

アルカリシリカ反応による コンクリートの劣化と対策

4.1 アルカリシリカ反応とはなにか

コンクリート中の細孔溶液は、水酸化アルカリ (NaOH および KOH) を主成分とする強アルカリ性の水溶液である。骨材中にこの高いアルカリ性の水溶液と反応してアルカリシリカゲルを生じる物質があると、生成したアルカリシリカゲルの膨張によって、コンクリートの異常な膨張やそれに伴うひび割れを発生させることがある (図 4-1)。このような反応は、アルカリ骨材反応と総称されている。アルカリ骨材反応には、アルカリシリカ反応 (ASR) とアルカリ炭酸塩岩反応 (ACR) の2種類があるとされてきたが、近年の研究から、いずれも骨材中のシリカ分が反応するアルカリシリカ反応と考えられるようになっている。

アルカリシリカ反応によるコンクリート構造物の劣化は、1940年に Stanton¹⁾ によ

て初めて報告されており、1940年代から米国では活発な検討が行われてきた。一方、日本ではアルカリシリカ反応による劣化が生じることはまれであると考えられており、1982年頃に阪神地区で損傷構造物が発見されるまで、注目されることは少なかった²⁾。

その後、我が国でもアルカリシリカ反応により劣化した構造物が少なくないことが明らかになり、建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」³⁾ において産学官による集中的な研究が行われた。その成果が、1986年の建設省の「アルカリ骨材反応暫定対策について」通達や JIS A 5308「レデーミクストコンクリート」における対策の原型となった。

これらの対策がなされた以降の構造物では、アルカリシリカ反応による劣化の事例は少なくなっている⁴⁾。また、この頃からセメントのアルカリ量が低下した⁵⁾ こともアルカリシリカ反応の抑制に大きく貢献していると考えられている。ただし、アルカリシリカ反応は、性質に個体差があることが避けられない天然の骨材によってもたらされるものであり、現行の抑制対策を行っていても100%防止できるものではない点には注意が必要である。さらに、近年、顕著な劣化が生じた既存構造物で、鉄筋の破断などの新たな劣化現象が認められることも報告されている⁶⁾。

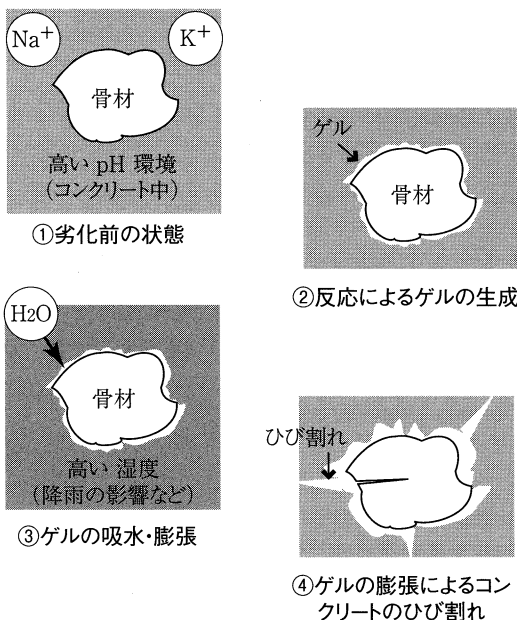


図 4-1 アルカリシリカ反応による劣化の進行

4.2 アルカリシリカ反応のメカニズム

4.2.1 反応のメカニズム

骨材中にアルカリシリカ反応の原因となるシリカ鉱物もしくはガラス質物質があると、水酸化物イオン (OH^-) によってそのシロキサン結合 (Si-O-Si) が切断され、アル

カリシリケートを生成する。生成したアルカリシリケートは吸湿して膨張する性質を持つ。

このように、一連の反応により膨張が生じるためには、骨材中に反応性を有する物質が含まれること、水溶液中の水酸化物イオン濃度が高いこと、水の供給があることが必要となる。このことから、アルカリシリカ反応を抑制するには、コンクリート中のアルカリ総量を規制して水酸化物イオン濃度を低下させること、高炉スラグやフライアッシュを含む混合セメントを使用して、その反応により水酸化物イオン濃度を低下させることが有効であることが理解できる。また、骨材中に反応性を有する物質が含まれていても、必ずしもアルカリシリカ反応が生じるものではないことが分かる。

4.2.2 アルカリシリカ反応を生じさせる物質

アルカリシリカ反応の原因となるシリカ鉱

表 4-1 アルカリシリカ反応の原因となりうるシリカ鉱物もしくはガラス質物質

反応性を有する物質	化学組成
石英(微晶質・隠微晶質)	SiO ₂
クリストバライト	SiO ₂
トリディマイト	SiO ₂
オパール	SiO ₂ ·nH ₂ O, SiO ₂
火山ガラス	SiO ₂ を含む

物もしくはガラス質物質には、表 4-1 のものがある。なお、石英は結晶の大きさによって反応の速さが異なると考えられており、実構造物でアルカリシリカ反応を生じて問題になるのは、結晶が細粒のもの(微晶質・隠微晶質)である。クリストバライト、トリディマイト、オパール、火山ガラスは、化学的安定性が石英よりも低く、顕著なアルカリシリカ反応を生じさせる場合がある。

4.2.3 反応性を有する物質を含む骨材

我が国の骨材のうちアルカリシリカ反応による顕著な被害を生じている骨材の岩種としては、安山岩、チャートなどがよく知られているが、それ以外の骨材でも顕著なアルカリシリカ反応が生じる場合がある。表 4-2 に我が国の骨材に対して行われた化学法・モルタルバー法などの試験結果に基づく反応性を有する岩種の分類を示す。

岩種は、アルカリシリカ反応に対するリスクを概略で検討する際には有用な情報であるが、砕石場では採取しようとする岩と別の種類の岩が混在していたり、通常は反応性を有しない岩種でも変質作用の影響を受けて局所的に反応性を有する鉱物が析出していたりする場合があるので留意が必要である。

4.2.4 アルカリの供給源

反応に関わるナトリウムイオン、カリウムイオンなどのアルカリ金属イオンは、コンク

表 4-2 反応性を有する骨材の分類(文献 3)に追記

分類	岩種	
反応性のおそれのある岩石をほとんど含まない	深成岩類	カンラン岩、ハンレイ岩、花崗岩など
	中新世よりも古い火山岩類*	安山岩、デイサイト、流紋岩など
岩型によっては反応性のある岩石を含むおそれがある	古第三紀よりも古い堆積岩類	チャート、砂岩、頁岩、粘板岩など
	変成岩類	ホルンフェルス、片岩など
反応性のおそれのある岩石が高率で含まれる	漸新世よりも新しい火山岩類	安山岩、デイサイト、流紋岩など

*中新世より古い火山岩では、続成作用の影響で火山ガラス、クリストバライト、トリディマイトなどの高い反応性を有する鉱物等の再結晶化により反応性が低下することが指摘されている⁷⁾。

リートの材料であるセメントに由来するものが多く、その量を規制することが有効と考えられている。なお、過去に建造された構造物には、除塩が不十分な海砂を使用したために、建設時から多量のナトリウムイオンが含まれており、アルカリシリカ反応による劣化の原因となったものも存在する。

建設後のナトリウムイオンの供給源としては、海水や海風による飛来塩分、凍結防止剤として散布される塩化ナトリウムがある。アルカリシリカ反応の発生が構造物の安全性に重大な影響を及ぼすと考えられる場合には、塩分の浸透を防止するための塗装等の措置を講ずることが求められる。

他に、骨材に鉱物等として含まれるアルカリ金属イオンが長期的に溶け出すおそれがあることも指摘されている。しかし、セメント等に由来するものと、骨材から溶け出したものを区別することは容易ではなく、基準類ではその影響を明示していない。アルカリ総量規制の中に暗黙の内に含まれていると考えることもできる。

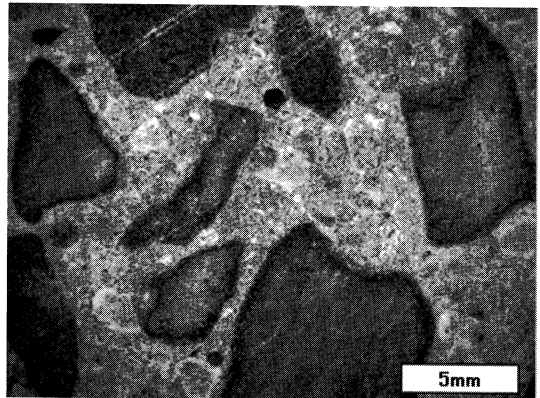
4.3 アルカリシリカ反応による劣化現象

4.3.1 コンクリートのひび割れ

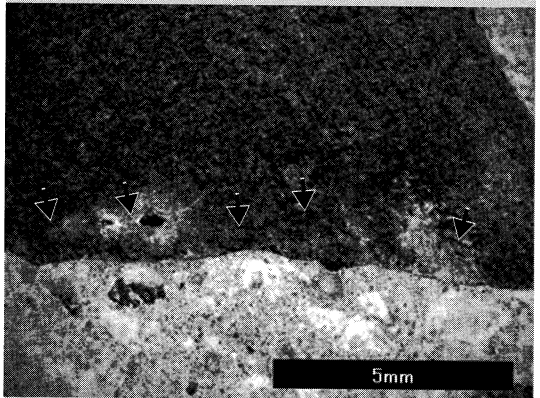
アルカリシリカ反応が生じたコンクリートから試料を採取して観察すると、劣化の進行に伴って、次のような変状が観察できる（写真4-1）⁸⁾。

- ①反応リム、アルカリシリカゲルの滲出
- ②骨材内部にアルカリシリカゲルで満たされたひび割れ
- ③骨材から周囲のセメントペースト部に連続したひび割れ
- ④滲出したゲルにより充填されたセメントペースト部の空隙

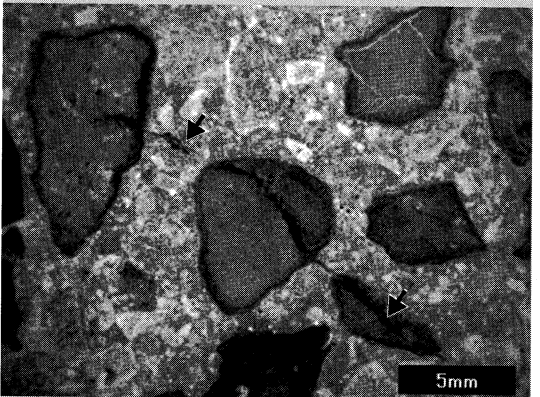
骨材内部にひび割れが生じた程度では、コンクリートの膨張量としては明確でない場合が多い。しかし、さらに反応が進んで骨材か



反応リムが認められるが、アルカリシリカゲルの滲出や骨材の割れは認められない状態



骨材に微細なひび割れと、滲出したゲルが認められる状態



複数の骨材を貫くひび割れが認められる状態

写真4-1 アルカリシリカ反応が生じたコンクリートの観察例⁹⁾

ら周囲のセメントペースト部に連続するようなひび割れが多数生じるようになると、部材全体の膨張の影響で構造物表面においても顕