

好気性微生物による貧酸素環境がセメント硬化体中の酸素透過に与える影響

愛媛大学大学院 学生会員 ○杉谷紗理

愛媛大学大学院 正会員 河合慶有 愛媛大学大学院 正会員 氏家勲

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋腐食は水と酸素を消費して電気化学的反応により進行する。塩害や中性化により鉄筋腐食が発生すると、鉄筋表面では鉄がイオン化するアノード反応と酸素が還元するカソード反応が進行し、セルという腐食電池が形成される。カソード反応においては、鉄筋表面で酸素が消費されるため、酸素透過量はコンクリート中の鉄筋腐食に大きな影響を及ぼす要因の一つであることが報告されている。コンクリート中への酸素の侵入過程には、気体酸素の拡散、気体酸素の細孔溶液への溶解、溶存酸素の拡散が挙げられる。既往の研究¹⁾において、好気性微生物である枯草菌をモルタル中に練り混ぜ水の一部として混入することで、好気呼吸に伴い細孔溶液中の溶存酸素濃度が低減されることで、カソード分極特性が変動し、埋設鉄筋への酸素透過を抑制できる可能性が示唆されている。このような背景の下、本研究では好気性微生物をモルタル中に混入した供試体を対象として、水分飽和度の異なる環境下における代謝活性の違いが溶存酸素濃度の低減及び埋設鉄筋への酸素透過に与える影響について電気化学的計測により検討を行った。

2. 実験概要

(1) 供試体概要及び養生方法

供試体は、図1に示すように断面50×50mm、長さ150mmの角柱供試体とし、分割鉄筋を1本埋設した。分割鉄筋は、丸鋼(φ9mm、長さ20mm)の両端にリード線をはんだで固定し、エポキシ樹脂を用いてはんだ付け部分を被覆し作製した。かぶりはいずれの供試体においても20mmとし、各検討ケースについて2体ずつ作製した。モルタルの配合を表1に示す。配合は、基準としたOPC及び枯草菌を置換率25%で混入したN25の2種類である。打設から1日後に脱型し、材齢28日まで水中養生を行った。

(2) 浸せき試験方法

本検討では、初期養生が終了した供試体を対象として、20℃の恒温槽で蒸留水及び塩水(10%)を用いて浸漬試験を行った。なお、紙面の都合上、実験結果及び考察では蒸留水に浸漬した供試体の結果のみを述べる。供試体を浸漬する際、水位は水槽の底面から55mmに設定し、3つの埋設鉄筋の水分浸透状況が変動するように配慮した。このように水位を設定することで、下部の鉄筋周囲は完全に水分で飽和している状態、中部の鉄筋周囲は不飽和状態、上部の鉄筋周囲は相対的に乾燥状態となっている。本検討では、上記のように水位を設定することで枯草菌の代謝活性が変動することを想定している。なお、それぞれ要素A、B及びCと呼称する。また自然電位・分極抵抗(ACインピーダンス法)の測定に加え、材齢28日、91日及び182日においてカソード分極試験(掃引速度1mV/s)を行い、限界電流を仮定し、酸素透過速度を算出した。

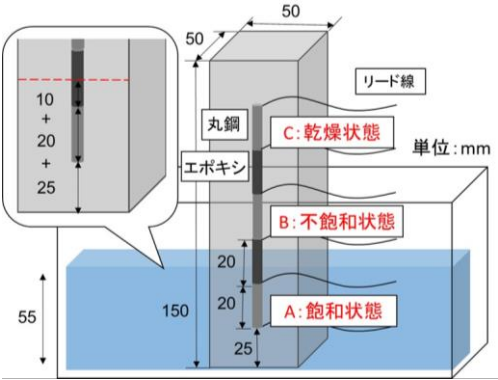


図1 供試体概要

表1 供試体配合

供試体	W/B	単位水量(kg/m³)				単位水量(g/m³)		フロー値(mm)
		W	C	S	枯草菌(置換率)	AE減水剤	AE助剤	
OPC	55%	278	505	1363	-	1668	5.56	164.7
N25		209			69.5(25%)			197.3

3. 実験結果及び考察

(1) 自然電位及び腐食電流密度の測定結果

図2に蒸留水に浸漬した供試体を対象として材齢28日以降に測定された要素Aにおける自然電位の測定結果を示す。図より、N25-WJの要素Aにおいて、 -350mV vs. CSE を下回る自然電位の卑化が確認された。なお、この傾向は要素B及びCでも同様に確認されている。OPC-WJとN25-WJの各材齢における自然電位の差を図3に示す。なお、OPC-WJの自然電位が -200mV よりも貴な値を示した場合、一律で -200mV として計算を行った。計算結果が正の値の場合、 $\text{OPC-WJ} > \text{N25-WJ}$ であることを示している。図より材齢35日から84日において自然電位に生じた差は平均で約 97.3mV であった。また、蒸留水に浸漬した供試体の腐食電流密度の結果ではN25-WJの要素A・B・Cにおいて明確な腐食傾向は見られなかった。以上から、特に枯草菌を混入した供試体では、自然電位法及び腐食電流密度の腐食判定は一致しない結果となった。

(2) 酸素透過速度の測定結果

図4に材齢91日及び材齢182日の酸素透過速度を比較した測定結果を示す。図より、要素Aの測定値は $y=x$ の直線近傍に分布していることが読み取れる。要素Aは溶存酸素を含む水分が鉄筋に到達すると考えられるが、枯草菌の代謝活性も生じやすい環境であるため酸素透過速度が全体的に低く、また材齢に伴う測定値の変動幅は小さいといえる。これに対して、要素B及びCは酸素透過速度の変動幅が大きいことがわかる。これは乾燥に伴う細孔溶液中の水分の逸散に起因するものと推察される。

以上の議論を踏まえて、乾燥の影響を受けず枯草菌混入の効果が比較しやすい要素Aの各材齢における酸素透過速度を図5に示す。N25-WJの酸素透過速度の値は、材齢28日においてOPC-WJよりも約28.6%、材齢91日において約48.9%低い値を示した。また材齢182日において、両者の酸素透過速度は同程度の値であった。以上から、特に材齢28日から91日においてはN25-WJの酸素透過速度がOPC-WJよりも明確に低減していることから、既報の通り枯草菌の好気呼吸による溶存酸素濃度の低減が、カソード反応における酸素透過速度の低減に寄与した可能性が示唆される。また、材齢35日から84日に確認された自然電位の卑化現象は、溶存酸素濃度の低減に伴うカソード分極特性の変動により生じたものと推察され、腐食判定基準との関連についてはさらなる検討を要する。

謝辞 本研究は、上田記念財団からの研究助成により実施いたしました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) K. Kawai, I. Ujike, S. Fujioka, T. Nishida and A. Saito, CATHODIC POLARIZATION PROPERTIES OF STEEL BARS IN CONCRETE MIXED WITH AEROBIC MICROORGANISM, Final Conference of RILEM TC 253-MCI, pp.259-266, 2018

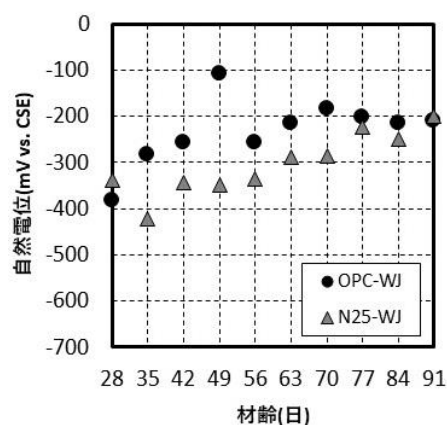


図2 自然電位の経時変化

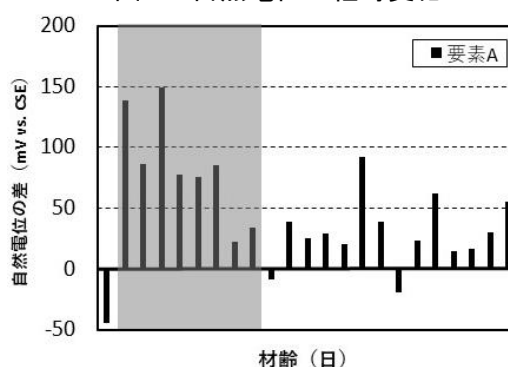


図3 N25-WJの自然電位の差

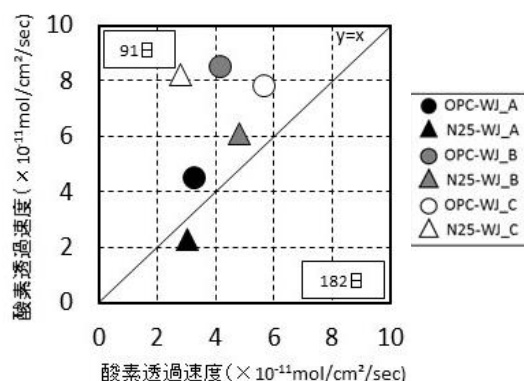


図4 材齢91及び182日の酸素透過速度

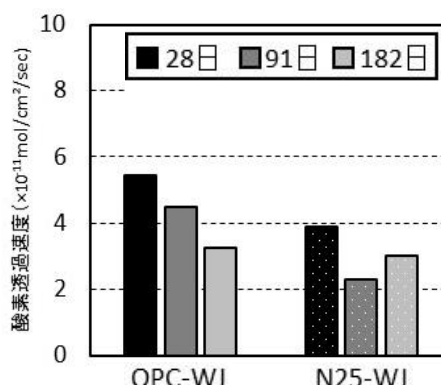


図5 酸素透過速度の結果 (要素A)