

合理的なアルカリシリカ反応抑制対策の研究開発（3）

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 25

担当チーム：地質・地盤研究グループ

特命事項担当（地質リスク）・地質チーム

研究担当者：阿南 修司（特命上席）、

浅井 健一

【要旨】

ASR抑制対策の1つとして採用されているアルカリ総量規制に係る、骨材からのアルカリ溶出について、骨材 32 種類、鉱物 2 種類を使った水酸化カルシウム飽和溶液浸せき法によるアルカリ溶出試験による検討を行った。今回の試験の範囲内では、骨材から溶出したアルカリ量はアルカリ総量規制に影響を与えるほど多くなかった。一方で、粒径 0.15mm 以下の細粒分やモンモリロナイトからはアルカリが多く溶出したことから、これらの混入を抑制する適切な品質管理が重要であるといえる。

キーワード：アルカリ 骨材 溶出

1. はじめに

アルカリシリカ反応 (ASR) はコンクリート構造物に重大な損傷を生じさせるものであり、ASR 抑制対策が平成元年に提案され実施されてきた。しかし、近年抑制対策施行後に建造されたコンクリート構造物にも損傷を生じる事例が報告されている。これに対し、本課題はASR抑制対策の1つとして採用されているアルカリ総量規制に係る、骨材からのアルカリ溶出について溶出試験による検討を行った。

2. 研究方法

土木研究所構内で約 20 年間曝露された供試体の粗骨材として使用された岩石について、アルカリ溶出を検討するための既往の研究（野村ほか¹⁾、池田ほか²⁾ など）で採用されている試験方法の1つである水酸化カルシウム飽和溶液浸せき法によるアルカリ溶出試験を行った。試験は曝露でASRが報告された供試体に使用されていた粗骨材（別途保管されていたもの）および比較のため若干の鉱物について、粒径5～0.15mmに調製したものを20g用意し、200mlの水酸化カルシウム飽和溶液に浸せきし、温度38°Cで養生しながら定期的に10～20mlの溶液を採取しNaおよびKの濃度を測定した。採取により減少した分の溶液量は採取毎に補充した。ただし、鉱物のうちモンモリロナイトについては膨潤のため溶液200mlでは浸せき状態にならないことと、用意でき

た試料が19gのため、760mlの溶液に浸せきした（通常試料の固液比1/10に対し、1/40の固液比で設定）。なお、通常試料について溶液量を200mlとしたのは以下の理由による。

- ① 鉱物を使って予備的に行った溶出試験（試験方法は3.1参照）において、静置した上澄み溶液の分析を行った結果、モンモリロナイトでは浸せき直後（1時間後）の溶液で既に14mg/g（＝1400mg/L）のNa濃度を示し、浮遊している細粒分の影響が懸念されたことから、本試験ではメンブレンフィルターによる濾過を確実に行う必要があると判断した。（なお、野村ほか¹⁾および池田ほか²⁾では測定に際してメンブレンフィルターによる濾過を行ったかどうかについては明記されていない。）
- ② メンブレンフィルターによる濾過を行うためには測定毎に溶液（必要量10～20ml）を採取する必要があるが、野村ほか¹⁾と同じ溶液40mlでは4回程度の採取で3分の2以上が新鮮な溶液に入れ替わってしまうことから、溶液量を多くした。

なお、溶液の濾過に用いるメンブレンフィルターは孔径0.2μmのものを用いた。本試験に用いた骨材は32種類、鉱物は2種類（黒雲母およびモンモリロナイト）である。なお、モンモリロナイトについては、比較のため濾過を行った溶液と行っていない

溶液の両方について測定を行った。採取日は浸せき直後（1時間後）、1日後、3日後、7日後、14日後、21日後、28日後、35日後、採取量は測定の都合上、7日後までが1回につき10ml、14日後以降が1回につき20mlとした。

3. 研究結果

3.1 予備試験結果

鉱物（正長石、曹長石およびモンモリロナイト）を使って予備的に行ったアルカリ溶出試験結果を図-1および図-2に示す。正長石、曹長石については野村ほか¹⁾と同じ試料20g、溶液40mlで行ったが、モンモリロナイトについては膨潤のため溶液40mlでは浸せき状態にならないため、800mlの溶液に浸せきした。分析は静置した上澄み溶液を採取して行った（採取による減少分の溶液量は採取毎に補充した）が、本試験と異なり、メンブレンフィルターによる濾過は行っていない。採取日は浸せき直後（1時間後）、7日後、14日後、21日後、採取量は1回

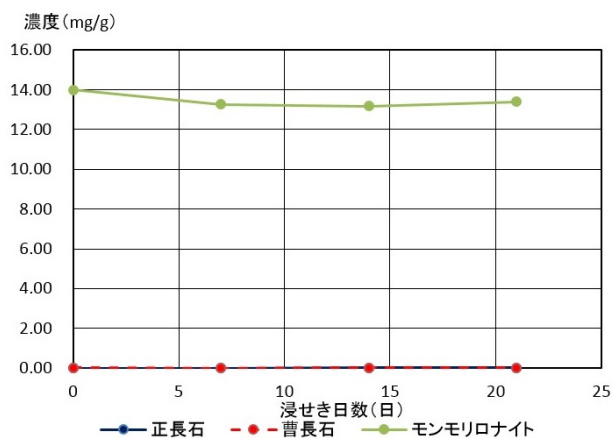


図-1 予備試験における Na 濃度

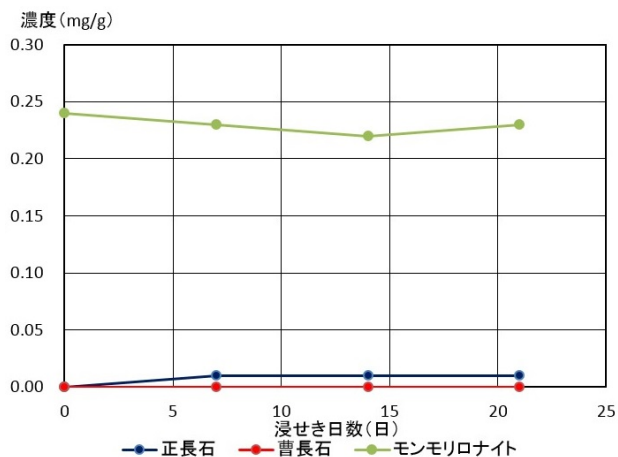


図-2 予備試験における K 濃度

につき 10ml とした。①で述べたとおり、モンモリロナイトでは浸せき直後の溶液で既に 14mg/g (= 1400mg/L) の Na 濃度を示し、細粒分が浮遊している可能性とその影響が懸念された。一方、正長石および曹長石からのアルカリ溶出は顕著でない。

3.2 アルカリ溶出試験（本試験）結果

骨材 32 種類、鉱物 2 種類（黒雲母およびモンモリロナイト）を使ったアルカリ溶出試験による Na および K の濃度を図-3 および図-4 に、溶液の採取および補充を考慮した Na および K の累計溶出量を図-5 および図-6 に示す。また、それらのうち骨材試料について溶出量の頻度（割合）を図-7 および図-8 に示す。Na の累積溶出量については浸せき開始 1 日後では 9 割近くの骨材試料が 0.5mg 未満（20g からの溶出量）であり、その後徐々に増加し、35 日後においては 1.5mg 未満で約 8 割、2.5mg 未満で約 9 割であった。その一方で、早期の段階で Na の累積溶出量が 10mg を越える試料が 2 試料あった。K の累積溶出量については浸せき開始 1 日後では 9 割以上の骨材試料が 0.5mg 未満（20g からの溶出量）であり、その後徐々に増加し、35 日後においては 1.5mg 未満で約 8 割、2.0mg 未満で約 9 割であった。また、Na の場合と異なり、35 日後の累計溶出量は最高でも 3.5mg 未満であった。

一方、モンモリロナイトからの Na の溶出量は、メンブレンによる濾過を行った場合においても浸せき直後で既に約 62mg が溶出しており、固液比の違いを考慮しても、アルカリを溶出しやすいことを示している。このことから、風化が進んで粘土鉱物が生成しているような骨材ではアルカリを溶出しやすいのではないかと考えられる。

図-9 に同じ骨材試料で粒径を変えて試験を行った場合の累計溶出量の例を示す。粒径が小さい方が溶出量が多くなる傾向にあるが、粒径 5~2mm の場合と 2~0.15mm の場合の溶出量の違いは大きくないのに対し、粒径 0.15mm 以下の場合には溶出量が顕著に多くなる。これは粒径別の溶出試験を行った 11 種類の骨材に共通の結果であった。粒径 0.15mm 以下は JIS A5308 の附属書 1「レディーミクストコンクリート用骨材」8.2 b) で質量分率が一定量以下に規定されている粒径であり、JIS 規格に適切に従った品質管理によって細粒分の混入を抑制することが重要であることを示している。

骨材試料について溶出した Na および K を Na_2O

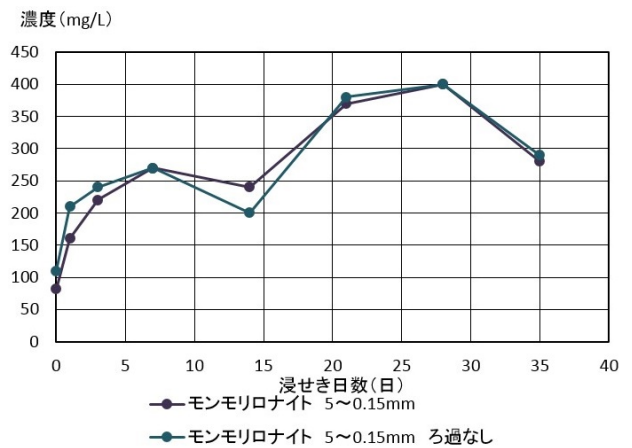
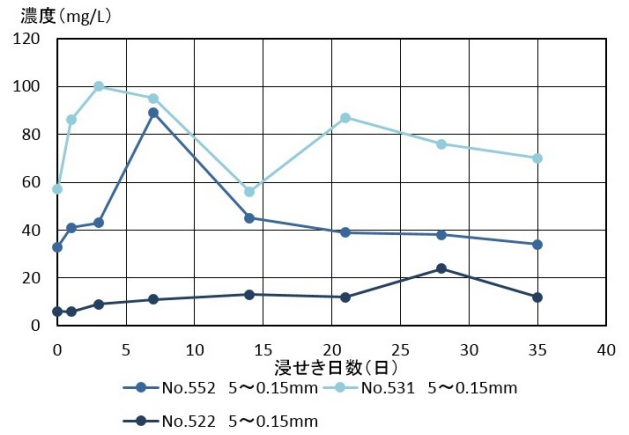
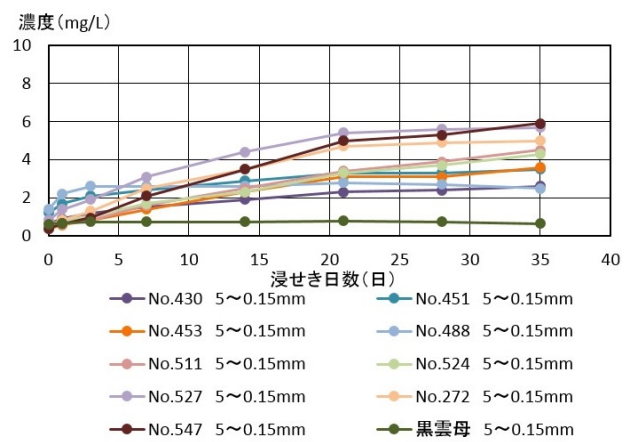
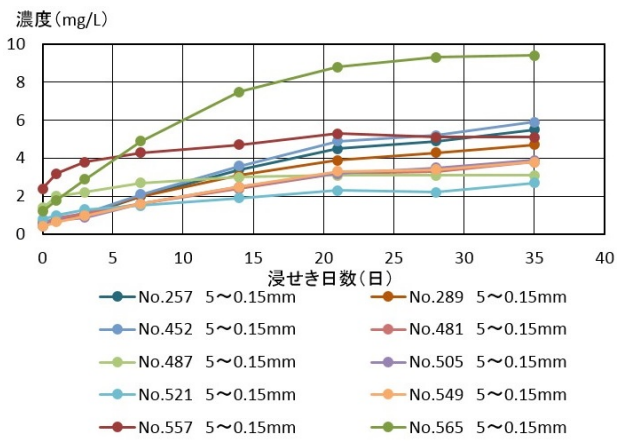
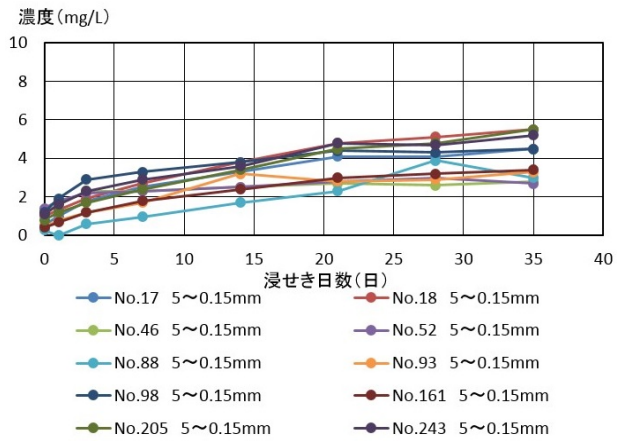


図-3 本試験における Na 濃度

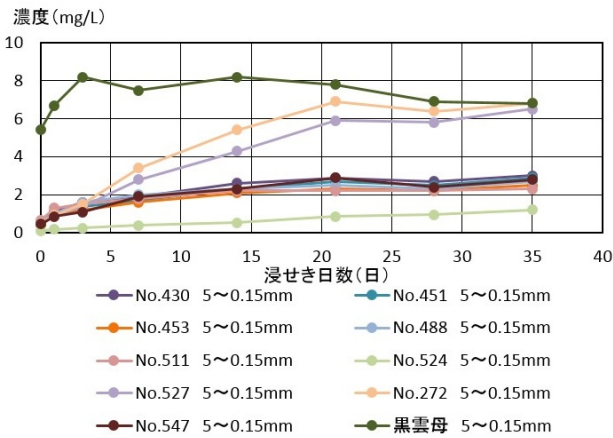
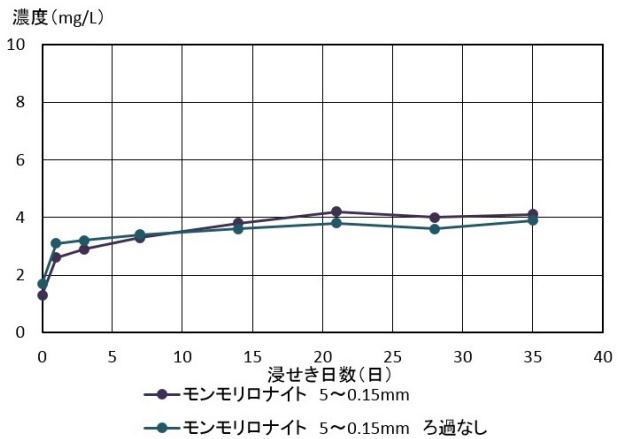
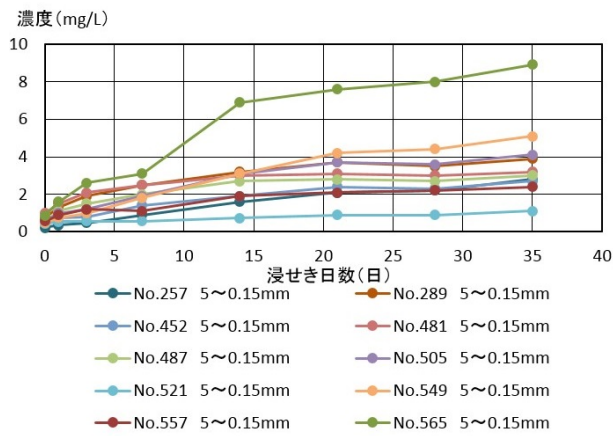
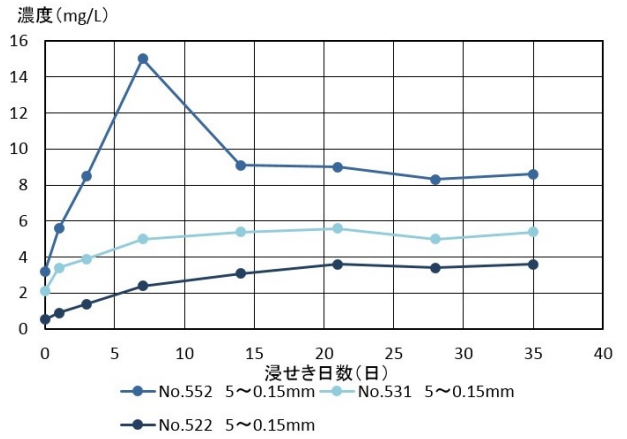
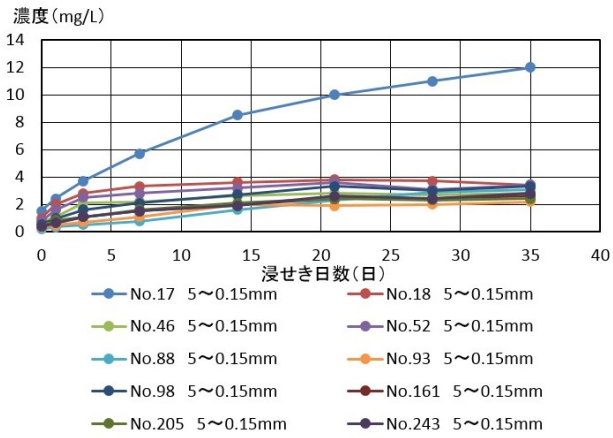


図-4 本試験における K 濃度

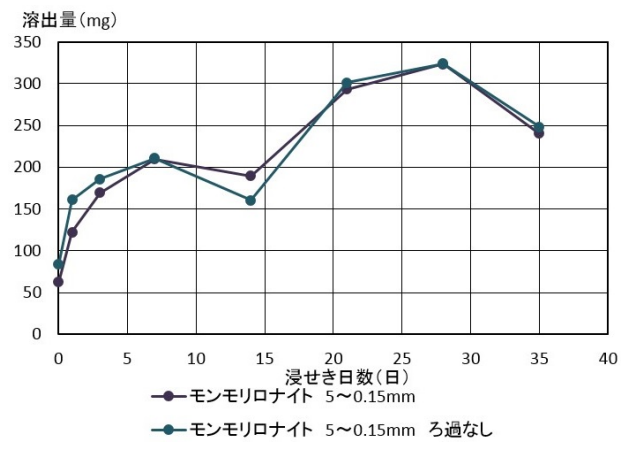
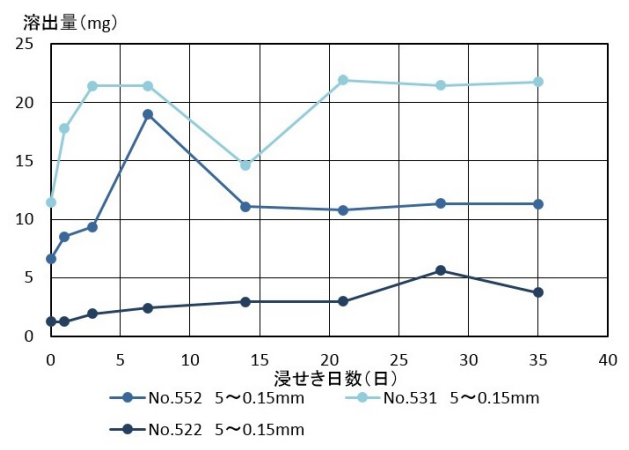
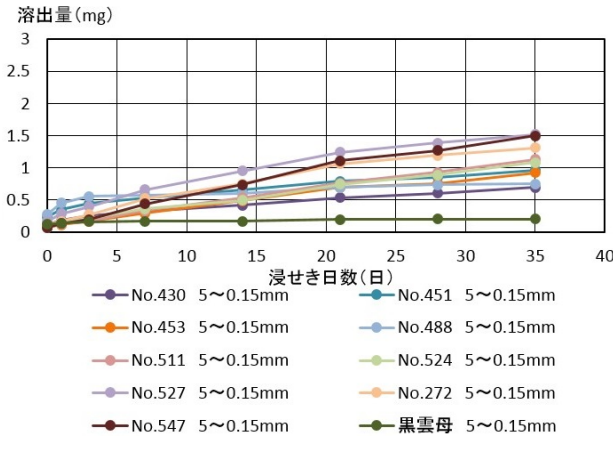
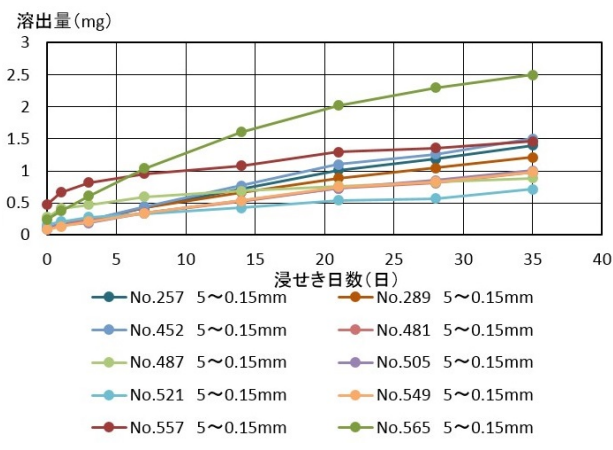
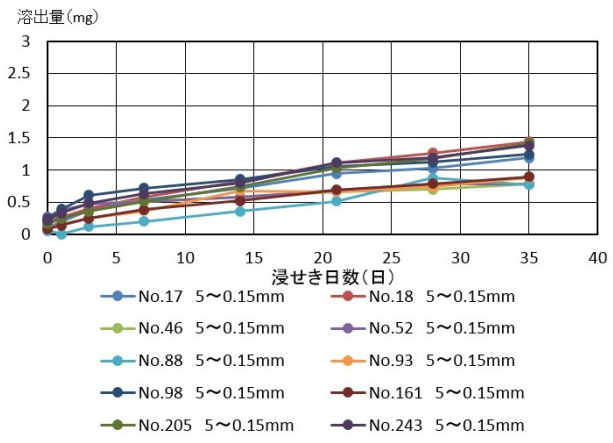


図-5 本試験における Na 累計溶出量

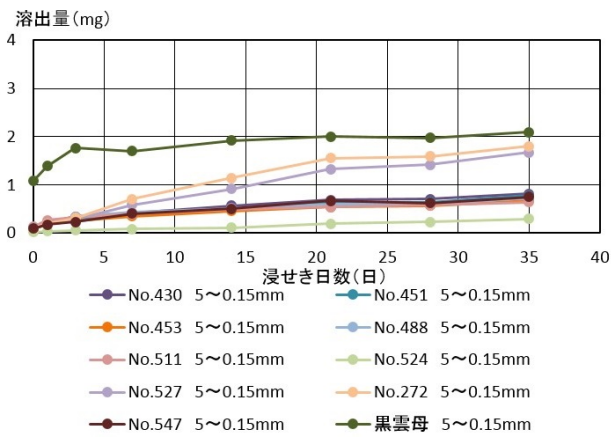
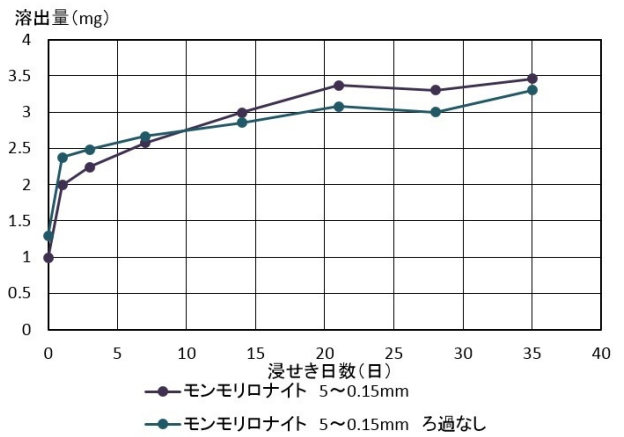
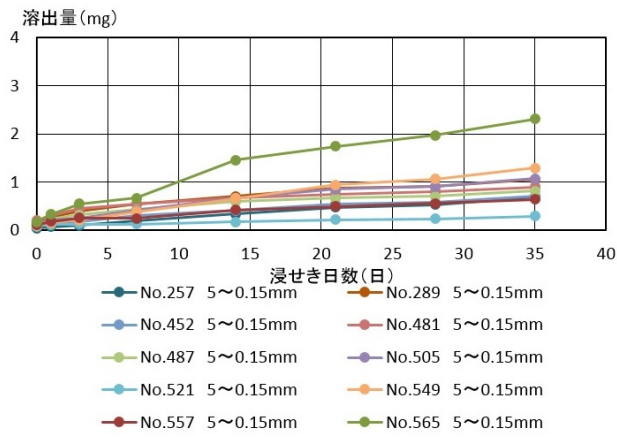
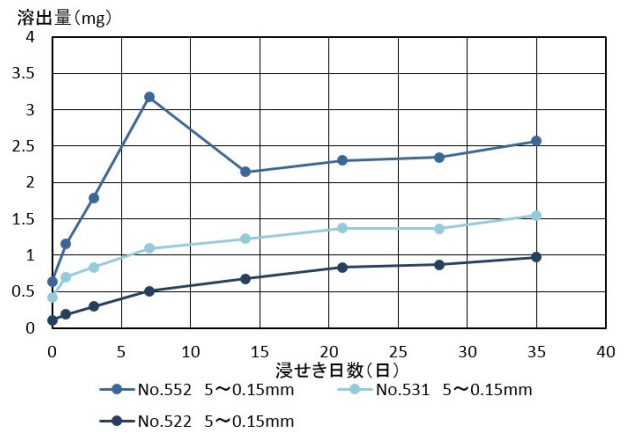
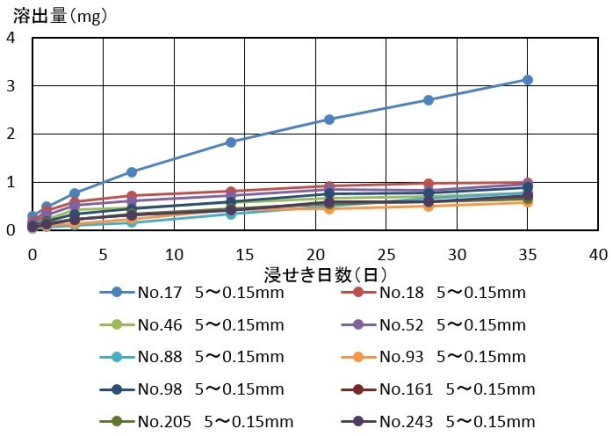


図-6 本試験における K 累計溶出量

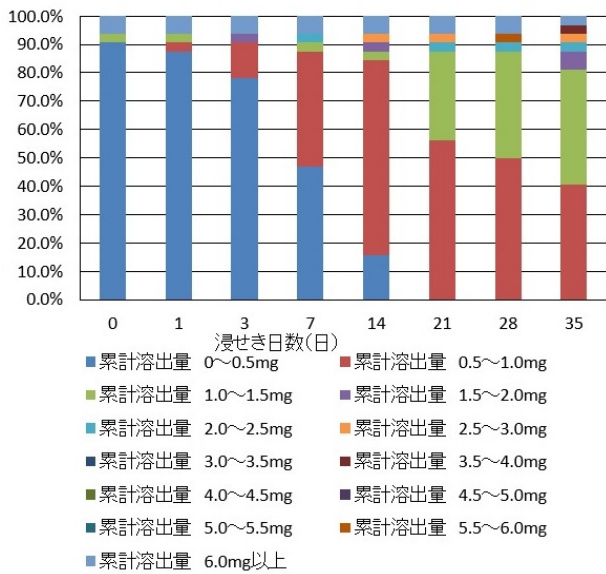


図-7 本試験における Na 累計溶出量の頻度

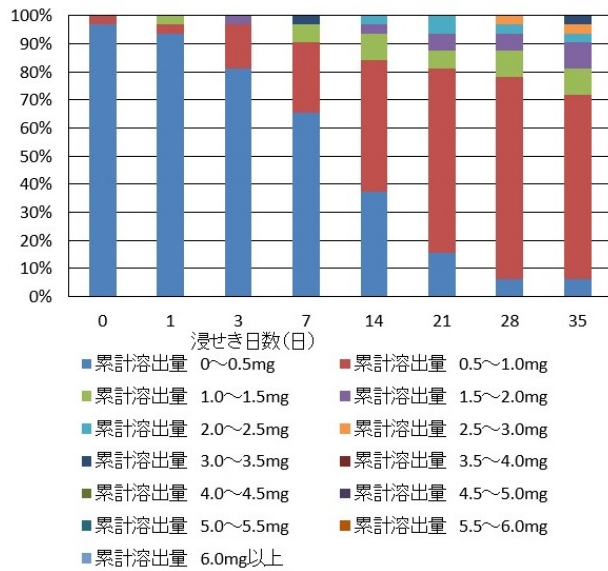


図-8 本試験における K 累計溶出量の頻度

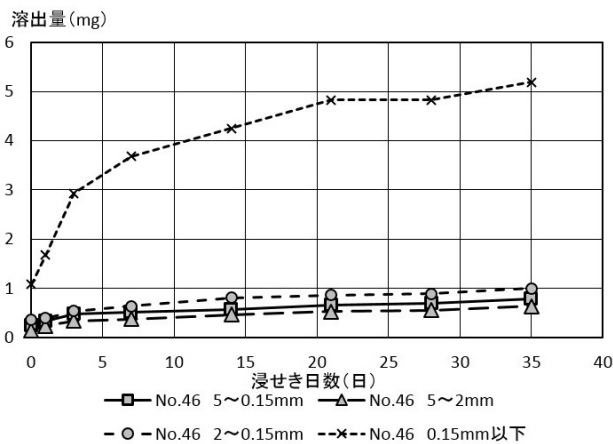


図-9 粒径別の Na 累計溶出量の例

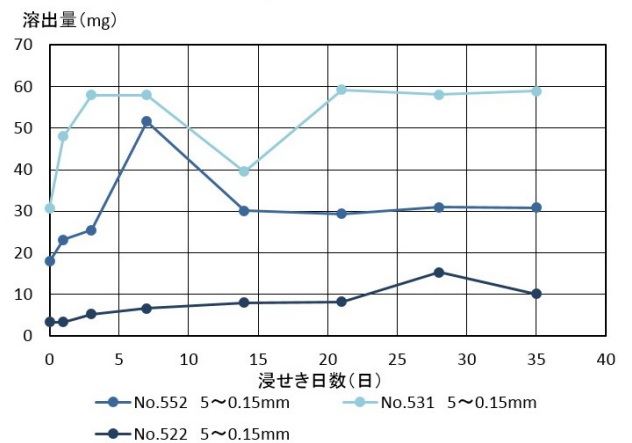
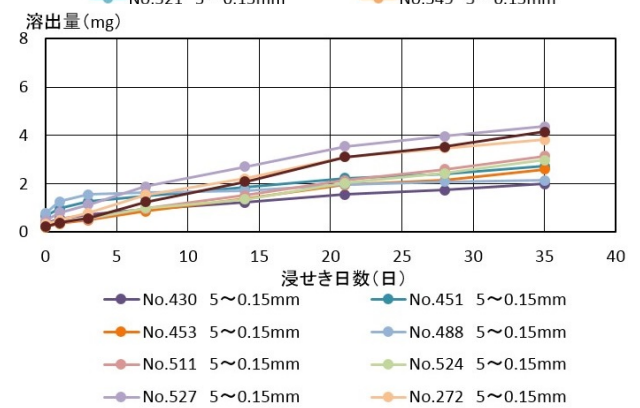
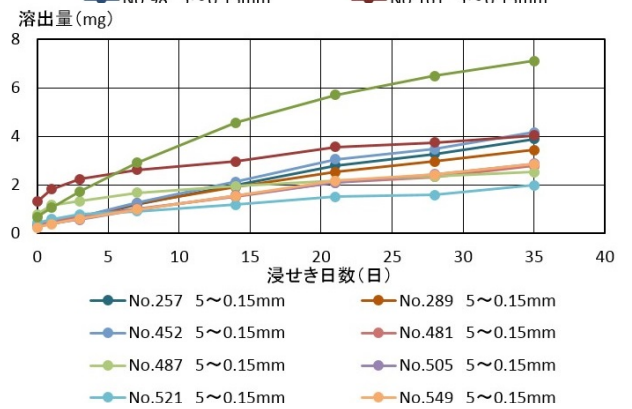
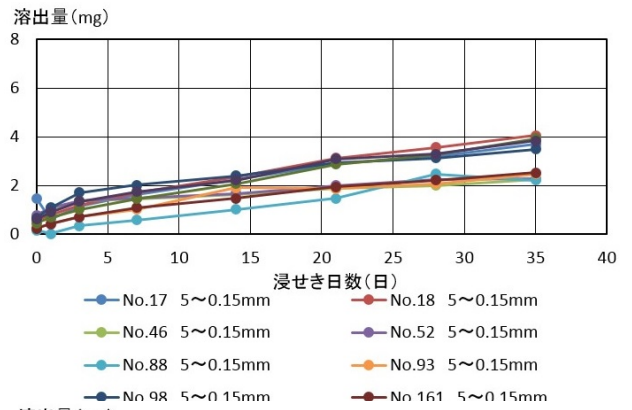


図-10 本試験における Na₂O 換算累計溶出量

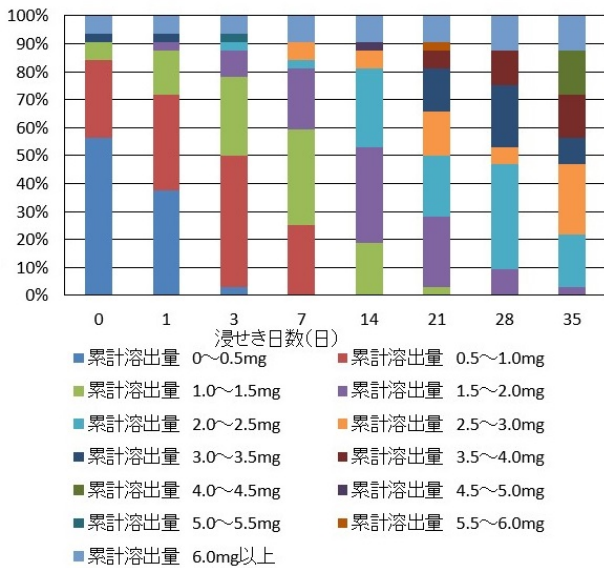


図-11 本試験における Na_2O 換算累計溶出量頻度

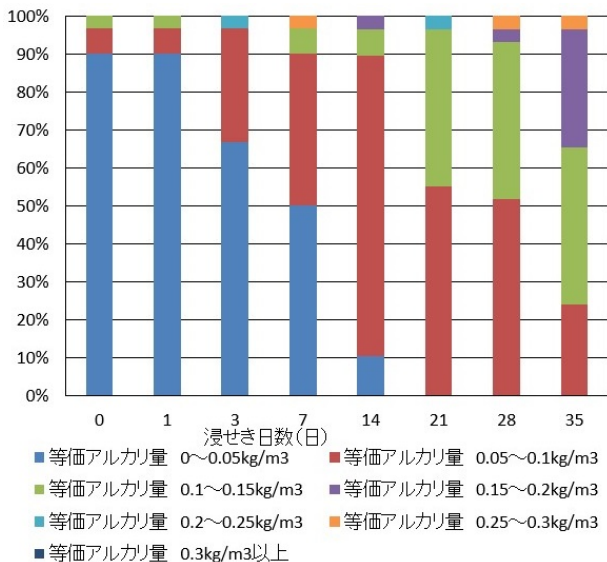


図-12 本試験における骨材からの Na_2O 換算アルカリ量頻度

量に換算した累計溶出量を図-10に、また、それらの溶出量の頻度(割合)を図-11に示す。溶出量の傾向は35日後でも完全には収束していないが、初期に比べて溶出の速度が遅くなっている傾向のものが大半である。また、浸せき開始1日後で約9割の骨材試料が2.0mg未満(20gからの溶出量)であり、その後徐々に増加し、35日後においては3.0mg未満で5割弱、4.5mg未満で8割強であった。この結果をもとに、野村ほか¹⁾と同じコンクリート配合の仮定(細骨材量800kg/m³)に基づき算出した骨材由来のアルカリ量の頻度を図-12に示す。浸せき開始1

日後で約9割の骨材試料が0.05kg/m³未満で、14日後で約9割の骨材試料が0.1kg/m³未満であり、35日後においても0.15kg/m³未満で6割強、0.2kg/m³未満で9割以上であった。今回の試験の固液比は野村ほか¹⁾に比べて液体比率が高く溶出しやすい条件であったが、骨材からの溶出は今回の試験の範囲内ではアルカリ総量規制に大きく影響するほどの量ではなかったといえる。

なお、溶出量が多い3種類の骨材(本報告でのNo.552、No.531、No.522)については、No.552および531がモンモリロナイト、No.522が緑泥石を含んでいるが、他の骨材においてもこれらを含むものは少なからず存在し、鉱物組成における違いは明確でなかった。

4. まとめ

A S R抑制対策の1つとして採用されているアルカリ総量規制に係る、骨材からのアルカリ溶出について、骨材32種類、鉱物2種類を使った水酸化カルシウム飽和溶液浸せき法によるアルカリ溶出試験による検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

- 1) モンモリロナイトからのNaの溶出は浸せき直後から顕著に溶出した。
- 2) 粒径別の溶出試験では、粒径が0.15mm以下では溶出量が顕著に多くなった。
- 3) 溶出試験結果をもとに、骨材からのアルカリ量を算出した結果、浸せき開始1日後で約9割の骨材試料が0.05kg/m³未満で、14日後で約9割の骨材試料が0.1kg/m³未満であり、35日後においても0.15kg/m³未満で6割強、0.2kg/m³未満で9割以上であった。
- 4) 以上のことから、今回の試験の範囲内では、骨材からのアルカリ量はアルカリ総量規制に影響を与えるほど多くなかったといえる。一方で、風化が進んで粘土鉱物が生成しているような骨材や細粒分が多く混入する場合にはアルカリが溶出しやすいと考えられ、これらの混入を抑制する適切な品質管理が重要であるといえる。

参考文献

- 1) 野村昌弘・渡辺暁央・鳥居和之：「砂のアルカリ溶出性状と構造物における骨材からのアルカリ溶出の検証」、コンクリート工学年次論文集、Vol.29、No.1、pp.153-158、2007年7月。
- 2) 池田隆徳・濱田秀則・佐川康貴・山田一夫：「骨材から

のアルカリ溶出性状とASRによる膨張に対する影響
の評価」、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.1、
pp.917-922、2010年7月.

研究
予算
：
運
営
費
交
付
金
（
—
—
勘
定
）
研
究
期
間
：
平
〇
～
平
〇
担
当
チ
ー
ム
：
〇
〇
〇
〇
チ
ー
ム

STUDY AND DEVELOPMENT OF RATIONAL PREVENTIVE MEASURES AGAINST ALKALI-SILICA REACTION (3)

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2013

Research Team : Geology and Geotechnical Engineering

Research Group

Chief Researcher for Geological Risk

Geology Team

Author : Shuji ANAN

Ken-ichi ASAI

Abstract : Concerning the restriction of total alkali content, one of the preventive measures against alkali-silica reaction, we made alkali release tests by immersion method using 32 kinds of aggregates and 2 kinds of minerals immersing in saturated Ca(OH)₂ solution.

The result of tests was that the alkali contents released from the aggregates were not so large to influence the restriction of total alkali content. On the other hand, large contents of alkali were released from fine powder aggregates under 0.15mm in diameter and montmorillonite. It is important to prevent mixing of these materials in concrete by suitable quality control.

Key words : alkali, aggregate, release