

塩害 - 炭酸化複合劣化環境に曝されたコンクリート中の鉄筋腐食と自然電位の関係

鹿児島大学大学院
鹿児島大学工学部

学生会員
学生会員

○松元 淳一
樫原 弘貴

鹿児島大学工学部
鹿児島大学大学院
鹿児島大学工学部

正会員
学生会員
正会員

武若 耕司
吉田 誠
山口 明伸

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物が塩害と炭酸化の複合劣化の影響を受けると、塩害単独劣化の場合に比べ塩化物イオン拡散係数や内部鉄筋の腐食量が大きくなり、また、高炉スラグ微粉末を使用した場合でも、スラグ混入による防食効果が塩害単独の場合とは異なる傾向なども確認されている¹⁾。一方、このような複合劣化環境での鉄筋腐食性の有無を自然電位法で判定する際の評価判定基準については、今まであまり検討されていないのが現状である。そこで本研究では、塩害と炭酸化の複合劣化を受けたモルタル供試体中における鉄筋自然電位の経時変化を測定し、複合劣化状況下での自然電位法の適用性について検討を試みた。

2. 供試体概要

実験に用いた供試体は、表 - 1 に示す配合で作製したモルタル供試体である。なお、配合決定に際しては、各水結合体比 (W/B) ごとにペースト容積を一定にし、目標フローを 190 ± 10mm として配合を定めた。高炉スラグ微粉末としては、目標ブレン値 4000cm²/g のものを使用し、そのセメントに対する置換率は、W/B50%、70%共に 0、50 および 70% の 3 種類とした。実験供試体の形状は図 - 1 に示す φ 10cm × 10cm の円柱供試体にかぶり 3cm として鉄筋を埋設し、供試体打設後、初期水中養生を 7 日、28 日および 91 日間それぞれ行い、鉄筋端部に自然電位測定用コードを取り付け、試験面一面を除いた他の面をエポキシ樹脂で被覆した。なお、一部の供試体にはひび割れ 0.1mm を導入し、ひび割れに関する検討も同時に行った。試験方法としては、塩水浸せきと炭酸化促進を複合させた劣化促進試験 (以下、塩害・炭酸化試験と称す) とし、試作の塩水浸せき装置を高 CO₂ 濃度室内に設置することによって実施した。試験環境の条件は、表 - 2 に示すように塩水浸せき 3.5 日と乾燥 3.5 日の繰返しを 1 サイクルとし、40 サイクルまで実施することにした。また、比較用に、浸せき溶液を蒸留水とし炭酸化のみの影響を検討する場合 (以下、炭酸化試験と称す) と炭酸化促進は行わず、一般環境で塩水浸せきと乾燥を繰返し行った場合 (以下、塩害試験と称す) も同時に行った。なお、塩水浸せきに用いた溶液は NaCl 5% 水溶液とし、炭酸化促進については環境室内の CO₂ 濃度を 5% に設定して行った。また、鉄筋の自然電位の測定は、JSCE-E-601-2000「コンクリート構造物における自然電位測定方法」に準拠し、1 サイクル毎に浸せき直前と浸せき直後の 2 回、試験面表面で測定した。

一例として、W/B70% の初期水中養生期間 28 日供試体における塩害・炭酸化試験開始後の自然電位の経時変化を図 - 2 に示す。自然電位の経時変化は、各サイクルの塩水浸せき直前と浸せき終了直後に測定した結果を並べて示している。ここで、塩水浸せき直前とは、それまで供試体が乾燥状態にあり、試験サイクル中で最も供試体に乾燥が進んだ状態、逆に塩水浸せき直後とは、供試体が最も高い湿潤状態となった状態といえる。浸せき直前の自然電位の経時変化はサイクルが進行するにつれ徐々に卑な方向へ向かっているのに対し、浸せき終了直後では、高炉ス

3. 試験結果および考察

一例として、W/B70% の初期水中養生期間 28 日供試体における塩害・炭酸化試験開始後の自然電位の経時変化を図 - 2 に示す。自然電位の経時変化は、各サイクルの塩水浸せき直前と浸せき終了直後に測定した結果を並べて示している。ここで、塩水浸せき直前とは、それまで供試体が乾燥状態にあり、試験サイクル中で最も供試体に乾燥が進んだ状態、逆に塩水浸せき直後とは、供試体が最も高い湿潤状態となった状態といえる。浸せき直前の自然電位の経時変化はサイクルが進行するにつれ徐々に卑な方向へ向かっているのに対し、浸せき終了直後では、高炉ス

キーワード 複合劣化, 鉄筋自然電位, 塩害, 炭酸化, 高炉スラグ微粉末

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 TEL099-285-8480

表 - 1 供試体配合

W/B (%)	ペースト容積比	スラグ置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	GBBS	S
50	0.45	0	275	550	0	1447
		50	271	271	271	
		70	269	161	377	
70	0.42	0	289	413	0	1525
		50	285	204	204	
		70	284	122	284	

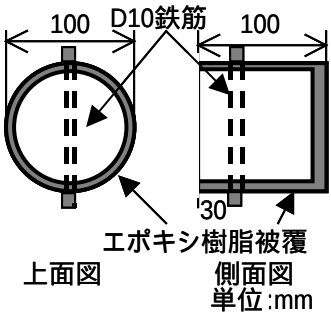


図 - 1 実験供試体の形状

表 - 2 促進試験の環境条件

1 サイクル	浸せき時間	3.5 日 / サイクル
	乾燥時間	3.5 日 / サイクル
CO ₂ 濃度		5%
温度		30
湿度		70 ~ 100%
浸せき溶液		・ NaCl 5% 溶液
		・ 蒸留水

ラグ微粉末を用いた供試体はサイクル初期の段階から、スラグ無混入供試体では 10 サイクル以降で -500mV (vs 飽和 Ag/AgCl 電極基準) 付近と極めて卑な値を示した。

図 - 4 に、W/B70%のスラグ無混入およびスラグ置換率 50% 供試体における各試験条件ごとに各サイクルの浸せき直前における自然電位の経時変化を示す。いずれの供試体においても、炭酸化の影響のみを受けた炭酸化試験の浸せき直前の自然電位は 0 ~ 100mV と貴な値に推移する傾向にあるのに対し、塩害試験では卑な方向に向かうという異なった傾向を示した。一方、塩害と炭酸化の両者が複合した塩害・炭酸化試験の場合の経時変化は、サイクル初期の段階では、それぞれの単独劣化の中間の値を示し、20 サイクル以降、塩害試験とほぼ同様な傾向を示した。このことから、鉄筋コンクリート構造物に塩害と炭酸化の複合劣化が作用すると暴露期間が短い場合では双方の影響を受けるが、長期になると炭酸化よりも塩害の影響の方がより卓越するということが予想される。

図 - 5 には、それぞれの促進試験において、供試体解体直前の塩水浸せき前後それぞれの鉄筋自然電位と解体後に測定した鉄筋腐食面積率の関係を示した。なお、図には、ひび割れの有無や初期養生期間等に関係なく全ての結果をとりまとめて示している。まず、塩害試験の結果について見ると、データ数が少ないため、今後も引き続き検討する必要があるが、浸せき直前、終了直後のいずれの測定結果でも、腐食有無の判定の観点において従来から目安とされている -230mV を下回る状況で腐食が確認された²⁾。これに対して、炭酸化試験の場合、浸せき直前の自然電位の測定結果では、0mV 付近と貴な値でも鉄筋腐食が認められることになり、浸せき終了直後の測定結果では、自然電位値が -230mV 以下で腐食が発生しているとみなせることから、コンクリートの湿潤状態を十分保持している状態で電位測定を行う必要があると考えられた。一方、塩害・炭酸化試験の場合について、浸せき直前の自然電位の測定結果を見ると、全体的には、炭酸化単独の場合と塩害単独の場合の中間的な傾向を示し、腐食発生の有無に関わらず、腐食発生判定の目安となる -230mV 前後に大きくばらつく傾向が認められた。ただし、浸せき終了直後の自然電位の測定結果では、腐食が進行するにともなって自然電位は全般的には卑な方向へ向かう傾向があり、少なくとも鉄筋腐食量が 10% 以上ある場合には、電位は -230mV より卑となるようであった。

謝辞：本研究は、平成 19 年度鉄鋼スラグ協会研究奨励金により実施した研究の一部である。関係者各位に感謝する次第である。
参考文献：1) 松元淳一ほか：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート構造物の複合劣化に関する実験的検討, Vol.27, No.1, 2005
2) 小林一輔編集：鉄筋腐食の診断, 森北出版, 1993

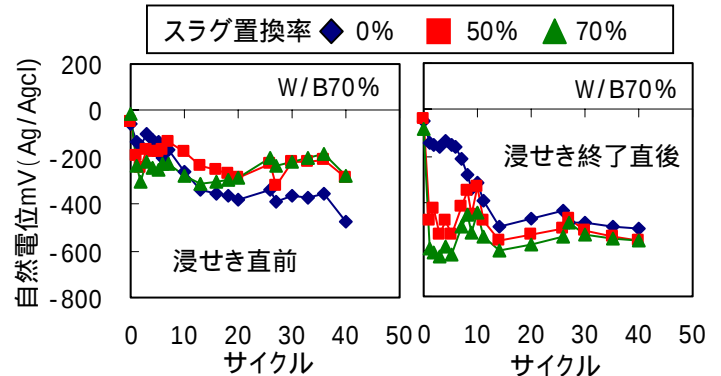


図 - 3 W/B70% 供試体の塩害・炭酸化試験の自然電位の経時変化

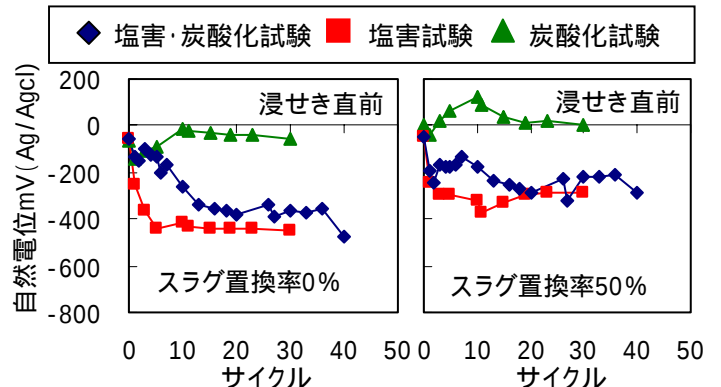


図 - 4 W/B70% 供試体の浸せきする直前における各試験条件ごとの自然電位の経時変化

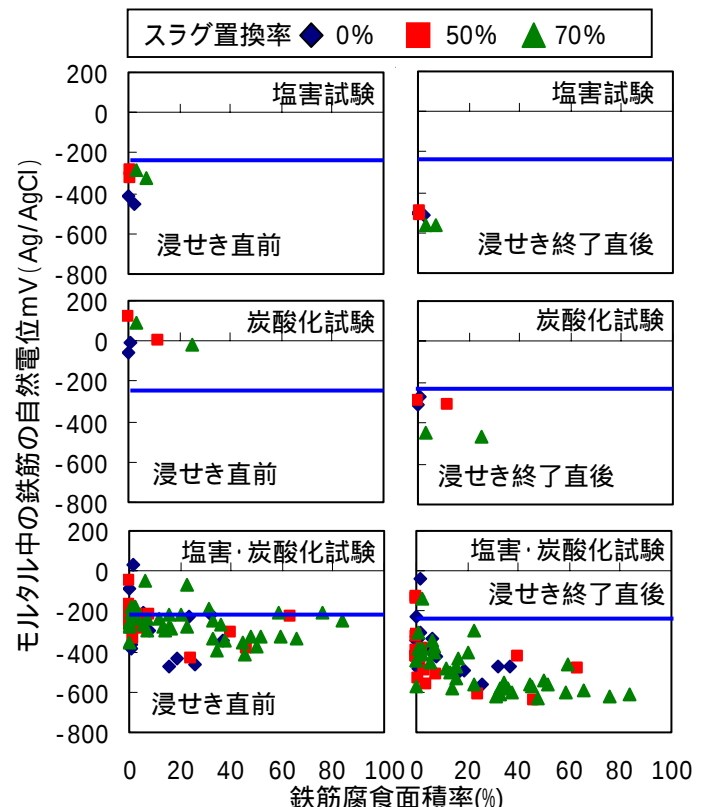


図 - 5 鉄筋自然電位と鉄筋腐食面積率の関係