

論 文

[1129] 若材令時の養生がアルカリ・シリカ反応に与える影響

正会員 ○金光 真作（鴻池組技術研究所）

三浦 重義（鴻池組技術研究所）

山本 俊夫（鴻池組技術研究所）

川西 順次（鴻池組技術研究所）

1. まえがき

コンクリートがアルカリ・シリカ反応を起す主な条件としては以下のような3条件が挙げられている。(1) 骨材中における反応性シリカの存在、(2) 限度値以上の水酸化アルカリ量、および(3) 十分な水分の存在、である。一般のコンクリート構造物においてはこれらの条件が揃った場合には概ねアルカリ・シリカ反応が生起するが、モルタルバー等の小さい形状の供試体を用いた実験では3条件を満たしているにも関わらずアルカリ・シリカ反応が発現しない場合もある。例えば、若材令時の養生湿度がアルカリ・シリカ反応を生起させるには不十分な状態（湿度80～90%）であった場合は、その後高湿度の養生方法に変更しても膨張量に変化が認められない結果に終る例をしばしば経験する。これらの種々のモルタルバーの測定結果から見て、アルカリ・シリカ反応の発現には若材令時の養生が大きい影響を与えていると考えられた。

そこで、既報¹⁾において若材令時の養生湿度を(1) アルカリ・シリカ反応が十分発現する湿度、(2) アルカリ・シリカ反応の発現には不十分な湿度、および(3) セメントの水和反応が著しく抑制される湿度、などに設定し火山岩系の骨材を用いたモルタルバーによってアルカリ・シリカ反応への影響を調べた。その結果、アルカリ・シリカ反応は十分な水分があり、しかもセメントの水和反応が顕著に進行している時期に発現するものと推定された。

従って、本実験ではセメントの水和反応と膨張発現の関係を更に詳しく調べると共に、岩石の成因が異なる堆積岩系の骨材についても、既報と同様の実験を行った。

2. 実験方法

モルタルバーの作成および測定方法は A STM C 227 に従って行った。実験に用いた骨材は、火山ガラスを石基中に含む火山岩系骨材、および微細な石英結晶からなる堆積岩系骨材である。化学法で潜在的有害骨材と判定された火山岩系の骨材は非反応性骨材と 1:3 の割合で混合して用いた。骨材の性質を表-1 に、モルタルバーの配合を表-2 に示す。表-3 には養生方法を示した。

含水率は温度 105°C で48時間炉乾燥させて求め、強熱減量は 105°C で 24時間炉乾燥させた後、950°C で 2 時間電気炉中で強熱して求めた。

表-1 骨材の性質

| 骨材番号 | 骨材 | 岩石種別 | 化学法の測定結果 † | | 化学法の判定結果 |
|------|----------|------|------------|-----|----------|
| | | | S c | R c | |
| 1 | 反応性骨材(1) | 火山岩系 | 676 | 195 | 潜在的有害骨材 |
| 2 | 反応性骨材(2) | 堆積岩系 | 58 | 38 | 有害骨材 |
| 3 | 非反応性骨材 | 石英砂 | 29 | 22 | 無害骨材 |

*Sc : 溶解性シリカ量, Rc : アルカリ濃度減少量 (mmol/l)

表-2 モルタルバーの配合

| 配合番号 | 配合比 | | | アルカリ量 (%) | | | | 骨材番号及び 混合率 |
|------|------|------|------|-----------|------|------|------|-------------------|
| | 水 | セメント | 骨材 | 全体 | セメント | NaCl | NaOH | |
| 1 | 0.54 | 1 | 2.25 | 1.2 | 0.86 | 0.34 | — | 1,(25%) : 3,(75%) |
| 2 | 0.41 | 1 | 2.25 | 1.2 | 0.93 | 0.27 | — | " |
| 3 | 0.50 | 1 | 2.25 | 1.2 | 0.85 | 0.12 | 0.23 | " |
| 4 | 0.50 | 1 | 2.25 | 1.2 | 0.68 | 0.12 | 0.40 | " |
| 5 | 0.50 | 1 | 2.25 | 1.5 | 0.85 | 0.12 | 0.53 | 2,(100%) |
| 6 | 0.50 | 1 | 2.25 | 1.5 | 0.68 | 0.12 | 0.70 | " |

3. 実験結果と考察

図-1、2は若材令時の期間、アルカリ・シリカ反応が発現しにくい低温養生室養生を行った後、顕著に反応が進行する養生容器養生を行ったものである。

図-1、2によると、低温養生室養生を行った期間が長くなるに従って最終膨張量が減少している。反応性が大きい火山岩系骨材を用いた図-1の場合では、材令1か月までの低温養生室養生ではアルカリ・シリカ反応による顕著な膨張性が残存していたが、材令3か月までこの養生を行った場合は吸湿によると見られる一時的な膨張が発現したのみである。一方、堆積岩系の骨材を用いた図-2の場合では、材令14日までの低温養生室養生の場合にはアルカリ・シリカ反応によると見られる僅かな膨張の発現が認められるが、それ以上低温養生室養生の期間を長くしたものでは一時的な膨張発現が見られるのみである。

なお、図-2において低温養生室養生の期間が長くなるほど最終膨張量が減少しているが、この現象は非回復性の乾燥収縮が生じたものと考えられる。

表-4に養生容器養生および低温養生室養生の両養生モルタルバーについて、材令と非蒸発性水分の形成量を示す強熱減量（セメントの水和量と考えた）、および含水率との関係を示す。表-4によると、モルタルバーの含水率は養生容器養生の場合が9%付近であるのに対し、低温養生室養生の場合は若干低い7~8%であった。水和の進行は、両養生法とも材令3か月までに大半が完了している。とくに養生容器養生については、材令3か月以降は水和の進行が認められない。しかし、低温養生室養生を行ったモル

表-3 モルタルバーの養生方法

| NO. | 養生名称 | 養生条件 | | 養生方法 |
|-----|-------------|--------------|-------|--|
| | | 温度 | 湿度 | |
| 1 | 高温養生室 養生 | 37.8°C 以上 | 95 % | 37.8°Cの高温養生室内に設置したステンレス製網棚上に供試体を横向きに静置して養生した。 |
| 2 | 低温養生室 養生 | 20.0°C | 80 % | 20.0°Cの低温養生室内に金属製養生カゴを置き、このカゴに供試体を入れ養生した。 |
| 3 | 養生容器 養生 | 37.8°C | 100 % | 高温養生室にASTM C 227で規定されている構造の貯蔵容器を置き、この容器を用いて養生した。 |
| 4 | 乾燥 養生 | 37.8°C 以下 | 30 % | 高温養生室に塩化カルシウム飽和溶液を用いて乾燥状態としたプラスチック製容器を置き、この容器内で養生した。 |

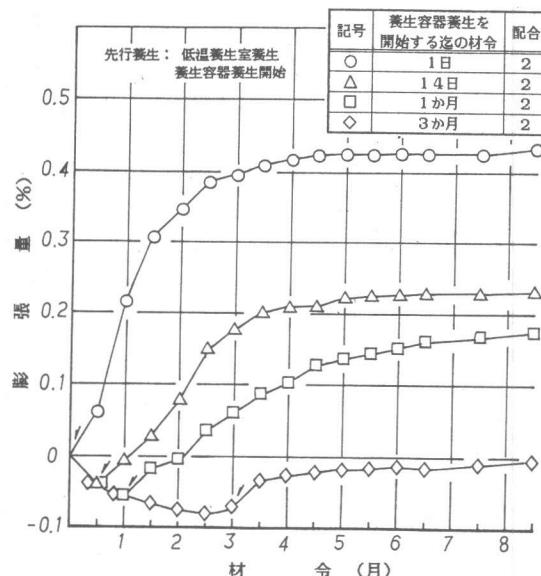


図-1 高温養生開始材令と膨張（火山岩系）

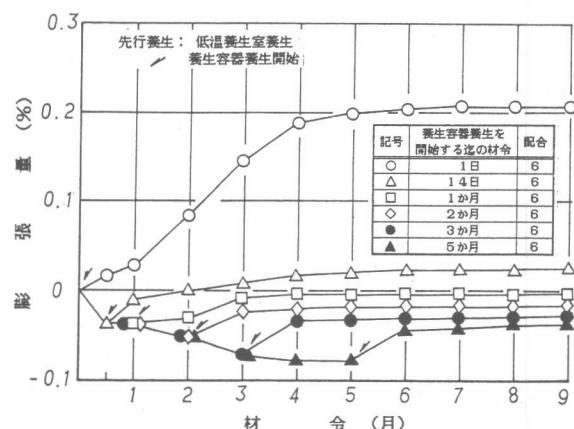


図-2 高温養生開始材令と膨張（堆積岩系）

タルバーは、材令 3か月以後も強熱減量の増加傾向が認められ、かつ含水率が低いにも関わらず養生容器養生の場合より大きい値を示している。低温養生室養生の場合は、養生湿度が80%程度であることから、炭酸化の進行が考えられる。そこで、材令 6か月まで低温養生室で養生を行ったモルタルバーの粉末X線回折試験を行ったところ、低温養生室養生モルタルバーには炭酸カルシウムが生成されていたが、養生容器養生モルタルバーにはこのような化合物は認められなかった。

図-1、2及び表-4 から、アルカリ・シリカ反応が発現する潜在的能力は、セメントの水和反応の進行とともに減少する。

つぎに、モルタルバーの若材令時の期間、セメントの水和反応も抑制させる乾燥養生を行い、その後に養生容器養生を行った結果を図-3、4に示す。この場合はモルタルバーの養生方法を養生容器養生に変更すると同時に火山岩系、堆積岩系の両骨材を使用したモルタルバーとも顕著な膨張が発現した。この膨張は写真-1、2（材令 3か月まで乾燥養生後、養生容器養生へ変更したモルタルバーの材令 9か月時の外観）に見られるように、モルタルバー表面にアルカリ・シリカ反応特有の浸出物が見られ、顕著な反応が発現したことをしている。

表-5 に材令 3か月まで乾燥養生を行った後、養生容器養生へ変更したモルタルバー（火山岩系骨材を使用）の強熱減量および含水率の測定

表-4 高温および低温養生モルタルバーの含水率と強熱減量

| 養生方法 養生容器 養生 | 配合番号 (岩種) | 種別 | 材令 | | | | 骨材、セメント の強熱減量 |
|--------------------|--------------|--------|------|------|------|------|-----------------------|
| | | | 1日 | 1か月 | 3か月 | 6か月 | |
| (火山岩) | 3 | 含水率(%) | — | — | 9.02 | 9.04 | 骨材 0.25% セメント 1.0% |
| | 強熱減量(%) | 3.44 | 5.17 | 5.88 | 5.87 | — | |
| (堆積岩) | 5 | 含水率(%) | — | — | 9.43 | 9.38 | 骨材 0.57% セメント 1.0% |
| | 強熱減量(%) | 4.10 | 5.14 | 5.69 | 5.70 | — | |
| 低温養生 室養生 | 3 | 含水率(%) | — | 7.0 | 7.00 | 6.67 | 骨材 0.25% セメント 1.0% |
| | 強熱減量(%) | 3.44 | 5.58 | 6.39 | 6.50 | — | |
| | 5 | 含水率(%) | — | 7.7 | 7.79 | 7.15 | 骨材 0.57% セメント 1.0% |
| | 強熱減量(%) | 4.10 | 5.63 | 6.45 | 7.01 | — | |

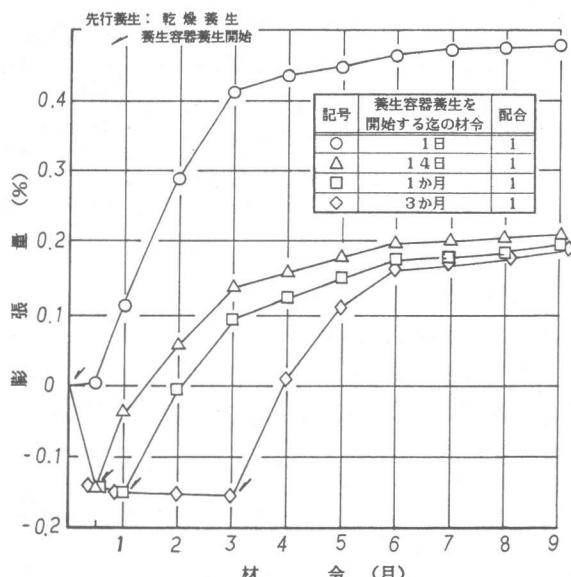


図-3 乾燥養生と膨張（火山岩系）

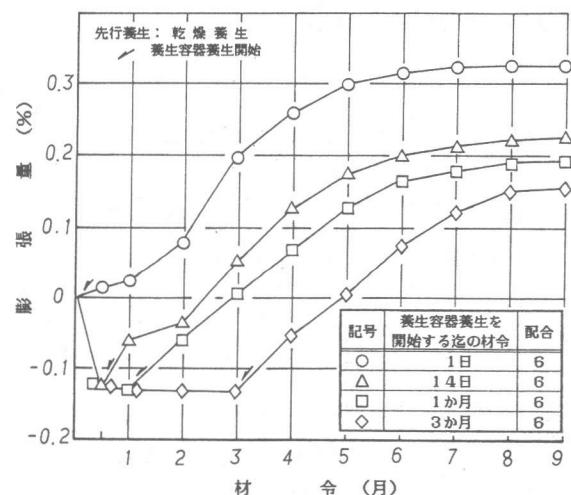


図-4 乾燥養生と膨張（堆積岩系）

結果を示す。表-5 によれば養生法の変更により、変更後の 1か月間で強熱減量が 1%程度も増加し、その後も増加傾向を示すなど、顕著にセメントの水和反応が進行しているのが窺える。

なお、乾燥養生期間中の強熱減量は約 3.7%で、加令による明瞭な増加傾向は認められない。

これらの結果から、アルカリ・シリカ反応の発現はセメントの水和反応が進行する過程で起こると考えられる。

図-5 は、材令14日及び 1か月まで養生容器養生を行った後、高温養生室養生（顕著なアルカリ・シリカ反応が起こるには少し不十分な湿度の養生）に切り替え、材令 4か月までこの養生を行い、再度養生容器養生へ変更したものである。なお、比較ため全期間養生容器養生を行ったものも併示した。実験結果は図-5 に示す通り、養生方法を高

温養生室養生に変更するにともなって膨張発現が停止し、材令 4か月で養生容器養生へ再変更したときは、変更後も膨張量にほとんど変化が見られなかった。

このことから、アルカリ・シリカ反応が継続して発現するには、持続的な高湿養生が必要と見なされる。

4.まとめ

以上の実験結果をまとめると以下のようである。

- (1) アルカリ・シリカ反応の発現には、セメント水和反応が必要である。
- (2) アルカリ・シリカ反応は、高湿環境が持続されている条件下で継続する。

参考文献

- 1) 金光真作、三浦重義、川西順次：セメントの水和反応とアルカリ・シリカ反応の関係、第42回土木学会講演概要集、(第V部門)、1987、pp432～433

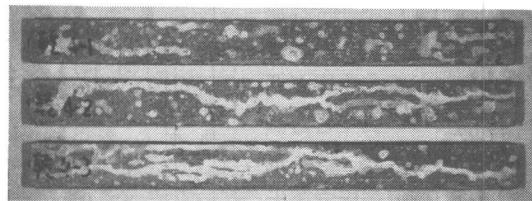


写真-1 モルタルバーの外観（火山岩系）

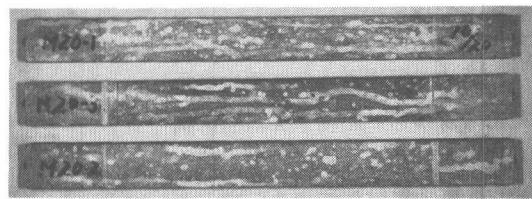


写真-2 モルタルバーの外観（堆積岩系）

表-5 養生法変更モルタルバーの含水率と強熱減量

| 種 別 | 材 令 | | | | | | | | |
|-----------|----------|------|------|------|------------|------|------|------|------|
| | (乾燥養生) | | | | (養生容器養生) | | | | |
| | 1 日 | 14 日 | 1 か月 | 3 か月 | 4 か月 | 5 か月 | 6 か月 | 8 か月 | 9 か月 |
| 含 水 率 (%) | 14.0 | 1.45 | 1.17 | 1.09 | 6.66 | 8.24 | 8.67 | 9.60 | |
| 強熱減量 (%) | 3.75 | 3.73 | 3.68 | 3.77 | 4.76 | 4.98 | 5.49 | 5.44 | |

配合番号：4(火山岩系)； 強熱減量 (セメント：1.0 % 骨材：0.25 %)

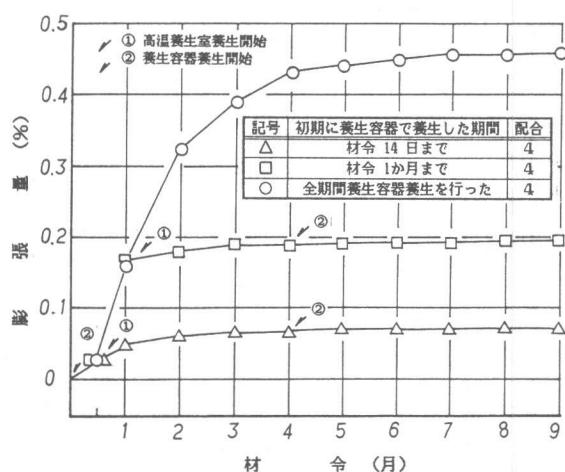


図-5 養生法変更と膨張