

ジオポリマーの塩化物イオン浸透性ならびに鋼材腐食抵抗性

大分高専専攻科 学生会員 ○山本 理得

大分高専 正会員 一宮 一夫

1. はじめに

セメントが水和反応によって固化するのに対して、ジオポリマー（GP）は縮重合反応によって固化する。その結果、GP 内部には微細な空隙が多数形成され、GP を鉄筋コンクリートとして使用する場合は、従来のセメント固化体に比べて塩化物イオンを透過しやすいことが予想される。しかし、金属イオンを核として固化する GP は、鉄筋との付着性が従来のセメント固化体よりも高く、両者の界面には密実な不動態層が形成される可能性もあり、塩化物イオンの透過性だけで GP 内部に配置した鉄筋の腐食性を推定できるかは不明である。

本研究では、フライアッシュ（FA）-高炉スラグ微粉末（BS）併用系 GP を対象に、配合や養生条件と塩化物イオンの浸透性ならびに鉄筋の腐食性について検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体

(1) 使用材料ならびに配合

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%の 3 水準（以下、BS10、BS20、BS30）とした。また、使用するアルカリ溶液の濃度（A/W）を 3 種類（A/W=0.187, 0.126, 0.095）にそれぞれ調整し作成した。

(2) 供試体の製作

直径 5cm、高さ 10cm のプラスチックモールドを用い、その水平断面の中央に直径 16mm の磨き鉄筋を配置し、モールドと鉄筋の間にモルタルを充填させた。

(3) 養生

モルタル充填後からは、室内で 2 日間静置させ、その後図 1 の関係で蒸気養生（ 60°C 、3 時間）を施した。

2.2 塩水浸漬試験

モルタル供試体を 0.5mol/L の人工海水に図 2 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、20、30 サイクル繰り返した。その後、サイクルが終わったモルタル供試体を破壊して磨き鉄筋を取り出し、取り出した鉄筋の腐食面積を画像解析によって求めた。

2.3 鉄筋の自然電位法ならびに分極曲線

写真 1 に実験状況を示す。供試体表面を湿潤状態にし、鉄筋は電位差計のプラス端子に(a)、基準電極（飽和カロメロ電極：SCE）をマイナス端子に(b)接続した。電極の先端は含水させた脱脂綿を巻き付け(c)、供試体表面と接触させ測定した。自然電位は 1mV まで測定した。

電気化学計測システム（ポテンシostat）を用いて、鉄筋と銀塩化銀電極はそれぞれの端子に接続し、計測した値を用いて分極曲線を作成した。

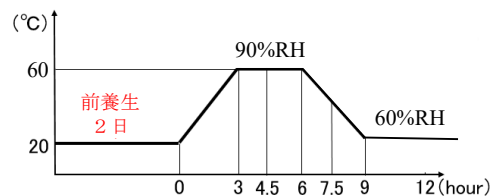


図 1 養生条件

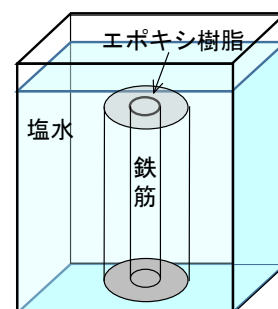


図 2 鋼材腐食性試験の概略図

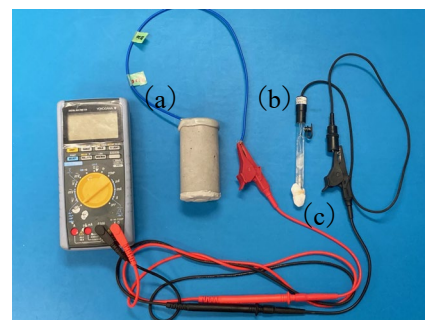


写真 1 実験状況

3. 実験結果

3.1 塩水浸漬試験

表 1 に塩水浸漬試験の腐食面積の二値化画像を示す。BS30 の腐食面積は BS10, 20 と比べて小さくなっているが、完全に錆びを抑制できていない。また、 $A/W=0.187$ では錆びを抑制できていた。

3.2 鉄筋の自然電位と腐食の関係

図 3 に $A/W=0.187$ の GP モルタルと OPC モルタル内部に配置した鉄筋の自然電位の結果を示す。ASTM C 876 による鉄筋腐食の評価基準によると、銅硫酸銅電極 (CSE) に対して、 -350mV 以下は「90%以上の確率で腐食あり」の判定となる。GP モルタルの BS10, 20, 30 全ての供試体において、6 サイクル目には -350mV を大きく下回り、腐食が進行している可能性が高いと考えられたが、塩水浸漬試験の結果より腐食は進行していなかった。この結果は OPC に比べて pH が低い可能性や、鉄筋の周囲に作られる生成物の違いによるものと推測され、自然電位法によって GP 内部の鉄筋の状態は推定できない可能性がある。

3.3 鉄筋の分極曲線

図 4 に $A/W=0.187$ の GP モルタル内部の鉄筋の分極曲線の結果を示す。アノード分極曲線は BS20, BS30 ではほとんど同じ挙動を示しており、BS10 は右側にシフトしている。これより、鉄筋の周囲の不動態皮膜の状態は BS10 では悪化している可能性が高いことが分かる。同様にカソード分極曲線は BS 置換率が高くなるにつれて左側にシフトしている。これより、BS 置換率を高くすることでモルタルが密実となり、酸素の供給が少なくなっていることが分かる。

塩水浸漬試験では、BS 置換率を高くすることで腐食を抑えられていることから、この結果と一致する。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) BS 置換率は 30% 以上で発錆速度が小さくなるが完全に錆びを抑えることはできない。
- (2) A/W を 0.187 にすることで発錆を抑制できる。
- (3) OPC に比べて GP は自然電位の値が小さい。
- (4) 自然電位を用いた鉄筋の腐食状態の推定法は GP においては適用できない可能性がある。
- (5) $A/W=0.187$ では、BS10 は鉄筋の不動態皮膜が悪化している可能性が高い。

謝辞 鉄筋の自然電位の測定ならびに分極曲線の作成におきまして、大分高専の山本大介准教授にご指導をいただきました。紙面を借り深謝いたします。

参考文献 1) 花岡大伸, 谷本恒志郎, 伊藤翼: ジオポリマーの塩分および水分浸透性と鉄筋腐食の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.1361-1366, 2021

表 1 塩水浸漬試験

前養生日数	10サイクル			20サイクル			30サイクル		
BS置換率	10	20	30	10	20	30	10	20	30
A/W 0.095									
A/W 0.126									
A/W 0.187									

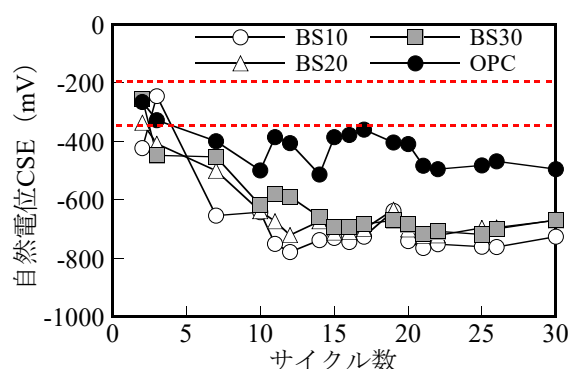


図 3 鉄筋の自然電位

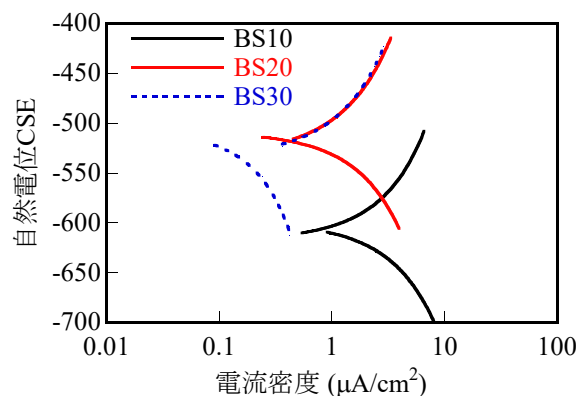


図 4 鉄筋の分極曲線
($A/W=0.187$, 30 サイクル)