

一般廃棄物焼却残渣固化式処分埋立地盤の孔隙構造に関する基礎的研究

九州大学 学生会員 ○博田庸介、正会員 小宮哲平
 〃 フェロー会員 島岡隆行、正会員 中山裕文
 安藤ハザマ 正会員 弘末文紀、三反畑勇、秋田宏行、青木貴均、西尾竜文

1. はじめに

我が国の一般廃棄物最終処分場で埋立処分される廃棄物の約 8 割が焼却残渣（焼却灰及び飛灰）である現状^①を踏まえ、著者らは焼却残渣に適した、埋立地の環境安全性の向上、早期安定化、埋立容量の消費の抑制等を図ることが可能な「廃棄物固化式処分システム」^②の構築を目指している。具体的には、石炭灰固化技術^③を応用し、焼却残渣にセメント、水等を添加し、混練物を埋立地に敷均し、高周波振動を与えて締固め、固化盤を形成しながら埋立処分するものである。本研究では、一般廃棄物焼却残渣固化式処分埋立地盤の孔隙構造を明らかにすることを目的に、固化式処分の施工を模擬して作製した固化式埋立模型槽から得られたボーリングコアを対象に、マイクロ X 線 CT 法及び水銀圧入法による孔隙構造の把握を行った。

2. 試料及び方法

(1) 試料 F 市 R 清掃工場から排出された焼却残渣（焼却灰及びキレート処理飛灰、 ϕ 40mm 以下）を用いた。一般廃棄物最終処分場の底面及び法面を模擬した構造を有する焼却残渣固化式埋立模型槽（幅 1.7m×奥行き 4m×高さ 1.7m）を屋外実験場に設置し、固化式処分を模擬した埋立工法により焼却残渣を埋立処分した。具体的には、表 1 に示す配合の焼却灰、飛灰、セメント（高炉 B）及び水の混練物を、厚さ 12cm 程度で敷均し、上から振動板で振動（160～200Hz）を与えて、締固め後の層厚が約 10cm となるように締固めた。層厚が約 90cm になるまで繰返した。埋立模型槽の完成から 207 日目にボーリング（送水式、 ϕ 5cm、掘進長 80cm）を行い、図 1 のコアサンプルを得た。コアサンプルは 5 個に破断していた。コンクリートカッターで 10 個（コア No. 1～No. 10）に切断し、表 2 の孔隙構造の分析を行った。埋立模型槽は層厚約 90cm であり、上部、中部、下部に分けたとき、各部においてマイクロ X 線 CT 撮影及び水銀圧入試験が行える深さの試料を用いて測定を行った。

(2) マイクロ X 線 CT 法によるマクロ孔隙の把握

マイクロフォーカス X 線 CT スキャナ (Toscaner 32300 FPD, TOSHIBA) を用いた。管電圧を 140kV、管電流を 150 μ A、X 線照射厚 0.047mm、撮影領域を 38.7mm、画素数を 1024×1024 と設定した。偽像を除去した CT 画像において CT 値のヒストグラムにおける極小値を閾値とする二値化処理を行い、孔隙の抽出を行った。抽出可能な孔隙は画素（ボクセル）サイズ (47 μ m) より大きなものとなる。Brewer による孔隙の分類^④によると 75 μ m 以上はマクロ孔隙とされ、抽出される孔隙の大部分は孔隙径が 75 μ m 以上であるため、得られた孔隙を「マクロ孔隙」と称した。

表 1 示方配合

粉体の配合率(質量%)			水粉体比 (%)*
焼却灰	飛灰	セメント	
67.5	22.5	10.0	28.0

※粉体の乾燥重量に対する水の質量の百分率

(3) 水銀圧入法による細孔隙（ミクロ孔隙）分布の把握

コアを 5mm 角に切り出し、アセトンを用いて乾燥後、凍結乾燥(-45℃)させ、試料とし、ポロシメータ (AutoPore III、SHIMADZU) を用いてミクロ孔隙分布を測定した。

表 2 分析項目

コア番号	分析項目	
	CT	水銀圧入
1,4,6,8	○	×
7	×	○
3,9	○	○

3. 結果及び考察

(1) マイクロ X 線 CT 法によるマクロ孔隙の把握

図 2 に CT 画像の一例として深さ 40cm (コア No. 6) 及び 57cm (コア No. 8) の CT 画像を示す。色が白いほど密度が高く、黒色部は孔隙部である。深さ 40cm 付近 (コア No. 6)

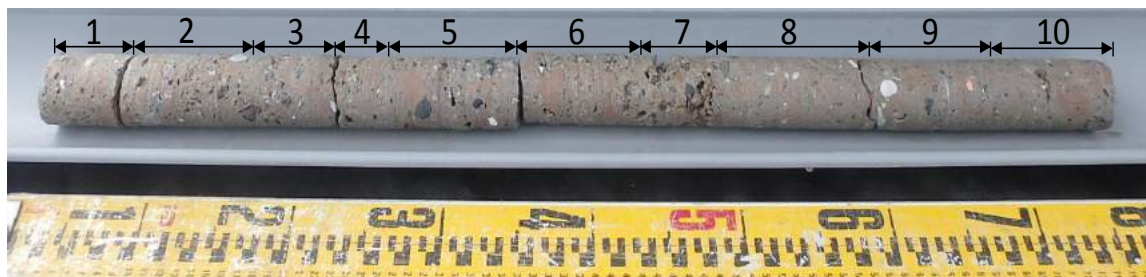


図 1 ボーリングコアサンプル

キーワード 一般廃棄物焼却残渣、固化式処分、孔隙構造、X 線 CT 法、水銀圧入法

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 W3-916 九州大学大学院工学府環境制御工学研究室 TEL 092-802-3431

においては非常に大きな孔隙が複数見られたが、その他のコアは深さ 57cm と同程度のマクロ孔隙が観察された。図 3 に地表からの深さとマクロ孔隙率の関係を示す。コア No. 6 を除くと、マクロ孔隙率は 2~8% を示し、深さと間に相関は見られなかった。コア No. 6 のマクロ孔隙率は 8~25% と大きかったが、施工の際、混練から締固めまでの時間が他に比べて長かったことが原因で、乾燥に伴う水粉体比の低下により十分に締固まらなかったものと考えられる。

固化式処分埋立地盤は 1 層 (約 10cm) ずつ締固められた。振動板からの距離により層内の締固まり具合が不均質となることが懸念された。まず、締固め層の境界 (振動板による加振面) の位置を明らかにするため、コアサンプルを深さ 2cm 毎に分け、地表からの深さの 1 の位が 0-2、2-4、4-6、6-8、8-0 の 5 区分に分類し、各区分のコアサンプルのマクロ孔隙率の平均値を求めた。その結果、区分 2-4 と同 4-6 の間でマクロ孔隙率の平均値に大きな差が確認され、締固め層の境界は深さの 1 の位が 4 である深さ毎にあると推測された。次に、締固め 1 層内のマクロ孔隙率及び深さ 2cm 毎のマクロ孔隙率の平均値を図 4 に示す。締固め 1 層の下方 (振動板から離れた位置) ほど、マクロ孔隙率が上昇する傾向が見られた。

(2) 水銀圧入法による細孔隙 (ミクロ孔隙) 分布の把握

図 5 にコア No. 3、No. 7、No. 9 の細孔分布を示す。コア間に細孔分布に大きな差異は見られず、また総ミクロ孔隙容積についても $0.12 \sim 0.13 \text{ cm}^3/\text{g}$ と大きな差異は見られなかった。最頻孔隙径は 50nm 付近であった。ミクロ孔隙は、固化式処分埋立地盤の深さに依らずおよそ均質であることが示唆された。

4. 結論

一般廃棄物焼却残渣固化式処分埋立地盤のマクロ孔隙率は 2~8% であった。乾燥などにより混練物の水粉体比が低下した場合には、十分に締固まらず、マクロ孔隙率が最大で 25% を示した。締固め 1 層では下方 (振動板から離れる) ほど、マクロ孔隙率が上昇する傾向が見られた。ミクロ孔隙分布における最頻孔隙径は 50nm 付近であった。ミクロ孔隙の観点からは、固化式処分埋立地盤はおおよそ均質であることが示された。

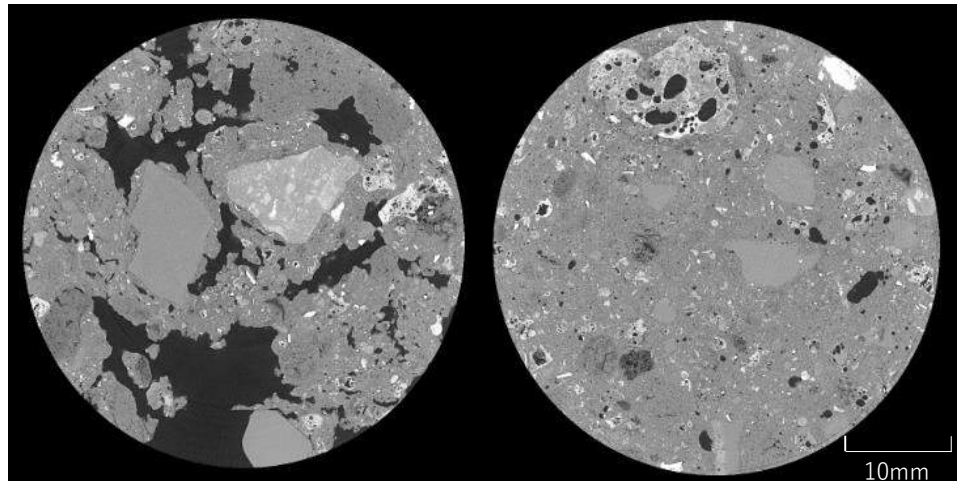


図 2 X線 CT 画像 (左 : コア No. 6 (深さ 40cm), 右 : コア No. 8 (深さ 57cm))

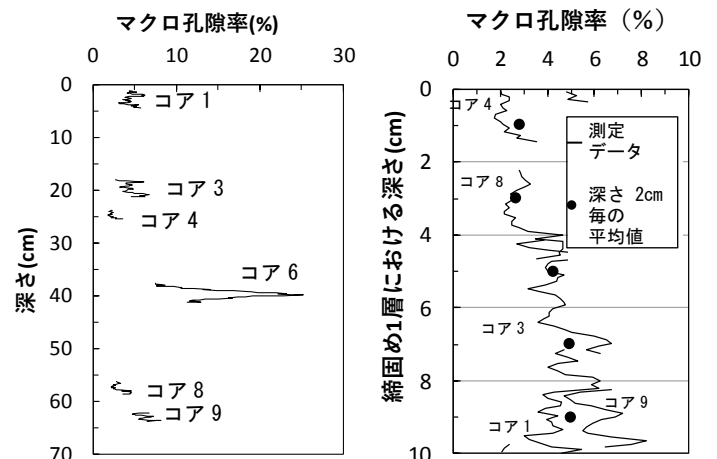


図 3 深さとマクロ孔隙率の関係

図 4 締固め 1 層内のマクロ孔隙率

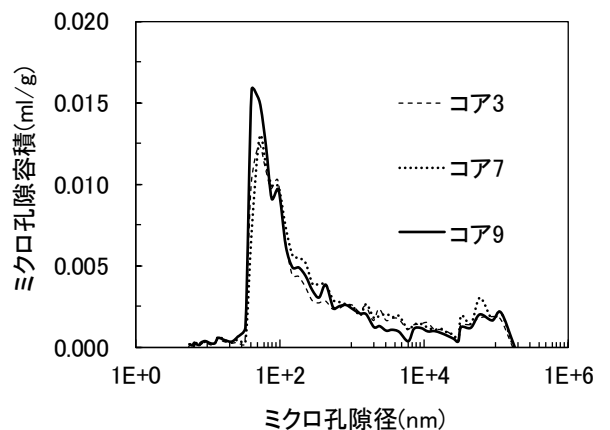


図 5 細孔分布

謝辞 : 本研究は (独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費補助金 (3J173001) (研究代表 : 島岡隆行) の助成を受けて実施された。マイクロ X 線 CT 画像の撮影においては熊本大学 X-Earth センターの椋木俊文准教授にご指導、ご協力を頂いた。細孔隙 (ミクロ孔隙) 分布の測定においては九州大学建設材料システム工学研究室の山本大介技術職員にご指導、ご協力を頂いた。ここに記して、謝意を表する。

【参考文献】 1) 環境省 : 平成 27 年度一般廃棄物処理実態調査結果, 2017, 2) 島岡隆行 : 焼却残渣を埋め立てる固化式処分システムの開発について, 都市清掃, 第 69 巻, 第 333 号, pp.419-425, 2016, 3) (株) 安藤・間 : 超流体工法, <http://www.ad-hzm.co.jp/service/ashcrete/tech/>, (最終閲覧日 : 2018 年 4 月 6 日), 4) 土壌物理性測定法委員会 : 土壌物理性測定法, p.94, 1972.