

第V部門

X線光電子分光による ASR 劣化したコンクリートの分析

立命館大学理工学部	学生員	○太田 航介・Carlos Aquino
立命館大学理工学部	正会員	水田 真紀・児島 孝之
立命館大学 SR センター	非会員	中西 康二・太田 俊明

1. 緒論

日本では起こらないと思われていた、コンクリート構造物のアルカリ骨材反応（以下、ASR）による劣化が、1983 年の阪神地域での発見を筆頭に、全国各地で発覚している。それ以来、ASR の研究が盛んに行われているが、コンクリート構造物で ASR による劣化が予想以上に著しく進行しているというのが現状である。それらの原因として骨材の多様な反応性や構造物が置かれる環境条件の多様性が考えられ、それゆえ ASR のメカニズムの解明や、現象の把握に基づく効率的な補修・維持管理などの対処法の確立にはなおも時間を要している。ASR のメカニズムを解明するためには、ASR の定量的評価を目指した基礎的な分析データの蓄積が必要である。そこで本研究は、ASR をはじめとするコンクリートの劣化メカニズムの化学分析を通じ、将来、効果的な補修・維持管理方法の提案を目的とし、放射光分析を行った結果について報告する。

2. 実験概要

ASR 劣化したコンクリート供試体内部から粉末試料を採取し、**図 1** に示す X 線光電子分光（ESCA）装置を用いて元素分析することで、反応性骨材、非反応性骨材、セメントペーストの元素組成を比較した。

(1)ESCA の原理

真空中で試料表面に X 線を照射すると、原子軌道の電子が励起され光電子として外に放出される。この光電子が持つエネルギーは各元素に固有のものであるため、この時生じる種々の光電子エネルギーを測定することで、試料の構成元素とその量を分析することができる。

(2)分析方法

ESCA 分析のための粉末試料を採取するため、 $D250 \times W250 \times L600(\text{mm})$ の ASR 劣化した鉄筋コンクリート供試体を端から 90mm のところで切断し（**図 2** 参照）、切断面から **図 3** に示す 4 箇所の粉末試料を採取した。これに使用前の反応性骨材の粉末試料を足して、計 5 種類の試料を分析、比較した。



図1 ESCA装置

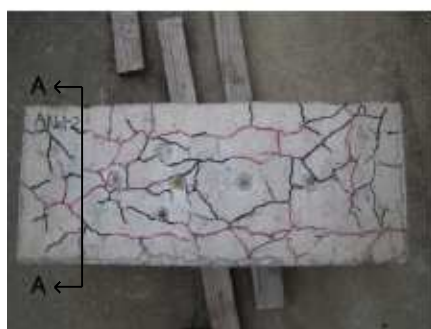


図2 ASR劣化供試体

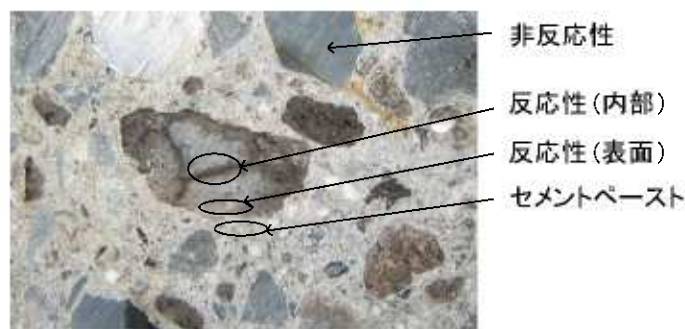


図3 試料採取箇所(A-A断面)

3. 実験結果及び考察

図4にESCAにより分析を行った結果を示す。スペクトルにピークのあるところが、試料に含まれている元素とその量を示している。結果から、どの試料もNa、O、Ca、Si、Alを示すエネルギー値でピークになっていることが分かる。次に、これらの元素の組成比を試料ごとに比較してみた。まず、各試料中の元素の強度を知るために、それぞれのピークが形成する面積を求め、その結果を試料ごとにパーセントに換算し、元素組成比を求めた。その結果を表1に示す。

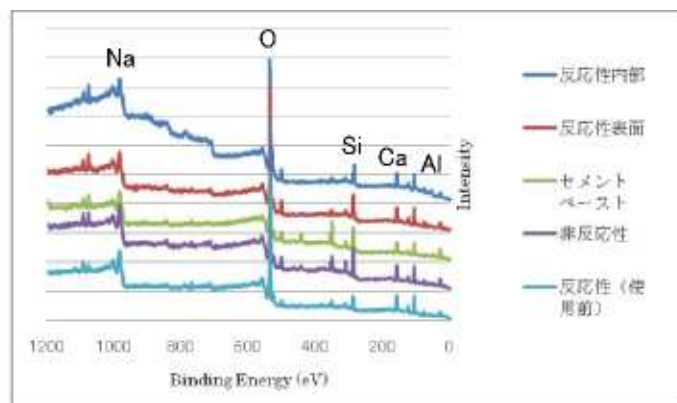


図4 ESCAによる元素分析結果

表1 ESCAによる各試料の元素組成比

	Ca	O	Na	Si	Al
反応性内部	3.09	64.58	3.95	21.36	7.00
反応性表面	2.41	67.36	3.31	21.12	5.78
セメントペースト	7.61	68.46	2.49	16.09	5.33
非反応性	4.09	71.09	1.73	17.94	5.14
反応性(使用前)	2.17	70.29	1.15	20.04	6.33

本分析では、各試料間に明確な差異は見られなかったが、ASR膨張メカニズムの解明に結びつく可能性のあるいくつかの知見が得られた。以下、各元素について考察する。まず、Caに関して、非反応性=4.09に対して反応性(使用前)=2.17であり、非反応性骨材の方が反応性骨材よりも多く含まれていた。いずれの骨材もCaの量は少ないが、Caの含有量の差がASRによる膨張に影響しているかどうかは今後検討の余地がある。

Naに関して、反応性内部=3.95、反応性表面=3.31に対して反応性(使用前)=1.15であり、ASRを起こした反応性骨材の方がASRを起こす前の反応性骨材よりも多く含まれていた。また、非反応性=1.73であり、非反応性骨材にはあまり含まれていないことがわかる。これより、ASRによって反応性骨材とアルカリであるNaが結び付いた可能性がある。あるいは、Naが反応ゲルとして骨材内部に侵入したとも考えられる。したがって、Naがどのような働きをしているかを明確に解明することで、ASRの膨張メカニズムの解明に近づける可能性がある。

Siに関しては、反応性(使用前)=20.04に対して非反応性=17.94であり、反応性骨材の方が非反応性骨材よりも多く含まれていた。これは、一般的にシリカ分(非晶質の SiO_2)を多く含む骨材はASR反応性が大きいといわれていることを反映しているといえる。

4. 結論

本研究で得られた結論を以下にまとめる。

- (1) 非反応性骨材のCa量は反応性骨材のCa量よりも多かったことから、今後、骨材の反応性の判断には、Siの量だけでなく、Caなど他の元素の量も考慮する必要があるだろう。
- (2) 反応性骨材のNa量が反応の前後で異なったことから、今後、Naの働きに着目して研究を進めたい。
- (3) しかしながら、本研究で5つの試料についてESCAによる元素組成比較を行った結果、それほど明確な差異は見られなかった。これは、供試体を切断する際に多量の水を用いたことでアルカリ成分が流れ出したこと、ESCA分析に用いる試料の量が非常に微量であることが、結果に影響した可能性がある。今後はサンプリング方法を工夫し、複数回の分析を行うことで、結果の信頼性を確保していかなければならない。