

建築物の耐久性と化学分析

濱 崎 仁, 中 島 淳 一

「ぶんせきの泉」稿の一環として、分析化学の周辺領域で発生する分析ニーズやトピックスを、その領域の研究者や技術者と本学会会員との共著により Q & A 形式で綴る新しい項目を企画しました。分析化学は基礎から応用まで多岐にわたっておりますが、応用は化学計測の全てに関与するため、工学、医学、薬学、農学、物理学などの学術領域から、産業、医療、農業、製菓、食品、資源などの広い技術分野と関係します。また、報道や行政などの自然科学ではない分野でも分析値を取り扱うことでしょう。

共著者それぞれの考えが有機的に織り込まれた原稿を刊行することで、関連団体の研究者・技術者の方に分析化学への関心を持っていただき、もって新しい応用系ニーズと分析シーズを符合させて、より発展的な活動につながることを期待しています。

初回は、現在の生活と今後の発展に欠くことのできないコンクリート及び鉄筋コンクリート造建築物の耐久性に関わる化学分析に焦点をあてることにします。

1 はじめに

建築物には、地震や火災に対する安全性はもちろんのこと、それらを長く継続する性能、すなわち耐久性が求められる。例えば、日本建築学会の建築工事標準仕様書 (JASS 5; Japanese Architectural Standard Specification 鉄筋コンクリート工事) では、建築物の計画供用期間の級を短期 (30 年)、標準 (65 年)、長期 (100 年)、超長期 (200 年) と設定し、建築物を 100 年以上供用する場合の材料や施工の方法が示されている。

——現在、多数存在するコンクリート造建築物のうち、表面的にひび割れなどの劣化や損傷が見受けられるものもあれば、そうでないものもある。また、天災や単なる時間経過以外にも劣化や損傷に影響を及ぼす因子があると考えられる。建築物の耐久性を確保するために化学分析はどのように役立っているのか？

建築物の耐久性を確保するためには、新築時に使用される材料が劣化の原因となるものを含まない適切なものであることや、供用段階での様々な外力による変化・変質を評価しそれに応じた適切な対策 (補修) を施すこと

が重要である。そのための手段として、材料の変化・変質や材料中に浸透した劣化因子を化学分析によって評価することになる。

そこで、変化・変質に関わる評価は後で述べることとし、これらを伴わない新築時に適用される化学分析から解説したい。

2 新築時に適用される化学分析

——新築時はレディーミクストコンクリート (いわゆる生コン) を扱うことになるが、この分析で重要となる点は？

コンクリートは、セメント、細骨材 (砂)、粗骨材 (石)、水、混和材料からなる複合材料である。それぞれの材料が、コンクリートとしての必要な性能を発揮し、有害な物質を多く含むことがないようにその成分の分析が行われる。すなわち、求められる供用期間や用途に適した「品質」を有しているか、使用前に正しく評価されていることが重要になる。したがって、JIS によりそれぞれの材料に対する分析方法が定められている。

1) セメントの化学分析

——分析対象となる成分とは？

セメントは、多くの無機元素およびその化合物からなる材料である。その成分はコンクリートの強度発現や耐久性を大きく左右する。したがって、セメントの化学分析方法は JIS により定められており、JIS R 5202 (セメントの化学分析方法) および JIS R 5204 (セメントの蛍光 X 線分析方法) が規定されている。表 1 に分析対象と評価の目的・概要を示す。JIS R 5202 では湿式分析方法でセメント試料を酸、アルカリ、有機溶媒などで溶解し、沈殿・分離したものを重量分析や滴定分析法により定量する。JIS R 5204 では、セメント試料に X 線を照射し、試料から発生する蛍光 X 線をカウントすることにより各成分を迅速に定量する。

2) 骨材の化学分析

骨材は、コンクリート中の体積の 7 割以上を占める。骨材には、強度 (硬さ) のほか、鉄筋腐食の原因と

表1 セメントの化学成分の主な分析対象と評価目的

分析対象	概要・評価目的	JIS R 5202	JIS R 5204
強熱減量	セメントの新鮮度の目安で風化などにより大きくなる	○	○
不溶残分	希塩酸で溶解した残分で、セメント中の不純物量の目安となる	○	—
CaO	セメントの65%程度を占め、水和硬化物の主原料となる	○	○
SiO ₂	セメントの20%程度を占め、CaOとともにカルシウムシリケート水和物(C-S-H)を形成する	○	○
Al ₂ O ₃	セメントの間隙相の量を左右し、多い場合には初期の硬化が速く、発熱や収縮も大きくなる	○	○
Fe ₂ O ₃	セメントの間隙相に関連し、経済性や色(灰色)に関連する	○	○
Na ₂ O	セメント中のアルカリ成分であり、多すぎる場合にはアルカリシリカ反応の原因となる	○	○
K ₂ O		○	○
Cl	多い場合には鉄筋腐食の原因となり、普通ポルトランドセメントでは0.05%以下と規定されている	○	—

なる塩化物を多く含まないこと、セメント中のアルカリとの膨張性の反応〔アルカリシリカ反応(Alkali-Silica Reaction, ASR)〕を生じないことなどが求められる。

——骨材に含まれている塩化物は主にどこから入ってくるのか？

骨材中の塩化物の由来の一つは、海中より採取される海砂からである。1960～80年代には未洗浄の海砂を使用したことによる塩害が社会問題となった。骨材中の塩化物量の分析は、精製水中に溶出した塩化物を硝酸銀滴定法により行う。JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)では、細骨材の品質として、NaCl換算で0.04%以下であることが規定されている。

アルカリシリカ反応は、セメント中のアルカリ分(Na⁺, K⁺)と骨材中の非晶質のシリカなどの反応性鉱物が膨張性の反応を生じることにより、コンクリートのひび割れ、強度や剛性の低下を引き起こす劣化現象である。ASRを生じる可能性のある骨材の判定には、化学分析による方法(化学法)と評価対象の骨材を使用したモルタルやコンクリートの膨張量を測定する方法(モルタルバー法・コンクリートバー法)などがあり、様々な試験方法が提案されている。前出のJIS A 5308では、化学法(JIS A 1145)もしくはモルタルバー法(JIS A 1146)で無害であることを確認することとされている(無害でない場合には別途対策を実施)。化学法では、粒度を調整した骨材を80℃の1 mol L⁻¹水酸化ナトリウ

表2 レディーミクストコンクリートの塩化物イオン量の簡易試験方法および機器

分析方法	測定原理	製品名の例
硝酸銀滴定法(検知管法)	重クロム酸銀(茶褐色)と塩化物イオンとを反応させて白色の酸化銀を生成させ、白色に変色した部分の長さで塩化物イオン濃度を測定する。	ガステック 北川式検知管
硝酸銀滴定法(検知紙法)	同上	カンタブ
電流電極法	塩化物イオンと銀電極が反応するときの酸化還元電流を測定することによって水溶液中の塩化物イオン濃度を測定する。	ソルター
電量滴定法	酸緩衝液中の電解用銀電極間に一定の電流を流すと銀イオンが溶け出し塩素イオンと瞬時に結合し塩化銀の白色沈殿物を生成する。終点は微量の余剰銀イオンの発生を検出し、測定開始から終点検知までの時間と電流量で塩化物イオン濃度を測定する。	ソルメイト
イオン電極法	水溶液中の塩化物イオンに対して、塩化物イオン選択性電極を用いて検出し、濃度を測定する。	塩分濃度計 CL-1B

ム水溶液に24時間浸漬し、塩酸を用いた滴定により溶液中のアルカリ濃度減少量が算出され、吸光度法等によって求めた溶解シリカ量との大小関係で無害か否かを判定する。

——アルカリシリカ反応(ASR)の可能性の評価に化学法が有効である点は？

化学法による分析は、あくまでASRの可能性を評価するものであり、実際の反応の有無とは必ずしも一致しない場合があることも指摘されるが、比較的迅速に材料をフィルタリングする方法としては有効である。

3) コンクリート中の塩化物イオン量の分析

前述のように、セメント、骨材、水等を混練して、レディーミクストコンクリート(いわゆる生コン)が製造される。製造されたコンクリートに対しては、塩化物イオン量の上限値が定められ、コンクリート1 m³に対して塩化物イオン量が0.3 kg以下であることが求められる。

このときの塩化物イオン量の測定は、建設現場や生コン工場で測定が可能な方法でなければならないため、実験室での分析ではなく現場適用が可能な簡易試験方法が適用される。

主な簡易試験方法を表2に示す。簡易試験方法は、財国土開発技術研究センター(現在の(一財)国土技術研究センター)で技術評価を受けたものが適用されるが、現在では技術評価の仕組みがないため新たな試験方法・装置は開発されていない。

3 既存建築物に対する化学分析

建築物は供用中に様々な外力に曝され、徐々にその性

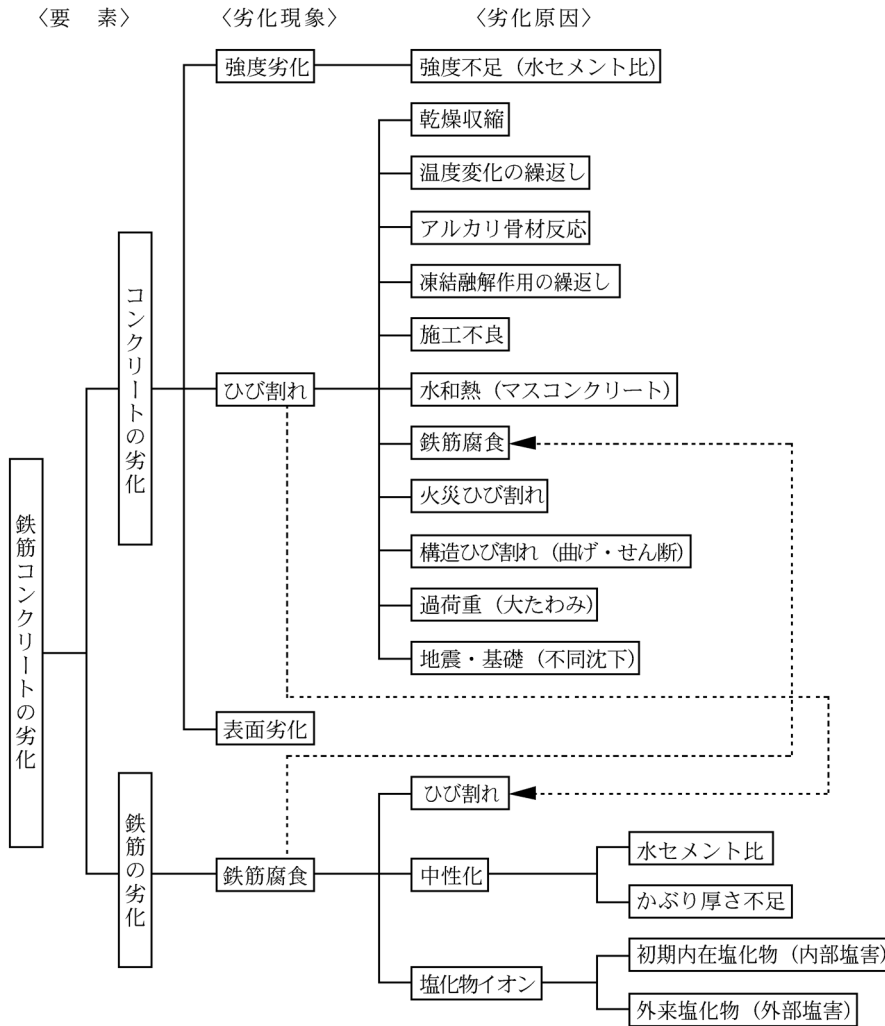


図1 鉄筋コンクリート構造物の劣化現象と劣化原因の関係

能は低下する。図1にコンクリート造の建築物に生じる劣化の症状とその原因の関係図を示す。図1の劣化原因のうち、アルカリ骨材反応の一つに分類されるASRによるコンクリートの劣化、コンクリートの中性化および塩化物イオンに起因する鉄筋の腐食が、主に化学的な作用による劣化である。その他の劣化については、温度（高温・低温）や乾燥、地震等による外力の作用によるものであるが、コンクリートの品質によってその劣化の有無や程度が異なる。コンクリートの品質を左右するコンクリートの調合（配合）を推定する場合にも化学分析的な手法が用いられる。ここでは、鉄筋コンクリート構造物の劣化度の評価や予測とそこで使われる化学分析手法について紹介する。

——コンクリート造建築物は当然供用されてから徐々に劣化が進行するわけだが、既存の建築物を分析する上で、新築時と異なる点はあるのか？

当然のことながら、それぞれの材料が混ざりあい、かつ、硬化していることが挙げられる。一つの材料だけを取り出して分析することは困難であり、試料の調製だけ

でも長時間を要する。また、対象となる建築物を継続して使用や保管する場合には、サンプルの採取は、必要最小限にとどめなくてはならない。

1) コンクリートのアルカリシリカ反応（ASR）

図2、図3は、コンクリートのASRによってひび割れを生じたトンネルの写真である。トンネルの上部は樹脂注入工法によりひび割れの補修が行われている。一方、下部は規則性のないひび割れが生じている。ひび割れ部分には、図3にある白色の析出物と同様のものがみられ、これがアルカリシリカゲルである。これらの写真は北陸地方の海岸近くにあるトンネルであるが、海岸近くではセメント中に当初から存在するアルカリ金属イオン（Na⁺、K⁺）だけでなく、海水の飛来によって供給されるNaCl由来のNa⁺も加わるため、より劣化が進行する。

——供用中にASRが発生するのを避けることができれば劣化が避けられ、より長く使用できると思われるが、ASRが発生する条件というはあるのか？



図2 ASRが生じたトンネルの例



図3 ASRによるひび割れ

ASRが発生する条件は以下の三つに集約される。

- ①骨材中に反応性の鉱物（オパール、クリストパライト、微晶石英など）があること
- ②十分な濃度のアルカリ金属があること、またそれに伴う水酸化物イオン濃度が高いこと
- ③反応に必要な水分が供給されること

①に該当する骨材の反応性を調べる試験として、骨材を取り出して前述の化学法やモルタルバー法を適用するか、構造物から採取したコアを高濃度のアルカリ環境に置いて膨張量を確認する残存膨張量試験などが行われている。また、骨材を直接的に評価する方法として、骨材中の鉱物を偏光顕微鏡で観察して反応性鉱物の有無を調べるか、SEM-EDSやX線回折により骨材中の鉱物を同定する場合もある。

②に対しては、アルカリ金属あるいは水酸化物イオン濃度を確認する。アルカリ金属濃度は、微粉末化したコンクリート試料から熱水や酸で Na^+ 、 K^+ などを溶解して、コンクリート中の微細な空隙（細孔）を満たした溶液とし、ろ過後定容にして、原子吸光分析やICP発光分析により求める。水酸化物イオン濃度は、コンクリート中の微細な空隙（細孔）に含まれる細孔溶液を高圧で抽出し、塩酸で滴定することによって濃度を測定してい

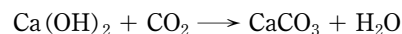
る。その細孔溶液中のアルカリ金属イオンの濃度や水酸化物イオン濃度を測定する。 Na^+ 、 K^+ と OH^- イオン濃度はほぼ等価となり、アルカリ当量 $\{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times (62/94.2)\}$ が 3 kg m^{-3} を超えるとASRが生じる可能性が高くなると言われている。

——③に関わる^かこととして、水分が通る微細な空隙の細孔径は水銀圧入法で分析しているが、水銀は有害な元素の一つである。コンクリート内部にある細孔や水の分布をなるべく破壊しない状態で簡便に測定することはできるのか？

非破壊でコンクリート内部の水の分布を観測する手法としては、X線CT（computed tomography）は有効な方法の一つであると考えられる。現時点では研究事例にとどまっているが、可搬型や高性能なラボ機も開発されるなど、医療分野をはじめ、様々な分野で応用されており、今後も進展が期待される。細孔構造の測定は水銀圧入法が一般的であるが、透気試験や透水試験によって非破壊的に物質透過性を評価している例もある。

2) 中性化による鉄筋の腐食

コンクリートは高アルカリであり、通常の状態ではコンクリート内部の鉄筋は不動態被膜で保護され腐食することなく健全である。しかし、コンクリート表面から空気中の二酸化炭素と反応し、表層部から徐々にコンクリートのpHが低下していく。この反応が一般的に中性化（炭酸化）と呼ばれるもので、水酸化カルシウムの反応として下の化学式で表現される。このほかにも、カルシウムシリケート水和物（C-S-H）の分解なども生じると言われている。



コンクリート中性化の深さの試験は、図4に示すように、コンクリートの割裂面にフェノールフタレインエタノール溶液を噴霧し、フェノールフタレインの呈色反応により、無色となる領域（pH約10以下）を中性化深さとする方法が一般的である。図4のコンクリートコアは、2015年に解体された旧国立競技場（建築後54年経過）から採取されたものである。このほか、中性化の進行の定量的な評価には、熱重量示差熱分析（TG-DTA）により、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と CaCO_3 を定量化する方法なども用いられる。

中性化によって鉄筋の周辺のコングリート中のpHが低下すると、それまで鉄筋表面を保護していた不動態被膜が破壊されやすくなり、鉄筋（Fe）が鉄イオンとなり、水や酸素と結びついて、三種類の多型を持つオキシ水酸化鉄（ $\alpha\text{-FeOOH}$ ・ $\beta\text{-FeOOH}$ ・ $\gamma\text{-FeOOH}$ ）やマグネタイト（ Fe_3O_4 ）となる。これらの腐食生成物の特徴やその生成条件についても近年研究がすすめられ、ラマ

ン分光や X 線回折による評価が行われている。

このように鉄筋の腐食が生じると腐食生成物により体積が膨張するため、コンクリートにひび割れを生じ、それが進展するとコンクリートの部分的な剥落などを生じる。図5に中性化により生じた鉄筋腐食の例を示す。図5の右上にある鉄筋は中性化されていないコンクリートの中であって腐食していなかった。一方、中央の鉄筋の左側にあるコンクリートは中性化しており、この鉄筋の左側面を中心に腐食がみられた。鉄筋腐食によるひび割れや剥落は、かぶり厚さ（コンクリート表面から鉄筋までの距離）が小さく、外壁やベランダのように水分が供給される場所に生じることが多い。



図4 フェノールフタレインによる
中性化深さの測定（左が表面付近）



図5 中性化による鉄筋腐食



3) 塩化物による鉄筋腐食

コンクリート中にはセメントや骨材に由来する内在塩分のほか、海岸からの飛来塩分や凍結防止剤（ CaCl_2 ）の散布による外来塩分が存在する。特に飛来塩分による鉄筋腐食は、沖縄や島嶼地域、日本海沿岸などでは大きな問題となる。図6に飛来塩分によって生じた鉄筋腐食と断面欠損を示す。図の写真は、世界文化遺産にも登録されている長崎県端島（軍艦島）の状況である。塩化物による鉄筋の腐食は、一般に中性化による鉄筋腐食よりも著しく進行し、場合によっては鉄筋を消失させるほどまで進行する。

塩化物による鉄筋の腐食は、鉄筋周辺の塩化物イオンが一定量を超えると生じると言われている。その限界となる塩化物イオン量（限界塩化物イオン量）は、コンクリート 1 m^3 に対して $1 \sim 2 \text{ kg}$ 程度と言われている。建築分野では、 1.2 kg m^{-3} 、土木分野では、セメント種類や水セメント比により $1.5 \sim 2.5 \text{ kg m}^{-3}$ 程度と言われている。したがって、コンクリート中の塩化物イオン量の分析は、塩化物による鉄筋腐食の有無の判断や将来予測にとって重要である。

コンクリート中の塩化物イオン量の分析方法は、JIS A 1154（硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法）として標準化されている。この規格は、昭和50年代に建設省土木研究所で検討され、日本コンクリート工学協会（当時）の試験規準 JCI-SC4 が元になっている。塩化物イオンは、硝酸で溶解するコンクリート中のすべての塩化物を対象とした全塩化物イオンと、 50°C の温水に溶出する温水抽出塩化物イオン（一般に可溶性塩化物イオンと言う）に区別される。可溶性塩化物イオンは、塩化物イオンがセメント硬化体の一部であるフリーデル氏塩（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）に取り込まれたり、C-S-Hに吸着されたりすることにより一部が水には溶出せず、通常のコンクリートでは、全塩化物イオン量の60%程度となる。一般には可溶性塩化物イオンが鉄筋の腐食に影響すると言われるが、中性化したコンクリートではフリーデル氏塩が分解され、可溶性塩化物イオン量と全塩化物イオン量は同程度となる。



図6 塩化物イオンによる鉄筋の腐食と断面欠損（右）

硝酸あるいは温水によって抽出された塩化物イオン抽出液は汙過して定容とし、①塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法、②チオシアン酸水銀(Ⅱ)吸光光度法、③硝酸銀滴定法、④イオンクロマトグラフ法のいずれかの分析方法で定量される。JCI-SC4では、吸光光度法の定量試薬にはクロム酸銀が用いられていたが、JISでは、チオシアン酸水銀(Ⅱ)が用いられている。

4) コンクリートの配合推定

コンクリートは、セメント、水、骨材、混和材料などの割合(配合)によってその品質が大きく左右されるため、硬化した後から当初の配合を推定することはコンクリートの品質を評価する上で重要な情報となる。そこで、硬化後のコンクリート試料を採取して、配合推定が行われる。

配合推定の方法は様々な方法が適用されるが、最も一般的に実施されるのがセメント協会法と呼ばれる方法である。セメント協会法では、粉末化したコンクリート試料に対して強熱減量を測定したのちに塩酸で溶解し、不溶残分から骨材量を推定し、溶解量を酸化カルシウム量としてセメント量を推定する。セメントに対する結合水量は強熱減量から求める。正確な推定のためには、コンクリート製造時の酸化カルシウム量が必要となるが多くの場合は不明であるので当時の平均的な値とする。このようなことから、必ずしも信頼性の高い分析方法とは言えない。

また、セメント協会法では塩酸によって試料を溶解するため、近年使用されることの多い石灰石骨材(CaCO₃が主成分)や貝殻が混入した海砂を用いたコンクリートでは骨材を溶解してしまい適用することができない。石灰石骨材等を使用した場合には、日本非破壊検査協会規格NDIS3422(グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートの単位セメント量試験方法)が適用可能であり、食品添加物としても使用されるグルコン酸で溶解することにより、石灰石は溶解せずセメント中のCaOのみを溶解することができる。

このほか、セメント中で二番目に量の多い酸可溶性シリカ(SiO₂)に着目してギ酸で溶解したセメントをICP-AESを用いて推定する方法、セメント試料をフッ化水素酸で溶解してEDTAによりCaO量を推定する方法などが提案されている。

——同じ材料を用いて硬化させたコンクリートの均質性は?また、どのくらいの試料が必要になるのか?

配合推定を行う場合の試料の大きさは、φ100×200mm(約4kg)程度のコンクリート試料が必要とされており、他の分析と比較しても多くの試料を必要とする。実際の分析には1gしか使用しないが、配合推定では試料の均質性と代表性が重要であることから多くの試料が

必要となる。コンクリートは、複合材料であるため、配合の善し悪しや施工の方法によっても、同じ部材(柱や壁)の中でも各材料の配合比が異なり、品質も変わる。したがって、材料が均質に分散していることや採取した試料に材料の偏りが無いこと(代表性)が求められる。

近年、ドリル削孔粉や小径のコアを使ってできるだけ試料の採取を少なくした微破壊試験も提案されているが、必要な数値の信頼性と構造物への損傷の低減のバランスを考えることが重要となる。

——海岸付近など周囲の環境によって配合推定の難易度が上がってしまうことはないのか?

海岸付近のコンクリートでは、飛来塩分により塩化物イオンやナトリウムイオンが大きいことが考えられるが、セメント協会法では、試料を塩酸で溶解するため誤差の要因とはならない。ただし、海岸近くのコンクリートには、貝殻が含まれた骨材(海砂)が使われる場合も多く、前述のように貝殻は溶解してセメント量にカウントされてしまうので、誤差の要因となりうる。この場合は、ICP発光分析法やグルコン酸ナトリウム法を適用することになる。

4 補修材料に関する化学分析

前節までに述べたように、コンクリートは様々な要因で劣化を生じ、長期的に健全に使用するためには、劣化現象に応じた補修を行うことが必要不可欠になる。最近では様々な補修材料・工法が提案されているが、その一



図7 軍艦島での屋外暴露試験の状況



図8 亜硝酸リチウムの圧入による補修

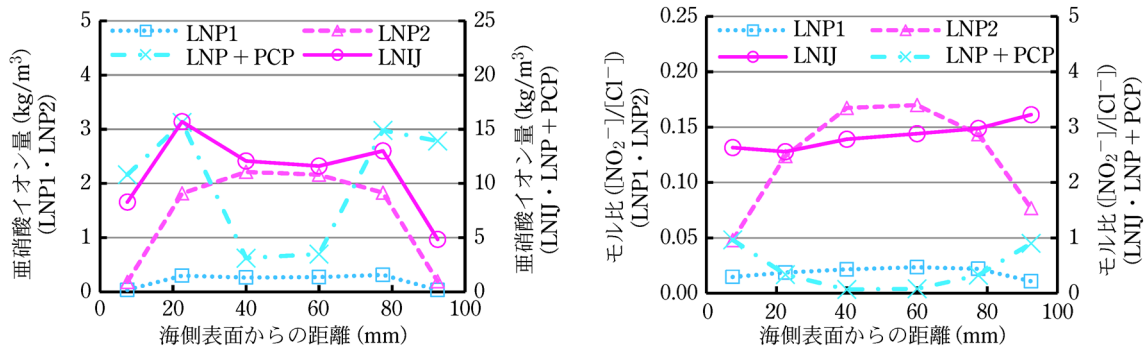


図9 亜硝酸イオンの分布 (左), および NO₂⁻/Cl⁻ モル比の分布 (右)

つとして、亜硝酸リチウム (LiNO₂) を使用した補修工法と分析事例を紹介したい。

図7は厳しい塩害環境である軍艦島で実施している屋外暴露試験の状況, 図8は ASR の生じた構造物に亜硝酸リチウムを圧入する補修工法 (リハビリシリンドー工法) の施工状況である。亜硝酸リチウムの効果は, 主に前述の塩化物による鋼材の腐食抑制, ASR の発生抑制の二つの効果が期待されている。

鉄筋腐食の抑制に対しては, 塩化物イオンの存在等によって破壊された不動態被膜を亜硝酸イオンの還元作用により再生する効果が期待されている。この時の必要な亜硝酸リチウムイオン量は, 一般的な環境下で Li/Cl のモル比 0.6 以上, 厳しい環境ではモル比 1.0 以上と言われている。また, ASR の抑制に対しては, リチウムイオンがナトリウムやカリウムイオンと置換して非膨張性のリチウムシリケートを生成することにより非膨張化するものである。このときに必要なリチウムイオンの量は, Li/Na モル比 0.8 以上とされている。

したがって, 補修効果の評価をする場合には, 亜硝酸イオンやリチウムイオンの含浸状況や劣化外力となる塩化物イオン, アルカリ金属イオンの量を測定することになる。そこで, 亜硝酸イオンおよび塩化物イオンの分析は, 試料中の各イオンを 50℃ の温水で抽出し, イオンクロマトグラフにより定量する。

図9に図7に示した軍艦島での暴露試験体での亜硝酸イオン分布の例と, 同時に測定した塩化物イオン量とのモル比分布を示す。この例では, 亜硝酸リチウムを圧入した場合 (記号: LNIJ) やポリマーセメントペーストで被覆した場合 (記号: LNP+PCP) では, 塩害抑制に必要な亜硝酸量が供給されているものの, 表面から含浸させたのみの場合 (LNP1・LNP2) ではモル比が 0.2 以下となっている状況を表している。

5 おわりに

鉄筋コンクリート造の建築物の耐久性確保における化学分析の必要性の一端について基本的な適用例に基づいて紹介させていただいたが, ここで紹介できたこと以外にもコンクリート工学の分野で広く適用されている。分

析化学の技術は, 基礎的なものから最新の分析機器を使用する高度な分析まであり, 劣化のメカニズム解明や効果的な補修方法の検討に適用できる手法は数多くあると思われる。

——すべての現場で高度な分析機器を用意することはできない。したがって, より簡便で, 安全な化学分析の手法が求められるが, どのような開発が進んでいるのか?

高度な分析機器を使用しない方法としては, 環境, 生体, 医療分野などにおいて目視で判定可能な方法の開発が行われている。また, 小型で軽量な分析装置の登場や痕跡量で分析が可能な手法の開発も進んでおり, 必要となる試薬や試料, 分析で生じる廃液を大幅に減じることができる。コンクリートの分析で対象となる成分のいくつかに適用できる可能性は大いにあると考える。

最後に, 建築分野ならびに分析化学に携わる研究者・技術者相互の情報交換・交流によって, よりよい建築ストックの構築につながることを期待したい。

謝辞 亜硝酸リチウムの圧入による補修作業の写真をご提供いただきました福徳技研株式会社 徳納武様様に御礼を申し上げます。



濱崎 仁 (Hitoshi HAMASAKI)
 芝浦工業大学建築学部建築学科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)。九州大学大学院人間環境学研究所博士後期課程修了。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》既存建築物の調査・診断および補修・補強技術の開発・評価。《主な著書》“コンクリートの非破壊試験” (共著) (技報堂出版)。《趣味》サイクリング。
 E-mail: hamasaki@shibaura-it.ac.jp



中島淳一 (Junichi NAKAJIMA)
 日産化学(株)物質科学研究所物質解析研究部 (〒274-8507 千葉県船橋市坪井西 2-10-1)。千葉大学大学院自然科学研究科物質高次科学専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》金属や無機化合物の高感度定量と化学状態分析。《趣味》旅行, ドライブ。
 E-mail: nakajimaj@nissanchem.co.jp