

アルカリ反応性骨材を使用した鉄筋コンクリートへの電気防食工法の適用に関する検討

鳥取大学大学院	学生会員	○和田	龍汰
鳥取大学大学院	正会員	黒田	保
鳥取大学大学院	正会員	金氏	裕也
鳥取大学	正会員	畑岡	寛

1. はじめに

我が国において 1989 年以前に建設されたコンクリート構造物では、アルカリシリカ反応(以下 ASR)による劣化が多数報告されており、コンクリート構造物の安全性に影響を与える可能性がある。一方で、コンクリートが劣化する要因として塩害による鉄筋腐食があるが、塩害による鉄筋腐食を防止する方法として電気防食工法が挙げられる。しかし、コンクリートにアルカリ反応性骨材が使用されている場合、電気防食工法適用時にコンクリート中のアルカリ金属イオン(Na^+ , K^+)が鉄筋付近に集積し、ASR による劣化を助長させる可能性があるという報告がされている。また、ASR 膨張には電流密度に対して膨張率が最大となるペシマム値が存在するという報告がある。そのペシマム値を超える大きな電流を電気防食工法適用前に供給することで ASR 膨張を抑制できるという報告もされている。

本研究では、電気防食工法が ASR 膨張に与える影響を電流密度に着目して検討し、さらに、ASR 膨張を抑制するための電気防食工法における適切な通電条件の検討を行う。

2. 実験概要

本実験では普通ポルトランドセメント(密度 $=3.14\text{kg}/\text{cm}^3$ 、全アルカリ量 $=0.55\%$)を使用し、粗骨材には非反応性の粗骨材(表乾密度 $=2.67\text{kg}/\text{cm}^3$)、細骨材には JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルバー法)」で無害でないと判定された反応性骨材(表乾密度 $=2.71\text{kg}/\text{cm}^3$)を使用した。一般的な電気防食工法で適用する電流密度を供給し電気防食工法が ASR 膨張に与える影響を実験的に検討する(シリーズ 1)。また、電気防食工法適用前に大きな電流密度を供給することで ASR 膨張の抑制を検討する(シリーズ 2)。

シリーズ 1 では供給する電流密度を 0, 5, 15, 30, $100\text{mA}/\text{m}^2$ とした。シリーズ 2 では電気防食工法適用前に供給する大電流を 1, $2\text{A}/\text{m}^2$ とし、4, 8, 12 週間(4 週間は $2\text{A}/\text{m}^2$ のみ)継続して供給する継続通電を行う。大電流供給後は一般的な電気防食工法で適用する電流密度 $30\text{mA}/\text{m}^2$ を供給する。コンクリートの水セメント比は 45%とした。また、塩化ナトリウムを混入してコンクリートのアルカリ総量を $8.0\text{kg}/\text{m}^3$ とした。図 1 に示す $100\times 100\times 300\text{mm}$ の角柱供試体を使用し、中央部に $\phi=13\text{mm}$ のステンレス丸棒(以下鉄筋)を、供試体上部に陽極材としてチタンメッシュ($100\times 300\text{mm}$)を配置した。チタンメッシュ配置後に厚さ 10mm でモルタルオーバーレイを行った。供試体側面におけるステンレス丸棒の軸方向(陽極側、陰極側、陽極反対側)と鉛直方向の 2 方向で JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法」に準じて膨張による長さ変化を測定した。また、供試体は恒温槽(温度 40°C 、R.H.100%)で保存した。

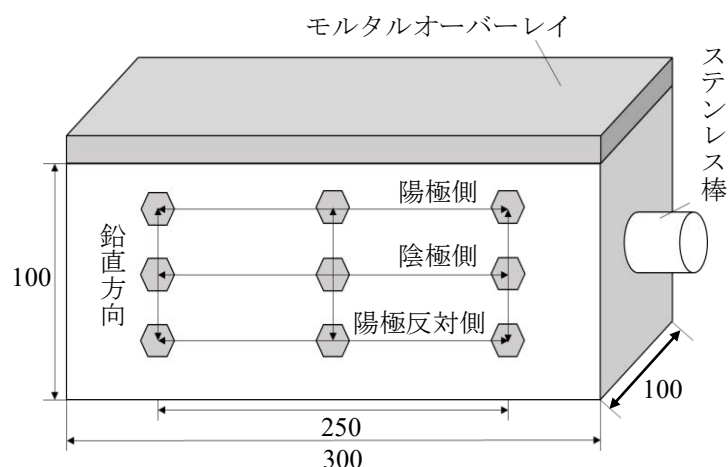


図 1 供試体概略図

キーワード 電気防食工法, アルカリシリカ反応, 膨張抑制, 積算電流密度

連絡先 〒608-8522 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学大学院 持続性社会創生科学研究科 工学専攻

TEL 0857-31-5281

3. 結果と考察

3.1 通電による ASR 膨張への影響

シリーズ1の0, 5, 15, 30, 100mA/m²で通電を行った供試体について、鉄筋の軸方向、鉛直方向の各測定箇所の膨張率の経時変化を図2, 3に示す。図中の保存期間とは長さ変化の初期値を測定した後に通電を開始した日からの経過時間である。

保存期間12週までは電流密度によって膨張率に違いはなく、12週を超えると電流密度による違いが表れている。図2より、陽極側、陰極側に関して無通電(0mA/m²)の膨張率が最も大きく、100mA/m²が最も小さくなっている。陽極反対側では無通電(0mA/m²)の供試体よりも通電を行った供試体の膨張率の方が同程度、または小さくなった。軸方向のASR膨張は通電によって助長されることはなく、抑制される結果となった。

一方で図3の鉛直方向では15, 30mA/m²で通電を行った供試体の膨張率の方が無通電(0mA/m²)の供試体の膨張率より大きくなった。鉛直方向においてペシマム値の存在が確認された。電流密度に関してASR膨張が最大となるペシマム値が存在する理由として、アルカリ反応性骨材を使用した鉄筋コンクリートへ通電を行うと鉄筋近傍(陰極側)にアルカリ金属イオン(Na⁺, K⁺)が集積され、さらに、カソード反応によりOH⁻が発生するためASR膨張が助長される。しかし、ある電流密度を超えると鉄筋近傍にアルカリ金属イオンが過剰に集積されASRゲルに組成変化が生じ粘性の低い高アルカリのASRゲルとなる²⁾ため膨張圧が生じにくくASR膨張が低下したと考えられる。これらのことから電流密度に対して膨張が最大となるペシマム値の存在が確認されたと考えられる。本実験においてペシマム値は15mA/m²であった。

また、図2, 3を比較すると鉛直方向の膨張率が軸方向の膨張率よりも大きくなっている。これは軸方向において供試体の膨張時に内部の鉄筋の拘束力によって圧縮されることで、ポアソン効果により鉛直方向の膨張率が大きくなったと考えられる。

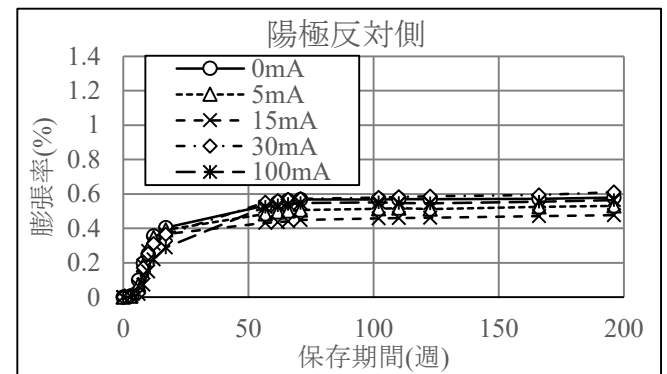
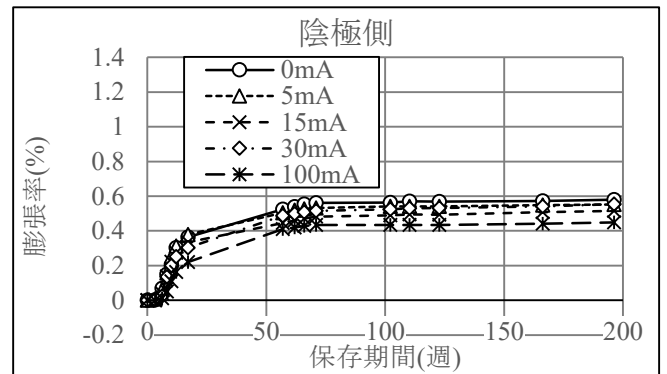
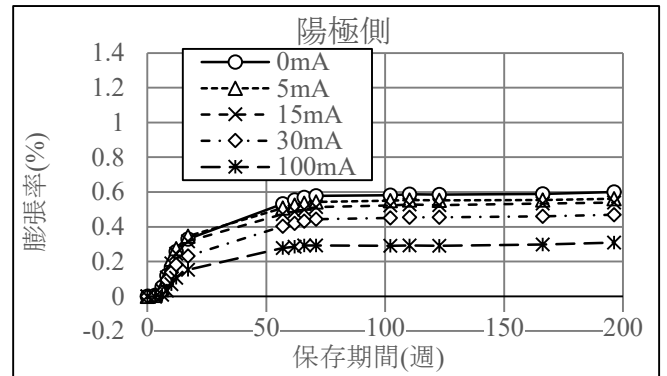


図2 膨張率の経時変化(軸方向)

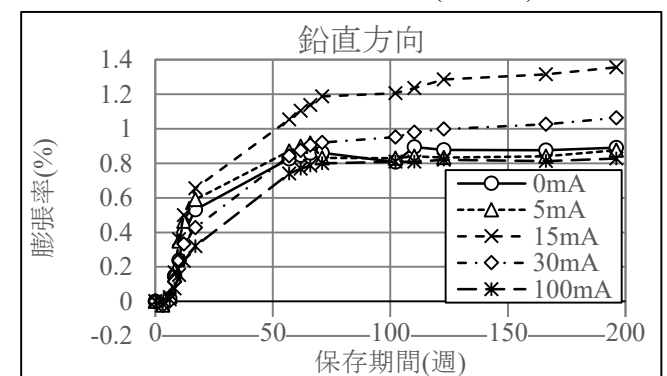


図3 膨張率の経時変化(鉛直方向)

3.2 電気防食工法適用前の大電流の継続通電がASR膨張に与える影響

本研究において確認されたペシマム値から、電気防食工法適用前にペシマム値を超える大電流を供給することでASR膨張を抑制できると考えた。シリーズ2の条件で継続通電を行う。図4に一般的な電気防食工法を適用した供試体と電気防食工法適用前に大電流を供給した供試体の膨張率の経時変化を一例として陽極側のみ示した。図4より電気防食工法適用前に大電流を供給した供試体はすべての条件で膨張を抑制すること

ができています。そこで、一般的な電気防食工法を適用した供試体と比較し、どの程度 ASR 膨張が抑制されたかを膨張抑制率として以下の式(2)で示した。

$$R = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100 \quad (2)$$

R:膨張抑制率(%) E_1 :あらかじめ大電流を供給していない供試体の膨張率(%) E_2 :あらかじめ大電流を供給した供試体の膨張率(%)

それぞれの測定箇所での通電条件別の膨張抑制率を図5に示す。膨張抑制率については、電流の影響を大きく受けると考えられる「陽極側」「陰極側」「鉛直方向」の測定位置で検討した。また、図6に膨張抑制率と積算電流密度の関係を示す。積算電流密度とは、電気防食工法適用前に供給した電流密度の大きさ(A/m²)と、供給した期間(日)の積である。通電条件別の積算電流密度を表1に示す。

図5より、すべての測定箇所、通電条件で一般的な電気防食工法を適用した供試体に比べ膨張を抑制することができている。本研究では「2A(継続12週)」で最も膨張を抑制することができた。また、積算電流密度が同じである「1A(継続8週)」と「2A(継続4週)」では膨張抑制率は同程度になっている。

図6より、積算電流密度が大きくなるにつれ膨張抑制率も大きくなり両者は直線関係にあると言える。

以上のことから電気防食工法適用前に供給する電流密度が大きいほど、また電流密度の供給期間が長いほどASR膨張の膨張抑制率は大きくなった。また、電気防食工法適用前の大電流の通電条件が膨張抑制率に与える影響は、その積算電流密度によって評価できると考えられる。

表1 通電条件別の積算電流密度

通電条件	積算電流密度 (A/m ² ×日)
通電なし	0
1A(継続12週)	84
2A(継続12週)	168
1A(継続8週)	56
2A(継続8週)	112
2A(継続4週)	56

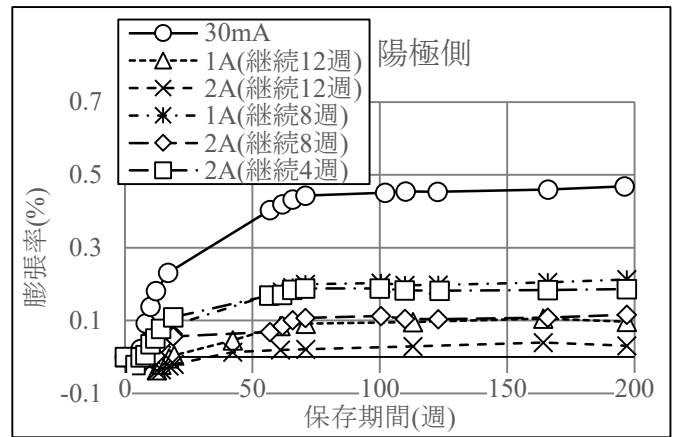


図4 膨張率の経時変化

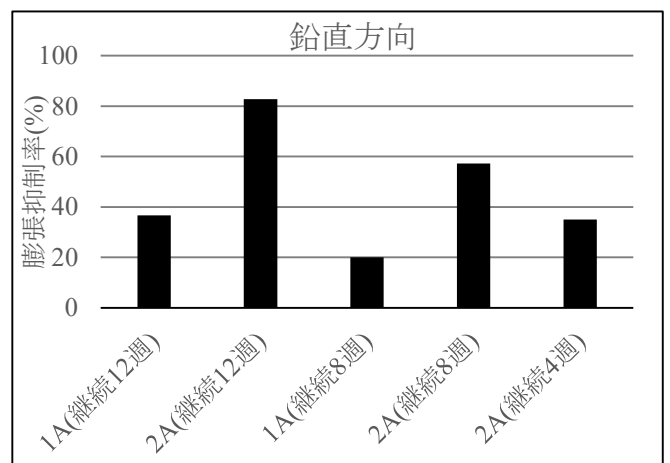
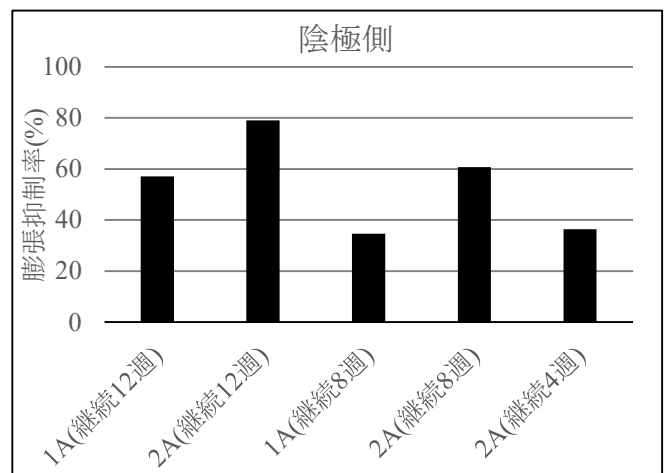
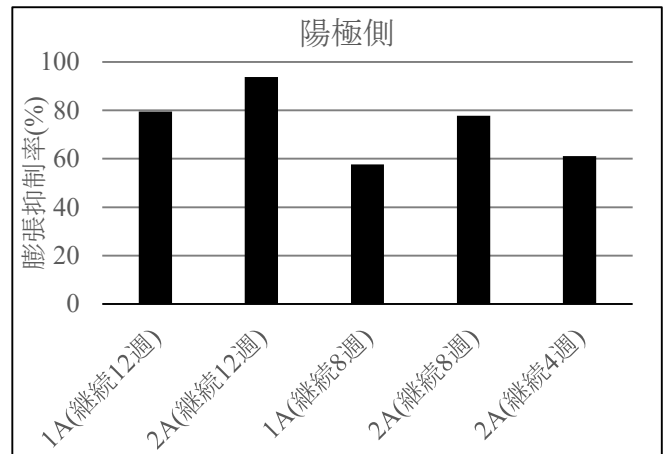


図5 通電条件別の膨張抑制率

4. まとめ

本研究では一般的な電気防食工法で適用される電流密度の供給が ASR 膨張に与える影響について検討した。また、電気防食工法適用前の大電流の継続通電が ASR 膨張に与える影響や、ASR 膨張の抑制対策について検討した。本研究によって得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 反応性骨材を使用した鉄筋コンクリートに電気防食工法を適用すると ASR 膨張が助長されることを確認した。
- (2) 鉛直方向についてペシマム値の存在が確認され、
15mA/m²で膨張率が最大となり、それ以上の電流を供給すると膨張率は減少傾向を示した。
- (3) 電気防食工法適用前の大電流の継続通電により ASR 膨張を抑制できることが確認された。また、電気防食工法適用前に供給する大電流の積算電流密度と膨張抑制率との間には直線関係があり、積算電流密度が大きいほど膨張抑制率は大きくなった。本研究では「2A(継続 12 週)」の条件で最も膨張を抑制することができた。

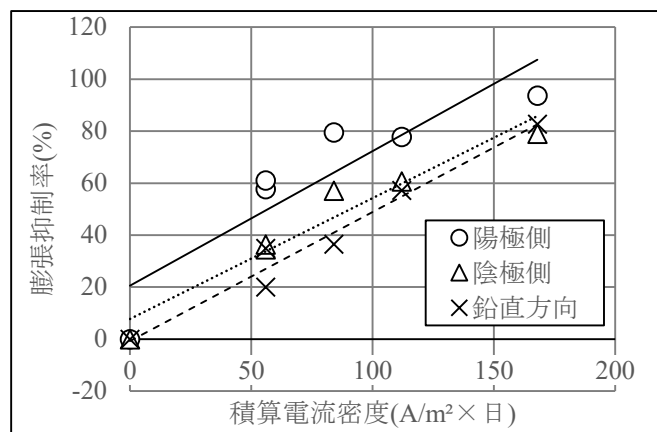


図6 積算電流密度と膨張抑制率との関係

参考文献

- 1) 土木学会 コンクリート委員会：電気化学的防食工法 設計施工指針(案)，丸善(株)，p.19, p.62, 2001
- 2) 中野錦一：アルカリ骨材反応の種類，メカニズムおよび特徴，コンクリート工学，vol.24, No.11, pp.17-22, 1986