

学位論文題名

高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリート
および高流動コンクリートの性状に関する研究

学位論文内容の要旨

近年コンクリート技術の急速な進歩にともなって、これまでにない高性能のコンクリートが開発されるようになった。通常のコンクリートの数倍の強度をもつ高強度コンクリート、現場施工時に締め固めを不要とする高流動コンクリートはその代表的ともいえるものであり、これらの技術的展開とその利用は、今後のコンクリート工学の進展に大きな役割をはたすものと考えられることができる。

高強度コンクリートを得るには、コンクリートの水セメント比を通常のコンクリートから大巾に低下させる必要がある。このため、高強度コンクリートでは低水セメント比を得るための混和剤として高性能A E減水剤を利用するとともに、セメントの粉末度を下回る微粉末成分を加えることが行われる。また、高流動コンクリートでは高性能A E減水剤によって高い流動性を確保するとともに、微粉末成分を多量に加えるなどの手法で分離に対する抵抗性を高めている。このため、高強度コンクリートと高流動コンクリートでは、目的とする特性に相違があるにもかかわらず、その基本的な組成・性状に類似したところがある。

本研究は、産業副産物である高炉スラグを高強度コンクリート、高流動コンクリートに加える微粉末成分として利用し、それによって得られるコンクリートの性能を検討したものであり、その結果を要約すると以下ようになる。

第1章は序論であり、ここでは、高炉スラグ微粉末の性能およびその利用技術、高強度コンクリート、高流動コンクリートについての研究の状況を調べるとともに、本研究の目的と意義を明らかにし、さらに、論文の構成とその内容を記述した。

第2章は、高炉スラグ微粉末の利用にあたって、基礎的な資料を得ることを目的としたもので、実験をモルタルによって行っている。ここでは、高炉スラグ微粉末を用いたモルタルを供試体とし、流動性、凝結、細孔構造、化学的特性、圧縮強度、耐凍害性などの諸特性におよぼす高炉スラグ微粉末の粉末度、置換率、銘柄、対応する混和剤、養生温度と方法などの影響を総合的に検討し、その結果をもとに基礎的な組成配合(スラグ置換率、スラグ量など)、使用する材料(銘柄、粗末度など)を定めたほか、コンクリートとして利用する場合に必要な検討項目と内容を見い出した。

第3章は、高炉スラグ微粉末を用いた高強度・高流動コンクリートの気泡組織と耐凍害性を検討したものである。高炉スラグ微粉末の利用が、水結合材比が低い領域においてコンクリートの気泡組織を微細なものとし、さらに、粉末

度の高い高炉スラグ微粉末の利用は、硬化セメントペースト部分の細孔組織を緻密化させることを示し、その結果として、高炉スラグ微粉末を高強度・高流動コンクリート用の混和材とした場合にコンクリートの耐凍害性が向上することを明らかにした。また、この耐凍害性の改善には養生の役割が大きいこと、さらに、高流動コンクリートでは打ち込まれた後のコンクリート中の気泡の安定性が悪く、この解決が重要であることを指摘した。

第4章では高流動コンクリートの凝結とその後の強度増進性状を検討した。高流動コンクリートでは凝結遅延効果をもつ高性能AE減水剤を比較的少量に用いている。このため、低温域を含めてその凝結特性を検討し、高炉セメント（スラグの粉末度 $4,000\text{ cm}^2/\text{g}$ ）を用いた高流動コンクリートにおいてある程度の凝結遅延が見られるものの、より粉末度の高い高炉スラグ微粉末を用いた場合にはモルタルによる実験で得られたほどの大巾な凝結遅延はなく、実際のコンクリートでは実用的な問題が少ないことを示した。さらに、材令3ヶ月にわたる圧縮強度試験の結果をもとに、高流動コンクリートの強度増進の過程を記述する実験式を誘導し、その傾向を述べるとともに、寒冷時期のコンクリート工事に利用可能な温度補正值の提案を行った。

第5章は、高炉スラグ微粉末を用いた高強度・高流動コンクリートの中性化と乾燥収縮に関するもので、ここでは、高炉スラグ微粉末による高強度コンクリートの強度性能の向上についても考察を加えた。この結果、高強度コンクリートでは高炉スラグ微粉末を用いた場合の乾燥収縮量が高炉スラグ微粉末を加えない場合と同程度か、それ以下であるのに対し、高流動コンクリートではいくぶん値が大きくなることを認め、さらに、中性化については、高炉スラグ微粉末による水酸化カルシウムの消費にもかかわらず、高強度・高流動コンクリートは、その組織が緻密なことによって、中性化速度が極めて遅いことを示した。また、高炉スラグ微粉末の置換による高強度化への寄与はあまり大きなものではないこと、強度改善の目的からは、 $8,000\text{ cm}^2/\text{g}$ という高い粉末度のスラグはかならずしも必要ではないことなどを指摘した。

第6章では、単位セメント量が多く、したがってコンクリート中の単位アルカリ量が多くなりがちな高強度コンクリートがアルカリ骨材反応に対して不利な条件となることを懸念して、高炉スラグ微粉末による高強度コンクリートのアルカリ骨材反応抑制対策のあり方を検討した。この結果、高炉スラグ微粉末をポルトランドセメントと置換することによって、ポルトランドセメントに起因するアルカリを減量させる効果に加えて、高炉スラグのもつ固有の効果があり、この値がアルカリ当量として高炉スラグ使用量の $0.7\sim 1.2\%$ に相当するものであることを明らかにし、これを考慮したアルカリ骨材反応抑制対策を提案した。また、この抑制効果には粉末度、銘柄による差はあるものの、主たる要因は置換率にあることを示した。

第7章は、本研究の総括であり、各章で得られた成果を要約するとともに、得られた成果をもとに高炉スラグ微粉末を高強度・高流動コンクリートに用いた場合の特性を述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 鎌 田 英 治
副 査 教 授 佐 伯 昇
副 査 教 授 石 山 祐 二
副 査 教 授 城 攻

学位論文題名

高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリート および高流動コンクリートの性状に関する研究

近年コンクリート技術の急速な進歩にともなって、通常のコンクリートの数倍の強度をもつ高強度コンクリート、現場施工時に締固めが不要な高流動コンクリートなど、これまでにない高性能のコンクリートが開発されるようになった。高強度コンクリートでは低水セメント比を得るための混和剤として高性能AE減水剤を利用するとともに、セメントの粉末度を下回る微粉末成分を加えることが行われる。また、高流動コンクリートでは高性能AE減水剤によって高い流動性を確保するとともに、微粉末成分を多量に加えて分離に対する抵抗性を高めている。

本研究は、高強度コンクリート、高流動コンクリートに用いる微粉末成分として産業副産物である高炉スラグを利用し、それによって得られるコンクリートの性能を検討したものであり、その結果を要約すると以下ようになる。

第1章は序論であり、研究の目的と意義、さらに、論文の構成とその内容を述べている。

第2章は、モルタルによる実験で、流動性、凝結、細孔構造、化学的特性、圧縮強度、耐凍害性などの諸特性におよぼす高炉スラグ微粉末の粉末度、置換率、銘柄、対応する混和剤、養生温度と方法などの影響を総合的に検討し、高炉スラグ微粉末の利用にあたっての基礎的な資料を得ている。

第3章は、高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリート、高流動コンクリートの気泡組織と耐凍害性を検討したものである。高炉スラグ微粉末の利用が、水結合材比が低い領域においてコンクリートの気泡組織を微細なものとすること、さらに、粉末度の高い高炉スラグ微粉末は、硬化セメントペースト部分の細孔組織を緻密化させること、その結果として、高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリート、高流動コンクリートの耐凍害性が向上することを明らかにした。また、この耐凍害性の改善には養生の役割が大きいこと、さらに、高流動コンクリートでは気泡の安定性が悪く、この解決が重要であることを指摘している。高炉スラグを用いたコンクリートの耐凍害性は劣ると見られることが一般的であり、高炉スラグ微粉末の利用が耐凍害性向上に役立つことを示したことは、寒冷地でこれらのコンクリートを実用化させるうえでの有用な知見である。

第4章では、高流動コンクリートの凝結とその後の強度増進性状を低温域を含めて検討している。この結果、高炉セメント（スラグの粉末度4,000 cm^2/g ）を用いた高流動コ

ンクリートである程度の凝結遅延が見られるものの、モルタルによる実験で得られたほどの大巾な凝結遅延はなく、凝結特性に関して従来危惧されていたような実用的な問題が少ないことを示した。さらに、材令3ヶ月にわたる圧縮強度試験の結果をもとに、高流動コンクリートの強度増進の過程を記述する実験式を誘導し、寒冷時期のコンクリート工事に利用可能な温度補正值を提案している。

第5章は、高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリート、高流動コンクリートの中性化と乾燥収縮に関するものである。高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの乾燥収縮量は高炉スラグ微粉末を加えない場合と同程度か、それ以下であるのに対し、高流動コンクリートではいくぶん値が大きくなることを認めた。さらに、中性化については、高炉スラグ微粉末が水酸化カルシウムを消費するにもかかわらず、これらのコンクリートの組織が緻密であり、結果として、中性化速度が極めて遅いことを述べている。

第6章は、高炉スラグ微粉末による高強度コンクリートのアルカリ骨材反応抑制対策を検討したものである。高炉スラグ微粉末をポルトランドセメントの一部と置換することによって、ポルトランドセメントに起因するアルカリを減量させる効果に加えて、高炉スラグのもつ固有の効果があることを認め、抑制効果を定量的に示した。単位セメント量が多く、したがってコンクリート中の単位アルカリ量が多くなりがちな高強度コンクリートは、アルカリ骨材反応に対して不利な条件となることが懸念されており、その抑制対策を得たことには工学的意義が大きい。

第7章は、本研究の総括である。

これを要するに、著者は、開発されて日が浅く、知見の限られている高強度コンクリート、高流動コンクリートについて、高炉スラグ微粉末を用いた場合の実用化をはかるうえで有用な多くの新知見をえており、建築工学、特に建築材料学の発展にたいして貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。