

## 【3-1703】 セメントフリーコンクリートを実現するフライアッシュの高度資源化技術の開発 (H29~H31)

研究代表者 高巢 幸二 (北九州市立大学)

### 1. 研究開発目的

本研究開発では、3カ年の研究期間を想定し、以下の2項目の研究開発を実施する。

#### 1. フライアッシュ改質リサイクルシステムのプロセス最適化 (サブテーマ①、②)

浮遊選鉱技術を利用したフライアッシュから未燃炭素を除去する改質技術において、浮遊選鉱前のスラリー化プロセスと浮遊選鉱後の改質フライアッシュスラリー (Modified Fly Ash Slurry : 以降 MFAS と称す) の濃縮処理プロセスの高度化を研究し、高効率な未燃炭素の剥離が可能な浮遊選鉱の事前攪拌プロセスと消費エネルギーと初期投資の少ない改質フライアッシュスラリー濃縮プロセスをラボレベルで構築する。さらにフライアッシュの廃棄物としての処理費用が 1ton 当たり 10,000 円程度発生している現状に鑑み、本システムでの処理コストは 8,000 円/ton 以下とし、年間 10,000ton 程度フライアッシュを排出している発電所内に設置可能な 10,000ton/年の処理システムを検討してその設計原案を作成する。

#### 2. 改質フライアッシュを使用したセメントフリーコンクリートの開発 (サブテーマ③、④)

改質フライアッシュを熱硬化型フィラーとして使用し、セメントフリーのプレキャスト (PCa) コンクリートの製造および改質フライアッシュを常温硬化型フィラーの一部として使用し、蒸気養生無しに生コン工場で製造可能なジオポリマーコンクリートの実現を目指し、コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量を 80%削減することを目標とする。コンクリートの目標性能は設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup> 以上、収縮率  $10 \times 10^{-4}$  以下、計画供用期間 65 年を満足する耐久性を有することとする。

### 2. 研究の進捗状況

(サブテーマ1) 浮遊選鉱処理プロセスにおける原料・製品間の重金属の移動を、固系試料の溶出試験および液系試料の水質試験を通じて確認した。鉛を除いて、基本的に重金属は製品となるテール灰から除去される傾向にあることが明らかとなった。砒素、総水銀およびセレンはフロス灰に選択的に分離され、ふっ素およびほう素は液系に溶けることでテール灰から除去されたことが確認された。以上の実施結果から、浮遊選鉱処理プロセスにおける重金属の移動に関する検討は、当初の予定通り完了したといえる。平成 30 年度以降の課題として、排水の再利用による重金属の蓄積を定量化し、環境保護および処理コストに配慮した適切な排水処理の方法を検討する予定である。

(サブテーマ2) 事前攪拌プロセスの予備実験においては、原灰と捕集剤である灯油を処理時間 3 分程度で十分に混合ができていたため、その後の浮遊選鉱処理で目標とする強熱減量 2% 以下を達成できた。脱水濃縮プロセスにおいては、ハイドロサイクロンの Vortex、Apex の径が濃縮後の水分に大きく影響しており、1 パスの濃縮処理では十分な固形分回収率は得られないものの、目標とする含水率 40%以下を達成できることが明らかになった。ハイドロサイクロンでの濃縮処理では、処理前のスラリー水分が濃縮後の水分に影響を与えることおよび処理スラリーの粒度分布も濃縮後水分および固形分回収率に影響を及ぼしていると思われる。平成 29 年度は濃縮装置の製造に時間を要したので検証実験を十分に実施できなかったが、平成 30 年度の前半でサイクロンの運転条件の調整や、付帯的な濃縮もしくは固形分回収機器の導入も視野に入れ、更なるプロセス改善を行って極力高い比率での改質フライアッシュスラリー (MFAS) の回収率を目指す。

(サブテーマ3) 建設分野への適用が可能とされる要求性能に対して、本プロセスで改質したフライアッシュスラリーを使用したジオポリマーコンクリートが概ね満足する性能を示していることが示された。以上より、本プロセスで濃縮された MFAS を熱硬化型フィラーとして使用

したジオポリマーコンクリートを開発可能であると示唆された。重金属溶出試験において改質灰 GP のセレンのみが僅少なから環告 46 号基準上限値を超過していたので、平成 30 年度において原灰の変更によるさらなる検証と、基準上限値の満足する配（調）合もしくは養生条件の検討を実施する。

（サブテーマ 4） 圧縮強度 30N/mm<sup>2</sup> レベルの配（調）合では、ジオポリマーコンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量は、セメントコンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量に比べ約 50%削減されることが分かった。配（調）合の最適化によりさらに排出量の削減が見込まれる。ジオポリマーは、セメントに比べ耐酸性に優れ、アルカリ骨材反応のひび割れを抑制する効果があることがわかった。ジオポリマーの特長が活かせる特殊な環境下では、長期的なコストが削減できると考えられる。本プロセスで濃縮された MFAS を熱硬化型フィラーとして使用したジオポリマーコンクリートの優位性を確認できた。

### 3. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

近年オーストラリアやドイツにおいてセメントに代わる結合材としてジオポリマーが開発されている。高品位なフライアッシュはジオポリマーの活性フィラーとすることができる。フライアッシュの発生量は、2014 年度において 12,615 千 t であり、有効利用率は 98.1%となっている。2014 年度のフライアッシュの有効利用状況は、セメント原材料（粘土代替）に 66.6%、セメント混合材に 0.71%、コンクリート混和材に 0.65%、土木分野に 14.5%、建材ボードに 3.22%、農林・水産分野に 1.38%、その他に 12.3%となっているが、フライアッシュを有価物として取り扱っているのはセメント混合材とコンクリート混和材のわずか 1.34%であり、その他は全て産廃処理費を排出側が支払って実質上産廃処理されている。さらに 2000 年以後、その引き取り価格が上昇しており、現在では当時の 4 倍程度となっている。このような状況を鑑みると、フライアッシュの品質を高めて単独利用できる高度な資源とすることが重要となる。低品位フライアッシュから未燃カーボンを除去して改質することによってジオポリマーコンクリートの活性フィラーとして利活用できれば、セメントフリーにより建設分野の CO<sub>2</sub> 排出量を大幅に抑制できると共に地域に根ざす生コン産業およびコンクリート二次製品産業の活性化に繋がると思慮される。さらに建築・土木材料は天然資源を膨大に消費する産業であり、天然資源の枯渇が危惧されている。既に西日本地区では海砂採取規制を実施しておりコンクリート用細骨材の確保が難しくなっている。本技術開発の製品対象である改質フライアッシュは細骨材の代替としても最適な材料であり、新たな天然資源としての価値創出が可能となる。

ここまでの技術開発の推進により生コン工場やコンクリート二次製品工場のような地域産業の活性化に留まらず、MFAS を使用したセメントフリーコンクリートの開発による CO<sub>2</sub> 排出量を 50%抑制できることが確認されパリ協定の削減目標への貢献と改質フライアッシュの細骨材代替による天然資源の消費抑制により環境政策に貢献できる可能性が見いだせた。以降の開発で配（調）合の最適化を行い CO<sub>2</sub> 排出量の 80%削減を目指す。

### 4. 委員の指摘及び提言概要

MFAS によるジオポリマーコンクリートの可能性が見えた点を高く評価する。また、政策的貢献という観点からは、当面の課題の解決に寄与すると評価する。一方で、フライアッシュについては、石炭火力が減少していくことから将来発生見通しに疑問が残る。今後のアジア地域での適用に向けても論じうるように論点を整理することが必要であろう。また、フライアッシュの性状は、発生元によって大きく変化するため、種々の性状(含有重金 etc)のデータを蓄積してほしい。土木資材として利用する場合、長期に亘るアルミナの反応安定性を確認する必要があるのではないか。加えて、改質工程から出てくる不要物の処理、処分を含めた技術的、経済性の見通しの検討を進めてもらいたい。

5. 評点

総合評点：A