第Ⅴ部門　　化学組成や結晶性の異なるスラグの溶出特性に関する研究

京都大学　学生員　○大串　健太
京都大学　正会員　高橋　良和
京都大学　正会員　高谷　哲

1. はじめに

近年, CO_2 削減のために高炉スラグなどの産業廃棄物, 副産物の有効活用が求められており, 高炉スラグの使用量もこれまで以上に増加することが予想される. しかし, 高炉スラグの反応については不明な点が多く残されており, 基礎的な検討として, 本研究では異なる化学組成の高炉スラグを用いて溶出特性の検討を行った.

2. 溶出試験

2.1 スラグの化学組成

実験に用いたスラグ A, F, G の化学組成を**表 1** に示す. スラグ F, G はスラグ A と比較すると Si, Ca が少なく, Al, Mg が多いというのが特徴であることが分かる. 特に, スラグ F, G の Mg 含有比はスラグ A と比べて約 2 倍になっている.

2.2 溶出試験概要

微粉砕したスラグを 0.1MNaOH 水溶液に浸漬し, 60℃の恒温槽に静置して 1, 6, 24, 72, 168, 672 時間経過した後に溶出元素分析(ICP-OES) および粉末 X 線回折を行った. 対照実験として, スラグの微粉末を蒸留水に浸漬させ, 同様の検討を行った.

表 1 スラグの化学組成

	Igloss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	Na_2O	K_2O	Total	R_2O
A	0.04	36.2	14.05	0.58	41.42	5.7	0.08	0.76	0.01	0.26	0.27	0.3	99.67	0.47
F	0.13	31.19	16.73	0.6	36.89	10.9	0.06	1.68	0.01	0.75	0.41	0.31	99.66	0.61
G	0.24	31.13	16.59	0.45	38.41	10.02	0.08	0.65	0.01	0.51	0.33	0.32	98.74	0.54

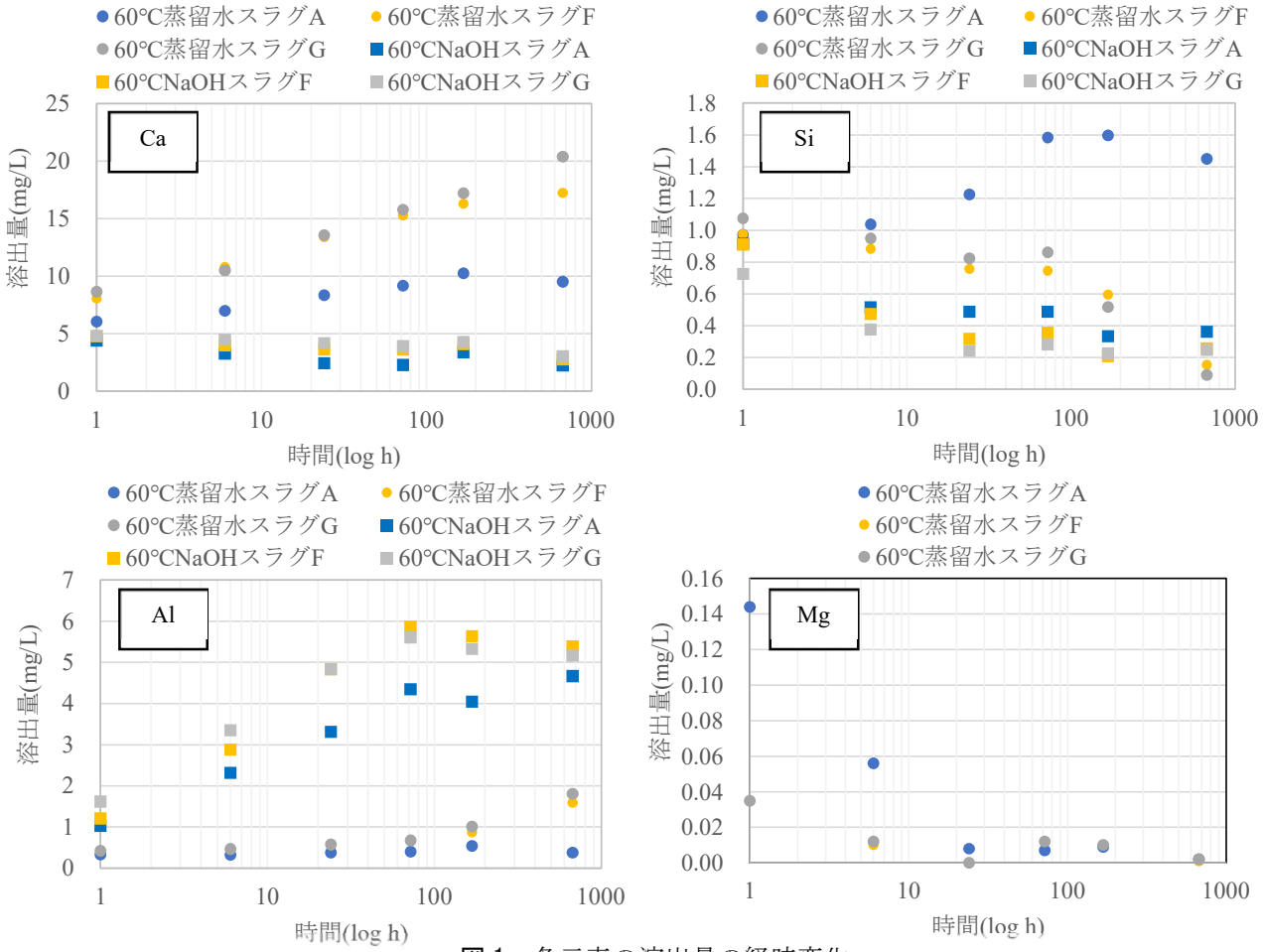

図 1 各元素の溶出量の経時変化

Kenta OKUSHI, Yoshikazu TAKAHASHI, Satoshi TAKAYA
okushi.kenta.25a@st.kyoto-u.ac.jp

表 2　溶出前後での組成の変化率（溶出試験後/溶出試験前）

		Ca 396.847	Si 251.612	Ti 334.187	Al 396.152	Fe 259.941	Mn 257.611	Mg 279.553
60℃ NaOH	A	1.04	1.02	1.09	0.82	1.10	1.13	1.12
	F	1.18	1.00	1.11	0.87	0.92	1.08	1.07
	G	1.01	1.03	1.08	0.85	0.98	1.02	1.08

2.3　溶出試験結果

Si，Ca，Al，Mg の溶出量の経時変化を**図 1** に示す．また，**表 2** に溶出試験前後での化学組成変化を示す．表を見ると，特定の元素に偏った変化が見られないため，溶出元素量が含有割合に依存すると考えられる．したがって，図中の溶出量は反応残渣であると考えられる．蒸留水中では Mg の溶出量が減少するにつれて Ca および Al の溶出量が増加していることが分かる．既報 [1]では Mg が一定濃度以上になると C-S-H の Ca との置換が生じることが報告されており，生成した C-S-H や C-S-A-H の Ca，Al と Mg が置換して一部が M-S-H または C-S-M-H となったことが考えられる．一方 NaOH 水溶液中では蒸留水に比べ Ca および Si の溶出量は減少するが Al 溶出量が増加する．Si よりも Ca の溶出量が少なく，相対的に生成した C-S-H の C/S 比が大きくなったことで Al の置換が生じにくくなったことが推察される．Mg の溶出は確認されず，全量反応に使用されたと考えられる．

2.4　粉末 X 線回折結果

図 2 に NaOH 水溶液浸漬前後の各スラグの X 線回折結果を示す(横軸：回折角，縦軸：強度).溶出前の結果より，スラグ A はハローのみで概ね非晶質であり，スラグ F，G はピークが見られ，結晶質成分の存在が確認された．溶出後の結果から，全てのスラグにおいて新たに 21°および 29°付近にピークが確認できた．既往の文献 [2]より，29°のピークは C-S-H であると考えられ，その生成量はスラグ F のものが一番高いことが推察される．また，スラグ F，G ではさらに 33°付近にピークが見られた．既報 [2]のデータと比較すると 21°ならびに 33°に現れるピークは M-S-H のピークに近いが，メインピークの位置および形状が異なる．本実験においては 21°の方がメインピークであるため，M-S-H に近い C-S-M-H がスラグ表層に形成したと推察される．スラグ F, G はスラグ A と比較して Mg 含有量が多かったが，スラグ F, G で顕著に C-S-M-H と思われる生成物が生じたのはスラグ表面の pH の違いによる可能性もあり，今後検討する必要がある．

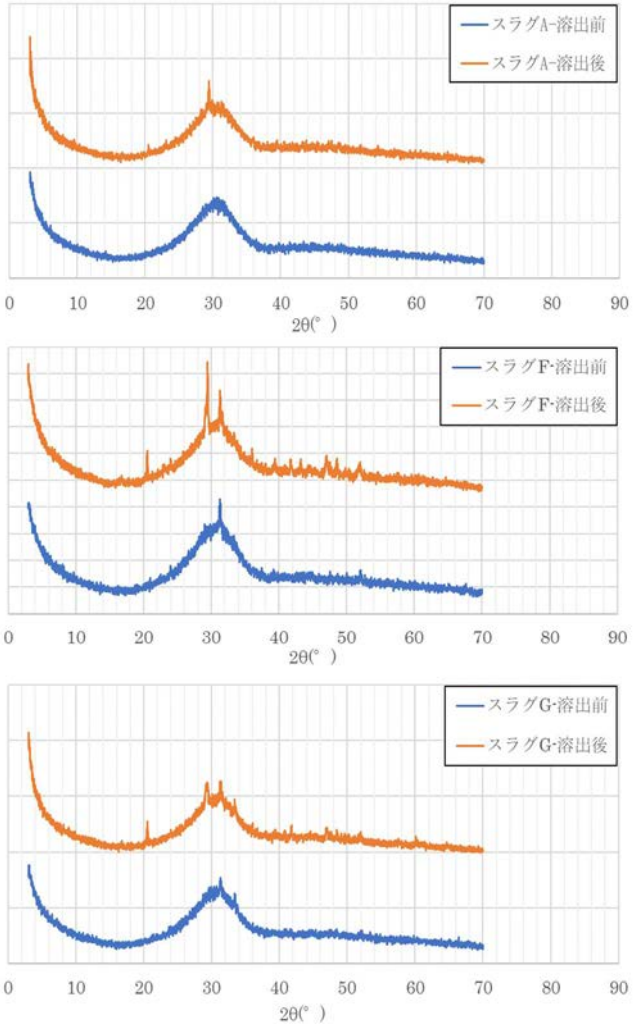

図 2　各スラグの溶出前後の粉末 X 線回折結果

3.　結論

主に Mg 高含有スラグの反応について次を得た．

1) 蒸留水中では C-S-H，C-S-A-H に Mg がそれぞれ置換した M-S-H，C-S-M-H が生成したと考えられる．

2) NaOH 水溶液中では生成した C-S-H の C/S 比が大きくなり，Al の置換が生じにくくなった可能性がある．

3) 粉末 X 線回折結果から，溶出後のスラグ表層に C-S-M-H の結晶が生成したことが推察される．

参考文献

1) Bernard，E；et al. Effect of magnesium on calcium silicate hydrate (C-S-H). Cement and Concrete Research. 2017，Vol.97, p.61–72.

2) B. Lothenbac；et al. Magnesium and calcium silicate hydrates. Cement and Concrete Research. 2015，Vol.77，p.60-68.