収縮低減剤および気泡組織の品質が耐凍害性に影響を及ぼす要因の検討

その１　概要および硬化コンクリートの基礎的性状

(株)フローリック　　正会員　○松沢　友弘，正会員　西　祐宜，鳴海　玲子
室蘭工業大学　　濱　幸雄

１．はじめに

乾燥収縮によるひび割れは，コンクリート構造物の耐久性を低下させる．収縮低減剤(以下 SRA)は，乾燥収縮を低減し乾燥収縮ひび割れの抑制には有効であるが，耐凍害性の低下を招くことが公知されている．

耐凍害性は一般的に，適正量のエントレインドエアをコンクリート中に導入することで担保されるものと考えられている．Powers[1)]の提唱した水圧説では，セメント硬化体中の水分が氷晶生成により体積膨張した際に発生する水圧が破壊駆動力であるとし，この水圧は漏出境界の役目を果たす気泡までの距離が短いほど緩和されることから，耐凍害性確保のためには気泡間隔係数を 250μm 以下とする必要性を説いた．このように，気泡組織の品質はコンクリート構造物の耐凍害性に極めて重要な役割を果たすことが明らかになっている．

一方，SRA を混和した際はその限りではなく，所定のエントレインドエア量および気泡間隔係数の条件を満たしても，耐凍害性が劣る結果が認められている[2)]．西ら[3)]は，SRA を混和した際の耐凍害性の低下の要因を，粗大空隙増加に伴う凍結水量の増加および氷晶周囲に存在する SRA 高濃度の細孔中水分とキャピラリー内の未凍結水間に生じる浸透圧差による未凍結水の氷晶への移動で説明できる可能性を示しており，-18℃までに凍結する巨視的水分に着目し，セメント硬化体中に約 20μm の疎水性化合物(油滴)を導入し耐凍害性の向上を図った鉱物油系 SRA[4)]を開発している．しかしながら，鉱物油系 SRA を使用した場合においても，使用量や使用材料によっては耐凍害性が確保されないケース[5)]もあり，さらなる対応策が必要である．

前述の通り，SRA を使用した際，キャピラリー形成により凍結水量が増加することで，著しい凍結膨張を誘発し，凍害劣化を促進させているならば，SRA 使用量が多い条件では，キャピラリーが過多となり，漏出境界となり得る適切なサイズや形状の気泡が不足し，疎水性化合物も不足していることが，耐凍害性を低下させる一要因であると考えられる．また，セメント硬化体中の細孔径が大きく変化している場合，適切なサイズの遮断性物質を導入する必要もある．

本研究では，遮断性物質のサイズを調整した鉱物油系 SRA および汎用的なアルコール系 SRA を使用し，空気量を変化させたコンクリート供試体について，SRA 種類および空気量による耐凍害性の潜在的なポテンシャルを検討するものとした．**その1**では，実験概要および硬化コンクリートの基礎的性状について報告する．

２．実験概要

表1に実験の要因と水準を示す．SRA は，鉱物油系 SRA(以下 AdS)およびアルコール系 SRA(SS)の 2 種とし，AdS は乳化剤量により疎水性化合物のサイズが異なるよう調整した．空気量は，AdS は標準的な空気量である 4.5%および高空気量である 6.5%の 2 水準とし，SS は 6.5%の 1 水準のみとした．**表2**にコンクリート配(調)合を示す．目標スランプは 15±2.5cm とし，使用材料は，上水道水，普通ポルトランドセメント(密度

表1　実験の要因と水準

要因	水準	
SRA 種別	AdS	SS
空気量(%)	4.5%(4.5～5.0%) 6.5%(6.0～7.0%)	6.5%(6.0～7.0%)
SRA 添加率	Cwt.×0, 1.4, 2.3%	Cwt.×0, 1.4, 2.3%
Case	A：練上り直後に空気量測定 疎水性化合物サイズ：大	練上り 5 分後に 空気量測定
	B：練上り 5 分後に空気量測定 疎水性化合物サイズ：小	

表2　コンクリート配(調)合

種別	空気量(%)	W/C	s/a(%)	単位量(kg/m³)				SRA(Cwt.×%)
				W	C	S	G	
BLANK	4.5	0.50	49.0	178	356	839	898	-
AdS-A								1.4～2.3
AdS-B								
BLANK	6.5							-
AdS-A								1.4～2.3
AdS-B								
SS								1.4～2.3

キーワード　収縮低減剤，耐凍害性，空気量，気泡間隔係数，疎水性化合物
連絡先　〒300-2622　茨城県つくば市要 33-1　(株)フローリック　技術本部　コンクリート研究所　ＴＥＬ029-877-1945

3.16g/cm³)，掛川産山砂(表乾密度 2.58g/cm³)，青梅産硬質砂岩砕石(表乾密度 2.65g/cm³)，分散剤および AE 剤には AE 減水剤標準形 I 種およびロジンカリウム塩系のものを使用した．SRA は配(調)合の外割とし，ベースコンクリートの練上り後に添加するものとした．硬化性状の試験項目は，乾燥収縮ひずみ，凍結融解試験および気泡組織を測定するものとした．乾燥収縮ひずみは JIS A 1129:2010 に準拠し，乾燥材齢 13 週までの長さ変化を測定した．凍結融解試験は JIS A 1148:2010-A 法に準拠し，最大 300 サイクルまでの相対動弾性係数を測定した．また，供試体中央に埋込み型ひずみゲージおよび熱電対を設置し，凍結融解ひずみおよび供試体内部温度についても計測した．気泡組織は，ASTM C-1998 に準拠し，リニアトラバース法にて測定した．

表3 試験体条件

種別	BLANK	AdS				BLANK	AdS		AdS		SS	
設定空気量(%)	4.5					6.5						
SRA 添加率 (Cwt.×%)	0	1.4		2.3		0	1.4		2.3		1.4	2.3
Case	-	A	B	A	B	-	A	B	A	B	-	
フレッシュ空気量(%)	4.5	4.5	4.9	4.8	5.3	6.5	6.3	6.8	6.5	7.1	6.7	6.2
硬化空気量(%)	3.8	4.6	4.9	4.2	4.9	6.7	5.4	6.5	4.7	7.8	4.7	5.2
気泡間隔係数 (μm)	235	237	251	244	211	153	201	186	234	127	169	177
収縮低減率 (%)	-	23.6	16.0	30.3	26.5	-	26.1	20.2	32.3	25.6	23.5	30.3

3．硬化性状試験結果

表3に試験体条件，**図1**に乾燥材齢と乾燥収縮ひずみの関係，**図2**にサイクル数と相対動弾性係数を示す．空気量は，SRA 添加率が高く，フレッシュ空気量が高いものは硬化空気量が減少傾向にあるが，空気量測定時期の違いにより，CaseB は CaseA に比べ空気量の減少が抑制されている．気泡間隔係数はいずれも 250μm 以下となり，空気量が高いほど，また，CaseA よりも CaseB が小さい結果であった．収縮低減率は，疎水性化合物のサイズを小径に調整した場合に若干低下しているが，概ね同程度の効果を発揮している．同空気量における耐久性指数は，SS に比べ AdS が高く，CaseA よりも CaseB が良好な結果を示した．

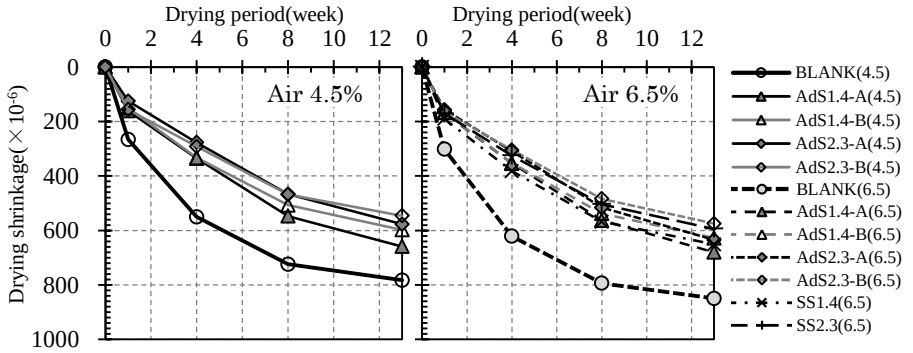

図1 乾燥材齢と乾燥収縮ひずみの関係

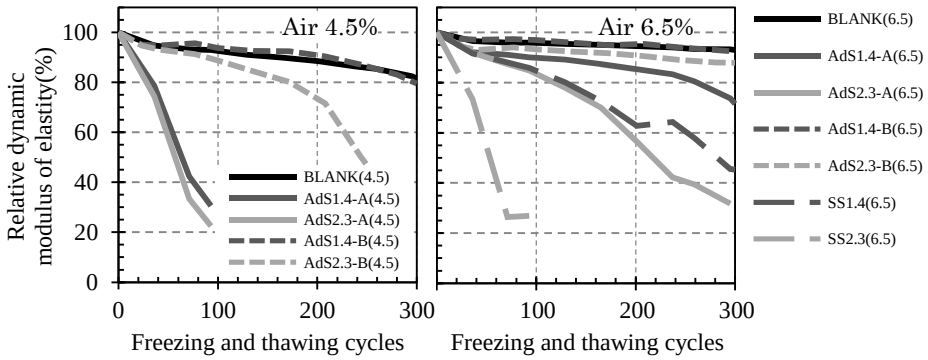

図2 サイクル数と相対動弾性係数の関係

本結果より，空気量およびコンクリート中に導入する疎水性化合物のサイズが，耐凍害性に与える影響が認められたと言え，本試験条件の場合，疎水性化合物を小径とした方が耐凍害性向上に有効に作用することが確認された．

参考文献

1) Powers,T.C.：A Working Hypothesis for Further Studies of Concrete, Proc.ACI, vol.41, pp.245-272, 1945
2) 西祐宜，中江理，橋爪進，名和豊春：水溶性収縮低減剤が乾燥収縮および凍結融解に与える影響，コンクリート工学年次論文集 vol.31, No.1, pp.1099-1104, 2009
3) 西祐宜，名和豊春：収縮低減剤がモルタルの乾燥収縮および凍結融解挙動に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，vol.29, No.1, pp.1173-1178, 2007
4) 西祐宜，名和豊春：凍結融解作用による劣化抵抗性を改善した疎水性化合物系乾燥収縮低減剤の諸特性，日本建築学会構造系論文集, vol.79, No.696, pp.191-200, 2014
5) 鳴海玲子，張文艶，岸本嘉彦，濱幸雄：収縮低減剤を使用したモルタルの収縮低減および耐凍害性低下に影響する要因の検討，日本建築学会構造系論文集, vol.79(700), pp.671-680, 2014