

金沢大学 正会員 ○川村 温紀
同 上 正会員 竹本 邦夫
同 上 正会員 柳場 重正

1. まえがき 最近、フライアッシュ、高炉スラグ、シリカフェームはアルカリ骨材反応防止材として期待されているようである。特に、シリカフェームはコンクリートの細孔溶液(pore solution)中の水酸化アルカリを除去する効果が著しいことがすでに確認され¹⁾、アルカリ・シリカ膨張を抑制する混和材の1つとして注目されている。しかし、シリカフェームによるアルカリ・シリカ膨張の抑制効果は使用するシリカフェームによってかなり異なるようである。本報告は、我国において産出するシリカフェームの1つについて、それがアルカリ・シリカ反応過程、およびアルカリ・シリカ膨張におよぼす影響について検討したものである。

2. 実験概要 (1)使用材料 セメントはN社製の普通ポルトランドセメントであり、その Na_2O 等価百分率は0.76%である。使用した非反応性骨材は豊浦標準砂であり、反応性骨材は石川県赤瀬産オパール岩石およびBeltane オパール岩石(米国産)を1.2~0.6mmの粒径範囲となるように破碎したものである。オパール骨材の比重および吸水率は表-1に示す通りである。シリカフェーム(N.T.社製)の化学組成および各種アルカリ量は、それぞれ表-2および表-3に示す通りである。

表-1 オパールの比重及び吸水率 表-2 シリカフェームの化学組成(%)

骨材	Beltane	赤瀬
比重	2.10	2.29
吸水率(%)	4.93	1.79

SiO_2	91.4
Al_2O_3	0.5
Fe_2O_3	1.1
CaO	0.3
MgO	1.7
MnO	0.1
Na_2O	0.8
K_2O	2.4
Ig loss	2.1

表-3 シリカフェームへアルカリ量(Na_2O 等価百分率)

全アルカリ量(%)	2.39
Available*(%)	0.50
水溶性**(%)	0.36

* ASTM C-311
** ASTM C-114

(2)モルタルの配合 全骨材(標準砂+オパール骨材)/セメント=0.75、水/セメント=0.4、シリカフェーム/セメント=0.05および0.1(いずれも重量比)。モルタル供試体(2.5×2.

5×28.5cmの直方体)はASTM C 227に準じて38℃の湿気槽中に貯蔵され、所定材令においてそれらの長さ変化を測定した。

(3)EDXA分析 膨張試験用モルタルにおいて標準砂を除いた部分に相当するモルタル板(100×100×5mm)を膨張試験用モルタル供試体と同一の条件下で所定材令に達するまで養生した後、EDXA分析に供した。

3. 実験結果および考察 (1)シリカフェームを含有するモルタルの膨張挙動

図-1は各モルタル供試体の材令に伴う膨張ひずみの増加状況を示す。図-1より明らかなように、セメント量の5%に相当するシリカフェームを添加したBeltaneオパールモルタルにおいては、1ヶ月までの初期を除いて、シリカフェームの添加による膨張抑制効果はほとんど現われることはなく、1ヶ月以後における5%のシリカフェームを添加したモルタルの膨張量の増加は顕著であり、4ヶ月後におけるシリカフェーム添加モルタルの膨張量は、無添加モルタルの約2.2倍程度に達する。さらに10%のシリカフェームを添加したBeltane オパールモルタルは、1ヶ月まではほとんど膨張を示さないが、その後の膨張量の増加は著しく、約2ヶ月以後においては、無添加モルタルの膨張量を大きく上回る膨張を示す。一方、赤瀬オパールの膨張におよぼす影響はBeltane オパールモルタルの場合とは、かなり異なったものである。すなわち、赤瀬オパールモルタルでは、

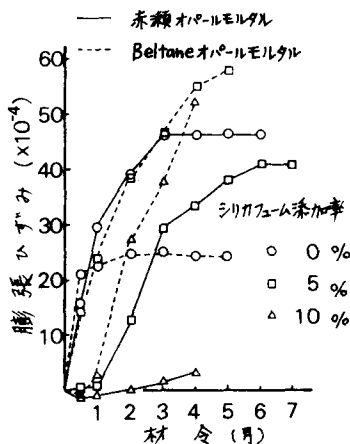


図-1 各種モルタルの膨張曲線

5%のシリカフェームの添加によって膨張の発生は1ヶ月程度遅れるが、その後の膨張速度はかなり大きく、最終の膨張量は無添加モルタルの膨張量に近い値となる。しかし、図-1より赤瀬オパールモルタルに10%のシリカフェームを添加すると少なくとも4ヶ月までは膨張はほとんど生じないことがわかる。

(2)シリカフェームのアルカリ・シリカ反応過程におよぼす影響 シリカフェームがアルカリ・シリカ反応過程におよぼす影響、さらにアルカリ・シリカ膨張を抑制又は助長するメカニズムを明らかにするために各モルタル中に存在するオパール粒子内部へ侵入したアルカリ量およびカルシウム量をEDXA分析によって求めた。図-2および図-3は、それぞれ28日材令のBeltaneオパールモルタルにおけるオパール粒子内部のアルカリおよびカルシウム濃度の分布を示す。この図よりシリカフェームの増加とともにオパール粒子内部へ侵入するアルカリおよびカルシウムの量が減少することになる。このことは、シリカフェームの添加によってモルタルの細孔溶液中の Na^+ 、 K^+ および OH^- イオンが除去されるという結果とも矛盾しない。このようにシリカフェームの添加によってアルカリ・シリカの反応は抑制されていることは確かである。しかし、そのことが膨張の抑制に結びつかないだけでなく、反対にシリカフェームの添加がアルカリ・シリカ膨張を助長することを説明することは本実験結果からは不可能である。一方、赤瀬オパールモルタルにおいてはシリカフェームの添加によってオパール粒子内部のアルカリ量はあまり大きな影響を受けないが、図-4および図-5に示すようにオパール粒子内部へのカルシウムの侵入はシリカフェームの添加によって促進されるようである。赤瀬オパールモルタルにフライアッシュを添加した場合にも同様な結果が得られていることより、このようなBeltaneオパールモルタルと赤瀬オパールモルタルにおけるボツランの添加によるオパール粒子内部の化学組成の変化の相違は、オパール粒子の組織、組成、反応性およびポロシチーの相違に起因すると思われる。

4. 結論 本実験において使用したシリカフェームに関する限り5%程度の少量のシリカフェームの添加は、いずれのオパールを使用したモルタルにおいてもアルカリ・シリカ膨張を助長する。しかし、5%のシリカフェームを添加することによってアルカリ・シリカ反応は抑制される。さらに、シリカフェームによるアルカリ・シリカ膨張の抑制効果は使用する反応性骨材によってかなり異なる。

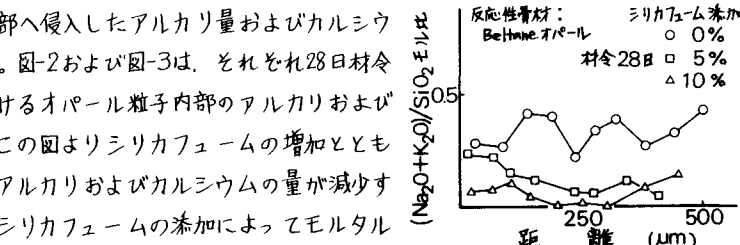


図-2 Beltaneオパール粒子内部の $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{SiO}_2$ モル比 (材令28日)

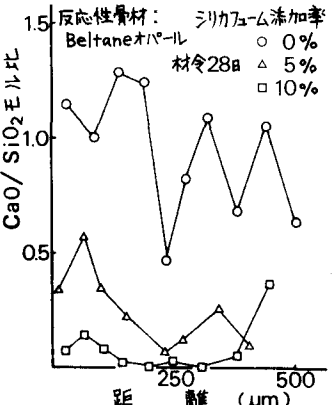


図-3 Beltaneオパール粒子内部の $\text{CaO} / \text{SiO}_2$ モル比 (材令28日)

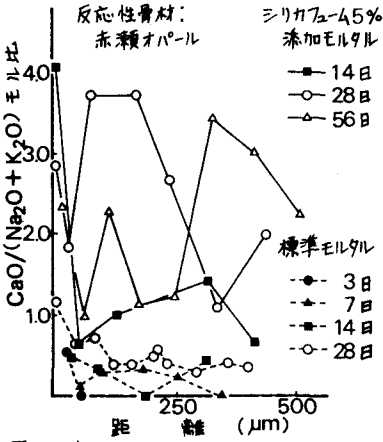


図-4 赤瀬オパール粒子内部の $\text{CaO} / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ モル比 (シリカフェーム添加量5%)

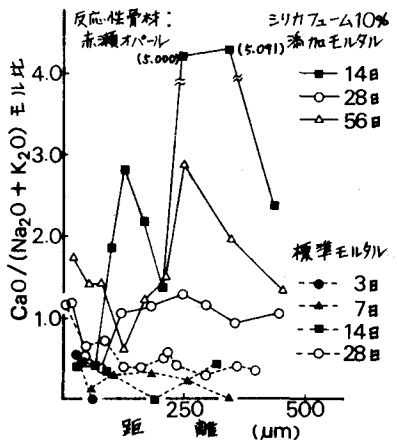


図-5 赤瀬オパール粒子内部の $\text{CaO} / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ モル比 (シリカフェーム添加量10%)

参考文献 1) Diamond, S., J. Amer. Ceram. Soc., vol. 66, May, pp. C82-84, 1983.
2) 川村満紀, 竹本邦夫, 柳場重正, オレコンクリート工学年次講演会講演論文集 pp.37~40, 1983.