

学 位 論 文 題 名

高炉スラグ微粉末混入コンクリートの
荷重作用下における塩分浸透性に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、鉄筋コンクリート構造物の長期耐久性を目的として高炉スラグ微粉末 (Granulated Blast Furnace Slag:BFS) を混入したコンクリートの積極的な適用が検討され、その高い塩分浸透抵抗性が注目されている。BFS の添加は、コンクリート中の鉄筋腐食を抑制することが可能であり、非常に緻密な組織を形成することから外部からの塩分や水分の浸透速度が他のコンクリートに比べて遅いことが予想される。また、BFS を混入したコンクリートは電導性が小さいことから腐食セルの形成を抑制する可能性も示されている。しかし、これらの研究は発展途上であり、今後の成果の蓄積が必要である。さらに、実際のコンクリート構造物では、死荷重やプレストレス力及び外力などによる圧縮および引張応力が常に存在する状態にあるが、荷重が部材に作用している環境下における BFS コンクリートの塩分浸透性を検討した研究は非常に少なく、その影響は不明である。

本論文は、圧縮荷重に加えて引張荷重環境下における BFS を混入したコンクリートの塩分浸透性を検討したものである。比表面積がそれぞれ違う三種類の BFS をセメントの内割で置換することにより BFS の比表面積および置換率の違いがコンクリートの塩分浸透性に及ぼす影響について詳しく検討したものである。本論文は、以下の 7 章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、本論文の背景および目的について述べている。近年、深刻な早期劣化現象の一つである塩化物イオンの浸透に起因する鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食が顕在化している。これは、コンクリート構造物のライフサイクルにあって重大な影響を与える原因のひとつであり、効率的かつ経済的なコンクリート構造物の設計・補修を行う上でコンクリート中への塩分の浸透性状の把握が極めて重要であることを示している。さらに、実環境を考慮した荷重作用環境下における BFS コンクリート構造物の塩分浸透特性の把握が極めて重要であることを本論文で指摘している。

第 2 章では、本研究で用いた試験材料および試験方法について述べている。比表面積がそれぞれ違う三種類の BFS 及び他の試験材料について詳述している。塩分浸透試験に採用した NT BUILD 492 に準じた電気泳動試験方法および各種試験材料について述べている。さらに、本研究で採用した荷重の載荷方法とその詳細な挙動について詳しく検討している。

第 3 章では、BFS を混入したコンクリートの基礎的性質について検討している。比表面積の影響に関しては、材齢 28 日の圧縮強度において BFS8000 は Plain および他の BFS コンクリートの強度を上まわっていることが認められた。置換率に関しては、材齢 91 日の圧縮強度において置換率を 50 および 70% とした BFS コンクリートは、Plain コンクリートより圧縮強度が高いことが認められた。材齢 28 日から材齢 91 日への強度増進は、Plain コンクリートに比較して BFS コンク

リートの長期強度増進の傾向が認められた。BFS の比表面積が増加すると引張強度は徐々に増加する傾向が認められたが、Plain コンクリートの 2.56MPa に比べて幾分低い平均 2.24MPa 程度の引張強度を示すことが判明した。

第 4 章では、荷重が作用しない状態（以下、無荷重状態）での BFS コンクリートの塩分浸透性について検討している。さらに、BFS の比表面積及び置換率の違いが拡散係数に及ぼす影響についても検討している。無荷重状態での拡散係数は、BFS を混入したコンクリートのすべてが BFS 無混入コンクリートの拡散係数より低いことが確認され、BFS をコンクリートに混入することによる塩分浸透抑制効果が認められた。また、BFS の置換率が増加するに伴い拡散係数が減少することが確認され、無荷重状態において塩分浸透性の増加を BFS の混入により抑制できることについて述べている。

第 5 章では、圧縮荷重環境下における BFS を混入したコンクリートの塩分浸透性について検討している。さらに、圧縮荷重下での BFS の比表面積及び置換率の違いが拡散係数に及ぼす影響についても検討している。BFS を混入することにより無荷重状態で示された塩分浸透抑制効果が、圧縮荷重が作用する環境下でも保持されることが明らかとなった。また、BFS コンクリートの方が Plain コンクリートより圧縮荷重の影響を強く受けることが確認され、荷重を考慮した塩分浸透性の評価が極めて重要であることについて述べている。

第 6 章では、引張荷重環境下における BFS を混入したコンクリートの塩分浸透性について検討している。さらに、引張荷重下での BFS の比表面積及び置換率の違いが拡散係数に及ぼす影響についても検討している。BFS を混入することにより無荷重状態で示された塩分浸透抑制効果が、引張荷重が作用する環境下でも保持されることが明らかとなった。また、引張荷重が作用する環境下では、高応力レベルでの拡散係数の増加の割合が Plain コンクリートに比べて BFS コンクリートの方が高いことが認められ、荷重を考慮した塩分浸透性の評価が極めて重要であることについて述べている。

第 7 章では、本研究により得られた結果をまとめ、結論を述べるとともに、塩化物イオンの浸透状態に及ぼす圧縮及び引張荷重の影響について総括している。さらに、今後の課題として引張荷重下では、同一断面内における塩分浸透深さを平均値で評価する従来の規準試験方法に対して、局所集中部分の最大浸透深さによって評価する可能性について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 堀 口 敬
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 教 授 千 歩 修

学 位 論 文 題 名

高炉スラグ微粉末混入コンクリートの 荷重作用下における塩分浸透性に関する研究

近年、鉄筋コンクリート構造物の長期耐久性の向上を目的として高炉スラグ微粉末(以下 BFS と呼ぶ)を混入したコンクリートの積極的な適用が検討され、その高い塩分浸透抵抗性が注目されている。BFS のコンクリート中への効率的な添加は、コンクリート内部の鉄筋腐食を抑制し、緻密な組織を形成することにより外部からの塩分や水分の浸透速度が低減される。また、BFS を混入したコンクリートは電導性が小さいことから腐食セルの形成を抑制する可能性も指摘されている。しかし、これらの研究は発展途上であり、今後の成果の蓄積が要求されている。さらに、実際のコンクリート構造物では死荷重やプレストレス力及び外力などによる圧縮および引張応力が常に存在する状態にあるが、この様な荷重環境下での BFS コンクリートの塩分浸透性を検討した研究は非常に少なく、その影響は不明である。

本論文は、圧縮荷重に加えて引張荷重環境下における BFS を混入したコンクリートの塩分浸透性を検討したものである。比表面積がそれぞれ違う三種類の BFS をセメントの内割で置換することにより BFS の比表面積および置換率の違いがコンクリートの塩分浸透性に及ぼす影響について詳しく検討したものである。

本論文は、以下の 7 章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、本論文の背景および目的について述べている。実環境を考慮した荷重作用環境下における BFS コンクリート構造物の塩分浸透特性の把握が極めて重要であることを指摘している。

第 2 章では、本研究で用いた試験材料および試験方法について詳述している。三種類の比表面積を有する BFS の物理的性状、塩分浸透試験に採用した NT BUILD 492 に準じた電気泳動試験方法について述べている。さらに、本研究で採用した荷重の載荷方法と載荷時の供試体の挙動について詳しく述べている。

第 3 章では、BFS を混入したコンクリートの基礎的性質について検討している。全体的に BFS コンクリートの圧縮強度は材齢 28 日までは Plain コンクリートより低い値を示すが、長期強度は BFS の置換率の増加とともに顕著な強度増進の傾向を有することを指摘している。一方、BFS の引張強度は長期強度においても Plain コンクリートに比べて幾分低い強度を示すことを示している。

第 4 章では、荷重が作用しない状態(以下、無荷重状態)での BFS コンクリートの塩分浸透性に関して、BFS の比表面積及び置換率の違いが拡散係数に及ぼす影響について検討している。無荷重

状態での拡散係数は、BFS を混入したコンクリートのすべてが plain コンクリートの拡散係数より低いことを示し、BFS をコンクリートに混入することによる塩分浸透抑制効果を明らかにしている。また、BFS の置換率が増加するに伴い拡散係数が減少することが確認され、無荷重状態において塩分浸透性の増加を BFS の混入により抑制できることを明らかにしている。

第 5 章では、圧縮荷重環境下における BFS を混入したコンクリートの塩分浸透性について検討するとともに、圧縮荷重下での BFS の比表面積及び置換率の違いが拡散係数に及ぼす影響についても検討している。BFS を混入することにより無荷重状態で示された塩分浸透抑制効果が、圧縮荷重が作用する環境下でも保持されることを明らかにしている。また、BFS コンクリートの方が Plain コンクリートより圧縮荷重の影響を強く受け、荷重を考慮した塩分浸透性の評価が極めて重要であることを指摘している。

第 6 章では、引張荷重環境下における BFS を混入したコンクリートの塩分浸透性について検討し、引張荷重下での BFS の比表面積及び置換率の違いが拡散係数に及ぼす影響についても検討している。BFS を混入することにより無荷重状態で示された塩分浸透抑制効果が、引張荷重が作用する環境下でも保持されることを示している。さらに、引張荷重が作用する環境下では、高応力レベルでの拡散係数の増加の割合は Plain コンクリートに比べて BFS コンクリートの方が高いことが認められ、荷重を考慮した塩分浸透性の評価が極めて重要であることを示している。

第 7 章では、本研究により得られた結果をまとめ、結論を述べるとともに、塩化物イオンの浸透状態に及ぼす圧縮及び引張荷重の影響について総括している。

これを要するに、著者は、コンクリート構造物の耐久性向上に不可欠なコンクリートの塩分浸透性に関して、高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの圧縮および引張荷重環境下における塩分浸透性を明らかにしたものである。コンクリート工学および構造物の維持管理工学の発展に寄与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。