室内エージング実験における 製鋼スラグのpH低減効果の確認

佐野 博昭¹・山田 幹雄²・柏原 司³・金子 敏行⁴・
古川 幹人⁵・原 良治⁶・澄川 圭治⁷・中村 貴敏⁸

¹正会員 大分工業高等専門学校教授 都市・環境工学科 (〒870-0152 大分県大分市大字牧 1666 番地)
E-mail: sano@oita-ct.ac.jp

²正会員 福井工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (〒916-8507 福井県鯖江市下司町)
E-mail: yamasan@fukui-nct.ac.jp

³非会員 新日鐵住金(株) 大分製鐵所 生産技術部 (〒870-0992 大分県大分市大字西ノ洲 1 番地)
E-mail: kashiwabara.d8a.tsukasa@jp.nssmc.com

⁴非会員 新日鐵住金(株) 大分製鐵所 生産技術部 (〒870-0992 大分県大分市大字西ノ洲 1 番地)
E-mail: kaneko.t9r.toshiyuki@jp.nssmc.com

⁵非会員 新日鐵住金(株) 大分製鐵所 生産技術部 (〒870-0992 大分県大分市大字西ノ洲 1 番地)
E-mail: furukawa.f58.mikihito@jp.nssmc.com

⁶非会員 新日鐵住金(株) 大分製鐵所 生産技術部 (〒870-0992 大分県大分市大字西ノ洲 1 番地)
E-mail: hara.4pg.ryohji@jp.nssmc.com

⁷非会員 新日鐵住金(株) 大分製鐵所 生産技術部 (〒870-0992 大分県大分市大字西ノ洲 1 番地)
E-mail: sumigawa.hy9.keiji@jp.nssmc.com

⁸非会員 日鉄住金スラグ製品(株) 大分事業所 営業部 (〒870-0992 大分県大分市大字西ノ洲 1 番地)
E-mail: nakamura.567.takatoshi@slag.nssmc.com

本研究では、製鉄所構内でのエージング処理工程中における製鋼スラグのpH低減効果を室内で評価するために、室内エージング実験を最長1年間行い、エージング日数の経過にともなう含水比、pH、電気伝導率、炭酸カルシウム含有率の推移を調べた。この際、エージング期間中の加水および攪拌状態が炭酸化の進行に及ぼす影響について検討を行った。得られた結果より、室内エージング処理を施した製鋼スラグのpH、電気伝導率はエージング日数の経過にともなって徐々に低下し、その傾向には含水比の高低が大きく影響していることが示された。また、製鋼スラグの炭酸カルシウム含有率はエージング日数の経過にともなって徐々に増加し、その傾向には含水比の高低が大きく影響していることが明らかとなった。

Key Words : steel making slag, carbonate content test, gasometric method, pH, electric conductivity

1. まえがき

製鉄所で発生する主な副産物として、「高炉スラグ」と「製鋼スラグ」があり、このうち、排出直後の製鋼スラグには、数%の遊離石灰(f-CaO)が含まれていることから、f-CaO が水と反応すると次式(1)に示すように発熱して水酸化カルシウムCa(OH)₂が生成される¹⁾。

式(1)において、CaO と Ca(OH)₂ のモル体積を計算すると、2 倍の体積膨張が生じることになる¹⁾。このため、f-

CaO を含んだままの状態では路盤材料などに用いると、施工後、膨張によって路面が隆起する恐れもあることから、製鋼スラグを製鉄所構内の屋外で一定期間山積みをし、CaO を水と反応させるエージング処理が行われている²⁾。

エージング処理には、降水や散水によって水和反応を促進させる「大気エージング法」とより短時間で水和反応を完了させる「促進エージング法」の2つがある。さらに、「促進エージング法」には、高温蒸気を使用して処理する「蒸気エージング法」、温水中に浸漬処理する「温水エージング法」、容器内で蒸気と高圧条件で反応させる「加圧エージング法」などの種類がある³⁾。

製鋼スラグを路盤材料に使用する際には、とくに膨張抑制が品質管理上の最重要事項である。そのため、過去の膨張トラブルの原因が水和膨張にあるとの研究結果²⁾を基に、エージング期間 6 か月以上で安定した製鋼スラグを対象に「道路用鉄鋼スラグ」(JIS A 5015-1992)⁴⁾に準拠して「80℃水浸膨張試験方法」を適用し、水浸膨張比が 1.5%以下の基準を満足していることを確認した上で出荷することにより品質確保の徹底を図っている。

エージング処理した製鋼スラグは、路盤材料などの道路用資材として有効に利用されているが、その一方で pH≒12 の高アルカリ性を有することから、これを緩和するために、例えば、既設の蒸気エージング設備において下部から製鋼スラグに二酸化炭素ガス CO₂ を散布して炭酸化を促進させる「迅速炭酸化処理技術」が検討されている⁵⁾。

ここで、エージング処理工程中 (6 か月から 1 年) に f-CaO が水と反応して Ca(OH)₂ となった後 (膨張促進効果)、Ca(OH)₂ は大気中の二酸化炭素 CO₂ (濃度 0.03~0.04%) と接触する機会があることより、次式(2)に示すような反応を経て炭酸カルシウム CaCO₃ が生成¹⁾されている可能性が高い (炭酸化促進効果)。

さらに、製鋼スラグ中で式(2)の反応が進行しているとすれば、製鋼スラグの pH が低下していることになる (pH 低減効果)。

以上のことより、エージング処理工程中に、「膨張促進効果」と「炭酸化促進効果」の 2 つの効果が現われていることになるが、後者の「炭酸化促進効果」に関連した「pH 低減効果」について着目した研究事例は非常に少なく、排出直後からエージング処理工程中の製鋼スラグの炭酸化挙動の経時変化を詳細に調べた研究は見当たらない。

このように、本研究が目指しているのは、新たな二酸化炭素を発生させることなく、大気中の二酸化炭素 (濃度 0.03~0.04%) を製鋼スラグに積極的に接触させて製鋼スラグの「炭酸化促進効果」を図る「緩速炭酸化処理技術」の開発であり、「pH 低減効果」と二酸化炭素固定にともなう「地球環境負荷低減効果」の 2 つが期待できる技術であることから二酸化炭素を強制的に散布する「迅速炭酸化処理技術」とは大きく異なるものである。

ここで、エージング処理工程中の「pH 低減効果」に着目すると、pH が低減される過程に深く関与しているのは CaCO₃ の量であり、「pH 低減効果」をより積極的に議論するためには、この量を測定する必要があるが、現時点では数値的に表現するまでに至っていない。ただし、CaCO₃ は、条件によっては、酸性雨 (pH5.6 以下の雨) や CO₂ によって溶解する可能性もあるが、本研究で

表1 室内エージング実験時における製鋼スラグの含水比の状態と攪拌の有無の組合せ

含水比の状態	攪拌の有無
自然含水比 w_n (採取時の状態)	無
	有
炉乾燥 $w=0\%$ (採取後、直ちに 110℃ で炉乾燥)	無
	有
含水比 $w=3\%$ (1 週間に 1 回加水)	有
含水比 $w=7\%$ (1 週間に 1 回加水)	有

(a)自然含水比 w_n , 炉乾燥($w=0\%$) +攪拌無
(b)自然含水比 w_n , 炉乾燥($w=0\%$) +攪拌有
(c)含水比 $w=3\%, 7\%$ +攪拌有

写真1 室内エージング実験における加水および攪拌操作の状況

はその点については考慮していない。

「地球環境負荷低減効果」に関連して、海野ら^{6,7)}は、温室効果ガスの削減を目的として、製鋼スラグの二酸化炭素固定量の定量的評価の検討を行っている。

以上のことより、エージング処理工程の効果としては、「膨張促進効果」と「炭酸化促進効果」の 2 つがあり、さらに、「炭酸化促進効果」には「pH 低減効果」と二酸化炭素固定にともなう「地球環境負荷低減効果」の 2 つが期待できるものと考えられる。

そこで、本研究では、製鋼スラグの pH 低減効果を室内において評価するために、室内エージング実験を最長 1 年間行い、エージング日数の経過にともなう含水比、pH、電気伝導率、炭酸カルシウム含有率の測定を行った。この際、エージング期間中の加水および攪拌状態が炭酸化の進行に及ぼす影響について検討を行った。

2. 室内エージング実験の概要

実験には、新日鐵住金(株)大分製鐵所産の排出直後の未エージング製鋼スラグを用いた。製鋼スラグの最大粒径が 37.5mm (有姿)となっていることから、今回は 4.75mm ふるい通過分を試験の対象とした。また、製鋼スラグを実験室内に搬入した時点では含水比が約 3%と湿潤状態にあった。

採取した試料をバット (外形寸法: 幅 374mm×奥行

273mm×高さ 64mm, 容量 4.6L) に入れ, 以下の要領で室内エージング実験を行った。

水酸化カルシウムの炭酸化には水の存在と二酸化炭素の存在が不可欠である^{8)~10)}ことより, 室内エージング条件として製鋼スラグの含水比状態と攪拌の有無の組合せを表-1に示す6通りに設定した。すなわち, 含水比状態としては, 自然含水比 w_n 状態, 炉乾燥 $w=0\%$ 状態および加水による効果を確認するために $w=3\%$ と 7% の加水状態の3種類である。なお, 含水比の設定にあたっては, 大分製鐵所構内における実際の散水時の試料を採取して含水比試験を行った結果を参考にした。

攪拌状態としては, 何もせずに静置する「攪拌無」と1週間に1回の頻度で攪拌する「攪拌有」の2種類を設定した。

室内エージング実験は, 実験開始時にあらかじめ質量を測定したバットに製鋼スラグ約3kg(層厚約2cm)を入れて再度質量を測定し, 加水の場合はその後1週間に1回の頻度で容器ごとの質量を測定して乾燥により減少した水の質量を求め, 必要量の水を加えて含水比が均一になるようにハンドスコップで1分30秒間攪拌を行った。また, 自然含水比および炉乾燥で攪拌状態の製鋼スラグについては, ハンドスコップで1週間に1回の頻度で1分30秒間攪拌のみを行った。

室内エージング日数としては, 最長360日とした。写真-1は, 室内エージング実験における加水および攪拌操作の状況を示す。

所定の日数が経過した時点で試料を採取し, 地盤材料試験の方法として基準化されている「含水比試験」, 「土懸濁液のpH試験方法」(JGS 0211-2009)¹¹⁾, 「土懸濁液の電気伝導率試験方法」(JGS 0212-2009)¹²⁾を参考にして, 含水比 w , $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, 電気伝導率 χ を測定した。

さらに, 上記の試験に加えて, ガス圧定量法を用いた炭酸カルシウム含有率試験を行った。なお, 試験方法については文献13)に詳述しており, 試験はデータのばらつきを考慮に入れて3つの試料に対して行った。

3. 加水および攪拌操作が製鋼スラグのpHに及ぼす影響

図-1は, 室内エージング日数の経過にともなう $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の推移を示す。図より, 排出直後の製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は12.3とアルカリ性を呈しているが, エージング日数の経過にともなういずれの条件下でも $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が低下していることがわかる。

ここで, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の推移に及ぼす含水比の違いに着目すると, 自然含水比状態(記号○●)と炉乾燥状態(△▲)で室内エージング実験を行った製鋼スラグは, 攪拌

図-1 室内エージング日数の経過にともなう $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の推移

図-2 室内エージング日数の経過にともなう電気伝導率の推移

の有無によらず $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は徐々に低下して180日時点で $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) \approx 11$ を示しており, 排出直後の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と比較すると約1.3低下していることになる。

一方, 加水条件下($w=3\%, 7\%$)の製鋼スラグでは, $w=3\%$ (□)は排出後1週間で $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=11.4$, $w=7\%$ (◇)は10.9と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が0.9~1.4低下しており, エージング初期段階(1週間)では含水比が高い方が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下割合は大きいことがわかる。しかしながら, 28日以降では含水比の違いによる差はとくに認められず, 両者とも日数の経過にともなう $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は徐々に低下しており, 180日時点では $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=9.6$ となり, 排出後の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=12.3$ と比較すると約2.7低下したことになる。

なお, 文献5)によれば, 製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が9.5以上の場合に海水白濁が生じることが報告されており, 今回の室内エージング実験では, 排出直後の製鋼スラグは $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=12.3$ とアルカリ性を呈していたが, 180日時点で $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=9.6$ まで低減することができたことになる。

一方, 180日以降, いずれの条件下においても日数の経過にともなう $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が徐々に高くなる現象がみられたが, この点については次章で考察する。

これより、エージング中の含水比の高低により「pH 低減効果」に差が生じていることから、pH の低下には水の存在が必要不可欠であることが明らかとなった。

海野ら⁷⁾は、製鋼スラグの含水比 w を 1, 5, 10% に調整して室内二酸化炭素固定化試験を行った結果、 $w=5.6\%$ の製鋼スラグの CO_2 固定化量が最大となり、含水比 $w \leq 1\%$ では CO_2 の固定化は困難であることを報告している。さらに、文献 8)~10) では水酸化カルシウムの炭酸化には水の存在が不可欠であることを報告しており、この点については、図-1 の結果とほぼ一致しているが、排出直後に炉乾燥を行った製鋼スラグあるいは自然含水比状態のままエージング実験を行った製鋼スラグにおいても徐々にではあるが $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下が生じているということが明らかとなった。

松田・山田⁸⁾は、式(2)の反応により、生成した炭酸カルシウムと等しいモルの水分を遊離することになり、炭酸化の進行により共存水分量は刻々と変化し、それが再び炭酸化速度に影響を与えていると報告している。

その一方で、炭酸化反応は、発熱反応であることより、遊離水分は反応点に留まらず、直ちに蒸発してしまうことや炭酸化による消石灰表面での新たな炭酸カルシウム層の生成にともなう比表面積の増加による共存水分量の増加を指摘している。

このことより、本研究では、炉乾燥あるいは自然含水比状態においても僅かな水分 ($w=0.01 \sim 0.17\%$) が存在し、それを介して炭酸カルシウムが生成され、さらに水が遊離することによって徐々にではあるが炭酸化が進行し、その結果、pH が低下しているものと推察される。

図-2 は、室内エージング日数の経過にともなう電気伝導率 χ の推移を示す。図より、排出直後の製鋼スラグの χ は 282.3 mS/m と高い値を示しているが、エージング日数の経過にともなって $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と同様に電気伝導率は小さくなっていることがわかる。

なお、エージング日数 180~240 日以降、含水比状態が自然含水比と炉乾燥でかつ攪拌有の条件下において日数の経過にともなって電気伝導率が僅かに上昇する現象がみられたが、この点については $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と併せて次章で検討するものとする。

図-3 は、室内エージング日数の経過にともなう炭酸カルシウム含有率 C_{Ca} の推移を示す。図より、排出直後の C_{Ca} は 1.7% であったがエージング日数の経過にともなって徐々に増加していることがわかる。

ここで、 C_{Ca} の推移に及ぼす含水比の違いに着目すると、自然含水比状態 (記号○●) と炉乾燥状態 (△▲) で室内エージング実験を行った製鋼スラグは、攪拌の有無によらず 28 日経過時点で 2~2.5% と増加しており、その後はデータにばらつきが認められるものの、僅かに増加する傾向が認められる。

図-3 室内エージング日数の経過にともなう炭酸カルシウム含有率の推移

一方、加水条件下 ($w=3\%, 7\%$) の製鋼スラグでは、 $w=3\%$ (◇) は排出後 28 日では C_{Ca} が 3%, $w=7\%$ (◇) は 3.5% と増加していることがわかる。

このことより、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下に炭酸カルシウムの生成が関与していることが明らかとなった。言い換えれば、製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ を低下させる (pH 低減効果) ためには、エージング処理中に水分の供給および二酸化炭素と積極的に接触できる環境を構築 (炭酸化促進効果) することが必要であり、その手段としては、適宜、含水比を確認しながら散水を行うとともに攪拌操作による大気接触促進などが挙げられる。

いずれにしても、エージング処理工程中に「膨張促進効果」と「炭酸化促進効果」の 2 つの効果が発揮されており、さらに後者の「炭酸化促進効果」に関連した「pH 低減効果」についても十分に発揮されていることが室内エージング実験の結果から明らかとなった。

なお、図-3 より得られた炭酸カルシウム含有率試験の結果を基にして製鋼スラグの二酸化炭素固定量を試算したところ、製鋼スラグ 1t あたり 16.53 kg であり、コンクリート塊の二酸化炭素固定量¹⁴⁾¹⁵⁾と比較すると、コンクリート塊 1t あたり 11 kg であり、製鋼スラグの方がコンクリート塊よりも 1.5 倍ほど大きな値を示していることになる。今後はより多くの二酸化炭素固定量が得られる最適条件を模索していく予定である。

4. 室内エージング日数180日以降におけるpHおよび電気伝導率の推移

先に述べたように、エージング日数の経過にともなって $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、電気伝導率の低下および炭酸カルシウム含有率の増加が確認され、このことより、エージング日数の経過とともに製鋼スラグの炭酸化が進行していることが明らかとなった。

ところで、前出図-1において $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、前出図-2において電気伝導率 χ の室内エージング日数の経過にともなう推移を検討し、排出後のエージング日数の経過にともなう低下することを示したが、エージング日数 180 日を境として減少傾向から増加傾向に転じることが示された。この点について以下に考察を行うものとする。

図-4 は、室内エージング日数の経過にともなう $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})_{t_a}$ の推移をエージング日数 180 日の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})_{t_a=180\text{日}}$ を基準 (=1) として表したものである。

図より、180 日以降の日数の経過にともなう $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})_{t_a} / \text{pH}(\text{H}_2\text{O})_{t_a=180\text{日}}$ は増加していることがわかる。ここで、自然含水比および炉乾燥状態で比較すると、「攪拌有」の条件（記号●▲）の方が「攪拌無」の条件（○△）よりも増加割合が大きく、自然含水比で攪拌を行った条件（●）では室内エージング日数 360 日で 180 日の 1.07 倍となっていることがわかる。

一方、加水条件で比較すると、同様に攪拌を行った条件（ $w=3\%$ □、 7% ◇）の増加割合は小さいことがわかる。

前出図-3 より、エージング日数の経過にともなう製鋼スラグ粒子周辺に炭酸カルシウムの層が形成されていることが明らかとなったが、その量は炭酸カルシウム含有率試験から評価されたように自然含水比および炉乾燥条件においては小さく、加水条件の方が大きくなり、このことは炭酸カルシウム含有率が小さいほど層厚は薄く、大きいほど厚いものと推察される。

しかしながら、この状態で 1 週間に 1 回の頻度でハンドスコップで 1 分 30 秒間の攪拌を繰り返し行うことにより、粒子周囲に形成された炭酸カルシウム層が摩耗あるいは剥離し、層厚の違いにより摩耗量あるいは剥離量に差が生じ、結果として製鋼スラグ粒子内部から水酸化カルシウムが溶出したことにより自然含水比および炉乾燥状態で攪拌を行った場合 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が高くなったものと推察される。

図-5 は、室内エージング日数の経過にともなう電気伝導率 χ の推移をエージング日数 180 日を基準として表したものである。図より、自然含水比および炉乾燥状態で攪拌有の条件（●▲）のみが増加傾向を示しており、その他の条件では僅かに減少する傾向が認められた。

以上の結果より、室内エージング日数の経過にともなう製鋼スラグの炭酸化が進行し、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、電気伝導率は低下することが明らかとなったが、その一方で、含水比や攪拌の処理の違いにより炭酸化の挙動に差が生じることも明らかとなった。

5. まとめ

本研究では、製鋼スラグの pH 低減効果を室内におい

図-4 室内エージング日数の経過にともなう 180 日以降の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の推移

図-5 室内エージング日数の経過にともなう 180 日以降の電気伝導率の推移

て評価するために、室内エージング実験を行い、エージング日数の経過にともなう含水比、pH、電気伝導率、炭酸カルシウム含有率の測定を行った。この際、エージング期間中の加水状態と攪拌状態が炭酸化の進行に及ぼす影響についても併せて検討を行った。

本研究により得られた主要な結果を以下に挙げる。

- (1) 自然含水比状態と炉乾燥状態で室内エージング実験を行った製鋼スラグは、攪拌の有無によらず $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は徐々に低下して 180 日時点で $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) \approx 11$ を示し、排出直後の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と比較すると約 1.3 低下している。
- (2) 加水条件下の製鋼スラグでは、 $w=3\%$ は排出後 1 週間で $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=11.4$ 、 $w=7\%$ は 10.9 と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が 0.9~1.4 低下しており、エージング初期段階（1 週間）では含水比が高い方が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下割合は大きい。しかしながら、両者とも日数の経過にともなう $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は徐々に低下しており、180 日時点では $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=9.6$ となり、排出後の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=12.3$ と比較すると約 2.7 低下している。
- (3) 室内エージング処理を施した製鋼スラグの電気伝導率は、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 同様に室内エージング日数の経過にと

もなつて徐々に低下し、その傾向には含水比の高低が大きく影響している。

- (4)室内エージング処理過程において、加水操作により製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と電気伝導率の上昇が抑制される。
- (5)自然含水比状態と炉乾燥状態で室内エージング実験を行った製鋼スラグは、「攪拌の有無」によらず 28 日経過時点で炭酸カルシウム含有率が 2~2.5% と増加しており、その後は僅かに増加する傾向が認められる。
- (6)加水条件下の製鋼スラグでは、 $w=3\%$ は排出後 28 日で炭酸カルシウム含有率が 3%, $w=7\%$ は 3.5% と増加している。
- (7)室内エージング 180 日以降において $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と電気伝導率が上昇する傾向が認められ、含水比や攪拌の処理の違いにより炭酸化の挙動に差が生じている。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、各種の室内試験および結果の整理には、大分工業高等専門学校 都市システム工学科卒業生・仲野 瞬氏（現・前田道路（株））、明石工業高等専門学校 都市システム工学科卒業生・野本拓哉君（現・千葉大学）、濱野 幹君（現・千葉大学）のご協力をいただいた。ここに、深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 無機マテリアル学会編：セメント・セッコウ・石灰ハンドブック，技報堂出版，1996.
- 2) 鉄鋼スラグ協会・製鋼スラグ共同研究委員会：製鋼スラグ路盤設計施工指針，1985.
- 3) 堀井和弘，堤 直人，北野吉幸，加藤敏朗：製鋼スラグ処理と資源化技術，新日鉄技報，第 394 号，pp. 125-131，2012.
- 4) （財）日本規格協会：道路用鉄鋼スラグ JIS A 5015-1992，1992.
- 5) 堤 直人，田中 誠，田崎智晶，天田克己，久末 治，山本 充，山田祐輝，遠藤公一：製鋼スラグの迅速炭酸化処理技術の開発，新日鉄技報，第 388 号，pp. 99-109，2008.
- 6) 海野 円，小峯秀雄，村上 哲，瀬戸井健一：温室効果ガス削減のための廃棄物による二酸化炭素固定化特性の調査および利用方法の提案，第 9 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp. 287-290，2011.
- 7) 海野 円，小峯秀雄，村上 哲，瀬戸井健一：高炉スラグおよび製鋼スラグの二酸化炭素固定化量と生成炭酸塩量の定量的評価，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集，VII-108，pp. 215-216，2012.
- 8) 松田応作，山田英夫：消石灰の炭酸化について，石膏と石灰，第 97 号，pp. 3-10，1968.
- 9) 中村秀三：炭酸化の機構に関する一考察，セメント・コンクリート論文集，No. 48，1994.
- 10) 浅野駿吉，杉田達三，山際康暎，井上嘉亀：水酸化カルシウムの炭酸化反応，窯業協会誌，第 79 巻，第 3 号，pp. 82-91，1971.
- 11) （社）地盤工学会 地盤調査法改訂編集委員会編：地盤材料試験の方法と解説—二分冊の 1—，「第 4 編 化学試験 第 2 章 土懸濁液の pH 試験方法」，pp. 310-316，2009.
- 12) （社）地盤工学会 地盤調査法改訂編集委員会編：地盤材料試験の方法と解説—二分冊の 1—，「第 4 編 化学試験 第 3 章 土懸濁液の電気伝導率試験方法」，pp. 317-320，2009.
- 13) 佐野博昭，山田幹雄，稲積真哉，柏原 司，金子敏行，澄川圭治，中村貴敏：ガス圧定量法を用いた製鋼スラグの炭酸カルシウム含有率試験結果に及ぼす温度と体積の影響，建設用原材料，Vol. 22，No. 1，pp. 9-15，2014.
- 14) 黒田泰弘，菊池俊文：コンクリート塊による二酸化炭素の固定化に関する研究，清水建設研究報告，第 86 号，pp. 29-36，2007.
- 15) 黒田泰弘，菊池俊文：解体コンクリートによる二酸化炭素の固定，コンクリート工学論文集，第 20 巻，第 1 号，pp. 15-22，2009.

(2015. 3. 12 受付)

CONFIRMATION OF pH DECREASING EFFECT OF STEEL MAKING SLAG PERFORMED AGING EXPERIMENTS IN LABORATORY

Hiroaki SANO, Mikio YAMADA, Tsukasa KASHIWABARA, Toshiyuki KANEKO,
Mikihito FURUKAWA, Ryohji HARA, Keiji SUMIGAWA
and Takatoshi NAKAMURA

In the present study, in order to confirm pH decreasing effect of steel making slag under aging process, we performed aging experiments in the laboratory up to one year and measured water content, pH, electric conductivity and carbonate content of steel making slag with elapsed day. Now, we investigated the influence of the conditions at adding water and mixing on carbonate progress during the aging term.

From the results obtained, it was found that pH and electric conductivity of steel making slag with aging treatments gradually decreased with elapsed aging day and height of water content influenced on the tendency. Moreover, it was shown that the carbonate content of steel making slag gradually decreased with elapse aging day.