2版

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２９　年　　６　月　２２　日現在

機関番号： ３２６８５
研究種目： 基盤研究(C)（一般）
研究期間： 2014～2016
課題番号： ２６３４００６２

研究課題名（和文） 廃棄物処分場の高pH浸出水のための大気中二酸化炭素による低エネルギー中和技術開発

研究課題名（英文） Low energy neutralization technique of high pH leachate from MSW landfill by atmospheric carbon dioxide

研究代表者
宮脇　健太郎（MIYAWAKI, KENTARO）

明星大学・理工学部・教授

研究者番号：００２８９５２１

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　2,000,000円

研究成果の概要（和文）：焼却灰主体の廃棄物最終処分場において課題となる高pH浸出水を，大気中二酸化炭素を用いて中和する低エネルギー・低コストの技術について，実験的に検討した。浸出水集排水管近傍を想定した機構を考え，条件により浸出水pHを10.5から8.6まで低下できることを確認した。また，各種条件下での二酸化炭素吸収速度も概算できた。得られた結果より，今後実用化レベルへ向けた検討を行う。

研究成果の概要（英文）：One of leachate problem on landfill which filled with mainly incineration ash is high pH leachate long-term outflow. In this study, low energy neutralization technique of high pH leachate by atmospheric carbon dioxide was studied by experiment. Under some condition, leachate pH was decreased by carbonate neutralization under 8.6. And adsorption late of CO2 was calculated. build-out study will be continued.

研究分野： 廃棄物工学，衛生工学

キーワード： 最終処分場浸出水　炭酸中和　大気中二酸化炭素　高pH　焼却灰埋立

１．研究開始当初の背景

日本では一般廃棄物の焼却率は 80%と高く、埋め立てられる一般廃棄物の 71.6%は焼却灰である。焼却灰はアルカリ性を示し（CaO または $Ca(OH)_2$ を多く含有）、浸透した水は高 pH（約 11）を示す場合が多い。しかし、pH がやや高いこと自体は実際の環境影響も大きくないため重要視されていない。通常、浸出水処理では、高濃度炭酸曝気や硫酸添加による中和が行われている。排水基準では pH の基準（5.6～8.6）が定められており、有機汚濁等の減衰後は，数十年間の長期間にわたり継続管理する処分場も多く存在する。今後、日本国内の一般廃棄物処分場（約 1700 カ所）の内、焼却灰主体の処分場では、pH 基準のみのために長期管理しなければならない問題が顕在化し始めている。

過去の埋立地浸出水（埋立地間隙水）の中和に関する研究では、焼却灰間隙水の検討 [1)] があるだけである。これは、二酸化炭素によるアルカリ溶液の中和自体は周知の事実であるため、研究対象として認識されないためと考えられる。また、廃棄物埋立地の高 pH 浸出水が日本特有の問題（焼却灰主体の埋立）であることを示している。なお、一般的なアルカリ性溶液の二酸化炭素による中和の検討は古く、1970 年代以降国内外で実施され [2)3)]、高濃度二酸化炭素を曝気する提案が行われ、その後実用化されている。近年では低濃度の大気中二酸化炭素を用いた中和についていくつかのアプローチが存在し、トンネル排水の中和について曝気操作による有効性が確認され [4)]、またコンクリート中性化に関する炭酸ガス溶解モデルの検討では、アルカリ性溶液のビーカーテストのデータより、CO_2 溶解プロセスは溶解速度律速で溶解速度は非常に小さいことが明らかになっている [5)]。溶解速度が小さいことから、処分場の高 pH 浸出水の大気中二酸化炭素による中和の可能性について明確ではないといえる。

＜引用文献＞

1)宮脇　健太郎　他、炭酸ガス吸収による焼却灰埋立層浸出液 pH の低下に関する研究，環境工学研究論文集 Vol.32, 417-423 (1995)
2) 丸山　俊朗、炭酸ガスによるアルカリ性排水の中和に関する研究、下水道協会誌 Vol.15, No168,　45-55(1978)
3) L.E.D. Simas , A.A.Pessoa, The use of carbon dioxide in the neutralization of alkaline water, Wat. Sci.Tech, Vol.20, No.10, pp.255-260(1988)
4) 青木　卓也　他、アルカリ性トンネル排水の性状と自然浄化作用による中和過程、応用地質、代 50 巻、第 5 号 273-279(2009)
5) 石田　剛朗　他、速度論に基づく高 pH 溶液中への二酸化炭素ガス溶解モデル、土木学会論文集 E　Vol.66 No.1, 80-93（2010)

２．研究の目的

研究の全体構想では、埋立地内部での大気中二酸化炭素による浸出水中和技術の開発と短期間での水質の安定化を達成する埋立構造の確立を最終目標とした。本研究における 3 年間の研究期間では、埋立地浸出水への大気接触条件の砕石層等表面での二酸化炭素吸収能力を定量化と、CO_2 吸収効率を高める手法の開発および環境因子の確認を目的とした。

３．研究の方法

１）処分場現地調査・実浸出水の性状調査

個別目標である現地での大気との接触状況と実浸出水の性状把握を行うため、高 pH 浸出水の問題を抱える 3 箇所の処分場について、現地調査を実施する。埋立廃棄物（量・質）の確認、実浸出水サンプリング、埋立廃棄物のサンプリング・溶出試験を行い、アルカリ性物質の流出状況を確認した。浸出水性状については、pH，酸消費量（アルカリ度），Ca，IC(無機炭素:溶存 CO_2),溶存する塩類、TOC（溶存する有機物）などを計測した。 同時に、現地での大気との接触状況についても調査した（浸出水集排水管への大気流入、集排水管内の CO_2 濃度、大気との接触時間など）

２）大気中二酸化炭素による中和試験

ガス吸収（中和）は化学工学分野では均一条件での工学的基礎は確立しているが、実処分場では、浸出水水質は処分場により大きく異なることや、同一処分場でも季節変動や長期的な経年変化で大きく変化することから、容易なモデル計算では実用化に進めることは難しい。

① 小型砕石充填カラム

砕石層の中和能および中和に与える要因の検証を行うため、小型砕石充填カラム（直径 10cm 砕石槽厚 20cm）を用いて、溶存塩類の濃度、などをパラメータとして、大気中二酸化炭素の吸収試験を実施した。カラム上部より、各種条件（後述）の模擬浸出水および実浸出水を流下させ、カラム流出水の水質を計測した。測定項目は、pH，酸消費量，Ca，IC，Na,K,Ca などの塩類、TOC とした。

② 大粒径砕石充填槽

続いて、実処分場サイズへの拡張の可能性確認のために、実際の最終処分場の集排水管近傍などで利用される大粒径砕石（50～150mm）を用いた，中型砕石充填槽を設計・作成し，模擬浸出水および実浸出水による大気中炭酸中和試験を実施した。

角形槽（砕石厚 30cm）にて試験を行い CO_2 吸収速度など各種パラメータを確認後、小規模実証試験に適用する円形槽（直径 50cm 砕石厚 90cm）での試験を行った。

円形槽を設置した実処分場での実証試験を当初予定したが、試験・分析等の合理性から、実浸出水を現地より実験室に運搬することで、実証試験の代替とした。

また、砕石槽(接触材充填槽)の単位体積当たりの表面積を増加させ、効果的に pH を手化する検討も実施した。気液接触の工業的利用で使用される規則充填材を、円形槽に充填した試験も実施した。

４．研究成果

個別の成果は，学会発表で公開している。ここでは，一部概要を紹介する。

１）処分場現地調査・実浸出水の性状調査

A 処分場（関東：陸上処分場）

既閉鎖処分場で、主にスラグを埋め立てた。浸出水 pH は 11 以上を継続的に示した。内部帯水が認められ、長期にわたり高 pH 浸出水が流出する可能性が高いことが確認された。調査時（2014）では、中和のみの水処理を継続中であった。埋立廃棄物について洗い出し試験等を実施した。この結果、L/S1000(水/廃棄物)でも pH は 10 以上を示し、降雨洗出しのみの安定化は困難なことが確認された。

B 処分場（関西：陸上処分場）

既閉鎖処分場で、主にスラグを埋め立てた。浸出水 pH は 11 以上を継続的に示した。内部帯水が認められ、長期にわたり高 pH 浸出水が流出する可能性が高いことが確認された。調査時（2015）では、中和のみの水処理を継続中であった。

C:処分場（関西:海面処分場）

まだ閉鎖はされず、内水ポンド（保有水等を水処理前に貯留する池）を残していた。保有水を集水する暗渠からの浸出水は pH11 程度であった（調査 2014～2016、一部結果発表済み：学会発表④）。

上記 3 施設について、概略調査を実施し、各管理者へのデータ等を伝えてはいるが,現時点で学会発表など一般への公開はほとんど行っていない。

これらの結果から、いずれの処分場でもアルカリ性物質を降雨等での洗い出しでは、100 年以上のオーダーで高 pH 浸出水が流出することが明らかで有り、長期的対策として、大気中 CO_2 による中和等の技術の必要性が確認された。

２）大気中二酸化炭素による中和試験

①小粒径砕石条件

カラム（直径 9cm）に小粒径砕石（粒径 9.5～16mm）を 20cm 高まで充填し，上部より模擬浸出水（各種）を流入させ大気中二酸化炭素を吸収させ中和する検討を行った。写真１に装置を示す。模擬浸出水としては，1）$Ca(OH)_2$ 溶液 (pH11.0)，2）陸上埋立地実浸出水 (pH11.0)，3）海面埋立地模擬浸出水(pH11.7)を用い，流入水量は降雨量換算で 50～800 mm/日で実施した。図 1 に流出水 pH を示す。初期 pH は異なるが，概ね降雨量換算で 200 mm/日程度では，排水基準以下まで中和された。流入量が増加すると，砕石表面の水膜厚が増加することから中和が十分に進行しないことが推測された。(学会発表⑥)

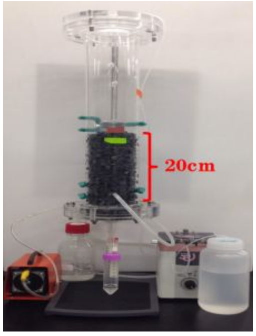

写真１　小粒径砕石カラム

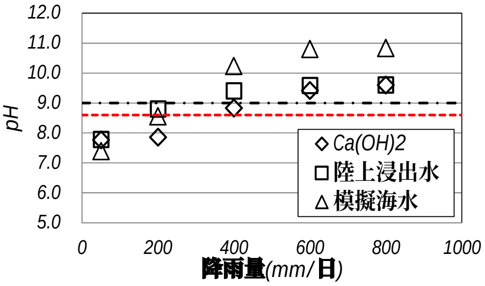

図１流出水 pH（小粒径砕石）(学会発表⑤⑥)

②大粒径砕石条件

角型槽（内寸 80×56×48cm）にまで大粒径砕石（50～150mm）を高さ 30cm まで充填し，上部より模擬浸出水（各種）を流入させ大気中二酸化炭素を吸収させ中和する検討を行った。写真 2 に試験装置を示す。

一例を図 2 に流出水 pH を示す。

陸上埋立を模擬し, $Ca(OH)_2$ 溶液での試験を実施した。流入量として降雨量換算 120～240㎜/日で、排水基準(pH8.6)を下回ることが確認された。単位体積当たり表面積がやや少ない大粒径砕石でも 30cm 厚の砕石で条件に寄り中和が可能であることを示した。

更に流入水 pH を 10.5,11,11.5 条件で実施した例を図３に示す。流入水 pH による影響も確認された。

また，実証試験に向けて砕石層表面当たりの二酸化炭素吸収量（中和量）も検討を行った。流入水・流出水の酸消費量より中和に用いられた CO_2 の mol 数が算出できる。

図３に示す条件では，流入水量が少ないほど，CO_2 吸収が多いことが確認された。

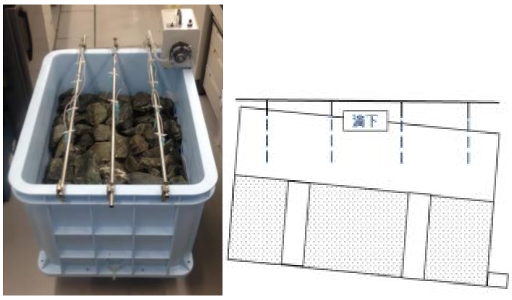

写真２砕石層（大粒径）模擬槽

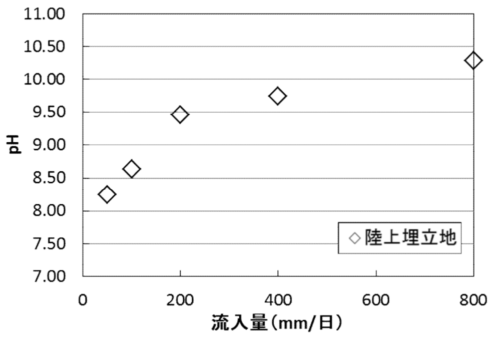

図２流出水 pH（大粒径砕石）（学会発表③）

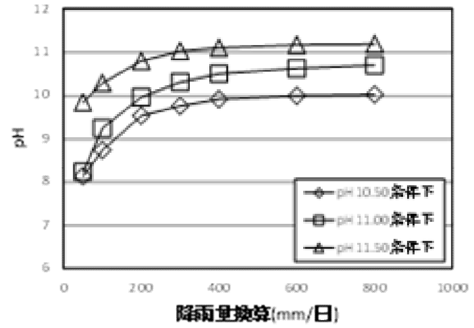

図３流出水 pH（流入水 pH10.5～11.5）

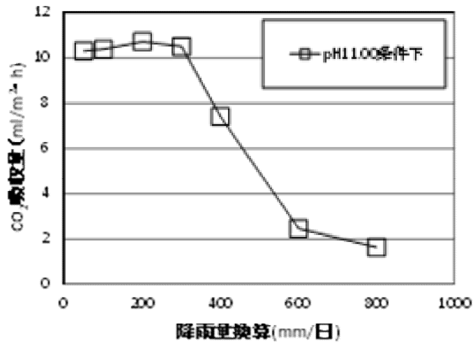

図４CO_2吸収量（pH11.0 条件）

また，実証試験で使用する条件の接触層（直径 50cm 高さ 1m）について室内試験を実施した。大粒径砕石を高さ 90cm に充填し上部より模擬浸出水を流下させた。写真３に試験装置を示す。図５に試験結果例を示す。

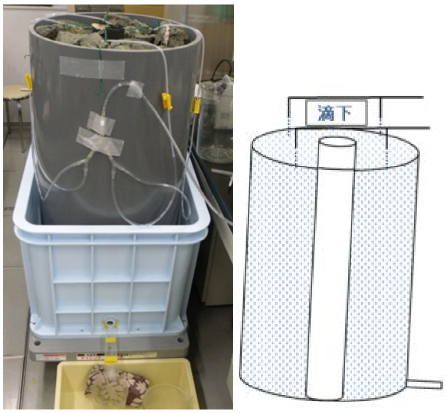

写真３大型接触層（大粒径砕石充填）

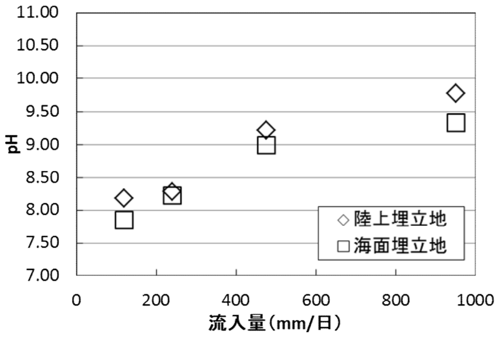

図５流出水 pH（大型槽，大粒径砕石）

ここでは，流入水として，陸上埋立模擬：$Ca(OH)_2$ 溶液（pH11）および海面埋め立て模擬：人工海水（pH11）を用いた。塩類の影響は小さいことが確認された。

③実証試験への検討

実際の処分場での炭酸中和実証試験に代えて，実浸出水を用いた試験を砕石層模擬槽（角型）にて実施した。図 6，７に一例を示す。

陸上処分場の実浸出水 pH が 12 の場合，30cm 程度の砕石層で pH を１程度しか低下できなかった。海面処分場の浸出水 pH が 11 の場合でも同様の傾向となった。

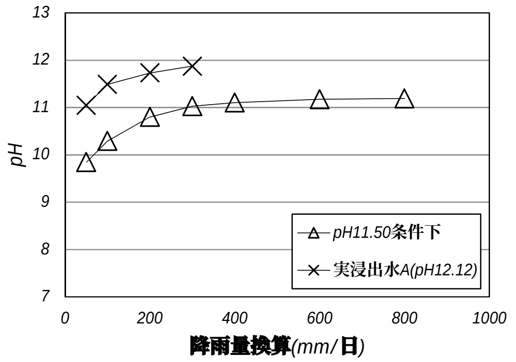

図６流出水 pH（模擬浸出水，実浸出水 A）

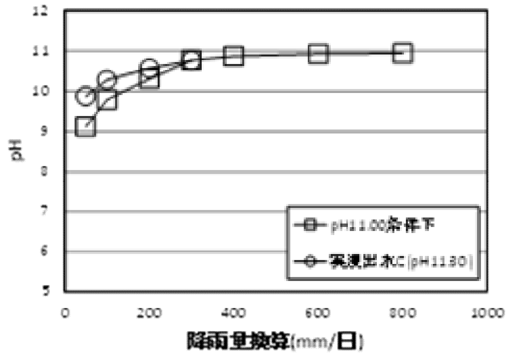

図７流出水 pH（模擬浸出水，実浸出水 C）

また，単位体積当たりの表面積が大きい気液接触に利用される規則充填材（100㎡/㎥）を充填して試験をした結果，さらに高い中和能力が得られた（学会発表①）。

本報告では，全体試験の一部の成果を紹介した。3 年間全体の研究を通して，大気中二酸化炭素を利用した砕石層での中和能力が

把握できた。特に，CO_2吸収速度が確認できており，低エネルギー中和技術として活用できる可能性を示した。今後，詳細な解析を実施後，追加で報告を行う予定である。これまで得られたパラメータは，実際の処分場に本技術を適用するうえで重要なデータであり，日本での高 pH 浸出水流出が続く処分場での対応だけでなく，今後増加するアジアメガシティでの焼却残渣を多く埋めた最終処分場浸出水でも同様の課題が顕在化した時点で有用な成果と考えられる。

科研費期間終了後も，発展的研究として各種条件での検討や，内水ポンド（海面処分場）における大気中二酸化炭素吸収速度を求める実験などを継続して実施している。

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）

〔学会発表〕（計６件）

① 渡邉 辰也，宮脇 健太郎、最終処分場における高ｐH 浸出水の大気中 CO_2 による pH 低減化技術、第 27 回廃棄物資源循環学会研究発表会(2016.9)和歌山大学（和歌山市）

② K. MIYAWAKI, K.TAKAHASHI, Y. KAWAI, T. TOKAIRIN, M. IWATA, Y. KAKUTA, Neutralization of high pH LEACHATE by atmospheric carbon dioxide in the crushed stone layer, 2nd Symposium of IWWG Asian Regional Branch, (2015.4) shanhai,China.

③ 池田沙霧 宮脇健太郎，最終処分場浸出水の pH 低下技術平成 26 年度廃棄物資源循環学会関東支部研究発表会(2015.3)、明星大学（日野市）

④ 渡邉 辰也，宮脇 健太郎、海面処分場ポンドの pH 関連調査、平成 26 年度廃棄物資源循環学会関東支部研究発表会(2015.3)、明星大学（日野市）

⑤ Kentaro Miyawaki, Koudai Takahashi and Yusa Kawai, Neutralization of High Alkaline Leachate on Crashed Stone Layer by CO_2 in Air, 5th China-Japan Joint Conference for the Community Formation on Material Recycling and Solid Waste Manegement(2014.7) Noboribetu, Japan

⑥ 高橋 廣大、河合 悠冴 宮脇 健太郎、最終処分場における高アルカリ性浸出水の CO_2 による pH 低減、廃棄物資源循環学会春の研究発表会(2014.5)、川崎産業振興会館（川崎市）

６．研究組織

(1)研究代表者

宮脇 健太郎（Miyawaki, Kentaro）
明星大学・理工学部・教授
研究者番号：００２８９５２１

(4)研究協力者

吉村 丈晴（Yoshimura, Takeharu）
高橋 廣大（Takahashi, Kodai）
河合 悠冴（kawai, Yuuga）
池田 沙霧（Ikeda, Sagiri）
渡邉 辰也（Watanabe, Tatsuya）