

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	耐硫酸塩性を有する混合セメントの材料設計
Title(English)	Material design of blended cement for sulfate resistance
著者(和文)	小川彰一
Author(English)	Shoichi Ogawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9965号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:坂井 悦郎,中島 章,岩波 光保,松下 祥子,宮内 雅浩
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9965号, Conferred date:2015/9/25, 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		小川彰一	
論文審査 審査員	主査	氏名	坂井悦郎	職名	教授	氏名	宮内雅浩
		氏名	中島 章	職名	教授	氏名	
	審査員	氏名	岩波光保	職名	教授	氏名	
		氏名	松下祥子	職名	准教授	氏名	
		氏名		職名		氏名	

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「耐硫酸塩性を有する混合セメントの材料設計」と題し、6章からなっている。

第1章「序論」では、既往の研究を整理するとともに本研究の背景と目的を述べている。特に産業副産物利用やCO₂削減の観点から、世界的に混合セメントが広範に利用されるようになってきていること、将来の経済発展を考慮した場合に東南アジアが、わが国のセメント産業の投資の対象の一つとなること、さらに、そこでは硫酸塩土壌が広く分布するため、耐硫酸塩性を有する混合セメントの開発が必要であることを指摘している。

第2章「硫酸塩劣化の環境要因」では、わが国や東南アジア地域の土壌の調査を実施し、コンクリートの硫酸塩劣化の原因となる海成層由来の水溶性硫酸イオン濃度の高い土壌が、東南アジアに広く分布することを明らかにしている。さらに、硫酸塩土壌には、pH 3程度の酸性硫酸塩土壌や、海岸に近い地域では硫酸イオンとともに塩化物イオンを含有する土壌あるいは交換性Mgイオン濃度の高い土壌があることも明らかにしている。

第3章「混合材による耐硫酸塩性の向上」では、ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末またはフライアッシュで置換した混合セメントの耐硫酸塩性について検討している。その結果、高炉スラグ微粉末またはフライアッシュの利用に加えて、さらに石灰石微粉末の添加や無水または二水セッコウを添加しSO₃量を増加した混合セメントの耐硫酸塩性が著しく向上することを明らかにしている。これは、高炉スラグ微粉末やフライアッシュの利用による水酸化カルシウム生成量の抑制と硬化体組織の緻密化による硫酸イオンの浸透抑制効果、さらには石灰石微粉末の添加やSO₃量の増加によりモノカーボネートやエトリンガイトを初期に生成させ、長期期間経過後に外部から浸透する硫酸イオンと反応してエトリンガイトとなるモノサルフェートやカルシウムアルミネート水和物の生成を抑制するためとしている。なお、フライアッシュはガラス化率やガラスの化学組成が大きく異なるものがあり、これを用いても耐硫酸塩性が改善されない場合があるため、混合材としては化学組成やガラス化率のほぼ同一のものを安定して入手可能な高炉スラグ微粉末の方が好ましいとしている。また、熱力学的相平衡および物質移動を連成させた解析モデルを用いて、各種の混合材を用いた混合セメントの耐硫酸塩性の予測が可能であること、およびセメントの水和により生成した水酸化カルシウムや混合セメント中のAl₂O₃成分が浸透した硫酸イオンとの反応によって二水セッコウやエトリンガイトを生成し、その際に体積膨張を生じることがコンクリートの硫酸塩劣化の要因であることを明らかにしている。

第4章「タウマサイト劣化」では、耐硫酸塩性の向上に有効な石灰石微粉末を添加したセメントに懸念されるタウマサイト生成によるコンクリートの劣化について、熱力学的相平衡計算による解析、硬化セメントペーストを用いた浸漬試験、および、タウマサイト生成反応の基礎的な実験によって検討している。その結果、硫酸イオンの外部からの硬化体中への浸透により、熱力学的に安定なエトリンガイトが優先して生成し、その生成に必要な硫酸イオン濃度を超えるとタウマサイトが生成することを明らかにしている。また、高炉スラグ微粉末またはフライアッシュを利用した混合セメントでは、硫酸イオン浸透を抑制する効果が大きく、硬化体内部ではタウマサイト生成に必要な硫酸イオン濃度になり難いこと、タウマサイト生成にはエトリンガイトとタウマサイト固溶体の生成が必要であり、エトリンガイトと共にタウマサイトが生成する硫酸イオン濃度となる必要があること、さらにタウマサイト生成速度は非常に遅いことを明らかにしている。従って、前章で述べた耐硫酸塩性を有する混合セメントを用いた硬化体では、ごく表層部を除いてタウマサイト生成による劣化の懸念は低いと推察している。

第5章「耐硫酸塩性混合セメントを用いたコンクリートの特性」では、高炉スラグ微粉末、石灰石微粉末およびセッコウを用いて混合セメントを試製して、コンクリートの耐硫酸塩性に加えて、フレッシュコンクリートの特性および断熱温度上昇特性、強度発現性、乾燥収縮、ひび割れ抵抗性、中性化抵抗性および遮塩性について検討している。その結果、本研究で提案した混合セメントは、耐硫酸塩性のほかに、単位水量の低減、発熱抑制、ひび割れ抵抗性や遮塩性の向上を図ることができることを明らかにしている。なお、促進中性化試験による中性化速度は大きくなるが、水セメント比の低減で改善できることを明らかにしている。また、水溶性硫酸イオン濃度が高く、かつ交換性Mgイオン濃度が高いベトナムの酸性硫酸塩土壌でのコンクリートの暴露試験を行い、本研究で提案した混合セメントが、実際の土壌でも十分な耐硫酸塩性を示すことを明らかにしている。

第6章「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、本論文は高炉スラグ微粉末および石灰石微粉末を組み合わせて、さらに、セッコウ添加によるSO₃量の制御により組成を最適化し、硫酸塩土壌に対して耐久性を有する混合セメントを提案したもので、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。