

## 酸溶解による硬化コンクリート中のアルカリ量測定手法

材料技術研究部 コンクリート材料研究室  
主任研究員 鶴田 孝司

### 1. はじめに

現在、アルカリシリカ反応（以下 ASR とする）によるコンクリート構造物の劣化抑制対策として、コンクリート中のアルカリ総量を  $3.0\text{kg/m}^3$  以下に抑制する方法が汎用的に用いられている。一方、これらの対策施行後に建設された構造物においても、ASR による劣化を生じた事例が確認されている<sup>1)</sup>。ASR の劣化抑制対策に必要なコンクリート構造物のアルカリシリカ反応性を評価するためには、アルカリ総量  $3.0\text{kg/m}^3$  程度のより小さい領域においてコンクリート中のアルカリ総量を的確に把握し、新設構造物中のアルカリ総量の管理や、既設構造物中のアルカリ総量の推定に適用することが求められている。しかしながら、現在このアルカリ総量を的確に把握することは困難である。そこで、本研究ではコンクリート試料を酸溶解することにより硬化コンクリート中のアルカリ総量を求める手法を開発し、その適用方法について検討した<sup>2)</sup>。

### 2. 既往の試験・研究

硬化コンクリート中のアルカリ総量を測定あるいは推定を試みた事例は以前にもいくつかあるが、いずれの方法も的確にアルカリ総量を求めるまでには至っていない。

ふっ酸でコンクリートを骨材まで含めて溶解する手法<sup>3)</sup>や、アメリカ材料試験協会の基準 ASTM C 114 に記載されている水溶性アルカリ量から推定する手法<sup>4)</sup>では、アルカリ総量の推定誤差が真値の 2 倍程度以上となり、アルカリ総量を的確に把握することは困難である。近年では、鉄道総研が開発した蛍光 X 線を用いた外挿法によるアルカリ総量測定手法<sup>5)</sup>（以下、蛍光 X 線（外挿法）とする）も用いられている。この手法では、コンクリート中のアルカリ総量についてある程度の推測が可能である。しかし、比較的アルカリ総量の小さい  $3.0\text{kg/m}^3$  付近のコンクリートでは、外挿線の傾きが大きくなるため、その誤差が大きくなる。

本研究では、アルカリ総量  $3.0\text{kg/m}^3$  程度のより小さい領域においてコンクリート中のアルカリ総量を的確に把握することを目的としている。このため、測定手法としては試料中のアルカリ量を直接測定できる酸溶解を選択した。その上で適切な試験条件を選定し、骨材からの溶解アルカリ量の影響を補正した、新しいアルカリ総量測定手法を開発した。

### 3. 酸溶解によるアルカリ総量の測定手法

図 1 に酸溶解法によるアルカリ総量測定手法の概念図を示す。コンクリートにおける全体のアルカリ量(A)は、セメントペースト中のアルカリ量(B)と、ASR に関与しない骨材中のアルカリ量(C)との和になる。い

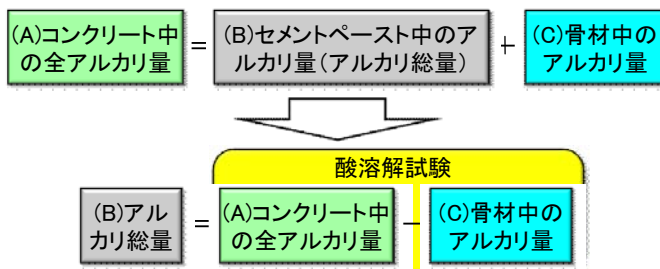


図 1 酸溶解によるアルカリ総量算出の概念図

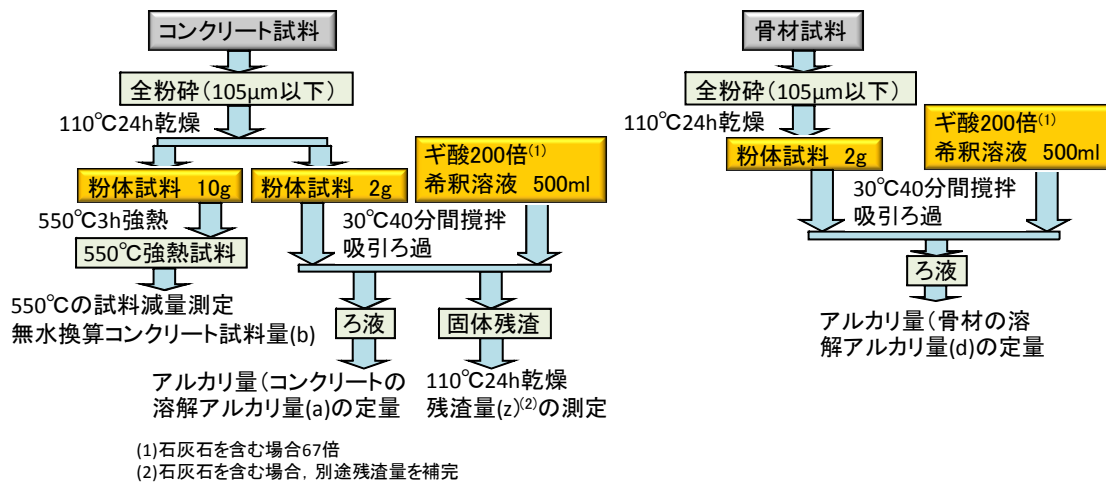


図2 硬化コンクリート中のアルカリ量測定フロー

いわゆるアルカリ総量とは、(B)のセメントペースト中のアルカリ量に相当する。コンクリート試料を酸溶解することにより(A)を、使用骨材が入手できる場合には骨材試料を別途酸溶解することにより(C)をそれぞれ求め、その配合に応じて(A)から(C)を差し引くことによりアルカリ総量(B)を求めることができる。

上記の方法によりアルカリ総量を算出する際には、ASRに関与しない骨材中のアルカリ量(C)が大きな測定誤差となりうる。このため、硬化コンクリート中のアルカリ総量を的確に求めるには、骨材から溶解するアルカリ量を出来る限り小さくし、かつその量を把握する必要がある。このことから、酸溶解試験に求められる条件として、以下の3項目が挙げられる。

- (1) セメントペーストを十分に溶解する
- (2) 骨材からの溶解アルカリ量を小さくする
- (3) 試験の再現性がよい

これらの条件をできる限り満たすように、酸の種類や濃度などの試験条件を設定し、ギ酸溶解による硬化コンクリート中のアルカリ量測定手順を作成した。測定フローを図2に示す。なお、骨材に石灰石が含まれている場合は、石灰石がギ酸に溶解し、ギ酸を消費するため、ギ酸の濃度を3倍(67倍希釈)にすることや、骨材中の石灰石量を配合計画書の値を用いて補完するか、あるいは酸溶解前の試料を600°C以上で加熱した際の減量値から石灰石量を求める必要がある。

新設構造物の場合、あるいは既設構造物でもあらかじめコンクリートに使用されている骨材が入手可能な場合には、別途使用骨材を入手して酸溶解試験を行い、骨材からの溶解アルカリ量を測定することにより、精度のよいアルカリ総量の測定が可能となる。具体的には、上記フローにて測定した値を以下の式に代入することにより、アルカリ総量を算出する。

$$\text{アルカリ総量 } A(\text{kg/m}^3) = \left\{ a - d \times \left( \frac{z}{b} \right) \right\} \times \frac{1}{(b - z)} \times C \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 $a$ : コンクリートの酸溶解試験におけるアルカリ量定量値(g)

$b$ : 無水換算コンクリート試料量(g) = 110°C乾燥試料量 - 110°Cから550°Cの試料減量

$C$ : 単位セメント量(kg/m<sup>3</sup>)

$d$ : 骨材の酸溶解試験におけるアルカリ量定量値(g)

$z$ : コンクリート溶解試験の残渣量(g)

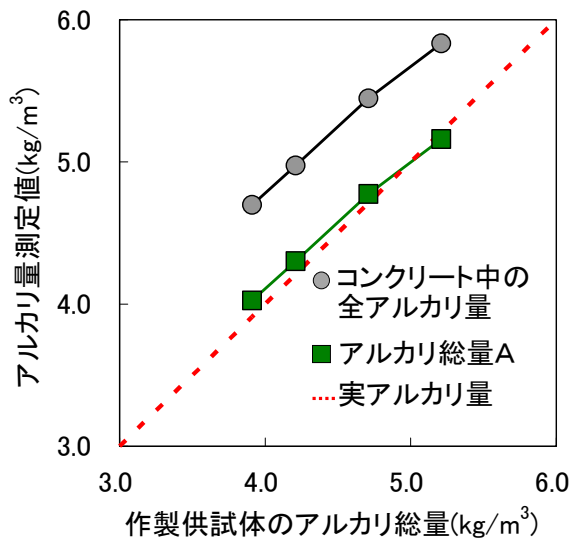


図3 モルタル供試体による酸溶解試験結果

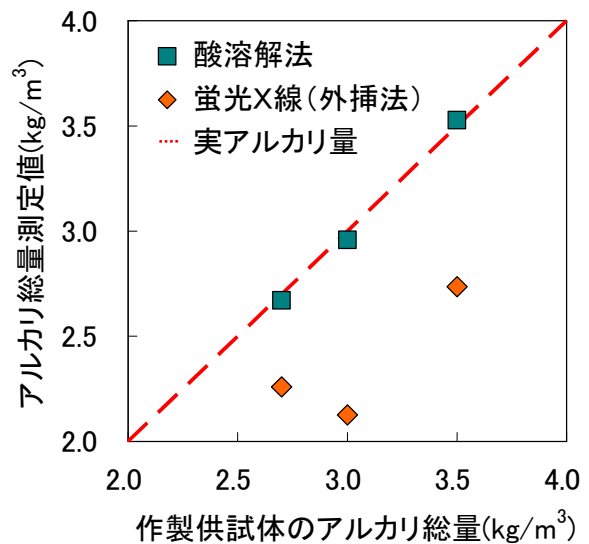


図4 酸溶解法と蛍光X線(外挿法)との比較

#### 4. 測定手法の精度検証

前章で述べた試験方法の精度を確認するために、アルカリ総量が既知 ( $3.9\text{kg/m}^3 \sim 5.2\text{kg/m}^3$  の4種類) のモルタル供試体を用いて酸溶解試験を実施した。試験結果の一例を図3に示す。酸溶解試験により求めたアルカリ総量測定値は、作製供試体のアルカリ総量とおよそ  $\pm 0.1\text{kg/m}^3$  の誤差であり、高い精度で硬化コンクリート中のアルカリ総量が測定できることがわかった。

また、アルカリ総量が既知 ( $2.7\text{kg/m}^3 \sim 3.5\text{kg/m}^3$  の3種類) のコンクリート供試体を用いて、本研究にて開発した酸溶解法と、従来の手法である蛍光X線(外挿法)の2種類の方法でアルカリ総量を測定した。試験結果の一例を図4に示す。酸溶解による方法での測定結果では、すべての供試体において、算出したアルカリ総量Aが実アルカリ量の直線とほぼ一致している。これに対して、蛍光X線(外挿法)では、実アルカリ量との差が酸溶解法に比べて大きくなっている。このことから、本研究で開発した酸溶解法は従来の方法である蛍光X線(外挿法)に比べて精度良く硬化コンクリート中のアルカリ総量を測定できることがわかった。

#### 5. 実構造物への適用

酸溶解法を新設コンクリート構造物中のアルカリ総量測定へ適用するため、コンクリート打設時に同時に採取した6種類のコンクリート供試体について、酸溶解法によるアルカリ総量の測定を実施した。酸溶解法による新設コンクリート供試体中のアルカリ総量の測定結果を図5に示す。アルカリ総量の測定値がミルシートの平均値と近い値となり、設計通りのアルカリ総量でコンクリートが作製されたことが示された。

以上のことから、酸溶解試験により求めたアルカリ総量と、ミルシート等に記載されたセメントのアルカリ量平均値あるいは最大値、および配合から計算されるアルカリ総量とを比較す

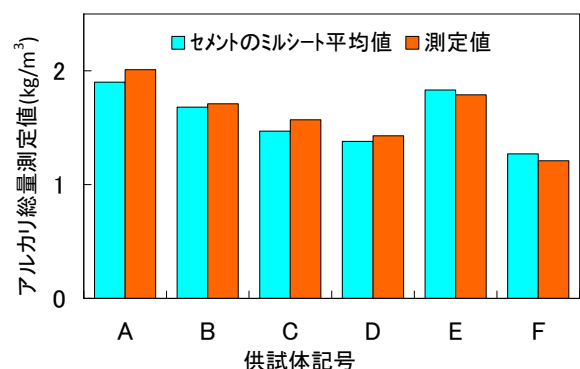


図5 新設コンクリート供試体中のアルカリ総量の測定結果

ることで、実構造物のアルカリ総量が適切な値であるかどうかの検証を行うことができる。

## 6. 今後の展開

既設構造物のうちコンクリートに使用されている骨材が入手できない場合は、骨材の溶解アルカリ量を酸溶解試験によって求めることができない。そのため、この場合には溶解アルカリ量と骨材の岩種や鉱物組成等との関係をデータベース化しておくことにより、未知試料中の骨材の岩種や鉱物組成等から溶解アルカリ量を推定することとした。そこで、データベース化の可能性を検討するため、各種骨材の岩種と200倍希釈ギ酸による溶解アルカリ量との相関を検討した。

結果を図6に示す。溶解アルカリ量の傾向として、安山岩が小さく、砂岩・川砂利が大きい傾向が認められた。この結果と、一般的な配合のコンクリート（単位骨材量約2000kg/m<sup>3</sup>）において、骨材溶解量0.01%の差がおおよそ0.2kg/m<sup>3</sup>程度のアルカリ総量の誤差となることを考慮すると、おおよそ±0.4kg/m<sup>3</sup>程度の誤差でアルカリ総量が推定可能であると考えられる。ただし、同じ岩種においても構成鉱物種によっては、溶解アルカリ量に大きな差が生じることも考えられるため、今後、骨材の岩種や鉱物組成等と溶解アルカリ量との相関の検証を行い、データベース化を進めていく予定である。

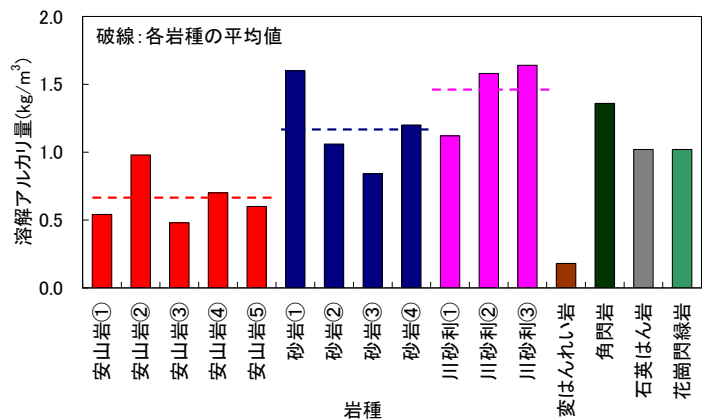


図6 ギ酸法における骨材のアルカリ溶解量  
(単位骨材量2000kg/m<sup>3</sup>として算出)

## 7. おわりに

コンクリート試料を酸溶解することにより硬化コンクリート中のアルカリ総量を求める手法を開発し、その適用方法について検討した。その結果、骨材からの溶解アルカリ量を考慮した、ギ酸による酸溶解法を用いることで、アルカリ総量3.0kg/m<sup>3</sup>程度のより小さい領域において硬化コンクリート中のアルカリ総量を従来の手法より高精度に測定する手法を開発した。また、実構造物への適用方法として、新設構造物など骨材を別途入手できるコンクリートについては、コンクリートと使用骨材の酸溶解試験を実施することで精度良くアルカリ総量を求められることを明らかにした。

## 参考文献

- 1) (社)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，2008
- 2) 鶴田孝司，上原元樹，水野清：酸溶解による硬化コンクリート中のアルカリ量測定手法，鉄道総研報告，Vol.24 No.8 pp.11-16
- 3) 河合研至，小林一輔：硬化コンクリート中のアルカリ量の推定に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，9-1，pp.651-656 1987
- 4) 河合研至ら：セメント中の水溶性アルカリ量，土木学会論文集，No.433/V-15，pp.35-39 1991.8
- 5) 立松英信，高田 潤：蛍光X線法によるアルカリ量・塩素量の推定，土木学会第45回年次学術講演会，V-212 pp.450-451 1990