

鳥取大学工学部 正会員 黒田 保
鳥取大学工学部 正会員 西林新蔵
鳥取大学工学部 正会員 吉野 公
鹿島建設（株） 正会員 井上浩之

1. まえがき

海岸構造物や、寒冷地における凍結防止剤が散布される道路のような鉄筋コンクリート構造物に対して、鉄筋の腐食を防止する方法として電気防食法やデザリネーション等の方法が注目されている。これらの方法は、鉄筋コンクリート構造物に直流電流を流して鉄筋の腐食を防止するものであるが、この時、骨材に反応性のものを使用した場合、アルカリ金属イオン(Na^+ , K^+)が鉄筋周辺に集中して、アルカリ骨材反応(AAR)が促進されるのではないかと懸念される。そこで本研究では、通電がコンクリートのAARに及ぼす影響について実験的に検討を行った。

2. 実験概要

セメントには普通ポルトランドセメントを用い、骨材として、細骨材に鳥取県産の非反応性細骨材を、粗骨材として鳥取県産の斜方輝石安山岩を使用した。実験条件は表-1に示すとおりであり、添加アルカリの種類、全アルカリ量、スラグ置換の有無等の条件を変化させて通電の影響を調べた。なお、通電は、図-1に示す供試体に鉄筋を陰極として外部電源方式で行った。また、長さ変化の測定は図-1に示すINSIDE, MIDDLE, OUTSIDEの3点で行った。

表-1 実験条件

単位セメント量(kg/m^3)	450
水セメント比(%)	45
細骨材率(%)	50
添加アルカリ	NaOH, NaCl
全アルカリ量 (eq. Na_2O %)	1.0, 1.5, 2.0, 2.5
スラグ置換率(%)	0, 50
電流密度(mA/m^2)	0, 25, 50, 100, 200
陽極材料	Ti-Pt単線
陰極材料	20°C RH. 100% 40°C RH. 100%

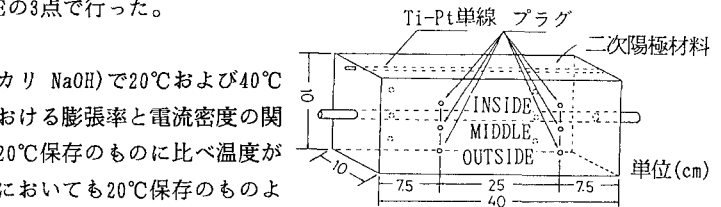


図-1 供試体概略図

3. 実験結果と考察

図-2にアルカリ量1.5%（添加アルカリ NaOH）で20°Cおよび40°Cで保存した供試体の材齢 3, 6, 9ヶ月における膨張率と電流密度の関係を示す。図より、40°C保存のものは20°C保存のものに比べ温度が高いためAARが促進され、どの電流密度においても20°C保存のものより膨張率が大きくなっている。また、通電の影響が大きいと考えられるINSIDEに着目すると、20°C保存、40°C保存において、膨張率と電流密度の関係は上に凸のグラフとなり、どの材齢においてもそれぞれ25 mA/m^2 、50 mA/m^2 で膨張率が最大となっている。つまり、電流密度に関してベシマム値が存在するようである。このような値が存在するのは、電流密度が大きくなるほどアルカリ金属イオン(Na^+ , K^+)が鉄筋（陰極）方向に移動する速度が速くなり、鉄筋付近でアルカリ金属イオン濃度が高くなるためAARが促進される。しかし、電流密度がある値を越えると、鉄筋付近にアルカリ金属イオンが早期から過剰に濃縮されるためゲルの流動化が起こり、膨張圧が緩和されたためと考えられる。

次に添加アルカリの違いによる影響を調べるために、図-3に、それぞれ保存温度20°Cおよび40°Cで、アルカリ含有量が1.5%となるように、NaOH, NaClを添加した供試体の膨張率と電流密度の関係を示す。なお、図には通電の影響が大きい測定位置であるINSIDEの膨張率を示す。図より、添加アルカリがNaClの場合においてもNaOHの

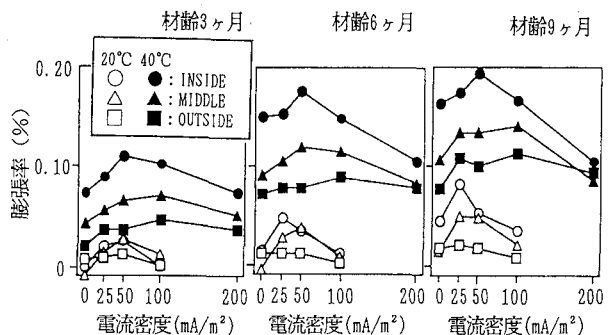


図-2 膨張率と電流密度の関係（添加アルカリNaOH, 7%含有量1.5%）

場合と同様に、各電流密度において20℃保存の供試体よりも40℃保存のものの方が反応が促進され膨張率が大きくなっている。また、40℃保存の場合にはNaClにおいても、電流密度25, 50mA/m²の付近で膨張率が最大となるベシムム値が存在している。これは、NaOH添加の場合と同様に電流密度があまり大きくなりすぎると、アルカリ金属イオンが鉄筋周辺に過剰に濃縮しゲルが流動化されるためである。また40℃保存の場合、非通電ではNaCl添加のものはNaOH添加のものに比べ膨張率は小さくなっているが、通電を行うとNaOH添加のものの膨張率に近づき、電流密度200mA/m²ではNaCl添加のものの方が大きくなっている。そして20℃保存の場合にも、100mA/m²で、NaClを添加した供試体の膨張率がNaOHのものを上回っている。このように、NaOHはNaClよりも非通電の場合、反応を促進させるが、通電を行うことにより、NaCl添加のものとNaOH添加のものとは膨張率の差がなくなってくる。さらに高い電流を流すと、NaOHを添加したものよりもNaClを添加したものの方が膨張率は大きくなる傾向にある。このように、NaCl添加のものはNaOH添加のものよりも通電による影響をかなり受けるようである。

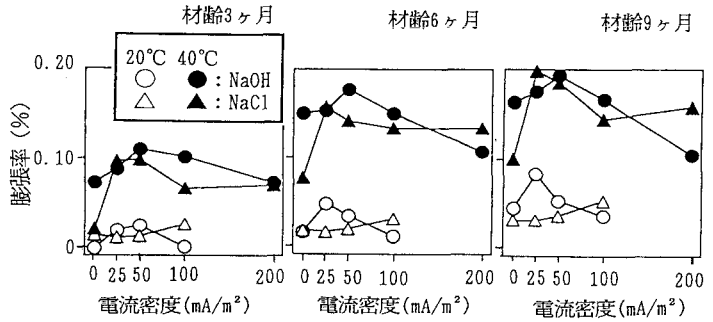


図-3 膨張率と電流密度の関係(7%含有量1.5%)

次に図-4に、保存温度を40℃とした場合の、添加アルカリNaOH、アルカリ量1.0～2.5%、スラグ置換率50%の供試体（以下、スラグ供試体と呼ぶ）の、各材齢（1, 3, 6ヶ月）における膨張率と電流密度の関係を示す。図-4より、アルカリ量1.5%のものに着目すると、図-2のスラグ無置換のものに比べ、スラグ供試体は材齢6ヶ月までほとんど膨張しておらず、通電を行った場合においても、スラグ置換によるAAR抑制効果が認められる。また、アルカリ量の違いによる膨張特性の違いを見てみると、アルカリ量が増加するほど膨張率は大きくなっている。また、電流密度0～100mA/m²の範囲内において、スラグ供試体の膨張率と電流密度の関係は、スラグを置換していない供試体のように上に凸の形状を示しておらず、アルカリ量1.5%までは電流密度に関係なく膨張率は各アルカリ量別にほぼ一定であり、2.0%, 2.5%になると、電流密度が大きくなるほど膨張率が小さくなるという傾向を示している。これは、NaOHの添加量が多いものほどスラグの水和が促進され、Al₂O₃が溶出されて液層にAl³⁺が残留する。そして通電することによりAl³⁺がNa⁺とともに鉄筋方向へ集中し、水和生成物に取り込まれるためAARが抑制されたものと考えられる。しかし、この現象は今回の実験では明らかにすることはできなかったため、今後、通電がスラグを混入したコンクリートのAARに及ぼす影響について、そのメカニズムなどさらに検討を行っていく必要がある。

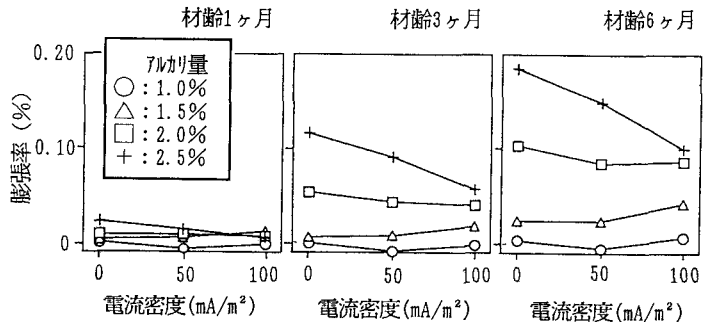


図-4 膨張率と電流密度の関係
(スラグ置換率50%, 添加7%アルカリNaOH, 保存温度40℃)

AAR抑制効果が認められる。また、アルカリ量の違いによる膨張特性の違いを見てみると、アルカリ量が増加するほど膨張率は大きくなっている。また、電流密度0～100mA/m²の範囲内において、スラグ供試体の膨張率と電流密度の関係は、スラグを置換していない供試体のように上に凸の形状を示しておらず、アルカリ量1.5%までは電流密度に関係なく膨張率は各アルカリ量別にほぼ一定であり、2.0%, 2.5%になると、電流密度が大きくなるほど膨張率が小さくなるという傾向を示している。これは、NaOHの添加量が多いものほどスラグの水和が促進され、Al₂O₃が溶出されて液層にAl³⁺が残留する。そして通電することによりAl³⁺がNa⁺とともに鉄筋方向へ集中し、水和生成物に取り込まれるためAARが抑制されたものと考えられる。しかし、この現象は今回の実験では明らかにすることはできなかったため、今後、通電がスラグを混入したコンクリートのAARに及ぼす影響について、そのメカニズムなどさらに検討を行っていく必要がある。

4. まとめ

- (1) 今回の実験の範囲内においては、反応性骨材を使用した普通コンクリートに、鉄筋を介して通電を行うとAARは促進されるが、電流密度がある値を越えると膨張は緩和される傾向にある。
- (2) 通電を行った場合においても、スラグを混入したコンクリートは普通コンクリートに比べ、AARが抑制される。また、スラグを混入したコンクリートは、通電によって極端にAARが促進されることはなく、むしろアルカリ含有量が多いものに関しては、通電した方が膨張率が小さくなる傾向がある。