

ゲルステイン法でアルカリ骨材反応を 「簡単・すぐ」に判定

株式会社 M・T 技研 嶋瀬 敬祐

1. はじめに

農業水利施設はこれまでに基幹的施設だけでも、ダムや頭首工、用排水機場が約 7,600 箇所、用排水路等が延長 5 万 km 整備されている。これらの施設は、戦後から高度経済成長期にかけて集中的に整備され、老朽化が一斉に進行している。中長期的な視点に立ち、施設の有効活用や長寿命化を図り、ライフサイクルコストを低減する取組みとして、ストックマネジメントが着実に進められている。

農業水利施設の多くはコンクリート構造物であり、これらの劣化要因を把握・評価することは、施設の長寿命化を検討する上で重要である。しかし、コンクリート構造物の主たる劣化要因の一つであるアルカリ骨材反応については、アルカリシリカ反応性の骨材は、全国に広く分布しているが、農業水利施設での劣化事例の報告は四国や関東、北陸管内の一部となっている¹⁾。また、アルカリ骨材反応の可能性が疑われる場合であっても、既往の試験は専門性が高く、高額であり時間を要することから、詳細調査の実施は必ずしも積極的とはいえない。既設コンクリートに対する抜本的な抑止対策法は未だ確立されていないとはいえ、現実的な方策としては、

少なくともアルカリ骨材反応の可能性を適切に認識しておくことが肝要である。

この課題を解決する技術として、アルカリ骨材反応を「簡単・すぐ」に判定できるゲルステイン法を紹介する。なお本報告では、ゲルステイン法をより有効に活用して頂くために、アルカリ骨材反応のメカニズム、国内の反応性骨材の分布、アルカリ骨材反応の規格等についても述べる。

2. アルカリ骨材反応のメカニズム

アルカリ骨材反応のメカニズムとして、①アルカリ骨材反応、②膨張とペシマム量について、③膨張と拘束とひび割れの卓越の3つについて述べる。

①アルカリ骨材反応とは：コンクリート中のアルカリ性水溶液 (Na^+ , K^+) と骨材中の反応性鉱物（不安定な鉱物）が化学反応を起こし、膨張性のゲルを生成してコンクリートにひび割れ等の劣化を引き起こす現象である。

②膨張とペシマム量について：反応性骨材の量を変化させてコンクリートの膨張量を測定すると、膨張量はある反応性骨材含有量において最大となる。この反応性骨材量をペシマム量と呼ぶ。表 2.1 に反応性骨材量とコンクリートの

表 2.1 反応性骨材量とコンクリートの膨張量の関係 (ペシマム量)²⁾

反応性骨材の量	反応性シリカ量	溶液 pH	ゲルの生成反応	ゲル量	膨張量
少ない	少ない	高い	活発	少ない	小
中程度(ペシマム)	中程度	十分高い	活発	多い	●最大
多い	多い	低い	不活発	少ない	小

膨張量の関係（ペシマム量）を示す。この表から、劣化の程度は、反応骨材の多少だけでなく、反応に消費されるアルカリとのバランスであることがわかる²⁾。

③膨張と拘束とひび割れの卓越：アルカリ骨材反応では、亀甲状のひび割れを生じることが良く知られているが、鉄筋やプレストレスによるある拘束を受けている構造物において、拘束方向に卓越したひび割れが生じる。これは、膨張が拘束の弱い方向に卓越するためである。

これらのメカニズムを踏まえた上で、次の事例における事象について述べる

事例1（写真2.1）：ひび割れ幅1.0mmが全面的に確認されることから、反応性骨材量とアルカリがペシマムであることが推測され、供用年数（50年）と外部からアルカリが供給されない環境にあることを勘案すると、セメント由来の内蔵アルカリは消費されており、反応は概ね収束していると推測される。

事例2（写真2.2）：柱の主筋方向に幅0.9mmのひび割れが確認されるが、その他は軽微である。アルカリ骨材反応規制後の構造物であることから、潜在的な膨張量は大きくないと推測されるものの、将来における膨張量は未反応の骨材量に拠ることとなるため、膨張過程を推測することは難しい。

このように、反応のメカニズムを理解するこ

とで、現場の事象から劣化の背景を推測し易くなり、必要な試験や対策の検討にも役立つと考える。

3. アルカリ骨材反応の分布と「無害」、「無害でない」

我が国でのアルカリ骨材反応性を有する骨材の分布については、2004（平成16）年に（独）土木研究所が調査を実施しており、報告において「無害でない」骨材は全国に広く分布していることが記載されている³⁾。しかし、掲載された結果図³⁾（図3.1に示す）からは、「特定の地域の劣化」と認識されているようである。

また、この調査において示されている「無害」、「無害でない」という反応性骨材の検出は、JIS規格である化学法およびモルタルバー法によって実施される場合がほとんどである。しかし、これらの試験には限界があり、そもそも、骨材のアルカリ反応性は試験により白黒と判定できるものではない。例えば、モルタルバー法では、0.07%の膨張量は「無害」、0.10%の膨張量は「無害でない」と判定されるが、0.07%でも膨張していることには変わりない。

実際に、JR東日本では、JIS規格において「無害」と判定されたコンクリートを使用した構造物にアルカリ骨材反応による劣化が生じた事例を報告している⁴⁾。その後、JR東日本では判



写真 2.1 劣化事例 1

供用 50 年経過、山間部の構造物
全面にひび割れが発生、主なひび割れ
幅 1.0mm 程度



写真 2.2 劣化事例 2

供用 30 年経過、内陸部の構造物
柱に幅 0.9mm の垂直ひび割れが発生、
他のひび割れは幅 0.2mm 程度



図 3.1 骨材のアルカリシリカ反応性試験結果³⁾

表 3.1 モルタルバー法による JR 東日本判定区分⁴⁾

骨材区分	判定規準
「E 有害」 骨材	膨張率が 26 週で 0.10% 以上 (c), 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 (d)
「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 (a) および (b)

定区分 (表 3.1) を変更し, 対策を講じている。この判定区分では, これまで「無害」と判定されていたものが, 「準有害」となる。

アルカリ骨材反応の規制は 1986 (昭和 61) 年からのものであるが, 「無害」, 「無害でない」は当時の要求性能や設計思想に基づくものである。JR 東日本の事例からも, 「無害」として取り扱われてきたコンクリートにおいても, アルカリ骨材反応による劣化を生じる可能性があるはずである。当然, 劣化の程度は様々であると考えられるが, 軽微であっても寒冷地においては凍害といった劣化の起点となり得る。「無害」は劣化のリスクゼロではないと考えるべきである。

よって, アルカリ骨材反応による劣化事例の報告がない地域やアルカリ骨材反応の規制後の構造物であっても, アルカリ骨材反応を劣化要因から除外すべきではなく, 劣化が疑われる場合は積極的に調査を実施すべきである。

4. ゲルステイン法

アルカリ骨材反応の試験は, 現行の診断では, 岩石学的試験のように高い専門性が必要なものや, 膨張試験のように試験に長時間かかるものが一般的である。ゲルステイン法は, アルカリ骨材反応によって生成するアルカリシリカゲル中に含まれるカリウムが試薬と化学反応を起こし色素が沈着することを利用し, ゲルの存在分布を判定する試験であり, 科学的根拠を持ってアルカリ骨材反応を簡易に判定することができる。

試験の具体的な手順を図 4.1 に示す。なお, 試験面はコンクリートの骨材が露出した面とする。①試料を精製水で洗浄, ②試薬を塗布, ③ 30 秒 ~ 1 分経過後, 塗布した試薬を精製水で洗浄, ④乾燥後 (30 分 ~ 1 時間), 骨材の破断面及びその周辺 (セメントペースト部分や気泡内部) の着色を観察。以上のように簡便な試験である。

試験結果の事例を紹介する。写真 4.1 に示すように, 粗骨材だけでなく細骨材も判定可能である。さらにデジタルマイクロスコープ等を用いて観察することで微量な反応生成物も確認することができる (写真 4.2)。

アルカリシリカゲルを判定する試験として SEM-EDS による方法が知られているが, この試験で用いる試験片は角 1 ~ 2 cm 程度である。一方, ゲルステイン法では採取試料全体が観察範囲となることから, 反応している骨材の多少

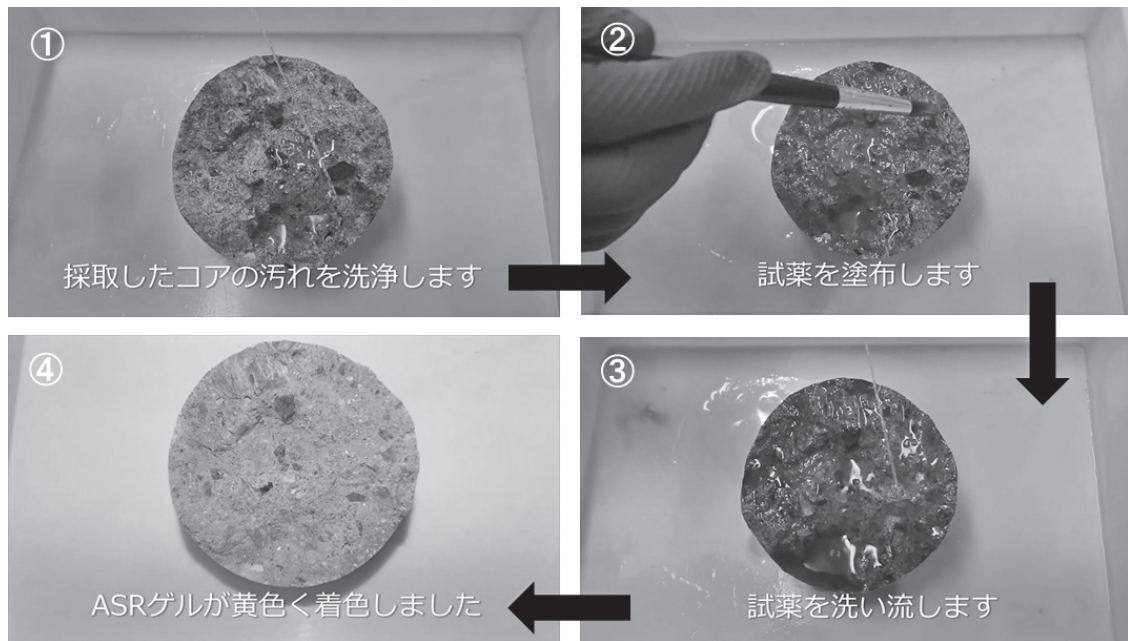


図 4.1 ゲルステイン法の試験手順



写真 4.1 ゲルステイン法の試験結果例（左が粗骨材，右が細骨材）

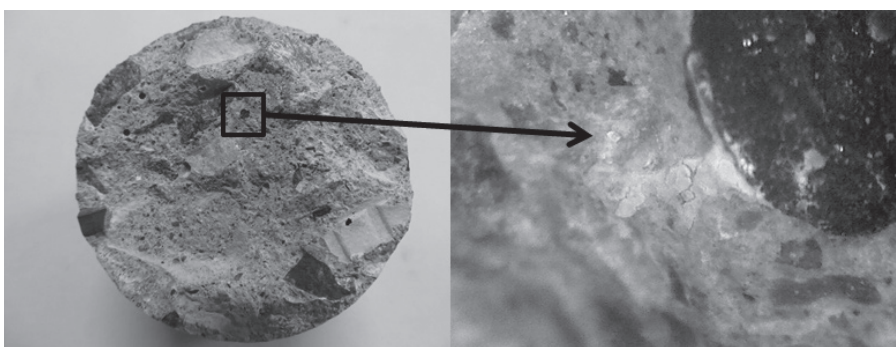


写真 4.2 デジタルマイクロスコープを用いた例（右が拡大写真）

の把握も可能である。

また、従来試験に比べ判定が迅速であることから、促進膨張試験等の追加試験を早く決定することができ、業務工程の短縮や対策の要否の判断が早くなる。

なお、ゲルステイン法は、反応の有無を判定する試験であり、劣化の原因がアルカリ骨材反応によるものかを判断するための試験である。まず現場において、発生している劣化の状況と程度を確認し、反応性骨材量やアルカリについ

で推測して頂きたい。そうすることで、ゲルス
テイン法からより有用な情報を得ることが可能
であると考えます。

5. おわりに

本報告では、アルカリ骨材反応を「簡単・すぐ」
に判定できるゲルステイン法を紹介した。著者
が、アルカリ骨材反応に携わる中で、実務者
にとってわかり易いと感じた部分を抜粋させて
頂いているので、詳細については引用文献等
を参照して頂きたい。

なお、本報告において掲載したゲルス
テイン法の写真、過去に公表したゲルス
テイン法の論文や試験をわかり易く示した
動画を M・T 技研の HP にて掲載して
いるので、参照頂きたい。

引用文献

1) 農林水産省農村振興局整備部設計課 (2015)「農

業水利施設の長寿命化のための手引き」

- 2) 川村満紀 (2010)「現場技術者のための ASR 対策
ノート」中日本ハイウェイ・エンジニアリング
名古屋株式会社
- 3) 古賀裕久, 河野広隆 (2004)「骨材のアルカリ
骨材反応性に関する全国調査結果」土木学会
第 59 回年次学術講演会, 5-001
- 4) 松田芳範 (2014)「JR 東日本における混和材
使用の現状と課題」日本コンクリート工学,
Vol.52, No.5

参考文献

- 1) 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 (2014)「ASR 診断の
現状とあるべき姿研究委員会報告書」日本
コンクリート工学会
- 2) 嶋瀬敬祐, 山川博樹, 川村満紀 (2018)「
二重着色法 (ゲルステイン法) による ASR
の判定および進行程度の推定」コンクリ
ート工学, Vol.56, No.3