アルカリシリカ反応生成物の染色と顕微鏡観察

MICROSCOPIC OBSERVATION OF THE PRODUCTS OF THE ALKALI-SILICA REACTION IN THE DYED THIN SECTIONS OF CONCRETE CORES

西山 孝*・日下部吉彦**

By Takashi NISHIYAMA and Yoshihiko KUSAKABE

Dyeing the products of the alkali-aggregate reaction made it possible to distinguish them from the components of the concrete under a microscopy. Cyanoacrylate mixed with a coloring substance was used to dye the alkali-silica gel red.

Cyanoacrylate reacts readily with water contained in gel but not with the components of the concrete. Examination of dyed thin sections revealed a few concrete cores with expansion of alkali-silica reactive aggregates. This method appears to be useful for observing the alkali-aggregate reaction.

Keywords: alkali-aggregate reaction, dyed thin section, microscopic observation, cyanoacrylate

1. はじめに

アルカリ骨材反応に起因するコンクリート構造物のひびわれ損傷が近年しばしば観察報告されている。アルカリ骨材反応には、アルカリシリカ反応、アルカリ炭酸塩岩反応およびアルカリシリケート反応の3つのタイプがあるといわれているが、これまでにわが国で発見された反応例のほとんどはアルカリシリカ反応である。このアルカリシリカ反応は骨材から溶出したシリカとコンクリート中のアルカリが反応し、まずアルカリシリカゲルが形成され、このゲルが吸水膨張するために、コンクリートが損傷すると考えられている^{1)~6)}。

アルカリシリカ反応の機構やコンクリート劣化の状況を的確に把握するためには、まず反応生成物の規模、形状などを知ることが重要である。ひびわれ損傷が大きい場合には肉眼による観察が可能であるが、多数発生している小さなひびわれの形状やごく少量のアルカリシリカ反応生成物については顕微鏡観察によらざるを得ず^{7)~10)}、しかもこの観察は必ずしも容易とはいえない。その主な理由はアルカリシリカ反応生成物が無色の非晶

質物質であり、通常の薄片による顕微鏡観察では、その光学的性質から生成物を判定することが難しいからである。

そこで、アルカリシリカ反応生成物を着色させることによって、顕微鏡下で容易に観察できる方法を検討した。染色の方法としてはシラン系接着剤に赤色の色素を加えたものを使用し、アルカリシリカ反応生成物を着色させるとともにクラックや空隙を赤色の接着剤で充填させた。

2. 試料の作成

(1) 染色剤の選定

アルカリシリカ反応を喚起したコンクリートにはすでに多数のクラックが発生し、破壊が進んでいるので⁹⁾、染色にあたっては次のような条件を考慮した。すなわち①アルカリシリカ反応生成物には着色するが造岩鉱物その他とは反応しないもの、②強い接着力をもっていること、③クラックや空隙に沿って深く浸透する材料であること、④容易に色素を溶かしこむことである。近年、さまざまな目的に対応した種々の接着剤が開発されているが、そのなかで粘性度が低く、親水性に富んだ接着剤としてシアノアクリレートがあり、この接着剤が最も上記の条件に適合していると判断された。シアノアクリレー

* 正会員 工博 京都大学講師 工学部資源工学科
(〒606 京都市左京区吉田本町)

** 工博 京都大学教授 工学部資源工学科 (同上)

ト（市販品名，アロンアルファ，シアノボンドなど）は一般に被着材表面のわずかな水分と反応し，瞬間的に固結するもので，アルカリシリカ反応生成物のように多量の水分をもったゲルとは容易に反応するが，造岩鉱物やセメントなどとは反応しにくい．また粘性が低く，割れ目にもよく浸透する．しかしながら市販のシアノアクリレートは無色透明であるためそのままでは使用できず，これに染料の添加を試みた．着色剤としては赤と青および不透明な白の三種の色素を選び観察した結果，赤色が最も効果的であることが明らかになった．

(2) 薄片の作成

岩石の構成物を顕微鏡で調べるのに薄片が用いられている．これはスライドガラスに貼りつけた岩石片を研磨し，0.02～0.03mmの厚さにまで薄くしたもので，偏光顕微鏡によって造岩鉱物の光学的な種々の性質が観察測定できるようになる．通常行われている薄片作製手順を以下のように変更して，アルカリシリカ反応生成物やクラックおよび空隙の着色を試みた．①試料を切断し，切断面をホットプレート（約80℃）上で30分間乾燥させ，シアノアクリレートを塗布し，クラックやアルカリ骨材反応生成物に赤色のシアノアクリレートをしみこませる．②切断面を研磨し，スライドガラスに貼りつける．③貼りつけた試料片を0.1mm程度に切断し，切断面に再度赤色のシアノアクリレートを塗布し，注意深く研磨する．④所定の厚さにまで研磨し仕上げる（図—1）．

3. 観 察 例

アルカリ骨材反応によって劣化したコンクリート片およびモルタルバー試験法により膨張の認められた試験片をすでに述べたような方法により染色し，顕微鏡観察した．その結果，アルカリシリカ反応生成物は①反応性骨材中に形成されているもの，②骨材とモルタルとの境界あるいはモルタル中のクラックを充填しているもの，③モルタル中に存在し，球形をなすものとに分けられ，それぞれの形状は写真—1, 2, 3に示すとおりで，赤く着色している部分が，シアノアクリレートが浸透したところである．

(1) 骨材中のアルカリシリカ反応生成物

安山岩やチャートの骨材中にはしばしばクラックを充填したアルカリシリカ反応生成物が観察される．いずれの骨材においてもクラックの方向は不規則で，チャートでは部分的にクラックの幅の変化が著しく，アルカリシリカ反応生成物がアメーバ状に形成されているところも存在する（写真—1B, C, D）．安山岩では，クラック幅の変化は比較的少なく，モルタルを切って別の骨材へクラックが生長しているようなところも観察される（写真—1A）．また，花崗岩骨材によるアルカリシリカ反応の報告は数少ないが，写真—1E, Fに示す花崗岩では，石英中にアルカリシリカ反応生成物が認められ，周辺部が漸移していることからこの石英はアルカリシリカ反応に関与していたものと推察される．この試料はチャート，泥質岩とともに花崗岩が骨材として使われ，ひびわれを起こしたコンクリート構造物から採取されたものである．

(2) 骨材とモルタルとの境界あるいはモルタル中のクラックを充填しているアルカリシリカ反応生成物

アルカリシリカ反応生成物は反応性骨材の周辺部およびモルタル中のクラックに最も多くみられ，反応性物質としては安山岩，チャート，石英砂などがある．写真—2Eではアルカリシリカ反応生成物はクラックが石英粒と接するところで急激に増加している．また，石英粒とモルタルとの境界を拡大すると，境界は鮮明ではなく，漸移しているのがみられる（写真—2D）．このことは，石英からシリカの溶脱があったことを示唆している．

(3) モルタル中の球状のアルカリシリカ反応生成物

モルタル中には球状の特異なアルカリ骨材反応生成物が認められる⁹⁾．これはすでに報告されているように反応性骨材の位置で生成されたアルカリシリカゲルが移動しコンクリート気泡中に溜ったもの¹⁾と考えられるが，球の周辺あるいは内部にはアルカリシリカ反応に関連してできた微細な鉱物が排列している．また，この球には反応生成物の膨張により起こったと思われるクラックおよび反応生成物が固結収縮したときにできたと考えられ

図—1 シヤノアクリレートにより着色させたコンクリート薄片の作製手順

写真—1 骨材中のアルカリシリカ反応生成物

A：安山岩中に形成されたクラックとクラックを充填したアルカリシリカ反応生成物。骨材周辺には反応縁は認められない（単ニコル，モルタルバー試料 MA-1）。

B, C, D：チャート中の不規則な形をしたアルカリシリカ反応生成物。石英粒子の大きさ，細脈に関係なく反応は進んでいる（B：単ニコル，劣化構造物試料 CA-3，C：単ニコル，劣化構造物試料 CA-3，D：Cをクロスニコルで観察したもの）。

E, F：花崗岩中の石英に形成されたアルカリシリカ反応生成物。生成物と石英との境界が漸移していることから，この石英粒子からシリカの溶脱が起こったものと推測される（E：単ニコル，劣化構造物試料 CA-1，F：Eをクロスニコルで観察したもの）。

写真—2 骨材とモルタルの境界あるいはモルタル中のクラックを充填しているアルカリシリカ反応生成物

- A, B: モルタル中およびモルタルと骨材の境界部に形成された不規則なアルカリシリカ反応生成物。反応性骨材はAが安山岩, Bがチャートと石英砂であるが, 骨材中にはアルカリシリカ反応生成物は認められない (A; 単ニコル, モルタルバー試料 MA-1, B; 単ニコル, 劣化構造物試料 CA-3)。
 C, D: 石英の周辺部に形成されたアルカリシリカ反応生成物。Dは高倍率で観察したもので, 石英の周辺部ではシリカの溶脱が起こっているものと推察される (C; 単ニコル, 劣化構造物試料 CA-3, D; 単ニコル, 劣化構造物試料 CA-3)。
 E, F: 石英片 (Qz) および長石片 (Fel) とモルタルとの境界部に形成されたアルカリ骨材反応生成物で, 石英片のところで生成物は膨大している (E; 単ニコル, 劣化構造物試料 C-4, F; Eをクロスニコルで観察したもの)。

写真—3 モルタル中の球形をしたアルカリシリカ反応生成物

- A, B: モルタル中の球形をしたアルカリシリカ反応生成物で、周囲に反応縁がみられる (A: 単ニコル, モルタルパー試料 MA-1, B: A をクロスニコルで観察したもの)。
 C, D: モルタル中に球形の反応縁がみられ、そのなかの一部を反応生成物が充たしている (A: 単ニコル, 劣化構造物試料 C-4, D: C をクロスニコルで観察したもの)。
 E, F: モルタル中の球形をしたアルカリシリカ反応生成物で、ゲルが固結するときに収縮してできた内部のひびわれ (⇐) と膨張時にできたと思われる外部のひびわれ (⇨) が観察される (E: 単ニコル, モルタルパー試料 MA-1, F: E をクロスニコルで観察したもの)。

るクラックがしばしば観察される(写真—3 C, D, E, F)。なお、一般にモルタル中には気泡が存在し、この気泡がシアノアクリレートで充填されると前者と同様の形態を示すが、アルカリ骨材反応による球形物にはその周辺に特徴的な鉱物の集合体が見られるのに対して気泡の場合にはシアノアクリレートが固結する際に収縮してできた空間が認められることによって両者の区別ができる。

4. おわりに

シアノアクリレートを用いて、アルカリシリカ反応生成物を赤色に着色し、顕微鏡観察する方法を検討した。その結果、シアノアクリレートはアルカリシリカ反応生成物によく浸透し、赤色にするため、骨材およびモルタルからアルカリシリカ反応物あるいは反応生成物により起因したクラックを容易に区別できることが判明した。これらはアルカリシリカ反応の機構やコンクリート構造物劣化の進展状況の把握などに有効に利用できると思われる。

本研究を行うにあたって、大阪セメント株式会社研究所 中野錦一博士には試料の提供をいただいた。また、東亜合成化学工業株式会社には接着剤について、日本地科学社 北川元紀氏には薄片作製についていろいろご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 日本材料学会：アルカリ骨材反応に関するシンポジウム，pp. 1～171，1985.
- 2) 森野奎二：わが国のアルカリ骨材反応，骨材資源，No. 60，pp. 184～193，1984.
- 3) 川村満紀・柳場重正：アルカリ・シリカ反応のメカニズム，コンクリート工学，Vol. 22，No. 2，pp. 6～33，1984年2月.
- 4) 福島正人・二村誠二：コンクリート用砕石のアルカリ骨材反応性，セメント・コンクリート，No. 438，1983年8月.
- 5) 西 晴哉・水上国男・今井友宏・江藤清光：安山岩のアルカリ骨材反応，セメント・コンクリート，No. 435，1983年5月.
- 6) 有泉 昌：コンクリート用骨材の問題点，粘土科学，Vol. 19，No. 2，pp. 41～55，1979年.
- 7) Dolar-Mantuani L. : Handbook of Concrete Aggregates a Petrographic and Technological Evaluation, pp. 79～125, Noyes Publications, 1983.
- 8) Gillott, J. E. : Alkali-reactivity Problems with Emphasis on Canadian Aggregates, Eng. Geol., Vol. 23, pp. 29～43, 1986.
- 9) Idorn, G. M. : Durability of Concrete Structures in Denmark, Thesis of Doctor of Science, pp. 82～169, 1967.
- 10) Gogte, B. S. : An Evaluation of Common Indian Rocks with Special Reference to Alkali-aggregate Reactions, Eng. Geol., Vol. 7, pp. 135～153, 1973.

(1987. 3. 9・受付)