

論文

[1024] 分離低減剤を用いた高流動コンクリートの耐凍害性に関する研究

山川 勉 *¹・捧 剛明 *²・早川 和良 *³・鮎田 耕一 *⁴

1. はじめに

既報[1]では、高流動コンクリートの1つとして分離低減剤（増粘剤）を用いたコンクリートについて基礎的検討を行い、高流動コンクリート用混和剤としての可能性を見出した。高流動コンクリートは締固め不要あるいは少ない締固めで高耐久性コンクリート構造物を得ることを目標としており、耐凍害性（凍結融解抵抗性）は重要なポイントである。

材料分離低減剤としてセルロースエーテルを用いた場合、混和剤量の多い水中不分離性コンクリートを対象とした既往の研究[2][3]によれば空気量を若干多くし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という報告[2]もあるが、普通ポルトランドセメント単味では耐凍害性に劣るという結果[3]が一般的である。また、気中コンクリートに用いた場合、分離低減剤の使用量がそれほど多くなければ、普通コンクリートよりやや多目の空気量とすることで耐凍害性を確保することができるとされている[4][5]。

本報では、低界面活性の非イオン性セルロースエーテル（以下 LAC と略す）を分離低減剤として用いた高流動コンクリートの耐凍害性を安定的に確保するための資料を得ることを目的とし、空気量、気泡組織、高炉スラグ微粉末添加の影響などについて検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

実験に使用した各種の材料を表-1に示す。実験はシリーズAとシリーズBからなり、シリーズAではセメント結合材として普通セメントのみを用い、シリーズBでは高炉スラグ微粉末を普通セメントの一部に置き換えて使用した他、高炉セメントB種も使用した。セメント結合材量は 300~340 kg/m³ とし、単位水量を 180 kg/m³ とした。また、減水剤は、スランブフロ一の経時変化を少なくするために高縮合トリアジン系とリグニンスルホン酸系を併用した。

表-1 使用材料の種類と物性

セメント	普通ポルトランドセメント、比重 3.15 (NP と略す)
結合材	高炉セメント B 種、比重 3.05、(BB と略す) スラグ混入率 50.5 %
湿和材	高炉スラグ微粉末、比重 2.90、ブレン値 4,560 cm ² /g (Sg と略す)
細骨材	信濃川産川砂、比重 2.60、吸水率 1.95 %、FM 2.79
粗骨材	下濁川産碎石、比重 2.63、吸水率 1.88 %、FM 6.72、Gmax 20 mm
AE 減水剤	リグニンスルホン酸化合物
AE 剤	天然樹脂酸塩
材料分離低減剤	低界面活性の非イオン性セルロースエーテル (LAC と略す)
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物

* 1 信越化学工業（株）合成技術研究所第一部研究員（正会員）

* 2 信越化学工業（株）合成技術研究所第一部

* 3 信越化学工業（株）有機合成事業部事業部長室主席技術員、理修（正会員）

* 4 北見工業大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

2. 2 実験方法

練り混ぜは容量 55 l のパン型強制練りミキサを用い、1 バッチ 50 l で行った。練り混ぜ時間は、セメント結合材、骨材および LAC を投入して空練り 1 分間、水と減水剤を投入して本練り 3 分間とした。

試験項目と試験方法を表-2 に示す。

硬化コンクリートの気泡組織の測定は画像解析システム[6]を用い、ASTM の修正ポイントカウント法に準じて空気量、気泡間隔係数、比表面積を求めた。尚、耐凍害性の目安として、ASTM C 666 A 法（水中凍結融解法）の凍結融解試験を行なった場合で 300 サイクルの耐久性指数 80 以上とした。

2. 3 検討要因

要因として耐凍害性で重要なポイントである空気量以外に、表-3 のように単位セメント量、高炉スラグ微粉末の置換率、セメントの種類の影響の 4 因子を取り上げ検討した。

3. 実験結果

3. 1 シリーズ A（普通セメント単味）

(1) 空気量の影響

普通セメント単味でのフレッシュコンクリートの空気量と耐久性指数の関係を図-1 に示す。（普通コンクリートは表-3、1 と同じ配合のコンクリートで、スランプ 21 cm に調整したものをを用いた。）LAC 添加コンクリートでは、普通コンクリートと比較してフレッシュコンクリートの空気量をやや多く（5% 以上）することにより、耐久性指数 80 以上（300 サイクル）となり耐凍害性を確保できることが分かる。

（フレッシュコンクリートの空気量：練り上がり直後の空気量）

表-2 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランプフロー	土木学会規準
空気量	JIS A 1128
凍結融解試験	ASTM C 666 A (神速融解)、供試体：10×10×40 cm、(実量測定なし) 材令 14 日まで標準水中養生後試験を開始
気泡組織	供試体：10×10×40 cm (実量測定なし) を 10×10×3 cm にカット後画像解析システムを用い、ASTM の修正ポイントカウント法に準じた。

表-3 検討要因と各種の配合条件

No.	検討要因	水準	配合条件						
			スランプフロー (cm)	W/C (%)	s/a (%)	W	NP	Sg	LAC
I	空気量	2~7 (%)	60±5	52.9	50	180	340	-	0.50
II	単位セメント量	300~340 (kg/m ³)	60±5	52.9~60.0	50	180	300~340	-	0.30
III	高炉スラグ置換率	0~60 (%)	60±5	52.9	50	180	340~136	0~204	0.30
IV	セメントの種類	NP、BB	60±5	52.9	50	180	340	-	0.30

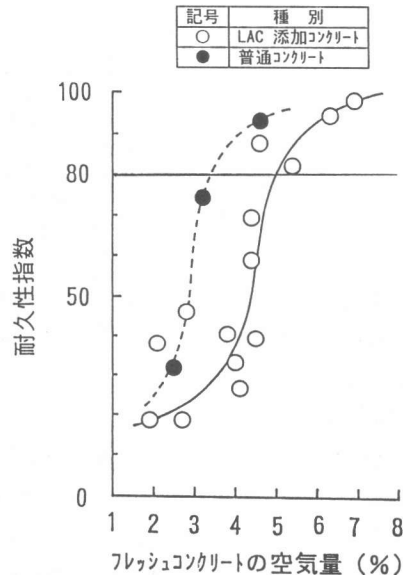


図-1 フレッシュコンクリートの空気量と耐久性指数の関係

(2) 単位セメント量の影響

単位セメント量と耐久性指数の関係を図-2に示す。単位セメント量の増加に伴い、より少ない空気量で耐凍害性を確保できることが分かる。これは単位セメント量の多い方が表-4のように、LACによる空気連行量が少なく、同一フレッシュコンクリートの空気量において、より多くのAE剤による空気量を確保することができたためと考えられる。

表-4 単位セメント量とフレッシュコンクリートの空気量の関係 (AE剤無添加)

単位セメント量 [kg/m ³]	LAC添加量 [g/m ³]	空気量 [%]
340	300	1.9
320	300	2.1
300	300	2.8

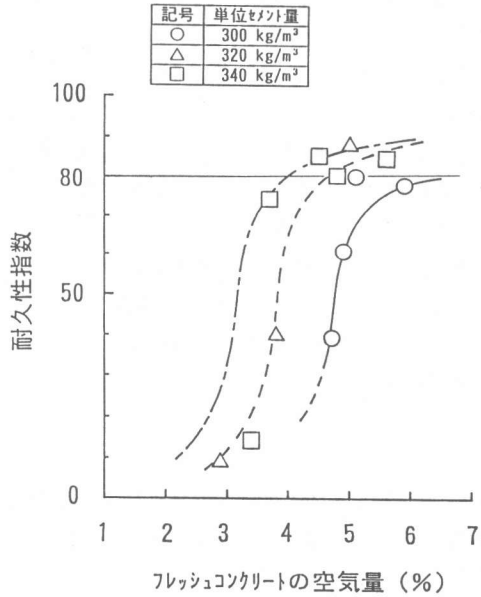


図-2 単位セメント量と耐久性指数の関係

3. 2 シリーズB (高炉スラグ微粉末併用系)

(1) 高炉スラグ置換率の影響

高炉スラグ微粉末を普通セメントの一部に置き換えて使用した場合の、高炉スラグ微粉末置換率 (重量比率) と耐久性指数の関係を図-3に示す (フレッシュコンクリートの空気量 $4 \pm 0.5\%$)。空気量 4% でも高炉スラグ微粉末置換率を上げることにより、耐久性指数が上がる事が分かる。既報 [7] において高炉スラグ微粉末を置換することにより耐凍害性が向上すること (置換率 60% 以上) が報告されているが、今回の結果では、配合なども若干異なり、置換率 40% 以上で耐久性指数 80 以上と、耐凍害性が確保されている。これは、材料分離低減剤の種類、添加量が異なるためと考えられる。

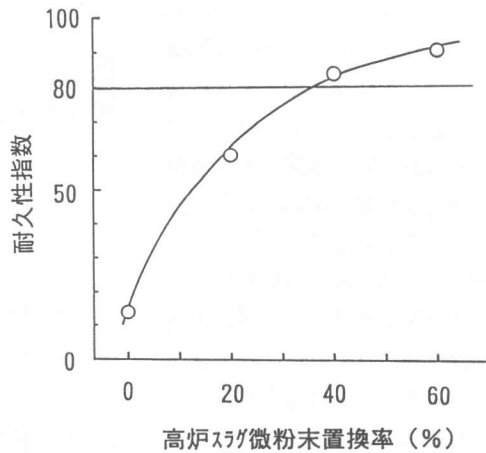


図-3 高炉スラグ微粉末置換率と耐久性指数の関係

(2) セメントの種類の影響

高炉セメント B 種 (置換率 50.5 %) での実験を行い、高炉スラグ置換セメント (置換率 40 %) との比較検討を行なった。

各種セメント (NP, BB) の耐凍害性を図-4 に示す (フレッシュコンクリートの空気量 $4 \pm 0.5 \%$)。

普通セメントと比較して、高炉セメント B 種を用いることにより、空気量 4.4 % で耐久性指数 80 以上を確保することができた。

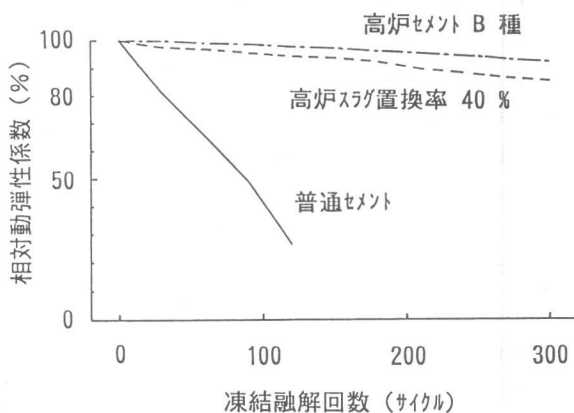


図-4 各種セメント (NP, BB) の耐凍害性

4. 考察

4. 1 硬化コンクリート中およびフレッシュコンクリートの空気量と耐凍害性

普通セメントにおける単位セメント量 300, 320, 340 kg/m^3 での硬化コンクリート中の空気量と耐久性指数の関係を図-5 に示す。

単位セメント量にかかわらず、LAC 添加コンクリートの耐凍害性を安定して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 4 % 以上必要であることが分かる。

また、単位セメント量に関係なく、硬化コンクリート中の空気量と耐凍害性は密接な相関があると考えられる。このことから、フレッシュコンクリートにおいて空気量のロスの少ない処方、混和剤を用いることが重要であることが分かる。

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートでは耐凍害性に違いが認められたが、硬化コンクリート中の空気量について検討した結果を図-6 に示す。高炉スラグ微粉末を置換したものは普通セメント単味と異なり、硬化コンクリート中の空気量が 3 % 以上あれば耐凍害性を安定して確保することができる。

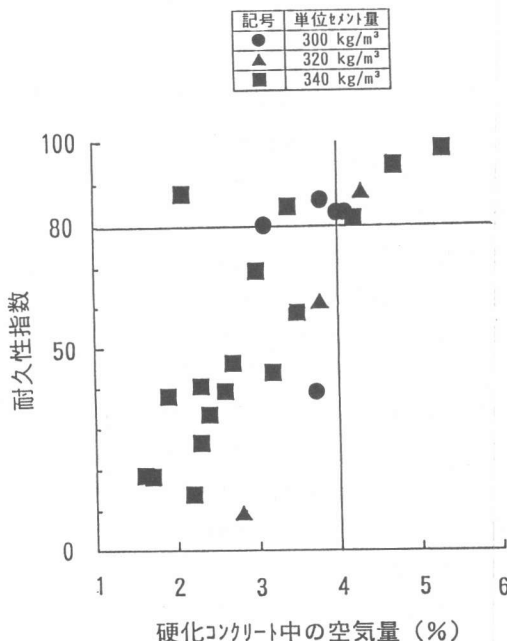


図-5 硬化コンクリート中の空気量と耐久性指数の関係 (普通セメントの場合)

図-7にフレッシュコンクリートの空気量と硬化コンクリート中の空気量の関係を示す。普通セメント、高炉スラグ微粉末併用系共に、フレッシュコンクリートの空気量と硬化コンクリート中の空気量を比較すると、後者のほうが約1%程度小さい値となっている。前述の結果と合わせ考えると、安定して耐凍害性をクリアするためには、フレッシュコンクリート中の空気量は、普通ポルトランドセメント単味の場合5%程度以上、高炉スラグ微粉末併用系の場合4%程度以上必要であることが分かる。

4. 2 気泡組織と耐凍害性

硬化コンクリート中の気泡組織として、気泡間隔係数を取り上げ、耐久性指数との関係を図-8に示す。LAC添加コンクリートでは気泡間隔係数を210 μm 程度以下とすることにより耐久性指数80以上となり、耐凍害性を確保することができる。また、高炉スラグ微粉末を置換したものではこれよりやや大き目の気泡間隔係数でも耐凍害性を確保することができる。普通コンクリートのそれは250 μm 程度以下と言われており、LAC添加コンクリートでは気泡間隔係数を若干小さくする必要がある。

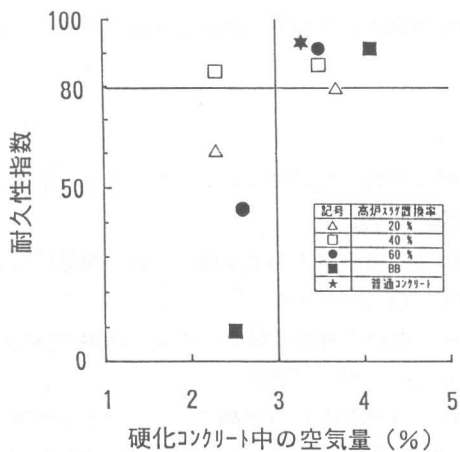


図-6 硬化コンクリート中の空気量と耐久性指数の関係
(高炉スラグ微粉末置換の場合)

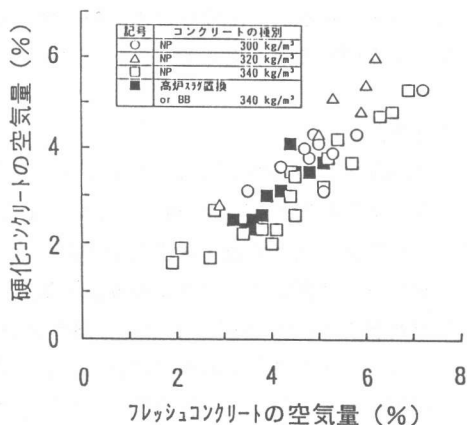


図-7 フレッシュコンクリートの空気量と硬化コンクリートの空気量の関係

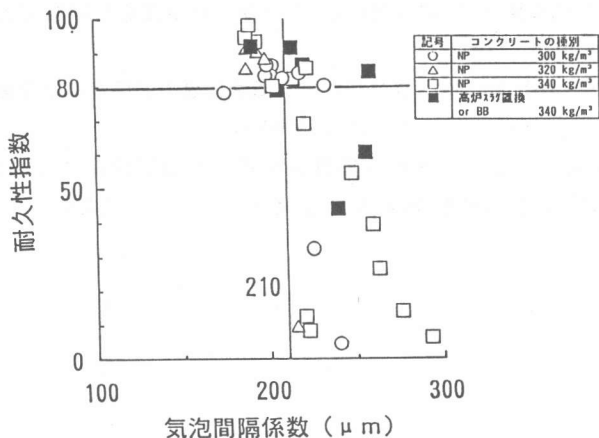


図-8 気泡間隔係数と耐久性指数の関係

5. 結論

本研究の範囲内で明らかになったことをまとめると以下のようになる。

- (1) LAC 添加コンクリートの耐凍害性を安定して確保するには普通セメント単味の場合、フレッシュコンクリートの空気量 5 % 程度以上、硬化コンクリート中の空気量 4 % 程度以上とする必要がある。また、気泡間隔係数は 210 μm 程度以下とする必要がある。
- (2) 高炉スラグ微粉末で置換することにより LAC 添加コンクリートの耐凍害性は改善することができ、置換率 40 % 以上、または、高炉セメント B 種を用いることにより、フレッシュコンクリートの空気量 4 % 程度以上、硬化コンクリート中の空気量 3 % 程度以上で耐凍害性を確保することができる。

6. おわりに

一般に、耐凍害性についてはフレッシュコンクリートの空気量との相関について検討される例が多いが、本研究では硬化コンクリート中の空気量のデータを用いて整理することにより、分離低減剤を用いた高流動コンクリートの耐凍害性について有益な知見が得られた。今後は、細孔構造など微細な組織との関係などについて検討し、LAC 添加コンクリートの耐凍害性のメカニズムについて検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 山川勉・早川和良：高流動コンクリート用増粘剤の基礎的性状について、コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 14，No. 1，pp 325-330，1992. 6
- 2) 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
- 3) 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 161-166，1990. 8
- 4) 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，No. 1，pp 1003-1008，1992. 6
- 5) 佐原晴也・庄司芳之・竹下治之・鮎田耕一：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、コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 14，No. 1，pp 1009-1014，1992. 6
- 6) 鮎田耕一・桜井宏・田辺寛一郎：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
- 7) 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 V 部，pp 410 - 411，1991. 9