

高炉スラグ微粉末を含むセメント硬化体中の可溶性塩分量の測定に関する検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○田中秀治 正会員 古賀裕久 正会員 河野広隆

1. 目的

現在、硬化コンクリート中の塩分測定法は、JIS A 1154_2003 (硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法) と日本コンクリート工学協会 JCI-SC4 (硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析法) が用いられている。これらの規準では、高炉スラグ微粉末を含む硬化コンクリート中の塩分量を電位差滴定法で測定する場合、硫化物イオンなどの妨害イオンの影響を受けることが指摘されている。しかし、高炉スラグ微粉末の種類と置換率が異なった場合や、高炉スラグ微粉末を含むコンクリートが中性化した場合に電位差滴定法の測定結果に与える妨害イオンの影響については明らかにされていない。また、妨害イオンの除去方法は全塩分量測定に対しては記載されているが、可溶性塩分量測定に対しては明確には示されていない。

そこで、高炉スラグ微粉末を含むモルタル供試体を対象に、中性化の前後で電位差滴定法を用いて可溶性塩分量を測定し、妨害イオンが測定結果に及ぼす影響を検討した。また、妨害イオン除去処理の効果を検証した。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

セメントと高炉スラグ微粉末(以下、スラグと記す)の化学組成を表-1 に示す。セメントは混合材無混入の普通ポルトランドセメントを用い、スラグは K 社製 BFS4000, S 社製 BFS4000, S 社製 BFS6000, S 社製 BFS8000 の 4 種類を用いた。練混ぜ水はイオン交換水を使用し、塩分は NaCl を練混ぜ水に混入して添加した。

モルタルの配合を表-2 に示す。水結合材比(W/B)を50%と一定にし、スラグの添加はセメントの内割で30%と60%の2水準とした。塩分の添加量は、モルタル1m³あたり塩化物イオン換算で2.85kgとした。

(2) 実験方法

促進中性化の前後で、電位差滴定法とイオンクロマトグラフ法(以下、IC法と記す)によりスラグを含むモルタル中の塩分量を測定した。なお、促進中性化後の供試体はフェノールフタレイン溶液の呈色の有無で中性化領域と未中性化領域に切り分けて、それぞれに含まれる塩分量の測定を行った。

供試体は40mm×40mm×160mmとし、材齢28日まで20℃の室内で湿布養生した。その後、打設時の1側面を除く5面を覆い、8週間促進中性化養生(気温20℃、相対湿度60%、CO₂濃度10%)を行った。促進中性化後の中性化深さを表-2 に示す。塩分量測定は、促進中性化前後にJCI-SC4に準じて可溶性塩分量の測定溶液を作成し、電位差滴定法とIC法で行った。さらに、スラグを含む場合の妨害イオンの除去処理として、粉末試料40gに対して過酸化水素水(30%)5mlを添加し5分間煮沸処理を行った測定試料も作成した。この溶液は、電位差滴定法のみで塩分量を測定した。

3. 測定方法の違いによる可溶性塩分量測定値の関係

妨害イオン除去処理を行っていない場合の電位差滴定法とIC法による可溶性塩分量の関係を図-1 に示す。まず、促進中性化前の測定結果(A)を見ると、可溶性塩分量はスラグの種類や置換率に関わらず全ての配合で約1.35 kg/m³であった。また、全ての配合で両測定方法の測定結果がほぼ等しくなった。次に、促進中性化後の未中性化領域の測定結果(B)を見ると、促進中性化前と同様に、スラグの種類や置換率が異なる配合で可溶性塩分量の差は見られず、両測定方

表-1 セメントと高炉スラグ微粉末の化学組成

粉体	密度 (g/cm ³)	粉末度 (cm ² /g)	化学組成 (%)						
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	S
OPC	3.18	3,050	21.53	5.47	3.01	64.42	1.15	1.87	---
K社BFS4000	2.88	4,130	34.30	14.60	0.24	44.40	6.16	1.01	0.98
S社BFS4000	2.91	4,000	33.88	15.40	0.35	42.02	6.19	0.13	0.74
S社BFS6000	2.91	5,760	34.30	15.28	0.30	42.27	5.64	0.07	0.70
S社BFS8000	2.91	7,650	33.70	16.06	0.33	41.12	6.29	0.04	0.72

表-2 モルタルの配合

スラグ 種類	スラグ 置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)			CI量 (kg/m ³)	AE 減水剤 ^{*2} (B×%)	促進8週 目の中性 化深さ ^{*3} (mm)	
		水 W	結合材 B					細骨材 ^{*1} S
			セメント C	スラグ BFS				
---	0	285	570	0	1267	4.2		
K社BFS 4000	30	285	399	171	1252	2.85	0.25	
	60		228	342	1238			
S社BFS 4000	30		399	171	1254			
	60		228	342	1242			
S社BFS 6000	30		399	171	1254			
	60		228	342	1242			
S社BFS 8000	30		399	171	1254			
	60		228	342	1242			

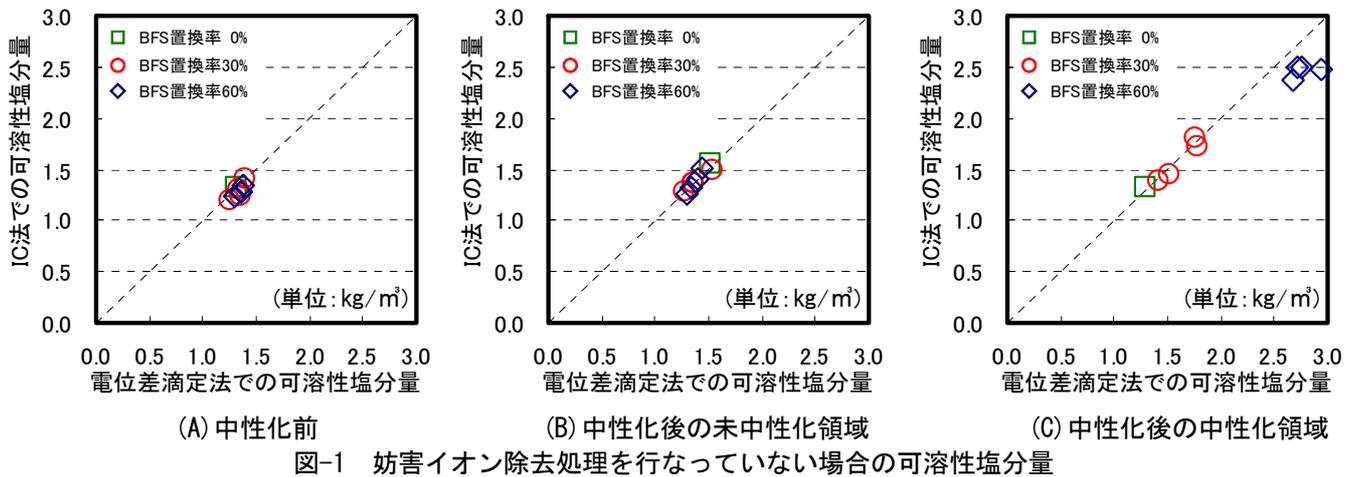
*1 セメント強さ試験用標準砂

*2 リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体

*3 中性化深さは、フェノールフタレイン溶液の呈色しない深さを3点で測定しその平均値とした。

キーワード 高炉スラグ微粉末, 電位差滴定法, 塩化物イオン量, 可溶性塩化物イオン量, 妨害イオン量, 中性化

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (独)土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム TEL029-879-6761



法の測定結果がほぼ等しくなった。一方、促進中性化後の中性化領域の測定結果(C)を見ると、スラグ無添加の配合に比べスラグを含む配合では可溶性塩分量が多くなり、スラグの置換率が大きくなると可溶性塩分量も多くなった。また、スラグ無添加とスラグ置換率 30%の配合で両測定方法の測定結果はほぼ等しくなった。しかし、スラグ置換率 60%の配合では、電位差滴定法での測定結果が IC 法での測定結果よりも大きくなった。電位差滴定法では、塩化物イオンと硫化物イオンなどの妨害イオンを分離して測定することができないため、測定結果が大きくなったと考えられる。

このことより、電位差滴定法によりスラグを含むモルタル中の塩分量を測定する場合、妨害イオンが全ての状況で測定結果に影響を及ぼすのではなく、中性化領域においてのみ影響があることが分かった。また、今回の実験では、スラグ置換率 60%の配合で妨害イオンの影響が見られた。

4. 妨害イオン除去処理の検証

妨害イオン除去処理を行った電位差滴定法と IC 法による可溶性塩分量の関係を図-2 に示す。図-1 (C) で電位差滴定法と IC 法の測定結果が異なったスラグ置換率 60%の配合でも、妨害イオンの除去処理を行った場合は両測定方法の測定結果はほぼ等しくなった。また、他の配合でも、妨害イオン除去処理を行なった電位差滴定法と IC 法の測定結果がほぼ等しくなった。したがって、本実験で行った妨害イオン除去処理により、スラグを含むモルタル中の可溶性塩分量を電位差滴定法で測定する場合でも、適切に測定できることが確認できた。

5. 妨害イオン量の測定結果

図-1 で電位差滴定法と IC 法の測定結果が異なったスラグ置換率 60%の中性化領域での妨害イオン量を図-3 に示す。ここで妨害イオン量は、妨害イオンの除去処理を行っていない電位差滴定法の測定結果と妨害イオンの除去処理を行なった電位差滴定法の測定結果の差とした。粉末度がほぼ等しい K 社製と S 社の BFS4000 の妨害イオン量を比較すると、K 社製のスラグを含む配合は S 社製のスラグを含む配合よりも多くなった。また、S 社製のスラグを用いた配合の妨害イオン量は、粉末度が大きくなると若干多くなるが、その増加量は極めて少なかった。つまり妨害イオン量は、スラグの粉末度には影響されにくい、スラグ製造メーカーにより異なることが分かった。

6. まとめ

本実験では、高炉スラグ微粉末の種類や置換率と中性化の有無が電位差滴定法の測定結果に及ぼす影響について検討した。その結果、(1)妨害イオンは、高炉スラグ微粉末を含むモルタルが中性化すると生成され、本実験では、スラグ置換率 60%の配合で妨害イオンの影響が見られた。さらに、(2) 妨害イオンは、過酸化水素水を添加し 5 分間煮沸処理すれば、電位差滴定法での測定に支障がないことが分かった。また、(3) 妨害イオン量は、スラグの粉末度には影響を受けにくい、スラグの種類により異なることが分かった。

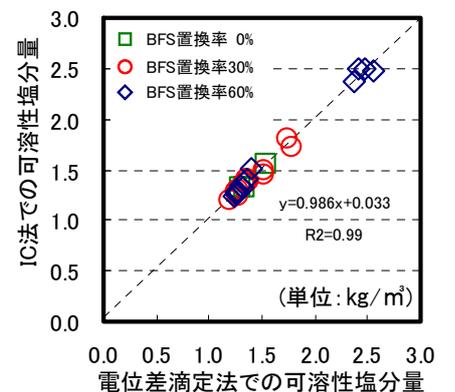


図-2 妨害イオン除去処理を行なった場合の可溶性塩分量

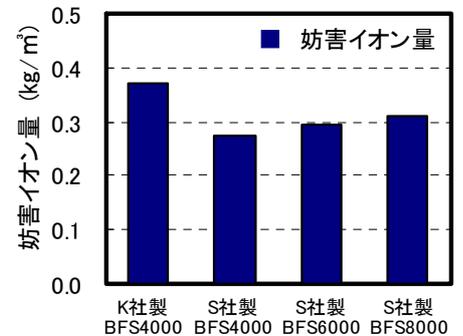


図-3 スラグ置換率 60%の中性化領域での妨害イオン量