

フライアッシュ系ジオポリマーの塩化物イオン浸透性

大分高専専攻科 学生会員 ○本田 信也, 大分高専 正会員 一宮 一夫
大分高専 非会員 山本 朝陽, 山口大学名誉教授 非会員 池田 攻

1. はじめに

ジオポリマー (GP) は、アルミナシリカ粉末とアルカリシリカ溶液の縮重合反応による固化体であり、従来のコンクリート (OPC) に比べて、製造時の CO_2 の大幅削減、高耐久、産業副産物の大量消費などが期待できる。他方、GP の配合と塩化物イオン浸透性の関係や、固化体内部に配置された鋼材の腐食特性の関係についての知見は少ない。塩化物イオン浸透による鋼材腐食に対する抵抗性は、塩害環境下に建造される構造物を対象にした、合理的な耐久設計方法の確立および劣化予測モデルの構築において、最も重要な検討項目の一つであり、一般に塩化物イオン拡散係数 (D_{Cl}) で評価される。

本研究では、フライアッシュ (FA) をベースとし、固化促進のために高炉スラグ微粉末 (BS) を添加した配合の GP を対象に、GP の塩化物イオンの浸透性ならびに固化体内部の鋼材の腐食特性について検討した。

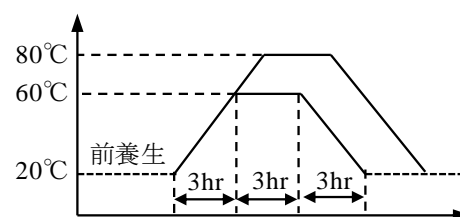


図1 養生条件

2. 実験概要

2.1 使用材料と養生条件

活性フィラーは、FA (密度 2.36g/cm^3 , 比表面積 $5327\text{cm}^2/\text{g}$) をベースとし、BS (密度 2.92g/cm^3 , 比表面積 $4009\text{cm}^2/\text{g}$) を内割り置換 10%, 20%, 30% (BS10, BS20, BS30) した。アルカリシリカ溶液には、水ガラス、苛性ソーダ、水道水の混合液 ($A/W=0.126$, $\text{Si}/A=0.613$)、細骨材には混合珪砂 (密度 2.64g/cm^3) を使用した。

図1に養生条件を示す。前養生は0日と2日、蒸気養生の最高温度は 60°C と 80°C のそれぞれ2水準とした。

2.2 電気泳動試験

図2に本試験で使用した実験装置の概略図を示す。試験原理は、供試体の厚さ方向に作用させた電位勾配を駆動力として、負電荷を持つ塩化物イオンが供試体中を陰極側から陽極側へ移動することに基づくものである。 D_{Cl} は、定常状態にある時の塩化物イオンのフラックスを用いて算出した。

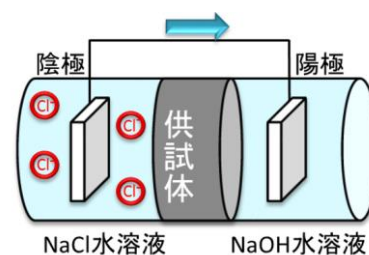


図2 電気泳動試験の概略図

2.3 鋼材腐食性試験

磨き鉄筋を内部に配置したモルタル供試体を製作し、 0.5mol/L の人工海水に図3のように浸漬させ、浸漬材齢と鋼材の腐食状況の関係を調べた。その際、鋼材腐食を促進させるために、供試体は、浸漬3日と乾燥1日を1サイクルとし、10サイクル繰り返した。また、OPCを使用したモルタル供試体を作成し、同様の方法で試験を行った。

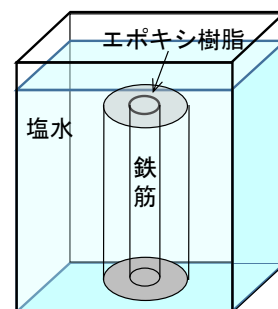


図3 鋼材腐食性試験の概略図

3. 実験結果

3.1 電気泳動試験

図4に実験条件ごとの D_{Cl} を示す。なお、比較として OPC の D_{Cl} を、文献から引用したり、BS10 と BS20 において、 D_{Cl} の違いは見受けられないこと、BS30 の D_{Cl} は BS10 や BS20 と比べて著しく低下し、低下率は前養生0日が35%であるのに対して前養生2日は50%であり、前養生をすることで物質透過性を抑制できる

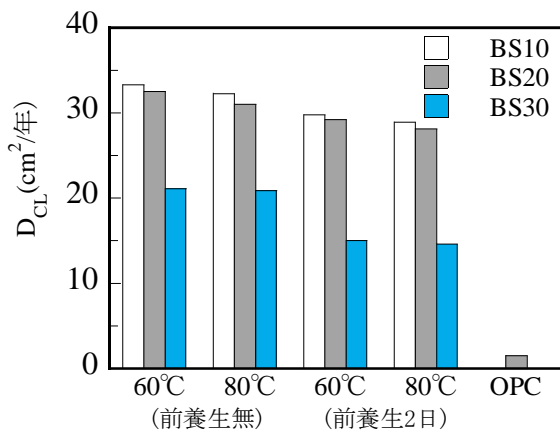


図4 養生条件と塩化物イオン拡散係数の関係

ことが明らかになった。OPC と GP を比較すると、GP の D_{CL} は、OPC より約 10 倍から 20 倍大きいことがわかった。

3.2 鋼材腐食性試験

図5に、鋼材腐食性試験を10サイクル行った後に圧縮試験機による割裂载荷で、周りのモルタルを外した磨き鉄筋の腐食状況を示す。全体的に、BS10、BS20は同程度で、BS30での腐食面積は両者よりも小さい。この結果は、図4で示した D_{CL} の傾向と一致するものであり、OPCと同様に、GPでも D_{CL} で鋼材の腐食性を推定できることを確認した。特に、前養生2日のBS30では、60°Cと80°Cのいずれの場合も発錆はなかった。つまり、図4の結果から、 D_{CL} を $15\text{cm}^2/\text{年}$ 程度に抑えることで鉄筋の発錆を抑制できる可能性がある。GPは、活性フィラーに含まれるケイ素などの金属イオンがアルカリ溶液と接することで、脱水を伴いながら縮重合化することにより硬化する性質を有していることから、磨き鉄筋の表面と結合して、OPCの場合の、不動体皮膜の形成に相当するような、何らかの局所的な変化が生じた可能性がある。

錆の発生場所が鉄筋全面でなく、偏在していることも特徴である。OPCコンクリート(モルタル)の場合では、鉄筋の腐食形態には、(a)表面が均一に腐食するもの、(b)局所的に著しく腐食深さが大きくなるもの²⁾がある。本試験の結果は10サイクルのものであり、より長期での検討が必要である。

錆の発生場所が鉄筋全面でなく、偏在していることも特徴である。OPCコンクリート(モルタル)の場合では、鉄筋の腐食形態には、(a)表面が均一に腐食するもの、(b)局所的に著しく腐食深さが大きくなるもの²⁾がある。本試験の結果は10サイクルのものであり、より長期での検討が必要である。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) GPの塩化物イオン拡散係数は、OPCの約10倍から20倍と大きい。
- (2) GPでは、BS置換率が高いほど、塩化物イオンの浸透が抑制される傾向にある。BS10とBS20はほぼ同じであるが、BS30では両者の約35%から50%程度まで浸透を抑えることができる。
- (3) 蒸気養生の最高温度(60°C, 80°C)は、塩化物イオンの浸透性に影響しない。
- (4) 前養生(蒸気養生前の気中養生)を2日行うことで、塩化物イオンの浸透性が抑えられる。
- (5) GP中の鋼材の発錆状況は、BS置換率や前養生の有無に影響され、BS30の前養生2日では、発錆を抑制できる。

謝辞 本研究はJSPS科研費17H03291の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 北畠裕之, 前田聡, 武若耕司, 山口明伸: 通電によるコンクリート中の塩化物イオンの泳動に及ぼす諸要因, Vol.25, No.1, 2003.
- 2) 前原聡, 伊代田岳史: 鉄筋腐食での腐食形態がモルタル表面のひずみ挙動に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1113-1118, 2016.

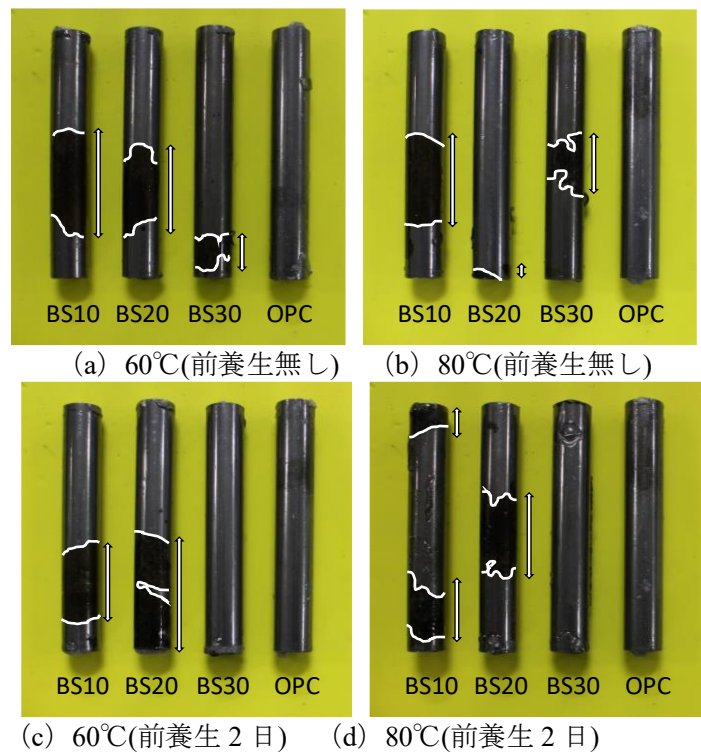


図5 磨き鉄筋の腐食状況