

フライアッシュの置換率、刺激剤の有無がコンクリートの鉄筋腐食に及ぼす影響

広島大学大学院 学生会員 ○山本 誠

正会員 Paweena Jariyathitipong

広島大学大学院 正会員 河合 研至

1. まえがき

フライアッシュは火力発電所から排出される石炭灰である。フライアッシュは1640年のアメリカにおける大ダムの工事の際に使用され、その実用性が高いことが実証された。それ以降、現在まで半世紀以上研究され続けてきた。今日ではコンクリート製造時における環境負荷低減の方法の一つとして、フライアッシュの使用を考えることができる。フライアッシュはコンクリートの水密性の向上、長期強度の増進に寄与するが、多量置換した場合、初期強度の低下、初期材齢における細孔構造の発達の遅延が懸念される。そこで本研究では、フライアッシュで多量置換した場合に発生する問題点の改善を目指しつつ、実構造物への適用の際に不可欠な鉄筋腐食への影響を、細孔構造と細孔溶液の面に着目し実験的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 配合

コンクリート供試体($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$)の水結合材比(W/B)を40%、60%、モルタル供試体の水結合材比(W/B)を45%とし、ペースト供試体の(W/B)は45%とした。また、フライアッシュの置換率を0%、30%、60%とした。ポゾラン反応促進のための刺激剤としてはKOHを使用し、早期強度発現、長期ポゾラン反応促進のための添加物としてのカルシウム補充の目的で $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を添加した。また以下に供試体の表記方法を示す。

- ・フライアッシュ置換率0%=PL、
- ・フライアッシュ置換したもの=「F-置換率」
- ・刺激剤を使用したもの=Kを後付け
- ・水酸化カルシウムを添加したもの=Caを後付け

2.2 細孔径分布測定

細孔構造を調べるために、所定の材齢におけるモルタル供試体を最大径が1 cm 程度になるように粉碎し、水銀圧入法により、そのモルタル内の細孔径分布を測定した。

2.3 拡散係数の測定

拡散係数の測定においては、コンクリート供試体の中腹部を切り出し、供試体($\phi 10 \times 2 \text{ cm}$)を作製した。その供試体を3%NaCl溶液で満たしたセルと純水で

満たしたセルで、両側から挟みコンクリートを通して溶液側から純水側へ移動した塩化物イオンの量を測定した。その純水側への塩化物イオンの移動が定常になった時点で、その塩化物イオンの量から拡散係数を算出した。

2.4 細孔溶液組成による鉄筋腐食抵抗性の測定

ペーストでの材齢28日における細孔溶液を抽出して組成を調べ、それをモデル化した溶液に塩化ナトリウム(NaCl)を3%加えた。これをペーストの全6配合において用意し、その中に鉄筋を浸漬させる。また、鉄筋腐食には塩化物イオンと同時に酸素の供給が不可欠である。そのため本実験では鉄筋を5時間乾燥、10分間浸漬の乾湿繰り返しを行い、所定のサイクル経過後、鉄筋を取り出しその腐食減量を測定した。

2.6 鉄筋を埋設したコンクリートの鉄筋腐食試験

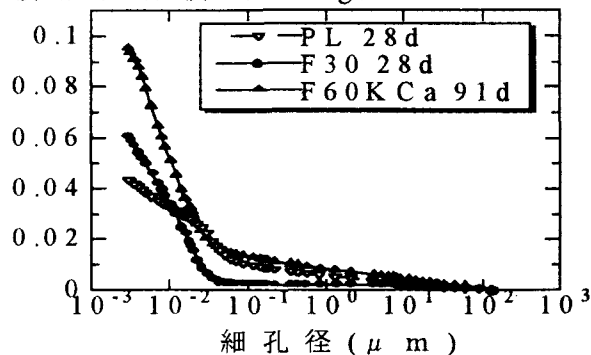
鉄筋を埋設したコンクリートの鉄筋腐食試験としては、かぶり20mmで鉄筋を埋設させたコンクリート供試体に3%NaCl溶液に3日間浸漬、4日間乾燥させる乾湿繰り返しを行った。そして、一定期間終了後、その供試体の自然電位を測り、鉄筋の腐食の程度を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 細孔構造

モルタルのF60、F60K、F60KCaの累積細孔容積を比較すると、60%置換した場合であっても、刺激剤の添加、水酸化カルシウムの添加により、F60よりもF60K、F60KCaの順で、ほんのわずかながら緻密になった。

累積細孔容積 (mL/g)



図・1 60KCa と PL、F30 との比較

また、図-1に F60KCa と PL、F30 との比較を示す。フライアッシュ 60%置換した場合は刺激剤、カルシウムを添加したものであっても、材齢 91 日での累積細孔容積は、無置換の場合、30%置換した場合の約 2 倍、1.5 倍の値を示した。

3.2 拡散係数

コンクリートでの拡散セルによる拡散係数の測定について、純水側セルの塩化物イオン濃度経時変化を図-2に示す。拡散セル設置 10 週間後までは、拡散係数は F60 が最も大きく F60K、F60KCa がそれに続く。他の 3 配合についてはほぼ同じような結果となった。

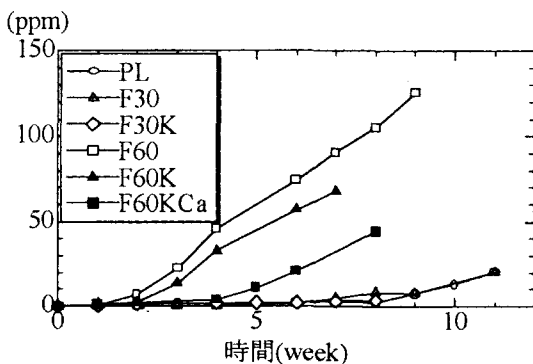


図-2 純水側セルの塩化物イオン濃度経時変化

3.3 細孔溶液による鉄筋腐食への影響

この鉄筋腐食減量測定に於いては、浸漬した溶液名を表記する。今回は 360 サイクル時の鉄筋腐食減量を測定した。

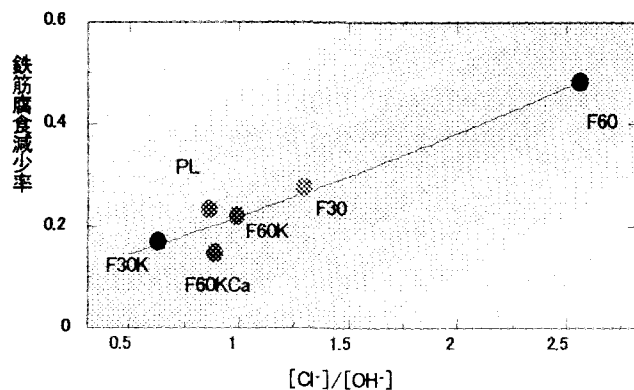


図-3 鉄筋腐食減量の実験結果

図-3 に示すとおり、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ が最も小さい F30K の細孔溶液成分+3%の NaCl 溶液に浸漬させた鉄筋においては、鉄筋腐食減量率が 0.17%を示した。これに対して、 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ が最も大きい F60 の細孔溶液成分+3%の NaCl の場合は鉄筋腐食減量率が最大の 0.48%を示した。他の溶液においてもこ

の $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ と鉄筋腐食減量の相関関係が成り立った。

3.4 鉄筋を埋設したコンクリートの鉄筋腐食試験

かぶり 20mm で鉄筋を埋設させたコンクリート供試体を 3%NaCl 溶液に 3 日間浸漬、4 日間乾燥させる乾湿繰り返しを行った。図-4 に乾湿繰り返し 24 週終了時の自然電位と腐食電流密度の測定結果を示す。図中において左上に推移するほど、鉄筋が腐食している可能性と、またその腐食の程度が大きいことを示している。

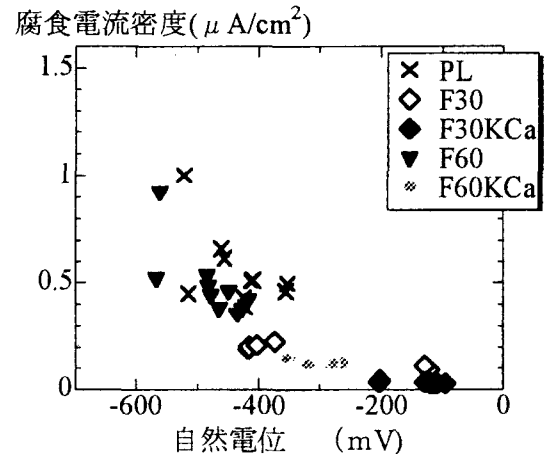


図-4 鉄筋を埋設した供試体における鉄筋腐食性状

図-4 で示されるとおり、特にフライアッシュ無置換の PL、F60 において最も腐食が進行した。また、フライアッシュで 30%置換した F30 はフライアッシュ無置換の場合より、鉄筋腐食抵抗性を見せ、更に刺激剤とカルシウムを添加した F30KCa、F60KCa において最も高い鉄筋腐食抵抗性を示した。

4 結論

フライアッシュで普通ポルトランドセメントを 60%置換した配合は、PL、F30 に比べ、細孔構造がポーラスであり、また、硬化体内の細孔溶液中の強アルカリ性も失われ、そのままでは鉄筋を埋設した実構造物には適応は難しいと思われる。しかし KOH、また $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を添加した配合においては、緻密性の向上に寄与し、また、フライアッシュの多量置換により失われた硬化体内における細孔溶液中の強アルカリ性が回復し、細孔溶液中の $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ を減少させた。そのため、コンクリートの緻密性の面から見ても、細孔溶液組成の面から見ても、刺激剤 KOH とカルシウム分 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を添加した硬化体は鉄筋腐食に高い抵抗性を示すと言える。