T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	材料工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	小川　彰一	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	坂井　悦郎
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	宮内　雅浩

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文では、混合材として高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、および石灰石微粉末を用い、さらに、SO_3 含有量の制御により、硫酸塩土壌に対して耐久性を有する混合セメントの材料設計について提案した。前記混合材はセメントの混合材としても世界的に広く用いられ、また使用量も増加している。また、これら混合材のセメントへの混合は、概して耐硫酸塩性を向上させる場合が多いが、混合材の化学組成や鉱物組成によっては、逆に硫酸塩抵抗性を低下させる場合がある。また、硫酸塩土壌に対して耐久性を発揮するためのセメント処方は明らかとされていない。本論文では、混合材によって硫酸塩抵抗性が発揮されるメカニズムを明らかとし、硫酸塩土壌に対して耐久性を有する混合セメントの材料設計について検討を行った。本論文は 6 章から構成され、得られた知見を以下に示す。

第１章「序論」では、本研究を行うに至った社会的背景として、混合セメントは、廃棄物利用や CO2 削減の観点から世界的に利用が拡大していること、日本における将来の経済発展を考え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のなることを示し、世界に広く分布する硫酸塩土壌に対する耐久性が確保できる混合セメントの必要性を示した。また、技術的背景として、既往の研究を整理し、耐硫酸塩性を向上させるために取り組むべき課題を明らかとした。

第２章「硫酸塩劣化の環境要因」では、対象とした硫酸塩土壌の特性を明らかにするため、わが国や東南アジア地域、特にベトナムの硫酸塩土壌の調査を実施した。東南アジアにはコンクリートの硫酸塩劣化に対して対策が必要と考えられる水溶性硫酸イオン濃度の高い硫酸塩土壌が広く分布し、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海水由来と考えられる Cl 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存在し、混合セメントの設計においては、硫酸塩に対する抵抗性に加えて、これら要因に対する抵抗性も必要であることを指摘した。

第３章「混合材による耐硫酸塩性の向上」では、対象とした混合材による耐硫酸塩性の効果、およびそのメカニズムを検討した。高炉スラグ微粉末、またはフライアッシュを置換した混合セメントは、硫酸イオンの浸透を抑制し、石灰石微粉末の添加および SO_3 量を増加させることの複合効果により耐硫酸塩性を著しく向上することを明らかにした。また、熱力学的平衡および物質移動を連成させた解析モデルを適用し、高炉スラグに含まれる Al_2O_3 は浸透した硫酸イオンとの反応によってエトリンガイトを生成すること、また、水酸化カルシウムから二水セッコウが生成し、これら両者の体積増加により膨張を生じると推察した。また、この解析モデルを用いることによって各種の混合材を用いた混合セメントの硫酸塩による膨張予測が可能であることを示した。

第４章「タウマサイト劣化」では、耐硫酸塩性に効果のある石灰石微粉末を混合した場合に懸念されるタウマサイトによる劣化の可能性について検討した。熱力学的相平衡計算、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を行い、①硫酸イオンの浸透ではタウマサイトより熱力学的に安定なエトリンガイトが優先して生成すること、②混合材の使用は硫酸イオン浸透抑制効果が大きく、硬化体内部ではタウマサイト生成に必要な高い硫酸イオン濃度になり難いこと、③タウマサイト生成にはエトリンガイト／タウマサイト固溶体が必要であることから、硫酸イオン浸透した場合にはエトリンガイト生成による膨張が卓越し、タウマサイトが生成する可能性はあるが、タウマサイト劣化の懸念は低いと推察した。

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、前章までの検討結果で得られた知見を元に耐硫酸塩性を向上させた混合セメントを試製し、コンクリートを用いた試験によってその特性を明らかとした。試製した耐硫酸塩性混合セメントは、コンクリートにおいても耐硫酸塩性が発揮され、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示した。中性化速度は混合材の使用により早くなるが、混合材の置換率から予測可能であり、水セメント比の低減等で改善できると考えられた。また、水溶性硫酸塩濃度が高く、かつ交換性 Mg イオン濃度が高い酸性硫酸塩土壌中を用いてコンクリートによる暴露試験を行った結果、コンクリート表層は二水セッコウを生じて白色化したが、Mg の浸透は表層に留まり、S(イオウ)の浸透深さは抑制され、厳しい硫酸塩土壌においても硫酸塩抵抗性を示すことを明らかにした。

第６章「結論」では、硫酸塩土壌に対して耐久性を有する混合セメントの材料設計に関する本論文を総括した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	材料工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	小川　彰一	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	坂井　悦郎
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	宮内　雅浩

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This doctoral thesis discusses the material design of blended cement using ground granulated blast furnace slag (GGBS), fly ash and limestone powder with a controlled SO_3 content for sulfate resistance. Use of blended cements has been increasing worldwide with the increase in public awareness for waste material recycling and reduction in CO_2 emissions. These social backgrounds indicate the need for establishing blended cements for concrete with a high durability against sulfate soils which can be found in many places in the world.

The sulfate resistance effect of the admixtures in blended cements and its mechanism were examined. The findings include that replacement with GGBS or fly ash reduces sulfate ingress, and that sulfate resistance was significantly increased by addition of limestone powder combined with increase in SO_3 content. Simulation results using a coupled model of multi-species mass transport and thermodynamic phase equilibrium suggest that ettringite is formed by the reaction between Al_2O_3 contained in GGBS and the sulfate ion entering the concrete, and that expansion occurs with the increase in the volumes of ettringite and gypsum. Regarding to the risk of thaumasite for the use of limestone powder which has a sulfate expansion control effect, the risk of thaumasite attack being low despite possible formation of a certain amount of thaumasite.

In addition, concrete properties using sulfate resistant blended cement of the proposed design was examined. In the test in Vietnam, the concrete exposed to acid sulfate soils containing high levels of water-soluble sulfate ions and ion-exchanging magnesium ions exhibited a limited magnesium distribution within a thin surface layer as well as a shallow penetration of sulfur. This demonstrates that the sulfate resistance of the blended cements is still effective in exposure to aggressive sulfate soils.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).