

II-437

廃棄物充填層内の定常不飽和流における非反応性物質の移動特性について

(北海道大学工学部) 正会員 高村 和典(現在、下水道事業団)

正会員 田中 信寿

正会員 神山 桂一

1.はじめに 廃棄物埋立層内に生成した汚濁成分の洗出し(移動)機構の解明は、浸出水処理施設的设计・運転あるいは地下水汚染制御のための重要な課題である。その際、①不飽和流れである、②降雨は断続的で強度は大きく変動する、③汚濁成分は混合作用を受けると共に化学的物物理的变化を受けることなどを考慮する必要がある。本研究では、まず①焼却灰充填層について砂充填層と比較し、②水の流れは定常不飽和流とし、③汚濁成分として反応を起こさぬ食塩を用いて、実験を行ったので報告する。

2.実験材料と装置 実験材料は砂(粒径範囲0.25~0.5mmの海岸砂で真密度2.67g/cm³)

と焼却灰(600kg/s市連続式焼却炉灰ピットから採取、15mm篩下を使用。粒度分布は図1参照。真密度は2.75g/cm³で微粉砕し、 β_2 と2.49g/cm³である。) 実験装置は図2のカラム2基を用いた。カラムに水を満たし、それに砂を落下させ、棒で突固めて充填した。灰は水を少しずつ入れながら灰を加え、棒で突固め、また、水を加えて灰を入れるという操作で充填した。層は1mmメッシュ金網の上に1mmメッシュのサラン網2枚を用いて支えた。ただし、砂層では、さらにガーゼ2枚を重ねた。充填密度は砂層で1.57g乾/l、灰層で1.68g乾/lである。

3.充填層内の流動特性

砂及び灰の水分特性曲線を図4,5に示す。測定は土柱法(図3)による。ただし灰は9.52mm篩下を用いた。次に、実験装置(図2)を用いて求め

た降雨強度と水分滞留量(平均含水率、以下の含水率は体積含水率)の関係を図6,7に示す。これらの図から砂と灰の流動特性には大きな違いのあることがわかる。水分特性では砂の

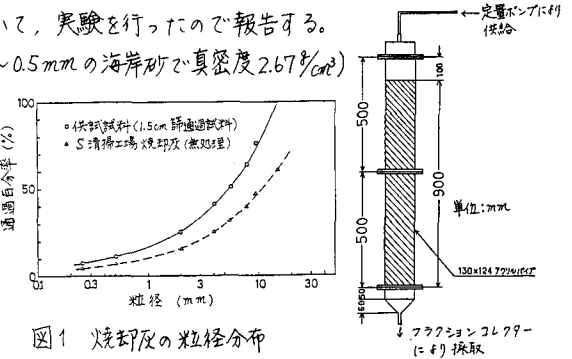


図1 焼却灰の粒径分布

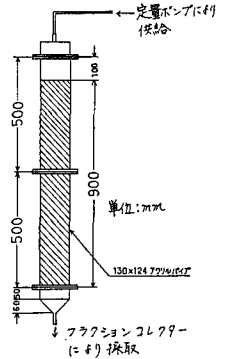


図2 実験装置

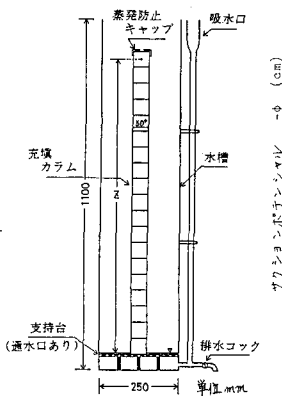


図3 水分特性曲線測定装置

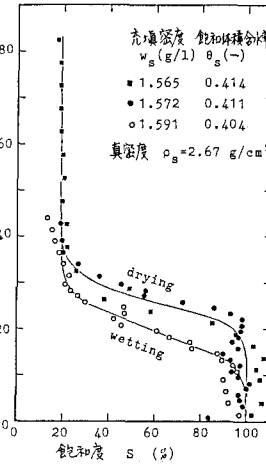


図4 砂の水分特性

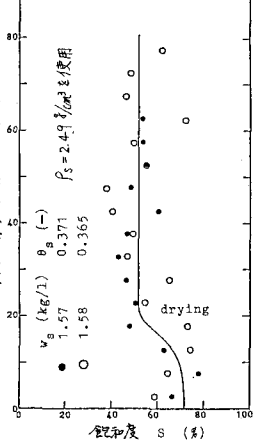


図5 焼却灰の水分特性

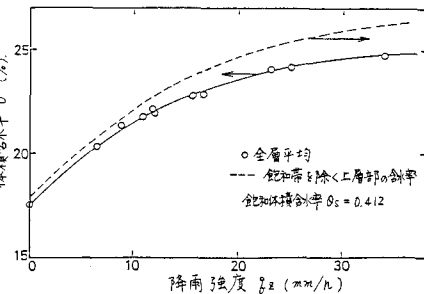


図6 降雨強度と滞水量の関係(砂層)

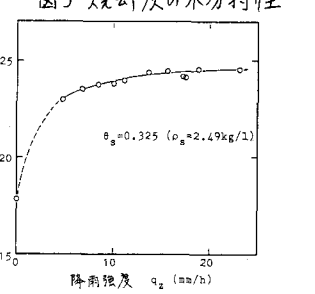


図7 降雨強度と滞水量の関係(焼却灰)

場合、懸垂水状態で飽和度20%であるのに下部には飽和帯が見られる。反では、全体にほぼ一定の含水率(飽和度約50%)となっている。また、降雨強度による滞留量の変化を見ると、反層では含水率の増加が大きくないのに対し、砂層ではその変化が大きい。これらの事から充填層の間隙構造(毛細管径分布)に違いがあり、砂層では比較的均一な管径分布であるのに対し、反層では大きな管径分布があるものと推定される。

4. 定常不飽和流れにおける食塩の移動特性 実験装置に定量ポンプで定常降雨を長時間降らせた後に、水道水降雨から食塩水降雨へステップ状に切替えた時(浸透過程)と食塩水降雨から水道水降雨へ切替えた時(洗出過程)の充填層からの流出水中の食塩濃度を追跡した。流出水は20mlずつフラクションコレクターにより採取し、夜の電導度から食塩濃度を求めた。食塩水濃度は30および3‰の2ケースについて行った。

結果を図8~12に示す。縦軸は濃度変化 $C^0 - C^B$ で無次元化して示す(ここで C^0 は食塩水中の食塩濃度、 C^B はバックグラウンド(水道水)の食塩濃度)。横軸は次の a_1 が平均滞留時間 OL/q_2 に等しいことからこの値で無次元化した。 $a_1 = \int_0^{\infty} \{1 - \bar{C}(k)\} dt = OL/q_2$ θ : 層内の平均含水率, L : 層の長さ, q_2 : 降雨強度

結果の特徴。砂層では①食塩水濃度によって応答の違いがあり、特に浸透過程で大きな違いがある。②応答を無次元時間で整理すると、各々の食塩水濃度についてほぼ同じになる。③浸透と洗出では浸透の方が立ち上がりは早い、定常に達するのが遅い。これは $C^0 = 30\%$ で顕著であるが、3‰でも見られる。反層では、④無次元濃度、無次元時間で整理すると、降雨強度によらずほぼ同じ応答となり、しかも浸透と洗出過程は(反転すれば)ほぼ重なり合う。さらに $C^0 = 30\%$ と3‰で差は小さい。⑤砂層の応答に比べて大きな違いがある。

5. 拡散モデルによるシミュレーション 土壌層内の溶出移動モデルとして多用されている次式を用いる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial C}{\partial \xi} + \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial \xi^2}, \quad \xi = 0 \text{ で } C^0 = 0 + \frac{1}{Pe} \left(\frac{\partial C}{\partial \xi} \right)_{\xi=0} = 0 \quad \text{ここでペクルス数 } Pe = q_2 L / D_2, \text{ 無次元時間 } \tau = q_2 t / OL, \\ \xi = L \text{ で } \frac{\partial C}{\partial \xi} = 0, (C)_{\xi=L} = C^{out} \quad \text{無次元距離 } \xi = z/L, \quad D_2 \text{ は拡散係数}$$

シミュレーション結果を図9~12に示す。砂層ではよい結果が得られず、また反層では小さい Pe 数でよい一致を示すが、そのような強い混合は物理的に疑問である。

6 おわりに さらに、非定常降雨、長時間断続降雨に対する洗出実験を行い、より適切なモデルを確立したい。なお、本研究は土木学会衛生工学委員会広域処分小委員会の研究の一部である。

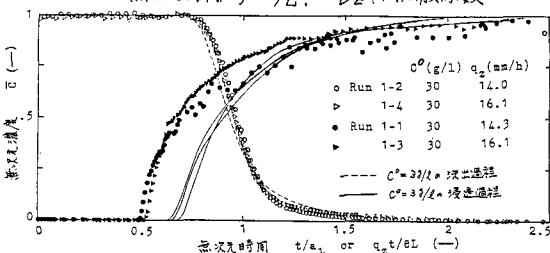


図8 $C^0 = 30\%$ の時の砂層での浸透・洗出過程

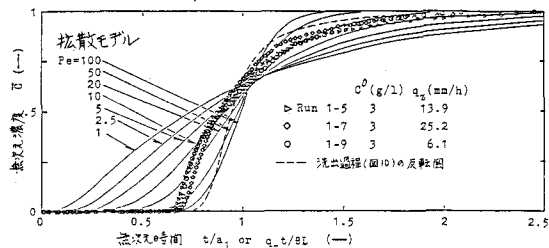


図9 砂層の浸透過程と拡散モデルによるシミュレーション

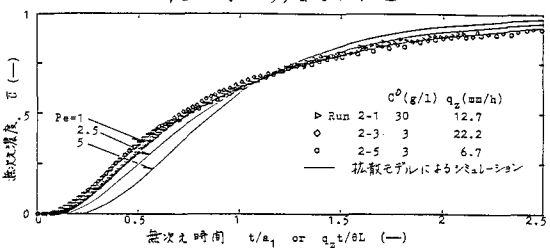


図11 焼却灰層の浸透過程と拡散モデルシミュレーション

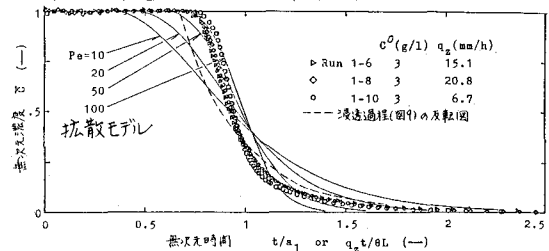


図10 砂層の洗出過程と拡散モデルによるシミュレーション

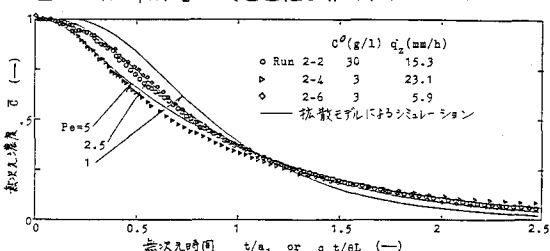


図12 焼却灰層の洗出過程と拡散モデルシミュレーション