

論文 アルカリ反応性の観点からみた骨材の現状

上田 洋*1, 松田芳範*2, 石橋忠良*3

要旨:JIS A 5308 にアルカリ骨材反応抑制対策が盛り込まれてから 15 年近く経過するが、その後建設された構造物においても、アルカリ骨材反応とみられる変状が時々生じることがある。今後このような劣化が継続する可能性があるか、また予防対策を検討する必要があるかを明らかにするには、現状を把握する必要がある。本報告では、アルカリ骨材反応を生じた構造物について調査・分析した結果および現在使用されている骨材についてアルカリ反応性の観点から調査した結果について報告する

キーワード:アルカリ骨材反応, 骨材, コンクリート, PC 桁

1. はじめに

アルカリ骨材反応を抑制する方法として、JIS A 5308 にアルカリ骨材反応に対する規定が制定されたのは昭和 61 年のことである。この規定はアルカリ骨材反応の抑制に大きな効果を発揮したと考えられるが、その後建設された構造物においても、アルカリ骨材反応を生じる事例が時々みられる。これらは、上記の JIS の規定では評価できないといわれている骨材¹⁾が使用されている可能性もある。今後、限りある骨材を有効に活用しながらもアルカリ骨材反応をなくしていくには、変状を生じた構造物について調査するとともに、使用されている骨材の現状を明らかにすることが重要であると考えられる。本報告では、アルカリ骨材反応を生じた構造物の調査・分析を実施するとともに、現在使用されている骨材についてアルカリ反応性の観点から調査を行った結果を報告する。

2. アルカリ骨材反応を生じた構造物の調査

ここでは、アルカリ骨材反応を生じた構造物のうち 2 つの事例について、調査結果を報告する。

2.1 平成 7 年にしゅん功した橋りょう(事例ア)

(1)構造物の概要および分析結果

対象構造物は平成 7 年にしゅん功した PC 橋である。コンクリートの配合は表-1 に示す通りであり、使用骨材はいずれも JIS A 5308 附属書 1 において無害と判定されている。本構造物はしゅん功から約 2 年後に、主桁にひび割れを生じていることが確認された。ひび割れは写真-1 に示す橋軸方向のひび割れのほか、一部では亀甲状のひび割れも生じており(写真-2)、ひび割れ周辺ではコンクリートがクリーム色に変色している。そこで、変状の原因を明らかにするために、コンクリートコアを採取して各種の分析を実施した。ここでは、代表的な結果を示す。写真-3 は促進膨張試験 14 日後のコアを用いて電子顕微鏡観察を行った結果、観察された生成物であり、ゼリー状のアルカリ骨材反応生成物である。したがって、本構造物はアルカリ骨材反応を生じていると判断される。

(2)骨材の調査

コンクリート施工時の配合報告書から、ひび割れを生じた部材に使用された骨材のアルカリ反応性に関するデータが得られる。配合報告書

*1 東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター 理修 (正会員)

*2 東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター 主席 (正会員)

*3 東日本旅客鉄道(株)建設工事部部長 工博 (正会員)

表-1 使用コンクリートの代表的な配合

セメント種類	Na ₂ O _{eq}	単位量(kg/m ³)			
		セメント	水	細骨材	粗骨材
	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
N	0.64	413	165	811	924
N	0.64	472	165	717	972

に添付されているモルタルバー法の試験結果は図-1 に示す通りで、規定値である 6 ヶ月後の膨張率 0.1%をいずれも下回っており、「無害」と判定されている。しかし、粗骨材では特に産地 B の骨材で 3 ヶ月目から 6 ヶ月目にかけて急激に膨張が進行している。また、産地 A の骨材でも 6 ヶ月までの間に膨張が収束傾向を示しているとはいえない。また、これらの骨材では細骨材も含め、特記事項として、「モルタルバー表面に白い斑点がみられた」「平均で 0.3mm(もしくは 0.6mm)のそりがみられた」などの記載があり、アルカリ反応性を有していたことが考えられる。特に、試験成績表の全てに特記事項の記載があった点が特徴的である。構造物にひび割れが確認された後、使用骨材と同じ箇所から骨材を取り寄せて化学法による試験を行った結果は図-2 の通りで、産地 A、産地 B の骨材ともに「無害」と判定された。また、採取したコアから骨材を取り出し化学法による分析を行った結果、取り寄せた骨材の試験結果とほぼ同じ結果を得た(図-2)。なお、採取したコアから取り出した骨材の岩種を調査した結果、安山岩質玄武岩であると鑑定された。

(3)アルカリ量の調査

セメント量は呼び強度によって 2 種類あり、セメントから供給されるアルカリ量を配合報告書から算出すると、それぞれ 2.64kg/m³、3.02 kg/m³ である。骨材が JIS の規定に合格しているため、アルカリ総量規制(3.0kg/m³)などの抑制対策は適用されない。一方、採取したコアを用いてコンクリート中のアルカリ量を測定した結果、等価 Na₂O 量がコンクリートに対する重量比で 0.18%含まれていた。したがって、コンクリート中に約 3.8 kg/m³ 含まれていたこ

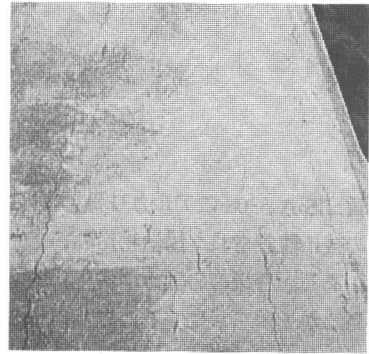


写真-1 橋軸方向のひび割れ(事例ア)

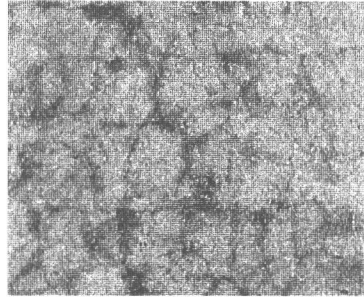


写真-2 亀甲状のひび割れ(事例ア)

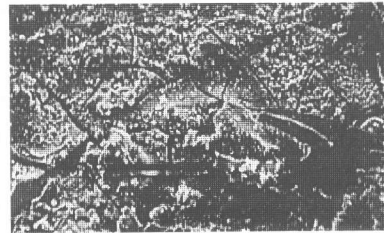


写真-3 生成物の電子顕微鏡写真(事例ア)

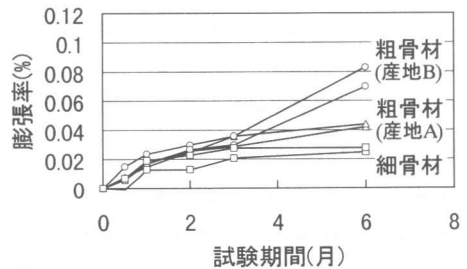


図-1 モルタルバー法の試験結果(事例ア)

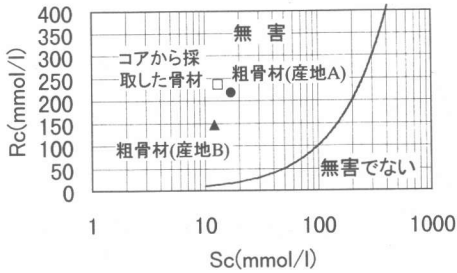


図-2 化学法の試験結果(事例ア)

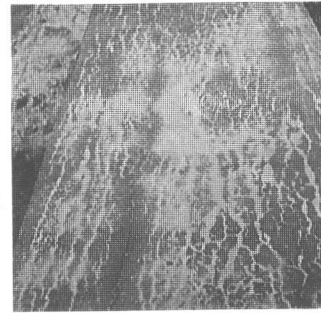


写真-4 橋軸方向のひび割れ(事例イ)

とになる。

(4)調査のまとめ

以上の結果から、本構造物では使用骨材が JIS の規定に合格していたものの、モルタルパー法による膨張が収束傾向を示さなかったこと、モルタルパー表面に白い斑点がみられるなどの特記事項が記載されていたことから骨材がアルカリ反応性を有していた可能性があること、PC 構造物のため単位セメント量が多くなり、その結果コンクリート中のアルカリ量が高くなったことなどが原因となって、アルカリ骨材反応を生じたと考えられる。なお、本構造物はアルカリ骨材反応の進行を抑制するために上面に防水工を施工することとし、既に実施されている。

2.2 昭和 60~61 年にしゅん功した橋りょう(事例イ)

(1)構造物の概要および分析結果

対象構造物は、PC 下路桁 4 連からなる橋りょうで、1,4 連目が昭和 61 年、2,3 連目が昭和 60 年にしゅん功している。その後、2,3 連目の桁において上フランジなどに橋軸方向および亀甲状のひび割れを生じていることが確認された(写真-4,5)。そこで、原因を特定するためにコンクリートコアを採取し、各種の分析を実施した。写真-6 は 2,3 連目から採取したコアで観察されたゼリー状のアルカリ骨材反応生成物であり、これらの桁においてアルカリ骨材反応を生じていることが明らかとなった。図-3 は各桁から採取したコアの圧縮強度と静弾性係数

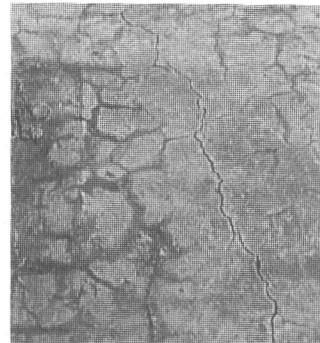


写真-5 亀甲状のひび割れ(事例イ)

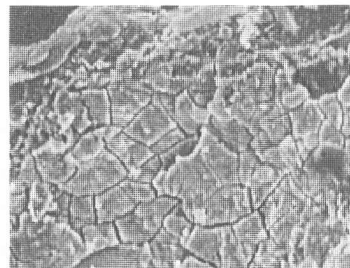


写真-6 生成物の電子顕微鏡写真(事例イ)

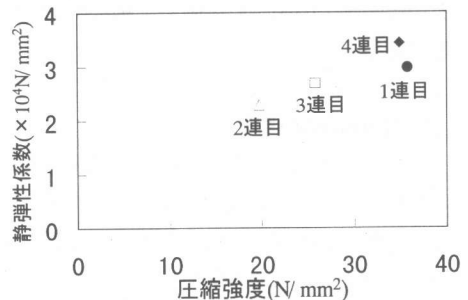


図-3 コアの圧縮強度と静弾性係数(事例イ)

との関係を示したもので、変状を生じた2,3連目では圧縮強度および静弾性係数が1,4連目と比べて低くなっている。コアの促進膨張試験を実施した結果は図-4の通りで、6ヶ月後の膨張量は解放膨張を含めても最大で0.02%であり、目立った膨張は認められない。

(2)骨材の調査

施工当時の配合報告書は入手できなかったため、当時の状況は不明である。そこで、採取したコアから骨材を取り出し、化学法による分析を行った結果を図-5に示す。1連目の骨材は現在の判定区分では「無害でない」と判定され、2連目の骨材はほぼ境界線上ではあるものの「無害」と判定された。骨材の岩種については偏光顕微鏡による分析を行った結果、1,4連目の使用骨材は砂岩、泥岩、チャート、2,3連目の使用骨材は砂岩、頁岩であると鑑定された。なお、当時はアルカリ骨材反応に関する規定がJISには制定されていなかったが、既にアルカリ骨材反応が話題になっており、使用骨材について現在と同じような処置がとられている。

(3)調査のまとめ

以上の結果から、本構造物は2,3連目の桁においてアルカリ骨材反応を生じていると判断された。また、1連目はひび割れはみられないが、反応性骨材が使用されているようである。いずれも残存膨張量がわずかであるため、今後の膨張は少ないことが期待されるが、ひび割れからの水分の浸透により構造物の耐久性に影響を与えることが懸念されることから、桁の上面を主とした防水工の施工を計画し、順次施工する予定である。

3. 使用骨材の調査

アルカリ骨材反応と考えられる事象が生じたことにより、その原因と考えられる骨材について、現状を把握することとした。そこで、実際の工事で使用された骨材について、アルカリ反応性の観点から調査を実施した。

3.1 調査の概要

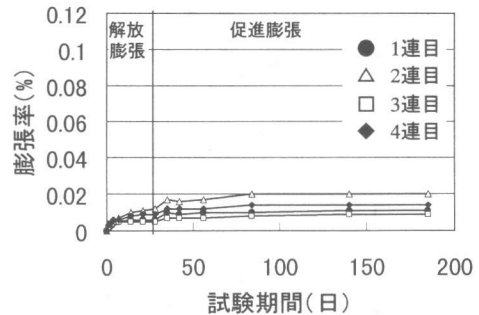


図-4 コアの促進膨張試験結果(事例イ)

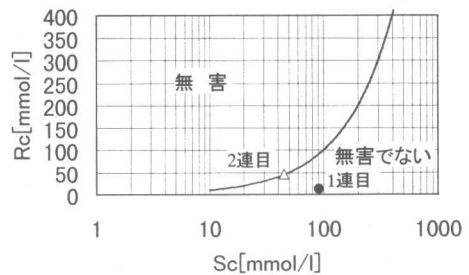


図-5 化学法の試験結果(事例イ)

調査は、主に平成7～11年にかけて当社の工事で使用された骨材を対象とした。対象地域は東北地方、関東地方が多く、特に東北地方のデータが中心である。データは配合報告書に記載されているものを主に使用した。得られた骨材のデータは799件であり、うち化学法によるものが608件(76%)、モルタルパー法によるものが191件(24%)である。

(1)化学法

化学法的全データは図-6に示す通りで、一部を除いて規準値内に収まっているが、表の至るところに分布しており、境界線近傍にある骨材も多い。図-7にはこれらのうち、岩種が記載されているものを示す。データ件数は105件(17%)で、岩種は試験成績書に記載されているものを引用した。境界線から遠くに位置する骨材はほとんどが石灰岩である。その他の骨材

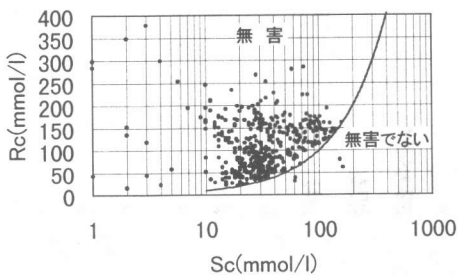


図-6 化学法の調査データ

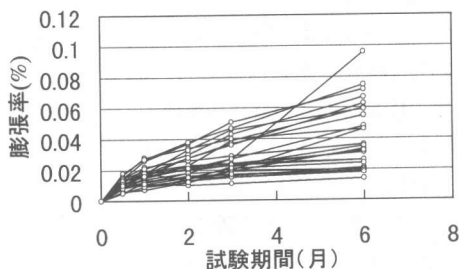


図-8 モルタルバー法の調査データ(A県)

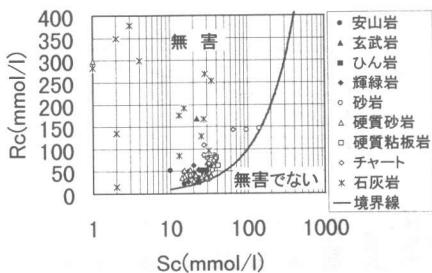


図-7 化学法の調査データ(岩種別)

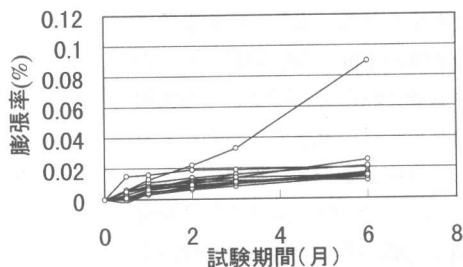


図-9 モルタルバー法の調査データ(B県)

は岩種により違いがあるものの、全体的には境界線近傍に位置するものが多い。以上の結果から、化学法のグラフ上における骨材の分布は岩種によってある程度特徴づけられるが、全体的に境界線近傍に位置する骨材が多いといえる。

(2)モルタルバー法

モルタルバー法の膨張率を調査した結果を、採取地の都道府県別にまとめた一例を示す。A県では膨張が収束傾向を示すものと示さないものが種々存在する(図-8)。ほとんど膨張しない骨材がみられる一方、3ヶ月目では0.03%を下回っているにもかかわらず、6ヶ月目では0.096%と急激に膨張し、規準値の0.1%に肉薄している骨材も見受けられる。B県(図-9)では、調査範囲ではほとんどの骨材が少ない膨張であったが、規準値の0.1%近くまで膨張し、しかも膨張が収束傾向を示さない骨材も存在する。

岩種が記載されていたものは57件(30%)で、そのほとんどが石灰石・石灰岩であった。図-10に6ヶ月目の膨張率の分布を示す。図中の縦棒がそれぞれの比率であり、折れ線が累計である。全体的には膨張率0.010%以上0.020%未満が多く、全体の40%近くを占める。累計では、膨張率0.040%未満の骨材が8割を占める一方で、0.080%以上の膨張を示す骨材も5%近く存在する。図-11は膨張の収束傾向を示したものである。横軸は6ヶ月目の膨張率を3ヶ月目の膨張率で割った数値を示したものであり、数値が小さいほど膨張が収束することを示している。図中の縦棒がそれぞれの比率であり、折れ線が累計である。6ヶ月目の膨張率が3ヶ月目の膨張率の1.3倍以内である骨材が全体の60%以上、1.6倍以内が80%以上を占めており、多くの骨材は6ヶ月までの試験で膨張が

収束傾向にあることを示している。しかし、一方で膨張が2.0倍以上、すなわち0~3ヶ月目よりも3~6ヶ月目の膨張が大きい骨材も全体の6%程度を占めている。2.1章で記した骨材にもこのタイプが含まれる。したがって、図-8 および図-9 に示すようなモルタルバー法のグラフにおいて、膨張が収束しない骨材、特に3ヶ月目以降急激に膨張する骨材を使用する場合は、アルカリ骨材反応に対する一層の注意が必要であると考えられる。また、特記事項に白色物質の生成、ひび割れ、そりなどが確認された骨材についても使用にあたっては注意を要すると考えられる。今回、調査した骨材ではモルタルバー法全191件のうち、特記事項に記載のあった骨材は9件(5%)であった。

4. まとめ

- ・ JIS A 5308 の規定で「無害」と判定された骨材を使用した構造物でもアルカリ骨材反応を生じた事例がある。
- ・ 特にモルタルバー法で膨張が収束傾向を示さない骨材を用いて富配合のコンクリートを打設する場合には、アルカリ骨材反応を生じる可能性が懸念される。また、特記事項として白色物質の生成やひび割れ、そりなどが観察される骨材についても使用にあたっては注意を要すると考えられる。
- ・ このような場合には骨材が「無害」と判定された場合でも、JIS A 5308 に示すアルカリ骨材反応の抑制対策を講じる必要があると考えられる。

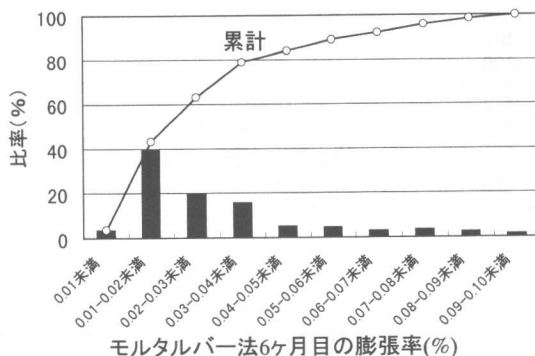


図-10 モルタルバー法6ヶ月目の膨張率分布

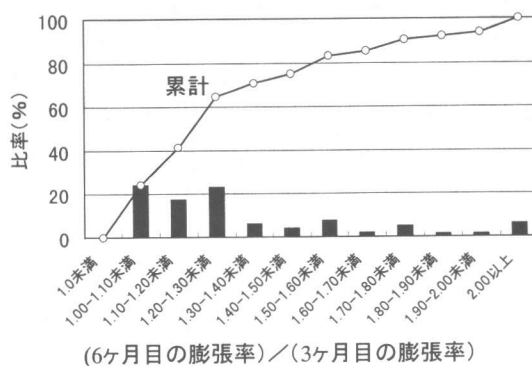


図-11 モルタルバー法における膨張収束傾向の分布

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，P.151，2001.1