

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 杉政 幸寿
 金沢大学工学部 フェロー 川村 満紀
 石川県工業試験場 中村 静夫

1. まえがき

資源のリサイクル利用に関連して、廃棄ガラス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。これまで微粉碎した廃棄ガラスの混和材としての有効性に関する研究が見られるが、廃棄ガラスをコンクリート用骨材として使用するときは、アルカリシリカ反応 (ASR) によるコンクリートの膨張が解決しなければならない問題となる。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)、非反応性骨材として石灰岩を使用した。表 1 に P ガラスと G ガラスの化学組成および表 2 に、それら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。使用したセメントの等価 Na_2O 量は 1.06% であり、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: a) 膨張試験: 脱型時 (打設後 24 時間) の供試体の長さを基長とし、38 において材齢に伴う供試体長さの変化を測定した。 b) アルカリ溶出試験: P ガラス、G ガラスおよび安山岩 (能登産) (0.6mm~2.5mm) 100g を 38 に保った飽和水酸化カルシウム溶液 200ml に浸漬し、1 日、7 日、28 日および 91 日経過した後、濾液中の Na^+ イオンと K^+ イオン濃度を原子吸光分析法により求めた。 c) 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 5 mm 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、SEM 像観察および BSE-EDS の組み合わせによる ASR ゲルに対する点分析を行った。

表 1 ガラスの化学組成

	SiO_2	CaO	Na_2O	Al_2O_3	MgO	K_2O	Fe_2O_3	SO_3	Cr_2O_3	BaO	B_2O_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	-

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、各ガラス置換率における 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 ガラスのペシマム量は、80% 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増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

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

キーワード: 廃棄ガラス アルカリシリカ反応 アルカリ溶出 フライアッシュ

金沢大学工学部 〒920-8667 石川県金沢市小立野 2-40-20 TEL.076-234-4620 FAX.076-234-4632

ほぼ完全に ASR による膨張が抑制されていることが分かる。

(2) ガラスからのアルカリの溶出：図4はアルカリ溶出試験の結果を示したものである。この図より、GガラスからはPガラスや安山岩よりもはるかに多量のアルカリが溶出することが分かる。Pガラスにおいては、3つの骨材の中で最もアルカリの溶出量が少なく、28日以後のアルカリの溶出はほとんど見られない。

(3) 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 観察を行った。G ガラスモルタルにおいては、G ガラス粒子内部に ASR ゲルが生成していることが確認された(図5)。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6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6より、P ガラスと G ガラスモルタル中の ASR ゲルの ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) のモル百分率の間には、ほとんど差がないことが分かる。

4. 考察

図1および図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 ガラスでは負になることおよび、アルカリ溶出試験の結果より、モルタル内部において G ガラスから多量のアルカリが細孔溶液中に溶出していると推察される。一方、図6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 ガラスからのアルカリ溶出量は P ガラスからのそれと比べて非常に多いので、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、それに伴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 ガラスモルタルで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はるかに大きな膨張が発生した。(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 ガラスからのアルカリ溶出量が P ガラスのそれに比べて多いことによるものと考えられる。(3) ASR ゲルはガラス骨材粒子内部のひびわれに生成する。(4) フライアッシュ置換率 20%で G ガラスモルタルの膨張をほとんど完全に抑制することができる。

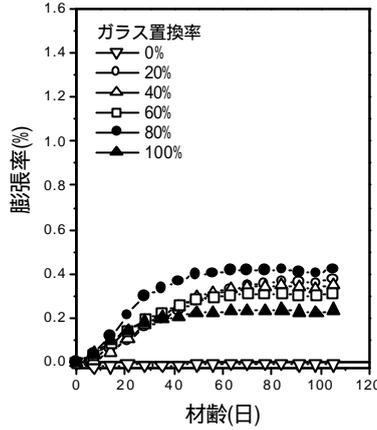


図1 P ガラスモルタルの膨張曲線

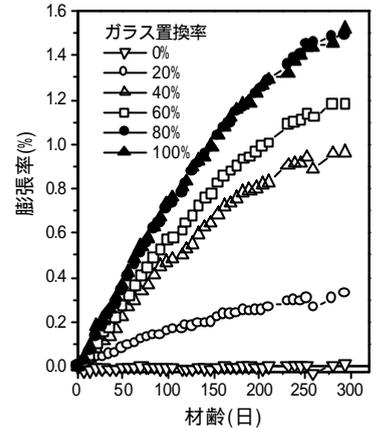


図2 G ガラスモルタルの膨張曲線

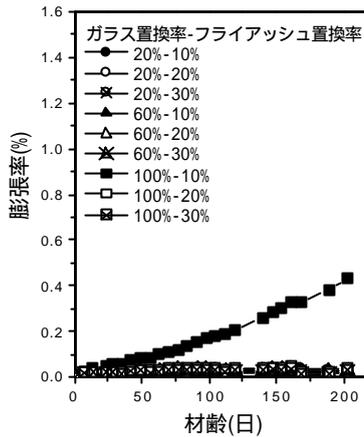


図3 フライアッシュを添加した G ガラスモルタルの膨張曲線

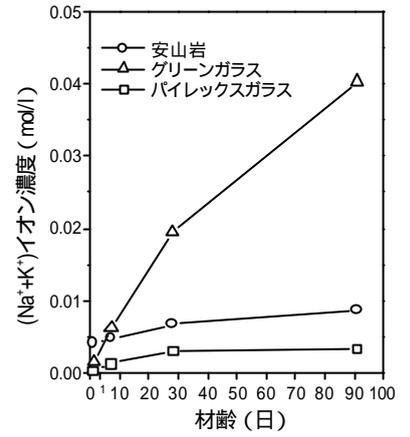


図4 アルカリ溶出試験結果

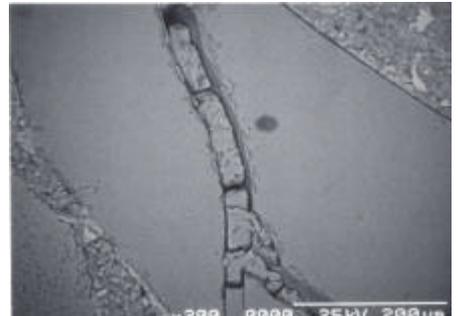


図5 G ガラス粒子内部の ASR ゲルの BSE 像

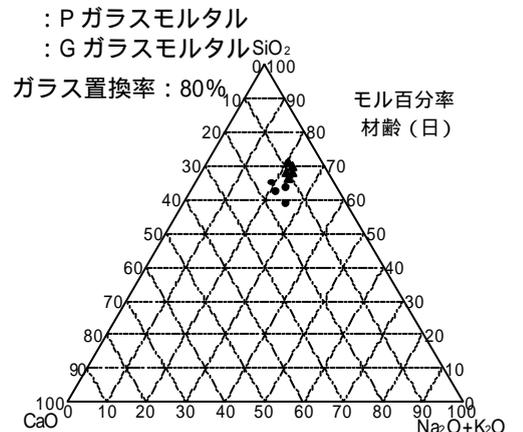


図6 G ガラス粒子中の ASR ゲルの組成