

ポゾラン材料のアルカリ・シリカ反応による膨張抑止効果

金沢大学 正員 川村 満紀 同 正員 竹本 邦夫
金沢大学 正員 柳場 重正 同 学員 林 順三

1. まえがき 最近、我国においても実際のコンクリート構造物にアルカリシリカ反応によるひびわれ発生の被害例が報告されている。一般に高炉スラグ粉末やフライアッシュ等のポゾラン材料はアルカリシリカ反応による膨張を抑止する効果があるといわれている。近年、新しいポゾラン材料としてシリコン金属の製造過程の副生産物であるシリカフュームの利用が欧米で注目されている。本報告は、膨張試験、微小硬度試験及びEDXAによる定量分析によってシリカフュームのアルカリシリカ反応による膨張抑止効果及びその機構について検討したものである。

2. 実験概要 本実験で使用したセメント及び反応性骨材はそれぞれ市販の普通ポルトランドセメント(Na_2O 等価百分率: 0.87%)及び粒度1.2~0.6mmのオパールⅠ(石川県小松市赤瀬産), オパールⅡ(Beltane Opal, 米国産)である。膨張試験用のモルタルの配合はセメント: 骨材 = 1: 0.75(重量)とし水セメント比は0.4である。全骨材量(非反応性骨材として豊浦標準砂を使用)の10%を反応性骨材で置換し、シリカフュームはセメント重量の5%を外割で混入した。使用したシリカフュームは比重2.28で平均径が約0.1 μm と極めて細かい粒子である。モルタル供試体は温度38℃, 湿度100%の蒸気槽内に貯蔵し所定の材令ごとに膨張量の測定を行なった。またモルタル内部の反応性骨材の物理的及び化学的变化を調べるために膨張試験用モルタルと同様の反応性骨材: セメント比及び水セメント比をもち反応性骨材のみを含むモルタルを作成し材令に伴う反応性骨材の微小硬度を測定するとともにEDXAによりNa, K, Ca及びSiの定量分析を行なった。

3. 実験結果及び考察 図1に膨張試験の結果を示す。オパールⅠを使用したモルタルの場合標準モルタル(シリカフュームを含まない)は材令に伴ない膨張量は急速に増加しているが、シリカフュームを混入したモルタルでは材令4週までほとんど膨張していない。しかしシリカフューム混入モルタルは材令5週から膨張量が増加し始めている。またオパールⅡを使用したモルタルの場合標準モルタルでは初期材令ではオパールⅠの場合より急速に膨張が進行するが材令3週以後における膨張量の増加は小さい。しかしシリカフューム混入モルタルではオパールⅠと異なり初期材令より材令に伴ない膨張量の増加は著しく材令4週以後では標準モルタルより膨張ひずみが大きくなっている。図2及び図3はオパールⅠを使用した標準及びシリカフューム混入のモルタル中の反応性骨材粒子の微小硬度の変化を示す。標準モルタルでは7日以後材令に伴ない微小硬度は低下しているが、シリカフューム混入モルタルでは材令4週まで微小硬度の変化は見られない。しかし4週以後では微小硬度は低下し反応が進み骨材が軟化していることがわかる。この軟化開始時期は膨張曲線における膨張開始時期と一致している。図4, 5及び図6, 7は微小硬度測定を行なった反応性骨材粒子内部のEDXAによる定量分析の結果を示す。標準モルタルでは, CaO/SiO_2 モル比と $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ モル比は材令とともに増加しており Na^+ , K^+ 及び Ca^{2+} の各イオンの骨材内部への浸入が進行していることがわかる。しかしシリカフューム混入モルタルでは材令4週まで CaO/SiO_2 モル比と $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ モル比は極めて小さく材令に伴ない

変化も見られないが、材令5週及び6週では反応性骨材内部のアルカリ量及びカルシウム量が急激に増加している。これは上述の膨張試験及び微小硬度試験の結果ともほぼ一致している。即ち反応性骨材内部に Na^+ 、 K^+ 及び Ca^{2+} の各イオンが侵入することによる反応の進行がモルタルの膨張やモルタル中の反応性骨材の軟化をもたらしたもののと思われる。シリカフェームの混入率が5%程度ではペースト中のアルカリイオンや OH^- イオン濃度の低下はアルカリシリカ反応を停止させるに十分でなく材令4週程度までは膨張抑止効果があるがそれ以後の長期材令における膨張は著しい。一方、オパールIより反応性の高いオパールIIにおいては5%程度のシリカフェームの添加による膨張抑止効果はさらに小さい。

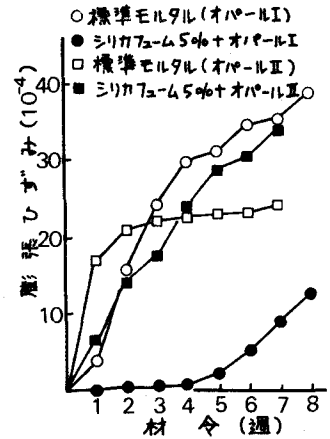


図-1 材令に伴う膨張ひずみの変化

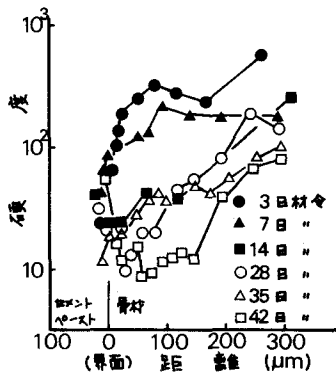


図-2 シリカフェームを混入していないセメントペースト中の反応性骨材の微小硬度

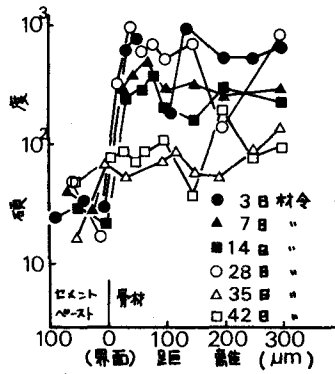


図-3 シリカフェームを混入したセメントペースト中の反応性骨材の微小硬度

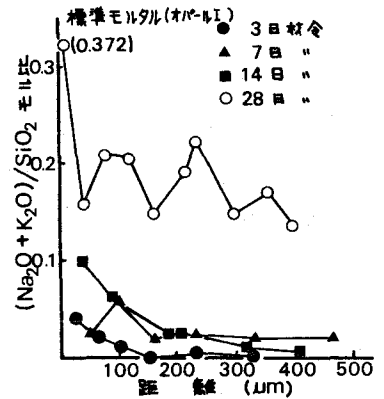


図-4 反応性骨材中の $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ モル比の変化

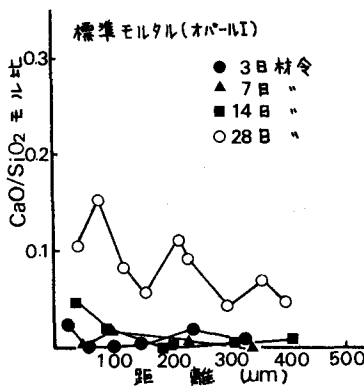


図-5 反応性骨材中の CaO/SiO_2 モル比の変化

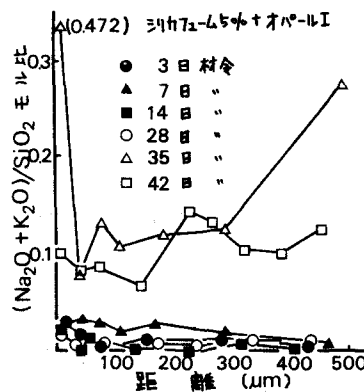


図-6 反応性骨材中の $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ モル比の変化

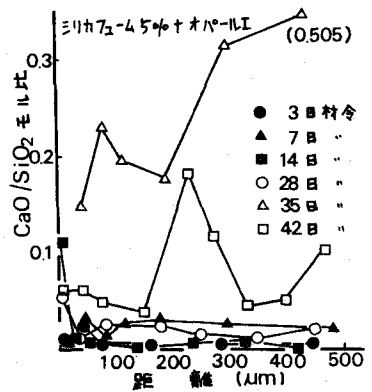


図-7 反応性骨材中の CaO/SiO_2 モル比の変化