

アルカリシリカ反応により劣化したコンクリート構造物の調査・対策に関する提案

A Proposal of Investigation and Maintenance for Concrete Structure Damaged by Alkali-Silica Reaction(ASR)

尾見良二*・成瀬英治**

OMI Ryoji and NARUSE Eiji

* 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼第二調査部長

The mechanism of ASR has not been investigated sufficiently. Moreover, the alkali-silica reactivity changes with the type of aggregates used and environmental conditions in which the structure is located. Therefore, it is difficult to evaluate the alkali-silica reaction quantitatively, and the criterion to judge the time of maintenance and the methods have not yet presented. The present paper describes a case study of diagnoses and repairing methods of a concrete structure, which has been deteriorated by ASR.

Key Words : Alkali-Silica Reaction(ASR), reinforced concrete, maintenance

1. はじめに

わが国では、高度成長期を中心に数多くの社会資本が整備されてきた。その中には築造後、50年以上経過している構造物も存在し、老朽化や劣化が見られるものも多くある。コンクリート構造物はメンテナンスフリーと考えられていた時期もあったが、近年の調査・研究により、使用した材料や設計方法および周辺環境により比較的早期に劣化が生じる事例も多く報告されている。(財) 沿岸技術研究センターでは国土交通省や有識者の協力を得て、各地方で様々なコンクリート劣化に関して原因究明の調査を実施するとともに対策を提案している。本稿ではその成果の中から、アルカリシリカ反応(以下ASRと称す)により劣化したコンクリート劣化調査を例にとり概要を述べる。

2. 対象構造物の概要

対象とした構造物は二径間連続RC床版箱桁橋の橋脚である。柱部については耐震補強によるコンクリート巻き立て工事が完了している。一方、フーチング部については、ASR特有の多数のひび割れおよび鉄筋の破断が確認されたため、詳細調査を実施するとともに残存構造耐力を照査するとともに対策を検討した(写真-1 参照)。

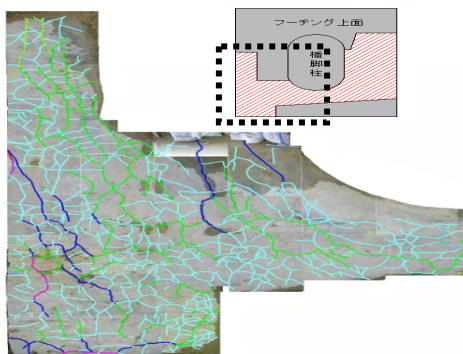


写真-1 フーチングひび割れ状態

3. 調査

3.1 調査・試験項目

一般的にASRに起因する損傷が発生している場合、コンクリートの物性変状の特徴として、弾性係数が低下し、圧縮強度は同等かやや低下することが挙げられる。特に臨港部においては塩害も併発している場合があり注意を要する。

詳細調査を実施するにあたり、フーチング部に生じているひび割れ等の外観観察結果から、主にASRおよび塩害に関する調査を実施することとし、図-1に示す項目を選定した。また、フーチング部周辺の環境条件を把握するために土質調査(透水系数など)も併せて行うこととした。

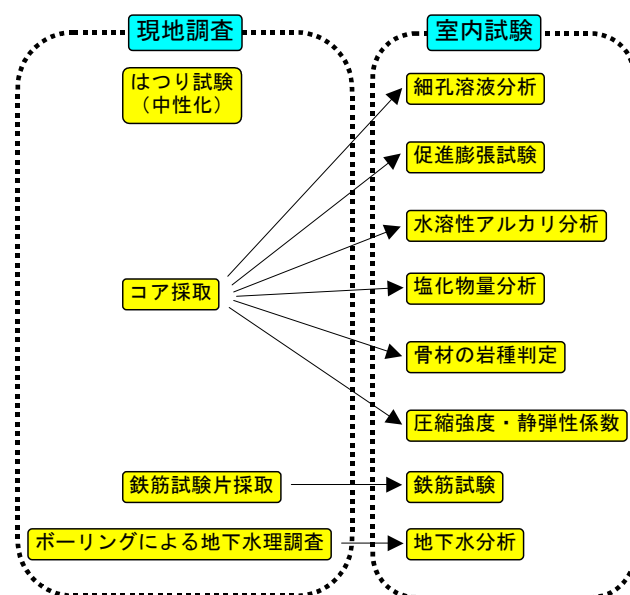


図-1 全体調査項目

3.2 各試験概要

(1) 現地調査

a) はつり調査

コンクリート表面に発生しているひび割れ深さの把握、鉄筋の発錆状況および破断状況の把握を目的とした。その結果、表層でのひび割れは鉄筋位置で止まっており鉄筋籠内までは到達しておらず、発錆状況は比較的軽微な状況であった。ただし、主鉄筋部は健全であったが、一部の鉄筋曲げ加工部で破断している箇所が認められた。一方、はつり面においては、フェノールフタレイン溶液噴霧による中性化深さ測定を行い、鉄筋位置まで至っていないことを確認した。

b) コア採取

室内試験用の試料採取を目的として実施した。加えて、鉄筋籠内のコンクリートの状態も確認するために、フーチング上面よりロングコア試料 (L=2.5m) を採取し、ファイバースコープによる孔内観測により健全な状態であることを確認した (写真-2 参照)。



写真-2 ファイバースコープによる観察状況

c) 鉄筋試験片採取

破断した鉄筋の物性値の確認および破断面の観察を目的として実施した。

d) ボーリングによる地下水理調査

周辺の土中での環境がASRに及ぼす影響を把握することを目的とした。その結果、干満により地下水位が変動することおよび塩水の混入が確認され、ASR、塩害の発生に影響していることが分かった。

(2) 室内試験

a) 細孔溶液分析

ASRの残存余力の推定を目的として、採取したコアから直径50mm程度のコアを採取し、コンクリート細孔溶液抽出装置により細孔溶液を抽出した (写真-3 参照)。この手法は、抽出した細孔溶液中の水酸イオン量 (OH⁻) により残存余力を判断するものであり既往の研究成果では250mmol/l以下を無害の目安としたが、この手法は検討の余地が残されており¹⁾、今後の研究成果の蓄積により更なる精度の向上が期待される。



抽出装置



細孔溶液抽出状況

写真-3 細孔溶液抽出装置、抽出状況

b) 促進膨張試験

ASRによる残存余力の確認を目的として実施した。促進養生条件を表-1に示す。

その結果、膨張傾向を示すコアが存在し、残存余力はあるものと判断した。

表-1 促進膨張試験

試験方法	JCI-DD2法	デンマーク法	カナダ法
促進環境条件	20℃ 95%以上R. H.	50℃ 飽和NaCl水溶液に浸漬	80℃ 1mol/lNaOH溶液中に浸漬

これら試験方法のうち、JCI-DD2法はアルカリがコア内部から漏出し、膨張量が小さくなることもあり、「危険側」の判定となることが近年分かってきている。また、デンマーク法については海洋環境に近い養生条件であることから採用した。

カナダ法はASTM C 1260のモルタルバー法に規定される手法をコアに適用した手法であり、早期に判定結果を得ることが可能である。ただし、促進条件が厳しすぎるという報告もあることから、今後の研究の進展が期待される。

c) 水溶性アルカリ試験

コンクリート中の深さ方向のアルカリ量を測定し、ASRの反応の可能性を確認することを目的として実施した²⁾。測定は40℃の温水抽出法により採取した溶液の原子吸光分析により行った。その結果、表面部分のコンクリートアルカリ量は①土中部では濃度が低い、②気中部 (比較のため) では逆に濃度が高いことが分かった。①

については地下水等への溶出があるため表面位置での濃度が小さく、②については飛来塩分の影響であると推測される。

d) 塩化物物量分析

採取コアを用いて、深さ方向に塩化物イオン量(CI⁻)をJCI-SC5法により測定した。表面塩分濃度は高いものの、鉄筋位置では土木学会標準示方書に規定される鋼材腐食発生限界濃度1.2kg/m³を超えていないことを確認した。比較のため気中部から採取したコアでは塩化物イオンと水溶性アルカリの濃度分布傾向が同じであったが、土中部では相反する結果となった。現在のところ原因究明には至っておらず、今後も調査を行う必要がある。

e) 圧縮強度・静弾性係数

構造物の構造耐力検討を行うための基礎データを取得することを目的として実施した。圧縮強度はほぼ設計値を満足するが、ASRにより劣化したコンクリートの特徴である静弾性係数の低下が顕著であり、設計値の1/3程度しかないことが確認された。

f) 骨材の岩種判定

コンクリート中の粗骨材の岩種および含有率を把握し、有害鉱物の有無を確認することを目的として実施した。5種類の岩種が確認され3種類に有害鉱物が確認された。細骨材、セメントおよび添加剤等については粒度が小さいことや科学反応後であるため、物性把握ができない。

g) 鉄筋試験

曲げ加工部の鉄筋破断の原因を明らかにすることを目的として実施した。試験項目を表-2に示す。

表-2 鉄筋試験項目

試験項目	確認内容・目的
化学成分	JIS規格との整合
寸法形状	JIS規格との整合
引張強度	JIS規格との整合
曲げ半径	現行基準との整合(ex. 2D)
硬さ試験	ビッカース硬さ試験・・・局部硬化の有無
縦断面組織観察	光学顕微鏡観察・・・クラックの有無
破断面の表面分析	腐食成分の有無
破断面観察(SEM)	破壊形態の判別

採取した鉄筋片(曲げ加工部)は20年以上前に製造されたものである。寸法形状はJISに規定する節間隔、隙間は満足するものであったが、節の根元の曲率形状は現行の鉄筋(7R程度)と異なり半分程度(3R程度)の大きさであった(図-2参照)。

また、鉄筋曲げ加工半径は1.5D程度であり、現行基準の2.0Dを下回っていた。破断していない鉄筋の縦断面組織観察でも曲げ加工部内側に微小なクラックが確認され

た(写真-4参照)。これは施工時に、すでにクラックが発生していたものと推測される。このクラックを起点にASRによるコンクリートの膨張力およびその他の要因により破断が生じたものと推測した。

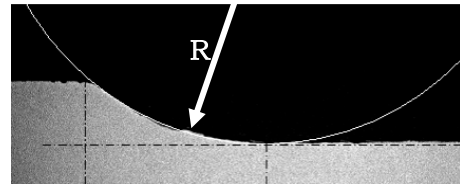


図-2 鉄筋節半径R



写真-4 鉄筋曲げ半径計測

h) 地下水分析

対象橋脚の立地位置による地下水水質の違いを明らかにすることを目的としてボーリング調査結果と合わせて考察を行った。劣化橋脚は透水性の高い土層に位置し、海水の干満により地下水位および塩分濃度が変動することがわかった。さらに塩分濃度も高く、ASRおよび塩害を起こす可能性の高い環境下であった。一方、隣接する橋脚においては、陸側より流入する地下水(真水)の影響が大きく、不透水性の土層に位置しており海水の干満の影響も小さく、安定した環境下であったことが分かった。

4. 構造耐力および対策

各調査、試験結果より構造検討に配慮した事項は以下のとおりである。

- ①鉄筋曲げ加工部の破断(定着長不足)に対する補強
- ②コンクリートの物性値(特に静弾性係数の低下)による弊害
- ③補強対策およびASRの膨張余力に対する長期的な維持管理手法

ここで課題となるのは、設計基準の遍遷である。劣化している構造物は数年~10数年経過しているものが多く、この間に道路橋示方書のように考え方や手法が大きく変

化することがある。本橋脚の例では設計年次が昭和55年であったが、平成7年度の「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」を受け補強検討が行われていた。この検討では、橋梁の重要度や供用環境ならびに構造物性より総合的に判断し、最新基準の適用は考えないものとしている。

①については、破断している鉄筋の撤去は行わず、配筋上現実的である重ね継ぎ手による補強案を講じた。

②については、橋脚全体の安定を考慮構造検討を行うこととした。橋脚フーチングは「剛体」となるよう計画することが多い。弾性係数は剛体の判定を行う上で重要なパラメータである。本橋脚では静弾性係数が設計値の1/3程度まで低下していることから、式(1)により再判定の検討を試みた。

$$\frac{6EI}{K_v \cdot L^3} > \frac{n^4}{10} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに

E : コンクリートの弾性係数 (t/m²)
 I : 1行当りのフーチング断面二次モーメント (m⁴)
 K_v : 軸方向バネ定数 (t/m)
 L : 杭中心間隔 (m)
 n : 杭の列数 (本)

注) 式(1)は昭和55年道路橋示方書より準用

その結果、 $\mu < n^4/10$ となり、剛体とは見なされず弾性体とみなし構造耐力の検討を行った。

③については、今後のASRの進行を考慮した設計を行う必要がある。現在の知見ではその進行度合を明確にすることが出来なかったが、図-3に示すひび割れの発生傾向より次の点について留意した。

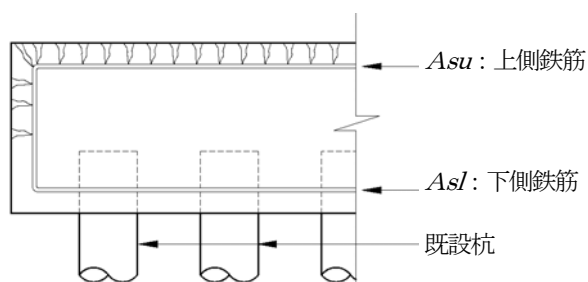


図-3 ひび割れの発生傾向

- ・ ひび割れは上面および側面の上面に集中していた。
- ・ 下側についてはひび割れが確認できず健全であると考えられる。これはAsuがAslに対して1/3程度であり上側と下側の鉄筋比の差が大きい。
- ・ フーチング下面は杭により拘束されている。

以上より、上面にひび割れが集中したものであると推定し、上面側と下面側の鉄筋量が同等となるよう鉄筋コンクリートによる増厚補強を行うことにした(鉄筋比の是正)。

一方、不明確であるASRの残存余力については、長期的に歪み計測を実施することにより対策工の妥当性を

確認することにした(図-4参照)。歪み計測は実績が多く、データ回収が容易な焼付け接着による歪みゲージを用いることとした。

歪みデータを解析し、明らかにひび割れが発生したと考えられる値を確認した場合には直接目視調査が行えるよう人孔の設置も検討している。今回、コンクリート巻き立て補強としたのは、異常時に劣化状況を直接確認できるように配慮したものである。なお、本補強工法は従来の鋼板巻き立てと同等の耐力を有するものと考えている。

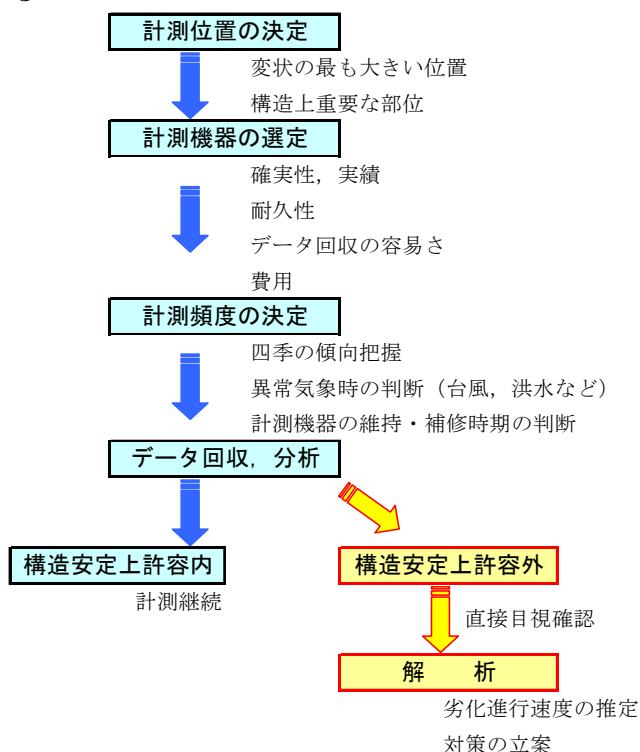


図-4 計測管理計画フロー

5. おわりに

ASR劣化による補修・補強対策は試行錯誤の段階であり、そのメカニズムも明確にされていないのが現状である。本稿では調査・対策に関するアプローチを紹介したものであり、今後の更なる調査・研究に際して参考となれば幸いである。

最後にこの調査に携わった関係各位に感謝の意をもってお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鍵本広之, 佐藤道夫, 川村満紀: アルカリシリカ反応により劣化した構造物の劣化度評価と細孔溶液分析による劣化進行の予測, 土木学会論文集, No. 641/V-46, pp. 241-251, 2000.
- 2) (財)土木研究センター: 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 土木構造物に関する研究成果, 平成元年5月.