

## 電気化学的手法による石炭ガス化スラグ細骨材を使用したコンクリートの遮塩性の評価

東北大学 学生会員 ○小池 駿佑

東北大学 正会員 皆川 浩 宮本 慎太郎 久田 真

広野 IGCC パワー合同会社 正会員 松浦 忠孝

## 1. はじめに

石炭ガス化複合発電は、従来の石炭火力発電よりも発電効率が高く CO<sub>2</sub> 排出量を削減できることから、実用化が期待されている。この発電方式で副生される石炭ガス化スラグの発生量は至近に年間数十万トンに達すると予測されており、他のスラグ骨材と同様にコンクリート用細骨材としての有効利用の検討がなされつつある。本研究では、この石炭ガス化スラグ細骨材 (Coal Gasification Slag as fine aggregate for concrete, 以下 CGS) がコンクリートの遮塩性に及ぼす影響を評価するために、CGS の混合率を変化させたコンクリート供試体を用いて、定常法電気泳動セル試験による塩化物イオン実効拡散係数、電気抵抗率および空隙率を測定した。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料と配合

本研究では、結合材に市販の普通ポルトランドセメント（密度：3.16 g/cm<sup>3</sup>）を、細骨材に CGS（表乾密度：2.79 g/cm<sup>3</sup>，吸水率：0.22%）と砕砂（以下 S，表乾密度：2.66 g/cm<sup>3</sup>，吸水率：1.52%）を、粗骨材に碎石（以下 G，表乾密度：2.72 g/cm<sup>3</sup>，吸水率：0.32%）を使用した。また、化学混和剤として AE 減水剤（以下，A<sub>1</sub>；主成分：リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体）、AE 助剤（以下，A<sub>2</sub>；主成分：変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤）を使用した。配合を表-1 に示す。W/C=50%，s/a=46.0%であり、CGS 混合率は容積比で 0，30，50，100%の計 4 水準とした。コンクリートの目標スランブおよび目標空気量は、それぞれ 12.0 cm と 5.0%である。

表-1 示方配合

水準	W/C [%]	CGS 混合率 [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]						
			W	C	CGS	S	G	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
CGS0	50	0	170	340	0	823	988	3.40	2A
CGS30		30	170	340	259	576	988	2.72	4A
CGS50		50	170	340	431	411	988	2.72	5A
CGS100		100	170	340	863	0	988	2.04	8A

目標スランブ：12.0 cm，目標空気量：5.0%

## 2.2 供試体の作製

練り混ぜたコンクリートを内寸法 φ10×20 cm のプラスチック製型枠に打ち込み、鋼製突き棒で突き固めた後、型枠を木槌で軽く叩いて締め固めた。その後、直ちに打ち込み面の表面成型を行い、プラスチック製の蓋をした。そして、打ち込み後 24±2 時間後に脱型し、20℃環境下で水中養生を実施した。

## 2.3 測定項目と測定方法

## (1) 塩化物イオンの実効拡散係数

材齢 28 日の時点で、JSCE-G 571 に準拠して定常法電気泳動セル試験により塩化物イオンの実効拡散係数を測定した。結果は各水準ともに 3 個の電気泳動セル試験の測定値の平均である。

## (2) 電気抵抗率

材齢 3，7，14，28，56，91 日において、JSCE-G 581 に準拠して四電極法 B 法により電気抵抗率を測定した。電極間隔は 5 cm で、セル定数は  $k=8.41 \text{ m}^{-1}$  を用いた。測定には各配合につき 3 個の供試体を用いた。

## (3) 空隙率

材齢 28 日の供試体から湿式カッターで約 2 cm 厚さの試料を切り出し、その試料を水没させた状態で真空ポンプを使用して 24 時間減圧環境下に置くことで、飽水状態試料とした。この試料の表乾質量 ( $W_1$ )、水中質量 ( $W_2$ ) を測定し、また、105℃の乾燥炉で質量が恒量になるまで乾燥させた後の質量を絶乾質量 ( $W_3$ ) として測定した。そして式(1)にて試料の空隙率を算出した。

$$\varepsilon = \frac{(W_1 - W_2)/\rho_w}{(W_1 - W_3)/\rho_w} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 $\varepsilon$ ：空隙率[%]， $\rho_w$ ：水の密度[g/cm<sup>3</sup>]である。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1 CGS 混合率と塩化物イオン実効拡散係数の関係

図-1 に、定常法電気泳動セル試験のセル内イオン濃度の測定時（1回/(24±2h)）に計測したセル内溶液の温度より作成した箱ひげ図を示す。ここで、図中の×印は、セル内温度の平均値である。図-1 より、CGS 混合率の高い水準ほどセル内温度の平均値は低い傾向にあった。

キーワード 石炭ガス化スラグ細骨材 塩化物イオンの実効拡散係数 電気抵抗率 空隙率

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院土木工学専攻 Tel 022-795-7427

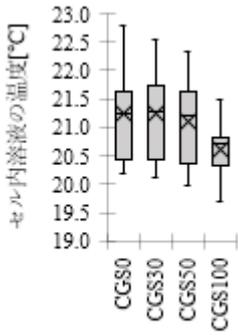


図-1 セル内溶液の温度と配合の関係

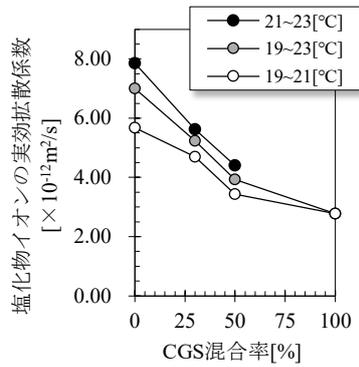


図-2 Cl<sup>-</sup>の実効拡散係数とCGS混合率の関係

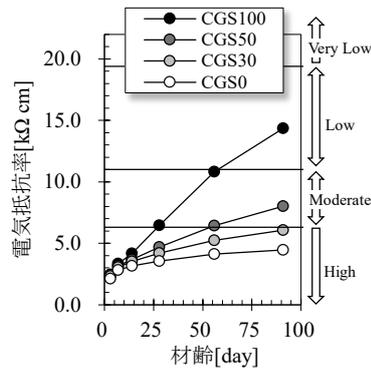


図-3 電気抵抗率の経時変化とCl<sup>-</sup>浸透性のグレード

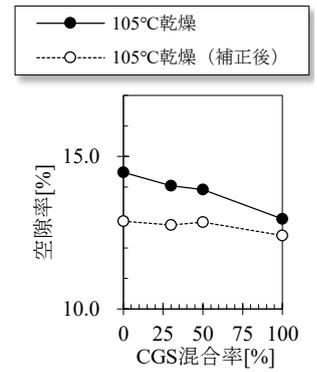


図-4 CGS混合率と空隙率の関係

ここで、既報<sup>1)</sup>では、非定常法電気泳動セル試験において、溶液の温度が上昇するほど塩化物イオンの移動度が大きくなることで試験結果に影響を及ぼす可能性を指摘している。本試験においても同様の可能性が考えられたため、塩化物イオンの実効拡散係数は、セル内溶液の温度が19~21℃、21~23℃、19~23℃（全温度域）の場合におけるデータをそれぞれ用いて算出した。なお、CGS100の21~23℃のデータはない。

塩化物イオンの実効拡散係数の測定結果を示した図-2より、塩化物イオンの実効拡散係数はセル内溶液の平均温度は19~21℃の場合よりも19~23℃の場合のほうが大きい傾向にある。よって、温度依存性を排除してCGSがコンクリートの遮塩性に及ぼす影響を明確にするために19~21℃のデータに着目すると、CGSの混合率が高いほど塩化物イオンの実効拡散係数は低下しており、CGSの使用による遮塩性の増大が認められた。

### 3.2 CGS混合率と電気抵抗率および空隙率の関係

図-3に電気抵抗率の経時変化を示す。ここで、電気抵抗率によってコンクリートの遮塩性を評価するにあたり、既報<sup>2)</sup>で示されている表-2の評価指標を用いた。これは、米国における電気抵抗率の試験規格であるAASHTO T 358の中で示されている塩化物イオン浸透性のグレードに関する閾値を、適切なセル定数により補正した指標である。一般に、電気抵抗率が高いほど塩化物イオン浸透性は低くなり、遮塩性は向上する。図-3より、CGS混合率が高いほど電気抵抗率の増加率が高いとわかる。また、遮塩性の評価指標に着目すると、材齢28日ではCGS100がModerate、その他の水準はHighに分類された。加えて、材齢91日ではCGS100がLow、CGS50がModerate、CGS30とCGS0がHighに分類された。よってCGS混合率が高いほど材齢の経過に伴いコンクリートの遮塩性が向上すると考えられる。

図-4に、CGS混合率と空隙率の関係を示す。ここで、骨材の空隙率がコンクリートの空隙率に及ぼす影響を

表-2 AASHTO T358のCl<sup>-</sup>浸透性のグレード(補正後)<sup>2)</sup>

AASHTO T358の塩化物イオン浸透性のグレード	φ10×20 cm 供試体	
	AASHTO T358 a=1.5 in = 3.81 cm	補正後
	kΩ cm	kΩ cm
High	< 12	< 6.3
Moderate	12 - 21	6.3 - 11.0
Low	21 - 37	11.0 - 19.4
Very Low	37 - 254	19.4 - 134
Negligible	> 254	> 134

排除するために、コンクリートの空隙率から骨材の空隙率を差し引いた補正値も示した。補正前のデータより、CGS混合率が高くなるほどコンクリートの空隙率は低下した。一方で、補正後のデータではCGS混合率の影響は認められなかった。細骨材の吸水率は、CGS:0.22%、砕砂:1.52%である。空隙率は骨材の空隙も含む。したがって、コンクリートの空隙率がCGS混合率に応じて低下するのは、CGSが砕砂よりも低い吸水率であることが主因と考えられる。

### 4. 結論

材齢28日および塩化物イオンの実効拡散係数と材齢91日までの電気抵抗率に基づく結果によれば、CGS混合率が増加するほどコンクリートの遮塩性は増加し、その傾向は材齢とともに拡大する。一方、CGSの使用によりコンクリートの空隙率が低下するが、それはCGSの吸水率が低いと推察された。

**謝辞:** 本研究の成果の一部は、NEDO助成・補助事業で実施した試験結果から得たものである。また、供試体の作製に際し、日本大学の岩城一郎教授、前島拓助教および学生諸氏、広野IGCCパワー合同会社の松本宗浩氏ご協力いただいた。ここに記して感謝の意を示す。

### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会: 電気化学的手法を活用した実効的維持管理手法の確立に関する研究委員会報告書, pp. 47-50, 2018
- 2) 同上, p. 19