

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 6日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560468

研究課題名（和文） プロピオン酸カルシウムによるアルカリ骨材反応の抑制に関する研究

研究課題名（英文） STUDY ON CONTROL OF ALKALI AGGREGATE REACTION OF CALCIUM PROPIONATE

研究代表者

岩月 栄治 (IWATSUKI EIJI)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：10278228

研究成果の概要（和文）：本研究はコンクリートの劣化現象であるアルカリ骨材反応(ASR)の容易な抑制方法として、アルカリを低下させる作用のあるプロピオン酸カルシウムを少量添加する方法を検討した。実験方法はプロピオン酸カルシウムを添加した反応性骨材を用いたコンクリート供試体を作製して、実験室内における反応促進環境と屋外暴露環境に設置し、膨張率の測定等を行った。この結果、プロピオン酸カルシウムを添加した供試体は膨張が抑制されており、ASRの抑制効果があることがわかった。

研究成果の概要（英文）：The present study examined the method of adding a small amount of calcium propionate with the effect of decreasing the alkali as an easy control method of the alkali aggregate reaction (ASR) of a concrete degradation phenomenon. The experiment method observed the reaction situation by making a concrete test piece using the reactive aggregate that added the calcium propionate, and setting it up in the reactive promotion environment and the outdoor exposure environment in the laboratory. As a result, the test piece that adds the calcium propionate has understood the reaction of ASR is controlled.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、土木材料学・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート、コンクリートの耐久性、アルカリ骨材反応

## 1. 研究開始当初の背景

コンクリートの劣化現象であるアルカリ骨材反応(ASR)は1985年に社会的問題となり、これまでに多くの研究が行われてきた。しかし、いまだ反応メカニズムなど不明な点が多い。このような中で現時点の抑制対策として以下の3つの方法がある。

①コンクリート中のアルカリ総量の規制

②フライアッシュや高炉水砕スラグ粉末などの混和材や混合セメント等の使用

③反応しない骨材の使用

アルカリ総量の規制はコンクリート 1m<sup>3</sup>中に含まれるアルカリ総量を Na<sub>2</sub>O 換算で 3kg 以下としている。しかし、近年、使用実績のない骨材や産業副産物を再生利用した骨材などに反応性が高い骨材があり、アルカリ総量の規制範囲内で

あっても ASR の劣化が認められる構造物がある。また、混合セメント等の使用では、別途、混合セメントの貯蔵施設が必要となる。さらに施工時の脱型が遅れることや、硬化後のコンクリート表面の色合いの問題などから、必ずしも積極的に使用されていない。これらから実際の ASR の抑制対策は反応しない骨材の使用を施主側が求める場合が多い。しかし、良質で使用実績のある無害な骨材を確保することは難しいことから、さらに容易な ASR の抑制方法の開発が求められている。

## 2. 研究の目的

ASR の容易な抑制方法は「設備が不要で簡便な方法」である。例えばコンクリート運搬中のミキサー車に ASR の抑制効果がある薬品を少量添加するなどの方法が考えられる。この抑制方法がもたらす利点は、ASR 抑制対策のための設備が不要であり、さらに地域で産出される反応性骨材が使用可能となり地産地消の観点か資源の有効活用ができる点と、骨材の運搬距離の削減から CO<sub>2</sub> 排出量の削減できる。

ASR を抑制するには、反応に関わる反応性を有する骨材・水・アルカリのうち 1 つを削除することで可能となるため、本研究ではアルカリに注目して反応が起こらない程度にアルカリを低下させる薬品をコンクリートに添加する方法を検討しプロピオン酸カルシウムに ASR の抑制効果があることがわかり、2006 年からモルタルによる基礎研究を開始した。なお、プロピオン酸カルシウムは防かび効果を有する有機の食品添加物で、無害の物質である

本研究は、プロピオン酸カルシウムによる ASR の抑制をさらに実用的にするため、コンクリートでの実験を行い、ASR 抑制効果や強度性状に与える影響を検討した。さらに 2006 年に作製したモルタル供試体の長期測定と顕微鏡を用いた内部の微細な反応状況の観察を行った。

## 3. 研究の方法

本研究では以下の項目を実施した。

### (1) コンクリートによるプロピオン酸カルシウムの ASR 抑制効果の検討

反応性骨材を用いたコンクリート供試体のプロピオン酸カルシウムを添加して、膨張率の測定を行った。供試体形状は  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  とした。使用骨材は ASR 反応性の堆積岩のチャート質山砂利と火成岩の安山岩碎石を用い、比較のために反応を有しない石灰岩を用いた。供試体の貯蔵は 40°C、湿度 95% の促進環境状態とした。

### (2) プロピオン酸カルシウムがコンクリートの強度性状に及ぼす影響の検討

プロピオン酸カルシウムを添加したコンクリートの圧縮強度と弾性係数の測定を行い、有機物であるプロピオン酸カルシ

ウムがセメントの水和反応に及ぼす影響を調べた。

### (3) 屋外暴露の大型コンクリート供試体によるプロピオン酸カルシウムの ASR 抑制効果の検討

屋外暴露した大型コンクリート供試体による ASR 抑制効果の検討を行った。供試体の形状は  $\phi 300 \times 600\text{mm}$  とし、愛知工業大学八草キャンパスの実験室屋外に設置した。供試体には長さ方向の側面にステンレスチップを設置して膨張率の測定を行った。また、超音波伝搬速度も同時に測定した。写真 1 に供試体の設置と膨張率測定状況を示す。

### (4) プロピオン酸カルシウムを添加したモルタルの長期の ASR 抑制効果の確認

既往の研究で作製したプロピオン酸カルシウムを添加したモルタル供試体の膨張率を測定し、長期の ASR 抑制効果の継続を検討した。

### (5) プロピオン酸カルシウムを添加したモルタル供試体の微細構造の観察

長期貯蔵したモルタルから試料を採取して偏光顕微鏡観察を行い、プロピオン酸カルシウムの抑制状況を検討した。



写真 1 屋外暴露の大型コンクリート供試体 (左) と膨張率測定状況 (右)

## 4. 研究成果

### (1) プロピオン酸カルシウムを添加したコンクリートの ASR 膨張挙動

図 1 に 40°C 湿度 95% に貯蔵した  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  のコンクリート供試体の膨張挙動を示す。チャートは 470 日以後から再度膨張をしており、プロピオン酸を添加した供試体も同様に膨張している。この内、アルカリ量  $3\text{kg/m}^3$  ではプロピオン酸を添加していても、470 日以降は無添加とほぼ同じ膨張挙動を示している。安山岩のアルカリ量  $6\text{kg/m}^3$  ではプロピオン酸無添加は 470 日で再度膨張しているが、添加は膨張していない。それに対してアルカリ量  $3\text{kg/m}^3$  のプロピオン酸添加は 470 日以降から膨張しており、無添加とほぼ同じ膨張率となっている。無害の石灰岩はチャートや安山岩のような 470 日以降の膨張率の急激な増加はほとんどみられない。これらの結果からコン

クリートにおいてもプロピオン酸を添加することによってASRの膨張を抑制できることが明らかになった。しかし、長期になると抑制効果が減少することもみられたので今後はさらに長期の観察を実施する必要がある。

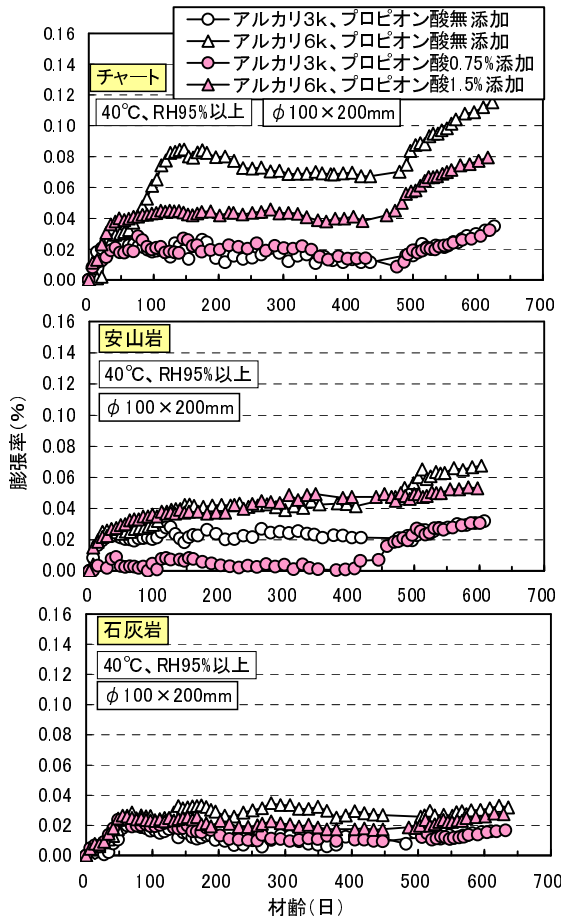


図1 反応促進環境（40℃湿度 95%）におけるコンクリート膨張挙動

(2) プロピオン酸カルシウムを添加したコンクリートの強度性状

図2にチャートを用いたコンクリートのヤング係数と圧縮強度の関係を示す。この図にはコンクリート標準示方書に示されている普通コンクリートのヤング係数と圧縮強度の関係を線で示した。試験結果にはばらつきが見られるが概ね標準示方書の関係付近に分布している。このことから本研究の範囲では、有機物であるプロピオン酸カルシウムをコンクリートに添加しても強度性状に大きな影響を示さないことがわかった。アルカリ量  $6 \text{ kg/m}^3$  のプロピオン酸添加は示方書の線より上部に位置しているが、ASRによる膨張はみられない。一方で、無添加は示方書の線の下部に位置しており、ASRによる膨張がみられる。このことからASRの強度性状の特徴で

あるヤング係数の低下を示した結果となっており、プロピオン酸カルシウムによってASRが抑制されていることがわかる。

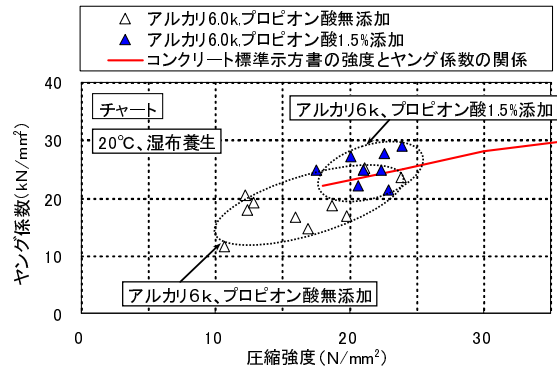


図2 プロピオン酸カルシウムを添加した反応性骨材使用コンクリートのヤング係数と圧縮強度の関係

(3) 屋外暴露した大型コンクリート供試体の膨張挙動

図3に2010年に作製した屋外暴露の大型コンクリート供試体の膨張挙動を示す。屋外暴露の開始後から現在に於いて著しい変化はみられない。しかしプロピオン酸カルシウムの無添加の供試体はASR初期の特徴である黄褐色の変色や微細なひび割れが確認されたが、プロピオン酸添加では変状がみられなかったことから、ASRは抑制されていると判断される。また同時に測定している超音波伝搬速度の低下も確認されないことから、内部にはASRによるひび割れは発生していないと思われる。

さらに2011年にアルカリ量を  $9 \text{ kg/m}^3$  に高めてASRを促進した供試体を作製した(図4)。この結果ではプロピオン酸カルシウムによるASR抑制効果が明らかとなっている。

屋外暴露は実験室内の促進環境と比べてASR反応が遅いため、現時点ではプロピオン酸カルシウムの抑制効果が明確ではないため、今後も測定を継続する。

(4) プロピオン酸カルシウムを添加したモルタルの長期の膨張挙動

図5にプロピオン酸カルシウムを添加したモルタルの長期の膨張挙動を示す。反応性骨材がチャートと粘板岩であってもプロピオン酸カルシウムの添加量が多いほど膨張が抑制されており、貯蔵初期では1.8%添加すればほとんど膨張が抑制されている。しかし1200日以降から添加率1.8、3.6、5.4%添加は若干膨張傾向を示していることから、今後もさらに長期の挙動を確認する必要がある。

図6にモルタルの膨張率とプロピオン

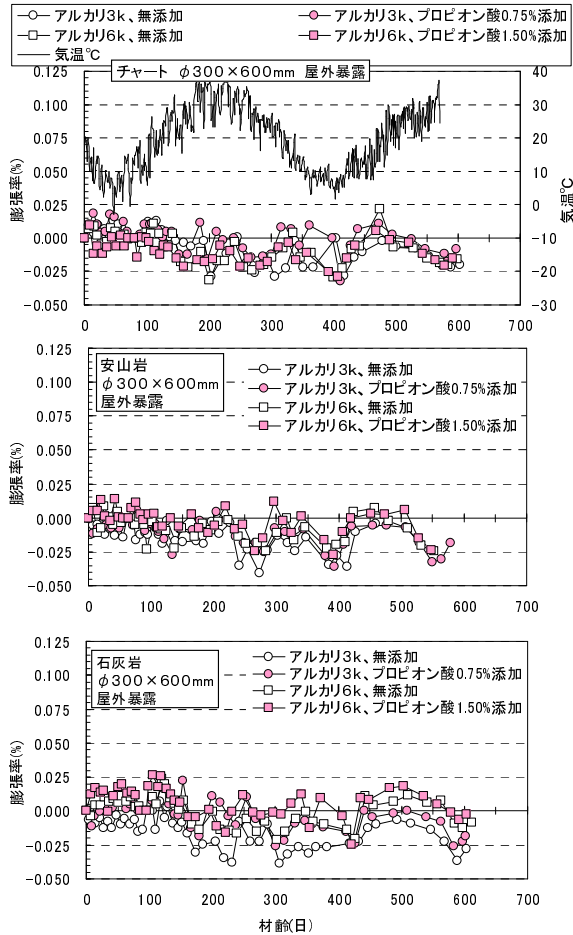


図3 屋外暴露の大型コンクリート供試体の膨張挙動

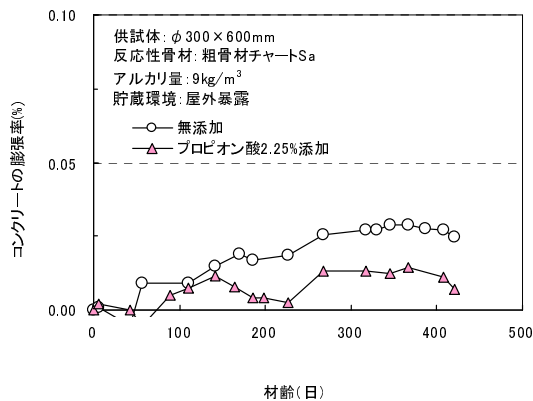


図4 アルカリ量 9g/m³の屋外暴露の大型コンクリート供試体の膨張挙動

酸カルシウムの添加量の関係を示す。同じ堆積岩のチャートと粘板岩であってもプロピオン酸カルシウムの添加量による抑制効果が若干異なっているが、セメント量の2%以上を添加すれば抑制効果があることがわかった。

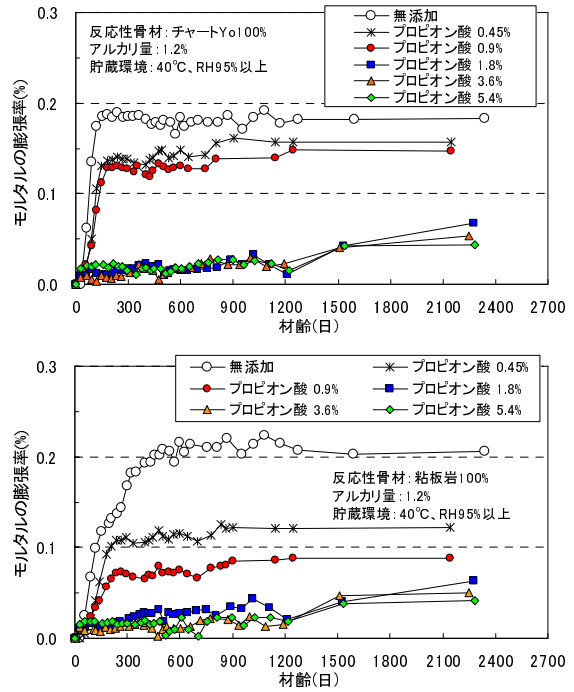


図5 プロピオン酸カルシウムを添加したモルタルの長期膨張挙動

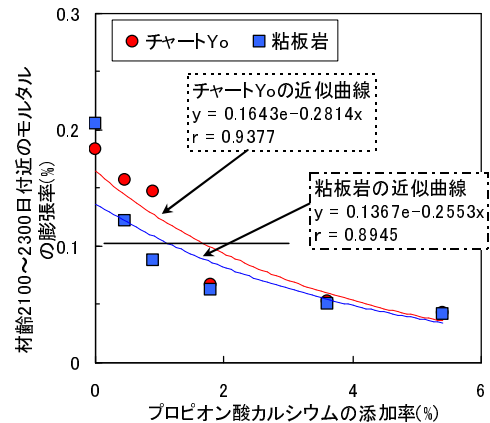


図6 モルタルの膨張率とプロピオン酸カルシウムの添加量の関係

(5) プロピオン酸カルシウムを添加したモルタル内部の偏光顕微鏡観察

図6のモルタルの一部を切断して偏光顕微鏡観察によるASR反応状況の観察結果を表1に、写真2に偏光顕微鏡写真を示す。膨張率が小さいほど内部の反応も少ないが、膨張率が0.1%以下のプロピオン酸カルシウム1.8%添加であってもASRによる骨材の溶解やモルタル部分にひび割れが観察された。今後も膨張率の長期測定を継続するとともに、内部の反応状況も観察する必要がある。

表1 モルタル内部の偏光顕微鏡観察によるASRの反応状況

反応性骨材	プロピオン酸カルシウムの添加率(%)					
	0	0.45	0.9	1.8	3.6	5.4
チャート	5	5	4	2	0	0
粘板岩	5	5	4	2	1	0

※偏光顕微鏡観察による骨材の反応: 多い→少ない=5→0

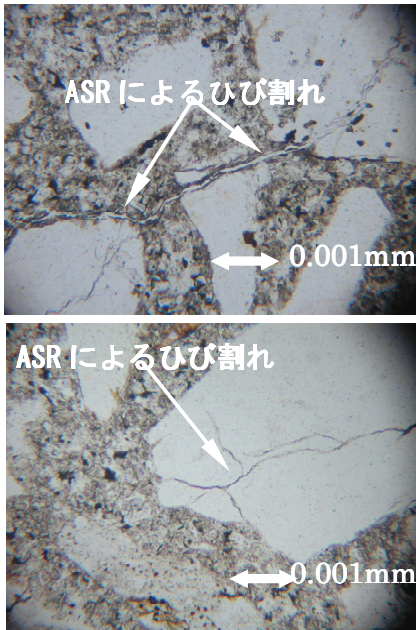


写真2 反応性のチャートを使用したモルタルの偏光顕微鏡写真(上:プロピオン酸無添加、下:プロピオン酸1.8%添加)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 岩月栄治、珪質堆積岩のアルカリシリカ反応の膨張挙動と新たな抑制対策に関する検討、日本コンクリート工学会、コンクリート工学8月号、査読無し、Vol. 49、No. 10、2011、9-15
- ② 岩月栄治、容易なASR抑制方法の開発ー化学物質の少量添加によるASR抑制対策に関する研究ー、セメント新聞社、コンクリートテクノ7月号、査読無し、Vol. 30、No. 7、2011、59-63

[学会発表] (計8件)

- ① 岩月栄治、プロピオン酸カルシウムのアルカリシリカ反応の膨張抑制効果、資源・素材学会、春季大会講演集 資源開発 (一般発表)、2013. 3. 30、千葉工大
- ② 岩月栄治、プロピオン酸カルシウムの長期ASR抑制効果に関する研究、資源・素材学会、企画発表・一般発表講演資料(A1

建設原材料の評価・利用技術の確立)、2012. 9. 11、秋田大学

- ③ 岩月栄治、プロピオン酸カルシウムのアルカリシリカ反応抑制効果に関する研究、資源・素材学会、春季大会講演集 資源開発 (一般発表)、2012. 3. 28、東京大学
- ④ 岩月栄治、プロピオン酸カルシウムをASR抑制剤に用いたコンクリートの膨張挙動、土木学会中部支部研究発表会、V-018、2012. 3. 8、信州大学
- ⑤ 岩月栄治、NaOH溶液に浸漬したプロピオン酸カルシウム添加モルタルのASR膨張に関する研究、土木学会第66回年次学術講演会、第V部、2011. 9. 9、愛媛大学
- ⑥ 岩月栄治、プロピオン酸カルシウムを添加したコンクリートのASR膨張挙動、資源・素材学会、企画発表・一般発表講演資料(A5 建設原材料の評価・利用技術およびその周辺技術)、2011. 9. 28、大阪府立大学
- ⑦ 岩月栄治、森野奎二、アルカリ骨材反応の抑制に関する研究、資源・素材学会、一般発表(研究・業績発表)講演集、2011. 3. 28、東京大学(震災のため開催中止、講演集はCD-ROMに収録)
- ⑧ 岩月栄治、森野奎二、プロピオン酸カルシウムのアルカリシリカ反応抑制効果に関する研究、土木学会中部支部研究発表会、2011. 3. 4、中部大学

[その他]

ホームページ等

<http://aitech.ac.jp/~iwatsuki/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岩月 栄治 (IWATSUKI EIJI)  
愛知工業大学・工学部・准教授  
研究者番号: 10278228

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: