

高炉スラグ微粉末を用いたモルタル部材の塩害と中性化との複合劣化現象について

鹿児島大学工学部 学生会員 ○松元 淳一

鹿児島大学工学部 正会員

武若 耕司

鹿児島大学大学院 学生会員 審良 善和

鹿児島大学工学部 正会員

山口 明伸

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物において劣化の相互作用による複合劣化が大きな問題となっている。特に、海洋構造物に多く用いられる高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートについては、複合劣化の影響について不明な点が多い。そこで、本研究においては、高炉スラグ微粉末置換率を変化させたモルタル部材を用いて、塩害と中性化の複合劣化現象について実験的検討を行い、複合する劣化の主従関係を明確にすることを目的とした。

2. 実験概要

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。使用材料を表-2 に示す。なお配合決定に際しては、各 W/C ごとにペースト容積を一定にし、目標フローを 200mm とし

て求めた配合である。また、スラグ置換率は、W/C50%、70%共に 0, 50, 70%の 3 種類とした。実験供試体の形状を図-1 に示す。供試体は、かぶり 3cm として鉄筋を埋設し、試験面のみの検討を行うために側面および底面はエポキシ樹脂にて被覆を行った。なお、初期養生期間の違いによる検討も同時に行うため、初期水中養生期間を 7 日、28 日の 2 種類とした。また、劣化試験方法については、塩水浸漬乾燥くり返しと中性化促進を複合させた劣化促進試験（以下、塩害・中性化試験と称す）とし、独自で製作した塩水浸漬装置を高

CO₂ 室内に設置することによって実施した。また、比較用に中性化のみを作用させる場合（以下、中性化試験と称す）と塩害のみを作用させる場合（以下、塩害試験と称す）も同時に行った。ここで、各試験の試験方法を表-3 に、試験環境の条件を表-4 に示す。いずれの場合も浸漬 3.5 日、乾燥 3.5 日を 1 サイクルとして乾湿繰り返しによる試験とした。なお、塩水浸漬に用いた溶液は NaCl5% 水溶液とし、乾燥方法の中性化促進については、CO₂ 濃度 5% の環境室内において乾燥させ、1 サイクルで 1 年に相当する中性化が進行するように促進環境条件を設定した¹⁾。

3. 結果および考察

初期水中養生期間（以下、初期養生期間と称す）7 日および 28 日供試体に塩害・中性化試験を 10 サイクル（想定 10 年）行った場合の中性化深さを図-2 に示す。なお、W/C70%については、初期養生期間 28 日供試体において 10 サイクルの中性化試験のみを実施した場合の結果についても併せて示す。初期養生期間のおよびスラグ置換率の如何に関わらず、W/C が大きくなるにつれ中性化深さは大きくなった。また、いずれの W/C も、高炉スラグ微粉末でセメントの一部を置換した供試体の方が、OPC のみの場合に比べ

表-1 供試体のモルタル配合

W/C (%)	ペースト容積比	呼称	スラグ置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	B	S
50	0.45	OPC50	0	275	550	0	1447
		BB50	50	271	271	271	1447
		BC50	70	269	161	377	1447
70	0.42	OPC70	0	289	413	0	1525
		BB70	50	285	204	204	1525
		BC70	70	284	122	284	1525

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント(比重3.15)
混和材	高炉スラグ微粉末微粉末 (密度2.90g/cm ³ , ブレーン値4000cm ² /g)
細骨材	富士川産川砂 (密度2.65g/cm ³ , 吸水率1.93%)

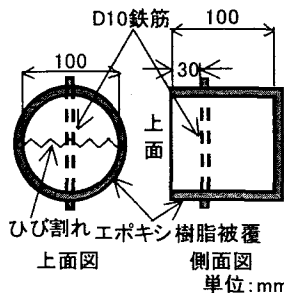


図-1 実験供試体概要図

表-3 各促進試験の方法

	塩害・中性化試験	中性化試験	塩害試験
浸漬環境	塩水浸漬	蒸留水浸漬	塩水浸漬
乾燥環境	中性化促進	中性化促進	気中乾燥

表-4 各促進試験の環境条件

1サイクルの浸漬期間	3.5日/サイクル
1サイクルの乾燥期間	3.5日/サイクル
CO ₂ 濃度	5%
温度	30℃
湿度	70%
浸漬溶液	・NaCl5%水溶液 ・蒸留水

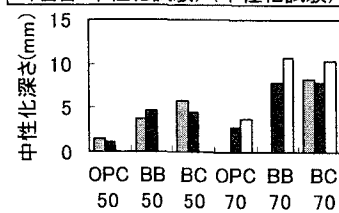
初期養生期間
■ 7日 ■ 28日 □ 28日
(塩害・中性化試験) (中性化試験)

図-2 10 サイクル終了後の中性化深さ

中性化深さが大きくなり、既往の研究結果²⁾と同様な傾向を示した。また、初期養生期間の違いによる中性化深さの差は、BB 供試体を除いて、初期養生期間 28 日の方が若干小さな値を示していることから、初期養生による効果が認められる結果となった。しかしながら、スラグ置換率の違いによる中性化深さの差は、10 サイクル終了時点では認められなかった。次に、W/C70%供試体の塩害・中性化試験結果と中性化試験結果を比較すると、いずれの場合においても、塩害・中性化試験供試体の方が、中性化深さが小さな値を示し、塩水が作用した場合においては、何らかの中性化抑制作用もあるのではないと思われる結果となった。

次に、初期養生期間 7 日および 28 日供試体における塩害・中性化試験の 10 サイクル終了後の鉄筋腐食面積率を図-3 に示す。いずれの場合においても、BC 供試体のみ顕著な腐食が確認され、OPC 供試体においては、わずかな腐食にとどまり、また、BB 供試体は、これまでのところ全く腐食していなかった。また、BC 供試体に関しても、初期養生期間が 7 日から 28 日と長くなるに従い腐食面積率も低下しており、初期養生を十分に行うことで鉄筋腐食が抑制されると予想される。同図には塩害試験の結果についても示しているが、この結果と塩害・中性化試験結果を比較すると、塩害と中性化の複合作用によって鉄筋腐食面積率は大きくなり、鉄筋腐食の進行が加速されたと考えられた。

次に、塩害・中性化試験および塩害試験における初期養生期間 28 日供試体の 10 サイクル終了後によるモルタル中の全塩化物イオン量の分布を図-4 にそれぞれ示す。これより、塩害・中性化試験供試体の方が塩害試験供試体よりも全塩化物イオン含有量が全体的に多く、中性化が複合した場合、塩分の内部拡散が大きくなることが示されている。これは、中性化によりフリーデル氏塩が分解され、中性化域と未中性化域での可溶性塩分の濃度勾配が生じることによると考えられるが、スラグ置換率が大きくなるにつれて、塩害試験と塩害・中性化試験との差が小さくなる傾向も見られる。また、スラグ置換率が大きくなるに従って、コンクリート中の全塩化物イオン量自体

が少なくなり、スラグ置換により塩分の進入を抑制する効果があることも明確に分かる。なお、塩害・中性化試験供試体中のかぶり厚さ 3cm の塩化物イオン含有量は、OPC70 のみ 5kg/m³ 程度と腐食発生限界量(1.2kg/m³)を超えており、BB70 および BC70 については、ほとんど全塩化物イオンは確認されなかった。しかし、同時に調査した鉄筋腐食面積率の結果においては、BC70 の場合の方がより腐食する結果となっており、高炉スラグ微粉末を使用した場合のコンクリート中の鉄筋腐食については、塩化物イオン量のみで判断することは危険となる可能性がある。そこで各供試体のモルタル内部の pH を測定し、内部状況について検討した結果を表-5 に示す。ここでは、かぶり厚さである 3cm 位置の pH 値と [OH⁻] と [Cl⁻] の関係を示しており、一般に鉄筋腐食は [Cl⁻]/[OH⁻]=0.6 を越えると発生するといわれているが³⁾、いずれの場合もその値を上回っており、鉄筋は腐食環境にあると予想された。ただし、腐食発生には酸素供給量や液抵抗値等の要因も挙げられ、OPC および BB に関して腐食が確認されなかったことについては、今後の課題である。

初期養生期間
■ 7日 ■ 28日 □ 28日
(塩害・中性化試験) (塩害試験)

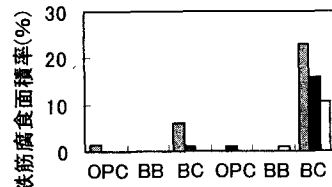
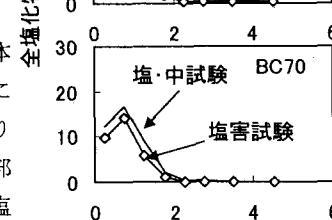
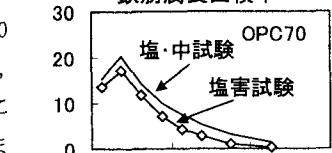


図-3 10サイクル終了後の鉄筋腐食面積率



表面からの供試体深さ (cm)

図-4 初期養生期間 28 日 10 サイクル終了後における各供試体の全塩化物イオン量

表-5 養生期間 28 日 10 サイクル終了後の 3cm における pH 値

	pH	OH ⁻ (mol/l)	Cl ⁻ (mol/l)	Cl ⁻ /OH ⁻
OPC70	12.5	0.0316	0.1004	3.18
BB70	11.77	0.0059	0.0046	0.78
BC70	11.63	0.0043	0.0043	1.00

参考文献：1) 審良善和：酸性雨によるコンクリート構造物の劣化機構に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，vol.23，No.2，pp.649-654，2001 2) 岸谷孝一，西澤紀昭他編：コンクリート構造物の耐久性シリーズ，中性化，技報堂出版，pp.22，1986 3) 小林一輔編集：鉄筋腐食の診断，pp.6，1993