

### 高炉セメントにフライアッシュを混合したコンクリートの塩分浸透抵抗性に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○中山 大誠  
長崎大学大学院 正会員 佐々木 謙二  
長崎大学大学院 正会員 原田 哲夫

#### 1. はじめに

現在、我が国では高度経済成長期に造られたコンクリート構造物の老朽化が問題となっており、それらの構造物の維持管理が必要で多大な費用、労力が負担となっている。そのような状況も踏まえて、構造物の新設や更新においては、高品質で高耐久なものが求められている。長崎県内ではコンクリートへのフライアッシュの有効利用に向けた取組みが2008年以降活発に行われており、その結果、2015年1月に長崎県における指針(以下、長崎県FAコンクリート指針と呼称)が発刊された<sup>1)</sup>。長崎県FAコンクリート指針において、ベースセメントとして高炉セメントB種を原則としているが、高炉セメントB種(BB)とフライアッシュ(FA)を混合したコンクリート(以下、BB-FAコンクリート)の諸性状に関する検討は少なく<sup>2)</sup>、長期的な性状についてはほとんど明らかになっていない。

そこで本研究では、BB-FAコンクリートの試験施工箇所よりコアを採取して、高炉セメントにフライアッシュを混合したことによる塩分浸透抵抗性への影響について検討した。

#### 2. 実験概要

図-1にBB-FAコンクリートのコア採取構造物および配合を示す。φ100×300mm程度のコアを2017年11月に採取し、全塩化物イオン濃度分布を測定した。また、シリーズBの消波ブロック製造時に、円柱供試体を作製し、標準養生(28日)した試験体を一面開放の状態に3%NaCl溶液に4.5年浸漬した後、全塩化物イオン濃度分布を測定した。全塩化物イオン濃度分布は、コア表面から5mmの深さごとに試料を採取し、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの

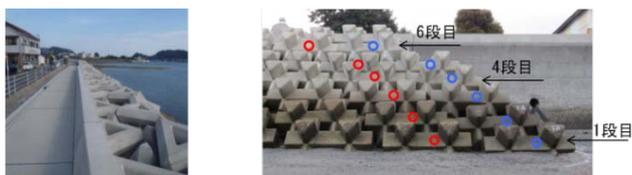
試験方法」に準拠し、塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法により測定した。

#### 3. 調査・試験結果および考察

##### 3.1 全塩化物イオン濃度分布

図-2(a)にシリーズAの材齢1.6年、6.8年のコアの全塩化物イオン濃度分布を示す。材齢で比較すると塩分浸透量はいずれの配合においても、材齢6.8年の方が塩分浸透量が多くなった。一方で、内割20%置換は、塩分浸透量は材齢6.8年の方が著しく多いが、塩分浸透深さは、材齢1.6年、6.8年共に3.0cm程度となった。これは、時間の経過と共にポゾラン反応が進み、組織の密実化が起こったため、既に内部に侵入していた塩分は深部まで浸透できなかつたためと考えられる。また、外割10%置換も内割20%置換と同様に、材齢6.8年の方が塩分浸透量が多くなったが、塩分浸透深さはどちらも3.0cm程度となった。後述の図-4より、シリーズAの材齢6.8年の全塩化物イオン濃度分布より求めた塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、材齢1.6年と比較して無置換では40%程度まで、内割20%置換では20%程度まで低下しており、内割20%置換の方がより顕著に低下している。これらのことより、フライアッシュを混合すると時間経過と共に無置換よりも塩分拡散が抑えられることが分かる。以上のことから、高炉セメントB種にフライアッシュを混合することで、時間の経過と共に表面から浅部の塩分浸透量は増えるが、深部への塩分浸透を防ぐことができると言える。

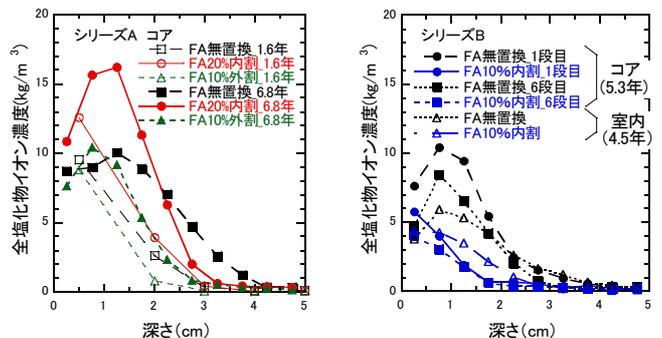
図-2(b)にシリーズBのコアと長期室内塩水浸漬試験体の全塩化物イオン濃度分布を示す。無置換ではコア



18-8-40BB(Air4.5%)  
18-8-40BB(FA内割20%, Air3.5%)  
18-8-40BB(FA外割10%, Air3.5%)  
施工日:2011年1月  
21-8-40BB(Air4.5%)  
21-8-40BB(FA内割10%, Air4.5%)  
設置日:2012年8月

(a) シリーズ A 波返工 (b) シリーズ B 消波ブロック

図-1 コア採取構造物および配合



(a) シリーズ A (b) シリーズ B

図-2 全塩化物イオン濃度分布

高炉セメント, フライアッシュ, 塩分浸透抵抗性, 実構造物コア

〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学大学院工学研究科 TEL 095-819-2592

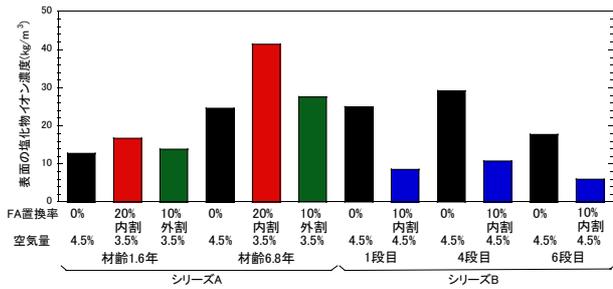


図-3 表面塩化物イオン濃度

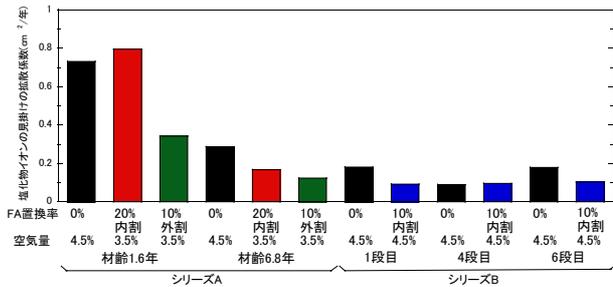


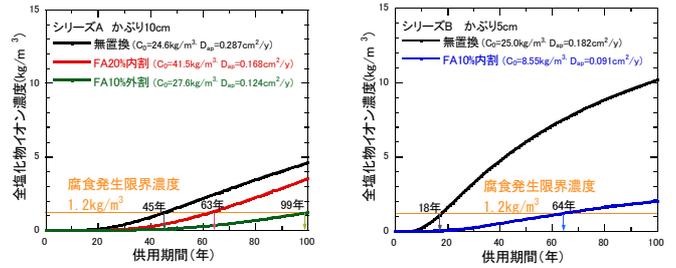
図-4 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

の塩分浸透は1段目は4cm程度、6段目は3cm程度であるが、室内塩水浸漬では5cm程度まで浸透しており、大きな差がある。一方、内割10%置換ではコアも室内塩水試験体も2~3cm程度までの塩分浸透であり、大差ない結果となり、環境条件の影響をさほど受けないことが分かった。

3.2 表面塩化物イオン濃度、見かけの拡散係数

シリーズAの波返工、シリーズBの消波ブロックより採取したコアの表面塩化物イオン濃度を図-3に示す。シリーズAの材齢6.8年では、内割20%置換の表面塩化物イオン濃度は、無置換、外割10%置換よりも大きくなった。一方で、シリーズBの内割10%置換の表面塩化物イオン濃度は、1、4、6段目いずれにおいても内割10%置換の方が無置換よりも小さくなった。これは、シリーズBではフライアッシュのポズラン反応による組織の緻密化に加え、無置換より内割10%置換の方が水結合材比が小さいことにより、外部環境からコンクリート表面への塩分の侵入が少なかったためであると考えられる。

図-4にシリーズA、シリーズBのコアの塩化物イオンの見掛けの拡散係数を示す。シリーズAの材齢6.8年のコアの見掛けの拡散係数は内割20%置換の方が無置換よりも小さくなった。また外割10%置換では、フライアッシュのポズラン反応の効果、フライアッシュを結合材とみなした場合の水結合材比が無置換、内割20%置換よりも小さいことから、見かけの拡散係数が最も小さくなった。シリーズBでは、フライアッシュのポズラン反応による組織の緻密化および水結合材比を3%小さくしていることにより、内割10%置換の方



(a) シリーズ A

(b) シリーズ B

図-5 塩分浸透予測結果

が見かけの拡散係数は小さくなった。無置換の4段目を除けば、無置換、内割10%置換それぞれにおいて高さによらず見かけの拡散係数は、ほぼ同程度となった。シリーズBの消波ブロックは6ヶ月間ヤードに仮置きされてから設置され、無置換の場合と比較して内割10%置換の方はポズラン反応の効果もある程度発揮してから設置されたことによって、塩分の浸透がしにくくなったためと考えられる。

3.3 塩分浸透予測

図-5に表面塩化物イオン濃度、見かけの拡散係数より算出したシリーズA、シリーズBの塩分浸透予測結果を示す。かぶりはシリーズA、シリーズBそれぞれにおいて、10cm、5cmとし、腐食発生限界濃度はどちらも1.2kg/m³とした。腐食発生限界濃度に達するのは、内割20%置換、外割10%置換の方が無置換よりも遅くなった。図-2(a)の通りシリーズAは、時間経過と共に表面付近の塩分浸透量は多くなったが、内部までの塩分浸透が進んでいなかったことも併せて考えると、実際に腐食発生限界濃度に達するのは、塩分浸透予測結果よりもさらに遅くなると考えられる。シリーズBの方も同様に内割10%置換の方が腐食発生限界濃度に達するのが遅くなったことから、フライアッシュを混合することで、無置換より塩分の浸透が抑えられることによって、鋼材腐食発生が遅くなり、塩害抵抗性が大きく向上すると言える。

4. まとめ

本研究では、高炉セメントにフライアッシュを混合したコンクリートの試験施工の追跡調査をし、塩分浸透抵抗性に及ぼすフライアッシュの影響を実構造物に用いたコンクリートの調査結果より示した。今後も高炉セメントにフライアッシュを混合したコンクリートの長期特性についてデータを蓄積していく予定である。

参考文献

- 1) 長崎県土木部：長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針，2015.1
- 2) 植原弘貴，添田政司，大和竹史，橋本紳一郎：高炉セメントとフライアッシュを使用したコンクリートの乾燥収縮および諸特性に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.65,pp340-345,2011