

氏名	かく せいぶん 郭 世 文
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	甲第367号
学位授与年月日	平成17年 3月15日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	未分級フライアッシュ及びクリンカーアッシュを用いたコンクリートの諸性状と耐凍結融解性 (Various Properties and Freezing and Thawing Resistance of Concrete with Unclassified Fly Ash and Clinker Ash)
学位論文審査委員	(主査) 服部九二雄 (副査) 緒方英彦 野中資博 石井将幸 本田尚正

## 学位論文の内容の要旨

本論文は、今までの研究成果を踏まえ、未分級中国産フライアッシュをセメントに置換したコンクリート、およびクリンカーアッシュを細骨材に用いたコンクリートの諸性状を明らかにし、特に、中国北西部の気象条件を配慮したコンクリートの耐凍結融解性に注目し、検討した結果をまとめたものである。

中国では一次エネルギーを主に石炭に依存している。電力の76%は石炭を燃焼する火力発電所に頼っており、毎年4億t以上の石炭が発電に使用され、石炭年生産量の1/3を占める。石炭生産量は、石炭工業に関する第九次五か年計画と2010年発展計画によると、2000年には14億5000万tに、2010年には18億tに達することを目標にしており、2020年までに21億tになると予想されている。その結果、多量の石炭灰の産出は避けられない。

石炭灰が再生資源としての利用が、中国における経済と社会発展および環境に対して重大な課題となっており、ひいては地球環境保全に関わる問題となっている。このような社会情勢の変化から、石炭灰のセメント・コンクリート分野への用途を拡大し、その使用量を格段に増加させることが、緊急の課題となっている。

途上国である中国では、環境問題、資源再利用などが重要視されつつあるが、フライアッシュの粉碎、分級などの再生産は企業負担になり、それを実現しているのは一部の企業に限られる。一方、現地で石炭を採鉱し発電するのが一般的な内蒙古などでは、石炭の種類や品質は大きく変

化することがなく、同じ発電所から排出されたフライアッシュの化学組成は一般に安定している。このように多量に生産される未分級フライアッシュをコンクリートの混和材として利用し、かつその長所を明確にすることが本研究の目的の一つである。

また、フライアッシュとともに副産されるクリンカーアッシュは、内部に多くの空孔を持ち、脆弱で活性も小さいので、現在は主として埋め立て造成などに使われている。しかし、クリンカーアッシュは石炭灰のおおよそ 10~25% を占め、石炭灰の産出量から見ればかなりの量になる。また、クリンカーアッシュの化学成分の組成はフライアッシュと似ているため、コンクリートに使用する場合化学的な悪影響がまずないと考えられ、骨材として使うことが期待される。これは、クリンカーアッシュの再資源化および付加価値の引き上げの一つ有効な手段であることとも考えられる。そのため、クリンカーアッシュをコンクリートの骨材として利用できるかどうかを検討した。

本論文は、三種類の中国産フライアッシュを分析し、その内の豊鎮産フライアッシュが利用できることを確認した上で、豊鎮産フライアッシュを用いたコンクリートの諸性状と耐凍結融解性を明らかにした。未分級フライアッシュを用いたため AE 剤を添加したにもかかわらず、コンクリートの流動性の改善はみられなかったが、フライアッシュコンクリートの方が普通コンクリートより密度が大きく、しかもフライアッシュ置換率 30% の場合最も大きい密度と長期強度発現を示した。AE 剤の添加により適正な連行空気量さえ与えれば、凍結融解作用に対する抵抗性は、硬化フライアッシュコンクリートの方が普通コンクリートより優れている。強度が高いことが耐凍結融解性を向上させるとは言えないことを明らかにした。

次に、クリンカーアッシュがコンクリートの細骨材として利用できるかどうかを検討した。クリンカーアッシュはフライアッシュと近似する化学組成を有し、コンクリートに化学的な悪影響がない。クリンカーアッシュは高い吸水率をもつため、コンクリートに骨材として用いる場合、流動性を改善する効果をもつ II 種以上のフライアッシュと併用するほか、AE 減水剤などの併用も望ましい。クリンカーアッシュを細骨材の代わりに使う場合、その置換率は 10% が限界だと考えられ、同時にセメントの代わりにフライアッシュの置換率を 30% とした方がよい。クリンカーアッシュをコンクリートの細骨材の 10% 置換した場合、コンクリートの強度発現と組織構造には支障ないことを明らかにしたが、コンクリートの耐凍結融解性が低く、AE 剤の添加による対応が不可欠必要であることなどとまとめた。

## 論文審査の結果の要旨

開発途上国から先進国へ仲間入りしようとしている中華人民共和国（以下中国と略す）における 21 世紀の課題は、少子化に伴う高齢化、偏った産業構造と所得格差の解消、そして水問題とエネルギー問題である。ここではエネルギー問題に絞って話を進める。

いうまでもなく中国のエネルギーは石炭を主体としたもので、石炭産地は内陸部に偏っている。この石炭を利用した火力発電所を内陸部に建設して得た電力を沿岸部へ送電し産業の支えにしようとするのが、いわゆる「西電東送」という 21 世紀の中国国家プロジェクトである。

中国の石炭埋蔵量は世界一といわれ、これを有効に利用することは誰しも考えることであるが、発生する石炭灰も膨大な量になることはいうまでもない。この石炭灰の処理が大きな課題として中国に残されている。石炭灰以外にも多くの産業副産物が産出されるが、量からすれば群を抜いている。

この石炭灰をいかに再資源化して省資源させるかが本研究の主目的でもある。石炭灰の再資源化は、石炭火力発電所を多く持つ日本でも重要な課題である。石炭灰は、3 種類に分けられ、フライアッシュ、クリンカーアッシュ、シンダーアッシュで、このうち資源としてまた排出量からして、その再利用の必要性の高いのがフライアッシュとクリンカーアッシュである。

中国内陸部西部出身の郭 世文は、この石炭灰の再資源化の方法の 1 つとして、コンクリート用混和材としての利用可能性およびそれに伴うコンクリートの性状変化を研究テーマとして取り組み、以下のような結果を得ている。

まず、実験は 3 つの柱で構成されている。

- 1) 中国産の未分級フライアッシュおよびクリンカーアッシュの性状分析とその利用可能性
- 2) 未分級中国産フライアッシュを用いたコンクリートの諸性状と耐凍結融解性
- 3) クリンカーアッシュを細骨材に用いたコンクリートの諸性状と耐凍結融解性

耐凍結融解性に関しては、とくに中国内陸部では冬季を含めてかなりの低温になることが多く、混和材としてフライアッシュや細骨材としてクリンカーアッシュを用いたコンクリート構造物の凍害、即ち耐凍結融解性が懸念される。このような状況は農業用排水路がコンクリート製になることを考えると、当然のこととして検討しておく必要がある。

実験方法の詳細は省略するが、中国の石炭火力発電所から排出されるフライアッシュ 3 種類の蛍光 X 線分析装置で成分を分析し、コンクリート用混和材として規格に適したものを選定すると、諸性状から豊鎮産のものが利用可能であることが分かったので、これを用いてコンクリート供試体を作成し、その諸性状を検討し、さらに凍結融解試験も実施した。

さらに日本産クリンカーアッシュを細骨材としてフライアッシュを用いたコンクリートに添加した場合、その利用可能割合も含めて、諸性状の変化と耐凍結融解性も検討している。クリンカーアッシュは、石炭火力発電所の石炭灰の 10~25% になることを考えると、この再資源化も当然必要になってくるからである。

以上の実験結果をまとめると次のような重要な結論が得られた。

- 1) 未分級中国産フライアッシュでは豊鎮産のものが特段の加工もなくコンクリート用混和材として利用することができる。
- 2) AE 剤を使用すれば未分級中国産フライアッシュを 30% 混入したコンクリートは、普通のセメントコンクリートよりも密度は大きく、長期強度も大きくなる。また十分に基準を満たす耐凍結融解性が得られる。

3) クリンカーアッシュを細骨材として10%混入した未分級中国産フライアッシュコンクリートは、AE剤を使うことで実際のコンクリート構造物に適用できる性状を持つと共に、耐凍結融解性も基準を満たす結果を示した。

このような結果を総合すれば、今後とも増大する中国における石炭灰の再資源化の一助になることは明白で、特に気象条件の厳しい内陸部の農業水利施設用コンクリートでは高い耐凍結融解性が要求されることを考えると、非常に意義のある結果と言える。

以上のことより、本論文が学位論文として十分な価値を有するものと判定した。