

## アルカリシリカ反応によるコンクリート構造物の膨張とひびわれの発生機構(I)

Expansion and Cracking of Concrete Structures Caused by Alkali Silica Reaction

小林 一 輔\*・白 木 亮 司\*・河 合 研 至\*

Kazusuke KOBAYASHI, Ryoji SHIRAKI and Kenji KAWAI

## 1. は し が き

アルカリシリカ反応 (ASR) とは、コンクリートの細孔溶液中のアルカリと骨材中の反応物質が長期にわたって反応を起し、有害な膨張を生ずる反応を言うが、この反応によってコンクリート構造物に生ずる外観上の劣化は“ひびわれ”である。ASRによってコンクリート構造物に生ずるひびわれの状況は、構造物の種類と拘束条件、鉄筋による拘束の有無、構造物が接する環境 (たとえば、水や水を含む土壌などに接するか)、などによって著しく異なる。しかし、これらの構造物のひびわれの観察を通じて生ずる疑問は、“果たしてこれらのひびわれはいわゆる膨張ひびわれなのであるか?” という点である。

本報において、著者らはコンクリート部材内部に生ずるアルカリの濃度分布、コンクリート断面におけるひび

われやゲルの生成状況、などを調べた結果に基づいて、ASRによってコンクリート構造物の表面に生じているひびわれの多くは、その部分が膨張を生じたために発生したものではなく、他の部分の膨張によって引き起こされた引張応力によって生じたものであることを指摘したものである。

## 2. アルカリシリカ反応によるコンクリート構造物のひびわれ

写真-1 は鉄筋コンクリート橋の橋台に生じたASRによるひびわれの状況を示したものであるが、このようなひびわれを生じる機構を従来からのASRに関する知見に基づいて説明することは極めて困難である。

一方、写真-2 はコンクリート擁壁に生じたASRによるひびわれの状況を示したものであって、一般に“マップ状ひびわれ”と呼ばれているものである。このようなひびわれのコンクリート表面からの深さは25~50mm程度に留まっていることが明らかにされているが、このようなひびわれが発生する機構についてはいまだ解明されていない。図-1は無筋コンクリート角柱体(7×7×40

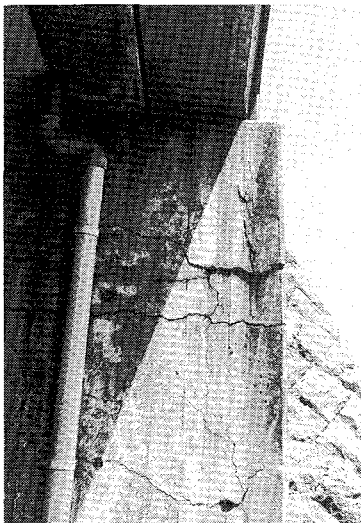


写真-1 アルカリシリカ反応によって橋台に生じたひびわれ

\*東京大学生産技術研究所 第5部

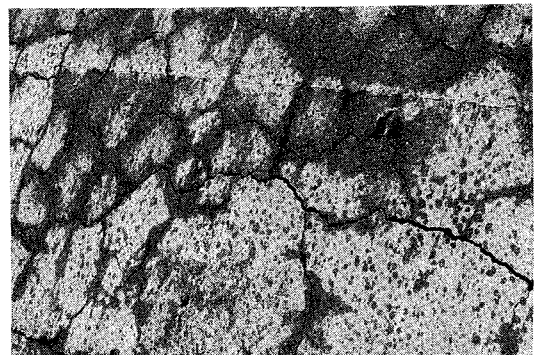


写真-2 アルカリシリカ反応によって擁壁に生じたひびわれ (拡大図)

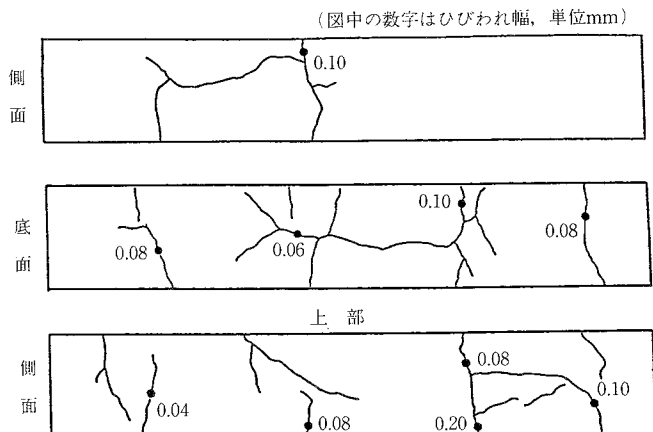


図-1 コンクリート角柱体に生じたひびわれ (ガラス質安山岩使用, W/C=50%, R<sub>2</sub>O=1.46%)

cm) を温度20°C, 湿度100%の環境下においてASRの促進膨張試験を実施した結果, 表面に生じたひびわれの状況を示したものである。この図において注目すべき点は, ひびわれの方向と発生順序である。すなわち, 始めに角柱体の長手方向に対して直角方向のひびわれを生じ, その後にこれらのひびわれを連結するように長手方向のひびわれを生じているのである。このようなひびわれの発生状況は膨張ひびわれのものではなく, 収縮ひびわれに類似したものである。

### 3. コンクリート部材断面におけるアルカリの濃度分布とアルカリシリカ反応によるひびわれ

ASRに関与するコンクリートの細孔溶液中のアルカリは, 部材断面内部において一様に分布しているのではなく, 部材の周辺部の濃度は低く, 中央に向かうに従って高くなっているのである。すなわち, ASRは部材の全断面にわたって生ずるのではなく, アルカリの濃度がある限界値を超えた領域(図-2)においてのみ生ずる<sup>1)2)</sup>。このことは, ASRによる膨張も部材の全断面において生ずるのではなく, 図-2に示した領域においてのみ生ずる

ことを意味する。このような断面において膨張が局所的に生ずると, 断面内部には図-3に示すような応力分布が生じていることになる。すなわち, 反応の進行に伴って, 内部には圧縮応力が, 表層部にはこれによって引き起こされた引張応力が生ずるが, 内部の膨張がある段階にまで達すると表層部では引張限界歪みに達して, ひびわれを生ずることになる。このような限界歪みの値は通常の品質のコンクリートにたいしては, 0.05%程度になる。

写真-3は反応性骨材としてチャートを用いて6カ月間促進膨張試験を実施し, 約0.3%膨張したコンクリート試験体の中央部から採取した薄片の偏光顕微鏡写真であって, コンクリート内部に生じている数多くの微小なひびわれの一例を示したものである。この写真から明らかかなことは内部に生じているひびわれはセメント硬化体と骨材粒子という2つの相とは無関係に発達していることである。この種の微小なひびわれは試験体の周辺部から採取した薄片では非常に少ない。この写真においても1つ注目を要する点は細骨材粒子のセメント硬化体に接する部分であって, セメント硬化体部分との境界ははっきりせず, 粒子がセメント硬化体部分に溶解してい

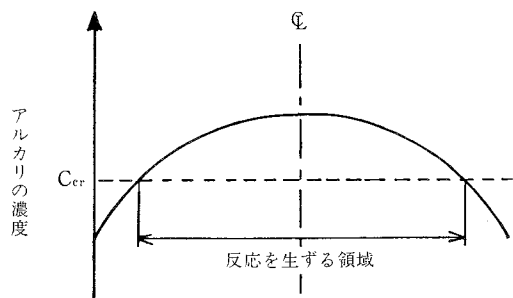


図-2 アルカリの濃度勾配と反応を生ずる領域

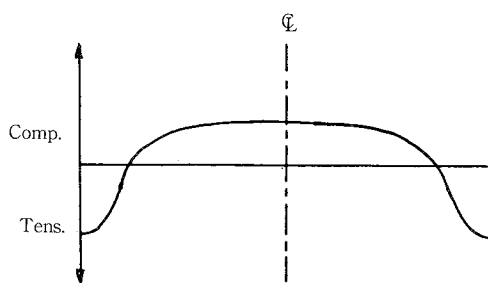


図-3 膨張によるひびわれ発生直前の応力分布概念図

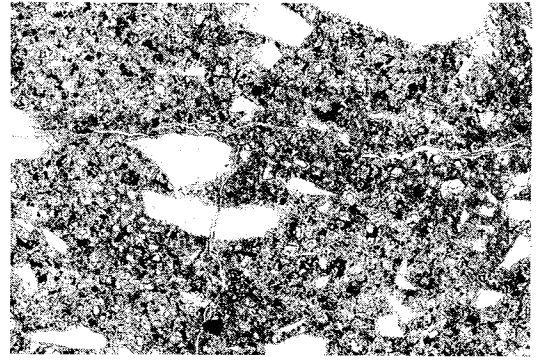


写真-3 アルカリシリカ反応によってコンクリート試験体の中央部に生じている微細なひびわれ



写真-4 アルカリシリカ反応によってコンクリート試験体の周辺部に生じているマクロなひびわれ—右側が表面 (偏光顕微鏡, クロスニコル像, 画面横幅 約6.7mm)

るような状態を呈している。すなわち、この部分はアルカリシリカ反応によって粒子を構成しているシリカ鉱物が分解している部分である。このような個所は中央部に近いほど数多く存在するが、周辺部にはほとんど見当たらない。その代わり周辺部には写真-4に示すような幅の大きいひびわれが外部に向かって伸びており、これらのひびわれの大部分は炭酸化したゲルによって充填されている。

以上の観察結果を総合すると次のとおりである。

1) ASRによって生じたコンクリート内部の微小なひびわれは部材の内部において数多く発生しており、これらのひびわれはセメント硬化体と骨材粒子の配置とはほぼ無関係に発達している。このことは、ASRの進行に伴い、両者ともに非晶質化が進行して力学的には同質の組織に近づいたことを示している。

2) 試験体の内部の骨材粒子の多くはASRによって周辺部分が分解しており、反応生成物であるゲルがセメ

ント硬化体中に拡散したことを示している。

3) 周辺部には図-4に示すような外部に向かって伸びている大きいひびわれが発達しており、内部において生成されたゲルの流出路になっている。

要するにASRによってコンクリート構造体に生じているマクロなひびわれ(すなわち、肉眼によって外部から認められるもの)のほとんどは、本来はアルカリシリカ反応とは直接関係のない部分に2次的に発生したものと考えられる。

4. アルカリシリカ反応によってコンクリート構造体に生ずるひびわれ

それでは、写真-1や写真-2に示した構造物のひびわれはどのような機構によって生じたものであろうか？

まず、写真-1のケースであるが、この橋台の断面におけるアルカリの濃度分布を想定すると、図-5(a)のようになる。コンクリートの打設を行って型枠を外した段階

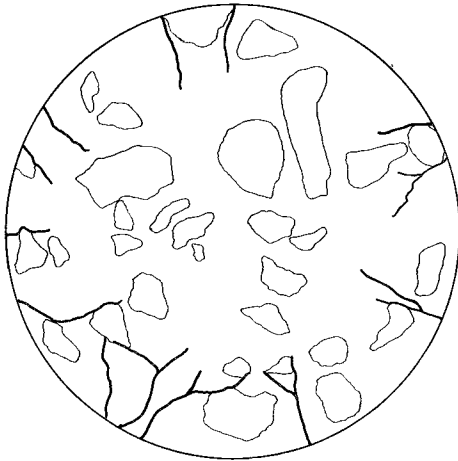


図-4 アルカリシリカ反応によって円柱供試体の断面に生じたマクロなひびわれ

におけるアルカリの濃度分布はほぼ左右対称で中央部に向かって濃度が高くなっているが、雨水などの浸透を通じて水の供給が行われると共に、日照などによる蒸発によってこれらの水分が移動することが繰り返行われるために、時間の経過とともにアルカリの濃度のピークは大气に接している前面に移動する。ASRの速度、すなわち、コンクリートの膨張の速度がコンクリート中のアルカリの濃度が高いほど大きいと仮定すれば、以上のような濃度分布によって生ずる橋台断面の応力分布は、図-5 (b)のように前面の表面近くに大きい圧縮応力を生じており、表層部のASRを生じていない部分には内部の圧縮応力によって引き起こされた引張応力を生じている。この部分が限界引張歪みに達したときひびわれを生ずるが、この際、表面付近に蓄積されていた弾性歪みエネルギーが解放されるために、写真-1に示すような大きい開口のひびわれを生ずるものと考えられる。なお、ひびわれが水平方向に生じているのは配筋の影響によるものであろう。写真-2のケースも基本的には図-4と同様な機構によってひびわれを生じたものと考えられるが、格子状またはマップ状にひびわれを発生する理由については次報において明らかにしたい。

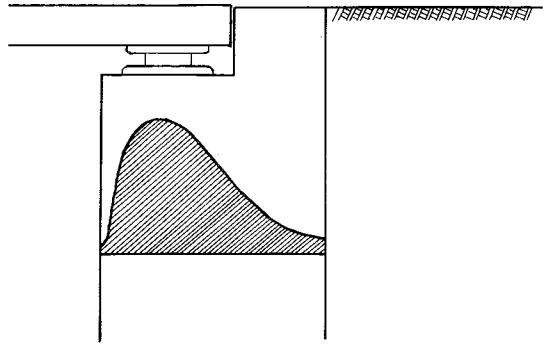


図-5 (a) 橋台断面に生じているアルカリの濃度分布

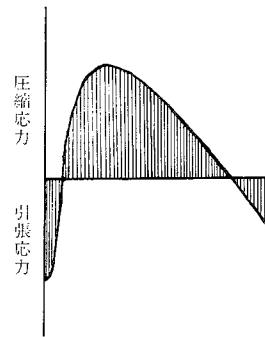


図-5 (b) ASRによって橋台断面に生じている応力分布 (ひびわれ直前の状態)

## 5. む す び

アルカリシリカ反応によってコンクリート構造物に生じているひびわれは断面内部に生じている反応によって2次的に引き起こされたものであることを示したものである。  
(1988年9月29日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 小林, 白木, 河合, 瀬野: 生産研究 (1988) Vol. 40, No. 6, 301-304.
- 2) 小林, 白木, 正木: 生産研究 (1988) Vol. 40, No. 8, 403-406.