

資源循環に資するフライアッシュコンクリートの品質評価手法に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2018-11-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 今川, 健一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/19700

2016年度 理工学研究科

博士学位請求論文（要旨）

資源循環に資するフライアッシュコンクリートの品質評価手法に関する研究

学位請求者 建築学専攻
今川 健一

内 容 の 要 旨

1. 本研究の問題意識と目的

本研究で扱うフライアッシュ(以下 FA と記す)とは、石炭火力発電所において微粉炭の燃焼の際に生じる石炭灰を分級することにより得られる産業副産物をいう。

我が国では、電力供給源として火力発電に対する依存度が高く、燃料の供給安定性に優れる石炭火力発電は、総発電量のおよそ 3 割を占める重要な位置づけにある。また、原子力発電所が軒並み稼働停止したことに伴う電力供給の積み増しという形で、石炭火力発電所の新設も計画されていることから今後の石炭灰の発生量増加は避けられない見通しである。

一方、持続的発展を可能とする社会を構築するうえで、廃棄物の発生抑制や副産物の循環利用といった環境負荷低減への取り組みは生産活動における重要な責務であることから、石炭灰の循環利用技術の開発および普及は喫緊の課題といえる。

一方で、建設生産分野において石炭灰の循環利用が期待されるコンクリート材料としてのシェア拡大には、技術的課題が存在する。

主なものとして性能の評価方法が挙げられる。コンクリートの品質、特に耐久性は、結果を速やかに得るために促進試験によって評価することが一般的である。コンクリート中の FA の反応は緩慢であることが知られており、FA コンクリートの耐久性を短期間の試験結果に基づき評価することは、FA の反応により得られる効果を過小評価することにつながる。

そこで本研究は、FA を用いたコンクリートの耐久性に対する適切な評価を通し、石炭灰の資源循環に資する利用拡大の方向性とその付帯効果を明確に示すことを目的とした。

2. 本研究の構成ならびに各章の要約

本研究は、

第 1 章 序論

第 2 章 既往文献の調査

第 3 章 資源循環の枠組みと副産物の利用拡大に係る課題の抽出

第 4 章 フライアッシュコンクリート耐久性評価実態の調査

第 5 章 長期的性状変化を考慮した耐久性評価方法の検討

第 6 章 耐久性評価の改善にともなう利用方法の提案とその効果の試算

第 7 章 結論

の 7 つの章よりなる。

それぞれの章の要約を以下に示す。

第 1 章 序論：本章では、本研究の根幹を成す FA について発生工程や化学的、物理的特性といった工学的観点から整理した。

また、資源循環型社会の構築に求められる社会的な利用価値の重要性を整理するために産業副産物としての FA の位置付けを明確にした。

第 2 章 既往文献の調査：本章では、研究の遂行に際し関連する先行研究を調査検討することで産業副産物の循環利用に係る現状の把握および課題を明確化し、本研

究の位置付けとその意義を確認した。

対象文献を

- A) 産業副産物の再資源化の現状と課題
- B) 石炭灰のコンクリート混和材利用技術にカテゴリー化し、抄録を行った。

第3章 資源循環の枠組みと副産物の利用拡大に係る課題の抽出：本章では、産業副産物の有効利用の位置付けおよび有効利用に至る過程の実態把握に資する調査を行った。

産業副産物の有効利用の法的な枠組みとして循環型社会形成推進基本法が制定されており、また、枠組みの柱石として廃棄物処理法および資源有効利用促進法が設けられている。電気事業から発生する石炭灰、および建設業から発生する土砂、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊、木材の2業種5品目は資源有効利用促進法による指定副産物とされ、再生資源としての利用の促進が強く求められる。

石炭灰の主な受入先であるセメント産業は、石炭灰以外にも多種多様な副産物を受入れており、生産活動を通じて産業副産物の中間処理を担う静脈産業としての重要な一面を有する。そのうち、石炭灰がセメント産業の廃棄物受入量に占める割合は約25%となっており、セメント産業に対する有効利用の依存度の高さが浮き彫りとなった。反面、セメント生産量は減少傾向にあり、利用用途をセメント原材料に依存し続けた場合、処理費用が高額となり不経済となる公算が高い。よって、その他の利用用途開拓が今後の循環利用における重要な課題であることを確認した。

石炭灰の利用用途開拓の方向性の検討に先立ち、資源有効利用促進法による他方の指定副産物である建設廃棄物の循環利用に対する意識について実態調査を行った。

調査は、建材製造業者、排出事業者、中間処理業者の立場の異なる3業種に対するアンケートにより行った。

建材製造業者は副産物の製品利用、排出事業者は材料選定における環境負荷の考慮、中間処理業者は再資源化量の増大や環境負荷の低減に利点を見出すことといった点でそれぞれ取り組みを行っていることが明らかとなったことから、3業種間で廃棄物の削減、および再資源化に対する意識共有がなされており、産業副産物の循環利用においては利害関係者間の意識共有が必要条件であることが示された。

これらの結果から、石炭灰の循環利用に対する課題を整理し、新規利用用途のシェア獲得に際しては、当該利用分野における石炭灰利用製品の性能保証および付加価

値とその効果の周知、標準化は立場の異なる利害関係者間の意識共有に資することが示された。

第4章 フライアッシュコンクリート耐久性評価実態の調査：本章では、FAコンクリートの耐久性評価の実態の把握とその課題の明確化を企図し調査を行った。調査は、促進中性化試験40編、長期屋外曝露試験7編の既往研究からコンクリートの調合、圧縮強度、中性化深さおよび中性化速度係数を収集し、統計処理を施すことにより行った。

促進試験の分析結果から、セメントの一部をFAで置換したコンクリートの中性化進行は無置換コンクリートと比較して中性化進行が速くなることが明らかとなった。

また、置換率20%のFAコンクリートの中性化進行は水結合材比が15%程度大きい無置換コンクリートと概ね一致することが明らかとなった。

これらの結果から、促進試験による評価においてはFAのセメント置換による中性化抵抗性への寄与は非常に小さなものとなることが明らかとなった。

続いて、FAの中性化抵抗性に対する寄与を定量的に評価する手法としてFAの結合材寄与率の算定を行った。ここでは、結合材寄与率を『FAが普通ポルトランドセメントの代替として中性化抵抗性に寄与する割合』と定義した。

結合材寄与率は、無置換コンクリートとFAコンクリートの中性化速度係数と水結合材比の線形関係より、コンクリート中の実効結合材FA量を求め、全FA量で除すことにより算出した。

算出結果から、促進試験における結合材寄与率は、屋外曝露試験における結合材寄与率のおよそ1/8程度に留まることが明らかとなり、現在の促進中性化試験によるFAの中性化抵抗性に対する評価は、長期的な反応の実態に即したものとはいえないことを確認した。

第5章 長期的性状変化を考慮した耐久性評価方法の検討：本章では、FAの長期的反応の実態を考慮した促進中性化試験方法を検討するために、水セメント比、FAの混合方法、置換率、および養生環境温度および水分を変動因子とした実験を行った。

試験項目は圧縮強度試験、促進中性化試験、示差熱分析によるCa(OH)₂量の測定である。

低温養生環境下ではFAの反応が励起せず、圧縮強度、中性化速度係数ともにFA置換率の増大に伴い無置換コンクリートと比較して性能が低下する傾向が確認された。一方、高温養生環境ではFAコンクリートの強度発現性は材齢初期より高くなり、中性化速度係数は小さくなる

傾向にあった。これらのことから、FA の反応の温度依存性が明らかとなった。また、圧縮強度と中性化速度係数は養生環境の温度によらず相関性を示し、圧縮強度を指標とすることで中性化進行の予測が可能となる既往研究の調査より得られた知見と同様の結果を確認した。

異なる養生温度環境における FA の結合材寄与率を第 4 章における検討と同様の方法を用いて算定した結果、高温環境における結合材寄与率は低温環境における結合材寄与率と比較して著しく向上することが明らかとなった。

コンクリートの積算温度と結合材寄与率は比例すると仮定し、屋外曝露試験調査の分析結果と同等の結合材寄与率となる積算温度を算出した。これを現在の促進中性化試験の前養生期間に当てはめた場合、30℃の養生温度とすれば、FA の結合材寄与率をおおよそ過不足なく評価可能であることを示した。

第 6 章 耐久性評価の改善にもなう利用方法の提案とその効果の試算：試算の前提として、年間の最終処分量、海外輸出货量、および今後の石炭灰発生量の増大を総合的に勘案し、年間 200 万 t の石炭灰の循環利用を目標として設定した。

モデルパターンは、結合材寄与 FA 量を当該セメント量と置換する低炭素型と、セメント量を確保し細骨材として置換した FA のうち、結合材として寄与する FA を耐久性の増分としてとらえる長寿命型の 2 種類を設定した。

各モデルの試算における結合材寄与率は調査および実験から得た数値を基とした。

低炭素型モデルの試算は、FA の置換率ごとのセメント削減量および FA 利用増加量を算出することにより行った。また、セメントおよび FA のインベントリデータから CO₂ 削減量を算定した。試算結果から、置換率 20% の FA セメントが全セメント生産量の 15% のシェアを獲得すれば循環利用目標は達成可能であり、その際の CO₂ 削減量は約 45 万 t であることを示した。

長寿命型モデルの試算は、鉄筋コンクリート構造物の性能限界を中性化深さ 20mm 到達年数と設定し、性能限界を 1.2、1.5 倍と引き上げた場合に増加する単位 FA 量を基に、年間に生産される生コンクリート全てに少量の FA を添加することを想定した利用総量を算定することにより行った。試算結果から、循環利用目標である 200 万 t の FA は全ての生コンクリートの耐用年数を少なくとも 1.2 倍以上に向上させるのに十分な量であることを示した。

第 7 章 結論：本章は、論文の各章を要約し、本研究の結論と今後の課題を総括した。

本研究は、FA コンクリートの耐久性を実態に即し適切に評価しうる指標である結合材寄与率の導入を通して、資源循環に資する利用拡大の方向性、およびその付帯効果を明確にした。

今後の課題としては、長期的性状変化を考慮した耐久性評価の精度向上および、より実現性の高い資源循環の成立諸条件の検討が挙げられる。