

立命館大学理工学部 正会員 児島孝之 立命館大学理工学部 正会員 高木宣章
立命館大学大学院理工学研究科 学生員○春田健作 立命館大学理工学部 学生員 柳澤美智代

1. はじめに

ガラス粉末をコンクリート用材料として用いる場合、アルカリシリカ反応による膨張の危惧が指摘されている。本研究では JIS A 5308 附属書 8 (モルタルバー法) により、廃ガラスビン粉末(以下ガラス粉末と記す)がアルカリシリカ反応による膨張に及ぼす影響について実験検討した。

2. 実験概要

モルタルバー試験の実験要因を表-1 に示す。ガラス粉末で細骨材を置換したものをシリーズ A、セメントを置換したものをシリーズ B とする。水セメント比は 50% を基本とし、シリーズ A では 30% のものも作製した。セメントの全アルカリは、等価アルカリ量 ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) で、2～3 水準になるよう 1 規定の NaOH 水溶液で調整し、ガラス粉末に含有されているアルカリは無視した。ガラス粉末による細骨材あるいはセメントの置換率は質量百分率で 4～6 水準とした。シリーズ B では、粒径 0.15mm 以下のガラス粉末を使用した。シリーズ A の水セメント比 30% では、高性能 AE 減水剤を用いて、モルタルのフロー値を調整した。この時、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=1.2\%$ の配合では、高性能 AE 減水剤に含まれるアルカリを考慮した。

セメントはセメント協会製のアルカリシリカ反応試験用普通ポルトランドセメント (密度: $3.16\text{g}/\text{cm}^3$, $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}: 0.68\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}: 1.7$) を、細骨材には野洲川産川砂 (表乾密度: $2.61\text{g}/\text{cm}^3$, F.M.: 2.69) を JIS に規定されている粒度に調整して用いた。ガラス粉末 (密度: $2.48\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積: $580\text{cm}^2/\text{g}$) はリサイクル工場で微粉碎されたものを使用した。表-2 にガラス粉末の化学成分を示す。

モルタルの強度試験では、ガラス粉末による細骨材あるいはセメントの置換率を、質量百分率で 5～6 水準とした。水結合材比を 50% とし、結合材細骨材比は 1:2 とした。細骨材のガラス置換率 30, 40% 時には、高性能 AE 減水剤を用いてフロー値を調整した。ガラス粉末はモルタルバー試験時と同じものを使用した。モルタルバー試験における供試体作製と養生方法は JIS A 5308 附属書 8 (モルタルバー法) に準じ、強度試験は JIS R 5201 に準じた。

3. 実験結果および考察

使用したガラス粉末は、JIS A 5308 附属書 7 (化学法) によるアルカリシリカ反応性試験では「無害でない」と判定された。シリーズ A, $W/C=50\%$ 時の膨張率を図-1 に示す。JIS A 5308 附属書 8 に規定されている $W/C=50\%$, $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=1.2\%$ の配合では、ガラス粉末により細骨材を置換しても、膨張率は全供試体で材齢 6 ヶ月における JIS の判定値 0.1% 以下であり、無害であると判定された。表-3 にモルタル 1m^3 当たりのアルカリ量を示す。 $W/C=50\%$, $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=1.2\%$ 、ガラス置換率 40% の配合では、ガラス粉末中のアルカリを考慮すると $74\text{kg}/\text{m}^3$ のアルカリが含有されている。ガラス粉末には多量のアルカリが含有されているものの、アルカリシリカ反応による著しい膨張は観察されず、ガラス粉末中のアルカリは、アルカリシリカ反応を著しく促進しない。アルカリシリカ反応による膨張は、使用骨材の粒子径の大きさに影響され、ベシマム粒度が存在することが報告されている¹⁾。つまり、骨材粒子が非常に大きい時あるいは 0.074mm 以下の粉体状態の時

表-1 モルタルバー試験の実験要因

	シリーズ A		シリーズ B
W/C ^{*1} (%)	30	50	50
C:S ^{*2} (質量比)	1 : 1.5	1 : 2.25	1 : 2.25
$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ (%)	0.68, 1.2	0.68, 1.2, 2.0	0.68, 1.2, 2.0
ガラス粉末 置換率 (%)	0.5, 10, 20	0.10, 20, 30, 40	0.5, 10, 15, 20, 30
フロー値(mm)	160 ~ 200	180 ~ 220	190 ~ 220

*1 シリーズ B では $W/(C+G)$, G : ガラス粉末, S : 細骨材

*2 シリーズ A では $C:(S+G)$, シリーズ B では $(C+G):S$

表-2 ガラス粉末の化学成分

lg.loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Total
0.4	71.3	2.7	0.4	10.3	0.4	0.0	12.48	1.16	99.14

単位: %, $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \times \text{K}_2\text{O} = 13.24\%$

Takayuki KOJIMA, Nobuaki TAKAGI, Kensaku HARUTA, Michiyo YANAGISAWA

は非常に小さく、中間粒度において最大となる。本実験で用いたガラス粉末は、粒子径 0.075 mm 以下を約 40%含んでいる。ガラスの粒子が小さいことも、膨張率が小さい1つの原因と考えられる。

シリーズ A, W/C=30%時の膨張率を図-2 に示す。Na₂O_{eq}=1.2%の配合では、図-1 に示す W/C=50%, Na₂O_{eq}=2.0%の配合より大きな膨張を示した。材齢 6ヶ月で全供試体にひび割れが観察され、膨張率はガラス置換率にかかわらず 0.1~0.13%であった。これらの配合では、ガラス粉末中のアルカリを無視しても約 10kg/m³ と非常に多くのアルカリが含まれている。この値は、アルカリシリカ膨張を抑制するために推薦されている制限値 3kg/m³ の 3 倍以上である。そのため、大きな膨張率を示したものと考えられる。また、原因は不明であるが Na₂O_{eq}=0.68%, GI/(S+GI)=20%の供試体で大きな膨張を示した。富配合の供試体では、長期にわたるモルタルバー試験の検討が必要である。

シリーズ B, W/C=50%時の膨張率を図-3 に示す。シリーズ B では、結合材(セメント+ガラス粉末)質量に対してアルカリ量を Na₂O_{eq} で表す。シリーズ B 供試体の膨張率は、水結合材比が同じシリーズ A の W/C=50%供試体と同様な傾向が観察された。Na₂O_{eq}=1.2%の配合では、材齢 1年における膨張率は 0.05%以下であり、ガラス粉末はセメント置換した場合でも、アルカリシリカ反応による膨張を促進する作用は少ないものと考えられる。

モルタルの圧縮強度試験結果を図-4 に示す。ガラス粉末で細骨材を置換すると強度低下が観察された。これは、ガラス粉末の使用により、空気量が増加したことが原因と考えられる。しかし、置換率の増加に伴う大きな強度低下は認められなかった。置換率の大きい 40%では、同一配合であっても基準モルタルと同程度の強度を示すものがあった。粒径 0.15mm 以下のガラス粉末でセメント置換した場合、ガラス粉末のボラン反応による強度増加は期待できず、置換率の増加に伴いモルタルの強度は直線的に低下した。

4. まとめ

ガラス粉末で細骨材あるいはセメントを置換しても、JIS A 5308 附属書 8 (モルタルバー法)に規定されている促進試験条件下(W/C=50%, Na₂O_{eq}=1.2%)では、アルカリシリカ反応による有害な膨張は観察されなかった。

【参考文献】 1) 榑場,川村,岡田:アルカリ骨材反応に関する基礎的研究,材料,Vol.26,No.290,pp.1078-1084

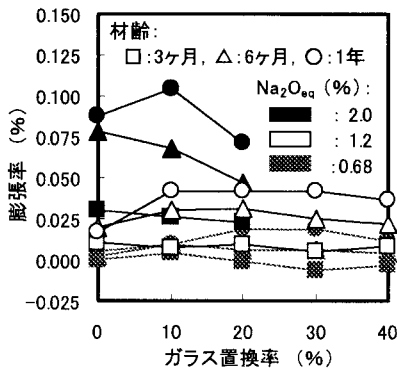


図-1 膨張率とガラス置換率の関係 (シリーズ A, W/C=50%)

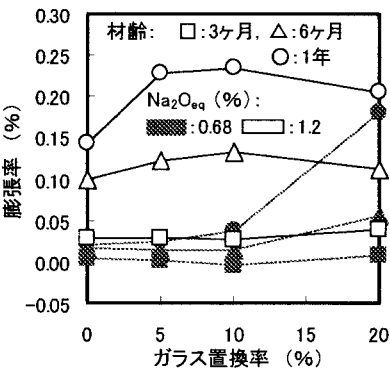


図-2 膨張率とガラス置換率の関係 (シリーズ A, W/C=30%)

表-3 モルタル 1m³当たりのアルカリ量(シリーズ A)

a) [W/C = 50% (Na₂O)_{eq} = 1.2%]

GI (S+GI) (%)	Na ₂ O _{eq} (kg/m ³)				Total C+A+GI
	C	A	C+A	GI Glass	
0	3.9	3.0	6.9	0	6.9
10	3.9	3.0	6.9	17.0	23.8
20	3.9	3.0	6.9	33.9	40.7
30	3.9	3.0	6.9	50.7	57.5
40	3.8	2.9	6.7	67.4	74.1

b) [W/C = 30% (Na₂O)_{eq} = 1.2%]

	C	SP	A	C+A+SP	GI	Total
0	5.4	3.5	0.7	9.5	0	9.5
5	5.4	2.8	1.3	9.5	7.8	17.3
10	5.4	2.4	1.6	9.4	15.6	25.1
20	5.4	1.0	3.1	9.4	31.2	40.7

C:セメント, GI:ガラス粉末,
A:NaOH 水溶液, SP:高性能 AE 減水剤

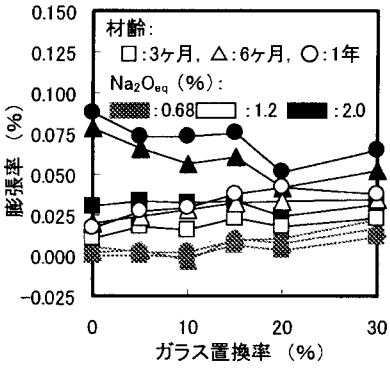


図-3 膨張率とガラス置換率の関係 [シリーズ B, W/(C+GI)=50%]

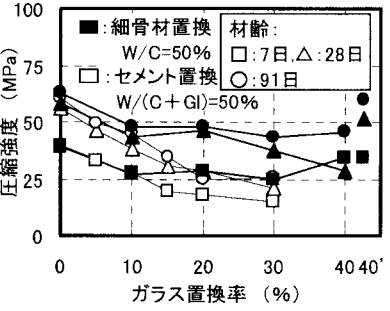


図-4 圧縮強度とガラス置換率の関係