

骨材にシリコマンガンスラグを用いたコンクリートの熱膨張係数の評価

香川高等専門学校 学生会員 ○近藤 慎也
香川高等専門学校 正会員 林 和彦
香川高等専門学校 正会員 長谷川雄基

1. はじめに

近年、河川砂利・海砂の利用が大きく規制されており、産業副産物の有効利用が注目されている。これまで、シリコマンガンスラグ(以下 MnS)のコンクリート用骨材としての有効利用を目的に、コンクリートの各種性状試験を検討してきた。その結果、力学的性状は一般的な骨材と比較して遜色ないことが示されている。一方で、MnS 骨材をコンクリート用細骨材・粗骨材に用いた場合、粗骨材に MnS 骨材を用いたケースのコンクリートの凍結融解抵抗性が劣る実験結果が示されている。ものの、そのメカニズムは明らかにはなっていない。

2. 実験概要

(1) 供試体の概要

本研究では、使用骨材の熱膨張係数に着目し、MnS を細骨材と粗骨材の両方に使用した場合、それぞれ単独で使用した場合のコンクリート、モルタル、骨材(原石等から採取したコア)の熱膨張係数を測定し、その結果から熱膨張係数が凍結融解抵抗性に与える影響を検討する。

MnS 骨材との比較のために安山岩(And)骨材を用いる。細骨材・粗骨材に And 骨材および MnS 骨材の組み合わせを変え、熱電対を埋設したコンクリートおよびモルタル供試体(10×10×40cm)を合計 6 種類×3 体の合計 18 体作製した。また、骨材とモルタルの熱膨張係数の差によって生じる微視的温度応力がコンクリート内部の劣化に影響しているのではないかと考え、それぞれの原石から異方性を考慮して、And は任意の 3 方向(x, y, z)、MnS は精製時の異方性を推定した 2 方向(x, z)からコアを採取した。表-1 に供試体の組み合わせを示し、配合を表-2 に示す。6 配合とも空気量 4.5%±1.5%、W/C=55%を全て一定とし、モルタル除く 4 配合については s/a=45%とした。モルタルの 2 配合については、1m³あたりのモルタル分の配合とした。

表-1 供試体の組み合わせ

区分	供試体名	細骨材	粗骨材
モルタル	A-0	And	-
	M-0	MnS	-
コンクリート	A-A	And	And
	M-A	MnS	And
	A-M	And	MnS
	M-M	MnS	MnS
コア	岩種	採取方向	
	And	x	
		y	
		z	
	MnS	x	
		z	

表-2 実験に使用するコンクリートおよびモルタルの配合

供試体名	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						C(%)	
				W	C	MnS	S	G	MnSG	AE減水剤	AE剤
A-0	55	4.5	42	289	524	0	1223	0	0	0.3	0.003
M-0						1370	0				0.003
A-A						0	741				0.003
M-A						821	0				0.006
A-M						0	741				0.003
M-M						821	0	0	1063		0.003

(2) 熱膨張係数測定方法

熱膨張係数を測定する方法は確立されていないため、コンクリートおよびモルタル、コアの表面の表裏にひずみゲージを貼り、恒温槽を用いて恒温槽内温度とコンクリートおよびモルタルに埋め込んだ熱電対の温度が平衡になるように温度を変化(約 30→50→30℃: 0.333℃/1h)させ、温度変化におけるひずみを測定し、ひずみ-温度のグラフの傾きを熱膨張係数とした。

熱膨張係数を測定する際には、恒温槽内の湿度が低いことによる測定中の乾燥収縮の進行を防ぐために供試体の表面にグリスを塗り、恒温槽内に水を入れた容器(4L)を入れ、恒温槽内の相対湿度が概ね 60%に保たれるようにした。また、供試体の乾燥の程度を把握するために、試験前と試験後の質量を計測した。図-1 に試験状況を示す。



図-1 試験状況

(3) みかけの表面ひずみゲージの補正

恒温槽の温度を変化させ表面ひずみを測定すると、熱膨張/収縮によるひずみ以外にゲージの熱出力等を含む供試体のみかけのひずみが出力される。そこで、熱膨張係数が既知の鋼材(熱膨張係数: 11.8(×10⁻⁶/1℃))を元のみかけのひずみを補正する式を作成して用いることで、コンクリートおよびモルタル、コアのみかけのひずみを補正した。

鋼材の測定においては曲げ等の外力が作用しないように、吊り下げて自由状態にして測定を行った。温度上昇における鋼材のみかけの表面ひずみを 4 回、温度下降では計測の不具合を除いた 3 回測定し、その結果を用いて複数回の 3 次方程式の補正式を作成し、実験値と理論値の残差平方根が 1 番小さくなる補正式を採用した。

キーワード：シリコマンガンスラグ、凍結融解、熱膨張係数

連絡先：〒761-8058 香川県高松市勅使町 355 Tel：087-869-3920

3. 実験結果

(1) コンクリートおよびモルタル供試体の熱膨張係数

表-3 にモルタルおよびコンクリートの熱膨張係数の測定結果を示す。粗骨材を使用することで、ペーストが占める体積割合が減ったためコンクリートの熱膨張係数はモルタルよりも小さくなったと考えられる。

表-3 モルタルおよびコンクリートの熱膨張係数

区分	供試体名	細骨材	粗骨材	ケース	熱膨張係数($10^{-6}/1^{\circ}\text{C}$)			
					温度上昇時	温度下降時	上り・下降の平均	平均
モルタル	A-0	安山岩		1	11.6	12.5	12.1	13.1
				2	12.5	13.3	12.9	
				3	15.8	13.0	14.4	
	M-0	MnS		1	12.8	12.7	12.7	13.5
				2	14.8	14.1	14.4	
				3	14.2	12.6	13.4	
コンクリート	A-A	安山岩	安山岩	1	11.4	11.5	11.4	10.5
				2	10.5	11.0	10.7	
				3	9.7	9.1	9.4	
	M-A	MnS	安山岩	1	9.9	10.1	10.0	10.5
				2	10.5	11.7	11.1	
				3	11.5	9.1	10.3	
	A-M	安山岩	MnS	1	11.4	11.6	11.5	11.4
				2	12.1	11.3	11.7	
				3	12.1	10.2	11.1	
	M-M	MnS	MnS	1	8.9	9.0	9.0	9.1
				2	10.2	10.2	10.2	
				3	8.4	8.0	8.2	

(2) 原石コアの熱膨張係数

各岩石において各方向平均の熱膨張係数に大きな違いはなく、顕著な異方性はみられなかった。MnSの化学成分は、個体差にもよって各成分の割合が異なるが、二酸化珪素(熱膨張係数: $0.5(\times 10^{-6}/1^{\circ}\text{C})$)の割合が、Mn(マンガン)等の金属の割合よりも大きい傾向があるため、And骨材の熱膨張係数と同等の値になると事前に推測した。表-4 に採取したAnd, MnSのコアの熱膨張係数の結果を示す。今回使用したMnSとAndの熱膨張係数の大きさはほぼ同等で、若干MnSが大きかった。

表-4 コアの熱膨張係数

供試体名	方向	ケース	熱膨張係数($10^{-6}/1^{\circ}\text{C}$)				全方向の平均
			温度上昇時	温度下降時	平均	方向の平均	
And	x	1	7.5	6.1	6.8	7.0	7.1
		2	6.1	8.1	7.1		
	y	1	7.7	6.2	6.9	7.2	
		2	6.3	8.7	7.5		
	z	1	7.6	6.2	6.9	7.1	
		2	7.2	7.5	7.4		
MnS	x	1	7.2	7.2	7.2	7.3	
	z	1	7.2	7.5	7.4		

(3) 熱膨張係数と凍結融解抵抗性の関係性

図-2 に凍結融解試験(JIS A 1148:2010)での各サイクルにおける相対動弾性係数の結果を示す。凍結融解抵抗性の指標として、相対動弾性係数の結果を用いて耐久性指数を求めた。図-3 に耐久性指数と熱膨張係数の関係を示す。コンクリートは使用した粗骨材の違いについて、モルタルは、使用した細骨材についてグループに分け着目した。3つのグループから、MnS粗骨材を使用することで耐久性指数が1番大きく減少する。また、同じグループ内で比較すると細骨材にMnS骨材を使用することで耐久性指数が減少する傾向が確認されたが、供試体の熱膨張係数と凍結融解抵抗性の直接的な相関関係は見られなかった。

粗骨材とモルタルの熱膨張係数の差によって生じる微視的温度応力がコンクリート内部の劣化に影響しているのではないかと考え、使用した粗骨材による影響を検討し

た。モルタルとコンクリートの熱膨張係数の差が大きければ拘束作用による影響が大きいため、凍結融解抵抗性が低下しやすいと推測した。そこで、モルタルとコンクリートの耐久性指数と熱膨張係数のそれぞれの差分を求めた。図-4 に粗骨材の影響による耐久性指数の差と熱膨張係数の差の関係を示す。細骨材を共通としたグループの検討においては、グループごとに右肩上がりの傾向となり、熱膨張係数の差が大きくなる(横軸の数値が大きくなる)と耐久性指数が低下する(縦軸の数値が大きくなる)傾向が得られた。しかし、使用した粗骨材による耐久性指数の差の絶対値がグループ毎に異なる理由は説明できておらず、熱膨張係数の差による拘束作用が凍結融解抵抗性への影響要因として大きいかどうかまでは判別できなかった。

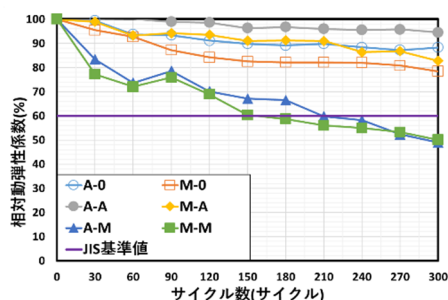


図-2 凍結融解試験結果

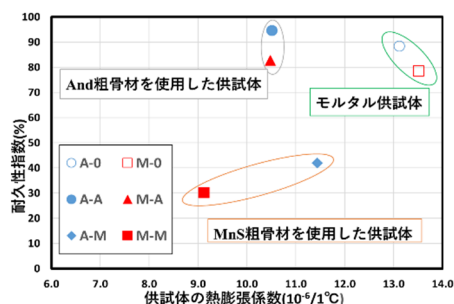


図-3 耐久性指数と熱膨張係数の関係

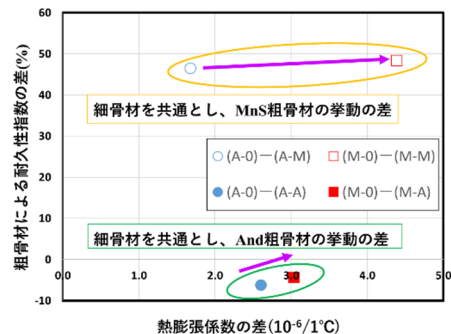


図-4 使用粗骨材による耐久性指数の差と熱膨張係数差の関係

参考文献

- 1) 水越睦視, 林和彦, 鈴木麻理子, 足立優斗: シリコマンガンスラグのコンクリート用細骨材への適用性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1407-1412, 2018
- 2) 近藤慎也, 林和彦: シリコマンガンスラグ骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性, 土木学会四国支部技術研究発表会概要集, 2018.5