

II-481

蒸発の影響下における焼却灰層中の水と汚濁物の挙動

京大工 正員 寺島 泰、学研 木村 健一郎

I. はじめに

廃棄物埋立地における水収支や汚濁物の浸出挙動を支配する要因の1つである蒸発は、埋立層の性状や保水状態など内的条件のほか気温、日射、風速、温度など外部環境条件に影響される。これらを直接総合して計画要素としての蒸発を取扱うことは、困難でもあり意義も乏しい。したがって本研究では、すでに知見の多い環境条件と水面蒸発との間の関係を基礎に、水面蒸発と廃棄物層からの蒸発とを対応させつつ、強制蒸発条件下での水・汚濁物の挙動を実験的に検討する。これに先立ち、焼却灰の水分保持と水分移動の基本的特性について述べる。

II. 焼却灰の水分保持と層内水分核酸

(1)実験方法 ①試料灰; 焼却場から採取した湿潤灰を乾燥させ、10mm篩下としたものを原試料(均等係数9.0)とし、これを実験直前に110℃・1日乾燥したものを乾燥灰、水を均一に加えて一定含水比としてのものを湿潤灰とした。②水分拡散; 直径3cm、長さ2cmのアクリル製カラムセグメント20個を連結したカラムに試料灰を充填し、マリオット給水装置により水平カラム一端の灰層表面を水で飽和させ、一定時間後に各セグメントの水分量を測定した。③不飽和水分分布測定; いわゆる土柱法による測定である。内径5cm、長さ5cmのアクリル製カラムセグメント11個を連結した装置に乾燥灰あるいは湿潤灰を充填し、乾燥灰については吸水過程の、また湿潤灰(含水比0.431)については脱水過程の水分分布を、表面蒸発を防止して3日後に測定した。

(2)実験結果と考察 ①水分拡散; 乾燥灰では48時間後においても灰層内への水分の拡散は認められなかった。含水比0.2に調製した湿潤灰では、120時間後において自由水に接触する灰層表面部分でほぼ飽和含水比となったが、水分の浸入深さは10数cm程度であった。この水分分布曲線を用い、リチャードの毛管ポテンシャル理論及びクリュートの拡散方程式に基づく水分拡散係数 $D(\theta)$ を求めた結果が図-1である。体積含水率 θ が0.2~0.3の範囲で $D(\theta)$ はほぼ直線近似されるが、その値は通常の土層における値に比べて1~2桁小さく、 θ が0.23では $D=0$ となっている。②毛管ポテンシャルと体積含水率; 乾燥灰(空隙率0.31)を用いた土柱法による吸水過程の実験では、14日後においても水分の間隙内上方移動は認められなかった。(1)の結果と併せ、焼却灰層では水分拡散移動は考慮する必要がないと判断される。湿潤灰(含水比0.43)を用いた脱水過程の実験結果を図-2に示す。水分特性曲線としての特徴をみると、土壌では脱水及び吸水過程の曲線は後者が下まわるものの、閉じた形を示すが、焼却灰では脱水過程の曲線のみが得られる。この曲線から毛管水帯の高さは20~30cm程度、これ以上の高さでは懸垂水帯($\theta=0.25$)となる。懸垂水帯では水は宙づり状態となっているが、この力はメニスカスの力よりも水の凝集力、表面張力によるもので、比較的片寄り不飽和の状態にあるものと考えられる。

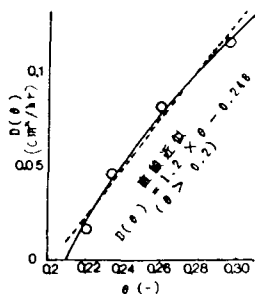


図-1. 水分拡散係数

III. 蒸発に伴う焼却灰層中水分と汚濁物質の挙動

(1)実験方法 ①浅い地下水面を有する場合; 図-3に示す装置3基のカラムに湿潤灰を充填し、脱気水を下方より通水して灰層を飽和させる。その後、表面蒸発を防止しつつ底部水面が一定高さとなるまで室温20℃で重力排水させ、3日後にカラム一本を分解(実験開始時)し、深さ毎に初期含水比と充填体積当りの汚濁物量(体積濃度)を測定した。他の2本については、実験開始時点から扇風機によって送風(表面部分で422 cm/s)し、底部水面を一定に保ちつつ強制蒸発を生ぜしめ、日蒸発量を測定してAカ

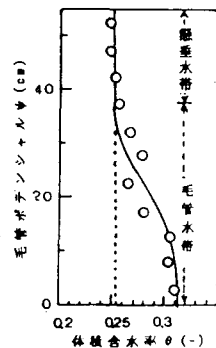


図-2. 毛管ポテンシャルと体積含水率

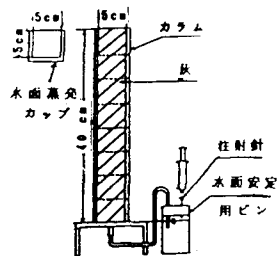


図-3. 蒸発と水・汚濁物移動の実験装置

ムは28日後、Bカラムは43日後に分解し、深さ毎の含水比と体積濃度を測定した。後者は、1gの灰試料を50mlの水に分散、振とう、ろ過し、ろ液の濃度と関係数値から算定した。ロ）深い地下水面を有する場合；イ）と同様な灰充填カラム2本につき、底部水面を持たせない条件下でイ）と同様な実験を行った。

(2) 実験結果と考察 イ）蒸発と水分移動；浅い地下水面を有する場合、開始10日目を境に蒸発速度は若干変化した。初期、後期においてほとんど一定でカラムAで0.0194, 0.011cm/hr、Bで0.0259, 0.0154cm/hr、またカラムBとAの蒸発速度の比 V_B/V_A は初期、後期において1.34, 1.4となった。初期においてはカラムの初期平均体積含水率の比1.32にほぼ等しい。水面蒸発速度は0.096~0.121cm/hr、平均0.107cm/hrとなったが、従ってカラム蒸発の後期（長期安定）では水面蒸発と焼却灰層蒸発との比は $V_W/V_A = 9.7$, $V_W/V_B = 6.9$ となる。

初期及び28日、43日後のカラム内水分分布を図-4に示す。初期において表面部分を除いた懸垂水帯の含水比は約0.3、毛管水帯の高さは先の結果と同様約20cmである。強制蒸発により、特に表面部分の含水比が低下するほか、毛管水帯でも水分上方移動により低下する。その結果28日後では懸垂水帯の含水比0.27、毛管水帯も含めて0.30、43日後では水分勾配がほとんどなく、全体で0.30となっており、初期含水比0.33との差は小さい。従って浅い地下水面を有する場合は、蒸発によっても懸垂水帯の含水比低下はきわめて小さく、蒸発速度もほとんど一定である。なおカラム内の大部分において水分ポテンシャル勾配がきわめて小さいので、不飽和透水係数 $K(\theta)$ については水フラックス F_w が $F_w = K(\theta)$ であるとみなし、 F_w としては後期の蒸発速度を採用すると、 $K(0.25) = 0.011$ cm/hr, $K(0.27) = 0.0154$ cm/hr が得られた。深い地下水面を有する場合（図-5）は、初期には全体が懸垂水帯の含水比0.275を示し、12日後には表面部分（5cm）を除く

以深で一様水分分布（含水比0.19）を示し、平均蒸発速度は0.0015cm/hrとなった。ロ）蒸発に伴う汚濁物質の移動と濃縮；浅い地下水面からの水分上方移動による灰層内汚濁物質の分布の変化を図-6, 7に示す。Clは初期に全層にわたり約8mg/cm²の濃度を示すが、28日後、43日後（カラムAでは間隙体積の71%、Bでは131%の水量が蒸発）には表層を除いて1mg/cm²以下に減少するとともに、表層2cm部分では初期濃度以上、最上層0.5cmでは約40mg/cm²に増大し、43日後の濃度が高い。分布より算定したカラム内Cl量は、初期、28、43日後で1.47g, 1.11g, 1.03gとなった。CODについては初期には全層で約0.6mg/cm²の濃度であるが、水分上方移動によって28、48日後にはClと同様に表面濃縮を生じ、

4mg/cm²、10mg/cm²となっている。一方表面部分以下では全体にわたり若干濃度が増加しており、カラム内総量を算定すると初期、A、Bカラムで0.50g, 0.71g, 0.65gとなり、蒸発後の方が多い。Clのように易溶性のものと異なり、CODの場合は水分移動期間中にも固相からの溶解が進行するものと推定される。また銅の場合にも同様な表面濃縮現象が認められた。全体を通じて詳細は発表時に述べる。

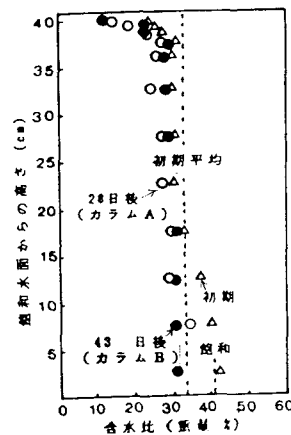


図-4. 蒸発による水分分布の変化（浅い地下水面）

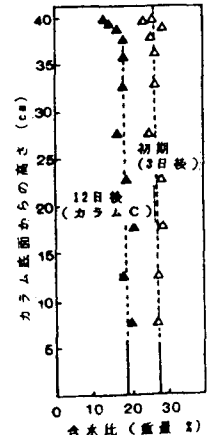


図-5. 蒸発による水分分布の変化（深い地下水面）

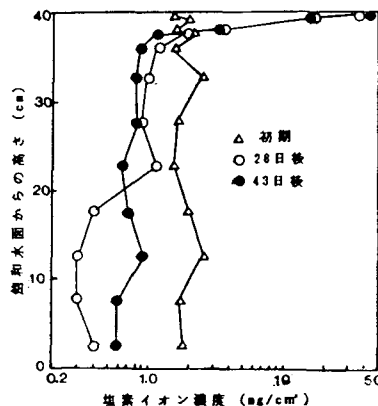


図-6. 蒸発によるCl分布の変化

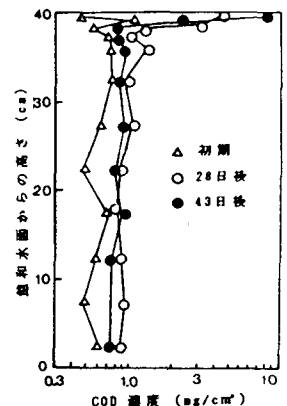


図-7. 蒸発によるCOD分布の変化