

## 学位論文題名

コンクリート材料としてのもみから灰の  
有効利用に関する基礎的研究

## 学位論文内容の要旨

近年、産業廃棄物をはじめとする再生資源の活用が緊急の社会問題となっている。各産業分野から排出される廃棄物量は膨大なものとなっており、ゴミ処理問題への対処は近代社会の抱える重大且つ深刻な問題の一つであることは論を待たない。建設業界からもコンクリートやアスファルトを中心とする膨大な建設廃材が発生しているが、これを再生建設材料として有効活用する研究が盛んとなっている。一方、他の産業分野からの廃棄物量も多種でしかも膨大であり、その処理方法といかなる分野で消費するかも重大な問題である。建設分野への有効利用が確立されれば、廃棄物処理の問題はかなりが解決されると考えられる。ここに産業廃棄物を建設材料として有効利用する研究の重要な意味がある。

本論文は農業廃棄物としてのもみからの有効活用に関する研究である。もみからは土中からケイ酸を吸い上げて生長し、その灰質量の90%程度に達する二酸化ケイ素を蓄積している。これはセメントを構成する重要な成分の一つであり、ポゾラン材としての可能性の高い材料である。事実、ポゾラン材としての研究は1970年頃から始まり、早くも四半世紀の研究歴史を有する。このような多くの研究の蓄積の上に、著者は以下に述べるような研究を行った。

## 1. もみから焼却原理の提案

通常、もみからは野焼きに見られるように、着火後は発炎状態で燃焼を進行させるのであるが、著者は着火後は発炎させずに炭化させ、燐炭を経由して灰化させる方法を提案した。燐炭生産温度と灰化温度はかなり異なるので、この方法に「2段階焼却法」と命名した。前者の焼却によるともみから灰の活性は温度依存性が大きく、600°C以上の焼却温度においては、得られたもみから灰の活性は小さい。これに対して「2段階焼却法」に基づいて得られた灰は非常に活性が大きく、600°C以上の温度で焼却されても活性の高いもみから灰を得ることができる。この原理は水酸化カルシウムの飽和溶液の電気伝導率を測定する「Luxanの方法」を用いて明らかにされた。活性もみから灰を得る焼却方法について、このように明瞭な焼却原理の提案は既往の研究にはない。

## 2. もみから灰の粉体特性

## 1) 2次凝集

もみから灰は使用に際して、比表面積を増大しポゾラン活性を向上させるために、ある程度粉砕することが必要である。通常、粉砕エネルギーを増大させると細粒化あるいは微粒化し、その比表面積を増大させる。しかし、粉砕エネルギーの増大によって逆に比表面積を低下させる場合があることが、粉体工学において知られている。著者は活性の高いもみから灰を粉砕する際にも、この現象が見られることを初めて指摘した。既往の論文でももみから灰の比表面積に触れたものはあるが、2次凝集について述べた論文は無い。この現象はアモ

ルファスレベルの高い非晶質、すなわち活性の高いもみから灰ほど著しく、逆に結晶質で活性の低いもみから灰ほど、この傾向は少ない。粉碎時間の増大に応じて比表面積が低下し、電気伝導率も低下することを明瞭に示した。また、電子顕微鏡像によって直接的にその凝集の様子を確認することができた。この現象はペースト、モルタルやコンクリートの練りませ時に、もみから灰分散の障害となる。もみから灰が十分に分散されないと、ポゾラン活性の発現の障害となり、見かけ上、活性が低く評価されることになる。そこで、この凝集を軽減するために粉碎助剤を入れて粉碎を行った。その結果、比表面積、電気伝導率およびモルタル強度においてかなりの効果を確認することができた。

## 2) Luxanの方法によるもみから灰非晶性の評価

既往の研究においてはもみから灰非晶性の評価は、X線回折を用いて行われてきた。回折図から非晶質と判断された試料は、すべて同じ非晶質として扱われており、各試料間の相違に対してはあまり注意が払われていなかった。しかし、著者はX線回折図から非晶質と判断された試料間にも、そのレベルにおいてかなり相違のあることをLuxan法を用いて明らかにした。すなわち、Luxan法を用いることによって、X線回折では不可能なもみから灰の非晶性レベルの相違を明らかにした。

## 3. 電気伝導率と圧縮強度の関係

Luxan法によって得られたもみから灰の電気伝導率の差ともみから灰混入モルタルの圧縮強度の間には、かなりの相関関係があることを明らかにした。これによって、電気伝導率を測定するだけで、もみから灰のポゾラン活性をかなりの程度で推定できることが判明した。これは他の混和材の場合に対しても適用できる。

## 4. 高活性もみから灰生産用の実用炉の開発

著者が示した「2段階焼却法」は高活性もみから灰を得るための焼却原理であるが、この原理に基づいて設計された実用規模の焼却炉を開発した。

一つは「連続式」と名付けられたロータリーキルンを用いる方式である。この炉からは電気伝導率差が大きい高活性、純白で焼きむらの全くないもみから灰が得られた。この炉は外熱方式であり、もみから焼却に相当のエネルギーが必要である。

二つは「バッチ方式」と名付けられ、煙突と着火空間のみを基本構造とするきわめて単純な構造で、高度な技術は一切必要がない。一度の焼却で80~90kgのもみから灰を生産できるが、連続式とは異なり焼きむらが避けられず多少黒いが、平均の電気伝導率差は、Luxanの判定に従うと相当の活性が期待できる灰が得られた。この方式は最初の着火後はもみからの自然によって焼却されるので、ほぼ完全な省エネルギー型の焼却炉である。

## 5. 高活性もみから灰によるコンクリート性質の改善

バッチ方式炉から生産された電気伝導率差 2.4mS/cmのもみから灰を用いて行ったコンクリート実験の結果、以下のようにその性質が顕著に改善された。

- 1) フレッシュコンクリートの粘性の増加：材料分離抵抗性を高める。
- 2) 高いブリージング抑制効果：コンクリート欠陥の大きな原因を除去できる。
- 3) 顕著な強度増進：何れの水結合材比においても、もみから灰混入率 30%前後で最大強度を示し、強度の増加率は最大約 60%にも及んだ。
- 4) 内部構造の顕著な細孔化：もみから灰混入率 30%前後で平均細孔径が無混入に比べて 1/2以下となった。
- 5) 中性化、耐酸性抵抗性等の耐久性向上：内部構造の顕著な緻密化に伴い、耐久性が著しく向上した。

以上のように、著者の提案した焼却原理に基づいて生産されたもみから灰が、コンクリートの性質改善に大きく貢献できることを明らかにした。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 昇  
副 査 教 授 角 田 與史雄  
副 査 教 授 鎌 田 英 治  
副 査 教 授 田 中 信 壽

## 学位論文題名

### コンクリート材料としてのもみがら灰の 有効利用に関する基礎的研究

近年、産業廃棄物をはじめとする再生資源の活用が緊急の社会問題となっている。その処理方法あるいは活用分野などの開発が重要な問題であり、建設分野への有効利用が確立されれば、廃棄物処理の問題がかなり前進すると考えられる。農業廃棄物としてのもみがらも有効活用が問題となっている分野である。もみがらは土中からケイ酸を吸い上げて生長し、その灰質量の90%程度に達する二酸化ケイ素を蓄積し、コンクリート用混和材のポゾラン材として有効性の高い材料である。

本論文ではもみがらをコンクリート用混和材として利用するために、まず、もみがらの焼却法を提案している。通常、もみがらは野焼きに見られるように、着火後は発炎状態で燃焼を進行させるのであるが、著者は着火後は発炎させずに炭化させ、燻炭を経由して灰化させる方法を提案している。燻炭生産温度と灰化温度はかなり異なることから、2段階焼却法を開発し活性の高いもみがら灰を作ることができることを明らかにしている。この方法は水酸化カルシウム飽和溶液の電気伝導率を測定するLuxanの方法を用いて、もみがら灰の高活性化を確認している。

もみがら灰の実用化には、比表面積を増大しポゾラン活性を向上させるための粉砕が必要である。通常、粉砕エネルギーを増大させると細粒化あるいは微粒化し、その比表面積を増大させる。しかし、もみがら灰は粉砕エネルギーの増大によって逆に微粒化に伴い比表面積が低下する2次凝集が起こる。この現象はアモルファスレベルの高い非晶質、すなわち活性の高いもみがら灰ほど著しく、逆に結晶質で活性の低いもみがら灰ほど、この傾向は少ない。粉砕時間の増大に応じて比表面積が低下し、電気伝導率も低下すること、および電子顕微鏡像によって凝集挙動を確認している。この現象はペースト、モルタルやコンクリートの練りませ時に、もみがら灰の分散の障害となり、もみがら灰が十分に分散されないと、ポゾラン活性の発現の障害となる。見かけ上、活性が低く評価されることになる。この凝集を軽減するために粉砕助剤を入れて粉砕を行った結果、比表面積、電気伝導率およびモルタル強度においてかなりの効果があることが確認されている。

もみがら灰の非晶性の評価についてはLuxan法によって、X線回折では不可能なもみがら灰の非晶性レベルの相違を明らかにできること、またLuxan法によって得られたもみがら灰の電

気伝導率の差ともみがら灰混入モルタルの圧縮強度の間には、かなり良い相関関係があることを明らかにしている。これによって、電気伝導率を測定するだけで、もみがら灰のポズロン活性を推定できること、他の混和材の場合に対しても適用できることを明らかにしている。

これらの研究成果を基に高活性もみがら灰生産用の実用炉の開発を行っている。一つは連続方式としたロータリーキルンを用いる方法である。この炉からは電気伝導率差が大きい高活性、純白で焼きむらの全くないもみがら灰が得られるが、もみがら焼却に相当のエネルギーが必要である。

二つはバッチ方式で、煙突と着火空間のみを基本構造とするきわめて単純な構造で、高度な技術は必要がなく、一度の焼却で80~90kgのもみがら灰を生産できるが、連続方式とは異なり焼きむらが避けられない。平均の電気伝導率差から活性が期待できる灰が得られることを確認している。ほぼ完全な省エネルギー型の焼却炉である。

これらの実用炉などから生産された高活性もみがら灰によるコンクリート性質の改善効果は電気伝導率差 2.4mS/cm以上のもみがら灰を用いて行ったコンクリート実験の結果、フレッシュコンクリートの粘性の増加があり、材料分離抵抗性を高めることができること、高いブリーディング抑制効果によりコンクリート欠陥の大きな原因を除去できること、顕著な強度増進があり、何れの水結合材比においても、もみがら灰混入率30%前後で最大強度増加を示すこと、内部構造の顕著な緻密化に伴い中性化、耐酸性等の耐久性向上などに効果が顕著であることなどを明らかにしている。

これを要するに、著者は、もみがら灰のコンクリート材料としての有効利用に関して、有益な新知見および新たな情報を提供しており、コンクリート工学に貢献するところ大である。よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。