

反応性骨材とセメントペーストの界面微細構造

愛知工業大学工学部 高 建明

愛知工業大学工学部 正会員 森野奎二

愛知工業大学工学部 正会員 鈴木教泰

1. まえがき

セメントペースト-骨材界面領域の構造はコンクリートの強度発展に重要な影響を及ぼすことがよく知られている。反応性の骨材では、セメントペースト-骨材の界面において物理作用とともに化学作用も生じ、骨材の界面の性状が複雑である。一般にアルカリ骨材反応が顕在化するのは、6カ月から数年以後であり、実験室で行うモルタルバー、コンクリートバー試験であっても促進試験のような高温貯蔵でなければ1カ月程度の挙動はあまり注目されていない。本研究は反応性骨材とセメントペーストの界面領域が28日程度ではどのようなになっているか、あるいは混和材料の添加によって界面の構造はどのような変化をするかなどについて調べたものである。

2. 実験方法

セメントは普通ポルトランドセメント(Na_2O 当量0.7%)を用い、 NaOH 試薬を添加して全アルカリ量を Na_2O 換算で2.0%とした。混和材料にはシリカフェュームと高炉水砕スラグ粉末を用い、それぞれセメントの内割で5, 10, 15, 20%と40, 60, 80%とした。セメントの置換により減少するアルカリ量は NaOH を添加して補った。骨材はチャートと安山岩を用い、その粒度を5-10mmとした。供試体は40×40×160mm型枠を用い、 $W/C=0.3$ のセメントペースト中に骨材粒子をほぼ等間隔(約20mm)に埋め込み、湿度を十分に保った密閉容器に入れて、40℃あるいは20℃で貯蔵した。所定の材令で供試体を取り出し、走査電子顕微鏡(SEM)、X線マイクロアナライザー(EDXA)およびX線回折分析(XRD)によって、反応性骨材とセメントペーストの界面の状態を観察・分析した。

3. 結果及び観察

(1) 反応性骨材とセメントペーストとの界面の微細構造

アルカリシリカ反応(ASRと記す)を起こす骨材とセメントペーストとの界面の構造は非常に複雑であるが、造岩鉱物の種類や岩石組織の違いを別にして、その表面とセメントペーストとの境界面だけに着目すれば、安山岩もチャートもその界面の微細構造はよく似ていた。材令28日での両骨材の界面の特性をまとめて列記すると次のとおりである。①反応性骨材とセメントペーストの境界面の骨材側に多量のアルカリシリカゲルがみられた(写真-1)。それをEDXAによって分析すると、CaとSiの量がセメントペーストより多い。また、②界面にはASR生成物がみられ、その厚さは約20-40 μm であり、EDXAによると、その生成物は多量のカルシウムが含まれていた。セメントペースト側には写真-2に示すような形態が変化した二次生成物がみられ、その周囲には水酸化カルシウムの薄層が観察された。③骨材周囲のペーストの空隙中に反応生成物が浸透し、界面から約50-800 μm のセメントペースト中に、多量の反応生成物が存在していた(写真-3 <A, B>)。④骨材の内側において骨材の中にマイクロクラックが存在する

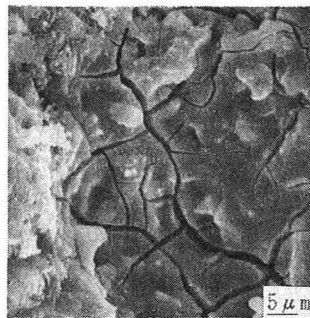


写真-1 反応生成物

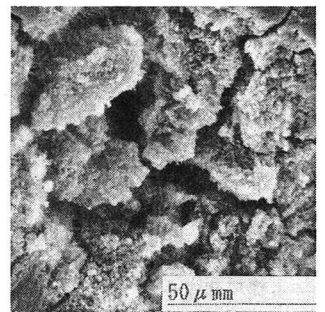


写真-2 反応生成物

場合には、その空隙にASR生成物が堆積している(写真-4(A, B))。写真-4の中のクラックを含む白色状のものはアルカリシリカ反応生成物である(EDXA)。

(2) 混和材を添加した場合の界面の微細構造

混和材を混入した場合の反応性骨材とセメントペーストの界面の状態は次のようである。①チャート、安山岩ともに、5%のシリカフュームを添加しても界面構造の変化は見られない。骨材に付着したペースト中に水酸化カルシウムの結晶が観察された。②10%シリカフューム添加の場合には骨材表面にはASR生成物が見られるが、厚さは非常に薄く、少量の水酸化カルシウムの結晶も見られた。③15%以上のシリカフュームの添加では、骨材表面に反応生成物がほとんど見られなくなり、水酸化カルシウムの結晶も存在しなくなった。シリカフューム添加量とX線回折相対強度との関係を図-1に示す。図では養生温度が40℃の方が養生温度20℃より、水酸化カルシウムが少ない。このことは温度が高くなるほど水酸化カルシウムとシリカフュームとのポゾラン反応が促進されるためであると思われる。

④高炉水砕スラグの使用の場合、40%の混入で、界面においてASR生成物がみられ、水酸化カルシウムの結晶も観察された。スラグ60%と80%の混入では界面にASR生成物がほとんど観察されなくなり、ペースト中にも水酸化カルシウムはほとんど見られない。このことは図-2のXRDの結果とも一致する。アルカリ骨材反応が抑制されているときには、水酸化カルシウムの量が減少していた。この状態は、シリカフュームの15、20%添加の場合の方が高炉水砕スラグ粉末60%より明瞭であった。

4. まとめ

セメントペーストと反応性骨材の界面にはCaとSiが集中しており、界面では骨材、反応生成物、水酸化カルシウムの薄層、セメントペーストの順番であった。アルカリ骨材反応が抑制されているときには、界面の水酸化カルシウムの量が減少していた。

参考文献

- (1) 森野奎二ら：シリカフューム、高炉水砕スラグ粉末のASR膨張抑制効果について。コンクリート工学年次論文報告集 9-1, pp.81-86, 1987
- (2) 森野奎二ら：安山岩およびチャート質骨材のアルカリ反応性。第8回コンクリート工学年次講演会論文集 pp.165-168, 1986

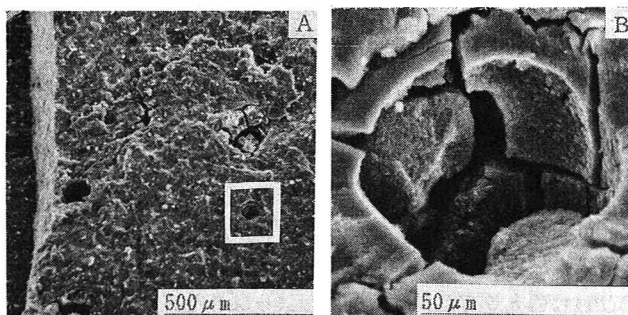


写真-3 骨材周辺の反応生成物

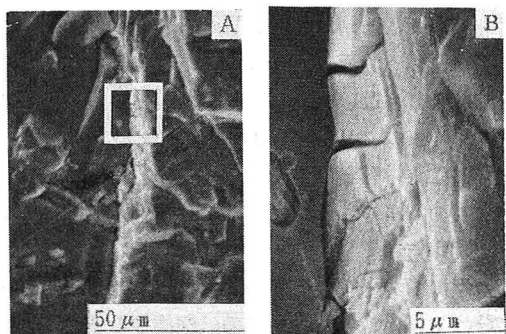


写真-4 骨材中の反応生成物

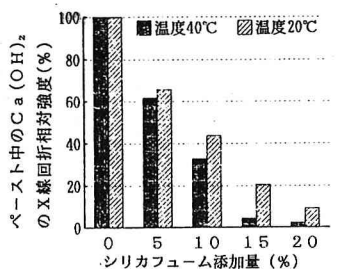


図-1 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の相対含量とシリカフューム添加量の関係

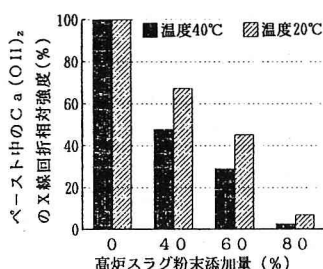


図-2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の相対含量とスラグ添加量の関係