

焼却残渣層の孔隙構造の把握における X 線 CT 法の適用性に関する基礎的検討

九州大学大学院 学生会員 ○石橋 俊将 九州大学工学部 学生会員 福井 晋平
九州大学大学院 正会員 小宮 哲平 高橋 史武 島岡 隆行
熊本大学大学院 正会員 椋木 俊文 大谷 順

1. はじめに

廃棄物埋立地の維持管理コストの削減および跡地利用の観点から、埋立地の早期安定化が求められているが、埋立廃棄物層では雨水浸透の偏りが生じ、安定化が一様に進行しないという課題がある。不均一な雨水浸透が生じる原因として、埋立廃棄物層における孔隙構造の変化が考えられるが、その現象解明は十分になされていない。

本研究では、焼却残渣層の孔隙構造を把握する手法として X 線 CT 法¹⁾に着目した。そこで、焼却灰を充填したカラムに通水させ、通水の前後でカラム断面の X 線 CT 画像を撮影し、焼却灰層の孔隙構造およびその変化の把握における X 線 CT 法の適用性について検討した。

2. 焼却残渣層の孔隙構造

焼却灰の粒子は、固形物を微細な粒子が取り巻く特異的な構造を持つ粒子（以下、焼却灰粗粒子と呼ぶ）と微細な粒子とに大別できる²⁾。図 1 に焼却灰粗粒子構造の模式図を示す。焼却灰粗粒子は、溶解性および崩壊性粒子であるので、焼却灰粗粒子同士が成す孔隙（以下、外部孔隙と呼ぶ）の他に焼却灰粗粒子内に存在する孔隙（以下、内部孔隙と呼ぶ）があると考えられる。また、土壌学分野において孔隙の大きさの絶対的規準を定めることが困難であり³⁾、相対的な概念として考えざるを得ないが、図 2 に土壌学分野における孔隙の分類⁴⁾を示す。焼却灰粗粒子の外部孔隙はマクロ孔隙、内部孔隙はマクロ孔隙より小さな孔隙に対応すると考えられる。

3. 実験方法

3-1. 通水試験 試験に用いたカラムを図 3 に示す。内径 10 cm、高さ 25 cm のカラム（カラム A）、内径 14 cm、高さ 30 cm のカラム（カラム B）を用い、それぞれの試料充填高さは 20、25 cm とした。試料は、O 町清掃工場より発生した焼却灰を用い、試料充填密度は 1.2 g/cm³ とした。充填試料の最大粒径は各カラム内径の 1/10 程度となるよう調整した。なお、試料の含水率は 19.9% であった。

まず、カラム下端から、試料が乱れないようにカラム内を飽和させ、次に、飽和状態を保てるよう流量を調整し、下向流で純水を通水させた。各カラムにおける通水量は、固液比がそれぞれ 32、31 となるまで実施した。通水後はカラム下端から徐々に排水させ、その後 22 日間乾燥させた。

3-2. X 線 CT 画像の撮影 焼却灰層における通水に伴う孔隙変化を把握するため、通水の前後で X 線 CT 法によるカラムの水平断面の撮影を行った。X 線 CT 画像は、被検体内部の密度分布を表し、X 線の照射厚分の厚みを持つ画像である。また、画素には物質の X 線吸収係数から決まる CT 値が格納されており、CT 値は図 4 に示すようなボクセル内における密度の平均値を示す。

撮影断面は、各カラムの焼却灰層底面の 1 cm 上から焼却灰層表面の 1 cm 下の範囲において 1 cm 間隔とした。撮影条件は、X 線発生起電圧を 300 kV、X 線照射厚を 1 mm とし、撮影領域を直径 150 mm (2048×2048 の画素数) の範囲とした。

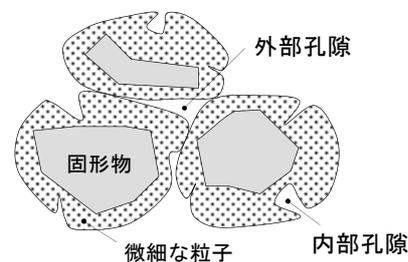


図 1 焼却灰粗粒子構造の模式図

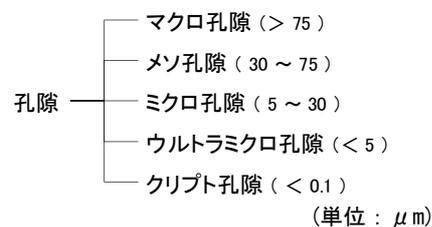


図 2 土壌学分野における孔隙の分類

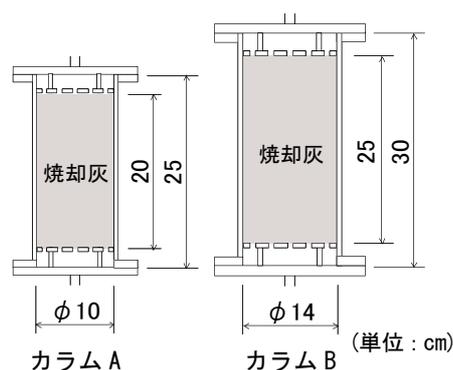


図 3 カラム鉛直断面図

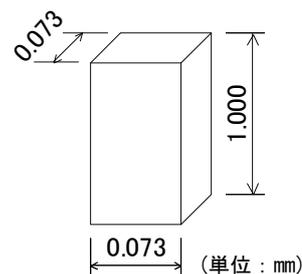


図 4 ボクセルの模式図

図5に通水前のカラムBの焼却灰層底面から14 cm上の断面のX線CT画像を示す。図5の左は、CT値-1000から1500の間を256階調の白黒濃淡レベルで表示した画像である。図5の右は、CT値-1000を閾値とした二値化画像である。CT値-1000は空気の理論値であり、二値化画像における黒色の画素は、厚さ1 mmのボクセル内に空気のみが存在する画素を意味する。一方、白色の画素は、ボクセル内に焼却灰が存在することを意味する。つまり、二値化画像の焼却灰断面上における黒色の画素の集合は、1 mm以上の大きさの孔隙であり、ここではこれをマクロ孔隙と呼ぶ。なお、当孔隙では、外部孔隙と内部孔隙の識別はなされない。

4. 結果および考察

図6はカラムAおよびBの各撮影断面の二値化画像から通水前および後のマクロ孔隙率を算出し、また、通水前後でのマクロ孔隙率の変化量を示したものである。図中の実線は、移動平均を示す。カラムAのグラフ(図6左)を見ると、通水前におけるマクロ孔隙率は、今回の測定結果では1.1~3.2%の範囲で分布する結果となった。また、焼却灰の充填作業を層厚2 cm毎で行ったため、その層の境界部において充填時に粒子が破碎されてしまいマクロ孔隙率が小さくなった。マクロ孔隙率を通水前後で比較すると、通水後の方が大きく、通水により孔隙が増加したことを示す結果となった。

カラムBのグラフ(図6右)を見ると、通水前のマクロ孔隙率は1.4~6.3%の範囲で分布しており、カラムAの場合に比べて大きかった。また、焼却灰の充填作業を層厚2.5 cm毎に行った際の層境界部においてマクロ孔隙率が小さくなった。通水前後で比較すると、カラムAと同様に通水後の方がマクロ孔隙率は大きくなった。マクロ孔隙率の差の深さ方向での分布を見ると、下層ほど小さくなる傾向を示した。この原因として、焼却灰は水分保持能力が高いため、通水後の試料の乾燥が十分に進んでおらず、下層ほど焼却灰中に水分が残留し、マクロ孔隙として検出された画素が少なくなったことが考えられる。

5. まとめ

本研究では、通水前後の焼却灰充填カラムにおいてX線CT画像を撮影し、画像の二値化処理を行った結果、焼却灰層のマクロ孔隙率およびその通水に伴う変化を把握できた。本検討を通じ、X線CT法を用いて孔隙を正確に捉えるためには試料を絶乾状態とすることが望ましいことがわかり、試料を均一に充填する方法を確立すべきことが課題として挙げられた。また、焼却灰にはX線吸収係数の高い金属が混入しているため、X線CT画像上に金属塊が存在する場合、X線ビームハードニング現象によって、金属塊周辺部では正確なCT値を得ることができないという問題もある。今後は、孔隙をより高精度に定量化できる手法を検討するとともに、充填試料を焼却灰と飛灰の混合物とした場合や、不飽和浸透下における通水試験を実施し、それらについてもX線CT法の適用性を検討していく予定である。

[参考文献] 1) 椋木俊文：地盤工学におけるX線CT法の適用に関する研究，熊本大学学位論文，2001，2) 大寺泰輔，島岡隆行，中山裕文：一般廃棄物焼却灰の粒子性状と生成過程に関する一考察，環境工学研究論文集，Vol.40，pp.473-479，2003，3) 成岡市：土壤粗孔隙の形態とその測定法，日本土壤肥科学雑誌，Vol.64，No.1，pp.90-97，1993，4) 土壤物理性測定法委員会編：土壤物理性測定法，p.94，1972

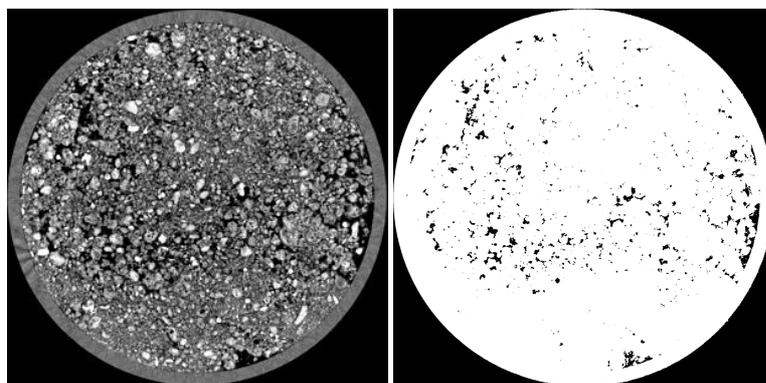


図5 X線CT画像(左)およびその二値化画像(右)

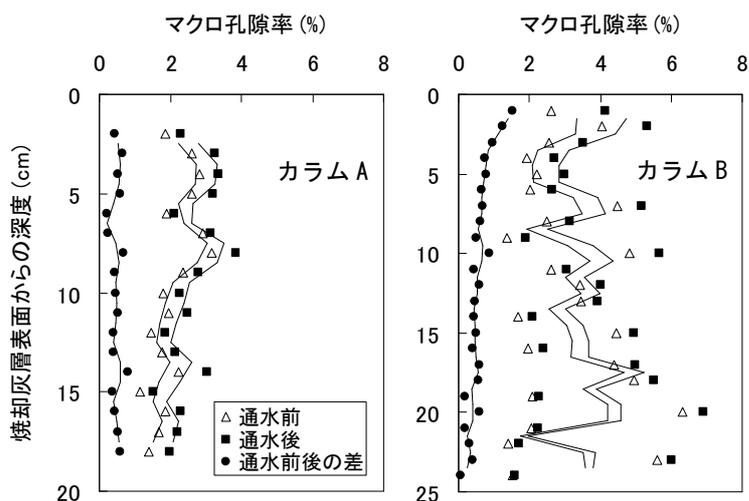


図6 X線CT画像から算出した焼却灰層のマクロ孔隙率