

# A Study on the Mechanisms of Acceleration of Alkali-silica Reaction in Reinforced Concrete Structure Subjected to Cathodic Protection

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-01-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Torii, Kazuyuki メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00049879">https://doi.org/10.24517/00049879</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# 直流電流作用下の RC 構造物における アルカリ骨材反応の促進機構に関する実証的研究

(研究課題番号 09555134)

平成 9 年度～平成 10 年度科学研究費補助金  
(基盤研究 (B) (2)) 研究成果報告書

平成 11 年 3 月

研究代表者 鳥居 和之

金沢大学附属図書館

(工学部土木建設工学科教授)



8000-73570-9

# 直流電流作用下のRC構造物における アルカリ骨材反応の促進機構に関する実証的研究

(研究課題番号 09555134)

平成9年度～平成10年度科学研究費補助金  
(基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書

平成11年3月

研究代表者 鳥居 和之  
(金沢大学工学部土木建設工学科教授)

1. 課題番号：09555134

2. 研究課題：直流電流作用下のRC構造物におけるアルカリ骨材反応の促進機構に関する実証的研究

3. 研究組織：

研究代表者：鳥居和之（金沢大学工学部土木建設工学科 教授）

研究分担者：川村満紀（金沢大学工学部土木建設工学科 教授）

石井浩司（(株)ピー・エス開発技術部 主任研究員）

4. 研究経費：

平成9年度	430万円
平成10年度	110万円

-----  
540万円

5. 研究成果：

本研究における主要な成果は本報告書に収録されている12編の論文並びに4編の口頭発表にまとめられている。

6. 研究発表：

\*石井浩司、関 博、福手 勤、井川一弘

電気防食を施したプレテンションPC梁に関する実験的研究、セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、No.22, pp.91-96, (1995.10).

\*鳥居和之、川村満紀、西村敏明、石井浩司

鉄筋コンクリート部材のアルカリシリカ反応に及ぼす電気防食法の影響、セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、No.22, pp.97-100, (1995.10).

\*石井浩司、関 博、福手 勤、井川一弘、杉橋直行

PC鋼材の水素脆化に関する実験的研究、土木学会論文集、No.532, pp.131-140, (1996.2).

\*石井浩司、鳥居和之、川村満紀、松本一昭

コンクリート構造物のアルカリシリカ反応に及ぼす電気防食法の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18, No.1, pp.861-866, (1996.7).

\*Torii, K., Kawamura, M., Matsumoto, K., Ishii, K.

Influence of Cathodic Protection on Cracking and Expansion of the Beams due to Alkali-Silica Reaction, Proc. of 10th Inter. Conf. on Alkali-aggregate Reaction in Concrete, Melbourne, pp.653-660, (1996.8).

\*鳥居和之

電氣的促進試験により求めたセメント硬化体の塩化物イオンの拡散係数、セメント・コンクリート、No.604, pp.18-22, (1997.6).

\*鳥居和之、西村敏明、石井浩司、川村満紀

電気防食を実施した鉄筋コンクリート部材のアルカリシリカ反応と耐荷性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19, No.1, pp.937-942, (1997.7).

\*佐藤健一、鳥居和之、笹谷輝彦、川村満紀

電氣的促進試験法による高炉スラグ微粉末コンクリートの塩化物イオン拡散係数の算定、  
コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19, No.1, pp.961-966, (1997.7).

\* Torii, K. Ishii, K. Kawamura, M.

Influence of Cathodic Protection on Expansion and Structural Behavior of RC Beams  
Containing Alkali-reactive Aggregates, Proc. of East Asia Alkali-Aggregate Reaction  
Seminar, tottori, pp. 231-242 (1997.11).

\* 鳥居和之、川村満紀、佐藤健一

セメント硬化体の塩化物イオン透過性に及ぼすフライアッシュの影響、セメント・コン  
クリート論文集、NO.51, pp.126-131, (1997.12).

\* Ampadu, K.O., Torii, K., Sato, K.

Evaluation of Chloride Permeability of Concretes Incorporating Blast-furnace Slag  
Using Electric Migration Test, Proc. of the 2nd Inter. RILEM/CSIRO/ACRA Conf. on  
Rehabilitation of Structures, Melbourne, pp.489-497, (1998.9).

\* 鳥居和之

コンクリート構造物の劣化損傷機構と補修・補強技術、平成10年度リカレント教育講  
座テキスト、金沢大学工学部、(1998.9).

(2) 口頭発表

\* 三好政彦、鳥居和之、川村満紀

セメントペーストの比抵抗値と細孔構造の相関性、土木学会第50回年次学術講演会講  
演概要集、第5部門、pp.14-15, (1995.9).

\* 鳥居和之、川村満紀、松本一昭

コンクリートのアルカリシリカ反応に及ぼす電気防食法の影響、土木学会第50回年次  
学術講演会講演概要集、第5部門、pp.231-232, (1995.9).

\* 佐藤健一、鳥居和之、川村満紀

海洋環境下に暴露したコンクリートの塩化物イオンの経時変化、土木学会第51回年次  
学術講演会講演概要集、第5部門、pp.328-329, (1996.9).

\* 三好政彦、鳥居和之、川村満紀

セメント・フライアッシュ硬化体の塩化物イオンの拡散係数と細孔組織の特徴、土木学  
会第51回年次学術講演会講演概要集、第5部門、pp.332-333, (1996.9).

平成9年度科学研究費補助金（基盤研究（B）（2））  
研究成果報告書

### 研究目的

我が国では、海水や融雪・融氷剤により損傷を受けた鉄筋コンクリート構造物の維持管理および補修・補強が重要な課題となっており、恒久的な対策の一つとしてコンクリート中の鉄筋の腐食を電気化学的に停止する電気防食法（Cathodic Protection）が実用化されている。また、電気防食法と同様な電気化学的手法で、コンクリート構造物から塩化物を除去する工法（Desalination）や、中性化した部分のアルカリ性を回復する工法（Realkalization）も近年注目されている。これらの電気化学的な手法の適用においては、鉄筋への直接的な影響としての水素脆性破壊の発生やコンクリートとの付着力の低下の問題が指摘されているが、コンクリート自身への影響としてはアルカリシリカ反応（ASR）の促進によるひび割れ発生の問題が重要である。すなわち、鉄筋コンクリート構造物中に直流電流が流れると、カソードとなる鉄筋周囲にはアルカリイオン（ $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ ）が集まり、カソード反応により $\text{OH}^-$ イオンが生成されるので、反応性骨材を含有する鉄筋コンクリート構造物ではこれまで損傷が見られなかった場合でも直流電流の作用によりアルカリシリカ反応による損傷が新たに発生する可能性がある。コンクリート中のアルカリシリカ反応の進行度は、使用した骨材の反応性、配合および環境条件との組み合わせで決まり、コンクリート内のアルカリ濃度がある限界値に達した場合にのみ反応が始まることが知られている。従って、反応性骨材が使用されている既設鉄筋コンクリート構造物への電気化学的な手法の適用においてはアルカリシリカ反応によるひび割れおよび膨張の影響について十分に検討しておく必要がある。

本研究は、直流電流作用下での、反応性骨材（黒崎安山岩）を含有する鉄筋コンクリート梁のひび割れおよび膨張性状を長期間にわたって調べるとともに、暴露期間5年の時点で鉄筋コンクリート梁の載荷試験を実施し、コンクリート梁の耐力に及ぼすASRひび割れの影響について明らかにするものである。さらに、鉄筋コンクリート梁内のアルカリ濃度の分布とアルカリシリカ反応の局所的な進行度との関連性について調べることで、直流電流作用下でのASRの促進機構を解明することを目的とする。

### 研究の背景と特色

電気防食法における直流電流値は $10 \sim 50 \text{ mA/m}^2$ 程度であるが、コンクリート構造物が維持管理される長期間にわたり直流電流が流される。一方、電気化学的な塩分除去および再アルカリ化工法では、適用期間はせいぜい2～3ヵ月であるが、 $1 \sim 3 \text{ A/m}^2$ の大きな直流電流が流される。鉄筋コンクリート構造物における直流電流の影響は電流値に比例すると考えられるが、限界となる電流値が存在するかどうか、積算電流値（電流値×時間）でその影響を評価できるかどうか、は不明である。

また、申請者らは、直流電流の作用下で、セメント硬化体の細孔溶液中の陽・陰イオンがそれぞれの対極へ移動することを促進塩化物イオン透過性試験により検討してきた。しかし、実際の鉄筋コンクリート構造物（RCおよびPC梁）でアルカリイオンおよび塩化物イオンがカソードとなる鉄筋とアノードとなるコンクリート表面との間でどのように移動するか、についてはこれまで全く検討されていない。直流電流作用下で、アルカリシリカ反応が促進

されることは、第9回アルカリ骨材反応国際会議（1992年、英国）にてアストン大学のC. L. Page 教授により指摘されたが、反応性の高いフリント骨材を使用したセメントモルタル供試体での実験により得られた結果であり、自然環境下に置かれた実際の鉄筋コンクリート構造物にてアルカリシリカ反応への影響が実証された事例は国内外において見られない。

以上の経緯を踏まえて、北陸地方の代表的な反応性骨材である黒崎安山岩砕石を使用した鉄筋コンクリート梁（20cm×30cm×200cm）を9体作製し、平成6年6月より金沢大学工学部屋上に暴露し、定期的なひび割れおよび膨張の測定を開始した。平成8年10月までの観察結果では、鉄筋コンクリート梁のひび割れは微細なものが多いが、直流電流を流した時にはカソードとなる主鉄筋に沿う水平方向のひび割れ及び網の目状のひび割れが多数認められ、直流電流によるアルカリシリカ反応の促進効果が確認されている。また、自然環境下に暴露した鉄筋コンクリート梁のひび割れおよび膨張挙動に関して、・季節変動による階段状の膨張挙動（膨張は夏期に活発に進行し、冬期には停滞する）、・局所的な環境要因（Micro-climate）による西側面と東側面での膨張量の相違（夏期において温度が高くなる西側面で東側面よりも膨張が大きくなる）、・アルカリシリカ反応と乾燥、温度変化との複合作用により発生する応力の影響（RC配合（アルカリ添加）では両者の影響で下端に曲げ応力が働いたものと推測された）、などの興味深い事実も明らかになっている。これらの研究結果に基づいて、すべての鉄筋コンクリート梁の載荷試験を実施し、耐荷力及び変形性状を確認した後に、鉄筋コンクリート梁内のアルカリ濃度の変化と膨張量、ひび割れとの関係について詳細に調べ、直流電流作用下でのアルカリシリカ反応の促進機構を解明することを計画した。

## 研究成果

コンクリート構造物のアルカリシリカ反応に及ぼす電気防食の影響を検討することを目的として、反応性骨材を含有するコンクリート梁試験体を対象として約3年間屋外にて電気防食試験を実施した。その結果、電気防食の実施によりASRによるひび割れが促進され、梁の耐荷力も低下することから、今後橋梁などで電気防食を実施する際には事前調査として使用されている骨材の反応性の有無を確認することが重要であることが明らかになった。

今回の一連の研究の成果をまとめると次のようである。

電気防食を実施した梁試験体の屋外暴露試験より、（1）電気防食の実施によりアルカリの総量規制値（3kg/m<sup>3</sup>）を下回るものにもASRによるひび割れが発生する、（2）梁試験体のASRによる膨張は温度依存性があり、季節変動を反映した階段状の膨張挙動を示す、（2）エポキシ樹脂塗装による水分の遮断によるASRの抑制効果は小さい、（3）電気防食のASRに及ぼす影響はコンクリートの配合（水セメント比および単位セメント量）によって相違する、ことが明らかになった。

屋外暴露終了後の梁試験体の曲げ載荷試験より、（1）電気防食の実施によりカソード鉄筋付近でASRによるひび割れが増大する、（2）電気防食を実施しない試験体ではASRによる損傷の程度には関係なく曲げ載荷時の耐荷力は低下しない、（3）電気防食を実施した試験体ではカソード鉄筋の周囲でASRが局部的に進行し、鉄筋とコンクリートの付着強度が低下する、（4）電気防食を実施した試験体では鉄筋の付着強度の低下により曲げ載荷時の耐荷力が低下する、ことが確認された。