

サイトウ カズヒデ

氏 名 齊藤 和秀

学位の種類 博士（工学）

学位記番号 博第1094号

学位授与の日付 平成29年3月23日

学位授与の条件 学位規則第4条第1項該当 課程博士

学位論文題目 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの特性に関する研究
(Study on Properties of Concrete Using Blast-Furnace Slag
Fine Aggregate)

論文審査委員 主査 教授 梅原 秀哲
教授 張 鋒
教授 河邊 伸二
准教授 上原 匠

論文内容の要旨

近年、天然骨材の枯渇化や環境悪化への懸念から、川砂や海砂を中心に天然砂の採取が規制されてきており、良質な骨材の入手が困難な状況となってきた。また、従来から使用されてきた川砂、海砂の代替として各種スラグ系骨材が注目されており、環境負荷低減やCO₂排出量削減の観点からも、その有効利用を促進すべく様々な研究が行われている。特に、高炉スラグ細骨材のコンクリート用骨材としての有効利用に関しては、古くから各方面で研究が行われている。これらの研究によれば、高炉スラグ細骨材の使用により単位水量やブリーディングが増加するが、圧縮強度やその他の硬化物性は普通骨材とほぼ同等であり、コンクリート用骨材として利用可能であることが確認されている。1981年には高炉スラグ細骨材のJISが制定され、1983年には土木学会において高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計施工指針(案)が作成され、高炉スラグ細骨材の使用技術の標準が示されている。このような背景の中、高炉スラグ細骨材のコンクリートへの利用は徐々に増加しているものの、現在(2015年)では200万t/年程度であり、高炉スラグの生産量が約2000万t/年であることを考慮すると、未だ細骨材として有効に利用されているとは言い難い状況である。その理由の1つとして、高炉スラグ細骨材がガラス質で粒形が角ばっていることや単粒度であること、天然骨材に比べて密度が大きいことなどにより、コンクリートの

単位水量やブリーディングが増加するため、一般に 30%程度の混合率で使用されることが多く、多量に混合できないことが挙げられる。

そこで本研究では、高炉スラグ細骨材のさらなる利用拡大を最終的な目標とし、高炉スラグ細骨材の持つ課題、すなわち単位水量の増加とブリーディングの増大を解決するとともに、さらに高炉スラグ細骨材の持つ優れた特性を明らかにし、それを有効活用するための方法を検討することを目的とした。

本論文は全 7 章により構成される。以下に各章の概要を記述する。

第 1 章では、本研究の背景と目的、本論文の構成について述べた。

第 2 章では、高炉スラグ細骨材を単独および普通骨材に置換して使用した場合を対象に、既往の研究をまとめ、高炉スラグ細骨材の持つ課題を明確にした。

第 3 章では、課題を解決するための対策として高炉スラグ細骨材と高性能 AE 減水剤を組み合わせたコンクリートの特性を調べ、高炉スラグ細骨材に硬化物性向上の効果があることを明らかにした。

第 4 章では、高炉スラグ細骨材がコンクリート乾燥収縮を低減する効果があることに着目し、その低減のメカニズムについて検討した。さらに、高炉スラグ細骨材と化学混和剤の分野でコンクリートの乾燥収縮を低減する材料として知られる収縮低減剤を組み合わせ、それぞれを単独で使用するよりも大きな収縮低減効果を得ることを明らかにした。

第 5 章では、高炉スラグ細骨材が普通骨材と異なり、長期強度増進、乾燥収縮低減などの硬化物性向上効果を持ち、その理由が高炉スラグ細骨材の粒子表面の反応性に起因し、その反応速度が粒径(表面積)の影響を受けることに着目し、高炉スラグ細骨材の粒径や微粒分がコンクリートの各種硬化物性に与える影響について検討した。さらに、微粒分を想定して高炉スラグ微粉末を添加した場合のフレッシュ性状の改善、長期強度増進、乾燥収縮低減および中性化抑制の効果を確認した。

第 6 章では、単位水量の増加とブリーディングの増大を改善するためのもう 1 つの対策として、高炉スラグ細骨材と各種微粉末の組み合わせに着目し、水セメント比が 60%で高炉スラグ細骨材を 75%使用したコンクリートを対象として、高炉スラグ細骨材の一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの各種微粉末に置換した場合の、フレッシュ性状の改善やブリーディング低減の効果を検証した。併せて、各種微粉末による長期強度増進、乾燥収縮低減などの硬化物性の向上の効果についても確認した。

第 7 章では、各章で得られた知見をまとめ、本研究を総括した。

論文審査結果の要旨

環境保全に伴う川砂や海砂の採取規制などにより、コンクリート用骨材における砕砂の使用割合は年々増加している。しかし、原石を破碎して製造される砕砂は粒形が悪く、コンクリートの単位水量を増加させるため問題となっている。これに対して、環境保全や産業副産物の有効利用という観点から、高炉スラグ細骨材の利用が注目されている。しかし、高炉スラグ細骨材はガラス質で粒形が角ばっていることや川砂に比べて密度が大きいことなどにより、砕砂と同様にコンクリートの単位水量やブリーディングが増加するため、一般に30%程度の混合率で使用されることが多く、多量に使用できない。そのため、高炉スラグの生産量の10%以下しか使用されていないのが現状である。

本論文は、高炉スラグ細骨材を多量に使用しても単位水量の増加とブリーディングの増大を解決する方法を見出すとともに、長期強度増進、乾燥収縮低減などの硬化物性向上効果を明らかにすることを目的としたものであり、7章で構成されている。

第1章では、本研究を行うに至った背景および本論文の目的と構成を述べている。

第2章では、高炉スラグ細骨材に関する既往の研究をまとめるとともに、高炉スラグ細骨材の持つ課題について述べている。

第3章では、高炉スラグ細骨材を多量に使用しても高性能AE減水剤を用いることにより、コンクリートの単位水量の増加とブリーディングの増大を制御できることを明らかにしている。

第4章では、高炉スラグ細骨材がコンクリートの乾燥収縮を低減する効果があることに着目し、その低減のメカニズムを明らかにしている。さらに、コンクリートの乾燥収縮を低減する化学混和剤である収縮低減剤を高炉スラグ細骨材と組み合わせることにより、それぞれを単独で使用するよりも大きな収縮低減効果が得られることを示している。

第5章では、高炉スラグ細骨材の粒径や微粒分がコンクリートの長期強度増進、乾燥収縮低減などの硬化物性に与える影響について検討するとともに、微粒分を想定して高炉スラグ微粉末を添加した場合のフレッシュ性状の改善、長期強度増進、乾燥収縮低減および中性化抑制の効果について明らかにしている。

第6章では、コンクリートの単位水量の増加とブリーディングの増大を改善するためのもう1つの対策として、高炉スラグ細骨材と各種微粉末の組み合わせに着目し、高炉スラグ細骨材の一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの各種微粉末に置換した場合のフレッシュ性状の改善やブリーディング低減の効果を検証するとともに、各種微粉末による長期強度増進、乾燥収縮低減などの硬化物性向上効果について明らかにしている。

第7章では、本研究で得られた知見をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

以上のように、本論文は高炉スラグ細骨材を多量に使用してもコンクリートのフレッシュ性状に問題がなく、長期強度増進、乾燥収縮低減などの硬化物性向上効果が期待できることを示したものであり、工学的価値が高く、社会的にも有効性が高い。したがって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。