

銅スラグ微粉末を混入したコンクリートの防錆性に関する研究

愛媛大学 賛助会員 柴田章弘

愛媛大学 正会員 氏家 勲 正会員 河合慶有

1. はじめに

現代社会において、石油や石炭等の膨大な資源・エネルギー消費により経済的発展を可能にしてきた。しかし、今後は持続可能な発展が必須であり、そのためには循環型社会を構築し、資源を最大限まで有効活用することが重要である。建設産業では、これまで産業副産物がコンクリートに用いられ、循環型社会の形成の大きな役割を担ってきた。銅精錬の副産物である銅スラグもその一つである。現在、国内で生産される銅スラグは 300 万トンに達しており、その約 7 割が輸出に依存しているのが現状である¹⁾。従って、国内では天然資源の温存、海外輸送による温室効果ガス排出量の観点からも銅スラグの国内利用の推奨が望まれる。銅スラグは密度が大きく、保水性が低いことから、ブリーディングが発生しやすく、巻き込み空気が多くなる。一方で、既往を研究において、銅スラグコンクリートは OPC と比べ、供試体下部より供試体上部に位置する鉄筋の腐食が低減されていることが報告されている²⁾。これらはブリーディングの影響で微粉末が上部に溜まり、空隙構造が緻密化され、塩害腐食因子による腐食発生が抑制されたと考えられているが、未だ明らかになっていない。

以上の背景により、本研究では銅スラグ微粉末をコンクリートに配合することで、銅スラグと同様に防錆性の有無を、電気化学的計測を用いた評価方法で検討する。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および供試体概要

供試体寸法は、断面 100×200 mm、高さ 150 mm とし、埋設した鉄筋には長さ 100 mm の丸鋼φ22 を使用した。図 1 に示すように上下に分割した鉄筋を型枠底面からかぶりを 20 mm 確保して埋設した。鉄筋には節断面を垂直方向に二等分し、幅 2 mm を確保した鉄筋間をエポキシ樹脂により接着した分割鉄筋を用いた。本研究で検討した条件を図 1 示す。コンクリートは 3 日脱型・水中養生を行った。養生終了後に、かぶりを確保した面以外の 5 面をエポキシ樹脂で被覆した。なお、使用した骨材の物性を表 2 に、コンクリートの配合を表 3 に示す。

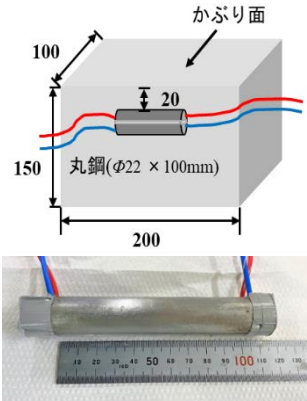


図 1 供試体概要

2. 2 塩害促進試験

塩害促進試験は、20℃の恒温槽において塩水(濃度 10%)を用いて乾燥期間 4 日と湿潤期間 3 日の 1 週間で 1 サイクルとして行った。自然電位、分極抵抗、カソード分極曲線の測定は各サイクルの湿潤期間が終了した直後に行った。また、マクロセル電流密度は無抵抗電流計を用いて測定した。また、カソード分極試験の結果に基づいて酸素透過速度を測定した。

表 2 骨材の物性

骨材		表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率 F. M.
S1	愛媛県西条丹原町関屋産砂岩 コンクリート用砕砂	2.61	1.20	2.70
S2	銅スラグ細骨材CUS2.5	3.55	0.04	2.29
G1	愛媛県西条丹原町関屋産砕石	2.62	1.20	—
G2	愛媛県西条丹原町関屋産砕石	2.62	0.60	—

表 3 配合

配合		W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)										単位量 (g/m ³)	
				水 W	セメント C	銅スラグ微粉末			細骨材 S1	銅スラグ S2	粗骨材		塩 NaCl	混和剤	
OPC		55	49	165	300	—	—	—	895	—	468	468	2.47	AE減水剤	AE剤
CUS45					300	—	—	—	492	542	468	468		3.00	0.00
銅スラグ 微粉末	4000 20%				240	60	—	—	898	—	469	469		3.60	0.48
	4000 40%				180	120	—	—	900	—	471	471		2.70	0.36
	6000 20%				240	—	60	—	898	—	469	469		3.60	0.48
	6000 40%				180	—	120	—	900	—	471	471		2.70	0.36
	8000 20%				240	—	—	60	898	—	469	469		3.60	0.48
	8000 40%				180	—	—	120	900	—	471	471		2.70	0.36

3. 実験結果および考察

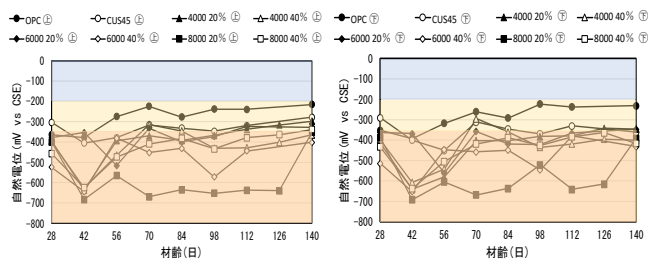


図2 自然電位（左：鉄筋上部，右：鉄筋下部）

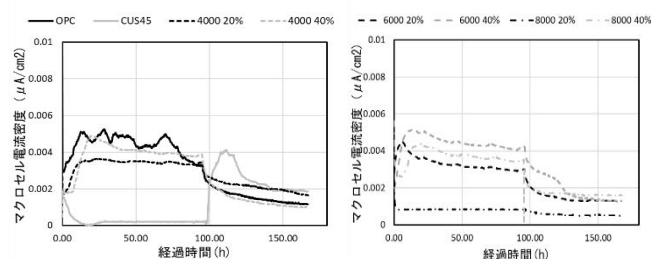


図3 マクロセル電流密度

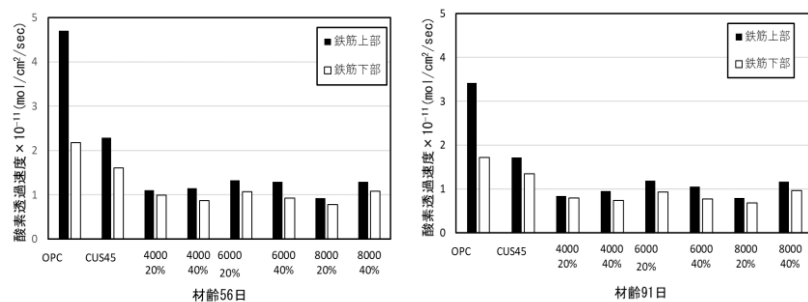


図4 酸素透過速度（左：材齢 56 日，右：材齢 91 日）

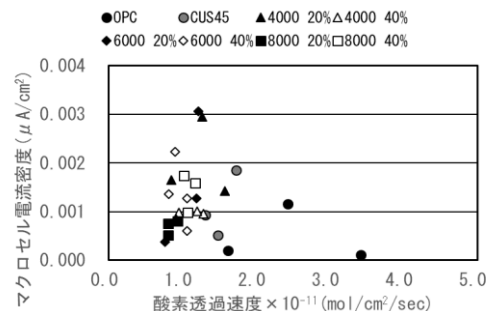


図5 酸素透過速度とマクロセル電流密度

各供試体で測定された自然電位を図2に示す。図2より鉄筋上部および下部において自然電位の値は OPC において材齢 56 日以降では、 -350mV vs. CSE より貴な値を示しているが、そのほかの配合ではどの材齢においても概ね -350mV vs. CSE より卑な値を示している。これにより、OPC は鉄筋の腐食は不確定であるが、そのほかの配合においては、鉄筋の腐食が発生していることがわかる。

次に材齢 56 日および材齢 91 日における各供試体の酸素透過速度のグラフを図4に示す。図4よりどの供試体においても、鉄筋上部より鉄筋下部のほうが酸素透過速度は小さい値となった。これは、乾湿繰り返し作用に伴う浸潤深さが鉄筋上部のみに到達し、溶存酸素濃度が高まったからであると考えられる。また、銅スラグ微粉末を混入した供試体は酸素透過速度が OPC より小さい値となった。鉄筋の腐食反応速度はカソード反応で消費される酸素の供給量に依存するため、酸素透過量が鉄筋のマクロセル腐食を律速していると考えられている。従って、銅スラグ微粉末を混入したコンクリートは鉄筋腐食を抑制されることが考えられる。また、酸素透過速度の測定結果を比較すると、8000、20%の供試体が最も良好な結果となった。これは、粉末度の高い微粉末を配合することによって、より緻密な構造になったからではないかと考える。また、図5より、銅スラグ微粉末を混入した 8000、20%の供試体は、銅スラグ細骨材を混入した供試体と比べて、酸素透過速度を低減することによって、マクロセル電流密度が低減されることが分かった。このことから、銅スラグ細骨材を微粉末にすることによって、コンクリートの防錆性を向上させると考えられる。

4. まとめ

本研究において、銅スラグ微粉末を混入したコンクリートの大半は、鉄筋腐食を抑制していることは確認できなかった。しかし、酸素透過速度が OPC より低減されていることから、今後さらなる腐食モニタリングが必要である。

5. 参考文献

- 1) 浅見誠：銅スラグの現状と今後の課題，日本材料学会，Vol. 65, No. 11, pp. 761-766, Nov. 2016
- 2) 仲井一平：コンクリートの材料分離が配置高さの異なる水平鉄筋の腐食性状に及ぼす影響，愛媛大学大学院修士論文，2017 年 1 月。