

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	Nevy Sandra
審査委員	主査 河合 慶有 副査 氏家 勲 副査 木下 尚樹

### 論文名

Study on Corrosion of Steel in Copper Slag Concrete

### 審査結果の要旨

本論文は、銅スラグ細骨材を使用したコンクリート中の鉄筋腐食に関する研究である。銅スラグ細骨材は、銅精錬工場から産出される産業副産物であり、コンクリート用の細骨材として JIS 規格に規定されている材料である。既往の研究によると、コンクリートの細骨材の一部を銅スラグ細骨材に置換したコンクリート（以下、銅スラグコンクリート）では、密度の大きい銅スラグ細骨材に起因してブリーディングによる材料分離が生じやすいことが報告されている。また、コンクリート部材に埋設される鉄筋のうち水平方向に配置される鉄筋では、鉄筋下部にブリーディング水が溜まり、硬化後に空隙を形成することで鉄筋腐食の発生に影響を及ぼすことが定性的に示されている。特に、打設高さ 1.5m から打ち込まれた供試体の上部ほどブリーディング水の影響を受けやすいことがわかっている。しかしながら、銅スラグコンクリートでは、ブリーディング量が基準となる OPC コンクリートと比較して著しく多いにも関わらず、供試体上部では激しい腐食を生じないことが指摘されている。このような背景を踏まえて、本論文では銅スラグコンクリートに埋設された水平鉄筋の鉄筋腐食抵抗性について詳細な分析を行っている。特に、塩分の拡散性状や濃度分布、電気化学的計測による鉄筋腐食性状・形態、不動態被膜の健全性、酸素透過性の評価を主たる検討対象として、銅スラグコンクリートの鉄筋腐食抵抗性の向上に寄与する影響要因を明らかにし、鉄筋腐食性状・形態と酸素透過性の関連について考察を加えている。

実験的検討では、エポキシ樹脂により絶縁接続された分割鉄筋を使用し、鉄筋周囲の健全性と局所的な腐食性状を把握する手法が採用されている。これにより、マイクロセル・マクロセル腐食に関する腐食形態ごとの影響要因を整理することを可能としている。また、ブリーディングによる材料分離が生じやすい柱供試体（断面 300×300mm、高さ 1500mm）および、材料分離の影響を極力小さくし、銅スラグ細骨材の置換がコンクリートの腐食性状に与える影響のみを抽出するための角柱供試体を用いた実験を実施している。なお、いずれの実験においても、鉄筋腐食にとって最も厳しい腐食環境となる塩分を用いた乾湿繰り返し試験を採用している。

まず、角柱供試体を用いた実験結果では、塩分の拡散性状について普通コンクリートと銅スラグコンクリートに大きな違いは無いことが、乾湿試験後の塩分濃度プロファイルおよび別途実施した電気泳動試験に基づく塩化物イオンの実効拡散係数の結果に基づき明らかにしている。また、

カソード分極試験の結果に基づき酸素透過速度を算定することで、OPC コンクリートと比較して銅スラグコンクリートの方が鉄筋表面での酸素透過速度が低減されることを明らかにしている。特にこの傾向は、材齢 182 日までに計測された結果において明確に示されており、その後の鉄筋腐食に関する長期耐久性に影響を与える支配的要因であることが示唆されている。

次に、柱供試体から切出した小型供試体を用いてブリーディングを含めた材料分離により生じる鉄筋周囲の健全性の相違が鉄筋腐食性状の変動に与える影響について検討を行っている。標準的なブリーディング量の OPC コンクリート柱供試体においては、供試体上部ほど酸素透過速度が速くマイクロセル腐食速度が大きくなる傾向が示されている。この結果とは対照的に、銅スラグコンクリートでは供試体の高さ方向に OPC コンクリートで観察された同様の腐食傾向は確認されず、部分的にはマクロセル腐食が卓越することが示されている。これらの説明要因として、各供試体に埋設された分割鉄筋表面でのカソード反応において消費される酸素透過速度の相違とマイクロセル腐食の傾向の違いに起因して生じる鉄筋間の電位差（起電力）の影響を明らかにしている。なお、銅スラグコンクリートにおいても酸素透過速度とマイクロセル腐食電流密度の正の相関関係は確認されており、供試体上部では OPC コンクリートと比較して酸素透過速度が低下していることが鉄筋腐食の抑制に寄与したことを言及している。

以上の検討結果に基づき、本論文は銅スラグ細骨材を用いた柱コンクリート供試体を対象として、鉄筋表面での酸素透過性と腐食性状・形態の関連を明らかにし、銅スラグコンクリートにおいては酸素透過速度の低減効果によりマイクロセル腐食電流密度が低減されることを示し、コンクリート構造物の耐久性評価に関して工学的に有用な知見を提供しており、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認められる。