

第V部門 自然電位法によるジオポリマーコンクリート中の鉄筋腐食評価に関する考察

京都大学工学部 学生員 ○長谷川 隼也
京都大学大学院工学研究科 正会員 安 琳

1. 背景及び目的

CO₂排出量が多い産業の1つとして、セメント産業が挙げられ、地球温暖化を緩和するためにセメント産業におけるCO₂排出量を削減することは必須である。そこで、ポルトランドセメント(OPC)の代替材料としてジオポリマー(GP)セメントが、近年注目を集めている。GPセメントを使用したGPコンクリートは、コンクリート中の鉄筋の非破壊的な腐食診断手法が確立されていない状態で、実用化に向けて1つの課題となっている。そこで、OPCコンクリート中の鉄筋の腐食診断において適用されている自然電位法に着目し、自然電位法によるGPコンクリート中の鉄筋腐食評価の適用可能性について実験的考察を行う。また本研究において、GPコンクリートは活性フィラーのフライアッシュ(FA)と高炉スラグ微粉末(BFS)を用い、アルカリ活性化剤をメタケイ酸ナトリウム九水和物(Na₂SiO₃·9H₂O, 以下SS)として、常温封緘養生にて作製する。

2. 自然電位法によるコンクリート中の鉄筋腐食評価に関する実験

(1)実験概要

配合における総水量とアルカリ成分の比(アルカリ濃度)、活性フィラー中のBFSの割合(BFS置換率)はGPコンクリートの自然電位に与える影響が大きいとされている。そこで、総水量を加水量とSS内の結晶水量の和、アルカリ成分をNa₂O、活性フィラーをFAとBFSの総量に相当するとして、アルカリ濃度・BFS置換率を変化させたGPコンクリート供試体に対して自然電位測定を実施した。

(2)配合及び供試体作製

本実験では、コンクリートの種類の違いによる自然電位への影響を評価するため、GPコンクリート・OPCコンクリートの2種類を用意した。GPコンクリート

のアルカリ濃度・BFS置換率の自然電位への影響を評価するため、アルカリ濃度・BFS置換率を変化させた3種類の供試体を作製した。具体的には、アルカリ濃度・BFS置換率を、(6%,60%)、(12%,60%)、(6%,30%)とした。また、OPCコンクリートは、アルカリ濃度・BFS置換率が(6%.60%)のGPコンクリートとほぼ同じ圧縮強度となるよう、水セメント比60%で1種類の供試体を作製した。また、鉄筋腐食の促進のため、コンクリート中のCl⁻濃度が10g/Lとなるよう、塩化ナトリウムを添加した。決定した練り混ぜ、型枠(10cm×10cm×40cm)に詰め、GPコンクリートは常温封緘養生、OPCコンクリートは湿潤養生を行った。なお、かぶりは32mmとした。また供試体とは別途、圧縮試験用供試体を作製し、強度試験により圧縮強度を測定した。

(3)腐食促進試験

定電流電源により鉄筋を強制的にアノード溶解させる電食試験を用いて、鉄筋の腐食を模擬した。本実験では電流密度を200μA/cm²、すなわち電流を0.02Aに設定して通電した。電食試験の終了は、供試体にひび割れが確認された時点を目安とした。

(4)鉄筋腐食量測定

電食試験終了後、コンクリート中の鉄筋をはつり出し、60°Cの10%クエン酸水素二アンモニウム水溶液に浸漬し腐食生成物を除去した。浸漬前後の鉄筋の質量差を計算し、鉄筋腐食量を求めた。

(5)実験結果

図1に自然電位の測定結果を示す。なお、ひび割れが生じた時に測定した電位を○で囲んでいる。

OPCコンクリートは、ほぼ一定の電位を示したままひび割れが確認された。これはコンクリート中の塩化物イオン濃度が高く、電位測定開始前から塩害による不動態皮膜の破壊が発生し、腐食反応が活性化していたと考えられる。

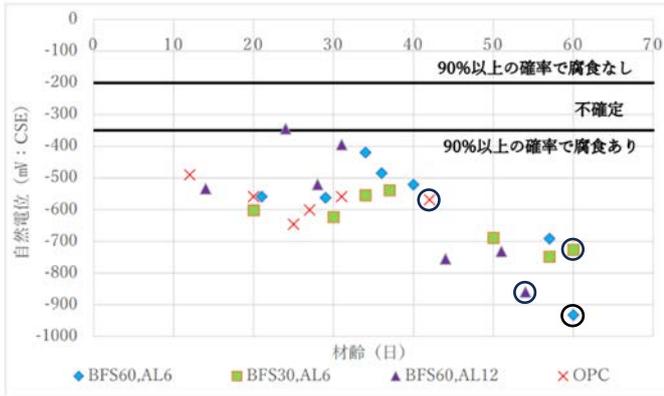


図 1 自然電位測定結果

3 種類の GP コンクリートは、材齢 40 日を境に急激に電位が低下しひび割れが確認された。そのため、材齢 40 日頃に不動態皮膜が破壊され腐食反応が活性化したと考えられる。電食開始前に塩害が発生しなかったのは、Cl⁻の容量が大きい架橋結合 C-A-S-H の影響であると推察される。ASTM の判定基準において、常に「90%以上の確率で腐食あり」と判定されることから、GP コンクリート中の鉄筋腐食評価に ASTM の判定基準をそのまま適用することはできないと考えられる。

BFS 置換率が異なるアルカリ濃度 6%の 2 種類の GP コンクリートを比較すると、BFS 置換率が高いと初期の電位が高くなる傾向にあることが確認された。これは BFS 置換率の高いコンクリートが、架橋結合 C-A-S-H の形成による細孔空隙量の減少と水密性の向上から、鉄筋腐食に不可欠な水分の浸透が停滞したためだと考えられる¹⁾。

アルカリ濃度が異なる BFS 置換率 60%の 2 種類のコンクリートを比較すると、アルカリ濃度が高いと初期の電位がやや高くなる傾向にあることが確認された。これはアルカリ濃度の高いコンクリートが、pH が高いことや、コンクリート中の細孔組織が緻密になり、鉄筋腐食に不可欠な水分や酸素の浸透が停滞したことが原因だと考えられる。

図 2 に 3 種類の GP コンクリートの圧縮強度と自然電位の関係、図 3 に 3 種類の GP コンクリート中の鉄筋の腐食量と自然電位の関係を示す。

GP コンクリートにおいて圧縮強度が高くなると、初期の電位が高くなる傾向にあることが確認された。これは、圧縮強度が高いコンクリートが緻密な構造をとり、腐食反応に必要な酸素や水の浸透が抑制されたためだと考えられる。

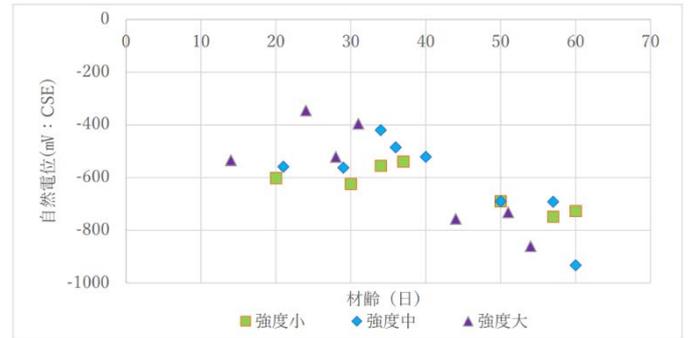


図 2 GP コンクリートの圧縮強度と自然電位の関係

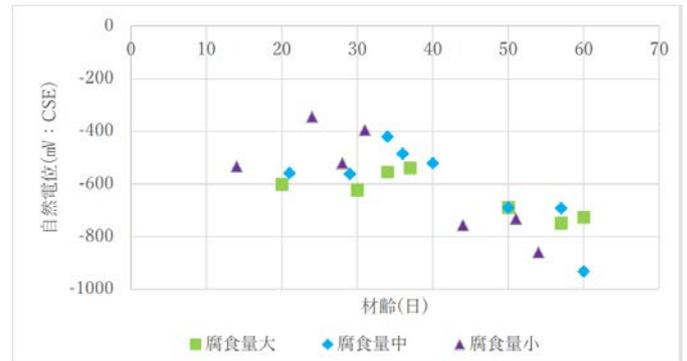


図 3 GP コンクリートの鉄筋腐食量と自然電位の関係

GP コンクリートにおいて、自然電位が低くなると腐食量が増加すると考えられる。すなわち、GP コンクリートにおいても、自然電位と鉄筋腐食性状との間に相関関係があり、ASTM と異なる判定基準を設定して、腐食評価に適用できる可能性があると考えられる。

3. まとめ

- 1) GP コンクリート中の鉄筋腐食評価に ASTM の判定基準を適用できない。しかし、自然電位と鉄筋腐食性状との間に相関関係があり、新たに判定基準を設定し、腐食評価に適用できる可能性がある。
- 2) GP コンクリート中のアルカリ濃度が高いと、初期の自然電位が高くなる傾向にある。
- 3) GP コンクリート中の BFS 置換率が高いと、初期の自然電位が高くなる傾向にある。
- 4) GP コンクリートにおいて圧縮強度が高いと、初期の自然電位が高くなる傾向にある。

参考文献

- 1) Chandani Tennakoon, Ahmad Shayan, Jay G Sanjayan, Aimin Xu : Chloride ingress and steel corrosion in geopolymer concrete based on long term tests, Materials and Design 116, pp.287-299, 2017.