

セメントと反応性骨材の適合性

金沢大学大学院 学生員○越後 卓也 (株)ホクコン技術本部 友竹 博一
金沢大学工学部 正会員 久保 善司 金沢大学工学部 正会員 鳥居 和之

1.はじめに

都市ごみ焼却灰より製造したセメント(エコセメント)が開発されている。エコセメントはアルミナ分及び硫黄分を多く含み、アルカリとしてナトリウム分を含有するが、カリウム分を含有しないという特徴がある。しかし、化学成分が異なる各種セメントと反応性骨材とのアルカリシリカ反応における適合性に関しては従来十分に検討されていないのが実状である。

本研究は、普通ポルトランドセメント(OPC)、高炉セメント(BFS)、速硬型エコセメント(HEC)及び普通型エコセメント(NEC)を用いて各種セメントモルタルを作製し、セメントと反応性骨材との適合性をモルタルバー法(JIS A 5308 及びデンマーク法)により検討したものである。

2.実験概要

表 1 使用したセメントの化学成分(%)

(1)反応性骨材及びセメント	Cement	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
本実験で使用した反応性骨材は化学法及びモルタルバー法で「無害でない」と判定された2種類の安山岩砕石である。反応性鉱物として、安山岩砕石 A は火山ガラス及びクリストバライトを含有する。安山岩砕石 B は安山岩砕石 A と同様の反応性鉱物とともに火山ガラスが変質した粘土鉱物(モンモリロナイト)を含有する。4 種類のセメントの化学成分を表 1 に示す。	OPC	20.4	5.21	2.75	64.47	1.34	1.90	0.35	0.41
	BFS	25.2	7.86	1.82	56.98	3.04	2.16	0.28	0.37
	HEC	15.2	10.12	2.86	57.14	1.73	9.45	0.48	0.02
	NEC	16.7	7.99	3.92	60.81	1.93	3.79	0.39	0.02

- (2)モルタルバー法(JIS A 5308)
モルタルの配合は水:セメント:骨材=0.5:1:2 であり、セメントの等価 Na₂O 量を水酸化ナトリウム溶液の添加により 1.2%に調整した。脱型時(打設後 24 時間)の試験体長さを基長とし、温度 40℃、相対湿度 100%の条件下で長さ変化を計測した。
- (3)モルタルバー法(デンマーク法)
モルタルの配合は JIS A 5308 と同様である。脱型時(打設後 24 時間)の試験体長さを基長とし、温度 50℃の飽和 NaCl 溶液に浸漬した条件下で長さ変化を計測した。

3.実験結果

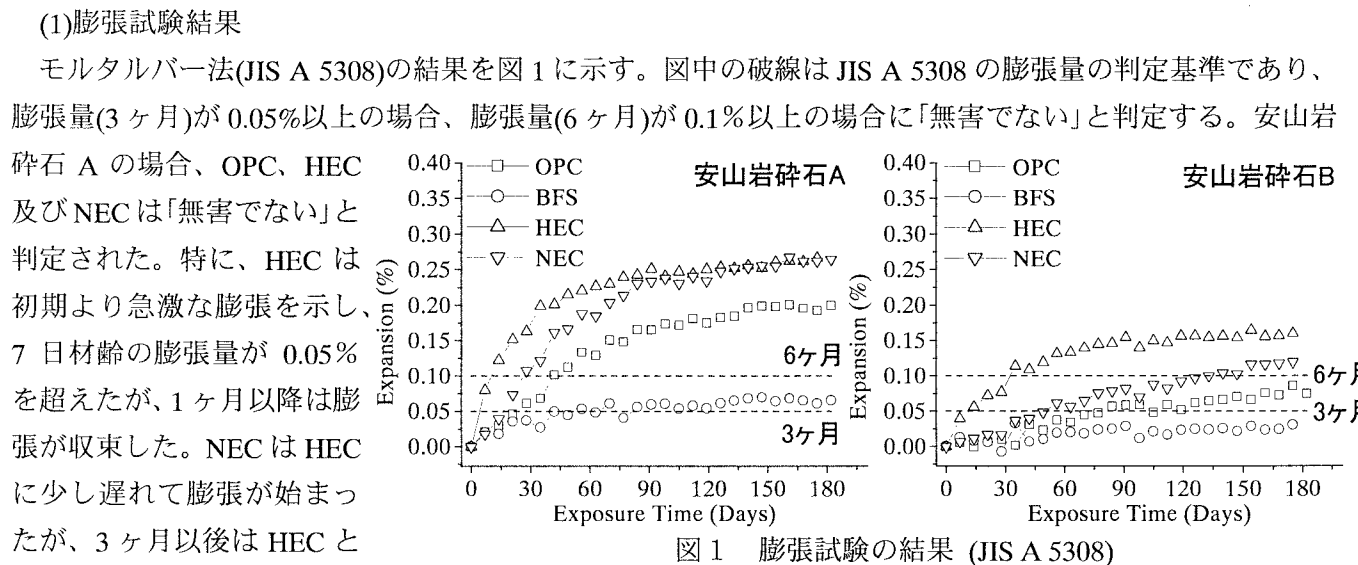


図 1 膨張試験の結果 (JIS A 5308)

同じ膨張量になった。OPC は 3 ヶ月まで一定の速度で膨張し、それ以後収束したが、エコセメントと比較して膨張量が小さくなった。BFS は初期及び長期ともに膨張が抑制された。一方、安山岩碎石 B の場合、同様に OPC、HEC 及び NEC が「無害でない」と判定された。

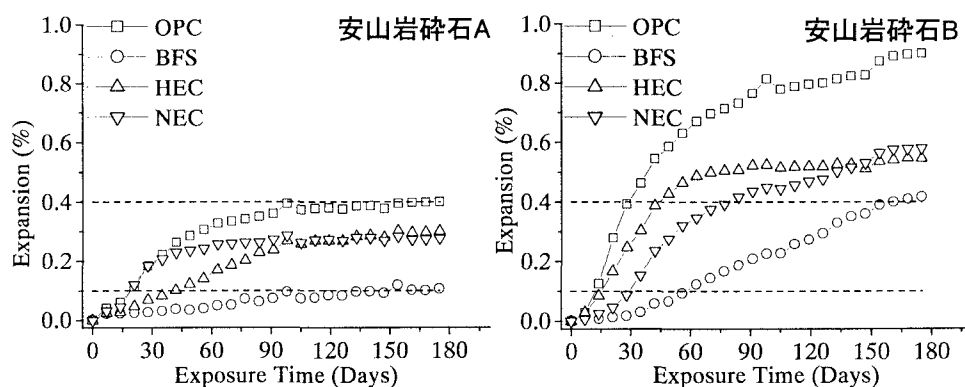


図 2 膨張試験の結果 (デンマーク法)

全体の膨張挙動は安山岩碎石 A と類似しているが、膨張量は半分程度となった。モルタルバー法(デンマーク法)の結果を図 2 に示す。デンマーク法では材齢 91 日における膨張量が 0.1%以下を「無害」、0.1~0.4%を「不確定」、0.4%以上を「有害」と判定する。安山岩碎石 A の場合、OPC、HEC 及び NEC は「不確定」と判定されたが、BFS は「無害」と判定された。OPC は 1 ヶ月以後に膨張が始まり、3 ヶ月で膨張は収束した。HEC は OPC と同様に 1 ヶ月以後に膨張が始まり、2 ヶ月で膨張が収束した。NEC は 3 ヶ月まで一定の速度で膨張し、それ以後収束した。一方、安山岩碎石 B の場合、OPC、HEC 及び NEC が「有害」、BFS も「不確定」と判定された。特に、OPC は 2 週目から急激な膨張を示し、長期においても膨張が継続した。HEC は初期に急激な膨張を示したが、2 ヶ月以降は膨張が収束した。NEC は HEC より少し遅れて膨張し、2 ヶ月以降は膨張が緩やかになった。BFS は 1 ヶ月以降に膨張を開始し、その後も膨張が継続した。JIS A 5308 法では安山岩碎石 A の方が膨張が大きくなり、デンマーク法では安山岩碎石 B の方が膨張が大きくなった。また、試験方法に関して、最大の膨張量を示すセメントの種類が異なり、JIS A 5308 法では HEC が、デンマーク法では OPC が最大の膨張を示した

(2) ASR ゲルの生成状況

膨張がほぼ収束したと考えられる試験体を用いて、SEM-EDXA 及び酢酸ウラニル蛍光法により ASR ゲルの生成状況を観察した。その結果、両試験法ともに OPC、HEC 及び NEC は ASR ゲルが確認されたが、BFS は ASR ゲルの生成が見られなかった。

4. 考察及びまとめ

JIS A 5308 ではエコセメントの膨張量が最大になった。これは、セメントの等価 Na_2O 量を 1.2%とするために、エコセメントにより多くの $\text{Na}(\text{OH})$ が添加されたためである。また、HEC と NEC では添加された $\text{Na}(\text{OH})$ は NEC の方が多いが、HEC は多量のカルシウム・クロロ・アルミネイトを含有しており、その水和反応過程で生成する水酸化物イオンの影響がより大きく現れたものと推察された。一方、デンマーク法では OPC の膨張量が最大になった。OPC と HEC、NEC とでは塩化物イオンの浸透状況に大きな相違が認められないことから、これは主に水酸化カルシウムの生成量の相違によるものと考えられた。

JIS A 5308 では安山岩碎石 A の方が膨張が大きくなり、デンマーク法では安山岩碎石 B の方が膨張が大きくなった原因としては、安山岩碎石 B に含有するモンモリロナイトの影響が考えられた。モンモリロナイトは陽イオン交換容量が非常に大きいことが知られている。すなわち、JIS A 5308 は、添加された $\text{Na}(\text{OH})$ の量が ASR 膨張に大きな影響を及ぼすが、安山岩碎石 B の場合、モンモリロナイトが Na^+ を吸着するため、細孔溶液中の水酸化物イオンの濃度が減少し、膨張が抑制されたものと推察された。一方、デンマーク法では、塩化物イオンの浸透性状とフリーデル氏塩の生成に伴う水酸化物イオンの増大が膨張量に大きな影響を及ぼしたものと推察された。特に、BFS は ASR ゲルが確認されていないにもかかわらず、長期にわたって膨張が継続した原因として、モンモリロナイト自身の吸水膨張の可能性があった。ASR とモンモリロナイトとの複合的な劣化現象については、今後各種分析を実施し、その機構を解明する予定である。