

VII-285

焼却灰層内における含水率と不飽和移動水分の関係

北海道大学工学部

（正）東條安匡 三井奈保子（現 旭川市）

（正）田中信寿 （正）松藤敏彦

1. 目的

最終処分場から外部への浸出水漏洩を抑止するために処分場内における水分流れを適切に管理することは重要である。しかしそのためには廃棄物層内における浸出水の流動機構が十分に解明されている必要がある。廃棄物層内は通常水分不飽和状態にあり、一般にその移動現象は土壌の不飽和浸透理論によって表現される。従って不飽和透水係数の把握は必須である。しかし、単に媒体を焼却灰のみとしても、既往の研究における不飽和透水係数には、各研究者によって大きな差が認められる。焼却灰中の水分応答には急激な流出やテーリングが存在し、通常の均質媒体とは大きく異なる不飽和浸透特性を有する。特に同一の灰で同一の充填条件であっても、充填層の初期水分状態によって不飽和透水係数と含水率の関係が多様に変化することが筆者らの研究により確認されており、それが不飽和透水係数の把握を困難なものとしている。そこで、本研究ではそうした焼却灰の特殊性を1次元浸透実験により追求し、焼却灰の不飽和浸透を表現する方法について検討する。

2. 実験方法及び試料

実験装置を図1に示す。円柱カラム（内径12cm、高さ100cm）に試料を充填し、上部より降雨を与えた。降雨強度は水分を供給するポンプの回転数により制御した。カラムを上部に設置した電子天秤に吊り下げ、全体重量の経時変化を測定し、それをもとに層内含水率を算出した。また、流出水量は下部に設置した電子天秤上にポリビーカーを置きその重量変化から流出水流速を得た。各天秤によって一定時間間隔で計測したデータは通信回線を介してコンピュータに取り込み、ディスク上に記録した。

実験に用いた試料は全連続式焼却炉（600t/d）の灰ピットから採取したbottom ashである。試料は乾燥炉で乾燥させた後に篩い分け、その15mm通過試料を用いた。また、焼却灰は水分との接触により、溶解性成分の溶出や微細粒子の流亡が生じるために間隙構造が変化する。そのため、水分との接触履歴の異なる2種の灰を用いた。1つは幾度か通水実験を行い溶解性成分が減少した灰A、もう1つは乾燥後にすぐに用いた灰Bである。それぞれの比重は灰Aで2.8g/cm³、灰Bで2.3g/cm³である。

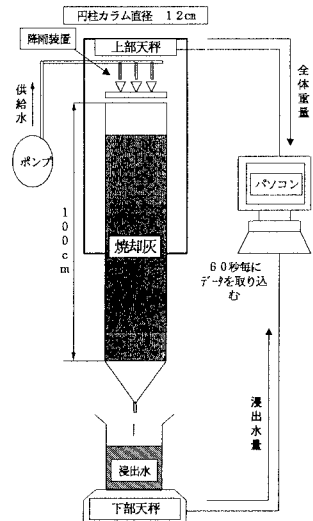


図1 実験装置

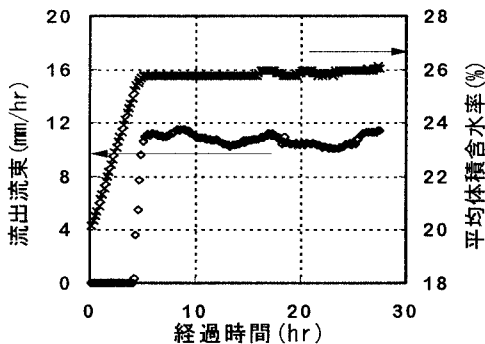


図2 長期降水実験（初期30時間）

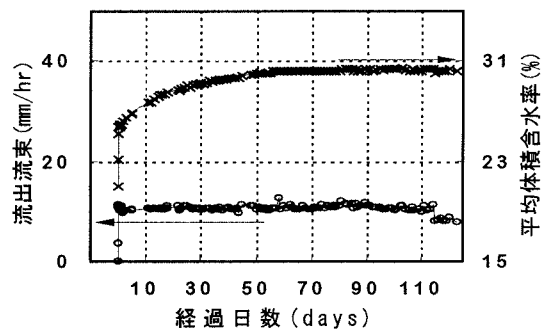


図3 長期降水実験（全実験期間）

3. 実験1〔長期連続一定降雨実験〕

灰Aを乾燥状態で充填（高さ90cm、充填密度 $1.33\text{g}/\text{cm}^3$ 、空隙率0.435）し、下部より注水して飽和させ、2週間ほど水浸状態に置いた。その後排水し54日後に一定の降雨強度（ $10.7\text{mm}/\text{h}$ ）で給水を開始した。充填層の実験開始時の含水率は20.7%である。実験は降雨強度一定のまま連続で125日間継続した。実験開始後30時間の流出水の流速と層内平均含水率の変化を図2に、また全実験期間での変化を図3に示す。図2に示すように降水開始後4時間で流出が開始し、5時間後にはほぼ流入水量に等しい約 $10\text{mm}/\text{h}$ の流量となっている。同時に層内の含水率も急激に増加し、流出水量が流入水量と同等になった時点でほぼ一定となった。しかしながら、図3に見られる通り、流出水量はその後3カ月間ほぼ一定値で推移しているのに対し、含水率は暫増する傾向を示し、約3カ月後に定常に達した。従って、流出水量と層内の含水率が完全に定常に達したのはこの3カ月後の時点であるといえる。しかし、ここで着目すべき点は、含水率が非定常である非常に早期の時点で流出水量は流入水量にほぼ等しい大きさになっているという事である。すなわち、定常時に比較してはるかに低い含水率の時点で流入水の大半は流出しているのである。通常の均質媒体では媒体中を移動する水分量と含水率の間には一対一の対応関係がある。しかし、焼却灰ではほぼ一定の移動水分量を示しつつも含水率が変化していく。こうした特殊性は焼却灰の空隙構造の不均質性に大きく依存していると思われる。つまり、急速に定常して一定値に達する大半の水分は大きな空隙を急激に移動しているものであり、緩慢に増大する含水率は微細空隙をゆっくりと浸潤しているものと考えられる。

4. 実験2 段階的降雨による含水率の増大と流量の関係

実験1から焼却灰中を流れる移動水分はその大半が急速に層内を浸透し、非常に僅かな量が緩慢に含水率を増大させていることが確認された。そこで移動水と密接に関連しているのは移動水と共に急激に増大する含水率であるという仮説を立て、その関係を段階的な降水実験により測定した。実験は実験1で用いたカラムと別のカラム（灰B、高さ80cm、充填密度 $1.12\text{g}/\text{cm}^3$ 、空隙率0.525、初期含水率20.59%）を用いて行い、図4に示すように段階的に降雨を変化させ流出水量のと充填層の平均含水率の推移を計測した。測定は灰Aについて4回、灰Bについて5回のRunを行った。流出水が一定となった時点での層内平均含水率と流出水流束の関係を示したものが図5である。この様に全体の平均含水率で表すと緩速で含水率を増加させている成分も含まれるために流出水流束と含水率の関係は種々の値を取る。そこで降雨強度を変えた直後に応答する急激な含水率の増大にのみ注目し、初期含水率に対する増加含水率（ θ_{rapid} ）のみを算出した。その結果を図6に示す。2本のカラムは充填条件、初期含水率等が異なるため、単に含水率と流出流速の関係では各カラム、各Runごとに種々の含水率をとり、図中の点は散在する。しかし、急激な増加含水率にのみ着目すると図6の様に流出水量と良好な対応関係を得ることができた。

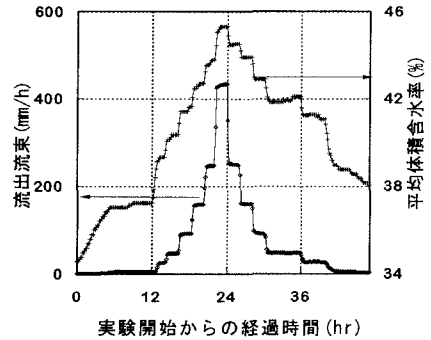


図4 段階降水実験結果例

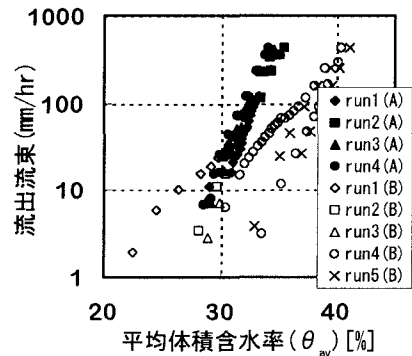


図5 流出流束と平均体積含水率の関係

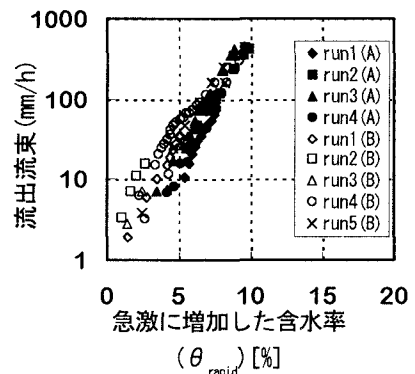


図6 流出流束と急激に増大する含水率の関係