

3603 棒形スキャナーを用いたアルカリ骨材反応による ひび割れの簡易評価法

正 [土] ○河村 佳英 (鉄道総合技術研究所) 正 [土] 曾我部 正道 (鉄道総合技術研究所)
正 [土] 仁平 達也 (鉄道総合技術研究所) 正 [土] 谷村 幸裕 (鉄道総合技術研究所)

Simplified Evaluation Method of Alkali-Silica Reaction using the Stick Scanner

Yoshihide KAWAMURA, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City
Masamichi SOGABE, Tatsuya NIHEI, Yukihiro TANIMURA, Railway Technical Research Institute

To evaluate deterioration degree of Alkali Silica Reaction (ASR) on concrete structures, we often use crack depth of concrete. A lot of studies for crack depth measurement method were widely performed in various kinds of non-destructive inspection technique. We investigated applicability of stick scanner for ASR crack depth measurement, which is a kind of line sensor with rotation mechanism. Through this study, we clarified that stick scanner can clearly make a shot of concrete interior portion of structural specimen and actual bridge piers, for instance, crack depth, crack wide, aggregate crack distribution and so on.

Keywords : alkali silica reaction, crack depth, aggregate crack distribution, stick scanner

1. はじめに

アルカリ骨材反応とは鉄筋コンクリート構造物等において、セメントに含有される (Na, K) と骨材中のある種の鉱物が反応して、コンクリートに異常な膨張およびそれに伴うひび割れを発生させるものである¹⁾。アルカリ骨材反応には、アルカリシリカ反応 (以下、ASR という) と、アルカリ炭酸塩岩反応の2種類があり、わが国で被害が報告されているのはASRが大半を占める。日本では、昭和61年にアルカリ骨材反応の抑制方法がJISで規定され、その後に建設された構造物では被害が大幅に抑制されているものの、完全には発生を防止できていない。ASRにより劣化した構造物は、建設後数年から10年以上経過した後にコンクリートのひび割れ発生という形で変状が顕在化することが多い。また、以下の3つの要因により、ASRによる劣化は大きく相違することが知られている。1つめは、セメントの種類とそのアルカリ量、反応性骨材の種類とその含有量、コンクリートの配合などのコンクリートに関する要因、2つめは、部材の断面形状、鋼材量、拘束条件などのコンクリート構造物に関する要因、3つめは、水、アルカリの供給状態、日射条件、雨掛かり等の構造物のおかれた環境条件に関する要因である。ASRによる劣化は、水分およびアルカリが供給される条件下で、長期にわたるのが一般的である。

表-1に、鉄道構造物等維持管理標準におけるアルカリ骨材反応の変状過程を示す。現状においてASRの発生・進行を精度よく定量的に予測することは困難である。鉄道構造物の維持管理では、変状の過程を表に示すように潜伏期、進展期、加速期、劣化期に区分し構造物の外観上のグレードにより総合的に判断して健全度判定を行っている。このうち、特に加速期と劣化期は外観による判断が困難であるが、閾値としては構造物の耐力に及ぼすか否かで判定が分かれる。耐力力の減少は、鉄道の安

全確保に影響を及ぼすため、加速期と劣化期の区分においては的確な判断が求められる。

ASRによる劣化は、水分の供給により進行するため、一般にコンクリート表面で進行する。その結果として当該コンクリート部分が圧縮力やせん断力を負担できなくなる。また、ひび割れから雨水等が浸入した場合には、内部の鉄筋が腐食し、耐力が低下する。場合によっては、コンクリートの膨張圧により鉄筋が破断することもある。このことから、ASRの健全度の判定においては、発生したひび割れの深さ、例えばひび割れが鉄筋に達しているか否かなどが、判断材料とされる場合が多い。このひび割れ深さの計測は、実務上容易でないが、本研究では、棒形スキャナー²⁾に着目して、ASRによる変状過程の簡易な明確化手法について検討した。本研究の目的は、以下の通りである。

- (1) ASR供試体に対して棒形スキャナーによるひび割れ深さの測定を試みる。
- (2) ASRが発生した実構造物に対して棒形スキャナーによるひび割れ深さの測定を試みる。

表 1 鉄道構造物等維持管理標準における
アルカリ骨材反応の変状過程

変状過程	定義
潜伏期	ASR そのものは進行するものの膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生しない期間
進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、ひび割れが発生する期間
加速期	ASRによる膨張が顕著に現れ、膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが進展する期間
劣化期	ひび割れの幅および密度が増大し、鋼材腐食が進行するとともに、過大な膨張が発生した時には、鋼材の降伏や破断が発生し、部材として耐力に影響を及ぼす期間

2. 検討方法

2.1 棒形スキャナーの概要

図-1、表-2に棒形スキャナーの概要を示す。近年、鉄道構造物の調査ではドリル削孔を用いた中性化や塩化物イオン濃度の調査が行われている。ドリル削孔による維持管理は、軽量のハンマードリルを用いて微破壊の検査を行うものである。棒形スキャナーは、このドリル孔を用いて、コンクリートの内部を観察する手法である。従来のコア法に比べて、機材が軽量であること、作業に熟練を要しないこと、作業時間が短いこと等の利点が挙げられる。棒形スキャナーには、先端の棒形の筒の中に長さ210mmの接触画像センサーContact Image Sensor（以下、CISという）が組み込まれている。このCISを孔内で回転させながらスキャンすることにより内部の画像を得ることができる。ここで用いているCISは、一般的な複写機のガラス面下で用いられているライン状センサーと同種のものである。棒形スキャナーに用いたCISの解像度は600DPIで、1pixelは0.042mmに相当する。

実際の作業においては、まず、コンクリート内部の鉄筋の位置を電磁波（レーダー）又は電磁誘導法により探査し、これを避けたひび割れ位置にドリル削孔する。その後、孔内を簡易ポンプなどで洗浄し、棒形スキャナーでセンシングする。削孔径が小さな微破壊検査であるため、検査後、孔内に防水を施して存置することが可能である。後日、同じ孔を用いてひび割れの進展状況を確認する等のモニタリング手法としても活用できる。

2.2 ASR 供試体の概要

単純なひび割れのモニタリングであれば、力学的なひび割れにより容易に検証できるが、本研究では、ASRによるひび割れの分布の識別の有無が目的であるため、供試体レベルではあるが、実際のASRによるひび割れを用いて検証をすることとした。

図-2に検討に用いたコンクリート供試体の概要を示す³⁾。この供試体は、1988年に作成され、経年24年である。軸方向鉄筋比は1.01%、鉄筋のかぶり厚は70mmである。図中の引き出し線は、ひび割れの測定位置を示す。ひび割れに対する鉄筋の拘束効果を把握するため、同位置のひび割れを測定した。

表-3にコンクリート供試体の配合を示す。同供試体には反応性骨材として、堆積岩が用いられている。練り混ぜ水に試薬のNaOHとKOHを添加し、全アルカリ量は、セメント重量に対し3.0% R_2O ($R_2O=Na_2O+0.658K_2O$)となるように調整されている。また、粗骨材はベシマムを考慮し、反応性骨材混入率は60%に調整されている。

スキャンした画像は、測定位置ごとに、ひび割れ深さとひび割れ幅の関係によりデータを整理した。

2.3 ASRが発生した実構造物の概要

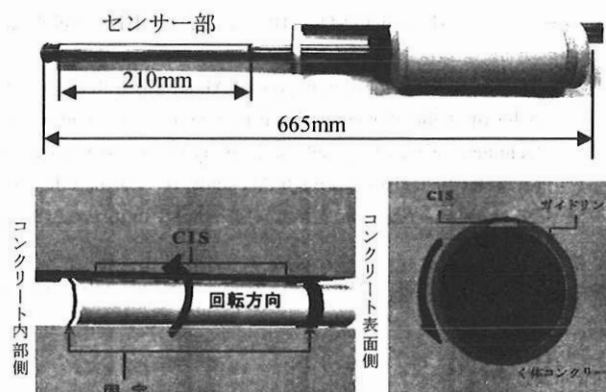
実構造物について、ASRと判定されている2つの構造物のひび割れを検討した。

図-3に著しいASRが発生したRCラーメン橋台柱の概要を示す。断面寸法は、3800mm×1200mmである。柱の端部では鉛直方向、中央付近では亀甲状のひび割れが生じている。図(b)中の引き出し線は、測定位置を示す。柱端部と中央付近について各1箇所ずつ測定した。当該柱の軸方向鉄筋比は0.99%、設計かぶり厚は77mmである。

図-4に著しいASRが発生したRC橋脚の概要を示す。断面寸法は、4000mm×1600mmである。全体的に亀甲状



(a) 作業風景

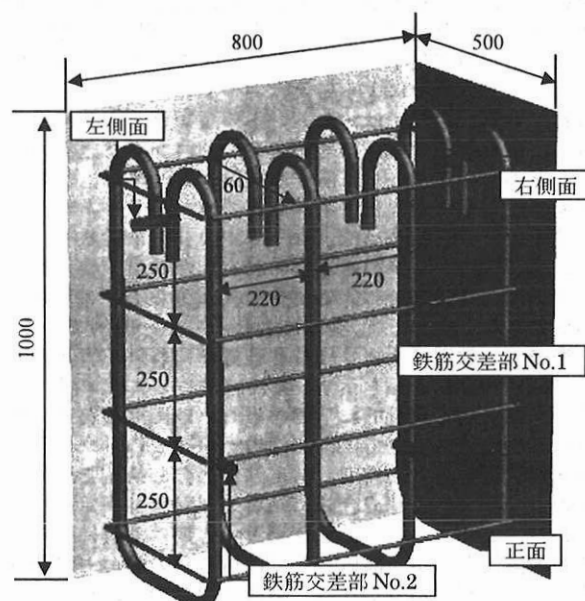


(b) 棒形スキャナー全体図と操作概要

図1 棒形スキャナーの概要

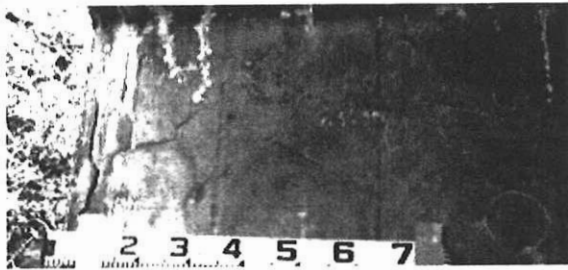
表2 仕様

センサー長	210mm
最大読み取り深さ	削孔穴の孔口から350mm
光学解像度	600DPI (1pixel: 0.042mm)
焦点距離	1mm
読み取り削孔サイズ	φ24.5mm

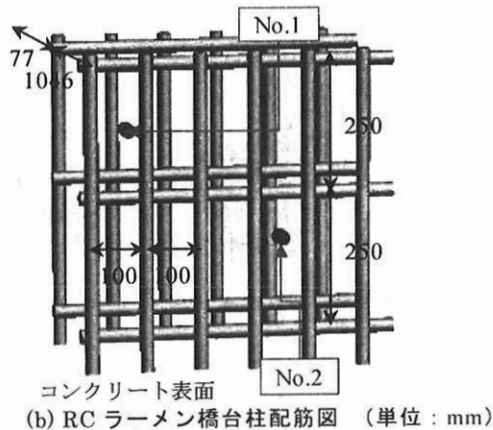


軸方向鉄筋: D25, せん断補強鉄筋: D10
(単位:mm)

図2 供試体の概要



(a) RC ラーメン橋台柱外観

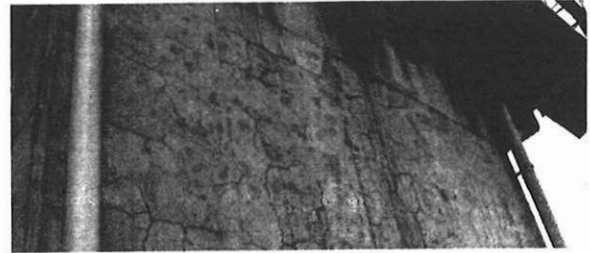


(b) RC ラーメン橋台柱配筋図 (単位: mm)

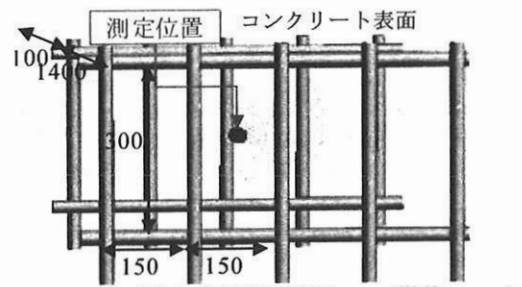
図3 RC ラーメン橋台柱の概要

表3 コンクリート供試体の配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)	
		水	セメント
55	47	193	350



(a) RC 橋脚外観



(b) RC 橋脚配筋図 (単位: mm)

図4 RC 橋脚の概要

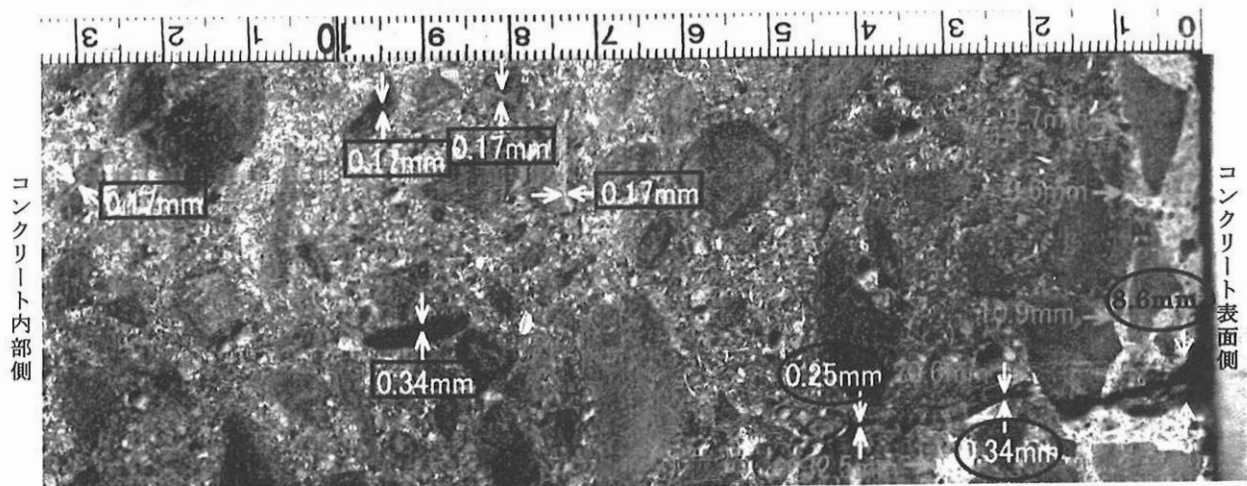


図5 棒形スキャナーによる測定画像の例

のひび割れが生じている(く体表面に錆汁が見られるが、これは上記ひび割れから滲出したものではない)。く体の下部中央付近で、1箇所測定した。当該柱の軸方向鉄筋比は0.88%、設計かぶりは100mmである。

3. 検討結果

図-5に棒形スキャナーによる測定画像を示す。ここでは実構造物であるRC橋脚について例示した。図中の左側の変色部分は、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧して中性化状況を確認したものである。図から、表面付近で観察されたASRによるひび割れのコンクリート内部での分布を確認できる。ひび割れの進展状況のほか、骨材の割れや、製造時に生じた空隙なども観察できる。丸囲いの数値はひび割れ幅、四角囲いの数値は骨材割れの幅、囲いの無い数値は中性化深さを示している。コン

クリート表面では、ひび割れ幅が大きい。この部分はドリル削孔時に欠損が生じた部分である。他の供試体や実構造物の削孔も同様に、表面付近でひび割れの欠損が発生し、画像で解析したひび割れ幅が、事前にクラックスケールで計測したひび割れ幅よりも大きくなる場合が多く見られた。この欠損の問題は、この手法の課題と言えるが、事前に表面ひび割れ幅を確認しておけば、内部のひび割れ分析には影響を及ぼさないと考える。

図-6にASR供試体におけるひび割れ深さとひび割れ幅の関係を示す。ひび割れ幅の小さい領域に着目するため、ひび割れ幅のプロット上限範囲は2.0mmまでとした。また各凡例の横には、事前に計測した表面ひび割れ幅の値を併せて示した。同図の傾向からは、最大表面ひび割れ幅が、1.5mm程度(右側面)であるにも関わらず、いずれのひび割れも鉄筋に達せず、最大で30mm程度に留

まっていることが分かる。配筋状況の若干異なる正面と側面を比較したが、明確な違いは見いだせなかった。実線で示した軸方向鉄筋とせん断補強鉄筋の交差部(以下、鉄筋交差部という)とそれ以外の箇所では、ひび割れ深さに差がみられ、前者が10mm前後で留まるのに対して、後者は、30mm程度に達していた。これは内部からの膨張圧を鉄筋が抑制しているためであると考えられる。このことから、実構造物においてひび割れ深さを判定する場合には、できるだけ鉄筋交差部のひび割れを避けた方がよいことが伺える。なお、左右側面に明瞭な骨材割れは見られず、骨材周りの割れが多く見られた。

図-7にASRが発生したRCラーメン橋台におけるひび割れ深さとひび割れ幅の関係を示す。図-6と同様に、各凡例の横には、事前に計測した表面ひび割れ幅の値を併せて示した。事前計測した表面ひび割れ幅はどちらも1.5mmであったが、外観から雨掛かりが多いと推察されるNo.1の方では、ひび割れ深さは40mmであった。また、90mm程度までは、内部の骨材の割れが確認された。

ASRによる耐荷力の低下メカニズムは、前述のようにコンクリートの劣化と鋼材の腐食であるが、当該構造物の鉄筋のかぶり77mmである。ASRによる表面ひび割れ深さは、鉄筋のかぶりの範囲内であり、現時点においては耐荷性能には問題無いと考える。また、このひび割れにより極端に鋼材が腐食する可能性は低いと言ってよいであろう。以上から、変状過程の区分上、当該構造物は、加速期に留まっていると判断される。

図-8にASRが発生したRC橋脚におけるひび割れ深さとひび割れ幅の関係を示す。130mm程度までは、内部の骨材の割れが確認されたが、ひび割れ深さは70mmであった。当該構造物の鉄筋のかぶりは100mmであり、同様に現時点において耐荷性能には問題無いと言えよう。変状過程の区分上、当該構造物は、加速期に留まっていると判断される。

4. まとめ

ASR 供試体、および著しいASRが生じた2つの実構造物について、棒形スキャナーを用いてひび割れ深さを測定した。結論は以下の通りである。

- (1) ASR 供試体、実構造物ともにひび割れ深さを簡易に測定できることがわかった。
- (2) コンクリート内部の骨材割れの幅と位置についても、簡易に測定できることがわかった。
- (3) 今回測定した構造物では、表面ひび割れ幅が1.5mm程度であっても、ひび割れ深さはかぶりの範囲内に留まっていることがわかった。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)コンクリート構造物，丸善株式会社，2007
- 2) 出水亨，井上洋一，伊藤幸広，肥田研一：棒状スキャナーによるコンクリート内部微破壊調査事例，土木学会第63回年次学術講演会，5-512，pp.1023-1024，2008
- 3) 高田潤，中村亨，立松英信：大型供試体によるコンクリート構造物の劣化予測，鉄道総研報告，Vol.4，No.9，pp.41-47，1990.9
- 4) 曾我部正道，谷村幸裕，伊藤幸広：コンクリート構造物の内部を探る，RRR，pp.30-32，2008.5

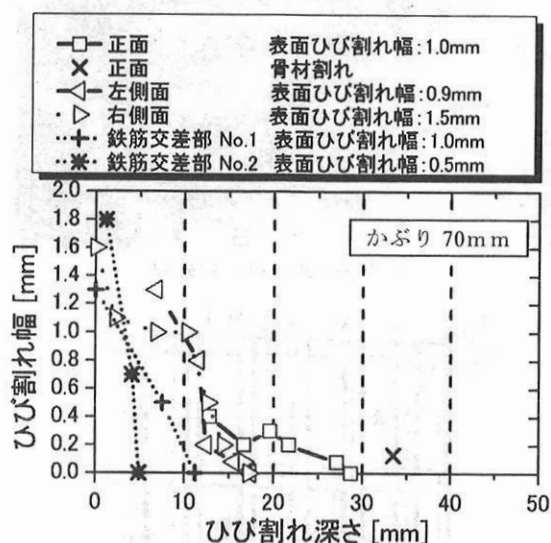


図6 ひび割れ深さとひび割れ幅の関係(供試体)

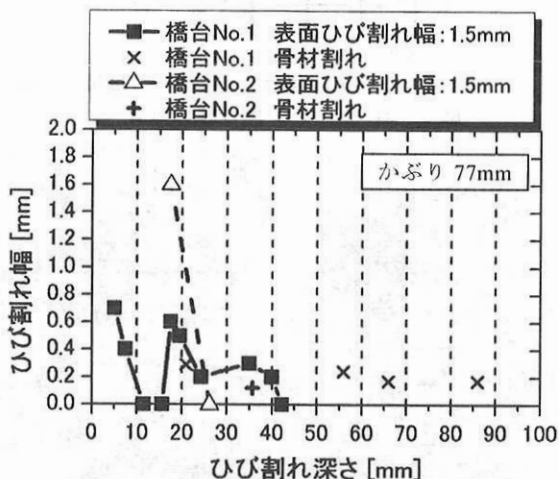


図7 ひび割れ深さとひび割れ幅の関係(RCラーメン橋台)

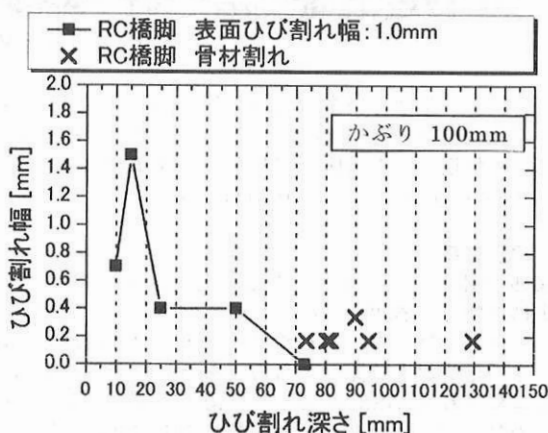


図8 ひび割れ深さとひび割れ幅の関係(RC橋脚)