

天然ゼオライト混和モルタルの凍結融解挙動に関する研究

秋田大学 学生員 高橋慶, 正会員 徳重英信
秋田大学 学生員 永須亘, 学生員 梅原善隆

1 はじめに

天然ゼオライトは微細な細孔構造を有しており、その細孔を利用した水質浄化やイオン交換機能など様々な性能を発揮する材料である。著者らは既往の研究¹⁾で天然ゼオライトを混和したポーラスコンクリートの凍結融解環境下での内部残留ひずみの抑制効果の挙動を明らかにし、天然ゼオライト粗骨材が凍結融解作用時の変形挙動を抑制する可能性を示唆した。本研究ではセメントモルタルに骨材あるいは混和材料として天然ゼオライトを用いた場合の凍害劣化挙動を明らかにすることを目的とし、実験的検討を行ったものである。天然ゼオライトの細孔構造はコンクリート中のエントレインドエアと同様に未凍結水の移動に伴う水圧の抑制に対して有効であることも考えられ、AE 剤使用との比較からもその可能性について検討した。

2 実験概要

2.1 使用材料, 配合および供試体

セメントは普通ポルトランドセメント(C:密度 3.15g/cm^3)、細骨材には表1に示す天然ゼオライト、および川砂を用いた。また混和材としてはゼオライト粉末(Z粉末)を用い、混和剤にナフタレンスルホン酸系の高性能減水剤(SP)、天然樹脂酸塩のAE剤(AE)を使用した。配合は表2に示すとおりであり、水セメント比を50%と一定とし、細骨材の種類、AE剤の有無、Z粉末混和率を変化させ9種類のモルタル供試体を作製した。供試体の寸法は図1に示す $\phi 150 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体である。養生は水中で行い、スケーリング供試体は材齢14日、ひずみ供試体は材齢28日で測定を行った。

表1 使用骨材の物理的性質

骨材	粒径 (mm)	密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	産地
ゼオライト(Z)	1.2~2.5	1.92	19.5	秋田県能代市二ツ井
ゼオライト粉末(Z粉末)	~0.08	2.22	19.7	
川砂	0.15~2.5	2.69	0.73	北海道日高郡静内

表2 モルタルの配合

供試体名	骨材	Z粉末混和率 (%)	W/B (%)	単位数 (kg/m^3)			AE (kg/m^3)	SP (kg/m^3)	目標空気量 (%)	SP添加率 (%)	AE剤添加率 (%)		
				W	C	Z粉末						S	
ZCM-0-nAE	ゼオライト	0	50.0	261	522	0	1081	13.1	1.0	2.5	0.02		
ZCM-15-nAE		15			444	56		8.9					
ZCM-30-nAE		30			365	111		12.8					
CM-0-AE	川砂	0			50.0	261	522	0	1514	0.0	1.0	2.0	0.02
CM-15-AE		15					444	56		4.4			
CM-30-AE		30					365	111		7.3			
CM-0-AE	0	522					0	1381	0.10	0.0	0.0	0.0	0.02
CM-15-AE	15	444					56		0.29	2.7	6.0	0.6	0.055
CM-30-AE	30	365					111		0.42	5.5	1.5	0.08	

2.2 スケーリング試験および内部ひずみ

スケーリング試験はASTM C 672 に準じ、凍結融解7サイクルごとに供試体の試験面をブラシでこすり、剥がれ落ちたかけらをろ過乾燥させ、かけらの質量を測定した。内部ひずみ測定は、RILEMのCIF試験に準じて行い、カーソルタイプの埋め込み式ひずみゲージを用いて試験中にデータロガーにて自動測定を行った。その際、供試体内部温度も自動測定した。また、凍結融解の温度環境はスケーリング試験、内部ひずみ共に $-20^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ を1サイクル/日とした。

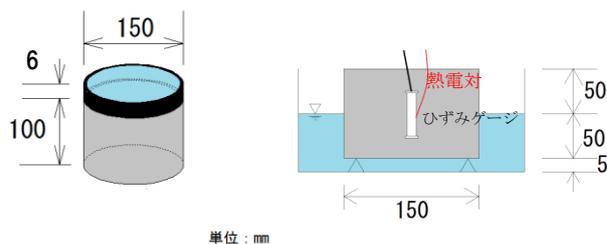


図1 供試体寸法 (左: スケーリング, 右: ひずみ)

3 実験結果および考察

3.1 スケーリング量

スケーリング量の測定結果を図2に示す。ゼオライトを骨材に用いたモルタル(ZCM-0-nAE)は、50サイクルで 100g/m^2 程度のスケーリング量を示した。これは、川砂を骨材に用いたモルタル(CM)より若干多いスケーリング量を示した。キーワード: 天然ゼオライト, 凍結融解, スケーリング, ひずみ, エントレインドエア

ーリング量であったが激しい劣化などは認められなかった。しかし、Z 粉末を 15%(ZCM-15-nAE)または 30%(ZCM-30-nAE)混和させると、28 サイクル前後でゼオライト骨材が剥離し、スケーリング量が多くなる傾向を示した。さらに ZCM-15-nAE では 35 サイクル前後で供試体内部にひび割れが入り破壊に至ったため測定を終了した。これは Z 粉末の混和に伴って単位セメント量が減少したこと、エントラップトエアが多く混入していることが要因と考えられる。一方、川砂を骨材に用いたモルタル(CM)は、50 サイクルでは Z 粉末混和率の変化、AE 剤の有無に関わらずスケーリング量はほとんど変わらなかった。

3.2 内部ひずみ

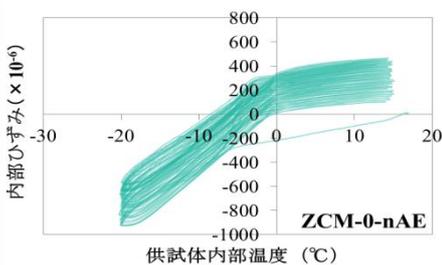


図3 ZCM-0-nAE 内部ひずみ

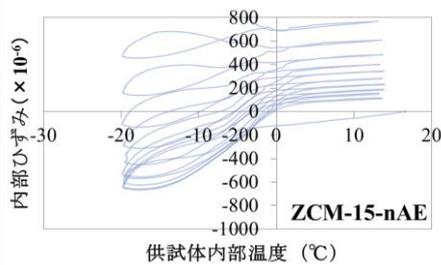


図4 ZCM-15-nAE 内部ひずみ

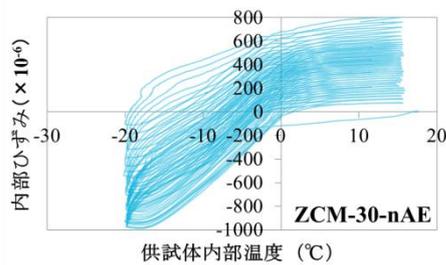


図5 ZCM-30-nAE 内部ひずみ

35 サイクルの内部ひずみの測定結果を図3～7に示す。ZCM-0-nAE については 1300×10^{-6} 程度と膨張・収縮が大きいけれどもひずみの蓄積がみられなかった。ZCM-30-nAE も 1800×10^{-6} 程度と膨張・収縮が大きいけれども若干のひずみの蓄積しかみられなかった。ZCM-15-nAE は 10 サイクル前後から膨張方向にひずみが蓄積されていることが顕著となる結果となりスケーリング試験の際に供試体が破壊に至っていることから低い凍結融解抵抗性を示した。また、この結果からスケーリング量と内部ひずみは凍結融解抵抗性に関する指標として相関関係にあると考えられる。

一方、CM に関しては 500×10^{-6} 程度の膨張・収縮であり、Z 粉末混和率の変化、AE 剤の有無に関わらずひずみの蓄積がほとんどみられなかった。また、氷の線膨張係数は 500×10^{-6} であることから、ひずみの膨張・収縮と関係していると考えられる。

4 まとめ

天然ゼオライト混和モルタルは、Z 粉末混和率の上昇に伴ってスケーリング量が多くなる傾向を示した。ZCM-0-nAE に関しては、川砂モルタルとほぼ同程度のスケーリング量であった。また天然ゼオライト混和モルタルは凍結融解作用時に膨張・収縮が大きくなる傾向を示したが、ZCM-0-nAE や ZCM-30-nAE の内部ひずみの蓄積は多くは認められず凍結融解抵抗性を有する可能性が示唆された。

参考文献 1)徳重ほか：凍結融解を受ける天然ゼオライトを用いたポーラスコンクリートのスケーリングと変形挙動，セメント・コンクリート論文集，Vol.67，pp.434-440(2014)

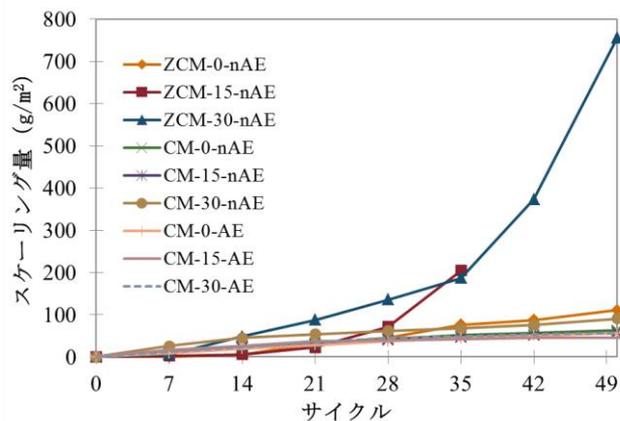


図2 スケーリング量

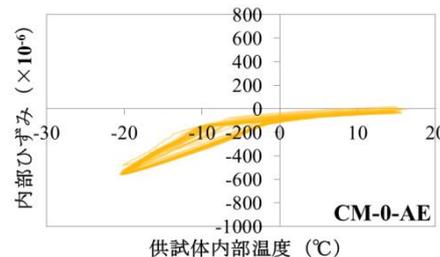


図6 CM-0-AE 内部ひずみ

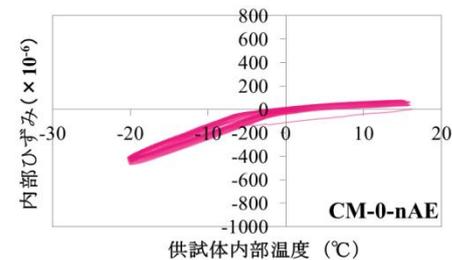


図7 CM-0-nAE 内部ひずみ