

石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの物質移動抵抗性の検討（1）

— 塩化物イオンの見掛けの拡散係数に関する一考察 —

東京電力ホールディングス ○ 正会員 小林保之
正会員 松浦忠孝

1. はじめに

石炭ガス化スラグ細骨材（以下、CGS という）を使用したコンクリートは、既往の研究¹⁾によって塩分浸透抵抗性が向上することが示唆されている。しかしながら、これらの成果は水セメント比 W/C の水準が限定されており、コンクリート標準示方書（以下、コ示という）による拡散係数の特性値の推定に倣って、W/C の影響を考慮することができない現状にある。そこで本研究では、CGS コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数について、W/C の違いによる評価・考察を行った。

2. 使用材料

本検討に用いた CGS の品質、ならびにコンクリート配合をそれぞれ表-1、表-2 に示す。CGS は SiO₂、Al₂O₃、CaO を主成分とし、非晶質相がポゾラン反応性を有することが示唆されている²⁾。配合については、W/C は 40、50、60% の 3 水準とし、目標スランプ・空気量は、12cm、4.5% とした。CGS 混合率（容積置換）は、標準的な利用域と想定される 50% を全 W/C に対して設定し、CGS 混合率の影響評価を行うため、CGS 混合率 100% は、W/C=50% のみとした。なお、供試体作製に使用したセメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16 g/cm³）、細骨材は山砂と碎石の混合砂（表乾密度 2.64g/cm³、吸水率 1.11%、粗粒率 2.44）、粗骨材は石灰石碎石（最大寸法 20mm、表乾密度 2.71g/cm³、吸水率 0.23%）を用いた。

3. 試験方法

見掛けの拡散係数の試験は、JSCE-G573（浸せきによるコンクリートの見掛けの拡散係数試験方法）により実施した。材齢 28 日まで 20±2℃水中養生を行った後、1 面を除きエポキシ樹脂被覆を施した円柱供試体 φ100×200mm を、20±2℃、NaCl10±1% の溶液に浸透面を上向きに所定材齢浸せきし、その後、電位差滴定法（JIS A1154）により浸透面からの深さ方向の塩化物イオン濃度の分布を測定した。

4. 試験結果と考察

コンクリートの圧縮強度試験結果を図-1 に示す。材齢

キーワード 石炭ガス化スラグ細骨材 塩化物イオン 見掛けの拡散係数 水セメント比

連絡先 〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1 東京電力ホールディングス（株）経営技術戦略研究所 TEL045-394-6000

表-1 CGS の品質

項目	単位	試験成績	JIS A 5011-5
絶乾密度	g/cm ³	2.72	2.5 以上、見本値±0.1
吸水率	%	0.24	1.5 以下
単位容積質量	kg/L	1.89	1.50 以上
粗粒率		2.40	協議値±0.2
微粒分量	%	5.8	9.0 以下、協議値±2.0
化学成分	CaO	%	20.0
	MgO	%	1.4
	SO ₃	%	0.0
	FeO	%	5.8
	SiO ₂	%	47.8
(参考)	Al ₂ O ₃	%	18.2
	Na ₂ O	%	0.9
炭素含有率	%	0.04	0.10 以下

表-2 コンクリート配合

W/C	s/a	CGS 混合率	単位量 kg/m ³					Ad %*C	AE 0.001 %*C
			W	C	S	CGS	G		
40	45	0	162	405	789	0	990	1.3	2.0
		50			395	410		1.3	
50	47	0	324	856	0	991	1.0		
		50			428		444		0.7
		100			0		889		0.6
60	49	0	270	915	0	978	1.0		
		50			458		475		0.7

28 日（20±2℃水中養生）時点の圧縮強度は、W/C50%と 60%では CGS の使用によりやや低くなるものの 40%では増加している。材齢 91 日および 182 日では CGS の使用によって強度は増進する傾向にある。次に、浸せき期間 91 日、182 日における W/C ごとの塩化物イオン濃度の分布を図-2～図-4 に示す。表面に最も近い第 1 層を除き、塩化物イオン濃度はいずれの W/C においても CGS の使用によって低くなっていることが確認できる。図-5 には、それぞれの塩化物イオン濃度の分布から Fick の拡散第二法則に基づき求めた見掛けの拡散係数と W/C との関係を示す。これらの結果から、CGS コンクリートの見掛けの拡散係数は、一般的なコンクリートと同様に W/C が低くなると低下する傾向にある。また、CGS を使用することにより、さらに小さくなる、すなわち、塩分

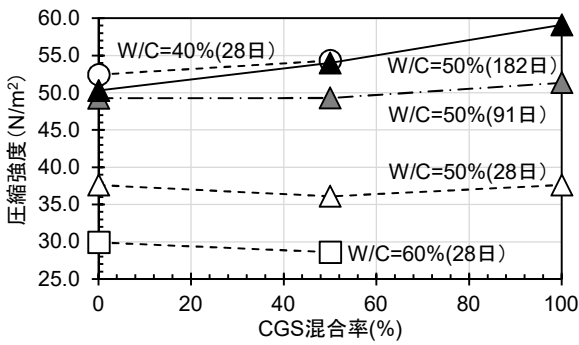


図-1 圧縮強度試験結果

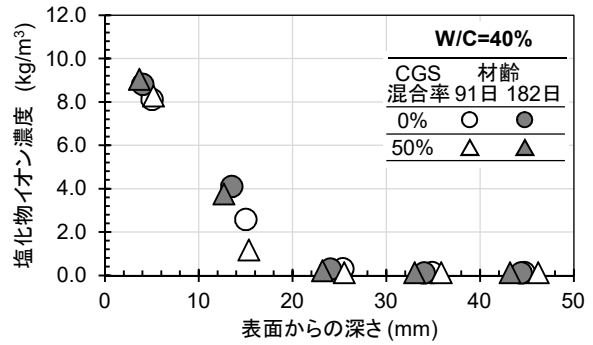


図-2 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=40%)

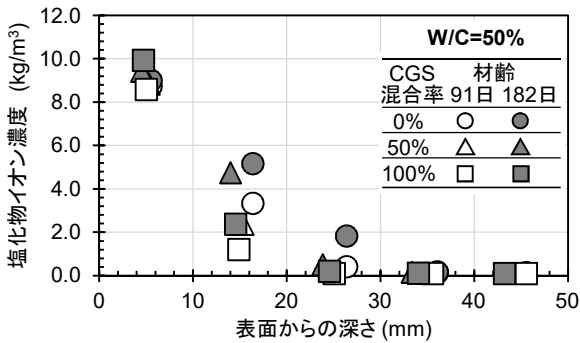


図-3 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=50%)

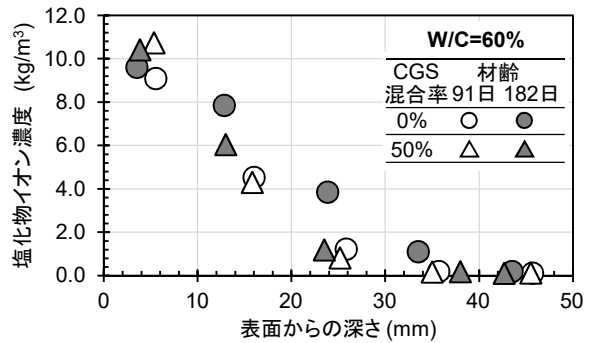


図-4 塩化物イオン濃度の分布 (W/C=60%)

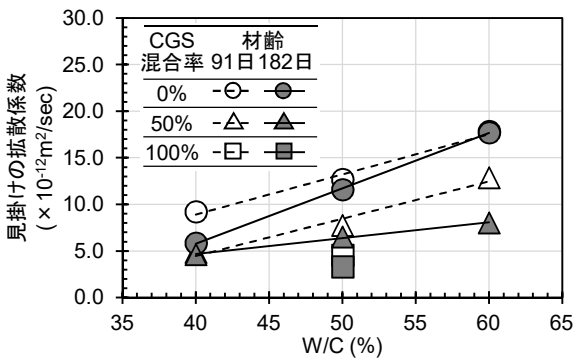


図-5 見掛けの拡散係数と W/C の関係

表-3 見掛けの拡散係数の低下率

W/C	40%		50%		60%			
	CGS 混合率	0%	50%	0%	50%	100%	0%	50%
試験結果 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$)	91 日	9.20	5.84	12.67	7.73	4.54	17.83	12.86
	182 日	4.85	4.62	11.60	6.50	3.31	17.71	8.03
低下率 (%)	91 日	/	37	/	39	64	/	28
	182 日	/	5	/	44	71	/	55

対的に大きくなったことによるものと推察される。

5. まとめ

複数の W/C によって CGS コンクリートの塩化物イオンに対する見掛けの拡散係数の評価を行った結果、一般的なコンクリートと同様に W/C に応じて見掛けの拡散係数の変化が認められた。また、CGS 混合により、全ての W/C において天然骨材を用いたコンクリートよりも低下し、塩分浸透抵抗性が向上することを確認した。

参考文献

- 1) 小池駿佑ら：石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートおよびモルタルの遮塩性と凍結融解抵抗性の評価、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, pp.261-266, 2021.10
- 2) 松浦忠孝ら：石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの基礎的性質に関する検討、セメント・コンクリート論文集, Vol.75, 2022.3 (掲載予定)

浸透抵抗性が向上することが確認された。

表-3 には、試験により得られた見掛けの拡散係数と浸漬材齢毎に CGS 混合率 0% を基準とした場合の見掛けの拡散係数の低下率を示す。

まず、各配合において浸漬材齢 91 日と 182 日を比較すると何れの配合も 182 日の方が低下している。これは浸漬試験であることからセメントの水和や CGS のポズラン反応が塩分浸透と同時に進行したためと考えられる。

次に、低下率を見ると、CGS 混合により、何れの配合においても低下が認められる。浸漬材齢 182 日、混合率 50% を比較すると W/C の増加に伴い低下率が大きくなっている。これは、単位セメント量が少ない配合では、CGS のポズラン反応の影響がセメントの水和に比べ相