

圧縮強度を指標とした高炉スラグ微粉末使用コンクリートの耐久性評価に関する一考察

鹿児島大学大学院 学生会員 ○梅木 真理 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 松元 淳一 鹿児島大学工学部 正会員 山口 明伸

1. はじめに

これまでの検討により、高炉スラグ微粉末を用いた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た場合、「塩害単独」の場合とは異なり、必ずしもスラグ置換率の増加が鉄筋の防食効果にはつながらないことが確認されている¹⁾。このような複合劣化環境下での耐久性は細孔構造や化学組成等の複雑な化学的要因に関わるものであり、その直接的な評価は極めて困難である。そこで本研究では、これらの要因と密接に関連し、かつコンクリートの品質として最も重要な圧縮強度を指標とし、劣化特性を把握することを試みた。ここでは、水結合材比やスラグ置換率および初期水中養生期間等により、圧縮強度を変化させたモルタル供試体を用いて、中性化深さ、見かけの塩化物イオン拡散係数および鉄筋腐食などの劣化進行状況を圧縮強度の観点から整理した。

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、各水結合材比(W/B)のペースト容積を一定にし、目標フローが $190 \pm 10 \text{ mm}$ となるよう配合を定めた。高炉スラグ微粉末は、目標ブレン値 $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ のものを使用し、セメントに対する置換率は、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 $\phi 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ の円柱供試体である。供試体の作製にあたっては、 $\phi 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ の型枠への打設および脱型後、初期水中養生を7日、28日および91日間それぞれ行い、打設方向の影響をなくす為、両端から10cm位置である中心部が試験面となるよう切断した。なお、鉄筋は切断後の試験面からかぶり3cmとなるようにした。その後、試験面を除く他の面をエポキシ樹脂で被覆した。劣化促進試験は表-2に示すように、溶液浸せき3.5日と乾燥3.5日を1サイクルとする乾湿繰り返し試験とし、最大40サイクルまで継続した。劣化促進

表-1 供試体配合

W/B (%)	ペースト容積比	スラグ置換率 (%)	単用量 (kg/m^3)			
			W	C	GGBS	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	

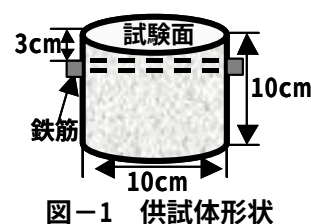


図-1 供試体形状

環境条件としては、塩水浸せきと炭酸化促進を複合させた場合（以下、「塩害－炭酸化試験」と称す）、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）、炭酸化促進は行わず、一般環境で塩水浸せきと乾燥を繰り返し行った場合（以下、「塩害試験」と称す）の3条件とした。また、圧縮強度試験用は $\phi 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ の供試体でJIS A 1108-1999に準じて試験を行った。なお、今回の検討で評価の対象とした圧縮強度は、それぞれの劣化促進試験の試験開始前の強度とした。

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
浸せき環境	塩害	NaCl濃度5%溶液, 温度30°C	
	—	蒸留水, 温度30°C	
乾燥環境	炭酸化	CO ₂ 濃度5%, 温度30°C, 湿度70~100%	
	—	一般大気中, 温度20°C, 湿度60%	

た。なお、今回の検討で評価の対象とした圧縮強度は、それぞれの劣化促進試験の試験開始前の強度とした。

3. 試験結果および考察

初期水中養生終了後の圧縮強度と中性化深さの関係を図-2に示す。なお、以下に示す結果は、水結合材比、初期養生期間の如何に拘らず、全データを強度の括りで取りまとめたものである。まず、「塩害－炭酸化試験」の場合についてみると、 $40 \text{ N}/\text{mm}^2$ 以下では、スラグ置換率が大きくなるに従って、中性化深さは大きくなる傾向を示しており、特に、圧縮強度が $20 \text{ N}/\text{mm}^2$ 以下となると、スラグ混入量による中性化深さの差は顕著となる。これに対して、圧縮強度が $40 \text{ N}/\text{mm}^2$ 以上の場合では、スラグ置換率の如何に拘らず、中性化深さはOPC供試体とほぼ同

キーワード 高炉スラグ微粉末, 複合劣化, 塩害, 中性化, 圧縮強度, 初期水中養生

連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 TEL 099-285-8480

程度となり、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは炭酸化的進行に懸念があると言われているが、十分な水中養生を行い、強度を確保することで、普通コンクリートと同程度まで炭酸化の進行を抑えられるものと考えられた。また、「炭酸化単独」の場合でも、データ数は少ないものの、「塩害－炭酸化試験」結果と同様に圧縮強度が大きくなるにつれ、炭酸化の進行を抑えられる傾向が認められており、コンクリートの圧縮強度から、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの中性化に対する抵抗性をある程度評価できる。

図-3に見かけの塩化物イオン拡散係数と圧縮強度の関係を示す。「塩害－炭酸化試験」について見てみると、スラグ無混入（OPC 供試体）では、圧縮強度が大きくなるにつれ、見かけの塩化物イオン拡散係数は小さくなり、W/Bを低減したり、十分な養生を行い、強度増進を図ることで、コンクリート中の細孔構造が密実となり、塩化物イオン浸透に対する抵抗性は高まると考えられた。一方、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの場合、スラグ混入量に関係なく、圧縮強度の大小に拘らず、見かけの

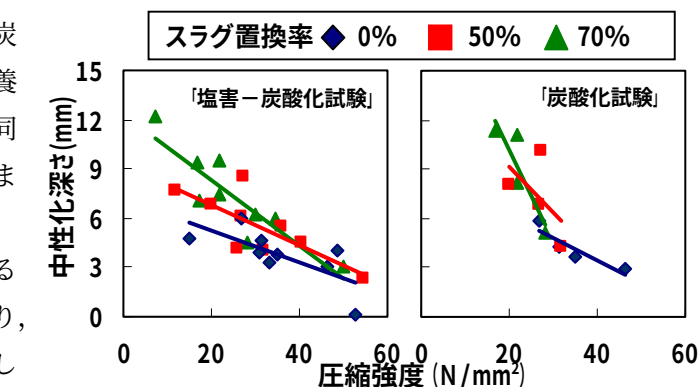


図-2 圧縮強度と中性化深さの関係

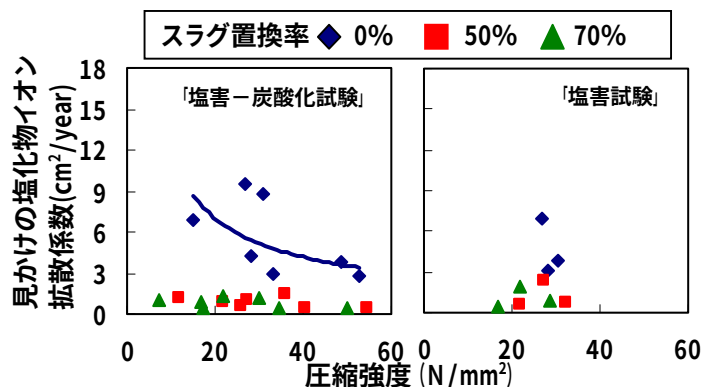


図-3 圧縮強度と見かけの塩化物イオン拡散係数の関係

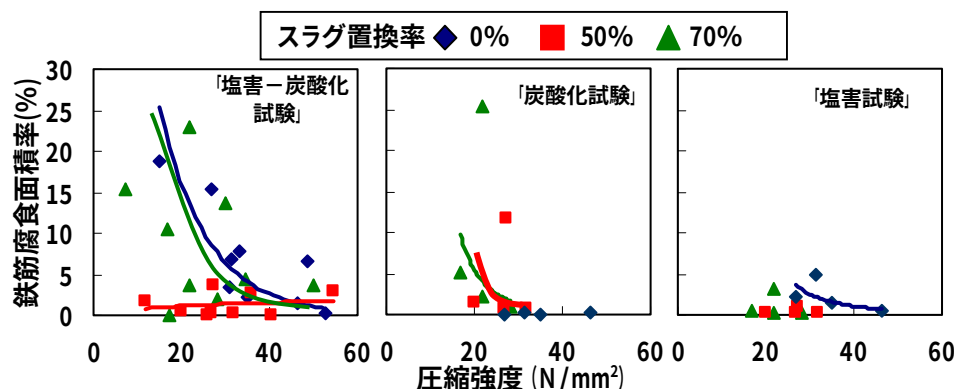


図-4 圧縮強度と鉄筋腐食面積率の関係

物イオンの浸透は抑制できるようであった。

図-4には、内部鉄筋の腐食面積率と圧縮強度の関係を示した。「塩害－炭酸化試験」の結果について見ると、全体的にばらつきはあるものの、スラグ置換率 70% 供試体中の鉄筋腐食量は、圧縮強度が 30N/mm^2 以下の場合、スラグ無混入供試体とほぼ同程度と大きかったのに対し、スラグ置換率 50% 供試体では、腐食量は微少であった。ここで、図-3の結果から、スラグを使用した場合、どの強度レベルでも塩化物イオン浸透を抑制していたにも拘らず、鉄筋腐食面積率についてはスラグ混入量で差異が生じたのは、コンクリート中の細孔溶液の $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ に違いが生じたことによるものと考えられる。ただし、圧縮強度が 30N/mm^2 を超える状況になると、いずれの供試体とも鉄筋腐食を抑制できる状況にあり、コンクリートの圧縮強度からも鉄筋腐食に対する抵抗性についてもある程度予測できると考えられた。また、「塩害単独」および「炭酸化単独」については、データ数も少なく今後さらに検討する必要もあるが、少なくとも「炭酸化単独」の場合には、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートでは、圧縮強度が 30N/mm^2 を下回ると腐食が急激に大きくなる傾向が認められた。

【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,コンクリート工学年次論文集,vol.27,No1,pp.163-168, 2005