剤によって空気を導入したSF-2と比べて、小さい気泡の数が多く耐凍害性が高い。一方、図10に示したように、両者とも増粘剤で空気を導入したのにもかかわらず、AE減水剤の添加量がC×1.0%

(SF-5)の場合は、AE減水剤の添加量がC×2.0%(SF-2)の場合と比べ、小さい気泡の数多く耐凍害性が高い。このように、増粘剤で導入された気泡には本来小さな気泡も多数含まれており、こうした小さな気泡を硬化コンクリート中に残存させることができれば、増粘剤によって導入された気泡だけでも耐凍害性は改善できるといえる。

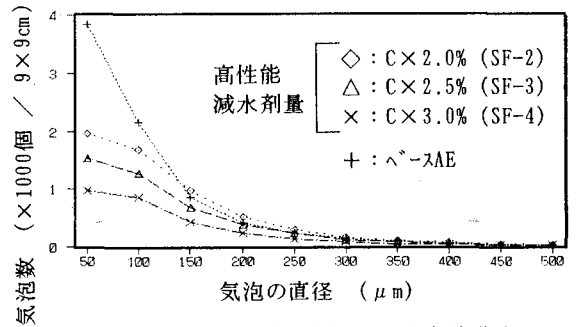


図9 高性能減水剤添加量と気泡分布

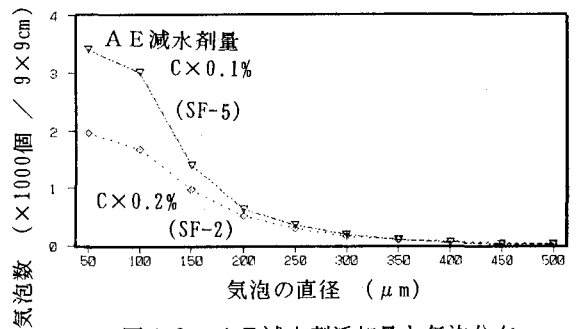


図10 AE減水剤添加量と気泡分布

4. 結論

新しいセルロース系混和剤(増粘剤)を用いて製造した高流動コンクリートの実験結果から、以下のことが明らかとなった。

- (1) 高性能減水剤の添加量がC×2.0%、AE減水剤の添加量がC×0.1%で、材料分離抵抗性と耐凍害性が確保できる。
- (2) 増粘剤によって導入された気泡は、AE剤によって連行された気泡と同様に耐凍害性の改善に有効である。

【参考文献】

- 1) 須藤裕司・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の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集、Vol.14、No.1、pp.1003-1008、1992.6
- 2) 須藤裕司・鮎田耕一：分離低減剤添加コンクリートの空隙構造と耐凍害性、土木学会第46回年次学術講演会概要集、第5部、pp.410-411、1991.9
- 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、1990.8