

論 文

[1175] 増粘剤を添加した高流動コンクリートの耐凍害性の向上方法
に関する実験的研究

正会員○佐原晴也（日本国土開発技術研究所）

正会員 庄司芳之（日本国土開発技術研究所）

正会員 竹下治之（日本国土開発技術研究所）

正会員 鮎田耕一（北見工業大学土木工学科）

1. はじめに

既報[1]では、増粘剤と高性能減水剤を添加して締固め不要な程度まで高流動化したコンクリート（以下、SFコンクリートと称す）の耐凍害性に関して基礎的検討を行った。その結果、SFコンクリートの気泡組織は若干粗大化する傾向にあるが、気泡間隔係数を普通のコンクリートと同等にすれば、ほぼ良好な耐凍害性が得られることを確認した。

しかし、消泡剤が混入されている一般のメチルセルロース系増粘剤を用いた場合、所要の気泡組織を得るためにSFコンクリートの製造直後の空気量を8~11%と過大にする必要があることや、消泡剤によるAE気泡の消泡などの問題点があり、安定的に耐凍害性を確保することは難しいと考えられた。

本報では、上記のような問題点を考慮し、消泡剤が混入されていない新規の増粘剤を用いて、SFコンクリートの製造直後および硬化コンクリート中の空気量を適度な値に調整し、安定的に耐凍害性を確保する手法を検討した結果について報告する。

2. 空気連通性が小さい各種増粘剤を利用することによる耐凍害性の向上方法の検討

一般のメチルセルロース系増粘剤は、界面活性作用により多量の空気を連通する性質を有するため、消泡剤を用いないでSFコンクリートの製造直後の空気量を適度な値にするには、増粘剤量をごく少量にする必要がある。しかし、これでは所要の流動性や材料分離抵抗性が得られない場合が多い。

このため、本研究では空気連通性が小さいセルロース系増粘剤、低重合度のアクリル系増粘剤、および両増粘剤の併用によって、所要の流動性や材料分離抵抗性を保持しつつ、SFコンクリート製造直後の空気量を調整する手法を検討した。

2. 1 セルロース系増粘剤の検討

(1) 使用材料および配合

表-1に使用材料を示す。表中、NCの記号で表したもののが空気連通性が小さい、消泡剤が混入されていない新規の増粘剤であり、NC1とNC2の違いは重合度の違いである。一方、MCの記号で表したものが一般に使用されているメチルセルロース系の増粘剤であり、MC1は消泡剤が無混入、MC2は消泡剤が混入されているものである。

SFコンクリートは、目標スランプ12cmのベー

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	相模川水系川砂と市原産山砂の混合砂、比重 2.56、FM 2.67
粗骨材	津久井郡城山産砕石、最大寸法20mm、比重2.64、FM 6.70
AE減水剤	リグニンスルフォン酸化合物
AE剤	アルキルアリルスルфон酸化合物系陰イオン界面活性剤
増粘剤	セルロース系高分子化合物 NC1、NC2、MC1、MC2の4種
高性能 減水剤	高縮合トリアジン系化合物

表-2 ベースコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad (C×%)	AE (C×%)
		W	C	S	G		
50	50	175	350	863	890	0.313	0.002

スコンクリートに、増粘剤と高性能減水剤を後添加し、120秒間混練して製造した。練り混ぜは容量50ℓのパン型強制練りミキサで行った。表-2にベースコンクリートの配合を示す。増粘剤の添加量は、これまでの研究をもとに、流動性と材料分離抵抗性を共に満足する量としてW×0.3%を基本としたが、図-1に示す各増粘剤の水溶液粘度の測定結果を考慮し、NC2、MC1についてはW×0.2%の添加量の場合も検討した。また、高性能減水剤の添加量はSFコンクリートの目標スランプフローを60cmとして調整した。

(2) 空気量の測定結果

図-2に各増粘剤を使用した場合の空気量の測定結果を示す。同図から、NC1をW×0.3%添加した場合、SFコンクリートの空気量はベースコンクリートに比べて1%弱の増加にとどまり、また、消泡剤が混入されていないために、空気量の経時変化も小さいことが分かる。NC2を用いた場合には、W×0.2%の添加量ではやはり1%程度の増加でおさまっている。NC1をW×0.3%添加した場合とNC2をW×0.2%添加した場合とで、SFコンクリートの性状を目視や取り扱った感じで比較すると、図-1の水溶液粘度の測定結果からも分かるように、後者の方が若干粘性が大きい感があるが、いずれも流動性、材料分離抵抗性とともに良好な状態にあった。

一方、MC系の増粘剤を使用した場合、MC1の添加量がW×0.2%でもSFコンクリートの空気量は10%を超え、また、消泡剤が混入されているMC2では、既報[1]の実験結果と同様に空気量の経時変化が大きくなつた。

以上から、空気連行性が小さいNC系の消泡剤無混入の増粘剤を用いることによって、SFコンクリートの所要の流動性や材料分離抵抗性を保持しつつ、空気量を適度な値に調整することが可能なことが明らかとなつた。

2.2 アクリル系増粘剤の検討

(1) 使用材料および配合

一般のアクリル系増粘剤を添加したコンクリートは極めて粘性が高く、材料分離抵抗性は大きいが流動性が劣る傾向がある。このため、適度な材料分離抵抗性と流動性が必要なSFコンクリートには適さない面がある。そこで、本実験では一般的なものに比べて低重合度のアクリル系新增粘剤を使用した。表-3に、本

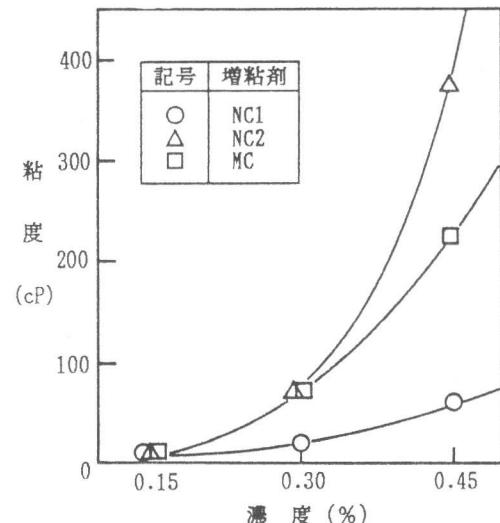


図-1 セルロース系増粘剤の水溶液粘度

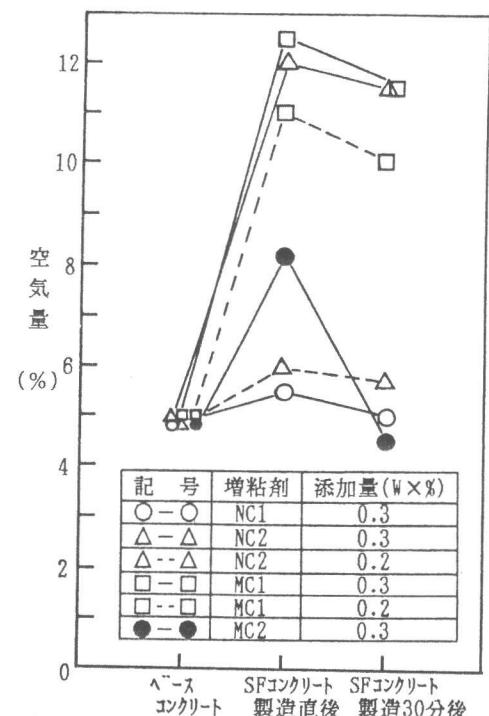


図-2 空気量の測定結果

表-3 アクリル系増粘剤の粘度測定結果

増粘剤	粘度 (cP)	粘度測定条件		
		濃度 (%)	ロータ NO.	回転数 (rpm)
NA	46	0.5	2	20
OA	98			

*B型粘度計を使用し、4%食塩水を溶媒にして測定

実験で使用したアクリル系増粘剤NAと一般に水中不分離性コンクリートで用いられているアクリル系増粘剤OAの粘度の測定結果を示す。増粘剤以外の使用材料は表-1と同じである。

コンクリートの配合は、AE剤量をC×0.03%と多くした以外は表-2と同様である。SFコンクリートはミキサにセメント、細骨材、粗骨材およびアクリル系増粘剤を投入して30秒間空練りした後、水、AE減水剤、AE剤および高性能減水剤を添加して120秒間混練して製造した。増粘剤の添加量はW×0.3%とし、高性能減水剤の添加量はSFコンクリートのスランプフローを60cmを目標にして調整した。

(2) 空気量の測定結果

表-4に、増粘剤NA、OAおよび前述のNC1を使用したSFコンクリートのフレッシュ状態の試験結果の一例を示す。同表には、SFコンクリートの流動性の良否の評価方法として著者らが提案したL字管

試験[2]結果も併せて示した。表-4からNA、OAを用いたSFコンクリートは、AE剤量をセルロース系増粘剤の場合の15倍程度にすることで、ほぼ目標の空気量が得られていることが分かる。また、NAを用いた場合には、NC1と同程度の高性能減水剤量で目標のスランプフロー値となり、充填に要する時間はやや長くなるものの、L字管のa点まで充填できる流動性が得られることが分かる。これに対して、OAを用いた場合には、高性能減水剤量を増やしてもスランプフロー値は50cm程度にしかならず、L字管のa点までは充填できなかった。

以上から、低重合度のアクリル系増粘剤とAE剤の多量使用によって、ほぼ良好な流動性と適度な空気量を有するSFコンクリートの製造が可能なことが明らかとなつた。

2.3 セルロース系増粘剤とアクリル系増粘剤の併用の検討

図-3に、増粘剤NC1をW×0.3%添加した場合の細骨材の粗粒率とSFコンクリートの空気量の関係を示す。これは使用材料を表-2と同様のものとし、細骨材の混合割合を変え粗粒率を変化させて行った実験結果である。同図から、細骨材の粗粒率によってSFコンクリートの製造直後の空気量は大きく異なり、増粘剤としてNC1を使用してもMC系の増粘剤と同様に、SFコンクリートの空気量が過大になる場合もあることが分かる。また、単位セメント量やs/aなどが異なる場合も同様な傾向がみられる。このような場合、NC1の添加量を減らす必要があるが、添加量を減らしすぎるとSFコンクリートとしての所要の流動性や材料分離抵抗性が得られないことも考えられる。このため、セルロース系とアクリル系の増粘剤を併用することによって、SFコンクリートの所要の性能を保持しつつ、空気量を適度な量に調整する方法について検討した。

(1) 使用材料および配合

増粘剤としては、前述したNC1とNAを併

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果

増粘剤	高性能 減水剤量 (mℓ/C=100kg)	スランプ フロー (cm)	空気量(%)		L字管試験のa点 までの充填時間 (秒)
			直後	30分後	
NA	2750	58.5	7.0	4.9	24
OA	3000	45.5	6.1	4.9	—
	5000	48.0	6.1	—	—
NC1	2500	63.0	6.8	4.0	11

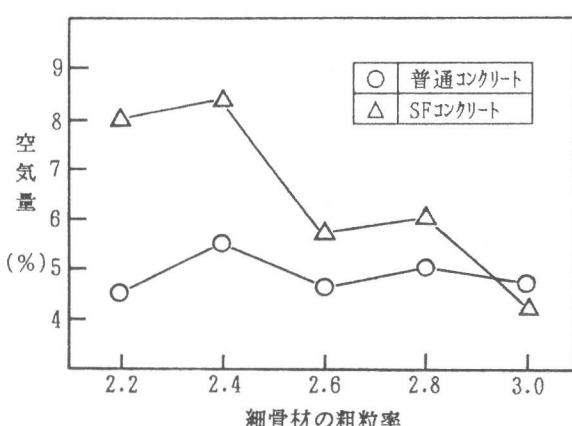


図-3 細骨材の粗粒率と空気量の関係

表-5 ベースコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				Ad (C×%)	AE (C×%)
		W	C	S	G		
50	50.7	174	348	875	880	0.25	0.003

用し、その総添加量は $W \times 0.3\%$ 、混合割合はNC1:NA=3:1および5:1とした。その他の使用材料は、細骨材の粗粒率を2.50とした以外は表-2と同様である。SFコンクリートの製造は2.1の(1)と同じ方法で行った。表-5にベースコンクリートの配合を示す。

(2) 空気量の測定結果

図-4に、各実験ごとの平均値として求めた空気量の測定結果を示す。同図から、本実験の材料および配合条件では、NC1を $W \times 0.3\%$ 添加した場合、SFコンクリートの空気量はベースコンクリートに比べて3%程度増加し、やや過大になることが分かる。

一方、NC1とNAを併用した場合は、NC1を単体で添加した場合に比べてSFコンクリートの空気量は減少し、NAの使用量の増加とともに空気量は減少する傾向にある。なお、NC1とNAを併用したSFコンクリートのワーカビリティーは、本実験の混合割合の範囲では良好な流動性と材料分離抵抗性を有していた。

以上から、材料や配合条件によって、NC系の増粘剤のみではSFコンクリートの空気量が調整できない場合には、アクリル系増粘剤を適切な割合で混入することによって、SFコンクリートの流動性や材料分離抵抗性を損なうことなく、空気量の調整が可能なことが明らかとなつた。

2.4 気泡組織と耐凍害性

表-6に、2.1~2.3で述べた各種の増粘剤を添加したSFコンクリートのフレッシュ状態の空気量、硬化コンクリートの気泡組織および耐凍害性の試験結果を示す。同表には、同じ材料を使用した普通コンクリートの試験結果も併せて示した。

表-6から、各種増粘剤を添加したSFコンクリートの空気量は、ベースコンクリートに比べて平均で1.4%(5.5%→6.9%)増大し、その後の30分間で、1.8%(6.9%→5.1%)減少していることが分かる。また、硬化コンクリート中の空気量は、SFコンクリート製造30分後の空気量とほぼ同等である。すなわち、硬化コンクリート中に5%程度の空気量を導入するためには、SFコンクリート製造直後の空気量を7%程度にすれば良いことが分かる。この値は、消泡剤を混入した一般的のメチルセルロース系増粘剤を用いた既報[1]の実験結果に比べて3%程度少ない値である。

耐凍害性に関しては、いずれの増粘剤の場合も、耐久性指数は80程度以上が得られており、十分な耐凍害性が確保されている。特に、NC1やNAの試験結果に示されるように、硬化コンク

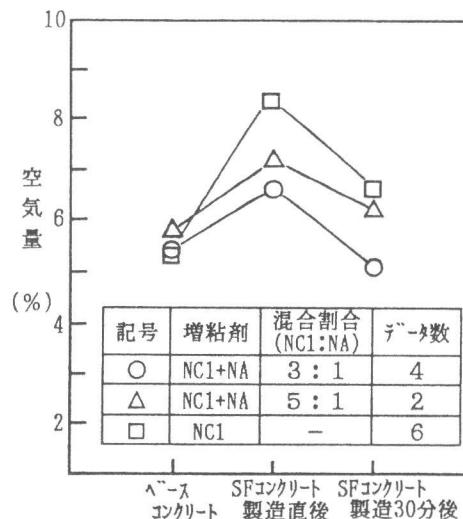


図-4 空気量の測定結果

表-6 SFコンクリートの気泡組織と耐凍害性の試験結果

増粘剤	増粘剤 添加量 (W×%)	ベースコンクリート の空気量 (%)	SFコンクリートの 空気量(%)		硬化コンクリートの 気泡組織		(注) 耐久性 指 数
			直後	30分後	空気量 (%)	気泡間隔係数 (μm)	
NC1	0.3	5.5	6.8	4.0	4.5	255	78
NC2	0.2	5.5	6.0	5.4	6.0	205	78
NA	0.3	-	7.0	4.9	4.8	224	87
NC1+NA (3:1)	0.3	5.2	7.2	5.2	5.0	224	93
NC1+NA (5:1)	0.3	5.6	7.6	6.0	5.9	180	90
-	-	5.3	-	-	4.0	221	89

(注) · 300サイクル、相対動弾性係数60%を基準
· 最下段は普通コンクリート

リート中の空気量が4.5%程度、気泡間隔係数が225~250 μm でも、十分な耐凍害性が得られることは興味深い結果である。また、表-6から、アクリル系増粘剤を使用した場合の方が耐凍害性が優れている傾向にあること、増粘剤の主成分が同じような場合には、硬化コンクリート中の空気量が4.5~6.0%、気泡間隔係数が180~250 μm 程度の範囲では、気泡組織と耐凍害性の間にはあまり密接な関係が認められないことが分かる。

3. 空気量ロスが少ないAE剤を利用することによる耐凍害性の向上方法の検討

表-6に示されるように、耐凍害性を確保するために必要な硬化コンクリート中の空気量は、SFコンクリートと普通コンクリートでは約1%の差があるが、これを確保するための製造直後の両者の空気量の差は約2%となる。このように、SFコンクリートは超軟練りであるためか、空気量ロスが大きくなる傾向にある。また、製造直後の空気量が7%では、普通コンクリートに比べていかにも多すぎる感がある。このため、AE剤の種類を変えてSFコンクリートの空気量ロスを少なくし、製造直後の空気量を少なくする方法について検討した。

3.1 使用材料および配合

セメント、細骨材、粗骨材、AE減水剤および高性能減水剤は表-1と同様である。増粘剤はNC1、NC2、NAおよびNC1とNAを併用(NC1:NA=5:1)したもの用いた。AE剤は表-1に示したもの(AE剤A)の他に、天然樹脂酸塩系のもの(AE剤B)を使用した。コンクリートの配合は、AE減水剤量をC×0.275%とし、AE剤量を表-7に示す量にした以外は表-2と同様である。増粘剤量はNC2を使用した場合はW×0.2%としたが、その他はW×0.3%とした。また、高性能減水剤量はSFコンクリートの目標スランプフロー60cmとして調整した。

3.2 実験結果

表-7にフレッシュコンクリートの空気量、硬化コンクリートの気泡組織および耐凍害性の試験結果を示す。同表から、AE剤Aを用いた場合には、SFコンクリート製造直後から30分間で平均1.8%の空気量ロスがあるのに対して、AE剤Bを用いた場合には平均0.7%(6.3%→5.6%)の空気量ロスしかないと分かる。また、AE剤Bを用いた場合には、硬化コンクリート中の空気量はSFコンクリート製造直後の値に近く、両者の差は平均0.4%にすぎない。このように、適切なAE剤を利用することによって、SFコンクリートの空気量ロスを普通コンクリートと同等以下にすることができる、その結果、SFコンクリートの製造直後の空気量も少なくできることが分かる。なお、AE剤の種類による気泡組織や耐凍害性の違いは、本実験の範囲ではありません認められない。

表-7 AE剤の種類とSFコンクリートの空気量および気泡組織の関係

増粘剤	AE剤		ベースコンクリートの空気量(%)	SFコンクリートの空気量(%)		硬化コンクリートの気泡組織		(注) 耐久性 指 数
	種類	添加量 (C×%)		直後	30分後	空気量 (%)	気泡間 隔係数 (μm)	
NC1	A	0.004	5.5	6.8	4.0	4.5	255	78
	B	0.013	5.8	6.6	6.2	6.3	196	80
NC2	A	0.004	5.5	6.0	5.4	6.0	205	78
	B	0.013	6.2	7.6	6.0	7.2	194	—
NA	A	0.030	—	7.0	4.9	4.8	224	87
	B	0.080	—	5.5	4.9	5.0	182	91
(5:1)	A	0.004	5.6	7.6	6.0	5.9	180	90
	B	0.013	6.7	5.6	5.2	5.2	202	—

(注) 300サイクル、相対動弾性係数60%を基準

4. SFコンクリートの耐凍害性の確保に必要な空気量と気泡組織

図-5、6にSFコンクリートの気泡組織と耐凍害性の関係について、既報[1]の実験結果も含めて示す。両図から、SFコンクリートの耐凍害性を確保するための気泡組織は、硬化コンクリート中の空気量としては4.5%以上、安定的には5%以上が必要であり、また、気泡間隔係数としては $250\mu\text{m}$ 以下、安定的には $220\mu\text{m}$ 程度以下にする必要があることが分かる。このような気泡組織は2.で述べたような各種の増粘剤を用いることによって、消泡剤を利用することなく、比較的容易に得ることが出来る。また3.で述べたような空気量ロスの少ないAE剤を使用すれば、SFコンクリートの製造直後と硬化コンクリート中の空気量との差を1%以下にすることができる。

以上の結果から、本研究で検討した増粘剤やAE剤を用いたSFコンクリートでは、耐凍害性を確保するための製造直後の目標空気量は5.5~6.0%程度に設定すれば良いことが分かる。

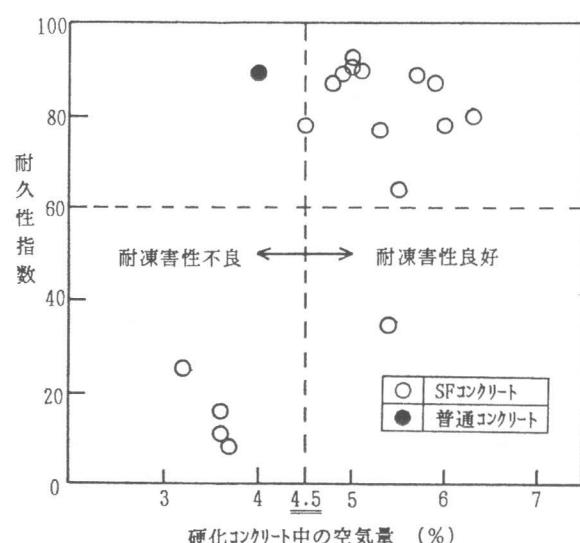


図-5 硬化体中の空気量と耐久性指数の関係

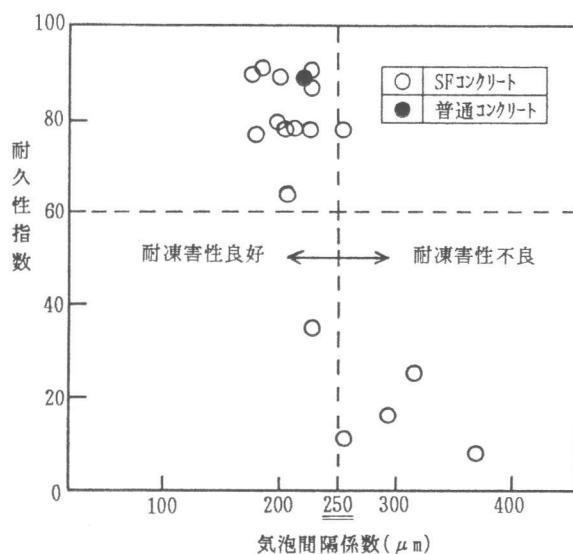


図-6 気泡間隔係数と耐久性指数の関係

5.まとめ

本研究の結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 本研究で採り上げた各種の空気連行性の小さい増粘剤を用いれば、SFコンクリートとしての所要の流動性と材料分離抵抗性を保持しつつ、製造直後の空気量を適度な値に調整することができる。
- (2) 適切なAE剤を用いることによって、SFコンクリートの空気量ロスを普通コンクリートと同等以下にすることが可能であり、その結果、耐凍害性の確保に必要な気泡組織を硬化コンクリート中に導入するための、SFコンクリート製造直後の空気量を少なくすることができる。
- (3) 本研究の範囲では、SFコンクリートの耐凍害性を確保するための硬化コンクリート中の気泡組織としては、空気量として4.5%以上、安定的には5%以上が必要であり、気泡間隔係数として $250\mu\text{m}$ 以下、安定的には $220\mu\text{m}$ 程度以下にする必要がある。このような気泡組織を導入するためには、製造直後の目標空気量は5.5~6.0%にすれば良い。

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報告集、Vol.14（投稿中）
- 2) 佐原 晴也、横田 季彦、庄司 芳之、竹下 治之：高流動コンクリートのワーカビリチー評価試験方法に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.1, pp137~142, 1991.6