

論文 長野県産骨材のアルカリシリカ反応性の岩石・地質学的検討

安藤 陽子*1・広野 真一*1・安部 直之*2・鳥居 和之*3

要旨：長野県産の河川砂利や砂は骨材として広く利用されてきたが、流域にアルカリシリカ反応性（ASR）の岩石が分布しているために ASR が生じている。これまで詳細な岩石・地質学的な調査がなかった長野県内にも急速膨張性の火山岩類が多く存在するほか、主に遅延膨張性のチャートなどの堆積岩や雲母片岩などの変成岩、さらに中央構造線付近では断層岩類なども存在することを、河川流域ごとの鉱物・岩石学的視点から検討した。さらに、大断層付近に位置する構造物における ASR の劣化事例より、現行の化学法やモルタルバ一法では適切に評価できない遅延膨張性の骨材の同定に偏光顕微鏡観察が有効であることが明らかになった。

キーワード：ASR, 長野県, 偏光顕微鏡観察, 中央構造線, 断層岩類

1. はじめに

アルカリシリカ反応（ASR）は反応性骨材に生じる現象であり、その劣化は骨材に含まれる反応性鉱物および構造物の立地環境、気象条件に影響される。また、一般にコンクリートに使用される骨材は運搬コストなどにより産地が限定される。これらの骨材は地質学的背景に伴う河川水系および地域ごとの特徴を有する。したがって、構造物の劣化調査および維持管理を行う上で、このような骨材の特徴を把握することは非常に有用である。これまで北陸3県（富山、石川、福井）では、河川水系ごとの骨材のアルカリシリカ反応（ASR）の研究が行われており^{1,2,3)}、急速膨張性の反応性鉱物を含む安山岩および流紋岩などが ASR 劣化の原因となっていることが明らかとなっている。さらに、近隣の北信越地域における新潟県でも反応性の高い安山岩や流紋岩が ASR の劣化の主要因であることが判明している⁴⁾。一方、北信越地域の長野県でも安山岩や堆積岩による ASR の報告が数例あるものの^{5,6)}、河川水系ごとにまとめられた研究は行われていない。そこで本研究では、現在、中央リニア新幹線工事が始まり、ASR に関する注目が集まっている、長野県における河川水系ごとのアルカリシリカ反応性について概説するとともに、反応性骨材について岩石・鉱物学的視点から述べる。また、大断層付近に位置する構造物の ASR の劣化事例を示し、骨材の ASR 反応性の評価の1つとして偏光顕微鏡観察が有効であることを示すものである。

2. ASR 構造物マップと骨材産地における岩石学的調査

2.1 長野県の地質の概要

長野県は日本列島のほぼ中央に位置し、西部には飛

騨・木曾・赤石など海拔 3000m 前後の山々が配列し、東部には海拔 1000~2000m 級の越後・三国・関東山地がある。長野県の基盤の地質の特徴としては県内を二分する大断層である糸魚川 - 静岡構造線を境に大きく異なる⁷⁾。糸魚川 - 静岡構造線の南西部は古期岩層が分布し、北東部は中期岩層が分布する。古期岩類は泥岩、砂岩、礫岩などの堆積岩、花崗岩などの深成岩、結晶片岩、片麻岩などの変成岩などの多様な岩石からなり、石灰岩などの岩石も含まれる。一方、中期岩層はフォッサマグナと呼ばれる地域にあたり、古期岩層が陥没し新生代第三紀以降に、海底に堆積した泥岩、砂岩、礫岩、火砕岩などからなる。日本列島の西南部を構成する基盤地質である古期岩類は、諏訪湖付近から南西方向に延びる中央構造線でさらに二分される。

2.2 長野県の ASR の地質学的な特徴

長野県を代表する河川として、千曲川・犀川は日本海にそそぎ、天竜川・木曾川が太平洋にそそぐ。これらの河川のほか山岳により長野県は北信、東信、南信、中信の4つの行政地域に分けられている。骨材については地域ごとに河川水系のものが使用されている可能性が高いことから、長野県の ASR の地質学的な特徴を、これら行政区分および河川水系ごとに分けて述べる。また、長野県の地質と ASR による膨張ひび割れが確認された橋梁および水利構造物などの分布図を図—1に示し、地域ごとの ASR 反応性を表—1に示すとともに、以下に ASR の発生状況についても述べる。

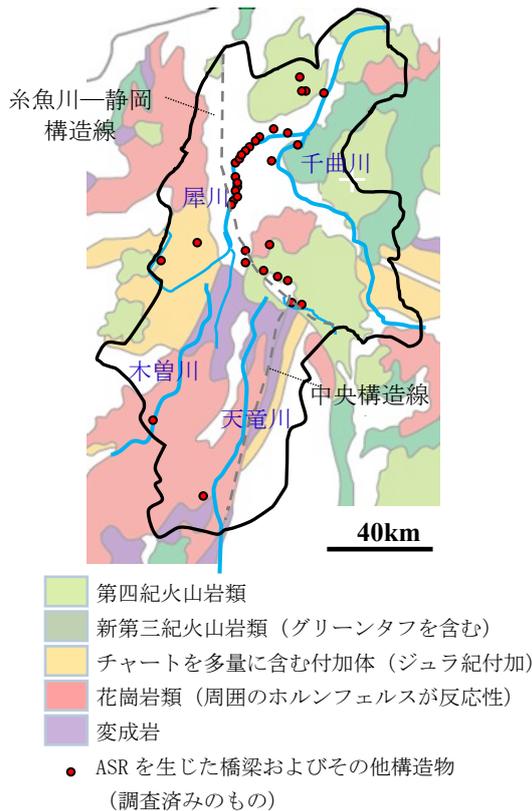
(1) 北信地域（千曲川・犀川水系）

北信地域に使用される骨材は主に信濃川支流の犀川、千曲川のものあげられる。犀川にはいくつもの支流が存在し、犀川の骨材にはこれら支流の骨材が含まれる。

*1 (株)太平洋コンサルタント 解析技術部 博士(工学) (正会員)

*2 (株)太平洋コンサルタント 解析技術部

*3 中日本ハイウエイ・エンジニアリング名古屋(株) テクニカルアドバイザー 工学博士 (フェロー会員)

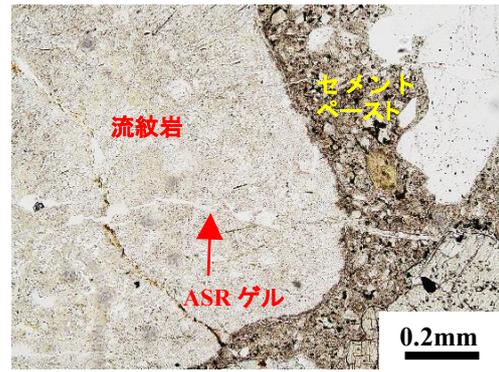


図—1 長野県の ASR 劣化構造物（橋梁及び他の構造物も含む）マップおよび地質図（Yamada et al., 2011⁸⁾ を改変）

表—1 長野県産骨材の地域ごとの ASR 反応性

地域	骨材産地水系および骨材の ASR 反応性	野外の ASR 構造物
北信	千曲川水系（急速膨張性） 犀川水系（非反応性～遅延膨張性，急速膨張性）	国道 19 号沿いで ASR が頻発
東信	千曲川水系（急速膨張性，遅延膨張性）	事例は少ない
南信	天竜川水系（非反応性～遅延膨張性） 諏訪湖周辺（急速膨張性，遅延膨張性）	国道 20 号沿いで ASR が散見される
中信北部	犀川水系（非反応性～遅延膨張性，急速膨張性）	国道 19 号沿いで ASR が頻発
中信南部	木曾川水系（非反応性～遅延膨張性，急速膨張性）	ASR が散見される

犀川上流の梓川流域にはチャートを主とするジュラ紀付加体，第四紀の火山岩類が分布し，犀川支流の高瀬川流域は第四紀の火山岩や，花崗岩が分布する。ジュラ紀付加体には砂岩，頁岩，チャートを含み，花崗岩と接する部分にはホルンフェルスが分布する。千曲川支流の鳥居川の流域にも第四紀の火山岩類が分布しており，反応性の高い骨材を多く含んでいる。第四紀の火山岩類には，安山岩，流紋岩（写真—1 参照），さらに流紋岩質溶結凝灰岩を含んでいる。ASR は主に火山岩類に認められ，ASR 反応性の高いオパールやクリストバライト，トリディマイトのほか，火山ガラスを含有している。当該地域



写真—1 流紋岩に生じた ASR（犀川産骨材）

における犀川沿いの国道 19 号沿いの橋梁で ASR の発生が多く確認されているほか，千曲川支流の鳥居川沿いの国道 18 号の橋梁でも ASR の発生が確認されている。

(2) 東信地域（千曲川水系）

東信地域の佐久盆地を流れる千曲川流域には新第三紀～第四紀の火山岩類（安山岩～流紋岩質）が広く分布し，上流にはジュラ紀付加体（チャート，砂岩，頁岩など）が分布する。火山岩類には ASR 反応性鉱物としてクリストバライト，トリディマイト，火山ガラスなどが含まれるが，流紋岩・流紋岩質溶結凝灰岩には隠微晶質石英を含むものも多く認められる。チャート，砂岩，頁岩などには遅延膨張性の微晶質～隠微晶質石英あるいは急速膨張性と遅延膨張性の中間の反応性を示すカルセドニーも含まれている。当該地域における，河川沿いの国道 18 号での ASR 劣化の事例は少ない。

(3) 南信地域（天竜川水系）

南信地域に使用される骨材は天竜川水系のものであり，中央構造線の大断層が存在し，花崗岩や変成岩からなる領家帯，超塩基性岩からなる三波川帯，秩父帯（中・古生界），四万十帯（中生界）の多様な岩石が含まれる。領家帯の花崗岩類には花崗岩，閃緑岩を，領家帯変成岩類には黒雲母片岩，黒雲母片麻岩を含み，三波川帯には砂質・泥質片岩を，秩父帯には，緑色岩，チャート，珪質頁岩などを含む。断層帯付近にはマイロナイト・カタクレサイトの断層岩類が存在する。マイロナイトは主に断層付近の花崗岩が地下深部で塑性流動を受けた岩石で，高温化で変形・再結晶により多結晶化，および細粒化した岩石も含む。一方，カタクレサイトは，地下浅所で脆性破壊を生じた岩石で，固結性を保持したまま機械的な破碎を受け再結晶は伴わない。天竜川源流の諏訪湖周辺には第四紀の火山岩類（安山岩）が分布している。ASR は安山岩，黒雲母片岩（写真—2 参照），黒雲母片麻岩，チャート，珪質頁岩，マイロナイト，カタクレサイトに確認されている。ASR 反応性鉱物として安山岩には火山ガラスとクリストバライトが含まれており，黒雲

母片岩、黒雲母片麻岩、チャート、珪質頁岩、マイロナイトには微晶質～隠微晶質石英あるいはカルセドニーも含まれている。当該地域においては、諏訪湖周囲の国道20号沿いや、天竜川沿いの水利構造物などにおいてASRが多く観察されている。

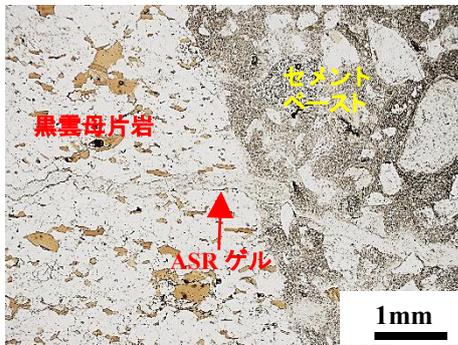


写真-2 黒雲母片岩に生じたASRによるひび割れ

(4) 中信地域（木曾川水系、犀川水系）

中信北部の骨材は犀川水系のものである。犀川の上流には槍ヶ岳を水源とする梓川と中央アルプスを水源とする奈良井川とがあり、松本市内でこの二つの川が合流したところから犀川と呼ばれる。この地域は糸魚川―静岡構造線をまたぎ、犀川上流の梓川流域には古期花崗岩類、チャート、砂岩、珪質頁岩などを含む付加体（美濃帯）、第四紀の火山岩類（安山岩～流紋岩質）が分布する。そのほかに図-1の地質図には記載していないが、梓川上流の岐阜県側には中・古生代の濃飛流紋岩が分布する。ASRは主に安山岩、流紋岩、さらに流紋岩質溶結凝灰岩の火山岩に発生しており、その他にチャート、砂岩、珪質頁岩などの堆積岩、砂質・泥質ホルンフェルスの変成岩にも発生している。火山岩類には反応性鉱物としてクリストバライト、トリディマイト、火山ガラスなどが含まれるが、流紋岩・流紋岩質溶結凝灰岩には隠微晶質石英を含むものも多く認められる。チャート、砂岩、珪質頁岩には微晶質～隠微晶質石英あるいはカルセドニーも含まれている。北信同様に当該地域においても、ASRは国道19号の橋梁に多く認められる。また、写真-3に示すように梓川の上流では凍害と安山岩によるASRが複合して生じている事例も確認されている⁵⁾。

中信南部に使用される骨材は木曾川水系のものである。この地域には断層が多く存在し、古期花崗岩類、変成岩類、チャート、砂岩、珪質頁岩などを含む付加体（美濃帯）が分布し、木曾川支流の大滝川上流には第四紀の火山岩類が分布する。ASRは安山岩以外に、砂岩、頁岩、チャート、流紋岩質溶結凝灰岩にも発生している。ASR反応性鉱物として安山岩(写真-4参照)は火山ガラス、クリストバライト、オパールを含み、砂岩、頁岩、チャート、流紋岩質溶結凝灰岩は微晶質～隠微晶質石英ある

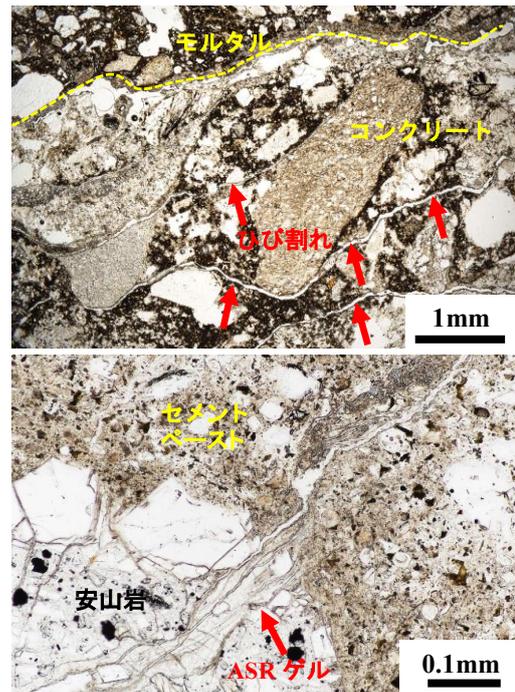


写真-3 モルタル直下のコンクリート表層に平行な凍害によるひび割れ（上）と安山岩に生じたASR（下）（安藤ほか2019⁵⁾を改変）

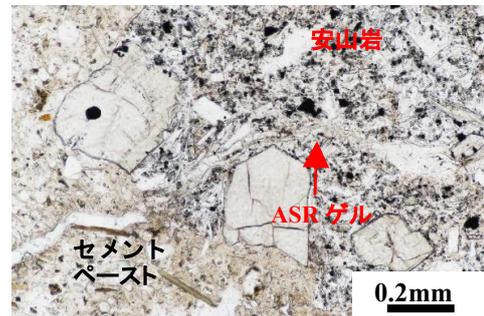


写真-4 安山岩に生じたASRによるひび割れ（木曾川産骨材）

いはカルセドニーも含まれている。当該地域においては、木曾川支流の河川にかかる橋梁や、国道沿いの擁壁などで散見されている。花崗岩などの非反応性の骨材に数十%の安山岩が含有され、ペシマム現象により劣化を生じている可能性が考えられる。

3. ASRの劣化事例の調査

長野県では、ジュラ紀付加体を起源とする堆積岩によるASRのほか、凍結融解による凍害と第四紀の火山岩によるASRが複合して起きる現象が報告されているが⁵⁾⁶⁾、本論文では収集した事例のうち大断層付近に位置する構造物において遅延膨張性骨材の事例を詳細に調査したASRの事例を示す。

3.1 調査対象構造物

(1) 松本市内のRC床版

A 橋は糸魚川—静岡構造線付近に位置する松本市南部の奈良井川にかかる 1935 年に架設された橋梁である⁶⁾。建設当初は 12 径間×支間 10m, 3 主桁の鉄筋コンクリート (RC) の T 桁で構成され, RC 床版の厚さは 150mm, アスファルト舗装の厚さは 100mm であった。1983 年に RC 橋の床版および主桁に鋼板接着補強が施され, 1987 年に PC 主桁が増設され幅員が拡幅された。2009 年床版の抜け落ちが生じ^{9,10)}, 2010 年に RC 橋の部分がすべて架け替えられた。なお, 補強目的で下面に施された鋼板が床版内に水を滞留させたために, ASR と凍害を促進させた可能性があった。冬季には凍結防止剤が使用されていた。薄片試料には写真—5 に示す撤去された床版から採取したコアを用いた。



写真—5 撤去された床版の断面と水平ひび割れ

(2) 飯田市内の橋台

B 橋は中央構造線付近に位置する飯田市内の天竜川支流にかかるラーメン式 PC 橋であり, 建設後約 40 年が経過している。B 橋の橋台前面には肉眼でも網目状のひび割れが確認され, 特に路面からの水がかりのある個所において, ひび割れから白色の析出物が多く認められた。B 橋においても冬季には凍結防止剤が使用されている。薄片試料には, この橋台から採取したコアを用いた。

3.2 試験方法

(1) 実体および偏光顕微鏡観察

実体顕微鏡観察によりマクロなひび割れの発生状況の観察を行なった後に, 試料より薄片試料を作製し, 骨

材の岩種, ひび割れの形態および生成物の発生状況などについて偏光顕微鏡観察を行った。

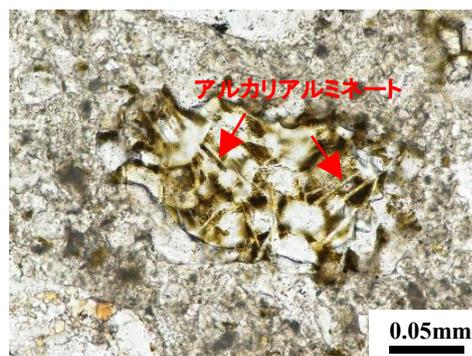
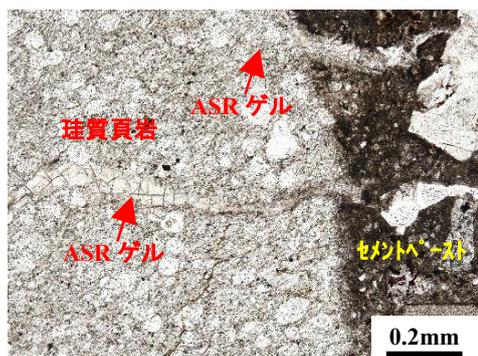
3.3 試験結果

(1) 松本市内の RC 床版

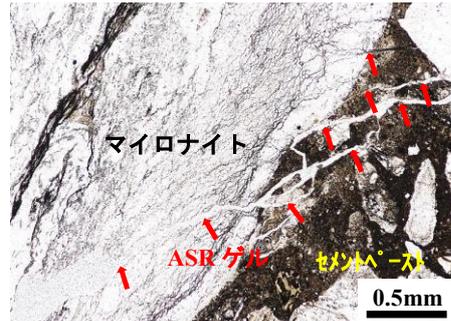
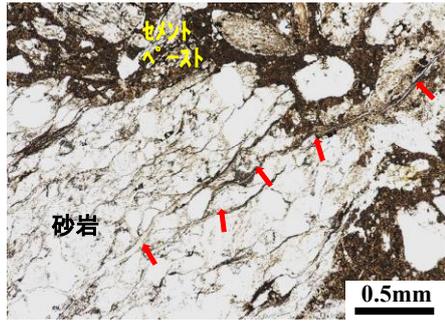
写真—5 では, 橋軸方向に進展するひび割れが顕著に認められるが, そのひび割れは粒径の大きな骨材内部を通るものや, 粒径の大きい骨材の界面を通るものが多い。粗骨材は最大寸法 40mm で, 砂岩, 頁岩, チャート, 珪質頁岩 (写真—6 左側) などの堆積岩, 砂質・泥質ホルンフェルスなどの変成岩, さらに火成岩の玄武岩からなる砂利であった。細骨材は砂岩, チャート, 砂質・泥質ホルンフェルス, 安山岩などからなる砂であった。ASR は粗骨材・細骨材の砂岩, 珪質頁岩, 砂質ホルンフェルス, チャートに, 骨材からセメントペーストに進展する膨張ひび割れが認められた。とくに粗骨材においては, 幅の広いひび割れを伴い ASR を生じている箇所が頻繁に認められた。これらの反応性岩石種の ASR 反応性鉱物は微晶質～隠微晶質石英であり, チャートにはカルセドニーも含まれていた。一方, 細骨材の安山岩は急速膨張性の反応性鉱物であるクリストバライト, 火山ガラスを含むものであるが, ひび割れはごくまれに認められる程度であり, 主には反応リムの形成までであった。戦前に架設された橋梁であるので, セメントペーストには AE 剤によるエントレインドエアの痕跡は確認されなかった。その他にセメント粒子の内部の間隙質には細長く伸びたアルカリアルミネートが認められた (写真—6 右側)。

(2) 飯田市内の橋台

粗骨材は最大寸法 15mm 程度で, 砂岩, 頁岩, チャートの堆積岩, さらにマイロナイトの断層岩類などからなる砂利であった。細骨材サイズの骨材粒子は多種の岩片および結晶片からなる砂であった。ASR は, 砂岩, マイロナイト, チャート, 頁岩, 珪質頁岩にセメントペーストに進展する膨張性ひび割れ (写真—7) が認められた。さらに, ASR によるひび割れがセメントペースト中に多数生じている状態も認められた。ASR 反応性鉱物は, ASR を生じた岩石のいずれにも, 隠微晶質～微晶質石英



写真—6 珪質頁岩に生じた ASR によるひび割れ (左側) とアルカリアルミネートを含むセメント粒子 (右側)



写真—7 砂岩（左側）とマイロナイト（右側）に生じた ASR によるひび割れ

が含まれており、チャートにはカルセドニーも含まれていた。

3.4 考察

(1) 松本市内の RC 床版

A 橋に使用された砂利および砂は奈良井川産の骨材が使用されたと考えられる。砂岩、チャート、珪質頁岩などはジュラ紀付加体由来、砂質・泥質ホルンフェルスの変成岩は花崗岩帯周囲に分布する岩石由来のものと推測される。いずれも遅延膨張性の反応性鉱物を主とするが、明瞭な ASR が生じた理由の一つとして A 橋のコンクリートのアルカリ量が高いことが考えられる。セメント中にアルカリアルミネートが認められたことは、セメント中のアルカリ濃度が高いことを示唆するものである。また、凍結防止剤が長年にわたり散布されていたことから、外来アルカリ (NaCl) も添加され、ASR が生じやすい条件であったと考えられる¹¹⁾。ただし、遅延膨張性骨材では NaCl による ASR の促進は弱いという報告もある¹²⁾。もう一つの理由として、内陸に位置する長野県では冬季に繰り返しの凍結融解を受ける環境にあるため ASR は凍害と複合劣化を生じた可能性が考えられる。砂岩や頁岩などの堆積岩は凍結融解の影響を受けやすく、かつ最大寸法が大きいほどその影響を受けやすい^{13,14)}。なお、エントレインドエアを含まないことが、凍害を促進させた可能性もある。RC 床版に生じたひび割れのその他の原因として、骨材界面を通るひび割れは、粒径の大きい骨材粒子の下面に生成していたブリーディング水の影響により、セメントペーストと付着の弱い部分を起点として、橋軸方向に進展していった可能性が考えられる。また大型車の繰り返しの走行による輪荷重がかかった場合、粒径が大きくかつ砂岩、頁岩などのように粘土鉱物を多く含む比較的強度の低い骨材にひび割れが発生しやすかった可能性も考えられる。さらに、さらに昭和 39 年 (1964 年) 以前に制定された基準による RC 床版のため、配筋鉄筋と床版厚が不足しており、疲労損傷が生じやすいことに加え⁹⁾、アスファルト舗装にひび割れが生じると、そこから水が浸透して床版コンクリートの疲労耐久

性を低下しやすいことも関連していると考えられる¹⁵⁾。

(2) 飯田市内の橋台

長野県の飯田市付近では天竜川上流部の砂利・砂がコンクリート用骨材として使用されてきた。花崗岩・変成岩からなる領家帯、緑色岩・チャート・珪質頁岩などを含む秩父帯、またそれらの境界には西南日本を 2 分する大断層である中央構造線が分布し、断層の周辺にはマイロナイトなどの断層岩類が存在する。深成岩である花崗岩は一般に ASR 非反応性の骨材であるが、断層付近で塑性変形を受け細粒化した断層岩類は ASR 反応性を有する。このような骨材の使用には、現行の骨材の ASR 試験法 (化学法やモルタルバー法) では適切に評価できないので¹⁶⁾、ASR の判定結果に関わらず、フライアッシュなど混和材を用いた、さらなる ASR 抑制対策が強く望まれる。また、このような遅延膨張性を有する骨材の ASR 反応性の評価としては反応性鉱物を粉末 X 線回折では同定できないため、偏光顕微鏡観察による組織観察が有効であると考えられる。なお、本試料も遅延膨張性の骨材のみに関わらず、明瞭な ASR が発生していた原因として、凍結防止剤による外来アルカリが ASR を促進した可能性も考えられる。

4. まとめ

長野県の地域および河川水系ごとに見られる ASR 反応性骨材の特徴、および ASR による劣化を生じた大断層付近に位置する実構造物における遅延膨張性骨材の事例を詳細に調査した観察結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 北信の犀川水系の骨材には遅延膨張性の砂岩、頁岩、チャート、ホルンフェルスを含み、急速膨張性の火山岩類も含まれる。犀川沿いの国道 19 号では、主に安山岩に ASR が生じており、チャート、砂岩、ホルンフェルスなどにも ASR の発生が認められる。
- (2) 東信の千曲川水系にも新第三紀～第四紀の反応性の高いと考えられる火山岩類が含まれるが、河川沿いの国道 18 号での劣化の事例は少ない。

- (3) 南信の天竜川水系の骨材には、遅延膨張性の黒雲母片岩、黒雲母片麻岩、砂質・泥質片岩、チャート、珪質頁岩のほか、花崗岩マイロナイト、カタクレーサイトの断層岩類が含まれる。実構造物ではこれらの岩石種に ASR の発生が散見されている。天竜川源流の諏訪湖周辺においては急速膨張性の安山岩による顕著な ASR が発生している。
- (4) 中信北部の骨材は犀川水系のものであり、遅延膨張性の砂岩、チャート、珪質頁岩、砂質・泥質ホルンフェルス、急速膨張性の安山岩～流紋岩質の火山岩類を含む。ASR は主に火山岩類に生じているが、遅延膨張性の骨材にも発生している。
- (5) 中信南部の木曾川水系の骨材には、反応性骨材として変成岩類、チャート、珪質頁岩などを含み、一部急速膨張性を示す火山岩類も含まれる。ASR は安山岩以外に、砂岩、頁岩、チャート、流紋岩質溶結凝灰岩にも発生している。
- (6) 長野県における ASR の劣化事例として、松本市内の RC 床版においては、骨材粒径の大きい堆積岩に顕著な ASR が生じていた。アルカリ量の高いセメントが使用されていたことに加え、凍結防止剤による外来アルカリの添加も ASR の発生を助長していると考えられる。さらに、冬季に繰返し凍結融解を受ける環境にあり、骨材が凍結融解によるひび割れを生じ、ASR と複合した可能性も考えられる。
- (7) 飯田市内の橋台においては、砂岩、頁岩、チャートの堆積岩、さらにマイロナイトの断層岩類に ASR が生じていた。このような骨材の使用は、現行の骨材の ASR 試験法では適切に評価できないので、フライアッシュなど混和材を用いた ASR 抑制対策が望まれる。また、このような遅延膨張性を有する骨材の ASR 反応性の評価としては偏光顕微鏡観察による組織観察が有効であると考えられる。
- 1070, 2004
- 4) 広野 真一, 野村昌弘, 安藤 陽子, 鳥居 和之: 新潟県産骨材のアルカリシリカ反応性と試験法の適合性, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.907-912, 2017.7
- 5) 安藤陽子, 広野真一, 片山哲哉, 鳥居和之: コンクリート劣化組織におけるエンタリングタイトの生成場と形態の顕微鏡観察, セメント・コンクリート論文集, Vol.72, pp.370-377, 2019.3
- 6) 田中良樹, 石田雅博, 村越潤: 道路橋おける凍結融解と ASR の影響を受けたコンクリートの劣化調査, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol.72, No.3, pp.214-233, 2016
- 7) 富樫均: 長野県の地形と地質, 長野県自然保護研究所紀要, Vol.4, No.1, pp.1-9, 2001
- 8) K. Yamada, S. Hirono, T. Miyagawa, New Findings of ASR Degradation in Japan, 13th International Congress on the Chemistry of Cement, No.589, 2011
- 9) 坪田浩昭: 事例紹介, 神戸橋の損傷と対応について, 第 29 回日本道路会議, PowerPoint 資料 34 枚, 2011.11
- 10) 田中良樹, 村越潤: 橋面アスファルト舗装の変状と RC 床版の疲労, 土木技術資料, Vol.53, No.2, pp.22-27, 2011.2
- 11) T. Katayama, M. Tagami, Y. Sarai, S. Izumi and T. Hira: Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan. Materials Characterization, Vol.53, nos.2-4, pp.105-122, 2004
- 12) 川端雄一郎, 山田一夫, 松下博道: 岩石学的分析に基づいた安山岩の ASR 反応性評価および膨張挙動解析, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.4, pp.689-703, 2007.12
- 13) Stark, D.: Characteristics and utilization of coarse aggregates associated with D-cracking, Living with Marginal Aggregates, STP597, ASTM, pp.45-58, 1976.
- 14) Stark, D. and Klieger, P.: Effect of maximum size of coarse aggregate on D-cracking in concrete pavement, Highway Research Record, No.441, HRB, pp.33-43, 1973
- 15) 石川裕一, 青山實伸, 倉戸伸浩, 西尾守広: アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化損傷事例と最新の補修・補強技術コンクリート工学, Vol.27, No.1, pp.9-15, 2008.01
- 16) 作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会報告書: 日本コンクリート工学協会, 2008

参考文献

- 1) 鳥居和之, 大代武志, 山戸博晃, 平野貴宣: 石川県の反応性骨材と ASR 劣化構造物のデータベース化, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.1017-1022, 2008
- 2) 大代武志, 平野貴宣, 鳥居和之: 富山県の反応性骨材と ASR 劣化構造物の特徴, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.1251-1256, 2007
- 3) 野村昌弘, 鳥居和之, 青山實伸: 北陸地方の河川産骨材を使用したコンクリートのアルカリシリカ反応性の評価法の開発, 材料, Vol.53, No.10, pp.1065-