

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06273

研究課題名(和文) 循環資材における環境安全性のばらつきの定量化とリスク管理手法の提案

研究課題名(英文) Quantification of environmental safety variability in recycled materials and proposal of risk management method

研究代表者

水谷 聡 (MIZUTANI, Satoshi)

大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80283654

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：循環資材を環境中で有効利用するに当たっては、環境汚染を起こさないように、有害物質の含有量と溶出量で示される環境安全性を評価する必要があるが、その評価方法や検査頻度は明確に定められていない。本研究では、都市ごみ焼却灰の溶融スラグ、コンクリートがらを原料とした再生砕石、鉄鋼業の副産物である高炉水砕スラグを対象として、有害物質の含有量と溶出量で示される環境安全性のばらつきを調査し、統計的手法を用いて評価した。また性状のばらつきに基づき、試料のサンプリング方法やサンプリング頻度の考え方について提案した。

研究成果の概要(英文)：For the effectively use recycled materials in the environment, it is necessary to evaluate the environmental safety indicated by acid extractable contents and leached quantity of hazardous elements so as not to cause environmental pollution. However, its evaluation method and sampling frequency are not clearly defined. In this study, we studied the variation of environmental safety of the recycled materials such as molten slag of municipal solid waste incineration bottom ash, concrete recycled crushed stone made from demolition waste of the buildings and granulated blast furnace slag, that a byproduct of steel industry. Environmental safety is evaluated by acid extractable contents and leached quantity of substances. The results are evaluated by statistical methods. Furthermore, based on the variation data and statistical estimation methods, we propose sampling method and sampling frequency for the recycled materials.

研究分野：廃棄物の適正処理と有効利用における環境安全評価

キーワード：循環資材 環境安全性 ばらつき サンプリング頻度

1. 研究開始当初の背景

廃棄物等に由来する循環資材（都市ごみ焼却灰の熔融スラグ、焼却主灰、解体廃棄物（コンクリートがら）を原料とした再生砕石、鉄鋼業の副産物である鉄鋼スラグ、火力発電に伴う石炭灰など）を環境中で有効利用するに当たっては、環境汚染を起こさないように、有害物質の含有量と溶出量で示される環境安全性を評価する必要がある。しかし、その評価方法、とりわけ検査頻度やサンプリング方法は明確に定められていない。

試料のサンプリング頻度は、環境安全性を担保するためには、試料性状のばらつきを反映して決められるべきであると考えられるが、現在のサンプリングに関する規定としては、ばらつきが大きいと考えられる産業廃棄物に関する規定（JIS K0060 産業廃棄物のサンプリング方法）のみである。また、循環資材ごとの環境安全品質のばらつきも明らかにされていない。そこで、循環資材の製品の種類ごとに環境安全品質のばらつきを把握するとともに、そのデータに基づいて、適切なサンプリング方法、サンプリング頻度を決定する必要があると考えられる。

2. 研究の目的

廃棄物に由来する循環資材（ごみ熔融スラグ、鉄鋼スラグ、石炭灰など）は重金属の溶出量や含有量など環境安全性に配慮して有効利用する必要がある。しかし現在の安全性評価方法は、これらの資材に存在する化学性状のばらつきを考慮していないため、危険な資材を誤って安全と判断するリスクや、安全な資材を危険と判断してリサイクルが進まないことにつながるリスクなど両方の側面がある。本研究では、環境安全性のばらつきを循環資材ごとに把握するとともに、リスク評価に基づいた適切なサンプリング頻度を提案することで、循環資材の安全な有効利用システムの構築とリスク管理手法を提案することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 都市ごみ熔融スラグの性状変動とサンプリング頻度の検討

国内で稼働している都市ごみ熔融施設の中から、2010年に運転を開始した流動床式ガス化熔融炉を対象施設とし、連続36日間に渡るスラグ試料のサンプリングを行った。また2日間にわたり、時間変動調査として2時間ごとに6回の試料サンプリングも行った。このように得た試料に対してJIS K 0058-2で規定されている含有量試験を行い、スラグ中の鉛含有量の分析誤差、同一日に採取した試料（インクリメント）内での変動、毎週1回採取した場合の変動（週間変動）と36日間での変動を把握した。また採取曜日ごとの含有量のばらつきについても検討した。

(2) 再生砕石の性状変動とサンプリング頻度の検討

建物解体によって発生するコンクリートがらを破碎・粒度調整した再生砕石について、国内で製造販売されている3箇所の工場から各3検体（各20kg程度）ずつ製品試料を採取し、同一製品内でのばらつき、同一工場のストックヤード内でのばらつき、同一工場での製品（別の日に製造された製品）内でのばらつきを検討した。評価試験法としては、JIS K 0058-2で規定されている含有量試験および、JIS K 0058-1で規定されている溶出量試験とし、評価対象項目は、鉛、カドミウム、水銀、ヒ素、全クロムおよび六価クロム、セレン、フッ素、ホウ素とした。

また、粒径分布の大きな試料に対して、試験操作を簡易にするために、試料を粒径によって分画し、一部の画分だけで簡易かつ安全側での評価が出来ないか把握した。具体的には、再生砕石からの六価クロムには、セメント量が大きく影響を与えていると考えられるため、粒径ごとにセメント量を把握し、また分画試料に対する溶出試験を行って挙動を把握した。

(3) スtockパイルサンプリングの妥当性の検証～コンベアサンプリング方法との比較研究

循環資材の環境安全品質を評価するに当たり、多くの循環資材が製造後にストックパイルに保管されている現状を鑑みて、ストックパイルから代表試料を適切にサンプリングする手法と、そのための手順について検討した。実験的に検討するために、1000トンで1ロットとする高炉水砕スラグに対してコンベアサンプリングとストックパイルサンプリングを並行して実施し、十分な検体数（JIS K0060に定められている検体数で、本研究では36検体）をとともに採取した。両者の粒度分布を測定して両者の同等性を検証した。粒度分布から代表粒径を表すための平均的な粒径値に変換するための指標としては粗粒率を用いた。両試料の平均値の差についてt検定を、両者の分散の差についてF検定を行う事で、両者の同等性を検討した。

(4) 循環資材のサンプリング検体数の決定手順の検討

3年間の研究を通じて収集した循環資材の環境安全品質に関するデータと、それらを等間隔で抽出したデータを元に、母平均・母分散の推定方法を活用して、サンプリング検体数を決定する手順について検討した。

4. 研究成果

(1) 都市ごみ熔融スラグの性状変動とサンプリング頻度の検討

同一試料をICP発光分光分析によって10回繰り返し分析した時の変動係数は4.2%、同一インクリメントから分取した10検体の分

析試料の鉛含有量の変動係数は 6.9%であった。インクリメント内の変動は分析誤差とほぼ同レベルであり、研究代表者らが 2006~08 年度に行った国内稼働施設での調査に見られたような、突発的に高い鉛含有量の値は見られず、都市ごみ熔融スラグの性状は安定しているものと思われた。同一日の 2 時間ごとの試料における時間変動の変動係数は 13~24%, 36 日間の変動係数は 23%でほぼ同レベルであった。

採取曜日ごとの含有量のばらつきについては、曜日ごとのばらつきには幅が見られたものの、特定の曜日の含有量が著しく高いなどの傾向は見られず、いずれの曜日であっても、毎週 1 回サンプリングした時に得られるデータの変動は、36 日間の変動の平均±σの範囲に収まっていたことから、毎週 1 回のサンプリングを行って 1ヶ月間のコンポジット試料として評価すれば、変動を含めた評価が十分に可能であると考えられた。

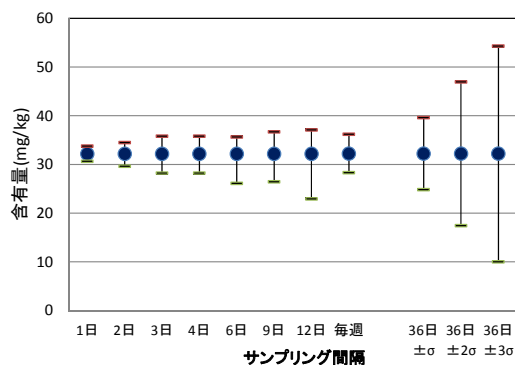


図1 ごみ熔融スラグのサンプリング間隔と鉛含有量のばらつき

(2) 再生砕石の性状変動とサンプリング頻度の検討

溶出量では鉛とフッ素で、含有量では鉛と六価クロムでばらつきが大きかった。また、水銀は総ての試料で含有量は確認できなかった。

六価クロムが主にセメントに含まれていると指摘されている事に着目し、再生砕石中の粒径ごとの画分とセメント含有量の関係についても検討した。粒径別に分画した再生砕石中のセメント含有量は、分析上の誤差が小さいと考えられる粒径 26.5mm 未満の試料においては、粒径が細くなるほどセメント含有量が多くなる傾向が確認された。したがって六価クロムの環境安全性評価については細粒分のみで評価することで安全側の評価を行うことは可能であると考えられた。ただし、粒径 2mm 未満の画分に含まれるセメント量は他の画分と比べて非常に多いほか、溶出量も高かったことから、細粒分のみで評価を行うと、過度に安全側の評価に繋がる可能性も確認された。

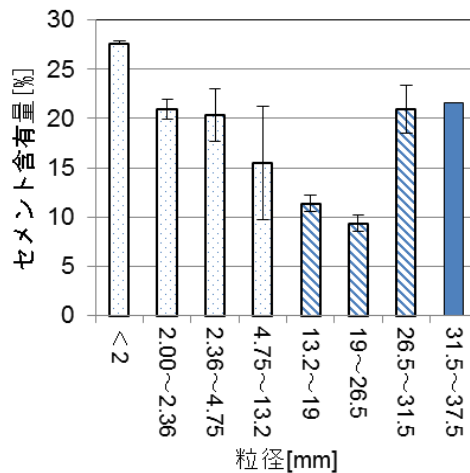


図2 再生砕石の粒径とセメント含有量

(3) ストックパイルサンプリングの妥当性の検証～コンベアサンプリング方法との比較研究

高炉水砕スラグを題材として検討した結果、ストックパイル・コンベアのいずれから採取した試料の粒度分布も、有意水準 5%で有意差は確認できず、コンベアサンプリングの代わりに、ストックパイルからサンプリングする方法の妥当性を確認することができた。また性状のばらつきを考慮した場合の必要検体数を検討した結果、検体の平均値は 36 検体の平均値±1σの範囲内にあり、対象とした高炉水砕スラグについては、ストックパイルから 3 インクリメントを採取すれば全体を十分に評価できるものと思われた。

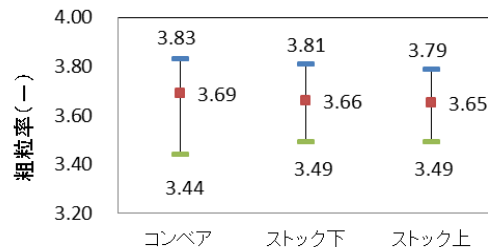


図3 コンベアサンプリングとストックパイルサンプリングした試料の粗粒率の平均値と変動の範囲

(4) 循環資材のサンプリング検体数の決定手順の検討

環境安全品質としての、含有量・溶出量の分析データに基づき、データが正規分布しているかどうかをコルモゴロフ=スミルノフ検定に基づき確認した。つづいて、正規性が確認された全データに対して、データを等間隔で間引いて減らしたデータに基づいて推定される分布を推定した。さらに推定した正規分布と、基準値超過率から、必要な検体数を決定する方法を提案した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① S. MIZUTANI, Y. KANJO, Distribution of acid-extractable Pb contents in molten slag from municipal solid waste incineration ash, J J Civil Eng., 1(1), pp.1-4, 査読有, (2015)
<http://www.jacobspublishers.com/index.php/component/content/article/141-jacob-journal-of-civil-engineering/1752-articles-in-press-civil-2-full-text>

[学会発表] (計 6 件)

- ① S. MIZUTANI, H. SAKANAKURA, Y. KANJO, Leached quantity of total chromium and hexavalent chromium from recycled aggregate made of demolition waste from concrete structure, 2017 Spring Scientific Conference by Korea Society of Waste Management (2017)
- ② 水谷聡, 黄輝頌, 貫上佳則, ストックパイルからサンプリングした高炉水砕スラグ試料の代表性の検討, 第 28 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集 pp.101-103 (2017)
- ③ 明石哲夫, 水田耕市, 水谷聡, JIS 改正のための溶融スラグの環境安全品質に関する試験結果とデータ解析結果, 第 38 回全国都市清掃研究・事例発表会 講演論文集, 2017 年 1 月 pp.82-84 (2017)
- ④ S. ENDO, Y. MATSURA, Toward the prediction of sampling rates: Sorption and permeation properties of membrane filters used for aquatic passive samplers. SETAC Europe, Brussels, Belgium, 7-11 May 2017.
- ⑤ S. MIZUTANI, Y. UEDA, S. MATSUDAIRA, H. SAKANAKURA, Y. KANJO, Basic study of heavy metals and chelating agent behaviour from chemical-treated incineration fly ash in leaching test, Proceeding of the 9th International Conference on Combustion, Incineration/Pyrolysis, Emission and Climate change (i-CIPEC 2016), September 20-23, Kyoto, Japan (2016)
- ⑥ 明石哲夫, 水田耕市, 肴倉宏史, 水谷聡, 溶融スラグ骨材単体のサンプリングに関する研究, 第 37 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, pp. 101-103 (2016)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水谷 聡 (MIZUTANI, Satoshi)
大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号： 8 0 2 8 3 6 5 4

(2) 研究分担者

遠藤 智司 (ENDO Satoshi)
大阪市立大学・都市研究プラザ・特任准教授 (テニュアトラック)
研究者番号： 3 0 7 4 8 9 3 4