

PSV-7 アルカリシリカ反応の膨張挙動と顕微鏡観察による反応メカニズムの考察

愛知工業大学 正会員 森野奎二

愛知工業大学 鈴木教泰

1. はじめに

アルカリシリカ反応（以下、ASRと記す）においては、アルカリや反応性鉱物の種類や含有量が多様であり、また、コンクリートの組織や環境なども変化に富んでいる。このような多様な要因が複合して、膨張・ひびわれといった巨視的な現象が現れるが、そこに至る微視的な過程は複雑多様である。この微視的な多様さがASRの反応メカニズムの解明を困難にしている。この解明のために、純粋の反応性鉱物からなる骨材や岩石骨材に種々の混和材を添加したモルタルを作製し、膨張率の測定と顕微鏡による観察・分析を行った。本報文では、膨張挙動の一部とそれから推論した反応メカニズムについて述べ、その他の結果や顕微鏡観察については当日述べる。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント（ $R_2O:0.65$ のもの $Na_2O:0.19$, $K_2O:0.70\%$, $R_2O:0.70$ のもの $Na_2O:0.26$, $K_2O:0.67\%$ ）を用い、それにNaOHを添加してアルカリ量を Na_2O 等価量で0.65(添加なし)、0.70(添加なし)、0.8~2.0%とした。混和材には、高炉水砕スラグ粉末(SG)、フライアッシュ(Fa, Fb)、シリカフューム(SF)、か焼粘土、また、通常混和材としては用いない反応性岩石（チャート及び安山岩）石粉、粘土鉱物（モンモリロナイト、セピオライト、バーミキュライト）などを用いた。通常の混和材はセメントの内割とし、置換によるセメントの減少に伴うアルカリ量の補正は、NaOHの添加で行った。なお、この際、混和材から溶出するアルカリ量は無視した。石粉や粘土の添加量は、骨材重量の5、10%を外割とした。使用骨材は、シリカ鉱物（鹿児島県産、オパール、クリストパライト、トリジマイトが混在した鉱物）、パイレックスガラス（岩城硝子製、No.7740）、チャート（岐阜及び愛知県産）、安山岩（香川県産）及び珪砂（愛知県産、非反応性骨材）である。化学法およびモルタルバー法は、JIS A 5308の試験方法に準拠した。

3. 実験結果および考察

3.1 シリカ鉱物骨材とシリカフュームを用いたモルタルバーの膨張挙動

最も明瞭なアルカリ-反応性シリカの関係が得られた材令24ヵ月の結果について述べる。図1~図3は、反応性の高いシリカ鉱物だけからなる骨材を非反応性骨材（珪砂）95~85%の中に5~15%加え、混和材にシリカフューム(SF)を5~20%添加した結果である。図1はアルカリ量1.0%(Na_2O 等価量)の結果であるが、シリカ鉱物5%以下にペシマム量があり、10,15%では殆ど膨張は見られない。シリカ鉱物5%ではSFの増加とともに膨張が減少している。シリカに対してアルカリが不足している状態のところへSFを添加したことにより、すべてのSFが過剰なシリカ分として作用したとみなすことができる。

図2は、アルカリ量を2.0%にしたもので、ペシマム量が10%へシフトしている。図のシリカ鉱物5%では、SFの添加で膨張が増大しており、SFがシリカ分の不足を補うように作用している。シリカ鉱物10%でもシリカ分が不足しており、SF15%の添加まで膨張が増加する、が、SF20%では膨張が減少しており、シリカ分が過剰になったことを示している。シリカ鉱物15%では、図1と同様SFの添加によって膨張が減少しており、シリカ鉱物のみでシリカ分が過剰となったことを意味している。以上はSFを反応性成分として扱ったが、抑制材という観点からみるならば、その効果が現れるのはアルカリ量に対して反応性鉱物量プラスSFの和が過剰になったときであるといえる。なお、これらの結果は図3の膨張の経時変化からわかるように、材令6ヵ月では判断が困難で、材令15ヵ月以上を経過して明瞭になっている。図3の最大膨張を示すSF10%では、材令30ヵ月でも膨張が増加傾向にある。このような最大膨張を示すシリカ・アルカリ比

が存在するためにペシマム現象が起こるとみなすことができる。なお、骨材を安山岩に替え(図4)、またチャート質骨材にスラグやフライアッシュを用いるなど骨材や混和材を替えた場合(図5)でも上記と同じことがいえる。

3. 2 反応メカニズムの考察

上記の結果と既往の説を参考にして、反応メカニズムについて次のように解釈してみた。即ち、アルカリシリカ反応では、 SiO_4 四面体が水酸化アルカリにより切断され、 Si-O-H が生成され、さらに余分の水酸化アルカリ(例えば、 NaOH)があると、 H の位置に Na が付き、珪酸塩ゲルが生成する。 SiO_4 四面体の Si と4個の O が全部切断されるとゲルができ、4個の内的一部分だけが切断されても、ゲルが生成するまでには至らない。反応

性鉱物が多いと、水酸化アルカリは分散され、 SiO_4 四面体の Si-O の一部分にしか供給されなくなる。そのために SiO_4 四面体の所々が切断される程度で四面体の切断が充分には行われなくなり、ゲルができにくくなる。これは反応性シリカ分が多いが故にゲルの生成が少なくなり膨張しないことを意味する。反応性鉱物が多過ぎるために、膨張が少なくなるペシマム現象が生じる理由もここにある。ペシマム量は SiO_4 四面体量とアルカリ量が一致した時であるといえる。また、混和材が抑制材として作用するのは、アルカリを消費する反応性成分(シリカ分)が、アルカリ量よりも過剰になるときであると解釈できる。以上の他に、生成したゲルのシリカとアルカリ量との比率によって生成するゲルの粘性や剛性が異なり膨張量に変化が現れるとされているので、この点をも考慮する必要がある。

4. まとめ

本研究では、ASRのペシマム現象のような複雑な膨張挙動をも単純に説明し得るようなアルカリ量-反応性鉱物量と膨張量との関係が得られ、その結果から反応メカニズムについて推論した。それによると、ASR膨張量を支配するのは、アルカリ量に対する反応性シリカ量の比率であり、膨張が最大になるアルカリ・シリカ比が存在する。

参考文献：森野奎二：資源・素材学会合同秋季大会資料、骨材の利用と評価[B]、pp.13-16、1989

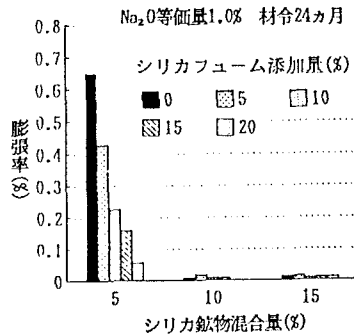


図1 シリカフューム添加の影響

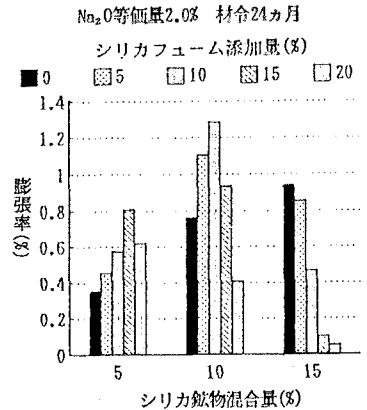


図2 シリカフューム添加の影響

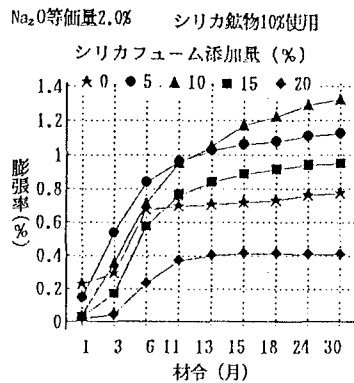


図3 シリカフューム添加モルタルパー膨張の経時変化

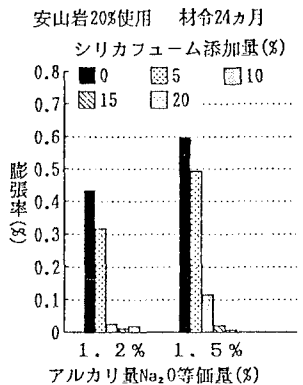


図4 シリカフューム添加の影響

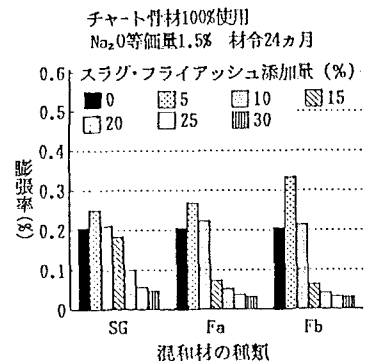


図5 スラグ、フライアッシュ添加の影響