

フライアッシュによる廃棄ガラスモルタルの ASR 膨張抑制効果

金沢大学大学院 学生会員 十二 雅和
金沢大学工学部 フェロー 川村 満紀

1. まえがき

近年、資源の有効利用に関連して、廃棄ガラスビンの有効利用が解決しなければならない重要な問題となっている。このような廃棄ガラスのコンクリート用材料としての有効利用については、これまで廃棄ガラスを微粉碎して、その混和材としての有効利用に関する研究が見られる。廃棄ガラスをコンクリート用の骨材として使用するときには解決しなければならない問題の1つはアルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張である。本研究においては、廃棄ガラスモルタルにおける ASR の特徴、特にガラスに含まれるアルカリの挙動を明らかにするとともに、フライアッシュによる廃棄ガラスモルタルの ASR 膨張抑制の可能性について検討した。

2. 実験概要

- (1) 使用材料: 反応性骨材としてパイレックスガラス(標準ガラス骨材、P ガラス)と廃棄ガラス(G ガラス)、非反応骨材として石灰岩を使用した。表1および表2に化学組成および P ガラスと G ガラスの化学法によるアルカリ反応性に関する結果を示す。骨材の粒度は、0.6~2.5mm となるように調整した。セメントは高アルカリセメント(等価 Na₂O 量 1.06%)を使用し、フライアッシュは分級したものである。
- (2) 配合: モルタルの配合は、セメント: 骨材: 水 = 1: 2: 0.5 であり、反応性骨材の全骨材量に対する置換率は質量百分率で 20%、40%、60%、80%および 100%とした。また、置換率 20%、60%、100%の各 G ガラスモルタルにおいて、セメントに対するフライアッシュの質量置換率は 10%、20%および 30%である。
- (3) 実験方法: モルタル供試体(40×40×160mm)は打設後、24 時間で脱型し、38℃の湿気槽内で養生した。a) 膨張試験: 脱型時の供試体の長さを基長とし、材齢にともなう供試体長さの変化を測定した。b) SEM 像観察および BSE-EDS の組み合わせによる分析: 所定の材齢において、膨張試験に用いたものと同様の供試体から厚さ5mm 程度の薄い板状のモルタル片を切り出し、SEM 観察用試料を作製した。ケロシンと研磨材を用いて試料片の切断面の研磨を行い、研磨面に対して金-パラジウム合金を蒸着して、SEM 像観察および BSE-EDS の組み合わせによる分析を行った。EDS 点分析の対象とした元素は Na、K、Ca、Si、S、Mg、Al、Fe である。

表1ガラスの化学組成

	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cr ₂ O ₃	BaO	B ₂ O ₃
P ガラス	82.6	0.1	4.0	2.3	-	0	0.1	0	-	0.1	10.6
G ガラス	71.9	10.3	13.3	2.0	0.7	1.0	0.2	0.1	0.1	0.1	-

表2 ガラスのアルカリ反応性

	アルカリ濃度減少量 (mmol/l)	溶解シリカ量 (mmol/l)
P ガラス	27	1075
G ガラス	-191	668

3. 実験結果

(1) 膨張挙動

図1および図2は P ガラスおよび G ガラスモルタル供試体の膨張曲線を示したものである。図1より、各ガラス置換率の P ガラスモルタルの膨張速度は約 50 日以降緩やかになり、その後膨張は収束に向かっていることが分かる。また、図1より P ガラスのベシマム量は、80%

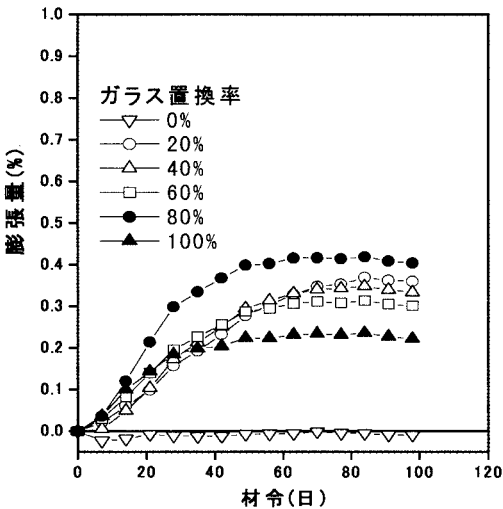


図1 P ガラスモルタルの膨張曲線

であるといえる。一方、図2より、G ガラスモルタルではペシマム量が存在せず、置換率が増加するに従い膨張量が增大していることが分かる。図3は G ガラス置換率 20%、60%、100%のモルタルにおいてフライアッシュ置換率 10%、20%、30%モルタルの膨張挙動を示したものである。この図から、G ガラス 100%のモルタルでは、フライアッシュ置換率が 10%では ASR を完全に抑制することはできないが、20%および 30%置換率のモルタルにおいては、ほぼ完全に ASR による膨張が抑制されているといえる。

(2) SEM 像観察および BSE-EDS の組み合わせによる分析

膨張が収束した材齢 98 日において、P ガラスおよび G ガラス置換率 80%モルタルについて SEM 観察を行なった。G ガラスモルタルにおいて、G ガラス粒子内部に ASR ゲルが生成していることが SEM 像の観察によって確認された(図4)。P ガラス 80%置換モルタルにおいても同様の ASR ゲルが確認された。図5は、このような ASR ゲルの EDS 点分析の結果を相図にプロットしたものである。図5より、P ガラスと G ガラスの間で($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)のモル百分率においてほとんど差がないことが分かる。

4. 考察

図1および2に見られるように、P ガラスと G ガラス間において、膨張挙動に大きな差異が見られた。これは、ガラスからのアルカリ溶出量の違いによるものと考えられる。表1より、アルカリ濃度減少量の値が G ガラスでは負になり、化学法の試験において G ガラスから NaOH 溶液中に多量のアルカリが溶出しているのが分かる。一方、図5に示されるように、G と P ガラスモルタル中において生成される ASR ゲルの($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)のモル百分率にはほとんど差がない。しかし、G ガラスでは P ガラスにくらべてアルカリ溶出量が多いので P ガラスモルタルよりも、G ガラスモルタルにおいて生成される ASR ゲルの量が多いと考えられる。したがって、G ガラスモルタルではガラス置換率が增大するに従って、溶出するアルカリ量も多くなり、それにとまって膨張量も増大し、ペシマム量が存在しなかったと推察される。

5. まとめ

- (1) G ガラスモルタルは、ガラス置換率が増加するに従ってその ASR 膨張量が増大し、P ガラスモルタルよりも活発な膨張挙動を示した。
- (2) P ガラスと G ガラスモルタル間の膨張挙動の相違は、G ガラスから溶出するアルカリ量が、P ガラスから溶出するアルカリ量よりも多いことによるものと考えられる。
- (3) ASR ゲルはガラス骨材の内部のひびわれに生成する。
- (4) セメントの 20%以上をフライアッシュによって置換することによって G ガラスモルタルの膨張を抑制することができる。

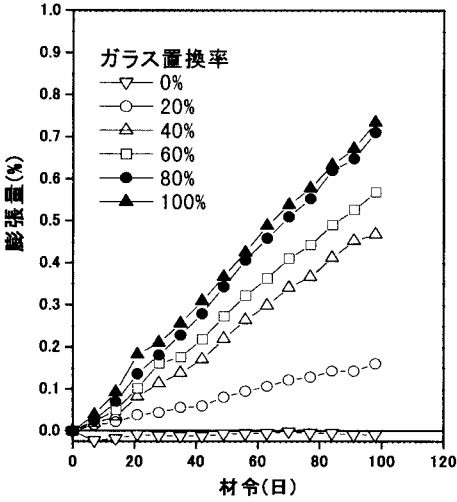


図2 G ガラスモルタルの膨張曲線

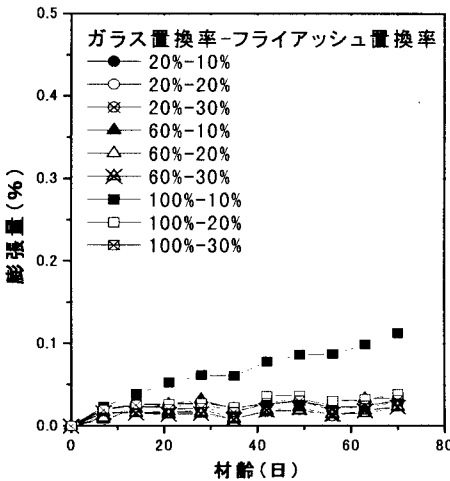


図3 フライアッシュを添加した G ガラスモルタルの膨張曲線

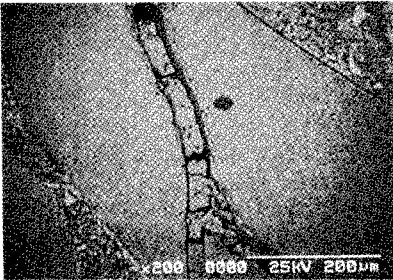


図4 G ガラス粒子内部の ASR ゲルの BSE 像

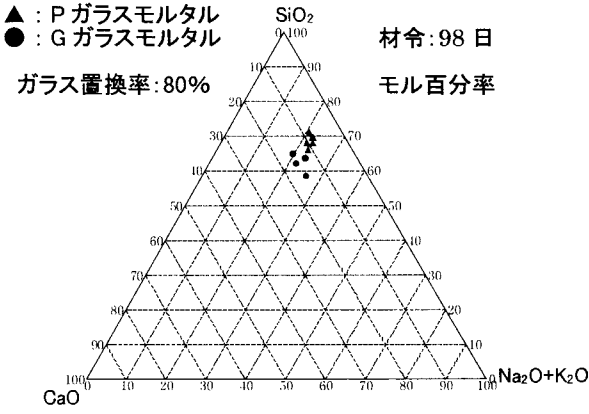


図5 G ガラス粒子中の ASR ゲルの組成