

## 石炭灰の改質技術及びフライアッシュセメントの 製造利用技術の開発研究(その3)

－フライアッシュセメントを使用したコンクリートの耐塩性について－

平良秀春、花城可英、小橋川健<sup>1</sup>、豊里友彦<sup>2</sup>

改質された石炭灰を配合したフライアッシュセメントを使用して、コンクリート二次製品の開発及び試作、フライアッシュセメントを用いた場合の耐塩性についての検討を行った。

塩水噴霧による乾湿繰り返し試験においてフライアッシュセメントを使用したコンクリートは普通ポルトランドセメントに比較して塩分の浸透が深く進行せず、フライアッシュセメントを使用したコンクリートの耐塩性が明らかとなった。

### 1 はじめに

フライアッシュセメントは普通ポルトランドセメントと比較して長期強度が高くなることが知られている。また緻密性が向上することによる耐塩性の向上、アルカリ骨材反応抑制や乾燥収縮減少による耐久性向上、化学抵抗性向上等の優れた特性を有する。このため、フライアッシュセメントを使用することにより構造物の長寿命化を図ることが可能である。

沖縄は亜熱帯気候に属し、回りを海に囲まれているため厳しい腐食環境に置かれていると言える。そこでフライアッシュセメントの特性を生かし沖縄地域に適したコンクリート二次製品の開発を目的として研究を行った。今回本事業により開発したフライアッシュセメントを使用してコンクリート二次製品の製造、強度、耐塩性等について検討した。そのうちここでは耐塩性について報告する。

### 2 実験方法

#### 2-1 試験体の作成

小型実験機により未燃炭残量の指標となる強熱減量(Ig.Loss)が4%台となり、フライアッシュⅡ種相当に改質された石炭灰を普通ポルトランドセメントに10% (フライアッシュセメントA種相当:AfFA)、20% (B種相当:AfFB)、30% (C種相当:AfFC) 配合したフライアッシュセメントを使用してφ100mm×200mmの円柱形の試験体を作製した。ここで比較のために石炭灰を配合していない普通ポルトランドセメント(N配合)と、改質されていない石炭灰(Be配合系)を同様に配合したフライアッシュセメントを用いて試験体を作製した。今回作製した試験体の調配合条件を表1に示す。

なお配合は水セメント比を50.0%と一定にし、スランプが8.0±2.0cmになるように決定した。

これらの配合により、供試体を試作し、前養生として7日間水中養生し、28日程度養生した後、試験に供した。

表1 フライアッシュセメントを用いたコンクリートの調合

配合	W/C (%)	S/a (%)	W (kg)	C (kg)	F/C (%)	S (kg)	G (kg)	スランプ° (kg)	空気量 (kg)
N	50.0	46.0	180	360	0	836	1,007	10.0	1.4
BeFA	50.0	46.0	180	360	10	836	1,007	10.0	1.4
BeFB	50.0	46.0	180	360	20	836	1,007	10.0	1.3
BeFC	50.0	46.0	180	360	30	836	1,007	10.0	1.3
AfFA	50.0	46.0	170	340	10	855	1,031	7.5	1.3
AfFB	50.0	46.0	170	340	20	855	1,031	7.0	1.5
AfFC	50.0	46.0	170	340	30	855	1,031	9.5	1.5

W/C:水セメント比 S/a:細骨材率 W:水 C:セメント F:石炭灰 S:細骨材 G:粗骨材

1 (株)トロピカルテクノセンター 2 大和コンクリート工業(株)

## 2-2 塩水噴霧による乾湿繰り返し試験

塩水噴霧による乾湿繰り返しの複合サイクル試験を行った。

図1に試験に用いた複合サイクル試験器（CY-120；スガ試験機株式会社製）の外観、図2に供試体の設置状況を示す。



図1 複合サイクル試験器



図2 供試体の設置状況

噴霧した塩水は3%塩化ナトリウム水溶液を使用した。塩化ナトリウム水溶液を50℃で8時間噴霧後、50℃の熱風を4時間送り乾燥させた。これを1サイクルとして20,60,122サイクルごとに試験片を取り出し、全塩素含有率を測定した。全塩素含有率の測定は供試体の上下3cmを切り落としたものを全量粉碎し、エネルギー分散型蛍光X線分析装置（XEPOS；リガク）を使用し、行った。塩分浸透深さの測定は、0.03%フルオレセインナトリウム水溶液および5%硝酸銀水溶液の噴霧による供試体の変色から浸透深さを求めた。

## 2-3 電気泳導による耐塩性促進試験

電気泳導による耐塩性促進試験は図3に示す拡散透過セル（容量1ℓ、負極側0.5mol/ℓ塩化ナトリウム、正極側0.3mol/ℓの水酸化ナトリウム水溶液）の間の試験体に15Vの直流電圧を与え、負極側から正極側のセルに移動する塩化物イオンの量を調べた。

塩化物イオンの分析に当たっては陰イオンクロマトグラフィーを用いた。試験片はφ100mm、厚さ40mmとした。試験片はASTM C1202準じて真空飽水後の飽和試験体とし、側面に耐水塗装を施したものを使用した。図4に装置の概要図を示す。

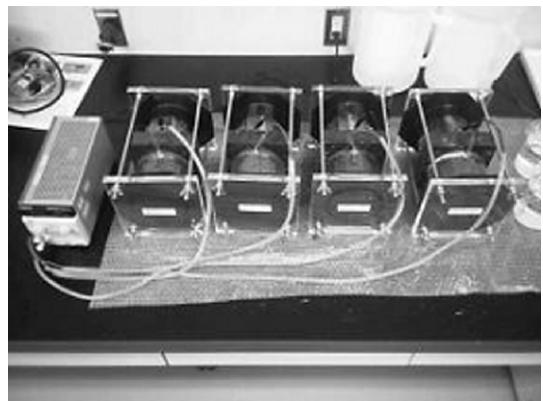


図3 電気泳導による耐塩性促進試験装置の外観

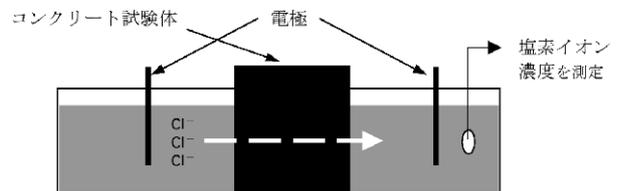


図4 耐塩性促進試験装置の概略図

試験は検討期間が短いことからN、BeFB、AfFB、AfFAの4つの試験片について検討を行った。また、試験の期間は事業スケジュールの関連で10日間とした。さらに、本試験は3回の繰り返し試験を行うことになっているが、今回は繰り返し回数を1回とした。

## 3 結果と考察

### 3-1 塩水噴霧試験における塩素含有率

図5に塩水噴霧による乾湿繰り返しの各試験体中の塩素含有率を示す。

各試験体の塩素含有率はすべて同様に60サイクルまでは塩素含有率が急激に増加し、その後の122サイクルでは大きな塩素含有率の増加が見られなかった。

普通ポルトランドセメントとフライアッシュセメント

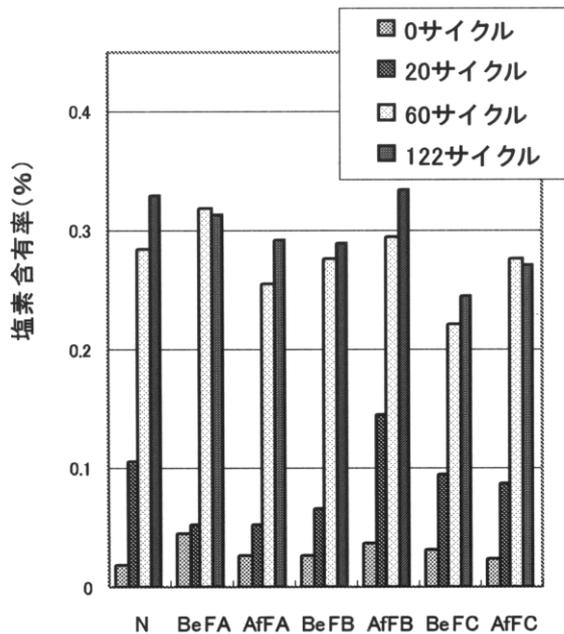


図5 乾湿繰り返し試験における各試験体の塩素含有率

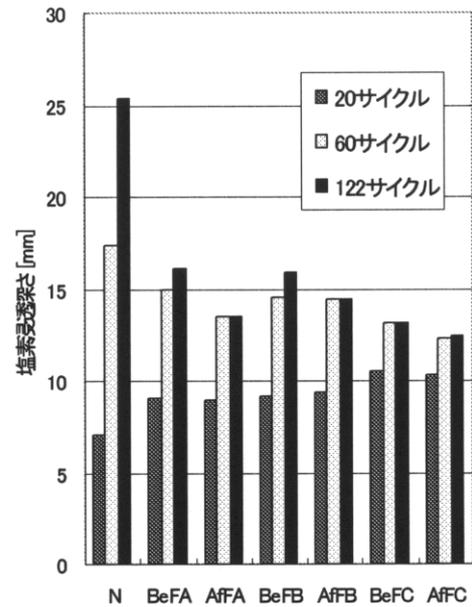


図6 乾湿繰り返し試験における各試験体の塩素浸透深さ

について比較検討をすると、普通セメントの122サイクルにおける塩素含有率が約0.33%であるのに対し、改質した石炭灰を用いたA種フライアッシュセメントが0.28%、B種フライアッシュセメントが0.33%、C種フライアッシュセメントが0.28%であり、大きな違いは見られなかった。

改質前の石炭灰と改質石炭灰を配合したフライアッシュセメントについて比較するとA種において改質前0.31%、改質後0.28%、B種において改質前0.28%、改質後0.33%、C種において改質前0.24%、改質後0.28%と改質による大きな違いは見られなかった。

### 3-2 塩水噴霧試験における塩素浸透深さ

コンクリート二次製品中に配筋されている場合、塩素が鉄筋まで浸透すると錆が発生するため塩分の浸透深さが問題となる。そのため次にこれらの試験体の塩素浸透深さを調べた。

塩水噴霧による乾湿繰り返し試験における塩素浸透深さの測定結果を図6に示す。

塩素浸透深さも塩素含有率の増加特性と同様に60サイクルまでは急激な浸透がみられた。その後普通ポルトランドセメントでは122サイクルでも塩素イオンの浸透が見られ、浸透深さが大きくなっている。これに対し各フライアッシュセメントを配合した試験体では共通して60サイクルから122サイクルでの塩素浸透深さの大幅な増加が見られなかった。

20サイクルの試験片を見てみると、普通ポルトランドセメントが約7.1mmと最も塩素浸透深さが小さく、さらにフライアッシュの置換率が高くなるA種、B種、C種の順に約9.0mm、9.3mm、10.4mmと塩素浸透深さが高くなる傾向が見られた。これはフライアッシュセメントが初期段階ではボゾラン反応が遅く、まだ充分固化していないことが影響していると考えられる。

塩素浸透深さの結果と塩素含有率の結果を併せて検討すると、60サイクルまでは普通ポルトランドセメント及びフライアッシュセメントへの塩素の浸透は同様に15mm前後まで進むと考えられる。その際、フライアッシュセメントでは塩素イオンがフリーデル氏塩として固定化され、より緻密な組織を構成し、塩素イオンの浸透を抑制していると思われる<sup>1)</sup>。一方、普通ポルトランドセメントではフリーデル氏塩の生成が少なく、塩素イオンの浸透抑制能はフライアッシュセメントと比較して低くなっていると思われる。122サイクルでは普通セメントの塩素浸透深さが122サイクルで約25.4mmであるのに対し、フライアッシュセメントでは12mm～16mmと小さく、塩素の浸透抑制効果が見られた。このことから、フライアッシュセメントの耐塩性効果が確認されたと言える。フライアッシュセメントにおける石炭灰とセメントの置換率による塩素浸透抑制性は改質石炭灰の場合122サイクルにおいてA種約13.5mm、B種約14.4mm、C種12.4mmと大きな違いは見られなかった。

フライアッシュ置換率が高いほどフリーデル氏塩生成による固定化能は高まると思われるが、今回の乾湿繰り返し試験は122サイクルを約61日間にわたって試験を行ったことから、試験期間が比較的短く、フライアッシュ置換率による塩素浸透性の違いが出なかったと考えられる。また、改質前の石炭灰および改質石炭灰の塩素浸透性はA種、B種およびC種において改質石炭を配合したフライアッシュセメントが若干塩素浸透深さが低い結果となり、石炭灰の改質の効果が明らかとなった。

### 3-3 電気泳導による耐塩性促進試験

電気泳導による耐塩性促進試験の結果を図7に示す。

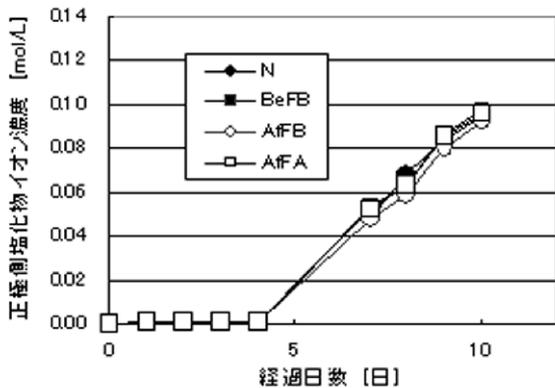


図7 耐塩性促進試験における正極側Cl<sup>-</sup>濃度変化

図に示すように経過日数7日以降において直線的な塩化物イオンの増加が見られた。そしてその増加傾向は各試験片に違いが見られなかった。

また、本試験方法により塩化物イオン濃度の増加が終わり、定常状態となるまで試験をおこなうことができれば拡散係数の算定も可能であるが、今回は定常状態までは試験を継続することができなかったため、拡散係数の算定はできなかった。しかし、各試験片の傾きは約0.015mol/日とほぼ一緒であったことから、拡散係数の違いは見られないと思われる。本試験は繰り返し回数の少なさや試験期間の短さなどの因子が含まれた結果となっており、今後、改めて評価を行う必要があると思われる。

## 4 まとめ

フライアッシュセメントをコンクリート二次製品として利用するために、フライアッシュセメントを利用したコンクリートの耐塩性試験を行った。ここでは塩水噴霧による乾湿繰り返し試験及び電気泳動試験の加速試験を実施した。

その結果塩水噴霧による乾湿繰り返し試験では各試験体の塩素含有量には大きな違いは見られなかった。これに対し、塩水噴霧試験における塩水噴霧・乾燥の122サイクル後（61日後）の塩素浸透深さを普通ポルトランドセメントとフライアッシュセメントを利用したコンクリートと比較すると、普通ポルトランドセメントのコンクリートに比べ明らかにフライアッシュセメントのコンクリートが塩素の浸透深さが浅く、塩素イオンが浸透しにくくなっていることが確認された。

以上の結果より、改質された石炭灰を配合したフライアッシュセメントを用いることで、多少養生期間は必要であるが、普通ポルトランドセメントなみの強度、水及びセメント使用量の低減、高い耐塩性効果を有するコンクリート製品を開発することが可能となった。

### 参考文献

- 1) 鳥居和之、佐藤健一、川村満紀；セメントコンクリート論文集、No.51、126(1997)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。