



Ca 溶出シナリオを用いた浸出水中のCa
濃度の経年変化予測

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2025-12-03 キーワード: Bottom ash, Chelate-treated fly ash, Calcium leaching scenario, Ca concentration prediction, Leachate 作成者: 土手, 裕, 関戸, 知雄 メールアドレス: 所属: 宮崎大学, 宮崎大学
URL	https://doi.org/10.34481/0002001936

Ca 溶出シナリオを用いた浸出水中の Ca 濃度の経年変化予測

土手 裕^{a)}・関戸 知雄^{b)}

Prediction of Temporal Change in Calcium Concentration in Leachate Using Calcium Leaching Scenarios

Yutaka DOTE^{a)}, Tomoo SEKITO^{b)}

Abstract

The objective was to predict changes in Ca concentration in leachate over time based on the amount of Ca leached from incineration residue and the volume of leachate. Different leaching tests were performed on bottom ash and chelate-treated fly ash. Scenarios for predicting changes in Ca concentration in leachate over time were developed using data from existing final disposal sites. The results showed that the measured and calculated Ca concentrations in the leachate from 2005 to 2022 showed relatively good agreement (R^2 , 0.731). The leaching scenarios developed in this study would have the possibility to predict Ca concentrations in leachate. Assuming that the landfill is completed in the year 2023, the Ca concentration in the leachate was calculated using this leaching scenario, and the obtained result showed that it would take 29 years until the Ca concentration in the leachate reduced to the level where no Ca removal treatment reduced to required.

Keywords: Bottom ash, Chelate-treated fly ash, Calcium leaching scenario, Ca concentration prediction, Leachate

1. はじめに

一般廃棄物の最終処分場において、焼却処理により発生する焼却残渣は最終処分量の約 8 割である¹⁾。焼却残渣中には多くの Ca が含有されており、主灰中には 32,000～150,000mg/kg-wet、排ガス処理飛灰には 54,000～280,000mg/kg-wet、キレート処理飛灰中には 160,000mg/kg-wet、セメント固化処理飛灰には 83,000～200,000mg/kg-wet の含有量が報告されている²⁾。主灰と比較して排ガス処理飛灰の Ca 含有量が多い理由は、焼却施設での塩化水素対策に用いられる薬剤に Ca 化合物が含まれる石灰系を多く使用しているからである。樋口らの大阪地区での排ガス処理剤の種類と使用施設割合調査結果によると、排ガス処理の種類は高反応石灰、特号石灰、重曹、苛性ソーダであり、使用されている割合はそれぞれ 43%、22%、5%、25%と、排ガス処理の約 65%に石灰系薬剤が用いられていた³⁾。以上より排ガス処理に石灰系を用いる場合が多いので、主灰と比較して排ガス処理飛灰の Ca 含有量が多くなっている。

焼却残渣に Ca が多く含まれているため、浸出水中の Ca 濃度も高く、54～1,900mg/L の濃度が報告されている⁴⁾。浸出水中の高 Ca 濃度の弊害としては、カルシウムスケ-

ル発生による浸出水の原水圧送管・移送管などの配管閉塞や回転円板体表面へのスケールの付着による生物処理性能の低下が挙げられる⁵⁾。そのため、スケール発生防止のために、スケール分散剤、pH 調整法、脱炭酸法、炭酸ソーダを添加する晶析法が浸出水処理施設で用いられている。これらの対策をより効率よく行うためには、浸出水中 Ca 濃度を予測する必要がある。しかし、浸出水中の Ca 濃度を予測した研究は見当たらない。

本研究では、対象とする焼却残渣として、主灰および中間処理のうちキレート剤による処理が主流となっていることから⁶⁾キレート処理飛灰を対象とした。表 1 に主灰、排ガス処理飛灰、キレート安定化処理飛中の Ca 化合物を示す。このように、各灰中の Ca 化合物についての報告は多いが、易溶解性および難溶解性 Ca の含有量割合や溶出濃度に関する研究は少なく、浸出水中の Ca 濃度予測に関する研究は見当たらない。

石川の研究⁷⁾では、主灰とキレート処理飛灰を対象に、易溶解性および難溶解性 Ca の割合について主灰中の Ca の 25%は易溶解性物質であり、キレート処理飛灰は約 50%が易溶解性物質であることを示した。また、Ca 化合物については、主灰中の Ca は主に CaCO_3 として存在し、キレート処理飛灰中の Ca は主に CaCO_3 、 CaSO_4 、 Ca(OH)_2 として存在することが示された。しかしながら、焼却残渣埋立後の浸出水中の Ca 濃度予測は行われていない。

そこで本研究では、主灰とキレート処理飛灰を対象に、

a) 土木環境プログラム教授

c) 土木環境プログラム准教授

表 1. 焼却残渣中の Ca 化合物.

	Ca 化合物
主灰	$\text{CaCO}_3^{7, 8, 9}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2^{9)}$ 、 $\text{Ca}_8\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{12}\text{CO}_3(\text{OH})_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O}^{9)}$ $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_6\text{Cl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}^{9)}$ 、 $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSiO}_7)^{8)}$ $\text{Ca}_2(\text{Al}_{0.92}\text{Mg}_{0.08})(\text{Al}_{0.92}\text{Si}_{1.08})\text{O}_7^{9)}$ 、 $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_6(\text{Cl}, \text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}^{8)}$
排ガス処理飛灰	$\text{Ca}_2(\text{SiO}_3)(\text{OH})_2^{10)}$ 、 $\text{CaCO}_3^{10, 11, 12)}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2^{10, 11)}$ 、 $\text{CaSO}_4^{10, 11, 12)}$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}^{12)}$ 、 $\text{CaO}^{11)}$ 、 $\text{CaClOH}^{11)}$ 、 $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}^{11)}$
キレート安定化处理飛灰	$\text{CaCO}_3^{7, 12, 13)}$ 、 $\text{CaSO}_4^{7, 12, 13)}$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}^{12, 13)}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2^{7)}$ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}^{12, 13)}$ 、 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}^{12)}$

浸出水の Ca 濃度の経年変化を焼却残渣の Ca 溶出量と浸出水量から予測することを目的とした。そのために、易溶解性成分の溶出量を求めるために L/S を変えて溶出試験を行った。また、難溶解性成分の Ca 溶出量を求めるために、易溶解性成分を洗浄除去した試料に対して pH と L/S を変えて溶出試験を行った。さらに、既存の最終処分場から得られた焼却残渣埋立量、浸出水 pH、浸出水量をもとに浸出水 Ca 濃度の経時変化を求め実際の浸出水 Ca 濃度と比較し、最終処分場の埋立終了後から浸出水処理不要となるまでの年数についても検討した。

2. 実験方法

2.1 用いた飛灰

実験には宮崎県宮崎市の一般廃棄物焼却施設から 2023 年 5 月 29 日に採取した焼却主灰および排ガス処理飛灰にキレート剤を用いて安定化处理を行ったキレート処理飛灰（以後、処理飛灰と呼ぶ）を用いた。宮崎市からの聞き取りから排ガス処理に使用された中和剤には水酸化カルシウムと活性炭を混合したもの、キレート剤はアッシュナイト S803（栗田工業株式会社）がそれぞれ使用されていた。用いたキレートはジエチルジチオカルバミン系キレート剤であり、K 濃度が 121,000mg/L と高いことから K 塩として溶解していると考えられた。陰イオンについては硫酸イオンが 45,800mg/L と多く含まれていたが、Cl は含まれていないことがわかっている⁷⁾。主灰についてはブラウン横型粉砕機（株式会社マルイ MIC-189-0-11）で微粉砕を行った。処理飛灰についてはジョークラッシャー（株式会社マルイ MIC-198-0-02 型）で粗粉砕後、2 日乾燥させた後で主灰と同様に微粉砕した。なお、微粉砕後の試料は主灰については 2mm 以下、飛灰については 1mm 以下であった。

2.2 試験方法

2.2.1 含有量試験

試料 1g、蒸留水 25ml、濃硝酸 5ml をこの順番でコニカルピーカーに加え、時計皿で蓋をして 240℃に設定したホットプレートで 5 分間煮沸し、冷却した。その後、ガラス繊維織紙（Whatman, GF/B、47mm、ポアサイズ 1 μm）を用いて全量吸引ろ過し、100ml にメスアップした。ろ液はポリ瓶に保存した。含有量試験の反復回数は 3 回とした。

表 2. 易溶解性成分溶出予測実験のための試料重量、蒸留水量.

L/S	試料重量(g)	蒸留水量(mL)
10	30	300
5	40	200
3	70	210

表 3. 難溶解性成分溶出実験に用いる溶媒の硝酸濃度 (mol/L).

溶出液の 目標 pH	主灰			処理飛灰		
	L/S 3	L/S 5	L/S 10	L/S 3	L/S 5	L/S 10
7	0.8	0.5	0.2	2	1.5	0.5
9	0.5	0.35	0.25	1.5	0.7	0.08
11	0.1	0.1	0.05	0.1	0.05	0.05

2.2.2 易溶解性成分の溶出予測実験

2.1 で前処理した主灰および処理飛灰と蒸留水を用いて L/S=10、5、3 の 3 条件で溶出試験を行った。用いた試料重量と蒸留水量を表 2 に示す。所定量の試料と蒸留水を 500ml の遠心管に入れて、200rpm で 6 時間振とう後に、5000G で 10 分間遠心分離を行った。その後、上澄みを 0.45 μm のメンブランフィルターを用いてろ過し、分析試料を得た。残った上澄みの pH と EC を測定した。溶出試験の反復回数は 3 回とした。

2.2.3 難溶解性成分の溶出予測実験

難溶性成分の溶出予測実験に用いるために主灰および処理飛灰の易溶解性成分の洗浄を行った。洗浄は 500mL の遠心管に試料 10g、蒸留水 300mL を取り、200rpm で 2 時間振とうを行った、5000G で 10 分間遠心分離を行い、上澄み液を捨てた後再度蒸留水 300mL を遠心管に入れ、200rpm で 2 時間振とうを行い、5000G で 10 分間遠心分離を行い、残った残渣を 0.45 μm のメンブランフィルターを用いてろ過し、回収した残渣を 100mL ポリ容器で回収し、105℃で一晩乾燥した。乾燥は、1 日の重量変化が 0.5%以下になるまで継続した。乾燥終了後、残渣を乳鉢に全て移し軽く粉砕したものを洗浄残渣とした。

洗浄残渣を用いて、L/S を 10、5、3 とし、溶出後の溶出液 pH が 7、9、11 となるように、表 3 に示す硝酸濃度の溶媒を用いて、2.2.2 と同様の条件で同様の溶出試験を行った。参考に蒸留水も溶出試験に用いた。また、溶出液 pH が目標 pH±0.1 となった試料を対象とし XRD 分析を行うため、該当試料の遠心管に蒸留水 300mL を加え、200rpm で

表 4. 用いた試料の含有量(mg/kg).

	Na	K	Ca	Mg	SO ₄ -S	Cl
主灰	29,300	12,600	110,000	12,000	1,700	22,000
処理飛灰	39,100	37,900	134,000	9,200	18,100	142,000
洗浄主灰	16,300	6,900	89,200	13,000	1,600	1,100
洗浄飛灰	9,600	4,900	121,000	14,300	20,700	6,700

1 分間振とう後、5000G で 10 分間遠心分離を行い、上澄みを捨てこれを 2 回繰り返す、遠心管の残渣を 100mL ポリ容器に移し、105℃で乾燥し、直近の重量との減少率が 0.5%になったものをポリ瓶に保存した。

2.3 分析方法

Na、K、Ca、Mg の濃度はフレイム原子吸光度法（楸日立ハイテック、Z-2000 型）を用いて分析を行った。また Cl、SO₄-S はイオンクロマトグラフ（日本ダイオネクス（株）ICS-1100、カラム AS4A-SC、溶離液 Na₂CO₃ 1.8mmol/L/NaHCO₃ 1.7mmol/L）により分析した。また各 pH で回収した残渣の化合物については、X 線回折装置(PANalytical、X' Pert-Pro MRD)で分析した。

3. 結果と考察

3.1 用いた試料の含有量

表 4 に用いた試料の含有量について示す。主灰中では Ca が 110,000mg/kg と最も多く、次に Na が Ca の 1/4 程度、Cl が 1/5、K、Mg が 1/9、SO₄-S が 1/64 となった。処理飛灰では Cl が 142,000mg/kg と最も多く、次いで Ca が 134,000mg/kg となった。Na、K は Ca の 1/3 程度、SO₄-S が 1/7、Mg は 1/14 となった。処理飛灰の Cl が高い理由として、排ガス中の HCl が中和剤である Ca(OH)₂ と反応して CaCl₂ 等の塩化物として排ガス処理飛灰に含まれたためと考えられた。また、K が増加した理由としてキレート剤に K 塩が含まれているためと考えられた。洗浄主灰は洗浄前と比べ Na、K、Cl が 1/2、1/2、1/20 と大幅に減少し、Ca は 4/5 に減少、SO₄-S と Mg はほとんど変化しなかった。洗浄飛灰も洗浄前と比べ Na、K、Cl が 1/4、1/3、1/20 と大幅に減少し、Ca は 9/10 に減少、SO₄-S と Mg は増加した。このことから主灰、処理飛灰ともに易溶解性成分として NaCl、KCl が含まれていると考えられた。

3.2 未洗浄試料の Ca 溶出量

図 1 に未洗浄試料での L/S と溶出液の pH の関係を示す。主灰は L/S3 で pH13.65 だったのに対し L/S20 で pH13.19 となっており、L/S の増加とともに pH が減少することがわかった。処理飛灰については L/S が増加しても pH12.40 程度ではほぼ一定となった。

図 2 に処理飛灰についての L/S と Na、Ca の溶出量、溶出濃度の関係を示す。処理飛灰の Ca は易溶解性成分の Na と同様 L/S によらず溶出量が一定であり、Ca 溶出濃度も Na と同様に L/S の増加とともに減少しており、処理飛灰

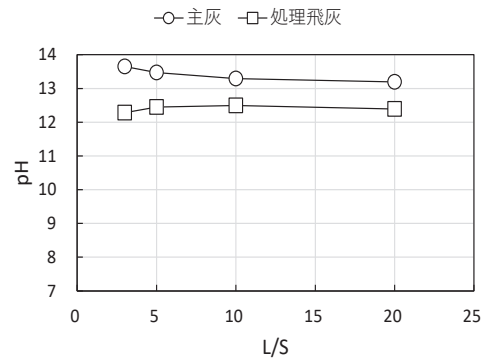
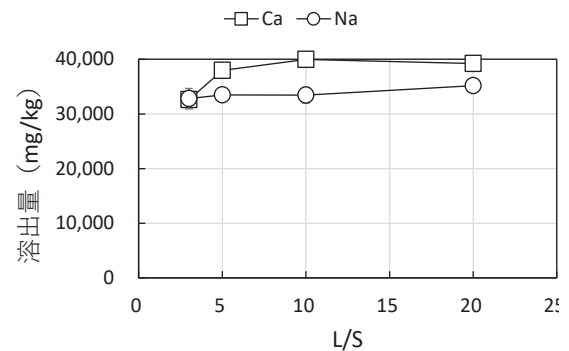
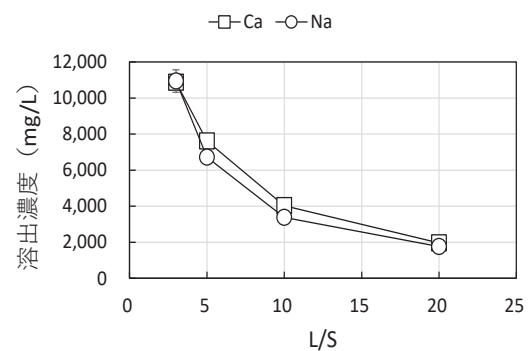


図 1. 未洗浄試料の L/S と溶出液 pH の関係.



a) 処理飛灰の溶出量



b) 処理飛灰の溶出濃度

図 2. 処理飛灰の L/S と Na、Ca 溶出量、溶出濃度の関係.

から溶出する Ca は易溶解性の Ca 成分の溶解によるものと考えられた。

図 3 に主灰についての L/S と Na、Ca の溶出量、溶出濃度の関係を示す。主灰の Na は処理飛灰と同様に溶出量は L/S によらず一定であり溶出濃度は L/S の増加とともに減

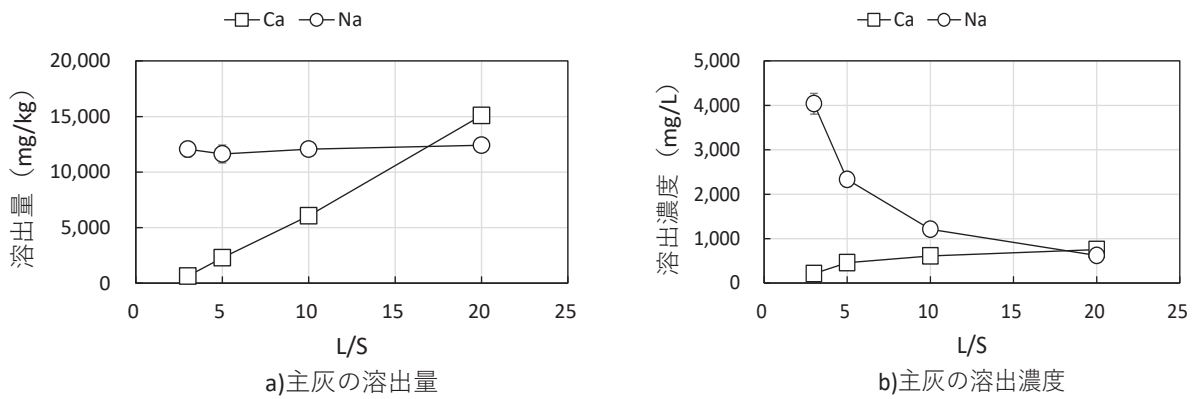


図3. 主灰のL/SとNa, Ca溶出量, 溶出濃度の関係.

表5. 洗浄試料のL/Sと溶出液のpH.

L/S	洗浄主灰			洗浄飛灰		
	目標 pH7	目標 pH9	目標 pH11	目標 pH7	目標 pH9	目標 pH11
3	6.85	9.00	11.22	6.96	8.71	11.00
5	6.92	8.92	11.08	6.93	9.09	11.19
10	7.80	7.43	11.31	7.29	9.58	10.91

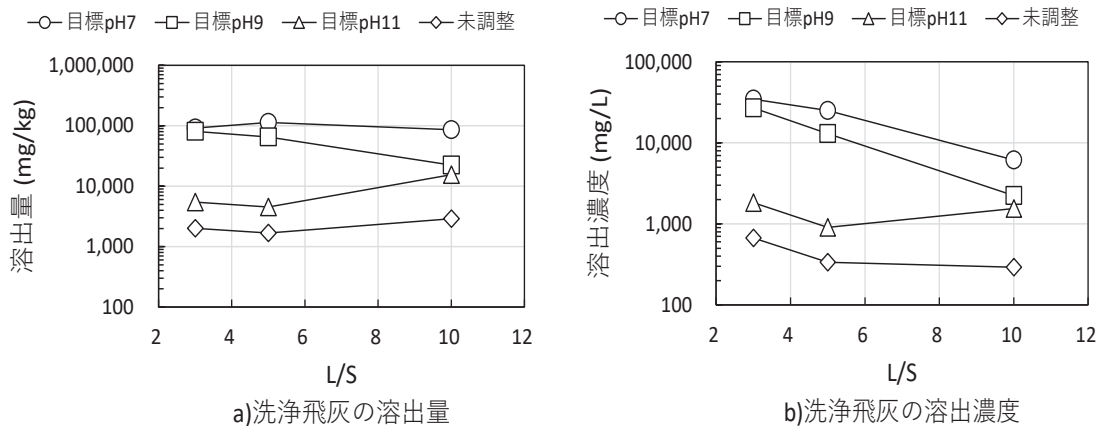


図4. 洗浄飛灰のCa溶出特性.

少しした。一方でCaはL/Sの増加とともにCa溶出量も増加しており、Ca溶出濃度もL/Sの増加とともに増加した。これは、pHがL/Sの増加とともに低くなっていることから、一度溶解したCaが高pHのためにCa(OH)₂沈殿物等を生成したと考えられ、pHの低下とともに見かけ上溶出濃度が増加したと考えられた。

3.3 洗浄試料のCa溶出量

表5に洗浄試料の溶出実験のL/SとpHを示す。ほとんどの試料で溶出液のpH目標としたpHにすることができた。図4と図5にそれぞれ洗浄飛灰と洗浄主灰のL/SとCaの溶出量、溶出濃度の関係を示し、表6に各目標pHでの溶出量、溶出濃度の変動係数を示す。洗浄飛灰では、目標pH7で溶出量は一定であり、目標pHが大きくなるにつ

れて溶出量は低下し、同一目標pHでの変動も大きくなった。溶出濃度はどの目標pHでもL/Sが大きくなるにつれて減少し、目標pH9以下では、L/S5とL/S10での溶出濃度の違いは小さくなった。目標pHの低下とともに溶出濃度は増加した。溶出濃度の同一目標pHでの変動係数は大きく、目標pHの低下とともに変動係数は大きくなった。

洗浄主灰も、目標pH7、9で溶出量は一定であり、目標pHが大きくなるにつれて溶出量は低下し、同一目標pHでの変動も大きくなった。溶出濃度はどの目標pHでもL/Sが大きくなるにつれて減少し、目標pH9以下では、L/S3とL/S10での溶出濃度の違いは小さくなった。目標pHの低下とともに溶出濃度は増加した。溶出濃度の同一目標pHでの変動係数は大きく、目標pHの低下とともに変動係数は大きくなった。

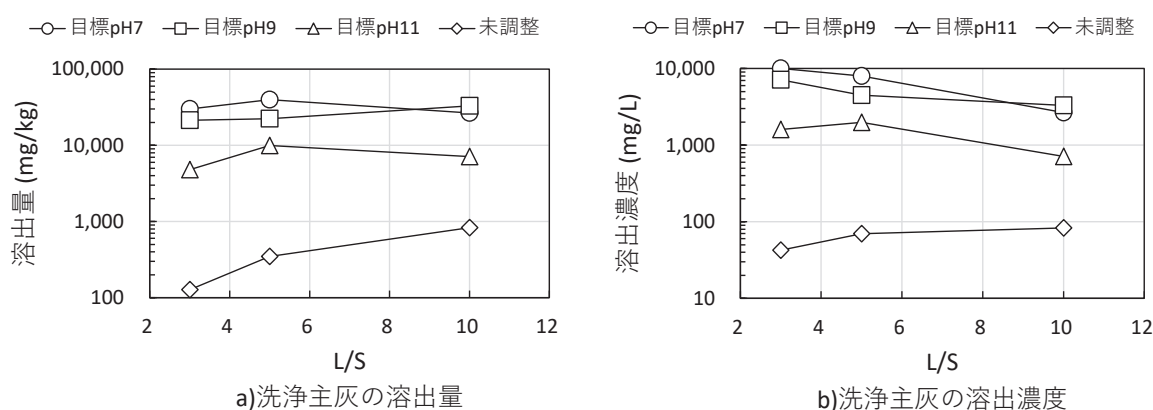


図5. 洗浄主灰のCa溶出特性.

表6. 洗浄試料の各pHでの溶出量, 溶出濃度の変動係数.

目標 pH		洗浄主灰				洗浄飛灰			
		pH7	pH9	pH11	未調整	pH7	pH9	pH11	未調整
溶出量 (mg/kg)	平均	32,100	25,500	7,280	434	97,200	56,000	8,490	2,200
	変動係数 (%)	17	21	29	67	12	44	58	24
溶出濃度 (mg/L)	平均	6,870	4,960	1,430	65	21,900	14,100	1,430	433
	変動係数 (%)	45	32	37	26	54	72	27	39

3.4 Ca 溶出シナリオと Ca 溶出濃度予測結果

3.4.1 当該処分場の概要

本研究で Ca 溶出濃度予測を行った処分場では H17 年度の 4 月から埋立を開始しており、埋立地は A、B、C、D の 4 区画に分かれ区画面積はそれぞれ 9,000m²、12,500m²、8,000m²、11,500m² である。焼却残渣については H24 年度まで処理飛灰と、主灰を溶融した溶融固化物。H25 年度から溶融処理をやめたことにより、溶融固化物の代わりに主灰の埋立が開始された。埋立地表面の状況として中間覆土の他に、浸出水量を抑えるために、ブルーシートや UV シート（以後これらシートと呼ぶ）などで埋立作業の行われていない区画を覆っていた。埋立中の区画でも埋立作業を行っていない部分をシートで覆っていることがあった。

3.4.2 浸出水量発生および埋立シナリオ

浸出水発生係数は、宮崎市から提供された令和 4 年 4 月から 9 月の全区画の降水量に対する浸出水量の比として算出した 0.39 とした。これは、一部の区画ではシートによる被覆が行われていたため、不確実性の大きい数値である。宮崎市から提供されたデータは月ごとの降水量、埋立量（主灰、処理飛灰ごと）、埋立作業区画、シートによる被覆状況である。埋立作業の行われていない区画については、シートによる被覆が行われていれば浸出水発生係数を 0 とし、被覆が行われていない場合は 1 とした。埋立作業が行われている区画で一部シートによる被覆が行われている場合であっても浸出水発生係数は 1 とした。1 年間の

浸出水量は月ごと、区画ごとに降水量に埋立作業区画面積、浸出水発生係数を乗じて発生量を求め、合算した。月ごとの埋立量は処理飛灰、主灰の埋立作業を行っている区画数で除して各区画に割り振った。例えば三つの区画で埋立作業をしている場合は埋立量を 1/3 ずつ各区画に埋め立てられたとした。溶融固化物からの Ca 溶出は生じないとした。

3.4.3 Ca 溶出シナリオ

未洗浄試料の処理飛灰から溶出する Ca は易溶解性 Ca と考えられることから、埋め立てられると直ちに一定量で溶出すると仮定してその溶出量は未洗浄試料の溶出試験における平均溶出量とした。未洗浄の主灰については、埋め立てられてすぐの pH は高いと考えられることから、主灰から未洗浄溶出試験で最も pH の高かった未洗浄主灰の溶出量を易溶解性 Ca の溶出量とした。

実浸出水の pH が 7 程度であるので、洗浄試料の pH7 で溶出しなかったものを不溶性 Ca と呼び、洗浄試料中含有 Ca から pH7 での溶出量を引くことで洗浄試料中の不溶性 Ca 含有量を求めた。洗浄試料中の不溶性 Ca 含有量に未洗浄試料中 Ca に対する洗浄試料中 Ca 割合（洗浄試料中 Ca 含有量 * 洗浄試料回収率 / 未洗浄試料中 Ca 含有量）を乗じることで未洗浄試料中の不溶性 Ca 含有量を求めた。洗浄試料回収率は、洗浄実験結果から主灰で 95.6%、飛灰で 64.7% とした。未洗浄試料中の難溶解性 Ca 含有量は全含有量から洗浄試料中の不溶性 Ca 含有量を差し引くことで得た。表 7 に各種成分含有量の値を示す。易溶解性 Ca の 1 年間

表 7. 未洗浄試料中の各成分 Ca 含有量(mg/kg).

	易溶解性成分含有量	難溶解性成分含有量	不溶解性成分含有量	全含有量
主灰	6,020	59,000	44,500	111,000
処理飛灰	37,400	82,500	14,100	134,000

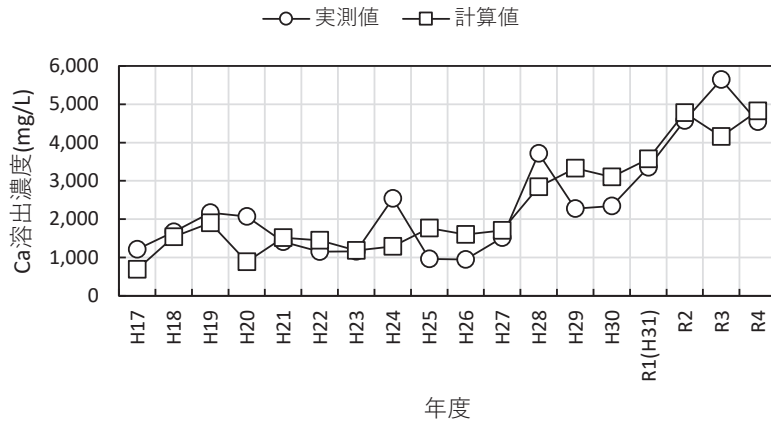


図 6. 浸出水の Ca 濃度の計算値と実測値.

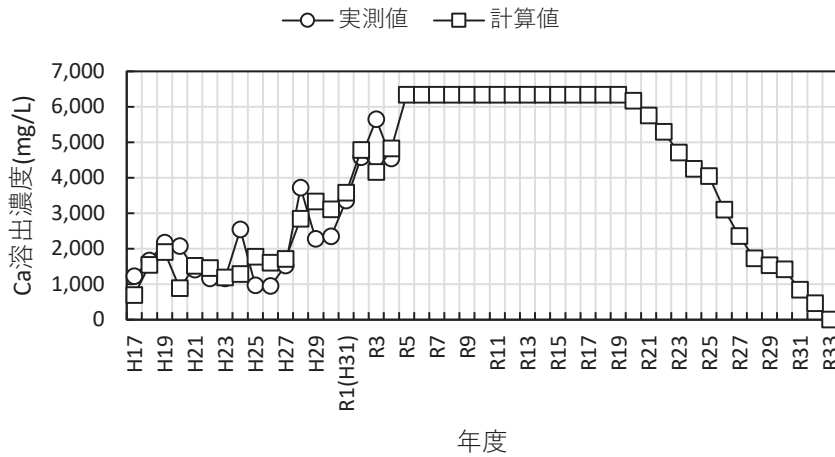


図 7. R5 年度で埋立を終了した場合の Ca の予測濃度.

の溶出率を α 、難溶解性 Ca の 1 年間の溶出率を β とした。1 年間の平均 Ca 濃度は 4 区画の 1 年間の総 Ca 溶出量の合計を 1 年間の総浸出水量で割った値で求めた。浸出水濃度実測値と計算値の残差自乗和が最小となるようにエクセルのソルバーで α と β を決定した。1 年間の溶出量は区画ごとに求め、4 区画の溶出量を合算して求めた。各区画の溶出量は、易溶解性 Ca、難溶解性 Ca とともに、それぞれの含有量に溶出率とその区画の年間暴露割合（1 年間のうちシートによる被覆が行われていない月数の割合）を乗じることで求めた。易溶解性 Ca、難溶解性 Ca とともに、それぞれの累積溶出量が 0 になった時点で溶出終了とした。

3.4.4 予測結果

浸出水中 Ca 濃度の実測値と計算値の残差自乗和が最小

になる α と β をエクセルのソルバーで探索したところ、 $\alpha = 0.0365$ 、 $\beta = 0$ が得られた。このことは浸出水中の Ca 濃度がすべて焼却残渣中の易溶解性成分の溶出によるものであることを意味している。

図 6 に今回の計算による Ca 濃度予測結果と実際の浸出水での Ca 濃度を示す。実測値と計算値の決定係数を計算したところ 0.731 となった。図および決定係数から今回作成した溶出シナリオで求められた計算値は実測値に対しある程度一致していると考えられた。図の中で平成 20 年度、平成 24 年度、平成 28 年度、令和 3 年度で計算値と実測値が大きく異なるが、これは焼却残渣の Ca 溶出特性についてまだ明らかになっていない要因があることが原因である可能性が示唆された。実用的にするための改善点として、攪拌溶出試験などを行い焼却残渣の Ca 溶出量の経

時的变化について検討することなどが挙げられる。

図 7 に今回の溶出シナリオを用い、R5 年度に埋立を終了したとした場合の Ca の予測濃度を示す。処分場の条件として、全ての区画を暴露し、降雨量は直近 5 年の平均降雨量を使用した。その結果、29 年後の令和 33 に浸出水処理が必要なくなる浸出水の Ca 濃度である 500mg/L に減少すると予想された。通常の管理型最終処分場の水処理期間は平均 18 年と言われており、水処理を行っている間は Ca 除去処理も行う必要があることが分かった。

4. まとめ

本研究では、主灰とキレート処理飛灰を対象に、浸出水の Ca 濃度の経年変化を焼却残渣の Ca 溶出量と浸出水量から予測することを目的とした。各種溶出試験を行うとともに、既存の最終処分場から得られたデータをもとに浸出水 Ca 濃度の経時変化を求め実際の浸出水 Ca 濃度と比較した。得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 処理飛灰の Ca は L/S によらず溶出量が一定であり、溶出する Ca は易溶解性の Ca 成分の溶解によるものと考えられた。主灰の Ca は L/S の増加とともに溶出濃度も増加した。一度溶解した Ca が高 pH のために Ca(OH)₂ 沈殿物等を生成したと考えられ、pH の低下とともに見かけ上溶出濃度が増加したと考えられた。
- (2) 洗浄飛灰および洗浄主灰は、実浸出水の pH である目標 pH7 で溶出量は一定であり、目標 pH が大きくなるにつれて溶出量は低下した。
- (3) 浸出水中における Ca 濃度の実測値と計算値の決定係数が 0.731 であり、実測値と計算値は比較的良い一致を示したことから、今回作成した溶出シナリオにより、浸出水中 Ca 濃度を予測できる可能性が示された。
- (4) 今回の溶出シナリオを用い、R5 年度に埋立を終了したとした場合の Ca 濃度を予測した結果、浸出水処理における Ca 除去処理が必要なくなる濃度に達するまでに 29 年を要することが予想された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、社会環境システム工学科学者の管谷海太君の協力を得た。

参考文献

- 1) 環境省：日本の廃棄物処理（令和 3 年度版），2023.
- 2) 野馬幸生，貴田晶子：カルシウムスケールの生成におよぼす埋立焼却残渣の影響，廃棄物学会論文誌，Vol. 9，pp. 287-295，1998.
- 3) 樋口壮太郎，東海林俊吉，為，田一雄：焼却施設の稼働実態調査（排ガス編），第 31 回廃棄物資源循環学会研究発表，pp. 279-280，2020.
- 4) 野馬幸生，貴田晶子：最終処分場におけるカルシウムスケール生成の予測，廃棄物学会論文誌，Vol. 9，pp. 215-223，1998.
- 5) 堀井安雄，樋口壮太郎，島岡隆行，花嶋正孝：高塩類浸出水の処理技術，廃棄物学会誌，Vol. 8，pp. 529-539，1997.
- 6) 内田 正信，陳 睿明，樋口 壯太郎，為，田 一雄，宋雨霖：キレート処理飛灰中に含まれる残存キレート成分等の長期挙動，第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会，pp. 421-422，2015.
- 7) 石川涼矢：焼却主灰と Ca 系中和剤を用いたキレート処理飛灰の静的 Ca 溶出特性に関する研究，宮崎大学工学部 社会環境システム工学科卒業論文，2023.
- 8) 白石直輝，SHARMA, S, M., 小宮哲平，島岡隆行：一般廃棄物焼却灰の脱塩における炭酸化処理の最適条件，土木学会論文集 G（環境），Vol. 74，pp. III_317-III_323，2018.
- 9) 久保田洋，繁泉恒河，山田裕己，野口俊太郎，佐藤研一：散水・通気処理が焼却主灰の溶出性に与える影響，廃棄物資源循環学会論文誌，Vol. 28，pp. 199-212，2017.
- 10) Li, H., Sun, J., Gui, H., Xia, D. and Wang, Y.: Physiochemical properties, heavy metal leaching characteristics and reutilization evaluations of solid ashes from municipal solid waste incinerator plants, Waste Management, Vol.38, pp. 49-58, 2023.
- 11) Nag, M. and Shimaoka, T.: A novel and sustainable technique to immobilize lead and zinc in MSW incineration fly ash by using pozzolanic bottom ash, Journal of Environmental Management, 329, 117036, 2023.
- 12) Kitamura, H., Sawada, T., Shimaoka, T. and Takahashi, F.: Geochemically structural characteristics of municipal solid waste incineration fly ash particles and mineralogical surface conversions by chelate treatment, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 23, pp.734-743, 2016.
- 13) 北村洋樹，Dahlan, A. V., 田宇，島岡隆行，山本貴士，高橋史武：キレート処理済み一般廃棄物焼却飛灰粒子の元素分布の相関分析による Ti の化学形態分析，土木学会論文集 G（環境），Vol. 73，pp. III287-III295，2017.