

J C I - T C 1 1 5 F S

A S R 診断の現状とあるべき姿研究委員会

報告書

平成 24 年 2 月

序

「アルカリ骨材反応はまだ収まっていないことが十分に認識されていない」、「アルカリ骨材反応抑制対策は不完全であり改善の必要がある」、「何とか岩石学的手法を骨材の反応性や劣化の診断・評価に取り入れることはできないものか」、そのような思いを持って、アルカリ骨材反応(ASR)に関わってきました。ASRの存在自体は1985年ごろの飯山敏道東京大学名誉教授の談話会で認識し、2001年ごろ故松下博通九州大学名誉教授から岩石学的検討の重要性に共感いただき、九州基準作成の過程で偏光顕微鏡観察が本当に重要ならばそれができる産業界の体制を整えるべく行政とともに活動すればよいのだというご意見の方もおられ、ASRの研究を本格的に始めました。2006年に金沢大学鳥居和之教授と一緒に始めた「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」を通して、最初の二つの思いは十分に表現できたと思っています。一方で、力足りず、岩石学的手法を活用したASR診断については、重要性は指摘したものの、解析事例と方法の提示に留まっています。

その後、ASR診断のコンサルティング業務の現場でも、少しずつ偏光顕微鏡を用いた岩石学的評価が行われる場合が多くなっていると感じています。しかしながら、ASR診断の実態をいくつか拝見すると、決められた手法による画一的な試験手順により機械的にASR診断が処理されている場合もあります。さらに、ASRらしきひび割れを見ても、どう診断すればよいのかが分からず、困っておられる場合もありました。「ひび割れがあるのだけれどこの原因はなんだろうか?」「ASRであることの確認を促進膨張試験で行って良いのだろうか?」「基準を守っているはずなのだがどうしてASRを起こしてしまったのだろうか?」「間違っただけのものを納入したかもしれないが大丈夫なのだろうか?」

これらの問いに答えるには、画一的な方法論はないように思えます。そもそも事故の解析に都合のよい標準マニュアルはありえるのでしょうか?あるとしたら、分からないものを分からないと判別するものであってほしいと思います。研究とは、分からないものを分からないのだ、と認識することから始まるものです。ゆえに、良く分からないものを既存の概念に無理やり当てて都合よく処理するではなく、むしろ現場でこれは何だろう、と疑問を持って困惑されている方のほうが、より合理的かもしれません。この段階では、まだ、間違えていませんから。分からないことを隠してはいつまでも進歩しないと思います。

もちろん基準や規格は、制定時の最先端の知識を持って、工学的に納得できるレベルで制定されます。実施できない理想論は採用できないし、受け入れることができるリスクとコストのバランスも考慮されます。しかし、一度制定されるとそれがあたかも間違いのない完全無欠の法則のような取り扱いがされることが多々あります。材料科学の学術論文でJISやASTMの規格を引用するのは、本来は不足です。解決したい目的の検証に合致しているのかどうか、考察しなければなりません。ASRの抑制対策であってもそうです。基準がなければ社会は動かないでしょうが、基準に外れたものは必ず存在し、その影響度は実際に体験するまでそう簡単には分からないものです。リスクゼロの世の中などありえないことを理解して、真摯にリスク低減の努力を続けるしかないのだと思っています。

最終的にはASRの抑制をより合理的に行えるようになりたいのですが、そのためには現実の姿を正しく知らなければなりません。

- ・ 抑制対策が定められた1986年以前の構造物でASR劣化が認められたとして、想定したようにモルタルバー法で無害でなく、アルカリ総量が 3kg/m^3 以上となっているのでしょうか?
- ・ 想定外の骨材はどのような種類の骨材で、それがどのような環境、材料条件、時間で、現在の劣化に至ったのでしょうか?
- ・ 1986年以降もASRは起きていますが、それは何が原因なのでしょうか?

これらの疑問に答えるには、地道に岩石学的手法を駆使したASR診断を積み重ねるしかありません。新しい方法論の確立には時間がかかるので、すぐに対応が必要なところでは当面の対策がとられる必要がありますが、一方で、理想像を求めるのは学会の役割であると考えています。

自分の体が不調なとき、それが治癒困難な病気であったとしても、真剣に原因を追究したくなります。診断技術も基礎理論も進展します。25年前、1987年2月にJCIから「コンクリート技術者のための偏光顕微鏡による骨材の品質判定の手引」が出版されました。これに最新情報を加え、原因究明のための岩石学的手法を考慮したASR診断手法を学ぼうとされる方に役立つ情報をまとめることを目指しています。

その第一段階として、ASRに関わる方々にアンケート調査を行いました。幹事団が話し合いの元に準備し、委員の方々により議論が行われ、各方面へ配布いただきました。このやや長いアンケートにご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。アンケートには各設問への解答のほか、貴重なご意見をいただいております。この結果をまとめるべく、幹事各位の多大な努力によりこの報告書をまとめることができました。とくに、全体の進行を精力的にご協力いただいた代表幹事の川端雄一郎博士に深く感謝します。FS研究委員会の1年目の成果として、本報告書がご協力いただいた皆様、あわせてASRに関心を持つ皆様に役立つ情報となることを期待しております。

平成24年2月

ASR診断の現状とあるべき姿研究委員会委員長

山田一夫

J C I - T C 1 1 5 F S
A S R 診断の現状とあるべき姿研究委員会

委員長	山田 一夫	株式会社太平洋コンサルタント
顧問	鳥居 和之	金沢大学
	宮川 豊章	京都大学
幹事	川端 雄一郎	独立行政法人港湾空港技術研究所
	久保 善司	金沢大学
	古賀 裕久	独立行政法人土木研究所
委員	石井 浩司	株式会社ピーエス三菱
	岩城 一郎	日本大学
	岩月 栄治	愛知工業大学
	鍵本 広之	電源開発株式会社
	片山 哲哉	川崎地質株式会社
	金海 鉦	株式会社国際建設技術研究所
	橘高 義典	首都大学東京
	黒田 保	鳥取大学
	合田 寛基	九州工業大学
	鈴木 宏信	住友大阪セメント株式会社
	鶴田 孝司	公益財団法人鉄道総合技術研究所
	富山 潤	琉球大学
	中野 眞木郎	独立行政法人原子力安全基盤機構
	野島 昭二	株式会社高速道路総合技術研究所
	濱崎 仁	独立行政法人建築研究所
	広野 真一	株式会社太平洋コンサルタント
	真野 孝次	財団法人建材試験センター
	三浦 正純	株式会社四電技術コンサルタント
	八幡 正弘	地方独立行政法人北海道立総合研究機構
	山本 篤史	財団法人日本建築総合試験所
	吉田 行	独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所
事務局	渡部 隆	日本コンクリート工学会

診断手法WG

主 査	川端 雄一郎	独立行政法人港湾空港技術研究所
	片山 哲哉	川崎地質株式会社
	富山 潤	琉球大学
	三浦 正純	株式会社四電技術コンサルタント
	八幡 正弘	地方独立行政法人北海道立総合研究機構

現状分析WG

主 査	古賀 裕久	独立行政法人土木研究所
	岩城 一郎	日本大学
	金海 鉦	株式会社国際建設技術研究所
	橘高 義典	首都大学東京
	中野 眞木郎	独立行政法人原子力安全基盤機構
	濱崎 仁	独立行政法人建築研究所
	広野 真一	株式会社太平洋コンサルタント
	真野 孝次	財団法人建材試験センター
	山本 篤史	財団法人日本建築総合試験所

意識調査WG

主 査	久保 善司	金沢大学
	石井 浩司	株式会社ピーエス三菱
	岩月 栄治	愛知工業大学
	鍵本 広之	電源開発株式会社
	黒田 保	鳥取大学
	合田 寛基	九州工業大学
	鈴木 宏信	住友大阪セメント株式会社
	鶴田 孝司	公益財団法人鉄道総合技術研究所
	野島 昭二	株式会社高速道路総合技術研究所
	吉田 行	独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所

目次

1. はじめに	1
1. 1 背景・目的	1
1. 2 活動内容	4
1. 2. 1 ASR 診断技術の最新情報の整理	5
1. 2. 2 アンケートによる実状把握	5
1. 3 アンケートについて	5
1. 3. 1 アンケート内容および回答方針	5
1. 3. 2 アンケート結果	5
【参考資料】アルカリ骨材反応（ASR）を生じた構造物の診断に関するアンケート	7
2. ASR 診断の必要性	23
2. 1 管理者による ASR 対策例（JR 東日本の事例）	24
2. 1. 1 概要	24
2. 1. 2 化学法による骨材の判定区分	24
2. 1. 3 モルタルバー法による骨材の判定区分	25
2. 1. 4 各判定区分に対する抑制対策	25
2. 2 新設構造物の抑制対策に関する技術者の意識（アンケート結果）	26
2. 2. 1 現行の ASR 抑制対策の有効性	26
2. 2. 2 ASR 抑制対策の変更・修正が望まれる箇所	27
2. 2. 3 ASR 発生リスクについてどう考えるか	30
3. ASR 診断の現状	33
3. 1 点検業務における ASR 発見と劣化判定	33
3. 2 ASR 診断における判定根拠	34
3. 3 ASR 発生原因	35
4. ASR 診断技術に関する認識	37
4. 1 ASR 診断に関する認識調査	37
4. 2 ASR 診断の重要性に対する認識	38
4. 3 ASR 診断に関する各調査技術の概要と課題	40
4. 4 ASR 診断に関する調査技術に関する認識	43
4. 4. 1 各調査技術に対する認識と実施経験に関するアンケート結果	43
4. 4. 2 調査技術への認識および実施に関する考察	44
4. 5 ASR 診断に関する調査技術に関する自由意見	49
5. 今後の活動	51
5. 1 アンケート結果を踏まえた研究委員会での議論	51
5. 2 本研究委員会活動の方向性	52
5. 2. 1 診断技術，診断フローに関して	52
5. 2. 2 ASR に対する新設時の抑制対策，既設構造物の維持管理に関して	52
5. 3 今後の活動方針	53

1. はじめに

1. 1 背景・目的

アルカリシリカ反応 (ASR) によるコンクリートの劣化現象は 1970～1980 年代に多く報告されたが、1986 年の総プロによる抑制対策以降、沈静化したものと考えられてきた。1980 年代には安山岩を主としたいわゆる急速膨張型の ASR による劣化が顕在化していたため、これらを抑制するための試験方法や抑制対策の確立に注力されていた。一方、抑制対策を施したコンクリートを用いた構造物においても劣化した事例が専門家等により近年報告され始めた。近年における ASR の発生原因は、隠微晶質石英による遅延型膨張の ASR や高反応性鉱物（オパール、クリストバライト、トリディマイト等）のペシマム現象、外部環境もしくは骨材自身からのアルカリ供給、などと多様化している。欧米ではこれらの現象に早急に対応し、カナダの基準を筆頭に先進的な対策が講じられてきている。しかしながら、我が国における現行の試験法や抑制対策は上記の現象などを十分に考慮していないため、抑制対策を遵守してもコンクリートが ASR を生じる原因となっている。

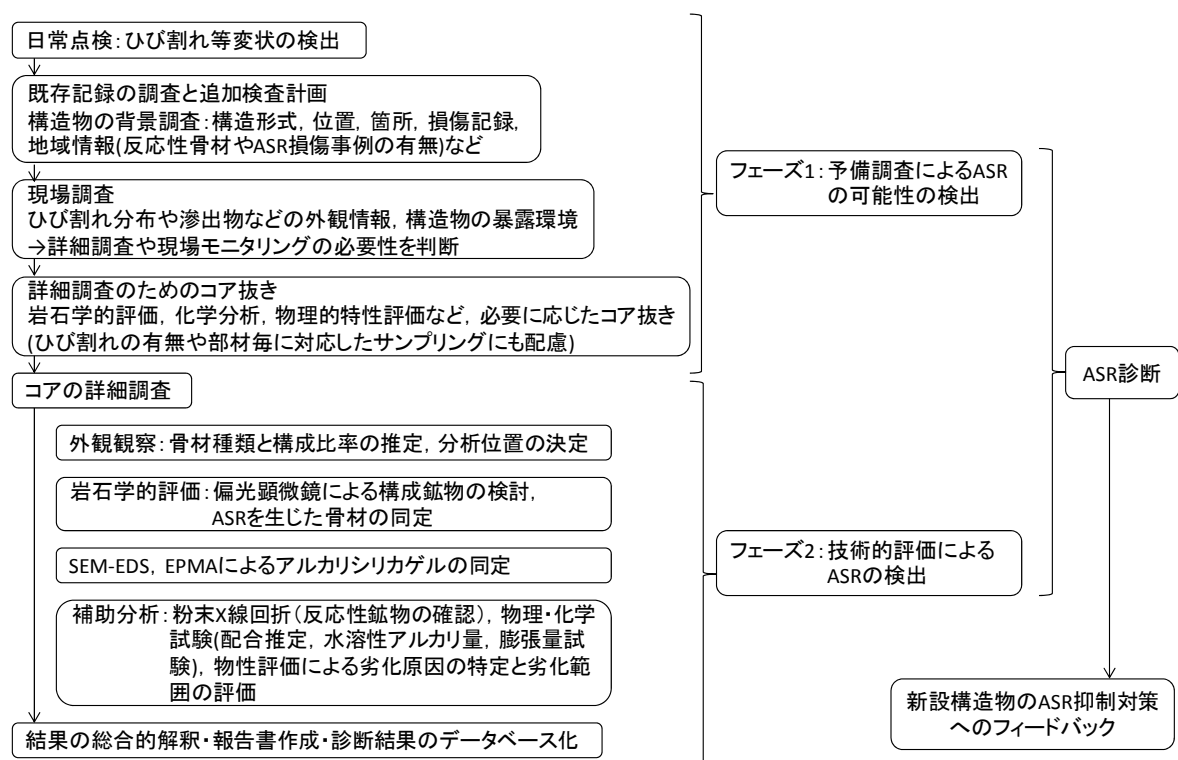
これらの背景の下、本委員会の前身である JCI-TC062A「作用機構を考慮したアルカリ骨材反応抑制対策と診断研究委員会（委員長：鳥居和之）」が発足した。JCI-TC062A の成果から、現行の骨材のアルカリ反応性試験法や ASR 抑制対策が一般には有効であると同時に限界もあることが示された。これを機に、技術者や研究者の ASR に関する認識が高まり、日本各地で抑制対策以降の劣化事例等も報告され始め、新たな試験法や抑制対策の早急な提案が強く望まれている。

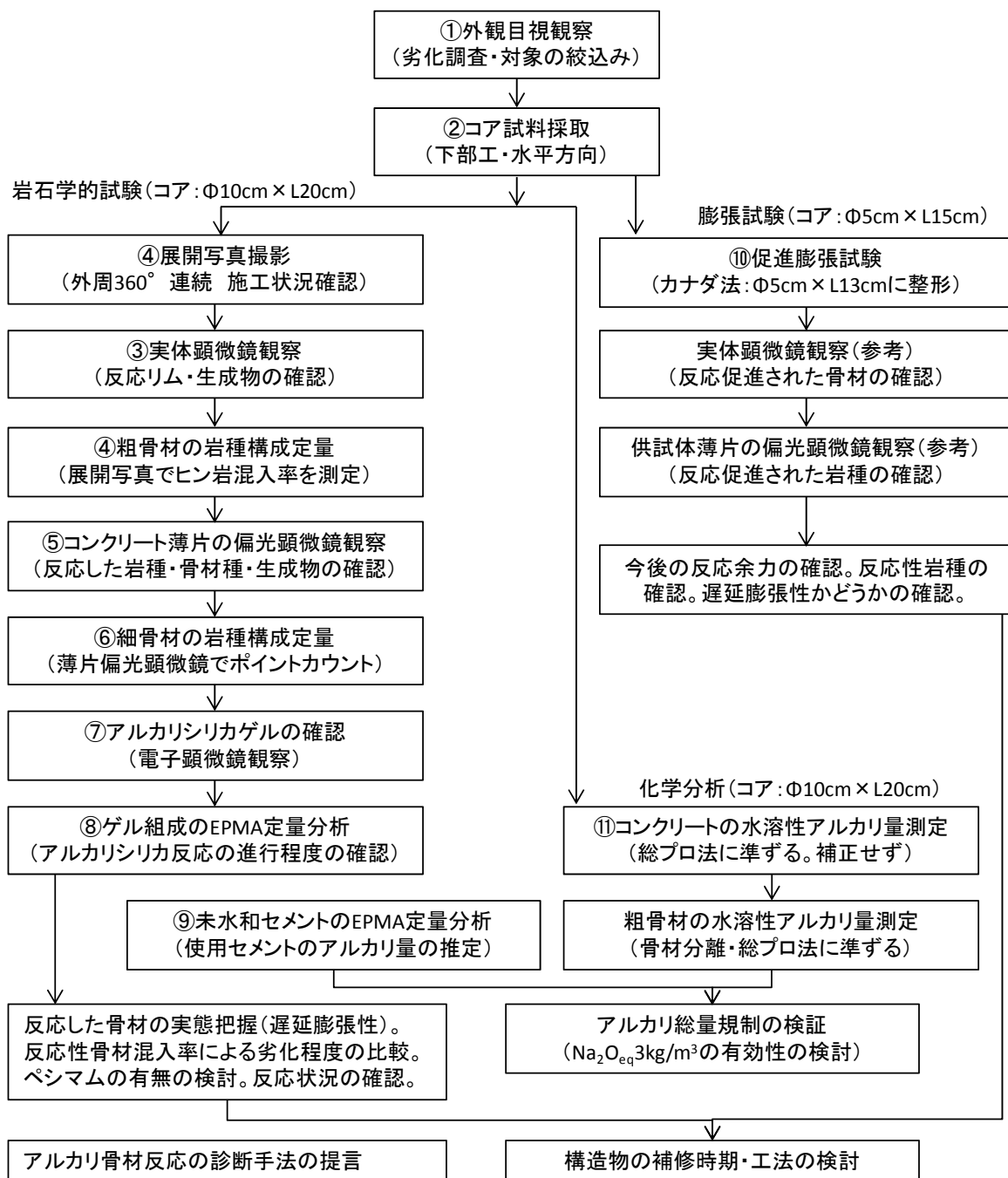
合理的かつ効果的な試験法および抑制対策の確立のためには、現場における劣化事例の解析が必須である。しかしながら、構造物の劣化事例が報告されても、劣化の原因解明まで行われた事例は限定的である。現行の抑制対策下での ASR 劣化の原因が分からないので、新しい有効な対策を考えるのも容易ではない。このような状況の中、一部では独自に新しい抑制対策を講じている事業体もある。今後、より有効な抑制対策を構築するためには、現実の劣化状況と原因調査までを含めた包括的な ASR 診断を行うことが不可欠である。

本研究委員会では、まず、構造物で何故 ASR による劣化が生じたのか、という原因調査を ASR 診断と定義した。図-1.1.1 に RILEM により提案されている診断から評価までのフローを示す [1, 2]。本フローは ASR の診断を行う上で必要な情報を網羅できる理想的なフローとなっている。また、図-1.1.2 に片山委員により構築された理想的な ASR 診断フローを示す [3]。ただし、これらのフローを行うためにはコンクリート工学だけでなく、岩石学や ASR 劣化事例に対する多大なる知識と経験を有することが必要で、確実に診断を実施できる技術者は限られる。また、予算の制約により汎用的にこれらのフローで診断を行うことは難しい。研究レベルでは必要な情報が多く得られることは重要であるが、実務レベルの運用も考慮すると、より実効的な診断フローも必要になると思われる。また、現在の契約等のシステム上の問題により、診断を困難にしていることも問題点として挙げられる。例えば、コンサルタント業務によっては、採取したコアの岩石学的評価を分析コンサルタントに依頼する場合があるが、分析コンサルタントはコアサンプリング方法の妥当性等を知ることが困難である。また、数種類の試験項目が依頼されるものの、それらの試験が不適切な場合も存在する。ASR 膨張であること自体の確認も、コア表面のゲルの目視もしくは実体顕微鏡観察で十分である場合も多く、それ以上の走査型電子顕微鏡(SEM)

観察や偏光顕微鏡による薄片観察が必ずしも必要ない場合もある。しかし、場合によっては、SEM観察によらなければ確認が難しい場合もある。単純にひとつの方法で確認ができるわけではない。既往の試験項目には適用範囲があるのに対して、技術者がそれらの試験項目を安易に適用し、必ずしも適切でない方法で診断がなされている場合もある。結果として、一部の現場技術者はASR診断に対して「高い費用を払って調査を行っても求めている結果は得られない」と認識し、「知りたい結果」と「得られる結果」のギャップを感じている。しかしながら、適切な方法で調査が行われれば、それを有機的に組み合わせることで多くの有益な情報を得ることができる。ただし、現状としてこのようなASR診断は相当な経験をもつ技術者に限られており、これを可能な限り標準化させることが必要である。

本研究委員会は、図－1.1.1、図－1.1.2の診断フローをベースとして、より実効的な診断フローを提案することを目的としている。各要素技術の適用範囲と結果の解釈方法も解説するとともに、現場の技術者や管理者が有益な情報を得ることができる診断フローの作成が本研究委員会の目標である。新たな診断フローが提案されることで、将来的には、より有効な新設構造物の抑制対策の構築に寄与できると考えている。本年度はフィジビリティスタディとして、ASR診断に関する最新情報を整理するとともに、現場技術者のASR診断や抑制対策に関する認識について調査を行うことで、現場のニーズや認識レベルの整理、課題の抽出を行うことを目的とした。





図ー1.1.2 理想的な ASR 診断フロー（熟練した岩石学的評価が可能な技術者を対象）〔3〕

1. 2 活動内容

本委員会では、以下に示す3つのWGを設置し、調査研究活動を行うこととした。

(1) 診断手法 WG

国内外における（研究レベルも含めた）ASR 診断手法および抑制対策に関する最新情報を整理し、ASR 診断フローと新しいASR 抑制対策を提案する。

(2) 現状分析 WG

国内においてこれまでに実施されたASR 診断に関して、調査点検項目等を調査し、その意義やデータの活用方法などに関する現状を把握する。また、先進的な調査事例を収集・比較することで、現状のASR 診断の技術課題について整理する。

(3) 意識調査 WG

JCI TC 062A のアンケート調査を基に、各地域および事業体の管理者および技術者に対して、ASR 診断に関するアンケートを再度行う。その結果を基にASR 診断に関する技術者の認識を把握するとともに、ASR 診断の重要性を認知させるための啓蒙活動を行う。

FS 委員会の期間は1年間と限られているため、既存のASR 診断技術だけでなく最新のものも整理すること、また現場技術者のASR 診断技術に関する認識を調査することを優先事項とした。これは、上述したような現場技術者が常日頃感じているASR 診断や各要素技術に対する認識を明らかにすることが必要なためと考えたからである。各診断技術の適用範囲とその有効性を明確にし、また現場技術者の各技術に対する認識の度を整理することで、合理的なASR 診断フローを提示する上での課題を整理できるものと考えた。

今期では、まずアンケートによるASR 診断に関する意識調査を行い、実務で行われているASR 診断の実情とともに、ASR 診断に対する実務者の認識を把握することを目的として活動を行った。表－1.2.1 に委員会活動の活動実績を示す。

表－1.2.1 委員会の活動実績

日程		内容
6/15	第一回幹事会	・ 設立主旨，年間方針の確認
7/14	第一回全体委員会	・ ASR 診断に関する現状に関する議論
8/8	第二回幹事会	・ アンケート案の作成
9/13	第二回全体委員会	・ 最新のASR 診断技術に関する話題提供 ・ アンケートに関する議論，作成
11/28	第三回全体委員会	・ JR 東日本におけるASR 抑制対策に関する話題提供 ・ 再生骨材Hのアルカリ反応性試験法制定に関する話題提供 ・ アンケートの暫定集計結果の報告，取りまとめ方針の議論 ・ 報告書作成方針の決定
2/2	第四回全体委員会	・ 報告書内容の確認 ・ 来年度以降の活動方針に関する議論

1. 2. 1 ASR 診断技術の最新情報の整理

以下に示す3件の話題提供を行い、委員会にてASRの抑制対策およびASR診断技術に関する議論を行った。

- ・最新のASR診断技術に関する話題提供（片山委員）
- ・JR東日本におけるASR抑制対策に関する話題提供（JR東日本 松田氏）
- ・再生骨材Hのアルカリ反応性試験法制定に関する話題提供（真野委員）

1. 2. 2 アンケートによる実状把握

ASR診断に関する意識調査を行い、実務で行われているASR診断の実情とともに、ASR診断に対する実務者の認識を把握するため、アンケートによる調査を行った。

1. 3 アンケートについて

1. 3. 1 アンケート内容および回答方針

現場技術者を対象として、構造物のASR診断に関する意識調査のためのアンケートを9月26日～11月11日の期間に実施した。アンケートは以下の3つに大きく分けて構成されている。アンケートへの回答方針として、回答者の職種等に関係なく、それぞれ個人の見解として回答してもらうこととした。

- ・新設コンクリート構造物の抑制対策に関する認識
- ・ASRにより劣化した構造物の維持管理・診断に関するこれまでの経験
- ・ASRに関連する詳細な維持管理技術に関する認識

アンケートを参考資料に示す。調査項目はJCI-TC062Aのアンケート調査項目を基にして、ASRの診断技術や抑制対策に特化した専門的内容を含めたものとした。このため、対象とする回答者はASR診断に関わった経験を持つ管理者や技術者が多く含まれるように配慮し、各委員からASRに関連すると考えられる管理者や技術者に配布を依頼した。

1. 3. 2 アンケート結果

上記アンケートについて、合計361件の回答を得た。表1.3.1に回答者の職種内訳を示す。回答者は、構造物の管理者である官公庁職員、また実際のASR診断業務を請け負うコンサルタント会社員による回答が6割超であった。また、表1.3.2に回答者の地域内訳を示す。表より、中国地方、九州地方、沖縄県からの回答が多く得られたことが分かる。表1.3.3に回答者の取得資格の内訳を示す。回答者361名のうち約半数がコンクリート診断士または技術士を有している。また、回答者のうち83名が技術士およびコンクリート診断士の両資格を有していた。

アンケート回答者のASRに関する経験程度を図1.3.1に示す。アンケート回答者の約7割はASR劣化が疑われた構造物に関わる業務に携わった経験を持ち、比較的多数のASR経験者が回答者に含まれ、想定した結果が得られた。他方、経験した業務回数については、6-10および11以上の回答者はそれぞれ約2割程度となっている。

なお、アンケートの結果については、以下に示す各章で取りまとめている。

- ・新設コンクリート構造物の抑制対策に関する認識（2章）
- ・ASRにより劣化した構造物の維持管理・診断に関するこれまでの経験（3章）

- ・ ASR に関連する詳細な維持管理技術に関する認識（４章）

表－1.3.1 回答者の職種内訳

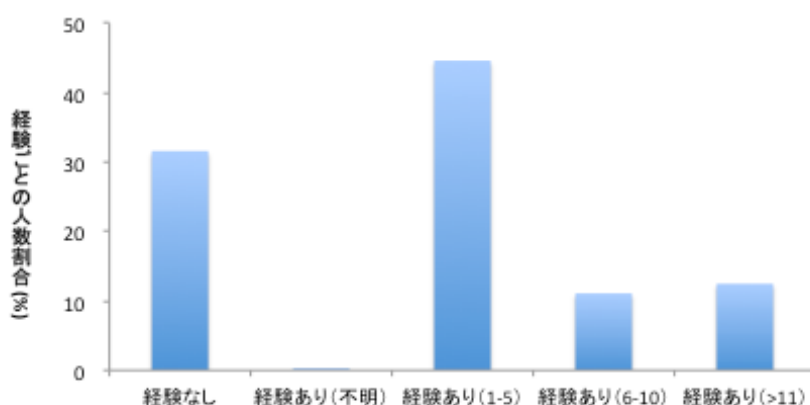
無回答	大学職員	企業 1						企業 2				官公庁
		無回答	材料	設計	施工管理	研究関係	コンサルタント	無回答	道路	鉄道	電力	
2	7	8	11	16	40	3	124	3	20	6	14	107

表－1.3.2 回答者の地域内訳

無回答	北海道	東北	北陸	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
7	17	15	16	28	24	29	83	11	48	83

表－1.3.3 回答者の取得資格内訳

技術士	一級建築士	コンクリート診断士	コンクリート主任技士	コンクリート技士	コンクリート構造診断士	工学博士	その他
115	7	171	58	83	24	26	50



図－1.3.1 アンケート回答者の ASR に関わる経験程度

【参考文献】

- [1] Larbi, J., Modry, S., Katayama, T., Blight, G. and Ballim, R.: Guide to diagnosis and appraisal of AAR damage in concrete structures: The RILEM TC 191-ARP approach, Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, pp.921-933, 2004
- [2] 山田一夫: 最近の国際的アルカリ骨材反応対策－関連規準の動向, セメント・コンクリート, No.704, pp.16-25, 2005
- [3] 福永靖雄, 松井隆行, 座波清, 山戸隆秀: 沖縄におけるアルカリ骨材反応の診断手法, 第 27 回道路会議, pp.1-2, 2007

[担当 川端雄一郎]

アルカリ骨材反応（ASR）を生じた構造物の診断に関するアンケート

アンケートの主旨

現在の新設構造物におけるアルカリ骨材反応（ASR）に対する抑制対策としては 2002 年の国土交通省通達などがありますが、近年の研究では、現行の骨材の評価法や抑制対策に限界があることが報告されています。このような状況の下、一部では独自に新しい抑制対策を講じている事業体もあり、今後より有効な抑制対策を講じていく必要があると考えています。しかし、現時点では ASR による構造物の劣化事例において、「構造物で何故 ASR による劣化が生じたのか」という原因調査が十分に行われておらず、現状の抑制対策の効果は必ずしも明確になっていません。また、ASR 診断により劣化原因を正しく理解することは、人の場合と同じくコンクリートでも「病気」と付き合っていく第一歩です。

日本コンクリート工学会（JCI）では、2011 年に「ASR 診断の現状とあるべき姿」研究委員会を立ち上げ、「構造物で何故 ASR による劣化が生じたのか」という原因調査を「**ASR 診断**」と定義し、その ASR 診断を行うことが将来的に合理的な ASR 抑制対策の提案に資すると考え、活動を開始いたしました。現場における ASR 診断に対する現状やニーズを整理し、また最先端の研究を調査することで、最適な ASR による劣化が疑われる構造物の診断フローを提案することを目標としております。

そこで、まずは実際の構造物を扱う管理者やコンサルタントなど関連技術者の方々のご意見をうかがい、ASR 診断に対する現状やニーズを把握し、今後の委員会活動の方向性を定めたいと考えております。

お忙しいところ大変恐縮ですが、本アンケートへのご協力よろしくお願い申し上げます。

2011 年 9 月 26 日

公益社団法人 日本コンクリート工学会

ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会

委員長 山田 一夫

本アンケートについて

- ① 本アンケートは回答者の所属機関としての見解ではなく、個人的な見解についてお尋ねするものです。
- ② 本アンケートは学術的検討にのみ利用します。調査結果は本会が責任をもって厳重に管理し、結果を報告する際には統計的な整理にとどめ、回答者が特定できるような公表は致しません。
- ③ 本アンケートの結果がまとまりましたら、ご希望の回答者の方にご報告申し上げます。同時に、暫定ではあるとしても、学術論としてのあるべき姿の例の概要をお知らせできればと考えております。
- ④ 郵便もしくはメールにて提出願います。提出期限は以下の通りです。アンケートをお願いしました委員へ匿名としてご提出いただいても結構です。

・提出先 **【郵便】** 〒102-0083 東京都千代田区麹町 1-7 相互半蔵門ビル 12F
公益社団法人 日本コンクリート工学会
「ASR 診断の現状とあるべき姿」研究委員会 事務局 渡部 隆
※封筒に「ASR アンケート在中」とご記入下さい。

【メール】 kawabata-y@pari.go.jp （港湾空港技術研究所 川端雄一郎）

※メールのタイトルに「ASR アンケート」と記入し、PDF もしくは Word ファイルを送付下さい。

・提出期限 2011 年 11 月 11 日（金）

- ⑤ 本アンケートに関するお問い合わせはこちら。

・問い合わせ先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
（独）港湾空港技術研究所
川端 雄一郎
Tel: 046-844-5059, Fax: 046-844-0255

1.ご回答いただく方について

ご回答いただく方の基本情報について、以下の表にご記入下さい。

ご回答内容の確認などのために連絡させていただく場合があります。差し支えの無い範囲で結構です。
統計処理のため、必須の箇所（①、②、⑧）については必ずご記入下さい。

① 業種（ <u>必須</u> ）：	回答者の業種について、該当する箇所に○を付けて下さい。 その他の業種の方はその他に○を付けていただき、業種名をご記入下さい。 ・ 学校関係 （職員・学生） ・ 企業 （材料・設計・施工管理・研究関係・コンサルタント） ・ 企業 （道路・鉄道・電力） ・ 官公庁 ・ その他（ ）
所属名（任意）：	
② 地域（ <u>必須</u> ）：	以下の地域のうち該当する箇所に○を付けて下さい。 【北海道・東北・北陸・関東・中部・近畿・中国・四国・九州・沖縄】
住所（任意）：	
③ 役職（任意）：	
④ 氏名（任意）：	
⑤ E-mail（任意）：	
⑥ 電話番号（任意）：	
⑦ FAX番号（任意）：	
⑧ 取得資格（ <u>必須</u> ）：	以下の資格をお持ちの場合、それぞれの箇所に○を付けて下さい。下記以外の資格をお持ちの方はその他に○を付けていただき、カッコ内に資格名をご記入下さい。 【技術士・一級建築士・コンクリート診断士・コンクリート主任技士・コンクリート技士・コンクリート構造診断士・工学博士（博士（工学））・その他（ ）】
⑨ 結果送付（任意）：	ご希望であれば、アンケートの集計結果についてご連絡いたします。 カッコ内についてご希望の箇所に○を付けて下さい。 アンケートの集計結果の送付を（ 希望する ・ 希望しない ） ※結果の送付をご希望の方は住所・氏名を必ずご記入下さい。

2.ASRにより劣化した構造物の維持管理・診断に関するご経験について

2.1 【全員】

ASRにより劣化が疑われた構造物に関わる業務に携わった経験はございますか？

以下の項目から該当する番号を回答欄に記入下さい。

1. 有り
2. 無し

回答欄 ()

※「有り」と回答された方は質問 2.2～2.7 へお進み下さい。

「無し」と回答された方は質問 3.1 へお進み下さい。

2.2 【2.1 で「有り」と回答された方】

ASRにより劣化した構造物に関わった業務回数について、以下の項目から該当する番号を回答欄に記入下さい。

また、関連した代表的な構造物の種類（橋梁上部構造、橋梁下部構造、カルバート、擁壁、トンネルなど）を枠内にご記入下さい。

1. 1～5 件
2. 6～10 件
3. 11 件以上

回答欄 ()

※数多くのご経験をお持ちの場合も想定されますが、これまでの経験のうち、代表的な構造物の種類についてご記入下さい。

【代表的な構造物の種類】

※以後の質問【2.3～2.7】は枠内にて記入いただいた代表的な構造物でのご経験についてご回答下さい。

2.3 【2.1 で「有り」と回答された方】

2.2 において記入された代表的な構造物が ASR によって劣化していると疑われた最初のきっかけは何ですか？

以下の項目から該当する番号を 1 つ回答欄に記入下さい。

また、「第三者からの情報提供」、「その他」の場合には番号を記入した上で、情報提供元（任意）または具体的な内容を枠内にご記入下さい。

1. 日常点検（年に数回程度実施される点検）
2. 定期点検（1 年～複数年に 1 回実施される点検）
3. 詳細点検（コアを採取しての試験など、目視以外の専門的な測定を含む点検）
4. 第三者からの情報提供
5. コンサルティング業務
6. 技術相談
7. 不明
8. その他

回答欄（ ）

※「第三者からの情報提供」、「その他」を選択された方は情報提供元（任意）または具体的な内容を以下の枠内にご記入下さい。また、コメント等ございましたら自由にご記入下さい。

--

2.4 【2.1 で「有り」と回答された方】

2.2 において記入された代表的な構造物の劣化原因は結果的に ASR と判定されましたか？

以下の項目から該当する番号を 1 つ回答欄に記入下さい。

1. ASR による劣化と判定された。
2. ASR とその他の劣化の複合的な作用による劣化と判定された。
3. 部位により、ASR による劣化またはそれ以外の劣化と判定された。
4. ASR ではなく、別の要因による劣化と判定された。

回答欄（ ）

※「1, 2, 3」と回答された方は質問【2.5, 2.6】へ、
「4」と回答された方は質問【2.7】にお進み下さい。

2.5 【2.4 で「1, 2, 3」と回答された方】

2.2 において記入された代表的な構造物の劣化が ASR によるものと判定された理由は何ですか？

以下の表のうち、該当する番号を回答欄に記入して下さい。（複数回答可）

また、その他の判定理由がある場合、その他の番号を記入した上で、具体的な判定内容を枠内にご記入下さい。

1. ひび割れの形状や分布、ゲルの滲出など外観上の特徴が ASR に特徴的なものであった。
2. コアの膨張量を測定した結果、膨張が認められた。
3. コア試料を用いた試験や測定等で ASR ゲルが確認された。
4. 骨材について改めて試験したところ、反応性が認められた。
5. コンクリートのアルカリ量を測定したところ、 3kg/m^3 を上回っていた。
6. 同じコンクリートが用いられた構造物で ASR と判定されていた。
7. 他に構造物の変状を説明できる劣化原因がなく、消去法的に判定した。
8. コア試料からコンクリート薄片を作製し、ASR ゲルの生成とひび割れの関係から推定した。
9. 信頼できる専門家の意見に拠った。
10. 不明
11. その他

回答欄（ ）

※その他を選択された方は以下の枠内に具体的にご記入下さい。

2～4 を選択された方は、実施した試験方法についても分かる範囲でご記入ください。

また、コメント等ございましたら自由にご記入下さい。

2.6 【2.4で「1, 2, 3」と回答された方】

2.2 において記入された代表的な構造物において、ASR が生じた主要な原因は何だとお考えですか？

以下の表のうち、最も該当すると考えられる項目の番号を1つ回答欄に記入して下さい。

また、その他の原因が考えられる場合には番号を記入した上で、具体的な内容を枠内にご記入下さい。

1. 竣工年代の古い構造物で、ASR という現象がほとんど知られていない時期に建設されていた。
2. 骨材の反応性を適切に判定できていなかった。
3. 海砂やアルカリ量の多いセメントを用いた結果、コンクリートのアルカリ総量が大きかった。
4. 混和材を使用した が、抑制効果が不十分であった。
5. 不明
6. その他

回答欄 ()

※その他を選択された方は以下の枠内に具体的にご記入下さい。

1～4 を選択された方で、より詳細な原因がお分かりの場合はご記入ください。

また、コメント等ございましたら自由にご記入下さい。

--

2.7 【2.4 で「4」と回答された方】

2.2 において記入された代表的な構造物の劣化が ASR によるものではないと判定された理由は何ですか？

以下の表のうち、該当する番号を回答欄に記入して下さい。（複数回答可）

また、その他の判定理由がある場合、その他の番号を記入した上で、具体的な判定内容を枠内にご記入下さい。

1. ひび割れの形状や分布、ゲルの滲出など外観上の特徴が ASR と異なった。
2. コアの膨張量を測定した結果、膨張が認められなかった。
3. コア試料を用いた試験や測定等で ASR ゲルは確認されなかった。
4. 骨材について改めて試験したが、反応性が認められなかった。
5. コンクリートのアルカリ量を測定したところ、 3kg/m^3 を上回っていなかった。
6. 同じコンクリートが用いられた構造物で ASR が疑われなかった。
7. コア試料からコンクリート薄片を作製したが、ASR ゲルやひび割れが確認できなかった。
8. 信頼できる専門家の意見に拠った。
9. 不明
10. その他

回答欄（ ）

※その他を選択された方は以下の枠内に具体的にご記入下さい。

2～4 を選択された方は、実施した試験方法についても分かる範囲でご記入ください。

また、コメント等ございましたら自由にご記入下さい。

3.3 【全員】

最近の研究では、ASR 抑制対策がとられていても ASR が生じた場合があるとの指摘があります。これについてどのようにお考えですか？

以下の項目から該当する番号を1つ回答欄に記入下さい。

また、「その他」の場合には番号を記入の上、具体的な内容を枠内にご記入下さい。

1. 例外的なケースが生じるのはやむを得ない。維持管理で対応するのがよい。
2. 重要な構造物については、建設時により多くの初期費用がかかっても、より精緻な抑制対策を課するのがよい。
3. ほとんどの構造物について、建設時により多くの初期費用がかかっても、より精緻な抑制対策を課すのがよい。
4. わからない
5. その他

回答欄 ()

※その他を選択された方は以下の枠内に具体的にご記入下さい。

また、コメント等ございましたら自由にご記入下さい。

[illegible]

4.ASRに関連する詳細な維持管理技術について

4.1 【全員】

構造物の劣化が外観観察で ASR によるものと判定することは容易であるとお考えですか？

以下の項目から該当する番号を 1 つ回答欄に記入下さい。

また、そのように考えた理由を枠内にご記入下さい。

1. 容易である。
2. 概ね容易である。
3. 多くは困難である。
4. 非常に困難である。

回答欄 ()

※上記の回答を選択した理由をご記入下さい。また、コメント等ございましたら自由にご記入下さい。

4.2 【全員】

構造物で ASR が生じた主原因を特定することは容易であるとお考えですか？

以下の項目から該当する番号を 1 つ回答欄に記入下さい。

また、そのように考えた理由を枠内にご記入下さい。

1. 容易である。
2. 概ね容易である。
3. 多くは困難である。
4. 非常に困難である。

回答欄 ()

※上記の回答を選択した理由をご記入下さい。また、コメント等ございましたら自由にご記入下さい。

4.3 【構造物の管理者】

特に、構造物の管理者の方にお聞きします。

構造物が ASR によって劣化していると判定された場合、どのように対処しますか？

以下の項目から該当する番号を 1 つ回答欄に記入下さい。

また、「その他」を選択された場合は具体的な内容を四角内にご記入下さい。

1. 基準・マニュアル類を基に検討する。
2. 専門家（大学、研究機関）に相談する。
3. 専門家（コンサルタント等）に相談する。
4. わからない
5. その他

回答欄 ()

※その他を選択された方は以下の四角内に具体的な内容を記入下さい。

--

4.4 【全員】

ASR により劣化した構造物の維持管理に関して、今後優先的に検討をすすめるべきと思われる技術の分野の優先順位について、回答例を参考に回答欄に 1～5 の番号を記入下さい。（1 が最も優先）

技術の分野	回答欄	(回答例)
(1) 構造物の劣化原因が ASR か否かを特定する技術		2
(2) 構造物で ASR が生じた原因を特定する技術		1
(3) ASR により劣化した構造物の調査時点での性能を評価する技術		3
(4) ASR により劣化した構造物の補修・補強技術		4
(5) ASR により劣化した構造物の将来の劣化進行を予測する技術		5

4.5 【全員】

ASR により劣化した構造物の維持管理に関して、技術開発の困難さについて、回答例を参考に回答欄に 1～5 の番号を記入下さい。（1 が最も困難）

技術の分野	回答欄	(回答例)
(1) 構造物の劣化原因が ASR か否かを特定する技術		2
(2) 構造物で ASR が生じた原因を特定する技術		1
(3) ASR により劣化した構造物の調査時点での性能を評価する技術		3
(4) ASR により劣化した構造物の補修・補強技術		4
(5) ASR により劣化した構造物の将来の劣化進行を予測する技術		5

4.6 【全員】

ASR に関する劣化診断において実施される場合がある調査手法について、現状のご認識に最も近い回答欄に○を記入下さい。

劣化診断として実施する調査	認識				
	全く知らない	聞いたことがある	知っている		
			あまり有用でない	有用な場合がある	有用である
(1) 周辺構造物における ASR 劣化の有無の調査					
(2) コンクリートから取りだした骨材のアルカリシリカ反応性(化学法)					
(3) コンクリートから取りだした骨材のアルカリシリカ反応性(モルタルバー法)					
(4) 促進環境下での膨張量測定(JCI-DD2) ※40℃の湿空中で促進する方法					
(5) 促進環境下での膨張量測定(デンマーク法) ※50℃飽和 NaCl 水溶液中で促進する方法					
(6) 促進環境下での膨張量測定(カナダ法) ※80℃, 1mol/l の NaOH 水溶液中で促進する方法					
(7) 電子顕微鏡(SEM)観察によるアルカリシリカゲルの存在の確認					
(8) 電子顕微鏡, 電子線プローブ微小分析(SEM, EPMA)によるアルカリシリカゲルの組成の分布分析					
(9) 構造物表面から採取したアルカリシリカゲルの湿式分析による確認					
(10) 酢酸ウラニル蛍光法を用いたアルカリシリカゲルの確認					
(11) X 線回折分析(XRD)による骨材中の反応性鉱物の同定					
(12) コンクリートの静弾性係数の測定					
(13) コア側面等における観察(骨材の種類・ひび割れやゲルの有無等)					
(14) コンクリート薄片試料を用いた偏光顕微鏡観察(反応性鉱物の種類・含有量, 反応状況等)					
(15) コンクリートのアルカリ量測定					

4.7 【全員】

ASR に関する劣化診断において実施される場合がある調査手法について、これまでの使用経験に最も近い回答欄に○を記入下さい。

劣化診断として実施する調査	使用経験			
	知らない	知っている		
		実施 しない	実施する 場合がある	実施する
(1) 周辺構造物における ASR 劣化の有無の調査				
(2) コンクリートから取りだした骨材のアルカリシリカ反応性(化学法)				
(3) コンクリートから取りだした骨材のアルカリシリカ反応性(モルタルバー法)				
(4) 促進環境下での膨張量測定(JCI-DD2) ※40℃の湿空中で促進する方法				
(5) 促進環境下での膨張量測定(デンマーク法) ※50℃飽和 NaCl 水溶液中で促進する方法				
(6) 促進環境下での膨張量測定(カナダ法) ※80℃, 1mol/l の NaOH 水溶液中で促進する方法				
(7) 電子顕微鏡(SEM)観察によるアルカリシリカゲルの存在の確認				
(8) 電子顕微鏡, 電子線プローブ微小分析(SEM, EPMA)によるアルカリシリカゲルの組成の分布分析				
(9) 構造物表面から採取したアルカリシリカゲルの湿式分析による確認				
(10) 酢酸ウラニル蛍光法を用いたアルカリシリカゲルの確認				
(11) X 線回折分析(XRD)による骨材中の反応性鉱物の同定				
(12) コンクリートの静弾性係数の測定				
(13)コア側面等における観察(骨材の種類・ひび割れやゲルの有無等)				
(14)コンクリート薄片試料を用いた偏光顕微鏡観察(反応性鉱物の種類・含有量, 反応状況等)				
(15)コンクリートのアルカリ量測定				

4.8 【回答者全員】

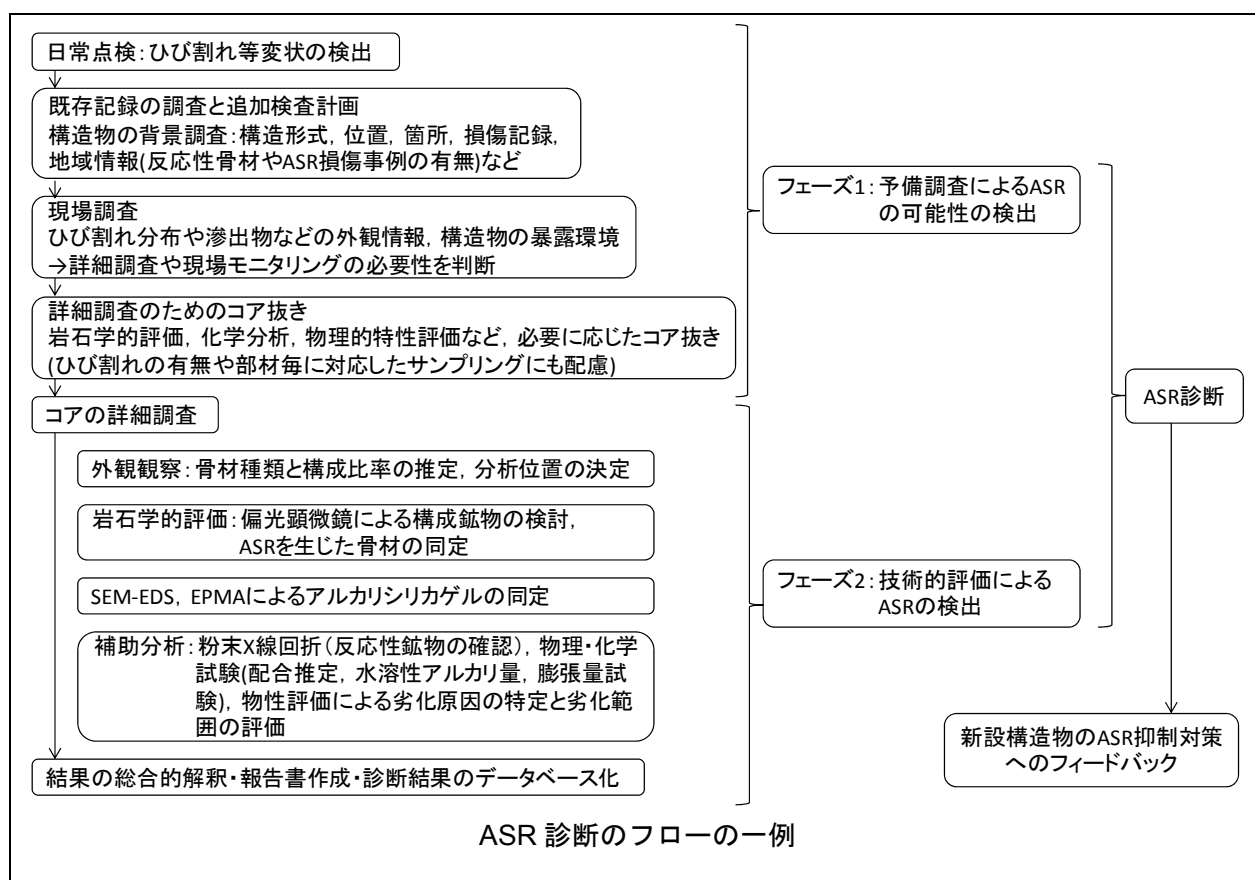
ASR が疑われた構造物に対する診断技術について、ご意見等があれば以下の枠内にご記入下さい。

5.本研究委員会の活動内容について

5.1 【回答者全員】

「ASR 診断の現状とあるべき姿」研究委員会では、現実に ASR により劣化を生じた構造物の劣化状況を把握し、またその原因調査までを含めた包括的な ASR 診断を行うための以下に示すような ASR 診断フローを提案するための活動を行っています。

本研究委員会の活動内容に対するご要望がございましたら、以下の枠内にご記入下さい。



以上でアンケートは終了です。ご協力いただき、誠にありがとうございました。

2. ASR 診断の必要性

我が国では、1986 年に建設省の「アルカリ骨材反応抑制対策について」通達が出されたことや、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」が改正されたことにより、ASR に対して抑制対策を取ることが標準となった。これらの対策については、その後見直しが行われているが、実施する抑制対策の根幹は、大きくは変わっていない。

構造物の劣化実態に関する種々の調査から、1986 年に定められた種々の抑制対策が取られた以降の構造物では ASR による劣化が生じる可能性は非常に小さくなっていることが知られている。一方で、対策が行われていても ASR が生じている事例はゼロではなく、その原因の検討や対策の見直しなどが検討されているところである。

このような検討の状況について調査するため、本委員会では、東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR 東日本）の松田氏を招き、JR 東日本における取り組みの紹介を受けて議論した。

本章では上記の講演の内容を紹介するとともに、本委員会を実施したアンケートの「3. 新設構造物の抑制対策について」の集計結果に基づき、ASR 抑制対策に関する技術者の意識について分析を行った。

2.1 管理者による ASR 対策例（JR 東日本の事例）

2.1.1 概要

ここでは、重要構造物である鉄道構造物を管理している事業者の ASR 対策例として、JR 東日本の抑制対策について記述する [1]。

JR 東日本では、1995 年竣工の構造物において、当時の JIS 規格を満足するレディーミクストコンクリートを使用したにもかかわらず、ASR によるひび割れ、はく離を生じた事例が確認されている [2]。このため、同社では ASR 抑制のため独自の対策を行っていた。表-2.1.1 に 2004 年に JR 東日本が策定した内容を示す。また、JR 東日本管内でレディーミクストコンクリートに使用されている骨材について調査を行ったところ、JIS 規格による判定では「無害」と判定されるものの、「無害でない」領域に限りなく近い骨材が多く存在しており、危ない領域の骨材について何らかの対策の必要性が示唆された [3]。その後、さらなる ASR 抑制のための知見がまとまったとして、2010 年に骨材の 3 段階による新たな判定区分及び各判定区分に応じた抑制対策を策定した。

表-2.1.1 これまでの ASR 抑制に対する独自の対策（JR 東日本 土木工事技術管理の手引き [4] より） 施工時に当面以下のような措置を行う。 1)~3)の中からいずれかを選択する。 1) 単位セメント量の多い構造物（PC 桁等）は、骨材試験（モルタルバー法）による膨張率が小さく、6 ヶ月時の膨張量が 3 ヶ月と比べて膨張率の終息傾向を示す骨材を選定する。膨張量の目安としては出来れば 0.05% 程度以内が望ましい。 2) 骨材試験（モルタルバー法）にて 6 ヶ月時の膨張量が 3 ヶ月と比べて収束傾向を示さず、かつ、判定基準である 0.1% に近い膨張傾向が継続している場合、JIS 基準の B 区分に準じた対策（アルカリ骨材反応抑制対策：JIS A 5308 付属書 2）を行う。 3) 本施工に先立ち、当該骨材を用いて設計配合と同等のコンクリートバーを作製し、コンクリートバー法による判定試験	
--	--

JR 東日本が新たに策定した判定区分の特徴としては、従来ある試験法（化学法およびモルタルバー法）の試験結果をそのまま用い、判定基準のみを変更した点にある。この方法の利点としては、従来の試験結果をそのまま用いるため、試験を実施する側に新たな負担が発生しないことが挙げられる。新しい骨材の判定区分は「E 有害」「準有害」「E 無害」の 3 種類に区分されている。E の頭文字は、現行 JIS 規格との混同を避けるためである。以下に、化学法およびモルタルバー法に対する判定区分および判定区分に応じた対策について記載する。

表-2.1.2 化学法による骨材の JR 東日本判定区分

「E 有害」骨材	溶解シリカ量(Sc) $\geq 10\text{mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量(Rc) $< 700\text{mmol/l}$ のとき、アルカリ濃度減少量(Rc)が溶解シリカ量(Sc)以下となる骨材 ($(Rc) \leq (Sc)$ である骨材)
「準有害」骨材	溶解シリカ量(Sc) $\geq 10\text{mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量(Rc) $< 700\text{mmol/l}$ のとき、アルカリ濃度減少量(Rc)が溶解シリカ量(Sc)より大きく、かつ溶解シリカ量(Sc)に 50 をを加えた値(Sc+50)以下となる骨材 ($(Sc) < (Rc) \leq (Sc+50)$ である骨材)
「E 無害」骨材	溶解シリカ量(Sc) $\geq 10\text{mmol/l}$ かつアルカリ濃度減少量(Rc) $< 700\text{mmol/l}$ のとき、アルカリ濃度減少量(Rc)が溶解シリカ量(Sc)に 50 をを加えた値(Sc+50)より大きい骨材 ($(Sc+50) < (Rc)$ である骨材)

2.1.2 化学法による骨材の判定区分

JR 東日本における化学法の判定区分およびそのイメージを表-2.1.2 および図-2.1.1 に示す。従来の化学法判定ライン（アルカリ濃度減少量(Rc) = 溶解シリカ量(Sc)）に加えて、 $Rc = Sc + 50$ に追加の判定ラインを設け、両ラインの間に入る、従来の判定では「無害」となる骨材を「準有害」と定めている。

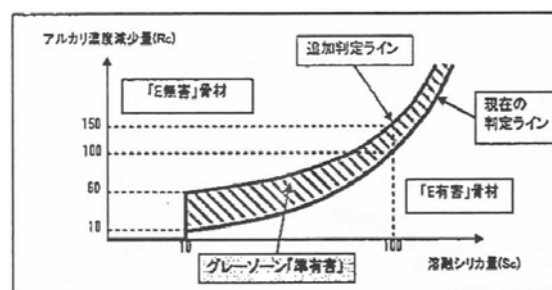


図-2.1.1 JR 東日本判定区分による、化学法の判定区分のイメージ

2.1.3 モルタルバー法による骨材の判定区分

JR 東日本におけるモルタルバー法の判定区分および判定区分の例を表-2.1.3 および図-2.1.2 に示す。「E 有害」については、従来の判定で「無害でない」となる骨材（図-2.1.2(c)）に加えて、図-2.1.2(d)に示すように26週で膨張率が0.05%以上で膨張が収束傾向にない骨材にも適用している。また「E 無害」は従来の判定で「無害」となる骨材の半分である、26週で膨張率が0.05%未満としている。

2.1.4 各判定区分に対する抑制対策

上記に示した JR 東日本判定区分に対する抑制対策を表-2.1.4 に示す。「E 有害」の場合は、高炉 B 種（質量分量 40%以上）またはフライアッシュセメント B 種（質量分量 15%以上）を使用するか、ASR 抑制効果があると確認された単位量で高炉スラグ微粉末またはフライアッシュを混和材として用いることが定められている。

「準有害」の場合は、上記混合セメント等を用いる方法もしくは、アルカリ総量を 2.2kg/m^3 に規制することが定められている。なお、上記アルカリ総量の規制値は、最近の委員会での知見をもとにしてある。

<参考文献>

- [1] 古賀 誠，木野淳一，松田芳範：アルカリシリカ反応の抑制対策について，SED, No.34, pp.138-143, 2010.5
- [2] 松田芳範：アルカリ骨材反応について，SED, No.12, pp.184-187, 1999.5
- [3] 上田洋，松田芳範，石橋忠良：アルカリ反応性の観点からみた骨材の現状，コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No.2, pp.607-612, 2001
- [4] 東日本旅客鉄道株式会社：土木工事技術管理の手引，2004.5

表-2.1.3 モルタルバー法による骨材の JR 東日本判定区分

「E 有害」骨材	膨張率が 26 週で 0.10%以上、もしくは膨張率が 26 週で 0.05%以上 0.10%未満であっても 13 週から 26 週までの膨張の増加割合が 8 週から 13 週までの増加割合に対し大きい骨材
「準 有 害」骨材	膨張率が 26 週で 0.05%以上 0.10%未満かつ 13 週から 26 週までの膨張の増加割合が 8 週から 13 週までの膨張の増加割合に対し小さい骨材
「E 無害」骨材	膨張率が 26 週で 0.05%未満の骨材

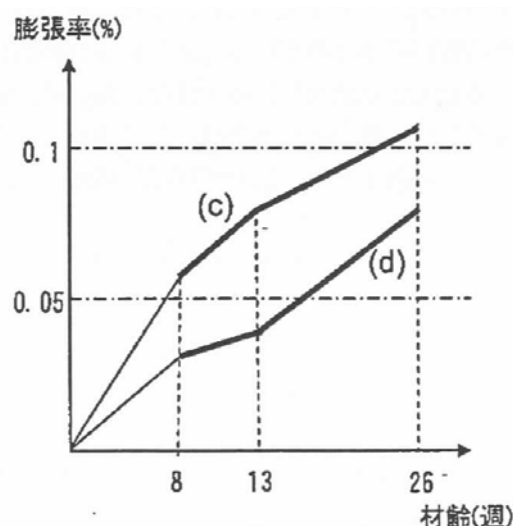


図-2.1.2 JR 東日本判定区分による、モルタルバー法の判定例（「E 有害」）

表-2.1.4 骨材の JR 東日本判定区分に対する抑制対策

骨材の JR 東日本判定区分	対策
「E 有害」	混合セメント等による対策
「準有害」	アルカリ総量を 2.2kg/m^3 に規制する対策もしくは混合セメントによる対策
「E 無害」	無対策

2.2 新設構造物の抑制対策に関する技術者の意識（アンケート結果）

アンケートでは、まず現行の ASR 抑制対策が有効に機能しているか問うた。その結果、「あまり有効でない」または「有効でない」とした回答者には、現行の ASR 抑制対策に関して変更・修正すべき点を問うた。最後に、ASR 抑制対策を行っていても ASR による劣化が生じるおそれがあることについて、今後どのように対応すべきか問うた。

2.2.1 現行の ASR 抑制対策の有効性

図-2.2.1 に現行の ASR 抑制対策の有効性についての回答をまとめた。その結果、「概ね有効である」との回答が最も多く、「有効である」と併せると全体の 64%を占めた。一方で、「あまり有効でない」および「有効でない」としたものも 12%あった。

ASR により劣化が疑われた構造物に関わる業務経験量によって回答者を分類（図-2.2.2）すると、「あまり有効でない」または「有効でない」とした回答者の割合は、業務経験が多い回答者群で比較的多かった。しかし、業務経験が多い回答者でも、その大部分は現行の抑制対策が「概ね有効である」または「有効である」と回答していた。また、「わからない」とする回答は業務経験が多くなるほど少なくなるに従い減少し、有効でないと明記する回答も現れた。業務経験を重ねた後では、ASR 抑制対策に何らかの意見を持つようになり、一部の回答者はその有効性に明確な疑問を持つにいたっているとも解釈できる。

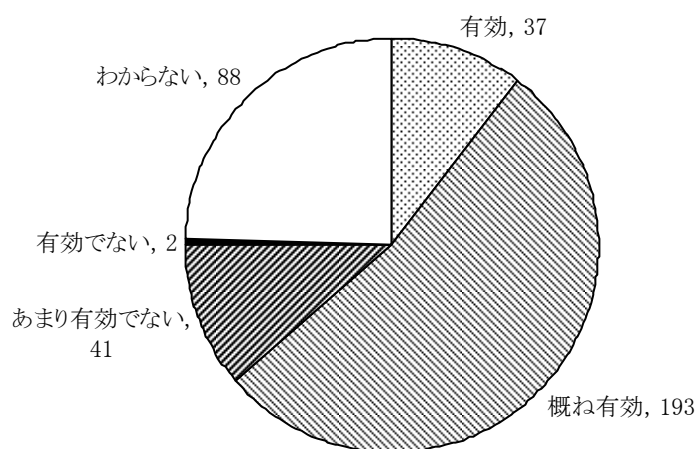
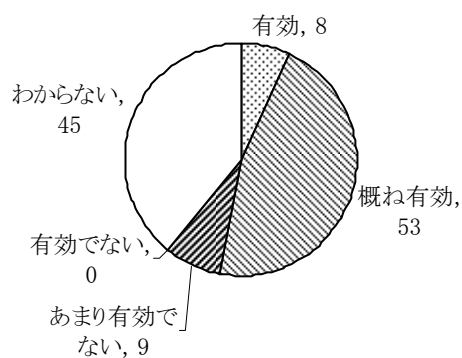
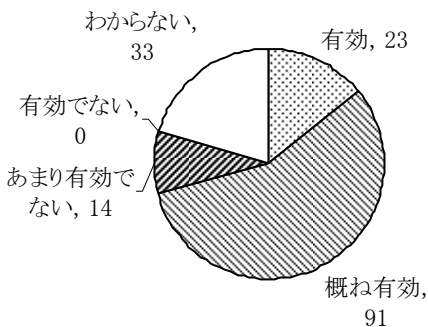


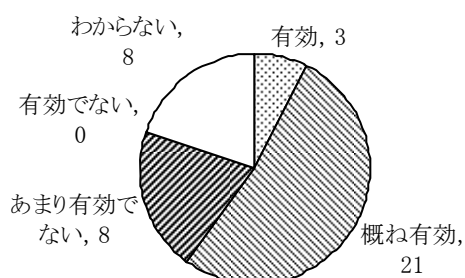
図-2.2.1 現行の ASR 抑制対策の有効性



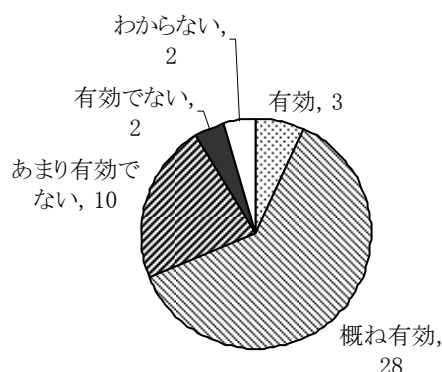
<ASR 業務経験, 無し>



<ASR 業務経験, 1～5 件>



<ASR 業務経験, 6～10 件>



<ASR 業務経験, 11 件以上>

図-2.2.2 現行の ASR 抑制対策の有効性 (業務経験別)

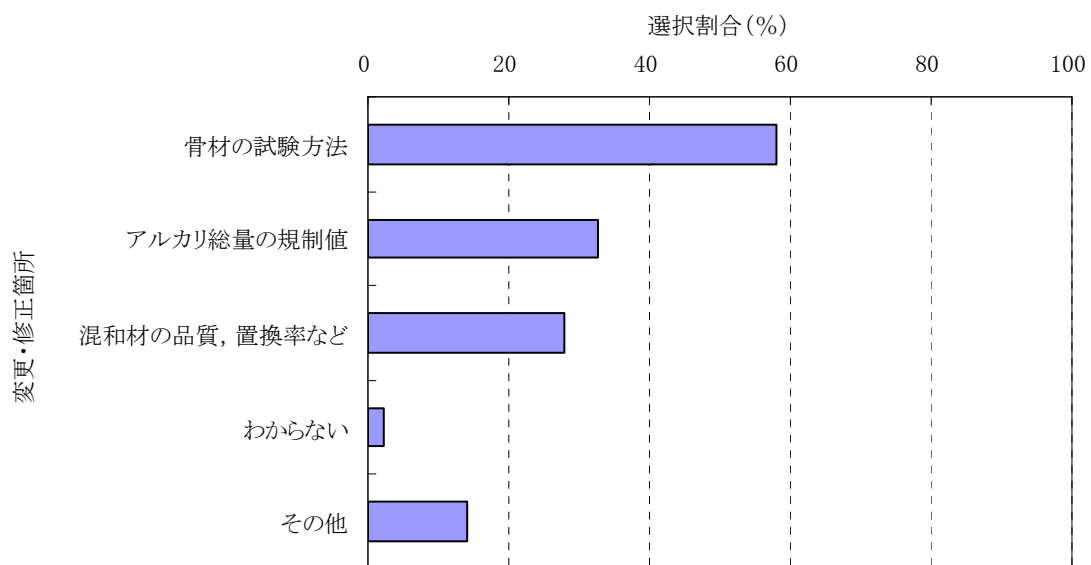
2.2.2 ASR 抑制対策の変更・修正が望まれる箇所

現行の抑制対策の有効性について「あまり有効でない」または「有効でない」とした回答者 (n=43) に, ASR 抑制対策の三つの方法のうちどの部分を修正・変更すべきか問うた (複数選択可)。その結果を図-2.2.3 に示す。また, 回答に付されていたコメントを表-2.2.1 に示す。骨材の試験方法が最も多く, 回答者の半数以上から選択されていた。この理由としてコメント欄では, 骨材試験で無害と判定された骨材が用いられているにもかかわらず ASR が生じた事例があること, 現行の試験方法では遅延膨張性の骨材を適切に評価できないことなどが指摘されていた。

次に多かったのは, アルカリ総量規制であり, その理由として, コメント欄でアルカリ総量規制を守っていても ASR が生じる場合があることが指摘されていた。また, 地域による骨材の違いや, 海からの飛来塩分の影響などを考慮してアルカリ総量の規制値を変更することが提案されていた。

混和材の使用に関しては, 他の対策と異なり, 現行の規制内容そのものの課題は提起されておらず, 適用を促進するための環境整備が求められていた。また, 無害でない骨材を完全に排除することは困難であることから, 結合材の選択や配合設計によって ASR を抑制すべきとの意見もあった。

その他の意見としては, 飛来塩分環境下では新設時から表面被覆を行うことなどが提案されていた。



図ー2. 2. 3 ASR 抑制対策の変更・修正が望まれる箇所

表－2.2.1 ASR 抑制対策の変更・修正が望まれる箇所についての具体的な意見

種類	意見の例
(a) 骨材の試験	・「無害」と判定された骨材を使用したのに ASR が生じた場合がある。(4 件) ・遅延膨張性の骨材について、既存の試験では適切に判定できない。(4 件) ・現行の試験方法では、骨材の反応性を適切に判定できない場合がある。(3 件) ・骨材試験で骨材のペシマム量が十分考慮されていない。(2 件) ・現状で不明な点があり、さらなる研究が求められている。(2 件) ・骨材の試験方法を化学法から変更すべきである。 ・促進膨張試験 (NaOH 浸せき) を導入すべきである。 ・地質、鉱物学の知識のある技術者の評価を受けて骨材試験を選択するのがよい。 ・資源の枯渇等のことを考えると、他の対策をとるべきである。 ・地山が均質でない以上、反応性を有する骨材の混入は避けられない。 ・どのような試験方法を設けても規制をかいくぐろうとする業者が存在する。
(b) アルカリ総量	・アルカリ量が 3kg/m^3 以下のコンクリートを使用したのに ASR が生じた場合がある。(4 件) ・外来アルカリの供給によりアルカリ量が増加してしまうおそれがある。(2 件) ・地域の環境条件によってアルカリ量の規制値を変更すべきである。(2 件) ・アルカリ量の規制値が諸外国と比較して大きい。 ・社会的な重要性や構造物の特性を考慮して、予防的にアルカリ総量を低減すべきである。
(c) 混和材	・反応性を有する骨材の混入は避けられないので、混和材での対策が現実的である。 ・アルカリ総量規制による対策には限界があり、混合セメントの利用を義務づけるべきである。 ・国内の骨材事情を考えると資源の有効利用が必要であり、混和材での対策を活用すべきである。 ・フライアッシュを用いることで ASR を抑制できるとの報告があり、活用すべきである。 ・各種実験の実績を踏まえた標準的な混和材の品質や置換率の設定が求められる。
(d) その他	・塩害、凍害環境では、塗装を施す。(2 件) ・反応性を有する骨材の使用は禁止すべきである。 ・骨材の試験に十分な費用がかけられていない。 ・より緻密な (高強度) コンクリートを使用する。

2.2.3 ASR 発生リスクについてどう考えるか

抑制対策を行っていても ASR の発生リスクがあることについて、現行の抑制対策で良いか、より初期コストをかけても ASR の発生リスクを下げるべきか問うた。その結果を図-2.2.4 に示す。

「重要な構造物については、建設時により多くの初期費用がかかっても、より精緻な抑制対策を課すのがよい」が最も多く選択されていた。ただし、コメント欄を見ると、追加的な費用とそれによるライフサイクルコスト低減効果を比較して判断することを求めるものが多く、この選択肢が積極的に選択されたとは言いにくい。「その他」を選択した回答者にも同様な理由を挙げたものが少なくなかった。

「例外的なケースはやむを得ない。維持管理で対応」を選択した理由としては、精緻な対策を行っても ASR を完全に防ぐことは困難なので、これが現実的であるとするものが多かった。

一方、「ほとんどの構造物について、建設時により多くの初期費用がかかっても、より精緻な抑制対策を課すのがよい」を選択した理由としては、その方がライフサイクルコストを低減できることのほかに、ひび割れの発生は社会に許容されないとの指摘もあった。

ASR により劣化が疑われた構造物に関わる業務経験量によって回答者を分類すると、経験量がある回答者群では、「わからない」とする回答が減り、「維持管理で対応」または「ほとんどの構造物についてより精緻な対策」の双方が増え、両者の中間的な「重要な構造物にはより精緻な対策」がやや減少した（図-2.2.5）。これは、経験が多い技術者ほど ASR 抑制対策のあり方に独自の考えを有しているためと考えられる。しかし、建設時に費用をかける意見と、維持管理で対応とする意見の割合は大きくは異ならなかったことから、経験を有した技術者の間でもどちらの方が、ライフサイクルコストが低減できるのか、コンセンサスは得られていないものと考えられる。

なお、業種によって回答者を分類し、材料や設計・施工に関わる企業 1 の回答者群と、道路・鉄道・電力などの構造物の発注者となる企業 2 の回答者群や官公庁の回答者群を比較した（図-2.2.6）。その結果、受注者側の企業 1 の回答者群は、他の回答者群よりも「維持管理で対応」を選択した回答者がやや多かった。一方、企業 2 の回答者群では、「ほとんどの構造物により精緻な対策」を選択した回答者がやや多かった。なお、官公庁の回答者に「わからない」と回答したものが多かったが、図-2.2.5 に示したように「わからない」の回答者は ASR に関する業務経験が無い、少ない回答者であった。このように受注者側（企業 1）と発注者側（企業 2、官公庁）で、若干の違いがあったが、違いが顕著とまでは言えなかった。

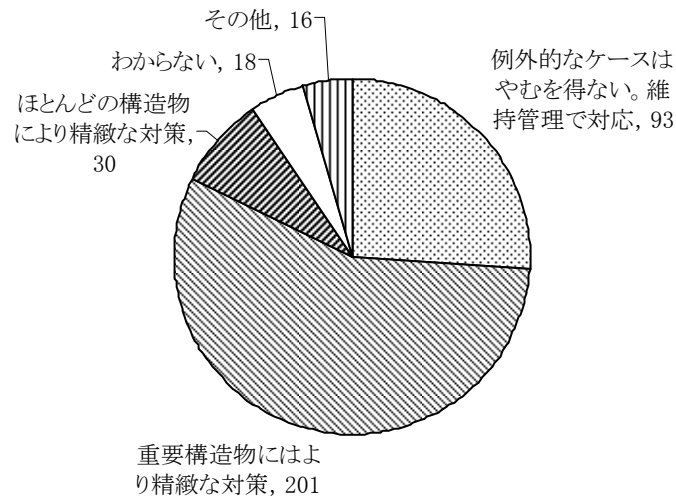
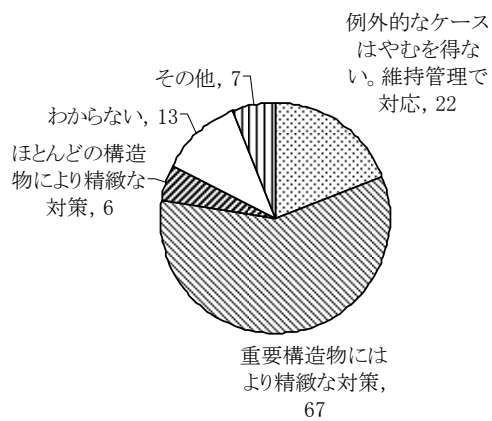
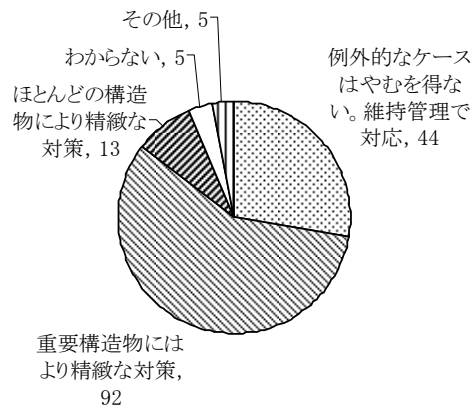


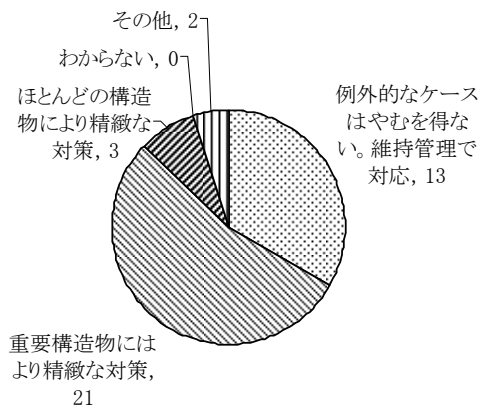
図-2.2.4 ASR 発生リスクについての考え



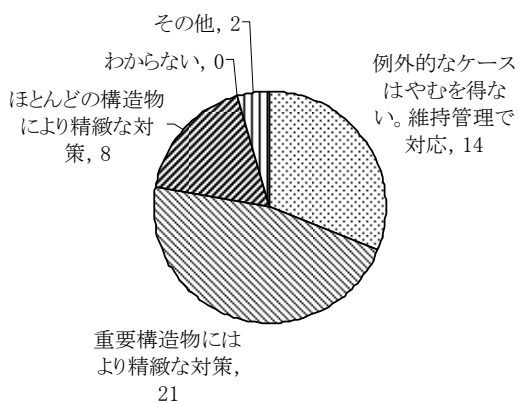
<ASR 業務経験, 無し>



<ASR 業務経験, 1~5 件>

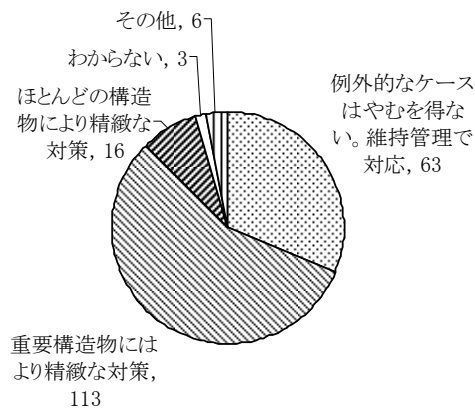


<ASR 業務経験, 6~10 件>

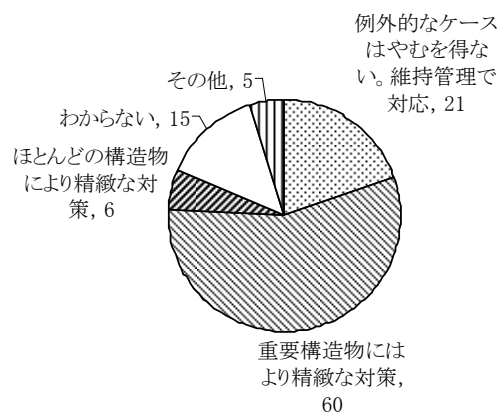
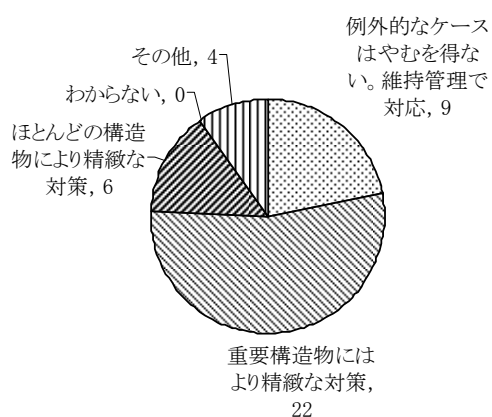


<ASR 業務経験, 11 件以上>

図-2.2.5 ASR 発生リスクについての考え（業務経験別）



< 企業（材料・設計・施工管理・研究関係・コンサルタント） >



< 企業（道路・鉄道・電力） >

< 官公庁 >

※これら以外の業種の回答者は少なかったので省略した。

図-2.2.6 ASR 発生リスクについての考え（業種別）

[担当：古賀裕久，鶴田孝司]

3. ASR 診断の現状

本委員会で実施したアンケートの「2.ASR により劣化した構造物の維持管理・診断に関するご経験について」の集計結果に基づき、維持管理・診断の現状について分析を行った。

3.1 点検業務における ASR 発見と判定結果

上記の ASR の経験ありとの回答者に対して、最初の ASR である疑いがどの点検段階で得られたか、あるいは ASR と疑ったきっかけがどのようなものであったかについて質問を実施した。回答結果を図-3.1.1 に示す。

日常点検（年に数回程度実施される点検）と回答があったのは 10%程度であり、定期点検（1 年～複数年に 1 回実施される点検）もしくは詳細点検（コアを採取しての試験など、目視以外の専門的な測定を含む点検）段階との回答が 45%程度であった。日常点検では遠望目視主体であり、実施者もコンクリート構造物の劣化現象を熟知した技術者とは限らないので、この段階において外観変状などから ASR を疑うのは難しいものと考えられる。

定期点検においては変状の進展等も含めて検討されるため、この段階で ASR が疑われたとした回答は 30%程度であった。しかし、詳細点検の段階とした回答も 15%程度あり、さらには、コンサルティング業務および技術相談を含めると、45%程度となる。つまり、ASR と疑うためには、半数程度のケースで ASR に関する専門的な経験、もしくは専門的な調査などが必要とされている。

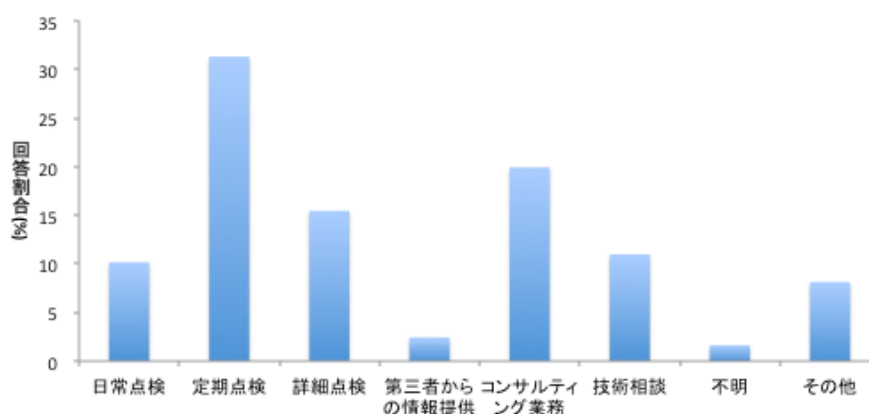


図-3.1.1 ASR 発生可能性の検知の経緯

上記において ASR による劣化と疑われた構造物の最終的な劣化原因の判定結果を図-3.1.2 に示す。その他の劣化との複合、および部位によっては ASR と判断されたケースも含めて、ほぼ全てのケースで ASR と判断されていた。上記で述べたとおり、ASR による劣化と疑われた段階で、詳細点検、コンサルティング業務および技術相談などが実施されている場合も多い。発見に至るまでに比較的高い技術もしくは経験などが活用されている場合は、疑われたものの多くが ASR であると判断されたものと考えられる。判定の精度としては高いという判断ができる一方、ある程度詳細な調査等や ASR による経験が豊富な技術者や専門家等の判断に基づかなければ、ASR と疑われないケースも多いとも言える。

他方、他の劣化との複合したケースも多かった。外部からの水分供給は ASR 膨張を促進する要因となっており、水分供給の多い場合には、他の劣化も生じやすく、複合劣化したケースが多い

原因となっているものと考えられる。また、他の劣化と複合するケースでは、簡易な手法による劣化原因の特定が難しい場合も多いものと考えられる。

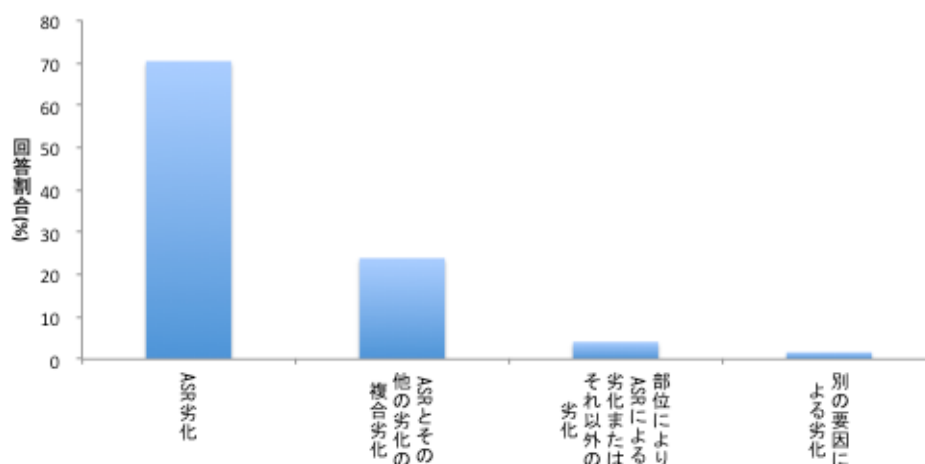


図-3.1.2 劣化原因の判定結果

3.2 ASR 診断における判定根拠

3.1 において ASR と判定したケースについてその判定根拠（理由）についてアンケートを実施した。その結果を図-3.2.1 に示す。ASR の場合には、特定の調査結果のみで判定されることは少なく、各種の調査結果から総合的に判断される場合が多いことを想定し、判定時の根拠については複数回答可能とした。そのため、ASR と判定されたケース（約 240 ケース）よりも判定の根拠の回答数は多く、全体で 731 の根拠数となった。図中には各根拠の回答数を全体の根拠数で除した割合を示している。

判定における根拠で多いものは、「外観の特徴」、「コアの膨張量測定結果」、「コア試料に ASR ゲルを確認」などとなった。外観の特徴に加えて、採取コア試験の結果などを用いることで判定しているケースが多いようである。逆に、外観の特徴を用いずに、他の試験のみで判断したケースは 23 ケースのみとなり、10%程度であった。

外観の特徴を判定の根拠としながらも、他の試験データを併用するものが多いことから、外観の特徴のみでは判定の理由として十分ではないというのが現状の認識であるものと考えられる。他方、外観の特徴を用いないケースは少ないことから、外観的な特徴を ASR の兆候あるいは可能性を判断する材料としており、それを確証するために調査等を行うなどが行われているのが実情であるものと考えられる。どのようなケースで外観の特徴のみでの判断が困難であるのか、その場合どのような試験方法との組合せが精度の高い結果が得られたなど、より詳細に分析することで、今後の診断の合理化に有用な情報を得ることが可能であるものと考えられる。

他方、3.2 において ASR と判定されなかった回答は 10 ケースであったため、ここではその ASR によるものではないと判定された理由を列挙するに留めることとした。その理由は、「外観上の特徴」、「コアの膨張量測定結果」、「コア試料においてゲルが確認されなかった」、「同じコンクリートが用いられた構造物で ASR が疑われなかった」などであった。

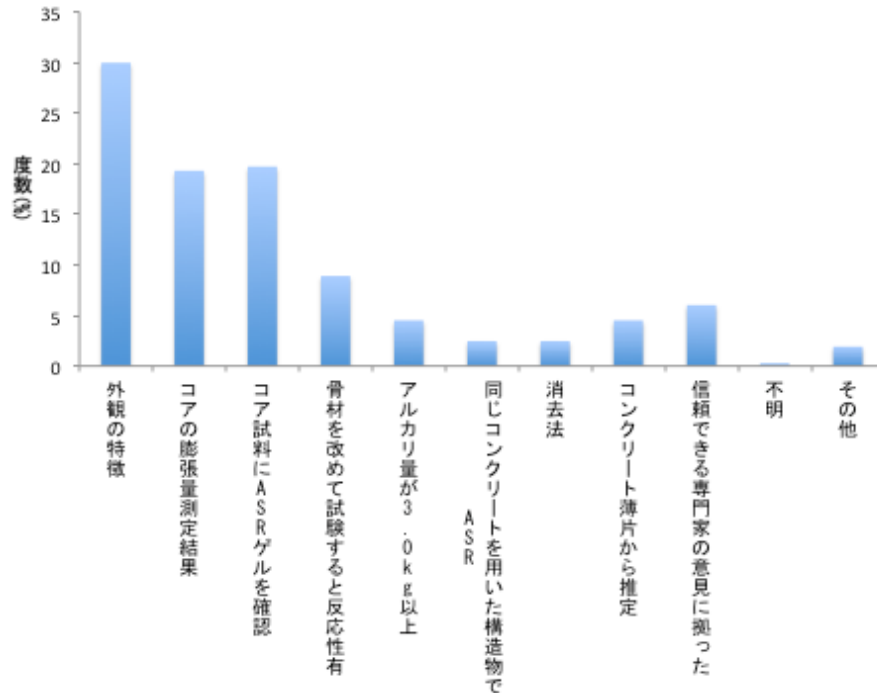


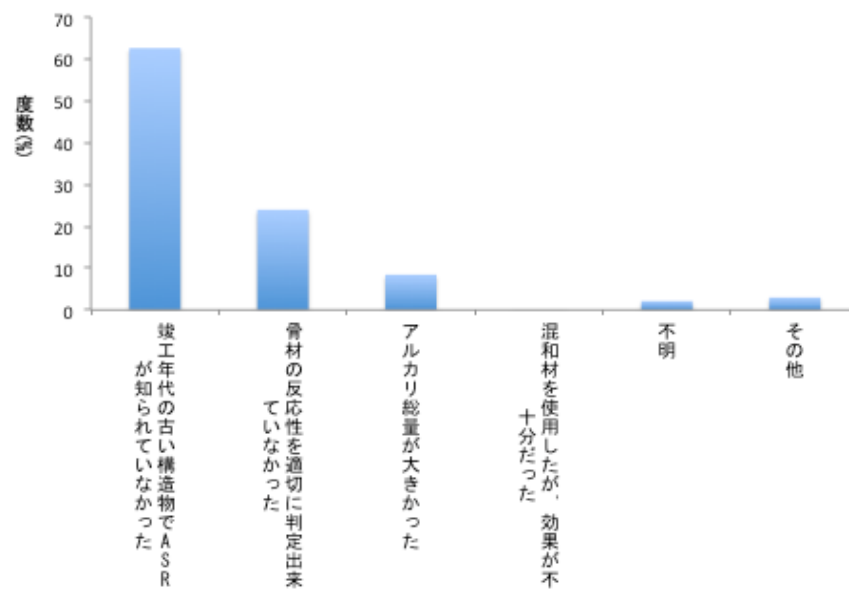
図-3.2.1 ASR と判定した根拠

3.3 ASR 発生原因

ASR と判定された構造物においてその発生原因についての回答結果を図-3.3.1 に示す。発生原因の6割以上が竣工年代の古い構造物であったため、ASR という現象が知られていない時期に建設されていたという結果が得られた。また、コンクリート中のアルカリ総量が大きいとした回答は8%程度であった。我が国のASR への抑制対策が開始されたのは1980年代であり、それ以前の構造物であったため、抑制対策が講じられていなかったためによるものとの回答が半数以上を占めた。

一般的にはASR 発生に通常数十年を要するとすれば、2011年時点で抑制対策以降30年程度が経過しており、対策実施以降は、抑制対策の実施、およびセメント原料・製造の変更に基づくセメント中のアルカリ量の減少などの要因によってその発生が大幅に抑制されていることと一致する結果が得られた。

他方、骨材の反応性が適切に判定できていなかったとの回答が20%程度となっている。近年では、ある種の骨材については骨材の反応性試験による判定が難しいものもあることが報告されている。我が国の骨材事情はきわめて複雑であり、反応性鉱物を含む岩帯が地域的に分布する場合と局所的に偏在する場合など様々である。さらには、環境問題等の理由によって近隣での骨材採取が困難な場合や骨材そのものの採掘量が少ない場合には、他の地域から骨材を運搬し、使用されるケースもある。したがって、より詳細な検討は必要であるものの、抑制対策以降に発生したASR においては、骨材の反応性の判定に起因するものも少なくはないものと推察される。



図－3.3.1 ASRの発生原因

4. ASR 診断技術に関する認識

本委員会で開催したアンケートの「ASR に関連する詳細な維持管理技術について」の集計結果に基づき、維持管理技術、特に ASR 診断技術について分析を行った。

4. 1 ASR 診断に関する認識調査

図-4.1.1 に外観観察によるコンクリート構造物における ASR 劣化の判定に関する認識、図-4.1.2 に示す ASR が生じた主原因の特定に関する認識に関する回答集計結果を示す。図より、経験の少ない回答者では、外観観察による判定、ASR の原因の特定についていずれも「多くは困難」という回答が半数を占めている。一方、経験数が多い回答者の場合、外観観察による ASR 判定について「比較的容易」という回答が 70%程度であったのに対して、ASR の主原因の特定については「多くは困難」という回答が半数程度となった。すなわち、外観観察によるコンクリート構造物の ASR 劣化の可能性については比較的容易と感じる経験を積んだ技術者であっても、ASR の原因を特定することは困難と感じていることが分かる。ただし、本アンケートでは、「ASR を生じた主原因」について明確な定義を示していなかったため、回答者によって「ASR を生じた主原因」に対する認識が異なることも考えられた。

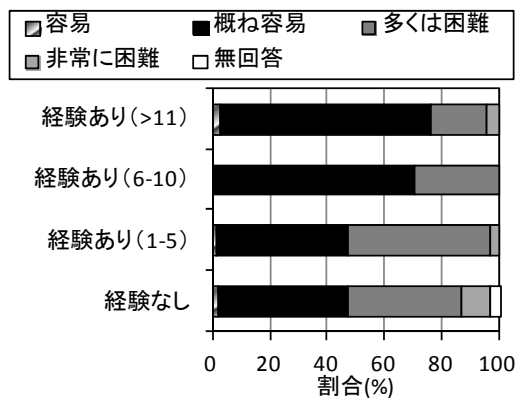


図-4.1.1 外観観察による ASR 劣化の判定に関する認識

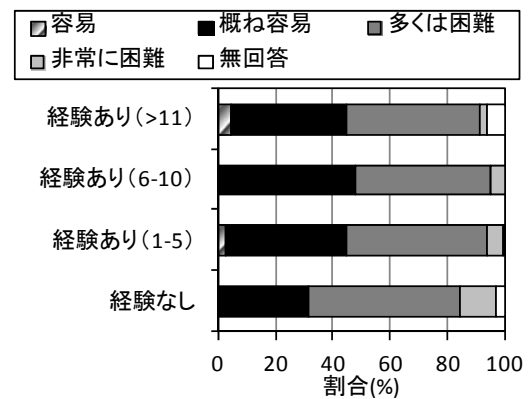


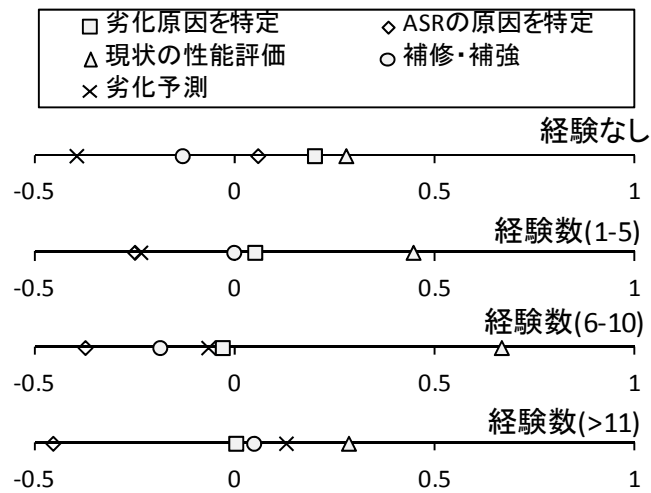
図-4.1.2 ASR の発生原因の特定に関する認識

4. 2 ASR 診断の重要性に対する認識

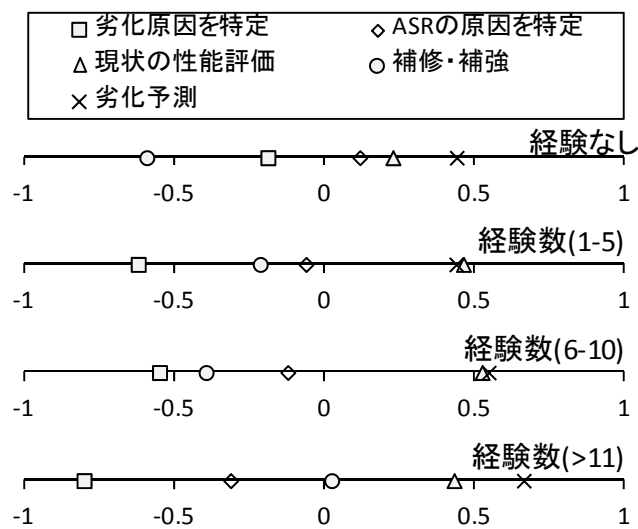
ASR に関連する維持管理技術における ASR 診断の位置付けおよび重要性に対する認識を調査した。図-4.2.1 にそれぞれの経験数における、今後優先的に検討をすすめるべきと考えられる技術分野の優先順位に対する認識調査結果を示す。調査結果は Thurston の一対比較法 [1] を用いて、維持管理関連技術 5 項目の優先順位の尺度化を行った。図の解釈法として、正の値が大きい技術ほど優先度が高いと認識されている。図より、最も優先度が高い技術はいずれの経験数の回答者においても「現状の性能評価」であった。一方、いずれの経験数の回答者においても、「劣化原因を特定」する技術、「ASR の原因を特定」する技術について優先順位は低いと認識されている。これは、多くの回答者が構造物の ASR の可能性は目視により概ね判定できること、また構造物を維持管理する上では ASR が生じた原因を追及することは必要でないと考えているためと解釈できる。

図-4.2.2 に各技術の技術開発の困難さに対する認識調査結果を示す。図より、多くの回答者が「現状の性能評価技術」、「劣化予測技術」が困難で、「劣化原因の特定技術」は比較的容易であると認識している。また、「ASR の原因特定技術」については、経験数が多いほど容易であると認識している。

現状の性能評価技術や劣化予測技術の技術開発について優先度が高いと考えている一方で困難であると認識していることは、ASR が生じた構造物の維持管理が複雑で難しいという現状を裏付けているといえる。



図一4.2.1 優先的に検討をすすめるべき技術に対する優先順位の認識



図一4.2.2 技術開発の困難さに対する認識

4. 3 ASR 診断に関する各調査技術の概要と課題

まず、ASR 診断に関連する各調査技術の適用範囲を明確にするため、委員会内にて各調査技術の適用範囲と適用する上での留意事項について議論し、整理することとした。以下に、各調査項目における概要と調査手法または調査結果の解釈に対する留意事項について記載する。なお、以下の留意事項については学術的・技術的な観点から整理したものであって、調査を行う上での費用や期間といった観点は含んでいない。

(1) 周辺構造物における ASR 劣化の有無の調査

構造物が ASR と疑われる場合、周辺構造物における ASR 劣化の有無を調査することは当該地域における反応性骨材の流通状況や過去の劣化の有無から ASR による劣化の可能性を検討する上で非常に重要である。ひび割れのパターン等により ASR による劣化の可能性を推測することができる。ただし、プレキャスト (PCa) 構造物などは流通経路等が明確でない場合もあり、必ずしも当該地域の劣化状況と対応しているとは限らない。また、周辺構造物において ASR を生じた構造物があることを、単純に当該構造物の劣化が ASR によるものと断定する理由にすることはできない。これらの点に留意する必要があるが、スクリーニングとして重要な調査項目である。

(2) コンクリートから取りだした骨材のアルカリシリカ反応性 (化学法)

ASR による劣化が疑われたコンクリート構造物から骨材を採取した場合、骨材にセメントペーストが付着している。この付着ペーストが化学法の結果に影響を及ぼすため、一般的な化学法の結果を用いることはできない。また、本試験によって「無害でない」と判定されても、コンクリート中で必ずしも反応しているとは限らない。よって、採取した骨材が「無害でない」と判定されたことが構造物の劣化に直接的に関係するわけではない。既往の研究においても述べられている通り、化学法は一般的な火山岩およびチャートの反応性を評価する上で概ね有効と考えられているが、分級過程において高反応性骨材を失うことで骨材の反応性を誤って判断する場合があることや隠微晶質石英に起因する遅延膨張性骨材を検出できないことを問題点として有している。このように、現行の試験法自体の問題や診断材料としての課題が多く、当該コンクリートから採取した骨材について化学法を行うことは適当ではない。

(3) コンクリートから取りだした骨材のアルカリシリカ反応性 (モルタルバー法)

モルタルバー法についても化学法と同様、サンプリング等に関する問題点を有する。また、ペシマムを生じる骨材や遅延膨張性骨材を検出できないという試験法自体の問題点も有している。また、実際のコンクリートと異なる配合で検討を行っているため、モルタルバー法において「無害でない」と判定されたとしても、当該構造物の劣化原因を ASR と断定することはできない。

(4) 促進環境下での膨張量測定 (JCI-DD2)

JCI-DD2 はコンクリートの残存膨張量試験として我が国において唯一規定されている試験法である。この試験はモルタルバー法と同様の環境において膨張を促進する試験方法である。コンクリートの膨張挙動を直接測定するという点では、上述したモルタルバー法よりも実構造物に近い挙動を生じると推測できる。一方、JCI-DD2 は結露等により生じたコンクリート表面の水滴等を介してアルカリが溶脱し、実際の構造物の膨張よりも早期に膨張が収束することが知られている。また、試験装置によっては湿度が十分に確保できないものもあり、試験方法による誤差も大きい。構造物の暴露環境によっては外部からアルカリが供給されるが、本試験法は外部からのアルカリ供給を考慮することはできない。本試験において膨張が生じた場合には ASR の可能性を疑うこと

ができるが、類似の膨張現象も存在するため、必ずしも ASR による劣化と断定することはできない。また、本試験において膨張が生じないことが ASR による劣化はないと考えることはできない。

(5) 促進環境下での膨張量測定（デンマーク法）

デンマーク法はコアを飽和 NaCl 水溶液に浸漬する試験方法であり、湿度の確保という観点で JCI-DD2 よりも試験方法が容易である。デンマーク法では、Na イオンが浸透するとともに外部から浸透する Cl イオンがコンクリート中のセメント水和物であるモノサルフェート相とイオン交換反応を起こすことにより OH イオンが放出され、空隙水中のアルカリ濃度が高まる [2]。これによりある種の反応性鉱物を有する骨材は大きな膨張量を示す。外部からアルカリが供給されるため、コアの径によって膨張挙動が異なる（径が大きいほど膨張は小さくなる）点に留意する必要がある。隠微晶質石英を含む遅延膨張性骨材の検出は困難な場合が多い [3]。また、本試験によって膨張挙動を示したとしても、デンマーク法において反応した骨材全てが実構造物において必ずしも反応しているとは限らない。よって、本試験において膨張が生じた場合には ASR の可能性を疑うことができるが、類似の膨張現象も存在するため、必ずしも ASR による劣化と断定することはできない。また、上述した遅延膨張性骨材のように、本試験において膨張が生じないことが ASR による劣化はないと考えることはできない。

(6) 促進環境下での膨張量測定（カナダ法）

カナダ法はコアを 1mol/l の NaOH 水溶液に浸漬する試験方法である。本試験もデンマーク法と同様の特徴を有しているが、空隙水のアルカリ濃度はデンマーク法の場合のそれよりも相当に高い。よって、実構造物のコンクリート中において反応を生じていない骨材であってもカナダ法において膨張を示す場合がある。また、チャートが骨材として使用されている場合には、骨材が溶解し、膨張を生じない。カナダ法もデンマーク法と同様、コア径により膨張量や浸漬期間により膨張量が異なる。Katayama らによると、 $\phi 50\text{mm} \times \text{L}130\text{mm}$ のコアを用いて、浸漬材齢 21 日における膨張量 0.1% が判断基準になるとしている [4, 5]。異なる寸法のコアを用いた場合、判定基準の妥当性を再検討する必要がある。

(7) SEM 観察による ASR ゲルの存在の確認

ASR が疑われる構造物から採取したコアについて、SEM 観察により ASR ゲルを確認することは、ASR が生じていることを直接判断できると考える技術者が多いようである。ASR ゲルの存在を確認することは非常に重要であるが、その観察方法はいくつかある。例えば、SEM で ASR ゲルの存在を確認する作業は比較的容易なため、コアの破断面等で観察する観察例が多々認められる。しかしながら、SEM により破断面に ASR ゲルが存在することを確認したとしても、これがコンクリートの損傷と関連があるかは分からない。コンクリートの損傷の原因が ASR であることを検証するためには、破断面における ASR ゲルの存在の確認では不十分である。また、多くの事例では、コアを詳細に観察すれば ASR ゲルを目視や実体顕微鏡等でも観察することが可能である。この時には、SEM で ASR ゲルを観察することは十分に意味をもたない。ASR 診断では、ASR ゲルの存在を確認する上で重要な点は、反応性骨材から生じたひび割れに ASR ゲルが存在していることを確認することである [6]。

(8) SEM, EPMA による ASR ゲルの組成の分布分析

SEM による ASR ゲルの存在の確認と同様に、ASR ゲルの組成分析も重要な調査項目ではあるが、その分析方法や分析箇所によって分析値が大きく変化するため、適切な方法により分析を行

う必要がある。SEM を用いて破断面の ASR ゲルを観察し、その組成分析を行っている事例が多々認められるが、骨材からセメントペーストに流出した ASR ゲルは周辺のセメントペースト等との作用により組成が変化する。このような現象を理解した上で分析箇所を決定する必要がある。研磨薄片を用いて ASR ゲルの存在とひび割れの関係を偏光顕微鏡にて観察した上で SEM、EPMA による組成の分布分析を行うことは非常に有益な情報を与える [4, 7]。

(9) 構造物表面から採取した ASR ゲルの湿式分析による確認

上述した通り、ASR ゲルの組成は発生箇所から流出するにしたがって変化する。また、ひび割れを介してエフロレッセンスが発生し、ASR を生じた構造物表面には白色物質が認められる場合がある。構造物表面からこの白色物質を採取し分析を行ったとしても、ASR ゲルを同定することは難しい。

(10) 酢酸ウラニル蛍光法を用いた ASR ゲルの確認

酢酸ウラニル蛍光法は、コンクリートに酢酸ウラニル吸着させた後に紫外線を当て、蛍光を発する箇所に評価する手法である。一般には蛍光を示した箇所に ASR ゲルが存在している可能性を疑うことができる。本手法の一番の問題点は、酢酸ウラニル自身が国際規制物質であり、容易に使用できないことである。また、本手法の技術的問題は、フライアッシュやシリカフェーム、スラグやボゾランも蛍光を発する点である。これらの材料の蛍光発光によりペースト部の蛍光強度が大きくなる。ASTM 規格では、これらの粉体が十分に分散していれば、粗骨材や細骨材から生じた ASR ゲルとの区別が一般的にはできると記載されている。ただし、十分に分散していなければ ASR ゲルとの区別が困難である。特に、細骨材の ASR ゲルの同定が難しいことが予想される。また、二次的に生成したエトリンサイト、オパールを伴う骨材等も蛍光を示す。よって、蛍光色を示した物質が ASR ゲルとは必ずしも判定できない。ASTM 規格にも記載されているように、酢酸ウラニル蛍光法によって同定した ASR ゲルの存在は偏光顕微鏡観察のような岩石学的手法を用いて確認しなければならない。

(11) XRD による骨材中の反応性鉱物の同定

粉末 X 線回折分析 (XRD) は結晶性鉱物の同定に有用な分析手法であり、多くの技術者が XRD による反応性鉱物の同定を試みる場合が多い。しかしながら、XRD は火山岩に含まれることの多いクリストバライトやトリディマイトのような反応性鉱物の同定が容易ではあるものの、隠微晶質石英やカルセドニーなどを同定するためには偏光顕微鏡観察を必要とする。また、XRD でクリストバライト等を同定したとしても、それが実際に反応しているかどうかを知ることは難しい。よって、ASR 診断における XRD の役割は偏光顕微鏡観察の補助という点を認識しなければならない。

(12) コンクリートの静弾性係数の測定

ASR を生じたコンクリートの静弾性係数は圧縮強度よりも顕著に低下することが知られている [8]。よって、圧縮強度と静弾性係数の関係を評価することで ASR の可能性を疑うことができるが、静弾性係数の低下は ASR 以外の要因によっても生じ得る。よって、静弾性係数の低下のみをもって ASR によるものか明確にすることはできない。

(13) コア側面等における観察 (骨材種類・ひび割れやゲルの有無等)

採取したコアを詳細に観察することは非常に重要である。コアを観察することで、骨材種類やひび割れの有無、ASR ゲルの有無を評価することができる。多くのコンクリートでは、コアを観

察することで ASR 発生の可能性を疑うことができる。本調査項目はコンクリート薄片の観察等を行う前段階として行うべきものであり、これを行うことで効率的な観察・分析が可能となる。また、採取直後のコンクリートコアをラップ等で封緘しておき、ある程度時間をおいて観察すると、ASR ゲルを観察できる場合もある。

(14) コンクリート研磨薄片を用いた偏光顕微鏡観察（反応性鉱物の種類・含有量、反応状況等）

コンクリート研磨薄片では反応性鉱物の種類や含有量を評価することが可能であり、その反応性骨材からのひび割れの発生・進展や ASR ゲルの発生の有無等を直接的に観察することができる[5, 9]。これにより、コンクリート中においてどの反応性鉱物が実際に反応を生じ、ASR ゲルを発生し、膨張・ひび割れに至ったかを判断することができる。また、必要な場合には、コンクリート薄片について SEM-EDS, EPMA 等で分析することで、ASR ゲルの組成等、詳細な情報を得ることができ、今後の ASR の進行の可能性を評価することができる。ただし、偏光顕微鏡観察を行う上では岩石学等の知識を有していなければならない、また岩石学の専門家であっても ASR の作用機構を十分に理解していないと適切な診断ができない場合もある。よって、観察を行う技術者の力量によって結果が左右する可能性がある点に留意する必要がある。

(15) コンクリートのアルカリ量測定

コンクリート中のアルカリ量測定を行うことでコンクリート中に含まれるアルカリ量を推定することができる。アルカリ量の推定手法として総プロ法が挙げられるが、総プロ法から得られるアルカリ量には骨材や外部環境から供給されたアルカリも含まれる点に注意する必要がある。よって、コンクリートの施工時のアルカリ量を推定することは難しい。また、近年では EPMA 分析により未水和セメント中のアルカリ量を測定し、当時のセメントの最小アルカリ量を計算し[4, 7]、また別途骨材のアルカリ量測定等から、コンクリート中に初期から含まれていたアルカリ量、骨材から供給されたアルカリ量、外部環境から供給されたアルカリ量を分類する手法が Katayama により提案されている[5]。一方、モルタルやコンクリート中のアルカリが外部に溶出することも指摘されている[10]。本調査項目では直接的にコンクリートの劣化原因としての ASR を判断することができないものの、その他の調査項目も含めて本調査を行うことで、コンクリートが ASR を生じた原因についての総合的な解釈を行う上で必要な情報を与えることができる。

4. 4 ASR 診断に関する調査技術に関する認識

実務にて行われる ASR 診断業務の実態を調査するため、各種調査項目に対する認識および実施経験について調査した。各種調査項目に対して、表-4.4.1 に有用性の認識調査、表-4.4.2 に実施経験についての調査の回答集計結果を示す。なお、経験を有していない回答者については各調査項目の有用性や実施経験について「全く知らない」という回答が多くを占めたため、表中に掲載していない。また、各調査項目のうち最も割合の大きな回答欄に色付けを行っている。以下に回答集計結果に対する結果と考察を示す。

4. 4. 1 各調査技術に対する認識と実施経験に関するアンケート結果

(1) 周辺構造物における ASR 劣化の有無の調査

いずれの経験数においても、周辺構造物の調査の有用性を認識しており、また実施経験も多か

った。特に、経験数が多いほど本調査の有用性を認識しているとの結果が得られた。

(2) コンクリートから取りだした骨材のアルカリシリカ反応性（化学法、モルタルバー法）

化学法では、回答者の経験数が多いほど有用性が低いと認識し、また実施経験も少なかった。一方、モルタルバー法では、経験数が多いほど「場合によっては有用」もしくは「有用」と認識しており、これらの回答が半数以上であった。

(3) 促進環境下での膨張量測定（JCI-DD2、デンマーク法、カナダ法）

JCI-DD2 では、経験数が多いほど「場合によっては有用」もしくは「有用」と認識しており、これらの回答が半数以上であった。デンマーク法やカナダ法も経験数が多いほど「場合によっては有用」もしくは「有用」と認識している回答が多かったものの、有用性の認識は JCI-DD2 よりも低かった。また、JCI-DD2 については、実施経験においても、半数以上が「場合により実施」もしくは「実施」の回答であった。デンマーク法およびカナダ法は「場合により実施」という回答が多かった。

(4) SEM, EPMA による ASR ゲルの存在の確認、ゲルの組成の分布分析

SEM, EPMA による ASR ゲルの存在の確認や組成分析について、いずれの経験数においても「有用」との回答が最も多く、経験数が多いほどその割合は増加する傾向を示した。一方、実施経験については、いずれの経験数においても「場合により実施」が最も多い傾向が認められた。

(5) XRD による骨材中の反応性鉱物の同定

XRD による反応性鉱物の同定に対して有用との認識する技術者の割合は、経験数が多いほど増加する傾向が認められた。しかしながら、XRD の実施経験は「場合により実施」や「実施しない」との回答が多く、有用性に関する認識と実施経験の傾向が異なった。

(6) コンクリートの静弾性係数の測定

静弾性係数の測定では、経験数が多いほど「有用」との認識を示す技術者の割合が多く、また実際に実施経験をもつ技術者が多かった。

(7) コア側面等における観察（骨材種類・ひび割れやゲルの有無等）

「コア側面等における観察」は、経験数に関係なく、全ての調査項目の中で最も有用であると認識されており、経験数が多いほどその認識度は高まった。

(8) コンクリート薄片を用いた偏光顕微鏡観察（反応性鉱物の種類・含有量、反応状況等）

コンクリート薄片を用いた偏光顕微鏡観察では、いずれの経験数においても「有用な場合が多い」もしくは「有用」が最も多く、これらの回答が半数以上であった。また、経験数が多いほど偏光顕微鏡観察を有用と認識する割合が増加する傾向が認められた。一方、実施経験としては、いずれの経験数においても「場合によって実施する」との回答が最も多かった。

(9) コンクリートのアルカリ量測定

コンクリートのアルカリ量推定に対する技術者の認識は、経験数によらず「有用な場合がある」であった。実施経験においても、有用性の認識に対応して「場合により実施する」との回答が最も多かった。

4. 4. 2 調査技術への認識および実施に関する考察

表-4.4.1 の各調査項目に対する有用性の認識の回答のうち、「有用」を1点、「場合によって有用」を0点、「有用でない」を-1点とし、各調査項目に対する有用性を数値化することとした。また、表-4.4.2 の各調査項目に対する実施経験の回答も同様に、「実施」を1点、「場合によっ

て実施」を 0 点,「実施しない」を-1 点とし,各調査項目に対する実施経験を数値化した。これらの数値を用いて技術者の各調査項目への有用性の認識と実施経験の関係について検討した。

図-4.4.1 に異なる経験数の回答者の各調査項目への有用性の認識と実施経験の関係を示す。全体傾向として,実施経験に関しては,調査項目によって差があり経験数によらず-0.8~0.8 程度の範囲にあった。一方,有用性に対する認識は経験数が少ない技術者の間では調査項目による違いが明確でなく,経験数が多いほど各調査項目に対する認識の差異が生じてくる傾向を示した。

また,それぞれの調査項目の分類として,大きく 4 つのグループに区分できる。1 つ目は,経験数に関わらず,有用と認識され,かつ実施されている調査項目であり,これらは「周辺構造物調査」,「JCI-DD2」,「静弾性係数」,「コア観察」の 4 項目であった。特に「コア観察」については,経験数が多いほど有用性を認識している。これは,経験数が多い技術者であるほどコア側面の観察から有益な情報を多く得ることができるためと考えられる。

2 つ目は経験数によらず比較的有用とは認識されているものの,実施経験の値としては 0 に近く,場合により実施を行っていると考えられる調査項目であり,これらは「デンマーク法」,「カナダ法」,「SEM による ASR ゲル観察」,「ASR ゲルの組成分析」,「XRD」,「コンクリート薄片」,「アルカリ量測定」の 7 項目であった。このうち,「デンマーク法」「ASR ゲルの組成分析」,「XRD」はいずれの経験数においても縦軸がマイナスとなっており,場合によって実施する割合が少ないものと判断される。

3 つ目は,経験数によらず有用性の値が 0 に近く,かつ実施されていない調査項目であり,これらは「構造物表面のゲル分析」と「酢酸ウラニル蛍光法」であった。これらの調査項目は様々な課題があるため,実施が難しいのが原因の一つとして挙げられる。

4 つ目は経験数によって有用性に対する認識,また実施経験が変化する調査項目であり,これらは「化学法」と「モルタルバー法」であった。特に,経験数が 11 以上と多い回答では「化学法」と「モルタルバー法」について有用ではなく,また実施しないという結果となっている。4.3 (2) および (3) に記載した通り,化学法およびモルタルバー法は構造物の調査として適用するには課題がある。経験数が少ない技術者は化学法,モルタルバー法の適用範囲を十分に認知しないまま,誤って JIS 規格である化学法やモルタルバー法の判定規準を採用しているおそれもある。よって,今後はこれらの試験の技術的課題に対する認識を普及させる必要がある。

表-4.4.1 各種調査技術の有効性に対する認識（単位：％）

0：全く知らない，1：聞いたことがある，2：有用でない，3：有用な場合がある，4：有用

	経験あり（1-5）					経験あり（6-10）					経験あり（>11）				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
周辺構造物における ASR 劣化の有無の調査	8	12	5	40	34	3	5	8	38	45	4	0	4	40	49
コンクリートから取り出した骨材のアルカリシリカ反応性（化学法）	4	17	9	42	28	3	3	18	48	30	0	0	38	44	16
コンクリートから取り出した骨材のアルカリシリカ反応性（モルタルバー法）	5	17	6	42	28	3	5	15	45	33	0	0	27	56	16
促進環境下での膨張量測定（JCI-DD2）	11	16	2	37	32	3	3	5	48	43	0	0	9	38	51
促進環境下での膨張量測定（デンマーク法）	14	29	3	35	17	3	13	10	43	30	0	4	9	60	24
促進環境下での膨張量測定（カナダ法）	14	22	2	34	27	3	15	15	48	20	0	0	11	51	36
SEM 観察による ASR ゲルの存在の確認	8	16	2	27	45	0	8	13	28	53	0	0	13	24	58
SEM, EPMA による ASR ゲルの組成の分布分析	19	17	4	24	35	3	18	15	23	43	0	4	18	22	51
構造物表面から採取した ASR ゲルの湿式分析による確認	49	27	2	15	5	33	38	8	18	5	20	27	13	22	16
酢酸ウラニル蛍光法を用いた ASR ゲルの確認	39	29	4	18	8	13	40	8	25	13	4	24	24	24	16
XRD による骨材中の反応性鉱物の同定	27	31	1	24	17	5	23	13	30	30	0	9	11	33	44
コンクリートの静弾性係数の測定	12	15	11	32	29	0	3	10	48	40	0	4	13	33	47
コア側面等における観察（骨材種類・ひび割れやゲルの有無等）	3	9	5	36	46	0	0	3	35	63	0	0	0	29	69
コンクリート薄片を用いた偏光顕微鏡観察（反応性鉱物の種類・含有量，反応状況等）	16	17	3	34	30	3	10	10	35	43	0	2	7	33	56
コンクリートのアルカリ量測定	5	14	8	46	26	0	13	10	60	18	0	2	16	53	27

表-4.4.2 各種調査技術に対する実施経験（単位：％）

0：全く知らない，1：回答項目無し，2：実施しない，3：場合により実施する，4：実施する

	経験あり（1-5）					経験あり（6-10）					経験あり（>11）				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
周辺構造物における ASR 劣化の有無の調査	12	-	10	37	38	5	-	10	30	55	4	-	11	40	42
コンクリートから取り出した骨材のアルカリシリカ反応性（化学法）	9	-	30	32	26	3	-	25	43	28	0	-	49	40	7
コンクリートから取り出した骨材のアルカリシリカ反応性（モルタルバー法）	10	-	36	30	21	3	-	38	40	18	0	-	62	29	4
促進環境下での膨張量測定（JCI-DD2）	19	-	11	35	30	0	-	8	35	53	0	-	9	40	49
促進環境下での膨張量測定（デンマーク法）	23	-	34	30	8	5	-	40	28	23	0	-	40	44	13
促進環境下での膨張量測定（カナダ法）	22	-	24	28	24	5	-	20	50	20	0	-	22	53	22
SEM 観察による ASR ゲルの存在の確認	19	-	20	33	26	3	-	28	50	15	0	-	13	44	40
SEM, EPMA による ASR ゲルの組成の分布分析	26	-	24	34	12	3	-	50	28	18	0	-	29	49	20
構造物表面から採取した ASR ゲルの湿式分析による確認	53	-	29	12	2	33	-	50	13	0	16	-	56	18	9
酢酸ウラニル蛍光法を用いた ASR ゲルの確認	41	-	41	13	1	15	-	50	30	0	4	-	69	16	7
XRD による骨材中の反応性鉱物の同定	32	-	28	29	8	5	-	40	38	15	0	-	36	36	27
コンクリートの静弾性係数の測定	17	-	14	31	35	0	-	8	38	53	0	-	9	22	67
コア側面等における観察（骨材種類・ひび割れやゲルの有無等）	10	-	5	19	63	0	-	0	23	75	0	-	4	13	80
コンクリート薄片を用いた偏光顕微鏡観察（反応性鉱物の種類・含有量，反応状況等）	21	-	21	34	21	3	-	20	55	20	0	-	27	40	31
コンクリートのアルカリ量測定	12	-	25	34	27	0	-	40	40	15	0	-	24	47	24

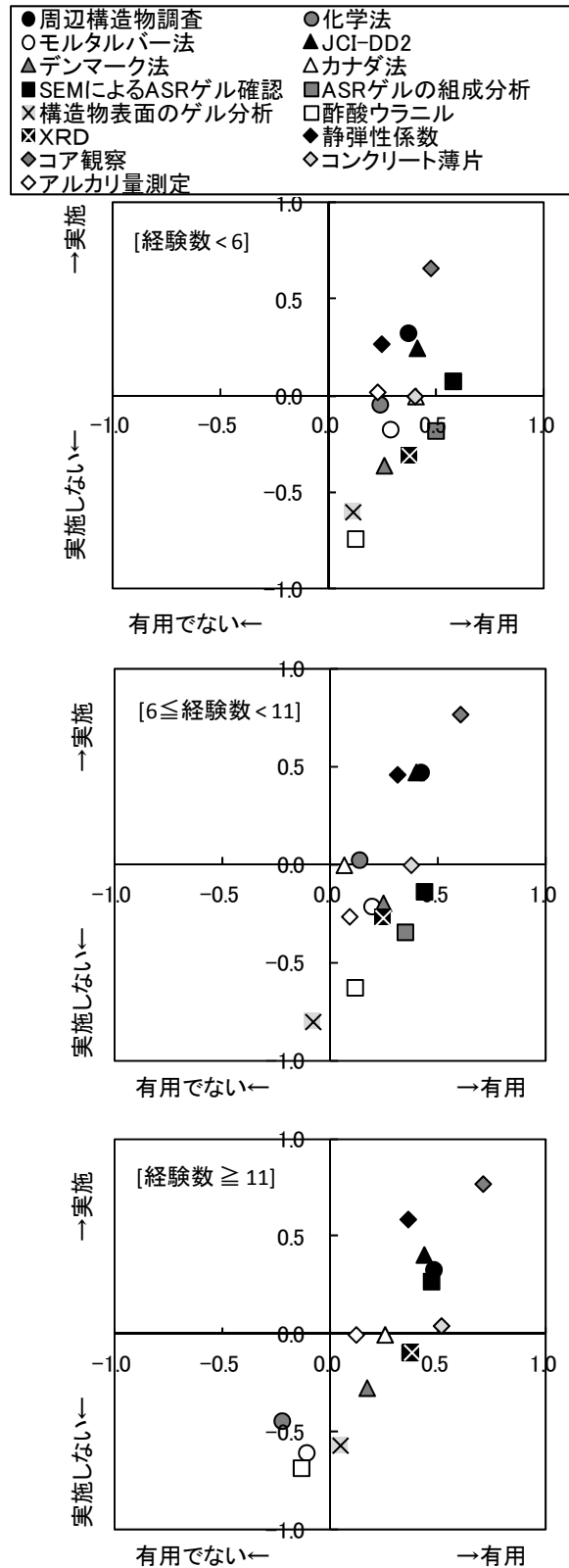


図-4.4.1 有用性の認識と実施経験の関係

4. 5 ASR 診断に関する調査技術に関する自由意見

アンケートでは、ASR 診断に関する調査技術に関して、自由意見をいただいた。表－4.5.1 に代表的な自由意見の一覧を示す。自由意見として、簡単に診断ができる調査技術を要望するものが多かった。また、基準等がないために調査項目の選定や結果の解釈等に苦慮しているとの意見も多く見受けられた。そのため、多くの診断事例の公開を要望する意見もあった。一方、微小領域の調査を行うことでマクロな構造物全体の性能評価をどのように行うのか、またどこまで診断に費用をかけるのか、といった点に問題を感じている技術者も多かった。

維持管理全般に関連する自由意見として、ASR の原因解明のための ASR 診断だけでなく、構造物の性能評価技術が必要という意見があった。また、補修後の再劣化の経験を有する技術者からは補修・補強工法の確立を要望する意見もあった。このような劣化や再劣化の事例を公開することで情報を共有化すべきとの意見もあり、そのためのデータベースの構築を提案する意見もあった。ASR は地域性の影響を強く受けるため、地域によっては ASR が無いと考えられても、骨材の運搬等の様々な要因により実際にはその地域にも劣化事例が存在する場合もある。このような状況を技術者に周知することも必要という意見も寄せられた。

表－4.5.1 維持管理等に関する自由意見

診断技術について	簡単に診断ができる調査技術の確立が必要。
	調査項目の選定方法がよく分からない。
	統一的な基準がないため、診断フローのマニュアル化が必要。
	微小領域の判定結果をマクロな構造物の判定とする際に問題を感じる。
	試験を行わないと原因の判断ができないが、かといって試験を行っても原因が特定できるとも限らないため、診断に費用をかけるかどうかの根本的なジレンマがある。診断に関する根本的なジレンマがあるので、このフローの中には、お金をかけて診断を行う価値があるかどうかの判断が必要だと考える。
	ASR に関連する調査項目は相当な専門性が必要と感じられ、調査期間に時間を費やし、費用も高額になる。得られた結果の解釈にも苦慮する。
	多くの診断事例を公開してほしい。
	構造物の重要度に応じた診断が必要ではないか。
維持管理について	自分の地域には ASR が無いと信じている技術者が多数いるので、意識改革も必要。
	ASR を生じた構造物の耐荷性が不明瞭。今後、補修・補強工法の確立も必要。
	データベース化し、共有化することが必要。損傷事例を開示すべき。
	ASR が発生するのは仕方ないので、事後的に対応してもよいのではないかと。予防保全には違和感がある。
	構造物の性能評価技術の確立が必要。
	予算の制約を考えると、詳細調査を行うよりも他構造物の補修等に活用したい。

【参考文献】

- [1] 君山由良：一対比較法のモデル，統計解説書シリーズ C-05，データ分析研究所，2010
- [2] 川端雄一郎，山田一夫，松下博通：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
- [3] 西政好，池田隆徳，佐川康貴，林建佑：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
- [4] T. Katayama et al.: Late-expansive alkali-silica reaction in the Ohnyu and Furikusa headwork structures, Central Japan, Proceeding of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, pp.1086-1094, 2004
- [5] T. Katayama et al.: Alkali-aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan, Materials Characterization, Vol.53, pp.105-122, 2004
- [6] 日本コンクリート工学協会：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，pp. 215-218，2008
- [7] Katayama,T., Oshiro,T., Sarai,Y., Zaha, K., and Yamato,T.: Late-expansive ASR due to imported sand and local aggregates in Okinawa Island, southwestern Japan, Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim, Norway, pp. 862-873, 2008
- [8] 小林一輔，森弥広，野村謙二：圧縮載荷試験によるアルカリ骨材反応の診断方法，土木学会論文集，No.460/V-18, pp.151-154，1993
- [9] T. Katayama: The so-called alkali-carbonate reaction (ACR) – Its mineralogical and geochemical details, with special reference to ASR, Cement and Concrete Research, Vol. 40, pp. 643-675, 2010
- [10] P. Rivard et al.: Alkali mass balance during the accelerated concrete prism test for alkali aggregate reactivity, Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp.1147-1153, 2003

[担当 川端雄一郎]

5. 今後の活動

5. 1 アンケート結果を踏まえた研究委員会での議論

今回行ったアンケートの回答を踏まえて、本研究委員会では ASR 診断のあるべき姿や現状について議論を行った。以下に、その概要を示す。

- ・ ASR 診断において岩石学的検討が重要であることはわかる。しかしながら、現実の技術者は、構造物の現状評価を求めている。岩石学的検討が原因追究にしか使えないのであれば、技術者も採用しづらいのではないか。
- ・ 岩石学的検討を行うことで急速膨張性か遅延膨張性の区別はできる。これにより、今後どのような維持管理が必要かを考えることもできるのではないか。逆に、急速膨張性か遅延膨張性の区別を行わない限りは今後の膨張挙動の推測もできないので、補修の工法や時期を誤る可能性もある。
- ・ 東北地方では、凍害を主原因とする変状で ASR が副次的に発生している状況が確認されてきた。想像以上に ASR の影響があるようだ。特に、凍結防止剤の影響が大きいのではないか。
- ・ ひび割れ等の外観観察で診断する場合、寒冷地では凍害との区別が難しい。凍害も ASR も決定的な証拠をみつけるのが難しいため、診断を誤る場合もあり得る。
- ・ 調査技術のうち、JCI-DD2 に代表される 40℃、R.H.95%以上の促進膨張試験が多く採用されている。この方法は構造物の管理者等が判定基準を設けている事例もあり、結果が必ずしも将来の膨張予測を表さないとしても、構造物における ASR の判定根拠とし易いのではないか。
- ・ 実務では ASR 診断に関わる依頼があった時点で、「原因は ASR であり、ASR であることを示唆するデータがほしい」と説明されることもあり、本末転倒した場合も少なくない。
- ・ 一部では、カナダ法で「有害」と判定されれば ASR と判定する機関もあると聞いている。
- ・ 場合によっては、SEM 観察で少量でも ASR ゲルを検出するよう依頼がある。
- ・ 岩石学的評価を提案するが、なかなか予算がつかないのが現状である。
- ・ 診断を行う技術者が古い教科書を参考にしており、最近の ASR に関連する問題が十分に認知されていないかもしれない。
- ・ そもそも市町村レベルでは骨材の反応性を意識していない場合が多い。
- ・ アンケートの結果で、「竣工年代が古い」という理由以外の ASR が発生した原因として「骨材の反応性が適切に判定できていなかった」という意見が多い。骨材の反応性を適切に判定できるようになれば、多くの技術者が満足するのではないか。
- ・ 細かな鉱物組成まで求めなくても火山岩、堆積岩といった程度でも急速膨張、遅延膨張の区別には有用ではないか。それだけで骨材の試験方法を分類することもできるのではないか。→実務では試験法がありきで依頼がくるため、岩種に応じた試験法の提案を行うことは無い。
- ・ 骨材の試験方法を変更することを提案したとして、コストアップ以上のメリットを明確に打ち出せないと、難しい。
- ・ 反応性骨材の排除をまずは提案すべきではという議論もあるが、地産地消を考えると排除

は望ましくない。一般構造物では、その地域で活用することを前提にしている。ただし、重要構造物の場合には、そのような選択肢があってもよいかもしれない。いくつか選択肢がある中で、どれを選択するのは発注者に委ねられるべきである。

- ・ アンケートではライフサイクルコストで考えるべき、という意見も多数寄せられている。ただし、どのようにライフサイクルコストの最小化を考えればよいのかは疑問が残る。
- ・ ASR でどこまで対策を取るのかはコストとリスクの関係と思われる。重要構造物ではコストをかけてでもリスクを低減しなければならない部材もあると思われる。
- ・ ASR 診断が維持管理の中でどのような役割を果たせるのかを明確にする必要がある。

5. 2 本研究委員会活動の方向性

5. 2. 1 診断技術、診断フローに関して

今回のアンケート結果から、現場技術者の多くが ASR 劣化を生じた構造物の診断に苦慮していることが改めて分かった。このため、多くの回答から安価で簡易な診断技術を求める意見が多く寄せられた。特に、ASR に関連する調査項目は専門性が高く、また高額な費用と長い試験期間が求められると感じている技術者も多数存在した。現時点において、それぞれの診断技術はメリットとデメリットがあり、精度も異なる。これらが明確でないため、高額な費用で多くの調査項目を行ったとしても、場合によっては有用な資料とならない場合もあると想定できる。よって、まずはどのような場合に各調査技術が適用可能か、またその精度はどの程度かを明確にする必要があるといえる。精度については、明確な数値化が難しいため、定性的な状態から始めることとする。また、コストと目的に応じた診断技術の組合せ方法やその精度など、事例紹介も含めた実務的な診断フローの作成が必要と考える。

一方、高額な費用を要しても詳細な ASR 診断が必要になるケースも存在すると想定される。このようなケースに対応する技術者への情報提供のためには、最新の技術でどの程度の診断が可能か明示することが必要である。よって、研究委員会にて国内外を問わず最新情報を収集し、最新技術で出来る理想的な診断フローも示すことが必要である。

5. 2. 2 ASR に対する新設時の抑制対策、既設構造物の維持管理に関して

今回のアンケートから、現行の ASR 抑制対策は一般には有効であると同時に限界もある、という認識は前身の委員会（JCI-TC062A）の時点から徐々に実務技術者にも浸透しつつあるように見受けられる。ASR 抑制対策に対して、アンケート回答者の半数が「重要構造物には精緻な抑制対策が必要」と考えている。また、「例外的なケースはやむを得ないので、維持管理で対応」という意見も多かった。すなわち、一般構造物では ASR の発生を許容するという考えを多くの技術者が有していると思われる。ただし、構造物においてどの程度の ASR の発生を許容するのが現時点では不明であり、ASR 発生の許容値（限界値）について議論する必要があると思われる。一方、重要構造物にはどの程度精緻な抑制対策が必要なのか、も十分に議論されていない。ASR が発生すると、膨張を完全に抑制することは難しいため、補修を行っても性能を満足できないというリスクが生じる。かといって、精緻な対策とすればするほどコストアップを回避することはできない。しかしながら、新設時の抑制対策に要するコストと ASR の発生リスクの関係が明確になっていないため、定量的な議論ができていない。この点に関して、今後本研究委員会から情報発信を行い、活発に議論を行う必要があると考える。

5. 3 今後の活動方針

上記の議論を踏まえて、次年度以降の2年間において以下の項目について検討を進めることとしたい。

(1) コストとリスクに関するシンポジウムの開催

ASR に関してアンケート調査を行ったが、さらにシンポジウムを開催し、一般市民、官庁、学識経験者、構造物管理者、施工者、材料業者などで、意見を交わしたい。

(2) 最新技術の収集および既存技術の再整理

引き続き、2012 年 5 月に開催される ICAAR(アルカリ骨材反応国際会議)のレビュー等を含め、最新の ASR 診断に関わる技術情報を収集する。また、それぞれの既存技術の適用範囲と得られる結果、解釈方法を解説する。

(3) ASR 診断フローの作成

上記項目を基礎として、ASR 診断フローを作成する。図-1.1.1 に示した RILEM のフローや図-1.1.2 に示した片山委員の提案する理想的なフローを充実させるとともに、技術者の理解に役立つよう解説等を多く盛り込むこととする。また、実務者の目的に応じた、目的別の診断フローもあわせて作成する。活動期間内中に可能であれば、実際に ASR を生じた構造物について、本研究委員会で提案するフローを用いた ASR 診断の実施例を示す。

(4) ASR 抑制対策の検討

ASR により劣化した実構造物の診断事例の収集、海外における ASR 抑制対策のレビュー、を行うことで現行の ASR 抑制対策の適用範囲を整理する。また、現行の抑制対策の適用範囲外の事例に対してどのような診断がなされることが抑制対策へのフィードバックに有効か整理する。これらを総括して、現時点で考え得る構造物の重要度を加味した ASR 抑制対策について検討する。

[担当 川端雄一郎（山田一夫加筆）]