

遅延エトリンサイト生成(DEF)による劣化が疑われる橋台の調査事例

(株) 復建技術コンサルタント 後藤 和彦  
(株) 太平洋コンサルタント 正会員 ○小川 彰一, 東丸 直頌

1. はじめに

材齢初期に高温養生を受けたコンクリートにおいて、硬化後にエトリンサイト(Ett)が生成して膨張する現象である DEF は、劣化事例として国内では主にコンクリート製品に報告されている。一方、マッシブなコンクリートでは水和熱により初期に高温となりやすいが劣化事例の報告は海外が主で、アルカリシリカ反応(ASR)と DEF との区別が困難であることもあり、国内で ASR を生じず DEF が生じた事例はない。本報では、1 径間の橋梁において、向い合う橋台の一方に外観目視観察で ASR と考えられる変状が認められたが、コア採取による各種試験を行った結果、劣化原因として ASR によるものではなく DEF が疑われた。以下、概要を示す。

2. 調査概要

(1) 諸元・外観変状等：対象とした構造物は東北地方の温泉地にある橋長 33m、幅員 8m の沢にかかる橋梁で、1989 年に架設された。橋台は、何れも逆 T 式、設計基準強度は 210kg/cm<sup>2</sup> であり、フーチング下部(地盤)から橋面までの高さは 7m (A1)と 9.5m (A2)と異なる。A1 の主なひび割れは、中央部鉛直方向に 1 本(幅 0.15mm)であったのに対し、もう一方の A2 は最大ひび割れ幅 0.6mm とするひび割れが多数認められた (図-1)。両橋台とも上部からの漏水跡が見られるがジャンカや剥離は認められない。橋梁周囲はイオウ臭がある。A2 は、源泉に近く、コンクリート温度は測定していないが、触れると外気よりも暖かい感触がある。

(2) 採取コアの各種試験：A1 および A2 からコアを採取し、物性等の試験、顕微鏡等の観察 (外観観察／実体顕微鏡観察／偏光顕微鏡観察)、水溶性アルカリ量(総プロ法)および飽和 NaCl 浸漬法(デンマーク法)を実施した。

3. 調査結果

表-1 にコアの物性等の試験結果を示す。各試験の数はそれぞれコア 1 本の値であるが、圧縮強度は設計基準強度を満足しており、静弾性係数の低下は認められなかった。塩化物イオン量は表層で若干高い濃度を示した。

A1 および A2 から採取したコア各 1 本を長さ方向(表層から深さ 250mm 程度まで)に中心部を切断して切断面を観察した結果、A2 コアでは表層に微細なひび割れが僅かに認められたが、切断面には A1 および A2 とともに目視で確認できるようなひび割れは無く、また、コンクリートは均一であり、締固め不足等による空隙は認められなかった。なお、切断したコアの表層からの中性化と考えられる変色域は両コアとも 10mm 以内であり、別に採取のコアの中性化深さの値(表-1)よりは小さいが、中性化は大きく進行していない。

偏光顕微鏡観察による骨材の種類および岩石種について、A1 および A2 とともに、粗骨材は砂利で、珪化岩、流紋岩・流紋岩質溶結凝

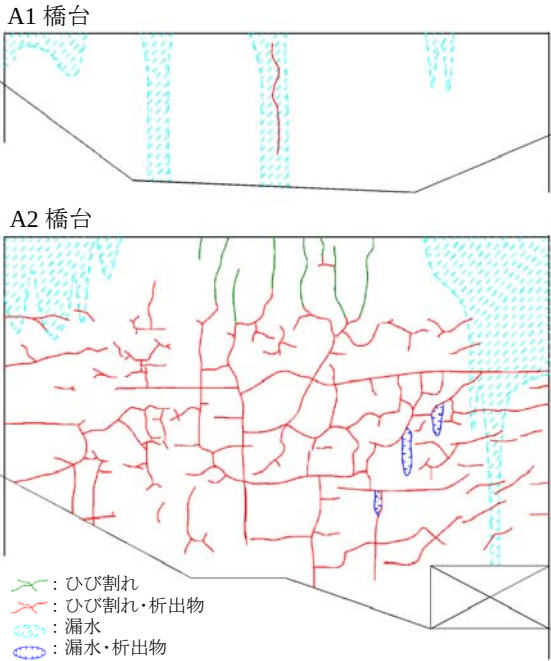


図-1 外観目視による変状

表-1 物性等の試験結果

| 試験項目                            |         | A1   | A2   |
|---------------------------------|---------|------|------|
| 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )        |         | 23.4 | 32.1 |
| 静弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> )      |         | 19.5 | 19.4 |
| 湿潤密度(kg/m <sup>3</sup> )        |         | 2206 | 2215 |
| 含水率(%、105℃乾燥)                   |         | 4.8  | 5.7  |
| 中性化深さ(mm)                       |         | 2.9  | 16.5 |
| 塩化物イオン量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 0-20mm  | 1.47 | 2.62 |
|                                 | 40-60mm | 0.19 | 0.25 |

キーワード 遅延エトリンサイト生成 (DEF), アルカリシリカ反応, 表層ひび割れ, 温泉地, 調査診断  
連絡先 (株)太平洋コンサルタント東京営業所 〒103-0004 東京都中央区東日本橋 2-27-8 Tel:03-5820-5607

灰岩、安山岩、花崗岩などから構成され、細骨材は粗骨材とほぼ同様な岩石種の岩片と花崗岩などを起源とする石英や長石などの結晶片からなる砂であり、両橋台とも同じ骨材が使用されていたと思われる。また、何れの橋台もセメントペーストには混合材は認められなかった。実体顕微鏡および偏光顕微鏡による骨材のASR 進行状況を表-2 に示す。外観目視によるひび割れが多いA1 よりも、A2 で軽微であり、A1 でもペーストに進展するひび割れが認められたのは、観察された範囲ではあるが、珪化岩である粗骨材 1 粒子のみであった。

A2 において偏光顕微鏡で観察された骨材-ペースト界面およびペースト中ひび割れを図-2 に示す。骨材界面やペーストひび割れ部には、Ett と思われる針状を呈する生成物が存在して

いた。骨材界面におけるギャップの存在頻度は少ないが、ペースト部分には微細なひび割れがしばしば観察された。なお、このような状況は A1 では観察されなかった。

水溶性アルカリ量は、A1 および A2 で、それぞれ 2.58 および 4.70 kg/m<sup>3</sup> (Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>) であり、ASR の劣化進行状況の差異とは合致しなかった。また、デンマーク法の結果では、膨張は試験開始直後から膨張を生じ、膨張速度は材齢とともに遅くなったが、試験終了の材齢 91 日において A1 では 0.24%、A2 では 0.22% の膨張に達した。但し、91 日経過後のコア外観には目視で確認できるひび割れは無かった。

4. 考察

(1) 外観目視でひび割れが多い A2 橋台において、ASR は軽微であり、骨材からペーストに進展するひび割れは観察されなかった。しかしながら、骨材-ペースト界面やペーストひび割れ内にエトリングイトと思われる生成物が存在し、DEF が生じている可能性が考えられる。

(2) 両橋台は、推定ではあるが同じ時期に打設され、また、同じコンクリートが用いられていたと考えられる。しかしながら、A2 のみにひび割れが発生しており、その原因が DEF であるとすれば、1) A2 は源泉に近い

ためコンクリートに熱供給され、コンクリート打設後の水和発熱による最高温度が A1 より A2 で高くなったこと、2) 供用期間中も A2 のコンクリートは A1 よりも常に温度が高い状態が保持され DEF が促進されたこと、が考えられる。

(3) 土壌との接触面から硫酸塩が作用した可能性については、表層から深さ 250mm 程度ではあるがコアは均一な状態であったことから、また、表層から硫化水素が作用した可能性については、中性化は大きく進行していなかったことから、それぞれ全く否定はできないが、ひび割れ発生原因とは考え難い。なお、両橋台の水溶性アルカリ量の差異の原因、ASR や DEF に与えた影響は不明であり、また、デンマーク法における結果にも疑問が残ることを付記する。本事例が、今後の劣化診断の一助になれば幸いである。

表-2 ASR の進行状況（実体/偏光顕微鏡観察）

| 試料 | 岩 種 |               | ASR    |          |     |          |   |
|----|-----|---------------|--------|----------|-----|----------|---|
|    |     |               | 進行段階 → |          |     |          |   |
|    |     |               | i      | ii       | iii | iv       | v |
|    |     |               | 骨材     | セメントペースト | 骨材  | セメントペースト |   |
| A1 | 粗骨材 | 珪化岩           | ○      | ◎        | +   | +        |   |
|    |     | 流紋岩・流紋岩質溶結凝灰岩 | ○      | ○        |     |          |   |
|    |     | 安山岩           | +      | ○        |     |          |   |
|    |     | 頁岩            | +      | +        |     |          |   |
|    | 細骨材 | 頁岩            | +      | +        |     |          |   |
|    |     | 流紋岩・流紋岩質溶結凝灰岩 | ◎      | ◎        | +   |          |   |
|    |     | 安山岩           | ○      | ○        |     |          |   |
|    |     |               |        |          |     |          |   |
| A2 | 粗骨材 | 珪化岩           | ○      |          |     |          |   |
|    |     | 流紋岩・流紋岩質溶結凝灰岩 | ○      |          |     |          |   |
|    | 細骨材 | 頁岩            | +      |          |     |          |   |
|    |     | 流紋岩・流紋岩質溶結凝灰岩 | +      |          |     |          |   |
|    |     | 安山岩           | +      | +        |     |          |   |

ASR の程度 : ◎ 顕著 ; ○ あり ; + わずか ; 空欄 なし

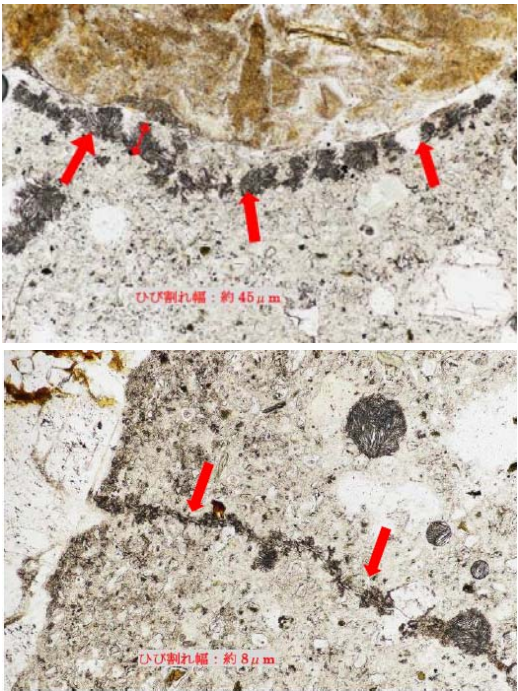


図-2 A2 橋台の偏光顕微鏡写真(単ニコル)  
上:骨材-ペースト界面, 下:ペースト中ひび割れ