海岸コンクリート構造物における ASR 劣化の事例検証

九州大学大学院　学生会員　井上祐一郎　正会員　濱田秀則　正会員　佐川康貴
(株)太平洋コンサルタント　正会員　山田一夫　太平洋セメント(株)　正会員　林建佑

1. はじめに

我が国では，1986 年よりアルカリシリカ反応(ASR)に抑制対策として，コンクリート中のアルカリ総量規制，抑制効果のある混和材の使用，無害な骨材の使用のいずれかを施すことになっているが，この抑制対策も十分ではなく，抑制対策後に施工された構造物においても，ASR劣化を生じた例が報告されている[1)]。そのため，実際にASR劣化を生じている構造物を調査し，劣化原因の特定を行うことで，我が国におけるASR劣化の要因を明確にすることは，今後のASR抑制対策にとって重要であると考えられる。本研究では北部九州地区においてASR劣化を生じた海岸構造物からコアを採取し，劣化原因の特定を行った。

2. 対象構造物の概要

本研究では北部九州地区にあるコンクリート護岸(**写真-1**)を対象とした。護岸全体に亀甲状のひび割れや白色の析出物が観察され，ASR が生じているものと推察された。コア(φ50mm およびφ100mm)は，特に劣化程度の大きかった飛沫帯から採取した。飛沫帯に位置するため，外来アルカリの影響によりコンクリート中のアルカリ濃度が高くなっていると想定された。

写真-1 対象構造物の劣化状況

3. 試験項目

(1) 偏光顕微鏡による薄片観察

実構造物より採取したコンクリートコアより，20×30mm，厚さ 20μm 程度の研磨薄片を作製し，偏光顕微鏡を用いて，反応性骨材および反応性鉱物の同定を行った。

(2) アルカリ量の推定および塩化物イオン量の測定

「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」(総プロ法)に従い，コアの表層部(表面より 0～10mm の位置)および深部(表面より 190～200mm の位置)においてアルカリ量を推定した。また，本研究で対象とした構造物は，海洋環境にあるため，同時に JCI-SC4「硬化コンクリートに含まれる塩化物イオンの試験方法」に基づき，塩化物イオン量の測定も行った。測定は，アルカリ量推定の場合と同様，コアの表層部と深部において行った。

4. 実験結果

4.1 偏光顕微鏡による薄片観察の結果

写真-2 および**写真-3** に研磨薄片の偏光顕微鏡写真を示す。粗骨材としては，石質アレナイト(粒径 0.03mm 以下の粒子が 15%以下の砂岩)，長石質ワッケ(粒径 0.03mm 以下の粒子が 15%以上の砂岩) やチャートなどの様々な岩種を含む骨材が使用されていることが分かった。また，**写真-2** において，粗骨材であるチャート内部よりモルタル部に向かってひび割れが発生し，ひび割れを ASR ゲルが充填していることが分かる。このチャートは，反応性鉱物として隠微晶質石英を含んでいた。また，**写真-3** において，チャートと同様に長石質ワッケからもひび割れが発生しており，ASR ゲルが骨材内部で結晶化している様子や，ひび割れに沿ってコンクリートが炭酸化している様子が観察された。

いずれの骨材についても， ASR ゲルの周辺に隠微晶質石英ないし微晶質石英が分布しているおり，これらが反応性鉱物と同定された。また，細骨材の一部に貝殻が確認されたことから，細骨材として海砂が用いられていた。なお，細骨材に ASR 反応の痕跡は認められなかった。以上より，粗骨材に含まれる隠微晶質ないし微晶質石英が反応性鉱物であると同定された。

4.2 アルカリ量推定結果

表-1 にアルカリ量の推定結果と塩化物イオン量の測定結果を示す。なお，アルカリ推定量は総プロ法の補正式により補正した値である。アルカリ量の推定結果より，表層部および深部いずれの場合も，アルカリ総量規制値である 3kg/m^{3}を大きく上回っており，深部に比べ，表層部のアルカリ量が大きいことから，海水がコンクリート内部に浸透したことでコンクリート中のアルカリ量が増加したものと考えられる。また，塩化物イオン量においても，深部に比べ，表層の値が大きくなっており，この構造物は外部からのアルカリの供給がある厳しい環境であると言える。

写真-2　チャート骨材ひび割れ部の偏光顕微鏡写真
(左：下方ポーラーのみ　右：直交ポーラー)

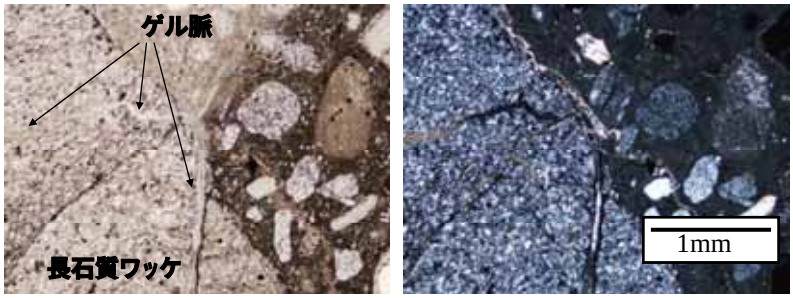

写真-3 長石質ワッケひび割れ部の偏光顕微鏡写真
(左：下方ポーラーのみ　右：直交ポーラー)

5. 対象構造物の劣化原因に対する考察

薄片観察の結果より，本研究で対象とした構造物は，粗骨材である堆積岩系の骨材に含まれる隠微晶質ないし微晶質の石英が反応しており，遅延膨張性のASRが生じていると考えられた。堆積岩系の骨材は火山岩系の骨材に比べ，反応速度が遅く，従来の化学法(JIS A 1145)およびモルタルバー法(JIS A 1146)では，その反応性を検出できないことが報告されており[2)]，我が国では遅延膨張によるASRのリスクが見落とされていると言える。欧米では，このような堆積岩系の骨材は遅延膨張性のASRを生じる可能性があるため，ASTM C 1260(80℃，1N，NaOH浸漬)を行うことが規定されている。

表-1 アルカリ量および塩化物イオン測定結果

	アルカリ量 Na_2O_{eq}(kg/m^3)	塩化物イオン量 (kg/m^3)
表層部	9.48	9.79
深部	7.33	1.01

さらに，本研究で対象とした構造物は外来アルカリ環境にあったために，コンクリート中のアルカリ量が高くなり，ASR 劣化に至ったものであると考えられた。我が国の ASR 抑制対策には初期のアルカリ量を規制するものはあるが, 外来アルカリの影響を考慮したものはなく, 外来アルカリの影響による劣化の危険性があると言える。

以上より，本研究で対象とした構造物のように我が国においても，堆積岩系骨材による ASR 劣化が生じる可能性が十分に考えられ，堆積岩系の骨材を使用する場合や堆積岩が多く産出する地域においては，ASTM C 1260 により ASR 反応性を評価する必要があると言える。さらに，今回のように外来アルカリ環境において供用されると考えられる構造物においては, コンクリート中のアルカリ量が増加し, ASR の危険性が高まると考えられるため, フライアッシュや高炉スラグ微粉末等を用いて，外来アルカリに対して対策を講じる必要があると考えられる。

6. まとめ

(1) 本研究の対象構造物より採取したコアの薄片観察より, 粗骨材であるチャートと長石質ワッケに含まれる隠微晶質ないし微晶質の石英が反応性骨材であると同定され，遅延膨張の ASR が生じたと考えられた。

(2) 本研究の対象構造物は，表面付近でアルカリ総量が 9.48kg/m^{3}と高かった。その原因は，海水により外部からアルカリが供給されたことによる影響であると考えられた。

【参考文献】

1) 鳥居和之：アルカリシリカ反応にいかに対応するか，セメント・コンクリート，No.696，pp.1-9，2005.2

2) 西政好ほか：遅延膨張性骨材による ASR 劣化事例および骨材の ASR 反応性検出法の検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.935-940，2010