

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Development of Fly Ash Blended Cement with High Alite Clinker
著者(和文)	SIRIBUDHAIWANN
Author(English)	Norrarat Siribudhaiwan
出典(和文)	学位:博士（学術）, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10042号, 授与年月日:2015年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:坂井 悦郎,中島 章,生駒 俊之,武田 博明,宮内 雅浩
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10042号, Conferred date:2015/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Norrarat Siribudhaiwan	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	坂井悦郎	教授	審査員	宮内雅浩	准教授
	審査員	中島 章	教授			
		生駒俊之	准教授			
		武田博明	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Development of Fly Ash Blended Cement with High Alite Clinker（高エーライトクリンカーを用いたフライアッシュ混合セメントの開発）」と題し、6 章からなっている。

第 1 章「Introduction（序論）」では、産業副産物利用や CO₂ 削減の観点から、混合セメントの利用が重要であり、世界的に広範に利用されるようになってきていることを述べている。さらに、既往の研究を整理するとともに、石炭火力発電所の増設に伴い、廃棄物であるフライアッシュ（FA）の発生量が増加しており、FA を用いた混合セメントの利用が重要であるとしている。しかし、FA によりセメントの一部を置換した FA 混合セメントは、初期強度や中性化抵抗性が劣る欠点があり、普通ポルトランドセメント（OPC）の代替が可能な低炭素型セメントとして広範に普及するためには、この欠点を改善する必要があるとしている。第 2 章「Simulation for Hydration of Fly Ash Blended Cement（フライアッシュ混合セメントの水和シミュレーション）」では、FA 混合セメントのクリンカー構成化合物や FA の反応率を用いて、友澤の提案しているセメントの水和反応モデルを基に、セメント構成化合物やセメントと FA の粒度分布を考慮できる新たな水和反応モデルを提案している。さらに、提案した水和反応モデルに基づき、FA 混合セメントの水和反応に及ぼすセメントの構成化合物の比率、FA の粒度分布などの影響を予測している。その結果、20%程度まで FA を混和した混合セメントにおいて、Ca₃SiO₅（C₃S）量を 65～70%程度に増加させたクリンカーを用いると、C₃S 量 55～60%程度の OPC と同等の水和反応率を示すことを見出し、初期強度の改善が可能であると推定している。なお、FA の粒子径を小さくした場合、FA 混合セメントの初期水和反応性は改善されないが、長期では優れた水和反応率を示すと推定している。

第 3 章「Synthesis of High Ca₃SiO₅ Clinker（高 Ca₃SiO₅ クリンカーの合成）」では、実験室の電気炉およびテストキルンにより C₃S 量を変化させたクリンカーの合成について検討している。その結果、合成可能なクリンカー中の C₃S 量は 70%程度が上限であり、これを超えた配合になると遊離石灰量が 3%以上となり、焼成が不十分となることを明らかにしている。この結果に基づき、実機プラントにおいて、C₃S 量 70%程度の高 C₃S クリンカーの製造に成功している。なお、高 C₃S クリンカーはビーライト(Ca₂SiO₄)量が減少するため被粉碎性にも優れており、粉碎エネルギーの低減の可能性も指摘している。

第 4 章「Effect of High Ca₃SiO₅ Clinker in Fly Ash Blended Cement（フライアッシュ混合セメントにおける高 Ca₃SiO₅ クリンカーの効果）」では、高 C₃S クリンカーを混合した FA 混合セメントの水和特性について、OPC と比較し検討している。高 C₃S セメントの水和反応率は、OPC より各材齢において大きな値を示し、高 C₃S セメントと FA を組み合わせた場合の FA の反応率は OPC と組み合わせた場合より大きな値を示すとしている。さらに FA の置換率を変化させ高 C₃S クリンカーを用いた FA 混合セメントの水和発熱量と水和反応率は、20%程度まで FA を混和した場合には OPC と同等であることを見出している。また、FA を 20%混和した高 C₃S クリンカーを用いた FA 混合セメント硬化体において、ケイ酸カルシウム水和物（C-S-H）の Ca/Si 比は、材齢 91 日において 1.5 で、OPC と同等であること、および水酸化カルシウム量（CH）も材齢初期では同等であり、また、FA との反応により CH が消費される長期でも多量に残存しており、中性化抵抗性の改善が期待できるとしている。

第 5 章「Microstructure of Hardened Fly Ash Blended Cement with High Ca₃SiO₅ Clinker（高 Ca₃SiO₅ クリンカー含有フライアッシュセメント硬化体の微細組織）」では、強度や耐久性と関連する硬化体の空隙構造について検討している。FA 混合セメント硬化体の空隙径分布の測定を、通常使用される水銀圧入法により行うと、FA 混和により小さい細孔へ移行するが、全空隙量は増加する傾向を示し、水和反応解析の結果と一致しないことを指摘し、これは測定法において高圧時に空隙構造を破壊するためと推定している。そこで実測したセメント構成化合物や FA の水和反応率を基に、第 2 章で提案した水和反応モデルを用いて、強度発現性と直接関連するゲル-空隙比を算出する方法を提案している。その結果、20%FA を混和した高 C₃S セメント硬化体のゲル空隙比は、OPC と同等であるとしている。

第 6 章「Conclusion（結論）」では、各章で得られた結果を取りまとめている。

これを要するに、本論文は水和反応モデルを利用した FA 混合セメントの材料設計手法を提案すると共に、高 C₃S クリンカーを利用することで、OPC の代替が可能な低炭素型セメントを開発したもので、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として、十分価値あるものと認められる。