

## ASRを生じたコンクリートの圧縮強度性状に関する2,3の考察

SEVERAL CONSIDERATIONS ON COMPRESSIVE STRENGTH PROPERTIES  
OF CONCRETE AFFECTED BY ASR

小林一輔\*・白木亮司\*\*・森 弥広\*\*\*

By Kazusuke KOBAYASHI, Ryoji SHIRAKI and Yahiro MORI

This paper discloses that a fairly substantial part of the reduction in compressive strength of concrete in which alkali-silica reaction has occurred is not due to the alkali-silica reaction itself, but because of such facts that alkali in cement makes the structure of the hardened cement mass porous, that there is a great difference in the tendencies of compressive strength reduction between cases of using glassy andesite and chert as reactive aggregates, and that the ratio of decline in compressive strength becomes very low when expansion due to alkali-silica reaction reaches about 0.2%. Furthermore, it is shown that along with non-crystalline part in the constitution of concrete being increased with progress of reaction, there is an increase in homogeneity of structure, backing up the results obtained through experiments.

Keywords: alkali-silica reaction, compressive strength, alkali content in cement, andesite, chert.

## 1. はしがき

アルカリシリカ反応がコンクリートの諸性状に及ぼす影響に関しては、これまでに数多くの調査研究が行われているが、その大半は膨脹性状に関するものである。アルカリシリカ反応を生じたコンクリートの強度に関するまとまった調査研究は比較的少なく、わが国では富田ら<sup>1)</sup>、海外では Hobbs<sup>2)</sup> および Clark ら<sup>3)</sup>の研究結果が明らかにされているに過ぎない。富田らは、鉄筋による拘束を与えた 30×30×50 cm の母材供試体から採取したコアの圧縮強度と母材供試体の膨脹率との関係を調べた結果、圧縮強度は母材供試体の膨脹率が 0.1% 以上になると急激に減少するが、膨脹率が 0.2% 以上になると圧縮強度の低下はわずかになったと述べている。一方、Hobbs は、反応性骨材としてイギリスの Thames Valley 産の flint を骨材とし、目標強度を 70 MN/m<sup>2</sup> および 90 MN/m<sup>2</sup> という単位セメント量が 500 kg/m<sup>3</sup> 以上の富配合コンクリートを高アルカリセメントを用いて

製作し、14年間にわたって 20°C の湿潤養生を行った供試体の強度試験結果を示している。これによると、アルカリシリカ反応による膨脹は 0.3% に達していたが、圧縮強度および引張強度の低下率は、70 MN/m<sup>2</sup> 配合の場合には、それぞれ 15 および 20% で、90 MN/m<sup>2</sup> 配合の場合には、それぞれ 10 および 15% であったと報告している。アルカリシリカ反応による膨脹が 0.3% 以下の場合における強度低下率に関しては、Oberholster ら<sup>4)</sup>も同様な結果を得ている。また、Clark らは、100 mm の立方供試体と φ100×200 mm 円柱供試体を使用して、アルカリシリカ反応による膨脹が 0.6% の時点における圧縮強度を測定している。反応性骨材としては Hobbs と同様に Thames Valley 産の flint を細骨材のみに使用し、コンクリートの単位アルカリ量は 7 および 9 kg/m<sup>3</sup> に調整している。この場合、圧縮強度はそれぞれの最高値に対して、立方体供試体を用いた場合に 90%、円柱供試体を用いた場合には 75% になったと報告している。これらの実験研究は、いずれもアルカリシリカ反応の進行に伴って、強度がどのように変化するかを追求したものではない。しかし、この点を把握しておくことは構造物の管理上からもきわめて重要なことであると思われる。そこで著者らは、アルカリシリカ反応の進行に伴う圧縮強度の変化の過程を、反応の進行に伴う

\* 正会員 工博 千葉工業大学教授 土木工学科  
(〒275 習志野市津田沼 2-17-1)

\*\* 正会員 理博 東京大学助手 生産技術研究所  
(〒106 港区六本木 7-22-1)

\*\*\* 正会員 工修 千葉工業大学助手 土木工学科  
(〒275 習志野市津田沼 2-17-1)

コンクリート組織の変化の面から追求し、実験によって得られた結果の裏付けを行うことを試みた。さらに、この過程において、反応性骨材の種類による圧縮強度性状の相違についても検討を行った。

## 2. 実験方法

2種類の反応性骨材を使用し、セメント中のアルカリ量、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、圧縮強度・膨張量および細孔溶液中のシリカ量などを測定し、アルカリシリカ反応による圧縮強度の変化について検討を行ったものである。

### (1) 使用材料およびコンクリートの配合

今回は条件を単純化するために細・粗骨材の全量を反応性骨材とした場合について検討した。

セメントは $\text{Na}_2\text{O}$ 等価換算アルカリ量( $\text{R}_2\text{O}$ )が0.53% ( $\text{Na}_2\text{O}=0.13\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=0.61\%$ )の普通ポルトランドセメントを使用した。骨材として表一に示すような2種の反応性骨材と、1種の非反応性骨材を使用した。粗骨材の最大寸法は安山岩および閃緑岩の場合20mm、チャートの場合15mmとした。また、細骨材は一定の

粒度になるように、それぞれ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一に示すようなものを用いた。表一において、No.1~No.3の配合は単位セメント量と総アルカリ量および $\text{R}_2\text{O}$ 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、 $\text{R}_2\text{O}$ 量と総アルカリ量が異なるもの、No.3, No.5およびNo.7の配合は水セメント比および総アルカリ量が同一で、単位水量、単位セメント量および $\text{R}_2\text{O}$ 量が異なるものである。本研究ではアルカリ強化剤として $\text{NaOH}$ と $\text{KOH}$ (試薬特級)をそれぞれ原セメント中に含まれる $\text{Na}$ と $\text{K}$ の比で混入し、所定の $\text{R}_2\text{O}$ の値になるように調整した。このような水酸化アルカリをアルカリ強化剤として使用した理由は以下のとおりである。アルカリシリカ反応を促進させる手段として、通常程度のアルカリを含むセメントにナトリウムやカリウムの水酸化物、硫酸塩、塩化物、場合によっては炭酸塩などが添加される。これらを添加する目的は、コンクリートの細孔溶液中の水酸基イオン濃度を高めることにより、骨材中の反応物質であるシリカの溶解を促進させることであるために、上記の各種のアルカリ強化剤を選択するにあたって、セメントの水和速度やこれに伴う水和生成物への影響を考慮するケースは少ないと考えられる。本論文のようにアルカリがコンクリートの強度に及ぼす影響を同時に取り上げる場合には、この点に関する考慮が必要である。塩化ナトリウムを添加する方法は、確かにコンクリートの強度を低下させる度合を最小限に制限しつつアルカリシリカ反応を起こさせるという目的には沿っているが、実際の構造物において塩化ナトリウムはコンクリートのアルカリを高めている特殊な因子であり、一般的な因子ではない。したがってこの方法は、コンクリートのアルカリを増加させている一般的な因子であるセメント中のアルカリがコンクリートの諸性状に及ぼす影響を評価できないので現実的な方法ではない。セメント中のアルカリは硫酸塩として存在するので、アルカリ強化剤として硫酸塩を添加する方法が考えられる。この方法は、確かに $\text{R}_2\text{O}$ として1%程度のアルカリ量とする場合には問題がないが、これ以上のアルカリ量とする場合にはコンクリート中におけるエトリンジャイトの生成量が多くなり、いわゆる硫酸塩膨張を生じる可能性が増すという欠点がある。本研究では以上のような検討の結果、次善の方法として水酸化アルカリをアルカリ強化剤として採用した。水酸化アルカリの使用が本研究の目的に照らして不適切なものでないことは以下に示す森らの研究<sup>5)</sup>からも明らかである。森らは種々の化合物を通じてアルカリを強化した硬化セメントペーストの圧縮強度試験を実施してい

表一 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	

表二 コンクリートの配合条件

No	水セメント比 (%)	単位水量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	単位セメント量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$\text{R}_2\text{O}$ 量 (%)	総アルカリ量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
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

るが、この結果によれば水酸化ナトリウムとして添加した場合でも、硫酸ナトリウムとして添加した場合でも、アルカリの添加による強度低下では大差のないことが明らかにされている。さらに、森らは、「多量のアルカリが存在する場合に起こる長期強度の低下は、水和速度、あるいは比表面積などからは説明できず、C-S-Hゲル形態と組織の差と、それに伴って生じる細孔構造の変化に起因する」と結論している。すなわち、アルカリ量の多少が問題なのであり、添加アルカリの種類が強度に及ぼす影響は明確ではないということである。

(2) 供試体および測定

10×10×40 cm 角柱供試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後、40°C、100% RHの環境に保存し、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10×10×20 cm 角柱供試体を2本およびφ5×10 cm 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。また、圧縮強度試験に先立ち、動弾性係数測定器を用いて対数減衰率も測定した。対数減衰率は次式によって求めた。

$$\delta = \pi \cdot (f_2 - f_1) / f_0$$

ここに、 $\delta$ ：対数減衰率、 $f_0$ ：共振周波数、 $f_1$ 、 $f_2$ ：共振周波数の両側において $f_0$ の振幅に対する $1/\sqrt{2}$ 振幅時の周波数

細孔溶液の抽出は高圧抽出法によって行った。Na<sup>+</sup>とK<sup>+</sup>の分析は原子吸光法、OH<sup>-</sup>についてはフェノールフタレインを指示薬としてHClに対する直接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、アルカリシリカ反応を起こした反応性骨材粒子の組織観察と組成分析を、Kevex社のEDXを装備した電界放射型走査電子顕微鏡(日立製作所:S-4000)を用いて行った。

3. 実験結果

アルカリ量の多いセメントの使用はコンクリートの圧縮強度を低下させることが明らかにされている<sup>61-9)</sup>。

図-1は水セメント比が40%で単位セメント量が500 kg/m<sup>3</sup>のコンクリートについて、セメント中のアルカリ量と圧縮強度との関係を示したものであるが、やはり、非反応性骨材を用いた場合にも強度の低下を生じている。この原因に関しては、アルカリ量の多いセメントにおけるアリットの水和に関する検討を行った森ら<sup>9)</sup>の検討結果が参考になる。森らは、主としてSEMによる観察結果に基づいて、アルカリの濃縮度の高い液相中では、

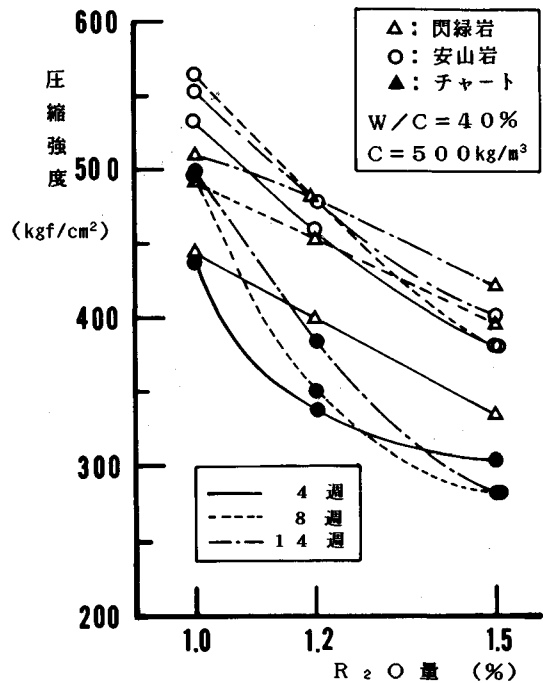


図-1 圧縮強度とアルカリ量の関係

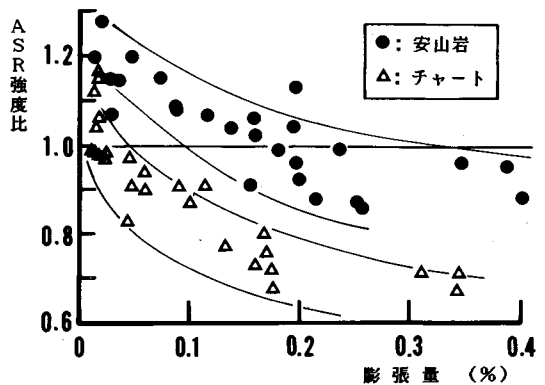


図-2 ASR強度比と膨張量の関係

水和によって生成したC-S-Hゲルが粒子表面にとどまっており、結晶化して液相中へと成長していく比率がきわめて低いこと、さらに硬化体の組織も純水中で水和した場合に比べて粗であること、などを指摘している。このことは、アルカリシリカ反応を生じているコンクリートの強度が、上記のようなセメント中のアルカリがセメント硬化体の組織を多孔質化することによる影響、セメントの水和反応の影響およびアルカリシリカ反応の進行に伴って生じるコンクリート組織の化学的变化による影響などを複合して受けることを意味している。

本研究では、以上の諸要因の中の最後の要因であるア

ルカリシリカ反応による影響を明らかにするために、各材令における非反応性骨材を用いた場合の強度に対する反応性骨材を用いた場合の強度の比率（ASR 強度比）をとり、この値を用いて反応性骨材を用いたコンクリートの圧縮強度性状を検討することにした。図—2 は配合条件やアルカリ量の異なる 2 種の反応性骨材を用いたコンクリートの ASR 強度比と膨張量との関係を示したものである。

この図から明らかなことは、安山岩を用いたコンクリートでは、膨張率の増加とともに ASR 強度比が低下するが、膨張率が約 0.2 % に達すると、それ以上膨張しても強度低下はほとんど生じていない。この場合の ASR 強度比は約 0.95 である。この場合に注目する現象は、膨張率が約 0.15 % 以下の場合の圧縮強度はむしろ非反応性骨材を用いた場合よりも高いことである。一方、チャートを用いたコンクリートでは反応の進行に伴う強度の変化率が安山岩を用いた場合と異なり、同一の膨張量で比較した場合における強度低下が著しいことがわかる。膨張率の増加に伴う ASR 強度比はチャートの場合にも膨張率が約 0.2 % に達するとほぼ一定の ASR 強度比となるが、その値は約 0.65 であって、安山岩の場合に比べると格段に低いことがわかる。

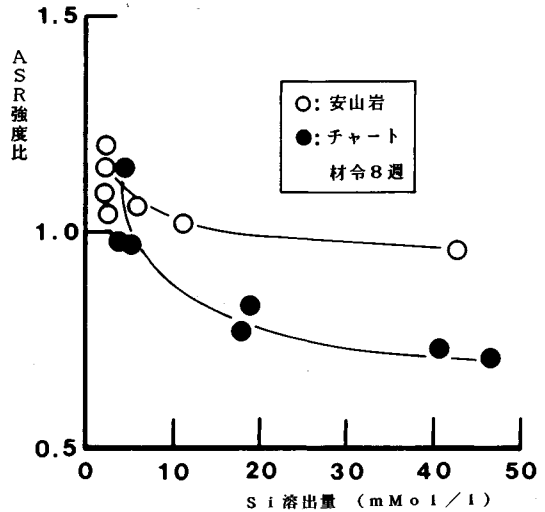
以上の結果を要約すると次のようになる。

(1) アルカリシリカ反応を生じたコンクリートの強度は膨張率が 0.16~0.20 % 程度に達するまでは急激に低下するが、その後は膨張率が増加しても強度低下は比較的少ない。

(2) 反応性骨材として安山岩を用いたコンクリートでは強度低下が少ないが、チャートを用いた場合の強度低下は著しい。また、反応性骨材として安山岩を用いたコンクリートにおいて膨張率が比較的小さい範囲では、非反応性骨材を用いたコンクリートに比べて高い強度を示す。

#### 4. 考 察

図—3 は ASR 強度比と細孔溶液中の Si 量との関係を示したものである。この図は、①シリカの溶出量が ASR 強度比と対応しており、溶出量が多くなるほど強度が低下すること、②同一量のシリカが溶出した場合における強度低下はチャートの場合の方が著しいこと、などを示している。シリカの溶出量が同じでも強度低下に差があるのは、骨材粒子中の反応物質と水酸イオンの反応形態が異なることを予測させる。写真—1 は 0.2 % 程度膨張を生じた安山岩を用いたコンクリート組織中の骨材粒子を示した一例である。この写真は骨材とセメント硬化体との界面が不明確になっており、安山岩の場合、骨材粒子の内部に大きいひびわれでもない限り、反応は



図—3 ASR 強度比と Si 量との関係

骨材粒子の周辺から進行することを示唆している。一方、写真—2 は同様に、約 0.2 % 程度膨張を生じたチャートを用いたコンクリート組織中の骨材粒子を示した一例である。この写真から明らかなことは、骨材とセメント硬化体との界面が不明確になっており、反応が骨材周辺から進行していることは安山岩の場合と同様であるが、安山岩の場合と異なる点は骨材粒子内部に縦横にひびわれが発生しており、そのひびわれはゲルで満たされていることである。反応性骨材としてガラス質安山岩を用いた場合とチャートを用いた場合とで反応に伴う骨材組織の変化にこのような差を生ずる理由を視覚的に追跡するために、これらの骨材組織を走査電子顕微鏡によって観察した結果が写真—3 および写真—4 である。いずれも破面を観察したものであるが、安山岩の場合には全体的にみて組織が緻密であり、ガラス質の特性が認められる。これに対して、チャートの場合にはきわめて微細な粒子の集合体から成っており、しかも空孔が多く、堆積岩の特徴が現われている。一方、写真—5 はアルカリシリカ反応によって劣化したコンクリート構造物から採取したコアを用いて作製した薄片の偏光顕微鏡写真であって、チャート粒子が反応によって崩壊している状態を見事に捕らえている。この写真で注目される点は、①チャートを構成している潜晶質石英がその結晶の形を保った状態で崩壊していること、②このような崩壊は骨材粒子内部に通ずる空孔に沿って生じていること、などである。写真—6 は促進膨張期間 14 週のコンクリート供試体中のチャート粒子内部の走査電子顕微鏡像である。写真—4 (a) の 10 000 倍の写真と同じ倍率の写真—6 (b) を比較すると、反応後の像は明らかに反応前にも存在していた空孔部分が拡大されており、写真—5 に示されているよ

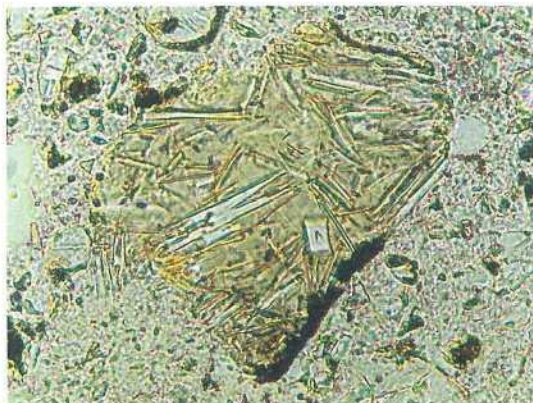


写真-1 安山岩の反応形態 (単ニコル, ×40)

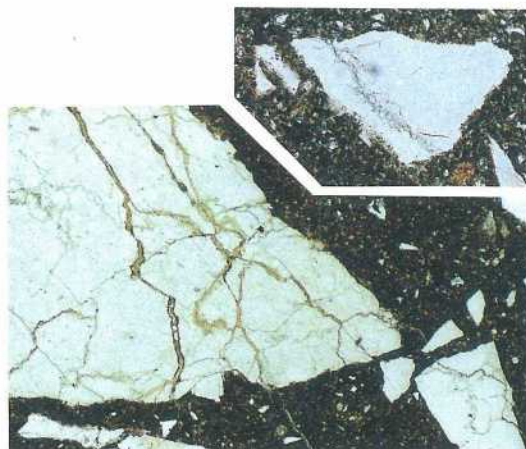
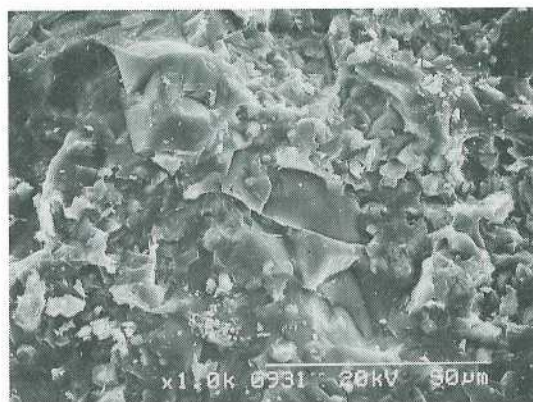
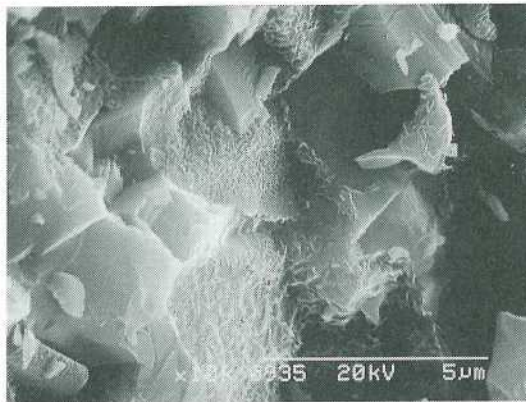


写真-2 チャートの反応形態 (単ニコル, ×40)



(a) ×1000



(b) ×10000

写真-3 安山岩の SEM 像

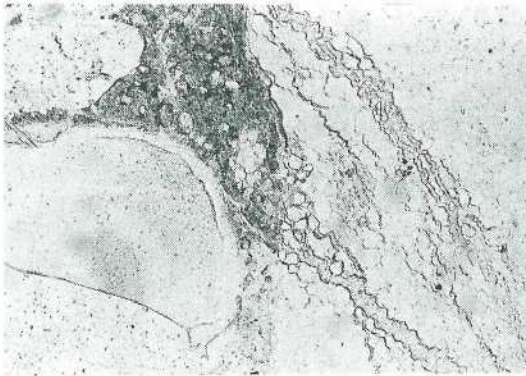


(a) ×1000



(b) ×10000

写真-4 チャートの SEM 像

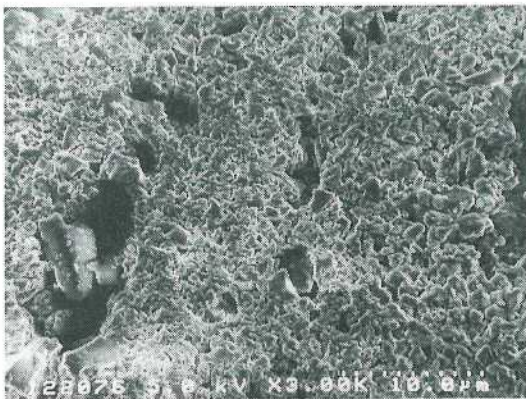


(a) 単ニコル, ×100

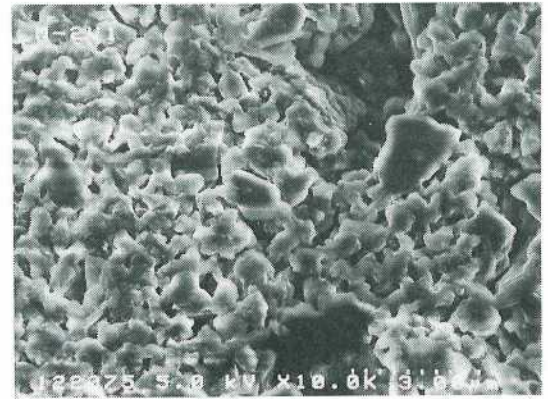


(b) 直行ニコル, ×100

写真—5 アルカリシリカ反応によるチャート粒子の崩壊

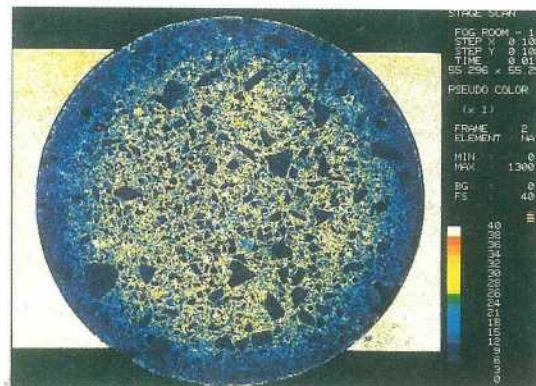


(a) ×3000

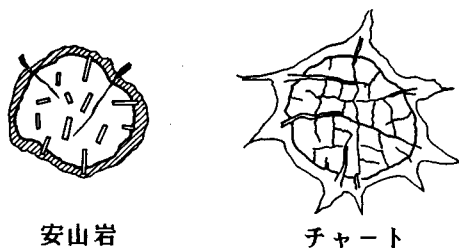


(b) ×10000

写真—6 アルカリシリカ反応を生じたチャート粒子のSEM像



写真—7 コンクリートの断面におけるNaの分布 (EPMAによる面分析結果)

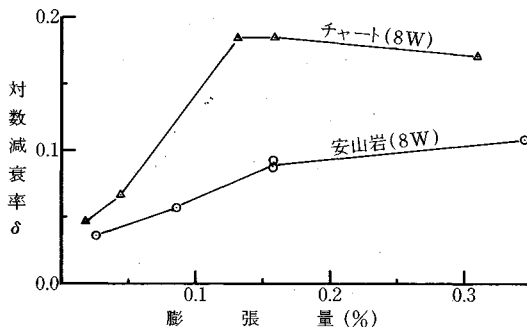


図—4 反応形態の模式図

うな組織の崩壊パターンを裏付けている。これらの写真から、チャートの場合には潜晶質石英の結晶間の空隙を通して水酸イオンが進入して、まず結晶間を結合している反応性の大きいオパール質の成分を溶解して個々の結晶に分解させると同時に、結晶そのものの溶解が進行するという全面崩壊型の反応過程をとることが考えられるのに対して、安山岩の場合には周辺部分のガラス質が水酸イオンによって溶解しつつ、反応が進行するという漸次侵食型の反応過程をとるものと考えられる。

図—4はこれらの2種の反応性岩石の反応形態を模式的に示したものである。この図から明らかなように、安山岩の場合には周辺部分から反応が進行するので未反応部分は比較的強固な組織を維持しており、このために骨材粒子の強度の急激な低下は生じないものと考えられる。これに対して、チャートの場合には周辺部分のみならず、粒子の各所に存在する内部に通ずる空隙部分からも反応が進行し、しかもその反応の進行はチャートの岩石組織の構成単位である潜晶質石英粒の分解過程が先行するので、骨材粒子の強度は反応の進行に伴って急速に低下することが予想される。一方、反応性骨材として安山岩を用いたコンクリートにおいて、膨張率が比較的小さい範囲では、非反応性骨材を用いたコンクリートに比べて高い強度を示した理由については、以下のような機構によるものと思われる。まず安山岩を用いた場合には、反応の初期には骨材とセメント硬化体との界面が反応によって一体化する効果が卓越する。このような効果は、石灰岩を骨材として使用した場合にも確認されている<sup>10)</sup>。これに対して、非反応性骨材を用いたコンクリートでは、骨材粒子とセメント硬化体との界面においては主としてポルトランドイトの結晶からなる比較的多孔質の遷移層が存在するので両者の一体化は十分ではないと考えられている。このような骨材とセメント硬化体との結合機構の差が上記のような結果となって現われたものと考えられる。3.で得られた結果のうち要約の(2)にとりまとめた結果は以上のようにして説明することができる。

次に、3.で得られた結果のうちの要約の(1)にと



図—5 対数減衰率と膨張量の関係

りまとめたように、ASRの進行に伴う強度の低下は少なくとも一般の促進膨張試験において使用されている程度の大きさの供試体を用いる場合には、膨張率が0.2%程度の値に達するまでは急速に起こるが、それ以降の低下は極めて少ない。すなわち、膨張が継続的に進行しても、強度の低下の割合が急激に減少するのである。以後はこの理由について検討を試みることにする。図—5は促進膨張8週の供試体について膨張量と対数減衰率との関係を調べた結果である。この図から明らかなことは、対数減衰率の値は、膨張量が0.15~0.2%に達するまでは急速に増大するが、これ以上の膨張を生じてほとんど変化しないことである。

対数減衰率の値の増大はコンクリート組織中における結晶質の占める部分に対する非晶質の占める部分の割合を示す指標と考えられるので、以上の結果は膨張率が0.2%に達した段階でアルカリシリカ反応における化学反応の過程が終了したものと推定することができる。それでは、何故に膨張率が0.2%以上になっても強度の値が大きく変化しないのであろうか？

著者らは、①コンクリート部材断面におけるアルカリの濃度分布が一樣ではなく、比較的高い湿度環境に少なくとも数日間保存すると、写真—7に示すように周辺部分のアルカリ濃度が低くなること、②このために、平均的なアルカリ量が多い配合のコンクリートでもアルカリシリカ反応は周辺部分では生じておらず、内部において反応が進行すること、周辺部分の拘束によって、内部では圧縮応力が、周辺部分では引張応力が生じること、などを明らかにしている<sup>11)</sup>。図—6はこのような機構に基づいて、上記の結果を説明するために描いたものであって、時間の経過に伴うコンクリート組織の変化の過程を、①全面的な周辺拘束状態下において生じる過程、②局所的な周辺拘束下において生じる過程、および③非拘束状態下において生ずる過程、の3段階に分けて考えている。①の過程は、具体的には内部組織における反応が進行し、周辺部分の拘束が限界状態に達して初期ひびわれが発生

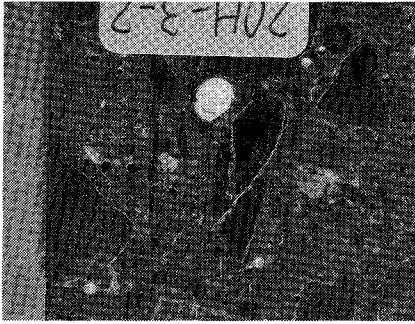


写真-8 EDXによる線分析を行ったコンクリート中のチャート粒子（ほとんどの空隙がゲルで充填されているのがわかる）

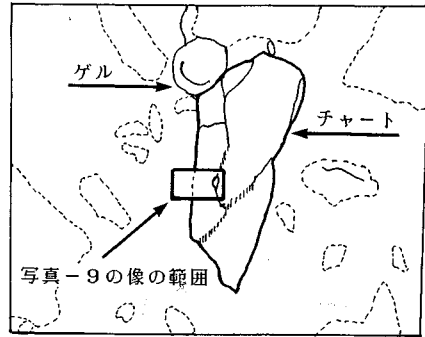
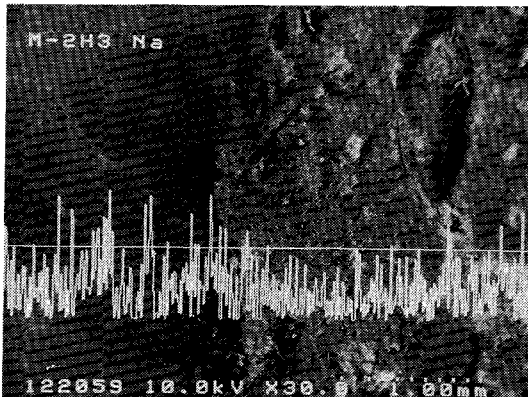
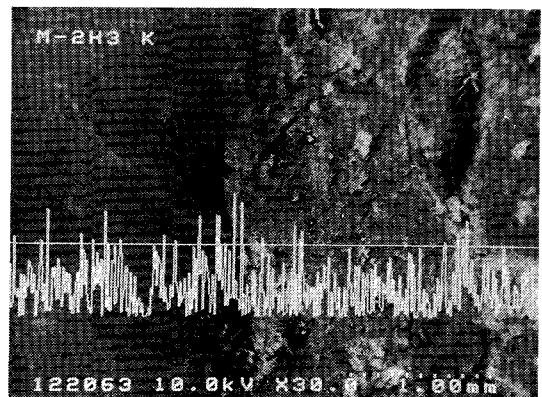


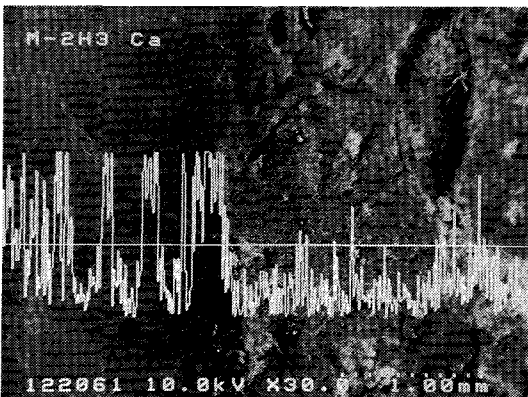
図-7 写真-8と写真-9との位置の相互関係



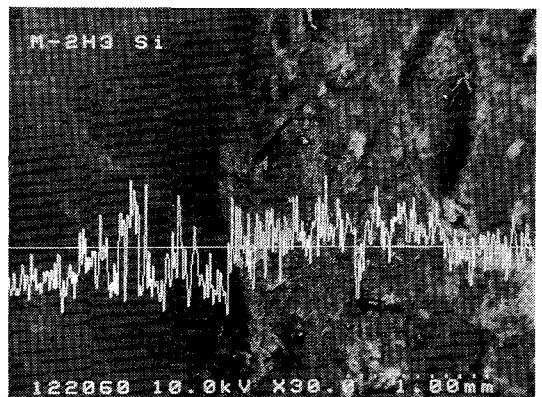
(a)



(b)



(c)



(d)

写真-9 EDXによるチャート粒子-セメント硬化体界面の線分析結果（加速電圧10KV）



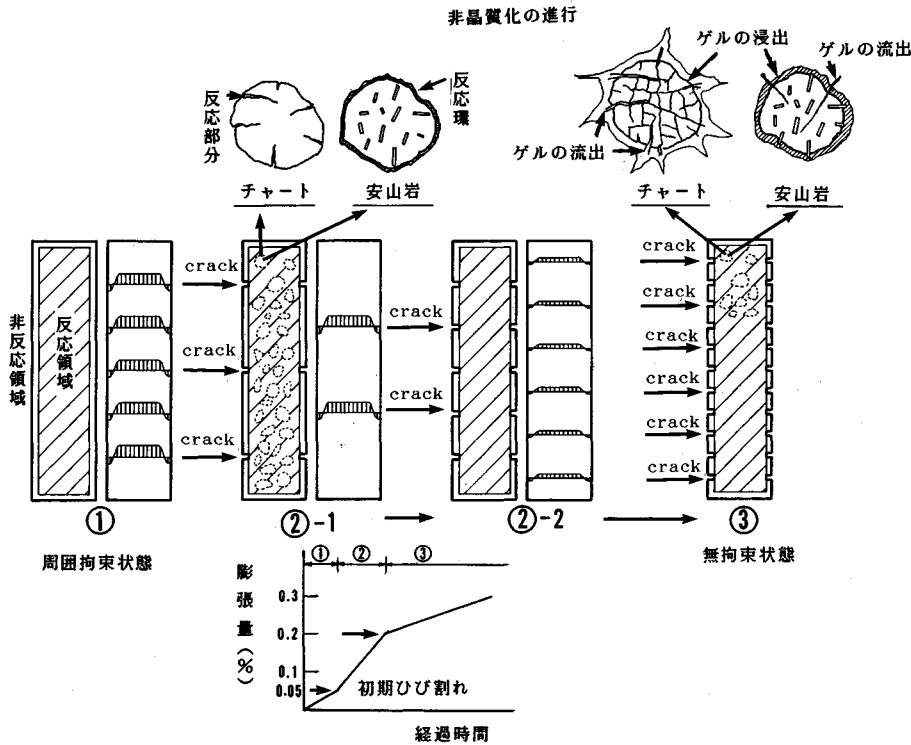


図-6 アルカリシリカ反応の進行に伴うコンクリート組織の変化過程の模式図

するまでの過程と考えることができる。②の過程は、具体的には内部組織における反応の進行とともに、周辺部分に発生したひびわれ幅の増大と新しいひびわれの増加による拘束応力が減少し、同時にゲルによる空隙やひびわれの充填、反応に伴う骨材組織の変質などによる組織の再編成が活発に行われる過程と位置付けることができる。③の過程は、化学反応の過程がほぼ終了するとともに、ひびわれや内部の空隙の多くがゲルによって充填されており、しかもゲルの一部では写真-5が示すように再結晶が生じている段階であって、コンクリート組織の再編成が一段落して骨材とセメント硬化体組織との差が化学的にも力学的にも少なくなっており、コンクリートの組織が同質化されている比較的安定した状態になっていると考えられる。

このことは、促進膨張を70週間行ったチャート骨材コンクリートから採取した試料を用いて行ったEDXによる線分析結果を示した写真-8～写真-9からも明らかである。すなわち、これらの写真はセメント硬化体と骨材の界面を挟んで、これら2つの組織におけるNa, K, CaおよびSiの濃度差を調べたものであるが、SiとCaには差が認められるものの、NaとKに関しては両者間にほとんど差が認められず、同質化していることがわかる。このようにして同質化された組織は健全なコン

クリート組織に比較して非晶質の部分が非常に多い組織になっていることは図-5からも明らかである。

このようにアルカリシリカ反応の化学反応過程がほぼ終了し、結果的には非晶質部分が卓越するとともに、周辺の非反応部分によって生ずるマクロな拘束からほとんど解放された組織では、吸水による膨張や乾燥による収縮は、外部拘束がなければ、それ自体の力学的性状に大きい影響を及ぼさずと生ずるものと考えられる。

### 5. 結 論

本論文に示した実験を通じて得られた結果とこれに関する著者らの考察をとりまとめると以下のようである。

(1) アルカリシリカ反応の進行によるコンクリートの圧縮強度の変化は、セメントの水和反応以外に、セメント中のアルカリがセメント硬化体組織を多孔質化することによる影響とアルカリシリカ反応によって生じるコンクリート組織の化学的变化の影響などが複合的に作用することによって生じるが、強度低下のうちのかなりの部分は、使用したセメントに含まれている高いアルカリ分の影響によるものである。

(2) アルカリシリカ反応の進行によって生じる圧縮強度の変化は用いた反応性岩石の種類によって異なる。すなわち、ガラス質安山岩を用いた場合には反応の進行

に伴う強度の低下は比較的少ないが、チャートを用いた場合の強度低下は顕著である。以上のように、反応性岩石の種類によってコンクリートの圧縮強度の低下の程度に差を生じる理由は、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の反応形態の相違によるものであると考えられる。

(3) アルカリシリカ反応による膨張が0.2%程度に達すると、コンクリートの強度低下の割合は非常に小さくなる。この理由については以下のような推論を行った。反応の進行に伴ってコンクリート組織における結晶質部分に対する非晶質部分の占める割合が増大するが、膨張が0.2%に達する時点ではこの反応が終了し、並行してゲルによるひびわれや空隙の充填が行われる。すなわち、この時点において、コンクリート組織は全体として非晶質部分が卓越した状態で均質化され、化学的にも、力学的にも安定した状態になっている。この状態では吸水による膨張や乾燥による収縮は、コンクリートの圧縮強度に大きな影響を及ぼすことはない。

以上の結果は、あくまでも実験室において作製した供試体によるコンクリートの促進試験に基づくものであり、実際の構造物に対する適用性に関しては今後の調査研究を待つ必要がある。本研究はそのための足掛りとして位置づけられる。

謝 辞：本研究の実施にあたって、チャート骨材のアルカリシリカ反応による分解過程を示す薄片を提供して

頂いた小野田セメント(株)の宇野達二郎博士、安山岩骨材のアルカリシリカ反応による侵食状況を示した偏光顕微鏡写真を提供して頂いた丸 章夫博士ならびに走査電子顕微鏡写真の撮影に多大の協力を頂いた日立製作所の関係者各位に深甚の謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 富田ほか：セメント技術年報，Vol. 42，pp. 335～338，1988.
- 2) Clark, L. A. and Ng, K. E. : Proc. 8th Int. Conf. on AAR, pp. 659～664, 1989.
- 3) Hobbs, D. W. : Proc. 7th Concrete Alkali-Aggregate Reactions, pp. 342～346, 1986.
- 4) Oberholster, R. E. *et al* : Proc. 5th Int. Conf. Alkali Aggregate Reaction in Concrete, S 252/31, 1981.
- 5) 森 仁明ほか：C<sub>3</sub>S 硬化体の微細構造におよぼすアルカリの影響，セメント技術年報，Vol. 25，pp. 40～47，1971.
- 6) Hogan, F. J. : Task Group Report to ASTM committee on Alkalies, 1978.
- 7) Frohnsdorff, G. *et al* : Cement Standards, Evolution and Trends, pp. 16～34, ASTM, STP 663, 1977.
- 8) 小林一輔・小倉盛衛：東京大学生産技術研究所報告，Vol. 35，No. 2，1989.
- 9) 小林一輔・宇野祐一：生産研究，Vol. 42，No. 2，pp. 38～40，1990.
- 10) Moneterio, P. J. M. and Mehta, P. K. : Cement and Concrete Research, Vol. 16, No. 2, pp. 127～134, 1986.
- 11) Kobayashi, K. *et al* : Proc. 8th Int. Conf. on AAR, pp. 641～646, 1989.

(1990. 2. 27・受付)