

論 文

[1142] アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張性状におよぼす
アルカリの影響

正会員〇森 弥広（千葉工業大学工学部）

正会員 小林一輔（千葉工業大学工学部）

1. はしがき

A C I の 225委員会報告¹⁾では、“アルカリシリカ反応は、コンクリートの細孔中における高濃度の水酸化アルカリ溶液の存在の下で生ずる”と規定している。即ち、コンクリートの細孔溶液の水酸イオン濃度が有害なアルカリシリカ反応を引き起こす決定因子であるとの見解をとっている。このことは取りも直さず、コンクリートの細孔溶液の水酸イオン濃度を上昇させないことが、アルカリシリカ反応の防止対策の基本であることを示している。一方、細孔溶液の水酸イオン濃度は、コンクリートの総アルカリ量を増すと共に高まることが明らかにされている。そこで、我が国ではアルカリシリカ反応を防止する基本的な対策として、コンクリート中の総アルカリ量を規制する方式を採用している。

しかし、最近になって、ある水セメント比に対して配合設計されたコンクリートにおいては、単位アルカリ量を一定値以下に制限しても、高アルカリセメントを使用するとコンクリート中の細孔溶液の濃度は十分に低くならない可能性があることが指摘されており、このために、アルカリシリカ反応の防止対策として、細孔溶液の水酸イオン濃度をある限界値以下にすれば良いとする考え方方に立脚すると、コンクリートの単位アルカリ量を規制するのみでは不十分で、同時に低アルカリセメントを使用する必要があるのではないかとの指摘がある²⁾。

本文は、以上の点を明らかにすることを目的として実施した一連の実験結果を取りまとめたものである。

2. 実験方法

(1) 概要

2種類の反応性骨材を使用し、単位アルカリ量、セメント中のアルカリ、水セメント比および単位セメント量を変化させた7種類の配合のコンクリートについて、膨張量、細孔溶液の組成、圧縮強度、弾性係数などを測定し、上記の諸要因との関係を調べたものである。

(2) 使用材料およびコンクリートの配合

セメントはNa₂O等価換算アルカリ量(R₂O)が0.53% (Na₂O=0.13%・K₂O=0.61%) の普通ポルトランドセメントを使用した。

骨材は表-1に示すような2種類の反応性骨材と、1種類の非反応性骨材を使用した。粗骨材の最大寸法は安山岩及び閃緑岩の場合20mm、チャートの場合15mmとした。また、細骨材は一定の粒度となるように、それぞれ

表-1 使用骨材の特徴

岩石名	産地	地質年代	主な構成鉱物	反応性鉱物(その量)
ガラス質 両輝石安山岩	山形県	第三紀	斜長石・ガラス・普通 輝石・頑火輝石	火山ガラス (40%)
チャート	岐阜県	古生代から 中生代	石英・微小石英	微小石英 (93%)
閃緑岩	群馬県	新第三紀	斜長石・普通角閃石	

の粗骨材をクラッシャーを用いて破碎したものを使用した。

コンクリートの配合は表-2に示すようなものを用いた。表-2において、No.1～No.3の配合は単位セメント量と単位アルカリ量およびR₂O量が同一で水セメント比が異なるもの、No.4～No.6の配合は水セメント比、単位セメント量および単位水量が同一で、R₂O量と単位アルカリ量が異なるもの、そして、No.3、No.5およびNo.7の配合は水セメント比および単位アルカリ量が同一で、単位水量、単位セメント量およ

表-2 コンクリートの配合条件

No	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位セメント量 (kg/m ³)	R ₂ O量 (%)	総アルカリ量 (kg/m ³)
1	60	240	400	1.5	6.0
2	50	200	400	1.5	6.0
3	40	160	400	1.5	6.0
4	40	200	500	1.0	5.0
5	40	200	500	1.2	6.0
6	40	200	500	1.5	7.5
7	40	240	600	1.0	6.0

よりR₂O量が異なるものである。アルカリ強化剤としては、NaOHとKOH(試薬特級)をそれぞれ原セメント中に含まれるNaとKの比で混入し、所定のR₂Oの値になるように調整した。

(3) 供試体および測定

10×10×40cm角柱体を各配合について3本ずつ作製し促進膨張試験に供した。これらは成型後1日で脱型して直ちに基長を測定したのち、直ちに40°C、100%RHの環境下に保存し、所定の期間毎に長さ変化をコンパレータによって測定した。さらに、1材令ごとに10×10×20cm角柱供試体を2本およびΦ5×10cm円柱供試体を1本ずつ、各配合について作製し、それぞれ圧縮強度試験および細孔溶液抽出試験に供した。これらはいずれも促進膨張試験用供試体と同一バッチのコンクリートから作製した。細孔溶液の抽出は高圧抽出法によって行った。OH⁻についてはフェノールフタレン指示薬としてHClを用いた滴定法によって行い、Siの分析は高周波プラズマ発光分光分析装置(ICP)を用いて行った。なお、今回の実験では細孔溶液の組成におよぼすセメントの水和反応の進行によってとりこまれた水分の補正是行っていないが、本研究は反応の過程について検討するものではなく、反応に関与する要因を明らかにしようとするものであるので、このような補正を行わない第一近似的な値を用いても、本研究の目的には支障がないものと考えた。水溶性アルカリの分析はASTM C 114に規定されている方法に従って行った。

3. 実験結果と考察

(1) アルカリ量と水酸イオン濃度

図-1は非反応性の骨材を使用し、単位アルカリ量がすべて同一(6kg/m³)の配合のコンクリートについて、セメントのR₂Oと水酸イオン濃度との関係を示したものである。この図から、単位アルカリ量が同じ配合のコンクリートであっても、これらから抽出した細孔溶液の水酸イオン濃度はセメントのアルカリ量や水セメント比が異なるとかなり異なった値を示すことが分かる。例えば、水セメント比が一定の場合には水酸イオンの濃度はR₂Oの値にはほぼ比例して高くなるが、水セメント比が異なると、このような関係は成立していない。この結果は、細孔溶液の水酸イオン濃度が単位アルカリ量ではなく、コンクリートの配合に左右されることを示唆している。そこで、セメントの水溶性アルカリの、使用水量をベースとした濃度コンクリート1/m³当りの骨材絶対容積の比率、即ち、(水溶性アルカリ量/単位水量)/骨材の絶対容積をとり、ディメンションの1/m³を省略して“有効アルカリ比”とし、これと水酸イオン濃度との関係を示したもののが

図-2である。この場合、水溶性アルカリ量とはセメント中の水溶性アルカリ量と強化した水酸化アルカリ量を合計した量である。この図は、以上のような比率と水酸イオン濃度との間に極めて高い相関が存在することを示している。これは、アルカリシリカ反応に関するアルカリ溶液の濃度（使用水量をベースとした）と骨材量との割合が決定因子になることを示しており、比喩的な表現を借りれば、コンクリートの強度を支配する決定因子が水和反応に関与する水とセメントとの割合であることと対応していると言えよう。

(2) アルカリ量と膨張量の経時変化

図-3および図-4はそれぞれ安山岩ならびにチャートを用いた各種配合のコンクリートの膨張量の経時変化を示したものである（図中の数字は、表-2に示した配合の番号を表わしている）。これらの図から明らかなように、単位アルカリ量が同一（ $6\text{kg}/\text{m}^3$ ）の配合のコンクリートであっても膨張量は相当に異なり、例えば、促進膨張22週の場合を例に取ると、最大のものと最小のものの差は約0.1%に及び、最小のものは単位アルカリ量が $5\text{kg}/\text{m}^3$ の値と重なっていることが分かる。即ち、これらの図は、アルカリシリカ反応による膨張量が、単位アルカリ量やセメントの R_{20} の値によって決まるものではないことを示している。一方、図-5および図-6は有効アルカリ比と膨張量との関係を示したものであるが両者の関係はほぼ1つの曲線で表されることが分かる。さらに、図-7は有効アルカリ比と細孔溶液中のSiの量との関係を示したものであって、この図から、Siの溶出量が有効アルカリ比の値と良い対応を示していることが分かる。

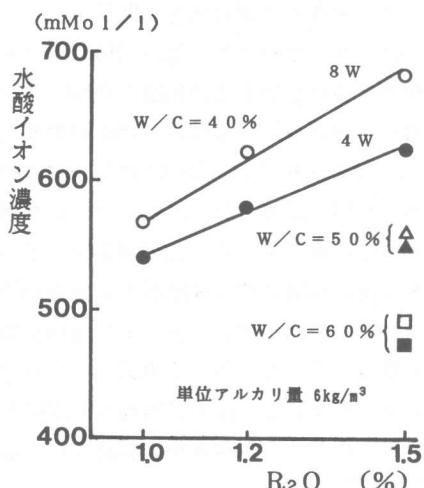


図-1 水酸イオン濃度とアルカリ量の関係

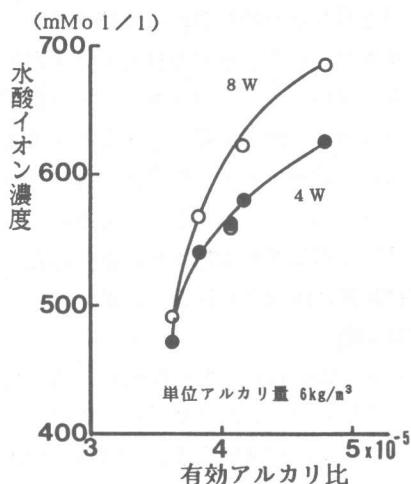


図-2 水酸イオン濃度と有効アルカリ比との関係

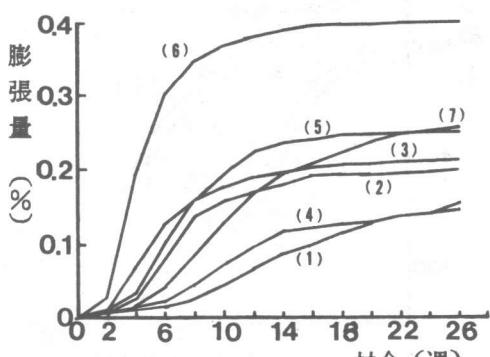


図-3 膨張量の経時変化（安山岩）

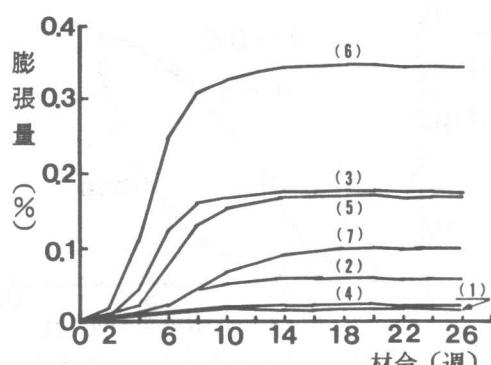


図-4 膨張量の経時変化（チャート）

(3) アルカリ量と強度の関係

図-8は水セメント比が40%のコンクリートについて、有効アルカリ比と圧縮強度との関係を示したものである。図-5および図-6に示した膨張の傾向からも予測できることではあるが、圧縮強度の場合にも有効アルカリ比との良い対応が認められる。さらに、この図において注目されるのは、有効アルカリ比の値が同じであっても、有効アルカリ比の増加に伴う強度低下の割合が安山岩を用いたコンクリートに比べて、チャートを用いたコンクリートの場合に著しいことである。この原因について、それぞれの岩石組織の相違とこれによる細孔溶液成分と反応形態の相違によるものと考えられるが、詳細にわたる検討については今後の検討に委ねたい。

4. 結論

アルカリシリカ反応を引き起こす決定因子として、使用水量と骨材量の積に対する水溶性アルカリ量の比率（有効アルカリ比）を、とりあげたものである。即ち、アルカリシリカ反応によってコンクリートの膨張や強度低下を生ずるか否かは、使用水量ベースと骨材量による希釈効果を考慮した水溶性アルカリの濃度と骨材量の割合によって決まるこことを明らかにしたものである。

最後に本研究を実施する端緒を与えて頂いた金沢大学の川村教授に深謝する次第である。

参考文献

- 1) ACI Committee 225 Report. ACI Jr. Nov.-Dec., 1985
- 2) 川村満紀：アルカリ骨材反応のメカニズムに関する研究討論会基調報告要旨、pp. 3、日本コンクリート工学協会、1989. 6

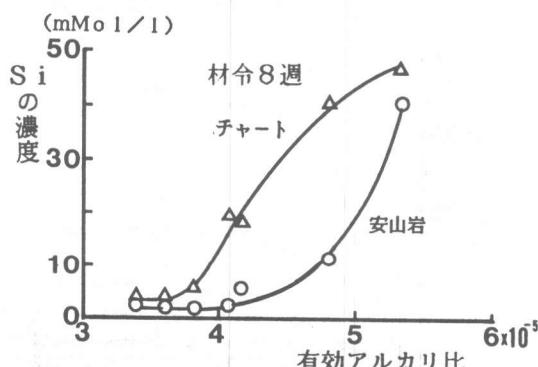


図-7 細孔溶液中のSiの濃度と有効アルカリ比の関係

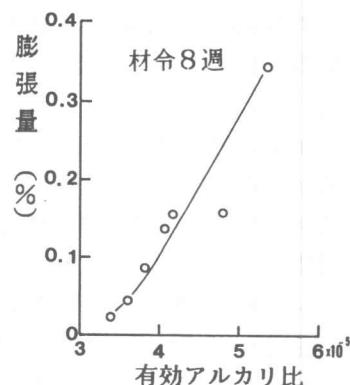


図-5 膨張量と有効アルカリ比の関係(安山岩)

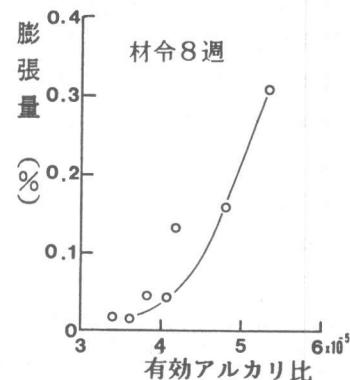


図-6 膨張量と有効アルカリ比の関係(チャート)

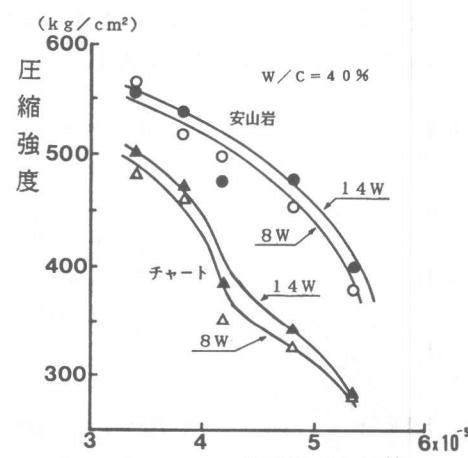


図-8 圧縮強度と有効アルカリ比の関係