

リサイクル製品(鉄鋼スラグ)の中国利用状況調査と環境安全性調査

明星大学大学院 環境システム学専攻 博士前期課程 2 年 09mb006 胡夢婕

指導教員 宮脇健太郎

1. 研究の背景と目的

自然界では、物質は生物に繰り返し利用され、物質の循環が形成されている。しかし、人間の経済活動は生産、消費、廃棄の一方通行型の物質の流れを形成し、大量の廃棄物による深刻な環境汚染を起してきた。21 世紀は、このような 20 世紀型社会から、経済活動における循環型社会を目指している。循環型社会形成推進基本法が成立し 10 年が経過し、全国で循環資源の再生利用等の重要性の認識が高まっている。現在、建築資材等で再生製品が多く用いられている。本研究では、鉄鋼スラグについて中国及び日本において鉄鋼スラグの利用状況などについて報告する。また、建設系リサイクル製品(鉄鋼スラグ)に対して行った 4 種類の特性化試験について検討を行った。

2. 鉄鋼スラグの利用状況

2-1 鉄鋼スラグとは

鉄鋼スラグは、鉄鋼製造工程において副産物として発生するものを指す。高炉で鉄鉱石を溶融・還元する際に発生する高炉スラグと、鉄を精錬する製鋼段階で発生する製鋼スラグに大別できる。高炉スラグは、溶けた銑鉄を製造する高炉で鉄鉱石に含まれる鉄以外の成分と、副原料の石灰石やコークス中の灰分と一緒に溶融分離回収されたもので、銑鉄 1t 当たり約 290kg 生成される。製鋼スラグは、高炉で生まれた銑鉄を、靱性、加工性の高い「鋼」にする製鋼工程で生成される。

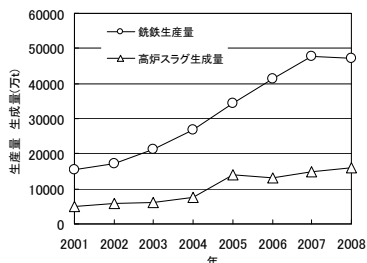


図 1 銑鉄生産量と高炉スラグ生成量

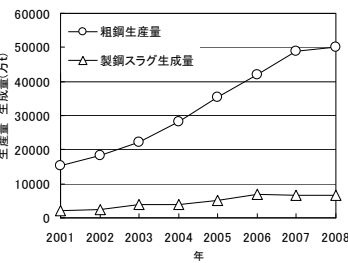


図 2 粗鋼生産量と製鋼スラグ生成量

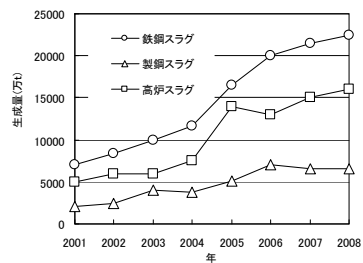


図 3 スラグ生成量

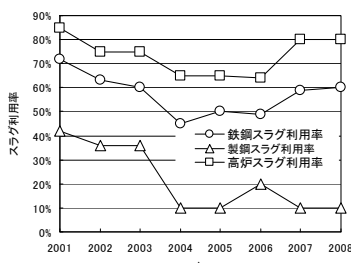


図 4 スラグ利用率

2-2 中国における鉄鋼スラグ利用

スラグについては、国による統計データはなく、論文、ホームページ等より、データ収集を行った。また、各年により文献は異なるものより得た。

図 1 に銑鉄生産量と高炉スラグ生成量の推移を示す。銑鉄 1t 当たり約 0.34t のスラグが生成するとされており、2001 年～2008 年にかけて銑鉄生産量の増加に伴い、スラグ生成量も増えた。図 2 に粗鋼生産量と製鋼スラグ生成量の推移を示す。粗鋼 1t 当たり約 0.12t のスラグが生成するとされており、銑鉄同様にスラグ生成量も経年的に増加した。図 3 に各スラグの生成量の経年変化を示す(鉄鋼ス

グ＝高炉スラグ＋製鋼スラグ)。2004～2006 年にかけて増加率が大きくなっていった。2008 年には鉄鋼スラグ生成量は 2 億 2 千 5000 万トンとなった。この時点で前年比 12.5%増という増加率を示した。図 4 に各スラグの利用率を示す。2001 年から 2008 年にかけて鉄鋼スラグ平均利用率は 50%前後であり、全体量の半分しかリサイクルされていないことがわかった。その中で、高炉スラグの場合は、2001 年の利用率 85%から、2006 年の 64%まで低下したが、平均利用率は 70%以上である。製鋼スラグに関しては近年の利用率推移から見ると平均利用率は 10%前後で非常に低いことがわかる。現在、鉄鋼スラグの蓄積量は約 3 億トンになり、約 3ha の土地が占有されている。したがって、中国の鉄鋼産業の急速な発展につれて、より深刻な環境問題が起これと考えられる。

この問題の解決に向けて、中国国内外では最近いくつかの新しい動きや好ましい状況が出始めている。中国鉄鋼企業と外国企業間の交流事業が活発に行われている。また、「鉄鋼スラグ利用率の引き上げ「2010年までに86%に」となることを目標として掲げており、さまざまな施策を提起している。資源の総合利用レベルの向上が強調されている。

2-3 日本における鉄鋼スラグ利用

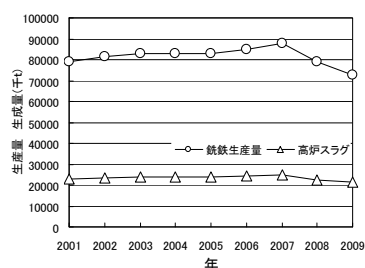


図 5 銑鉄生産量と高炉スラグ生成量

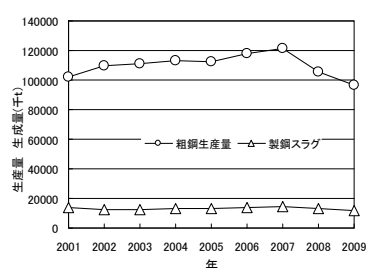


図 6 粗鋼生産量と製鋼スラグ生成量

図 5 に銑鉄生産量と高炉スラグの生成量推移を示す。2001 から 2009 年の 8 年間で高炉スラグの生成量について大きな変化は見られない。

図 6 に粗鋼生産量と製鋼スラグの生成量の推移を示す。2009 年の粗鋼生産量は前年比 8.6%減の 96449 千トンに対し、製鋼スラグ生成量は 12.9%減となった。製鋼スラグ生成量については、いずれも 1500 万トン以下となり、大きな変化はなかった。

日本における鉄鋼スラグについては、現在、毎年4000万トン近くが副産物として生成されている。しかし、処分場が不足しているという問題より、今後スラグの処分の困難さがますます増大すると考えられる。そのため、鉄鋼スラグの有効活用は重要課題として取り組んできた。2002 年から、生成された鉄鋼スラグの99%が様々な形で、その用途に応じて幅広く有効活用されている。これまで土木分野における利用が中心であったが、最近の動きとしては、例えば鉄鋼スラグが含有する鉄分やミネラル成分が、海域の自然環境の修復に効果的であることから、この環境修復効果を活用して、海域の失われた自然環境を修復するためにも用いられるようになってきている。また、近年鉄鋼スラグについては海外での各種原材料としての有効利用に向けた取り組みを進めており、輸出量が増加している。

3. 建設系リサイクル製品に対する環境安全性調査

3-1 試料

再生製品として使用されている電気炉スラグ利用再生路盤材に対して各種特性化試験を実施し、詳細分析を行った。

3-2 実験方法

1)環境庁 46 号試験：粒径 2mm 以下の試料に、液固比 10(試料 1:純水 10)になるように純水 200ml を加え 6 時間振とう、0.45 μ m ろ過。2)全含有量：試料を粉碎後、酸添加・加熱分解を行った。3)環境最大溶出可能量試験（学会規格原案）：16g の試料(粒径 0.125mm 以下)に対し、800mL の溶媒を添加し、アルカリ側 (pH7→12) では、原則 pH7 で 3 時間攪拌し、ろ過後（検液 A1）、試料を容器に戻し 800mL の溶媒を添加し pH12 にて 3 時間攪拌し、ろ過を行った（検液 A2）。酸性側 (pH7→4) でも同様に、2 段階(pH7, pH4 各 3 時間)の攪拌溶出を行った。各段階で 0.45 μ m メンブレンフィルターでろ過を行った。得られた 4 種の検液（A1, A2, B1, B2）について ICP-MS を用いて金属類を分析し、溶出量を算出した。4) pH 依存性試験（学会規格草案）：分取した試料を 40℃以下で乾燥し、95%以上(乾燥質量割合)の粒子が 1mmふるいを通過するように微破碎したものを試験試料とする。30 g の試料を容器に入れ、純水を加えた。試験は、pH4, 6, 8, 10, 12 の五段階で行い、4 時間後、44 時間後、48 時間後の試薬添加量および pH を記録した。懸濁液を 15 分間静置後、固液分離を行った。これを検液とした。得られた検液を 10mL とり前処理を行った。

各試験の検液に対して、金属類測定（原子吸光光度計）を行った。金属類測定の対象となる元素は As、Ca、Cd、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Ni、Pb、Sb、Se、Zn の計 15 元素とした。

3-3 結果および考察

1)環境庁 46 号試験。表 3.2 より、Cd、As、Pb、Se は 4 種類全てが土壤環境基準に示されている基準値以下であり、有害性は認められなかった。

2)全含有量試験。表 3.3 より種類の試料においては有害とされ重金属 Cd、As の濃度はいずれも土壤環境基準に示されている基準値以下で、問題はなかった。しかし、Pb については、P081 は土壤環境基準に示されている基準値より高い値を示した。特に Pb の P081 の含有量が P080 より約 5 倍程度高く、P082 より約 10 倍程度高くなっている。Cu の含有量の結果より、P081 の数値が P080 より約 5 倍程度高い値を示した。Fe、Mg、Mn、Ca について、含有量の多いものが多かった。

表3.1 実験試料

試料名	材料/製品	試料
P080	再生製品	電気炉スラグ利用再生路盤材A
P081	再生製品	電気炉スラグ利用再生路盤材B
P082	再生製品	電気炉スラグ利用再生路盤材C

表3.2 環境庁告示第46号試験 金属類測定結果

	Ca	Mn	K	Fe	Mg
P080	130	0.00758	-	0.068	-
P081	30.0	0.00206	-	0.029	-
P082	8.46	0.00793	0.186	0.099	0.889
	Zn	Na	Cd	Pb	Se
P080	-	1.08	-	-	-
P081	-	4.88	-	-	-
P082	0.0274	0.69	-	-	-
	As	Cr	Cu	Ni	Sb
P080	-	-	-	-	-
P081	-	0.0154	-	-	-
P082	-	0.322	-	-	-

※単位はmg/Lとする。-は定量下限以下を意味する。

表3.3 全含有量試験 金属類測定結果

	Cd	As	Pb	Se	Cu
P080	0.13	1.07	15.5	-	59.0
P081	0.014	0.714	87.1	-	99.1
P082	0.046	0.475	6.70	-	76.5
	Cr	K	Na	Fe	Mg
P080	837	247	1280	118000	23400
P081	1170	227	840	87000	39900
P082	288	601	1670	140000	8140
	Mn	Ca	Zn		
P080	29700	182000	294		
P081	31700	180000	380		
P082	35600	40900	48.8		

※単位はmg/kgとする。-は定量下限以下を意味する。

3)環境最大溶出可能量試験。ここで各試料番号-A は、酸側の 2 段階の合計値 (A1+A2)，試料番号-B はアルカリ側の 2 段階の合計値 (B1+B2) を示している。環境最大溶出可能量試験の結果を示す。図 3.1 より、Pb は P081 の試料で pH4 の条件の時に溶出量は約 3mg/kg となった。土壤環境基準の 10 倍値である 1mg/kg を超えている事が分かった。また土壤環境基準に定められている Cd、As、Se などの元素も溶出されなかった。

4)pH 依存性試験。図 3.2 に示した Pb は P082 の pH4 の条件で 0.028mg/L 溶出され、環境基準以上溶出された。図 3.3 に示した Se は他の元素とは異なりの値を示した。pH12 の条件でのみ溶出された。また、環境基準の約 3 倍溶出されている。

4. まとめ

- 1) 同じ元素について試験方法により結果も違うことがわかった。このため、さらに多くの再生製品に対して様々な特性化試験を行い、更なるデータを収集し、新しい試験法の確立に向けて研究を進めるべきと考えた。
- 2) 同じ電気炉スラグ利用再生製品でも製造元など違うだけで溶出量が大きく異なった。
- 3) 各試料において、ある条件下での使用において、元素により環境基準を上回ってしまう濃度が溶出することがあるので使用条件への注意が必要だと考えた。

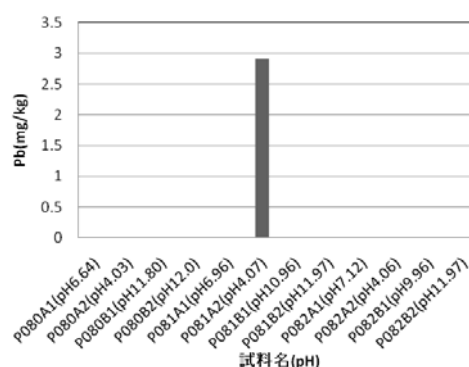


図3.1 環境最大溶出可能量試験Pb測定結果

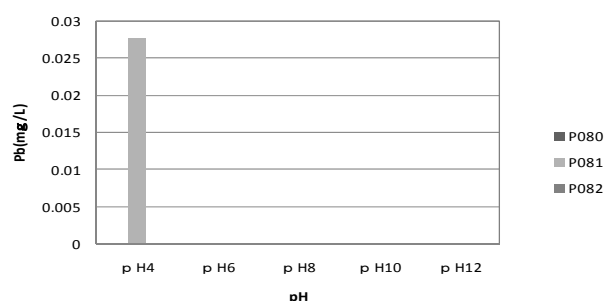


図3.2 pH依存性試験結果Pb測定結果

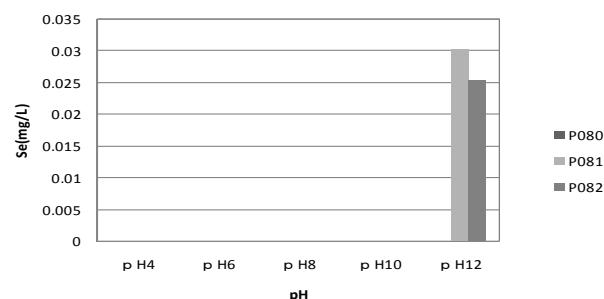


図3.3 pH依存性試験結果Se測定結果

参考文献

- (1) 邵永裕：新しい情勢下における中国重化学工業の発展と課題, 世界経済評論, 2006. 9
- (2) 牛冬傑, 趙有才: 工業固体廃棄物処理と資源化, 北京: 化学工业出版社, pp. 172-184, 2006
- (3) 宮脇健太郎, 大迫政浩, 肴倉宏史：都道府県におけるリサイクル製品認定制度の現状と課題, 廃棄物学会誌, Vol. 18, No3, pp. 182-193 (2007)