

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420538

研究課題名(和文) 残渣物主体の埋立地における安定化の評価手法に関する研究

研究課題名(英文) Evaluation methods for stabilization of landfill which is mainly contained the incineration residue

研究代表者

柳瀬 龍二 (Yanase, Ryuji)

福岡大学・環境保全センター・教授

研究者番号：20131849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：現在、主流となっている残渣物主体の埋立地の安定化の評価手法を、1989年の廃止基準の基礎となっている評価内容と比較検討した。(1)ボーリング孔を用いた廃棄物層の温度や保有水と発生ガス調査から、残渣物の埋立特性が把握できた。(2)既存の安定化手法と比較すると、埋立地内の滞水位や廃棄物層温度を用いて保有水はBOD/COD比、ガスはCO<sub>2</sub>/(CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>)比による安定化の評価が可能であった。(3)2年間に亘る跡地利用時のコンクリートの腐食・強度試験では残渣物主体の埋立地の浸出水とガスの影響を受けなかった。

研究成果の概要(英文)：The landfill which is mainly contained the incineration residue is evaluated the stabilization of waste by the standard of landfill closure which is promulgated at 1989. 1) The characteristic of this kind of landfill is clarified by the analysis of temperature of waste layer, quality of retained water and emitted gas from the borehole. 2) According to the comparison result between the existing evaluation method of landfill stabilization and the water level and the temperatures of borehole, the landfill stabilization can be evaluated by BOD/COD ratio with retained water and CO<sub>2</sub>/(CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>) by emitted gas. 3) Strength and corrosion test with concrete into the leachate and the emitted gas of this kind of landfill showed unaffected for two years that is simulated under the condition of reusing the landfill site.

研究分野：土木環境システム

キーワード：埋立地 ボーリング孔 残渣物主体 安定化 廃止基準

## 1. 研究開始当初の背景

廃棄物最終処分場の「廃止基準」は可燃物や不燃物主体の埋立地に関する浸出水や発生ガス及び廃棄物の分解特性など、多くの基礎情報を基に 1998 年に制定された。しかし、2000 年以降の埋立廃棄物はこれまでの可燃物・不燃物主体から不燃物主体を経て、焼却残渣や破碎残渣等の残渣物主体へと変化してきた。このため、埋立地の安定化指標は有機物の分解や浸出水水質、地盤沈下等に対し、これからの残渣物主体の埋立地では、微量の有機物や無機塩類に対する埋立特性、地盤強度と透水性及び、跡地利用時の腐食対策等に対する安定化の判断指標が必要となってくる。そこで、残渣物主体の埋立特性を十分に調査・検討し、残渣物主体の埋立地に対する新たな安定化の評価手法を確立する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究は残渣物主体の埋立地に関する基礎情報（埋立廃棄物の組成、埋立量、埋立密度、浸出水水質等）を基に、埋立期間、廃棄物層厚の違い、埋立終了後の維持管理期間が異なる埋立地内に設置したボーリング孔を用いて、埋立廃棄物の分解状況（保有水水質、発生ガス質、廃棄物層内温度など）や埋立地盤特性を調査・検討し、残渣物主体の埋立特性を把握する。また、残渣物主体の埋立地と可燃物・不燃物主体の埋立地の基礎情報を比較検討し、埋立地の安定化のための評価手法を評価・提案する。

### (1) ボーリングによる埋立地盤特性と廃棄物組成の把握

埋立が終了した区画にボーリング孔（廃棄物層厚が 10m と 25m）を設置し、N 値や透水係数、廃棄物組成と溶出試験及び保有水水質等の物理・化学的調査を実施し、残渣物の埋立に関する基礎情報を把握する。

### (2) ボーリング孔を用いた廃棄物層内の環境調査

設置したボーリング孔を用いて、廃棄物層の内部温度、保有水水質、発生ガス質、孔内の保有水の水位変動と降雨の関係等を時系列に調査・検討し、廃棄物層の内部環境を把握する。

### (3) 既存埋立地の安定化指標と残渣物埋立地の安定化指標の比較検討

残渣物主体の埋立地に関する種々の調査結果と有機物・不燃物主体の埋立地の既存の調査結果を用いて、埋立地の安定化の評価指標を比較検討する。

### (4) 残渣物埋立地の跡地利用時のコンクリート供試体の劣化特性の把握

残渣物中の無機塩類等は浸出水水質や発生ガス質に影響を与えるため、残渣物主体埋立地の跡地利用時のコンクリート構造物へ与える腐食や強度低下の可能性を検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) ボーリング孔を用いた廃棄物層内の環境調査

本調査は福岡市と共同で 2 ヶ所（F 埋立地、N 埋立地）の残渣物埋立地にボーリング孔（廃棄物層厚 N1：10m, F1:25m）を設置し、試掘時に地盤強度や透水性を調査し、同時に採取した廃棄物コアを用いて組成調査・溶出試験等を実施した。設置後は定期的に廃棄物層内の深度別温度、保有水水質、発生ガス質と量、降雨に対する孔内水位変動等の調査を実施した。

### (2) コンクリート供試体の物理・化学的調査

作成したコンクリート供試体を残渣物埋立地の浸出水調整槽、ガス抜き管内に設置し、1 ヶ月後、3 ヶ月後、6 ヶ月後、1 年後、2 年後に採取し、供試体の腐食状況、強度試験等を実施した。

## 4. 研究成果

### (1) ボーリングによる埋立地盤特性と廃棄物組成の把握

設置したボーリング孔は F 埋立地（F1）が 12 年間に亘って、約 46 万 t（焼却残渣 57%、破碎残渣 11%、事業系一般廃棄物 32%）、埋立密度 1.75 t/m<sup>3</sup> で埋立処分し、埋立終了から 9 年を経過している。N 埋立地（N1）は 8 年間に約 50 万 t の同種類の廃棄物を埋立処分している。両ボーリング孔の物理・化学的試験結果を以下にまとめた。埋立処分されている残渣物の深度別含水率は 15% 前後、標準貫入試験（N 値）は F1, N1 とともに平均 60 回以上で「非常に密に締まった状態」であった。現場透水試験は F1, N1 とともに 10<sup>-5</sup>cm/s ~ 10<sup>-3</sup>cm/s の範囲で透水係数が確認されたが、N 値は小さい地点（破碎残渣が多

い部分)では透水性が高くなる傾向にあった。

コアの組成はほとんど変化なく、強熱減量も5%~9%の範囲で有機物が含有されているなど、埋立終了から10年弱経過しても大きな変化は確認できなかった。埋立廃棄物の溶出試験はCl<sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等の無機塩類及びCODやTN等の有機物は、埋立地内を移動し下層部が高くなる傾向をにであったが、pHは上層部が10~11を呈しているのに対し下層部は9前後で安定してくる傾向にあった。従って、残渣物主体の埋立層内は非常に密に締まった状態で、廃棄物中の汚濁物も分解しながら、時間をかけて徐々に下層へ移動している事が想定できた。

## (2) ボーリング孔を用いた廃棄物層内の環境調査

F埋立地とN埋立地のボーリング孔(F1,N1)を用いて長期的に環境調査を行った結果を埋立開始からの経過年数でまとめた。F1の埋立深度毎の孔内温度は埋立表層部が5~40と外気の影響を受けているのに対し、埋立深度15~20m前後近傍が最も高く、安定する傾向にある事から、廃棄物層の温度は15m以深の温度が廃棄物層本来の温度で、残渣物主体の埋立地でも45以上に高温化している事が確認できた(図1)。保有水の水質は試掘直後の廃棄物層の攪乱の影響を除くと、Cl<sup>-</sup>がF1が5,000mg/lから徐々に低し、N1も2,000mg/lから徐々に低下している事から、埋立地内の無機塩類等の溶解性イオンが長期に亘って廃棄物から徐々に洗出されている事が確認できる。BOD、COD、TNの経時変化よりCl<sup>-</sup>と同傾向にある事から、廃棄物雄の

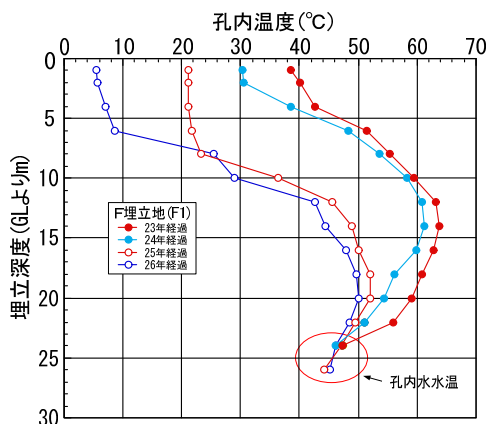


図1 ボーリング孔内の温度分布例(F1)

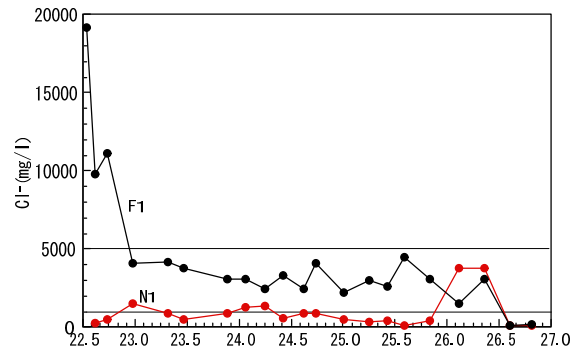


図2 保有水水質の経時変化

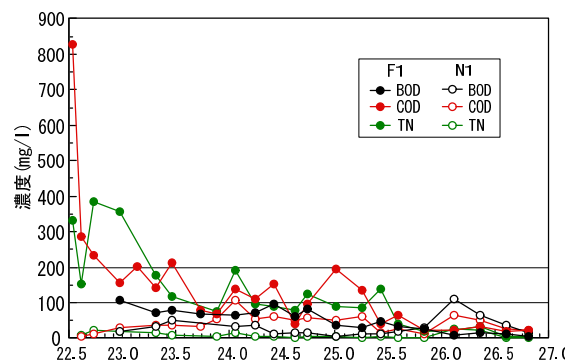


図3 保有水水質の経時変化

有機物も洗出しによる流出が想定された(図2,3)。ボーリング孔内の水位がF1は設置直後にGL25m地点から徐々に上昇しGL14mまで、約10m滞水した状態となった。N1も5mの滞水する傾向にあった。このため、無機塩類と有機物の流出状況を廃棄物からの流出量で検討した。保有水中の累積Cl<sup>-</sup>と累積BOD、COD、TNの関係から、Cl<sup>-</sup>の流出量に対し、CODは直線的な流出から洗出し主体が想定される。BODは初期の洗出

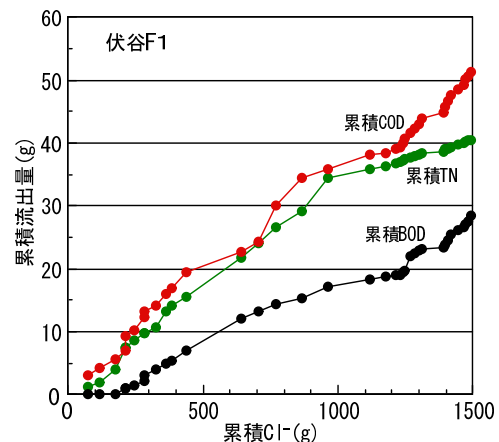


図4 Cl<sup>-</sup>とBOD、COD、TNの累積流出量の関係

し、中期の分解、後期の BOD 悪化と洗出しや分解及び滞水による水質悪化現象等が起きている事が想定される。また、TN は滞水層が厚なっている後半部で、嫌気的環境から脱窒が起きている事が想定された。このように、埋立地内部の水位変動による滞水層が厚くなると、BOD 等の悪化や脱窒現象が生きるなど、滞水位の変位が埋立廃棄物中の汚濁物の分解や洗出しに影響している事が確認できた(図 4)。孔内に水位センサー(30 分/回)を設置し、降雨と孔内水位変動の関係から、孔内の水位は降雨に対し敏感に反応し、 $10^{-4}$ cm/s の浸透速度で流入し、 $10^{-5}$ cm/s の流出速度で廃棄物中に浸透する等、流入と流出速度から孔内に滞水する傾向にある事が確認できた。これは、試掘時の現場透水試験結果と同傾向を示した(図 5)。

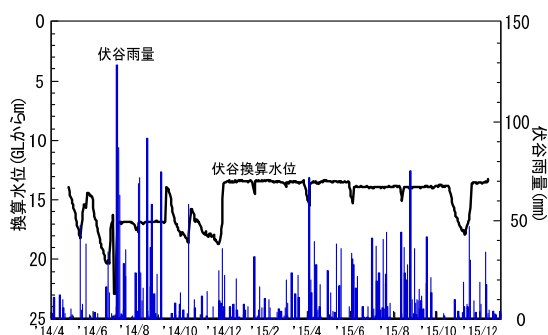


図 5 降雨量と孔内水位変動の関係(F1)

### (3) 既存埋立地の安定化指標と残渣物埋立地の安定化指標の比較検討

残渣物主体の埋立地におけるボーリングによる環境調査結果を参考に、埋立地の安定化を評価するため、既存の 4 地点の調査結果(可燃物・不燃物主体の埋立地: H1, H4, H12, H13)と比較検討した。安定化指標項目の中で溶解性イオンの洗出し現象把握は Cl<sup>-</sup>である程度把握できるため、ここでは、有機物の分解に関する項目として、廃棄物層内の滞水層厚の変動による好氣的分解・嫌氣的分解を保有水の BOD と COD、ガス質が CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> の関係から評価した。保有水の水質は BOD/COD 比 < 1、ガス質が好気比 (CO<sub>2</sub> / (CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>)) > 0.5 の場合に好氣的分解が起きていると判断し、有機物主体と残渣物主体の両者をボーリング孔内の滞水層厚で比較検討

した。有機物主体の孔内水は滞水層が厚くなるに従って、BOD/COD 比が徐々に 1 以上となり、好気比が 0.5 以下になる傾向にあり、滞水層厚が水質とガス質に影響し、好氣的環境から嫌氣的環境へと孔内環境が変化している事が確認できる。残渣物主体の埋立地では試掘直後から BOD, COD の変動が大きいことから、調査結果を前半と後半に分けて整理した。N1 は滞水層が 5 m でボーリング孔内の廃棄物層(6m)のほとんどが滞水し、滞水層が厚くなると、BOD/COD 比は徐々に 1 を超え、好気比がほとんど 0.2 以下を示すなど、廃棄物層の嫌気化による環境悪化が考えられた。一方、F1 は調査期間の前半は N1 と同傾向を示したが、後半は滞水層が 10m を超えても、BOD/COD 比は 1 以下、好気比は 0.5 以下の頻度が多い傾向にあるなど、F1 の後半において N1 と異なった傾向を示した(図 6)。ここで、有機物の分解は好氣的・嫌氣的環境と同時に埋立地の内部温度も影響するため、各ボーリング孔内の埋立深度別温度分布例から、孔内温度が 20 前後であった N1 や有機物主体の H1, H4, H12, H13 のボーリング孔は BOD/COD 比と好気比から嫌氣的雰囲気であり、結果的に有機物の嫌氣的分解の環境下で、孔内温度が上昇しない環境条件にある事が推測された。一方、孔内の滞水層が厚くても、F1 のように廃棄物層内温度が高い場合は、嫌氣的中温消化等によって有機物分解が促進されている事が想定された(図 7)。以上、調査時期や孔内の内部環境によって、孔内水水質や発生ガス質等に影響する事から、有機物主体の埋立地や残渣物主体の埋立地に設置したボーリング孔を用いた安定化の判定手法として、ボーリング孔内の滞水層厚や孔内温度の影響を考慮すると、BOD/COD 比や発生ガス質の好気比は廃棄物層内の環境を評価する上で有効であった。

### (4) 残渣物埋立地の跡地利用時のコンクリート供試体の劣化特性の把握

残渣物主体の埋立跡地利用に際して、埋立廃棄物である残渣物がコンクリート構造物への影響を検討するため、作成したコンクリート供試体を残渣物主体の埋立から流出した浸出水や発生ガス中に設置し、1 ヶ月、3 ヶ月、6 ヶ月、1 年、2 年後に回収した供試体について、腐食状

況、圧縮強度、動弾性係数、溶出試験等を実施した。2年間に亘る中性化試験は表面の中性化のみで内部はほとんど中性化が進行していなかった。また、圧縮強度試験等の力学試験結果は初期値を大きく上回り劣化が確認できなかった。これらの結果から、2年間におけるコンクリート供試体の劣化は確認できなかった(図8)。

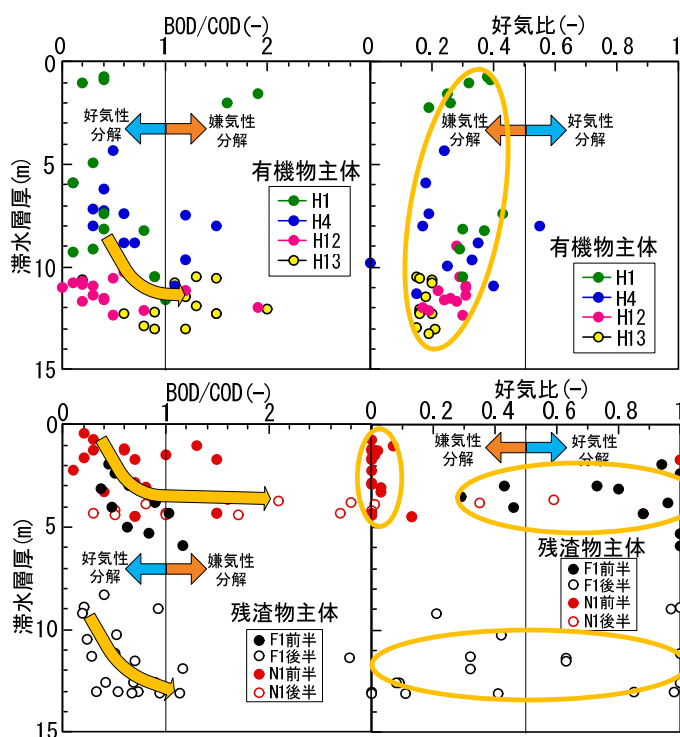


図6 孔内の滞水厚とBOD/COD比、好気比の関係

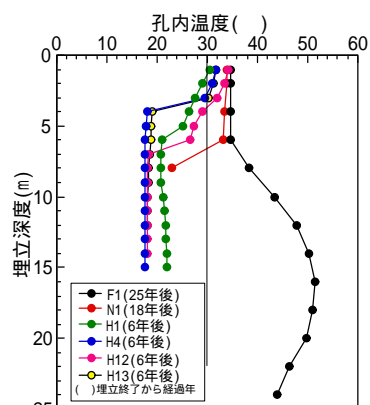


図7 孔内の深度別温度分布

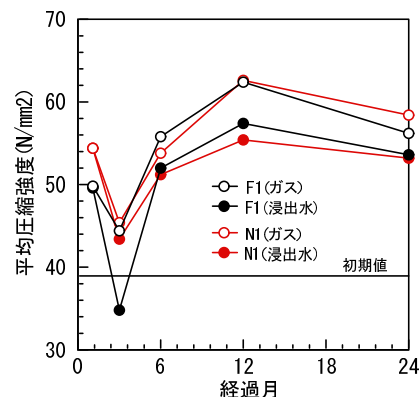


図8 コンクリート供試体の劣化試験

## 5. 主な発表論文

[学会発表](計2件)

柳瀬龍二, 平田修, 松藤康司, 津城真司, 梶原宏, 田中洋将, ポーリング孔を用いた埋立地における安定化評価に関する検討, 第27回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp413-414, 2016.9, 和歌山大学

平田修, 松藤康司, 柳瀬龍二, 小山田謙二, 合庭昭男, ポーリング孔を用いた残渣物主体の埋立地における安定化評価に関する検討(その1), 第36回全国都清掃研究・事例発表会講演論文集, pp273-275, 2015.1, 沼津市(プラザ ヴェルデ)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳瀬 龍二(Yanase, Ryuji)  
福岡大学・環境保全センター・教授  
研究者番号: 20131849

(2) 研究者分担者

平田 修(Hirata, Osamu)  
福岡大学・環境保全センター・助教  
研究者番号: 00461509

松藤康司(Matsufuji, Yasushi)  
福岡大学・工学部・教授  
研究者番号: 40078663