

天然ゼオライト骨材による ASR 抑制に関する検討

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員○高田 龍一
松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員 柴田 俊文
島根大学 生物資源化学部 正会員 野中 資博

1.はじめに

コンクリートの耐久性が近年大きな課題となっている。耐久性を損なう原因としては、耐候性、塩害などいくつかの要因が挙げられるが、アルカリシリカ反応（以下 ASR）によるコンクリートの劣化も一つの課題となっている。

一方で、良質な骨材の枯渇も大きな課題となっているが、構造物の長期安全性の観点から ASR の危険性のある骨材を排除する方向に向かうのも止むを得ない現状である。ここで、骨材需給が逼迫する中において ASR に対して安全な骨材を供給することは 1 つの重要な視点であると考えられる。

本研究においては、ASR の危険性のある骨材に天然ゼオライト骨材を混入することによる ASR 抑制効果を明らかにし、ASR に対して安全な骨材供給を図ろうとするものである。天然ゼオライトには陽イオン交換能がありナトリウム、カリウムなどの遊離アルカリを固定、吸着しアルカリイオン濃度の低減を図ることにより、ASR の抑制が期待される。ただし、ゼオライト粉体と異なり骨材として使用した場合、比表面積が減少し有効性が懸念され、効果的な混入率を求めることが主要な課題となる。

これまでの研究において、IZ と IW の 2 種類の天然ゼオライト骨材を利用してオパール石反応性骨材の ASR 抑制試験を行った結果、効果に大きな差が生じた。この原因として、サンプリングの違いやそれぞれの天然ゼオライトの構造上の違い、すでに吸着している交換順位の異なるイオンによる吸着性能の差異が考えられた。ここでは、この原因を探るとともに改めてモルデナイト系天然ゼオライトである IW と IZ による ASR 抑制効果について検討を行った。

2.研究概要

過去の研究より、反応性骨材であるオパール石のペシマム混入率は 5%があることを明らかにされたため、反応性骨材として ISO 標準砂にオパール石の 5%混入骨材を用い、これに各種のゼオライト骨材を 5%、10%の割合で混入し、モルタルバー法により抑制効果を実験的に検証した。なお、ゼオライト骨材はモルタルバー法の規定に従って粒度調整を行い使用した。

ここで用いたゼオライト骨材は IZ と IW の 2 種類の天然ゼオライト骨材に対して、イオン交換順位に着目し、無置換のもの、NH⁴置換したもの、H 置換したものをそれぞれ作製し、反応性骨材に混入した。天然ゼオライトを一定時間アンモニア水に浸すことにより NH⁴置換したものを作製し、さらにこれに熱処理を施すことにより H 置換したものを作製した。H 置換したものがもっとも交換性が高いため、NH₄ 置換したも



写真 1 アルカリ骨材反応の実態

表1, 各ゼオライトのイオン存在比率									
No.	サンプル名	CEC(meq/100g)	Na	K	Ca	Mg	NH4	H	total
1	天然IZ	143.07	52.80%	5.90%	32.50%	8.80%	0%	0.00%	100%
2	天然IW	125.66	64.10%	21.40%	7.40%	7.00%	0.00%	0.00%	100%
3	IZアンモニウムイオン置換	143.07	11.20%	4.80%	10.80%	0.80%	72.40%	0.00%	100%
4	IWアンモニウムイオン置換	125.66	15.50%	14.20%	4.40%	0.60%	65.30%	0.00%	100%
5	IZ水素イオン置換	151.07	11.30%	4.70%	4.80%	0.00%	60.90%	18.40%	100%
6	IW水素イオン置換	123.6	12.20%	14.00%	1.60%	0.40%	57.30%	14.40%	100%

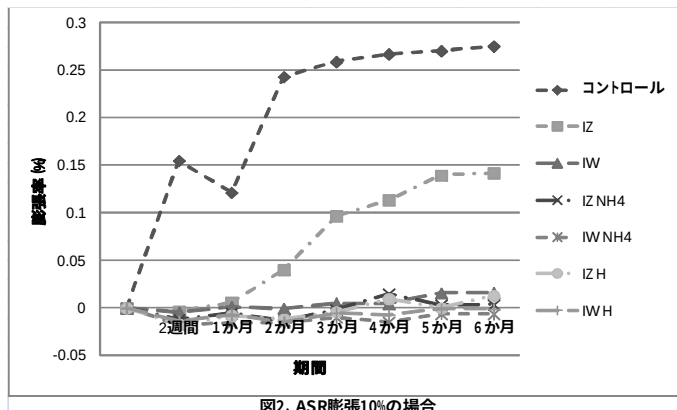
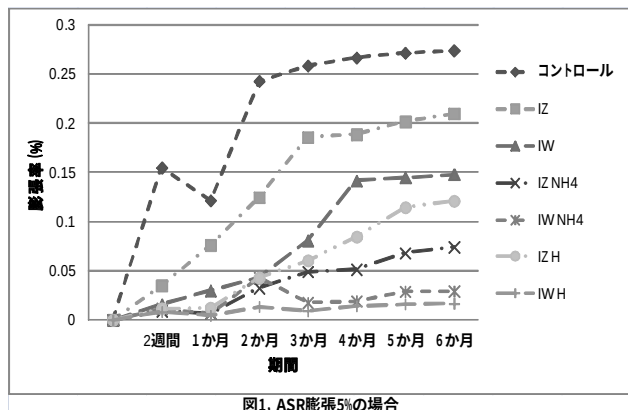
のと比較しより高いな ASR 膨張抑制効果が期待されるものと考えられる。

両ゼオライトに原子集光分析を施すことによってイオン存在比率を明らかにしたものを表 1 に示す。表 1 より天然 IZ は天然 IW と比較して陽イオン交換能は高く、Ca を多く含んでいることが特徴として挙げられる。天然 IW は、天然 IZ と比較して、陽イオン交換が低く、Na, K を多く含んでいるという特徴が見られる。さらに、いずれのゼオライトも NH_4 置換、H 置換では、Na, K が減少し、うまく置換されていることが分かる。しかし、もっとも交換性の高い H 置換では期待した程に NH_4 が排除されていないことが明らかである。

3. 結果と考察

図 1, 2 に 5%混入と 10%混入した場合の ASR 膨張試験結果を示す。2つの図を比較すると分かるように両ゼオライトの混入率ごとの膨張抑制効果は、5%に比べ 10%混入した場合の方がより膨張抑制効果が発揮されている。これはゼオライトの混入率が高いことによる Na, K の交換量が多いことに起因していると考えられる。また、両図において天然 IZ と天然 IW を比較してみると、天然 IZ では ASR の原因である Na, K の含有率が少ないため天然 IW より高度な膨張抑制効果が期待されていたが、昨年度と同様に IW の膨張抑制効果が IZ に比べ発揮されていた。このことから、Na, K イオンの吸着効果は必ずしも、天然ゼオライトが持っている、Na, K に依存しないことが明らかであり、不純物などの別の項目を検討する必要があると考えられる。

混入率 5%の図 1 において、 NH_4 置換、H 置換に着目すると、IW はいずれも無害域にあるが IZ はイオン交換効果が高いと考えられる H 置換したものより NH_4 置換したものの効果が高く無害域にあり、H 置換したものは高い膨張性を示している。これは、表 1 からわかるように両者の Na, K 濃度に変化が無く別の要因が起因していると考えられる。一方で、上述したように NH_4 置換は H 置換のための中間体であり熱処理前であることを考えると、むしろ経済的かつ有効な加工処理であると考えられる。一般に、 NH_4 置換体は Na, K よりも交換順位が高いところにあるが、 NH_4 置換体に Na, K イオンとの交換に高い効果が見られるのはイオン濃度差による希釈効果に伴って置き換わったものと考えられる。



4. まとめ

結果より、天然 IZ に比べて天然 IW の ASR 膨張抑制効果が高いことが明らかになった。また、イオン交換順位からすると NH_4 置換より、さらに熱処理を加えた H 置換したものがより効果的であると考えられたが、結果からは H 置換したものより NH_4 置換のみで充分高い抑制効果が明らかとなった。この原因としては、陽イオン交換能とは異なるゼオライトが含む不純物、細孔構造などに起因していることが考えられる。

今後の課題として、細骨材の JIS 基準を満足する少量のゼオライト骨材で ASR 抑制効果を発揮するためには IW ゼオライトの NH_4 置換について詳細な検討が必要である。さらに、IZ ゼオライトについては交換能に影響を及ぼしている含有イオンとは別の要因を明らかにする必要があると考えられる。