

最終処分場の廃棄物層における浸透能の原位置測定

北海道大学大学院工学研究科 正会員 東條安匡 正会員 松尾孝之
正会員 田中信寿 正会員 松藤敏彦
毛利慎也

1. はじめに 浸出水の漏洩防止のためには、最終処分場の内部における適切な浸出水管理が最も直接的且つ効果的な方策であると考えられる。そのため、廃棄物層内水分移動の解明を目的として実験室規模での研究がこれまで数多く行われてきた。しかし、現実の埋立地の廃棄物層が実際にどの程度の透水性を有するのか、さらには実験室規模での実験が、現実の場とどの程度の整合性を有するのか（場の再現性）といったことは厳密に確認されていなかった。水分不飽和状態にある埋立地の原位置で、飽和透水係数、不飽和透水係数、水分拡散係数、水分特性値（ $\phi-\theta$ 関係）等を直接測定することは困難である。そこで、本研究では埋立地の廃棄物層の浸透能を測定し、その測定結果から種々の水分特性を推定することを検討した。

2. 測定方法 本研究ではシリンダーインテークレート試験（以下CIR試験）により原位置での浸透能を測定にした。装置の概略図を図1に示す。鉄板とハンマーを用いて廃棄物層に直接打ち込んだシリンダー内にマリOTTタンクを利用して一定の水位を形成した。浸透水量はタンクの重量変化として5～10秒間隔でパソコンに取り込み、その結果をもとに浸透能を算出した。シリンダーはステンレス製で（内径20cm、長さ40cm）（内径20cm、長さ50cm）（内径30cm、長さ50cm）の3本を使用した。通常、CIR試験ではシリンダーを二重管とし、緩衝池を設けて測定が行われるが、今回は、埋設上の都合から単管で行った。各測定地点では浸透試験前の初期含水率と密度の測定もあわせて行った。測定は、焼却灰主体埋立地の焼却灰層（表層露出面、表層より70cm掘削した地点）、混合ごみ埋立地の覆土下ごみ層、不燃ごみ埋立地覆土下で行った。それぞれ詳細を表1に示す。

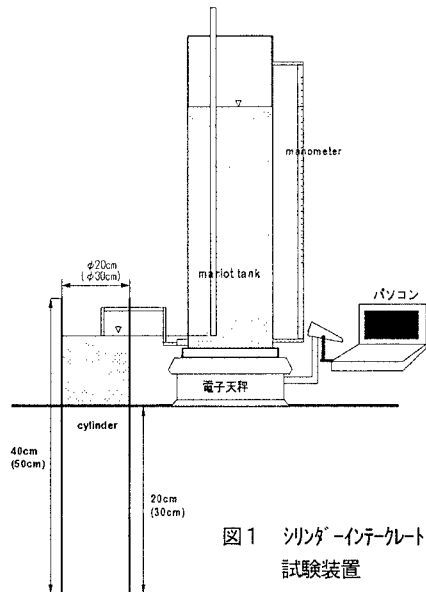


図1 シリンダーインテークレート試験装置

3. 測定結果 CIR試験における浸透現象は湛水条件下の一次元浸潤と見なされる。従って、一般に浸潤の初期には媒体のサクションポテンシャルの影響で最大値を示すが、浸潤の進行に伴う含水率の上昇により深さ方向のポテンシャル勾配が減少して最終浸透能と称される一定値に漸近する。封入空気等の影響のため、最終浸透能に達した時点で媒体が完全に飽和しているとはいえないが、浸潤前線より上層ではほぼ飽和に近い水分を保持し、また水分移動の駆動力も重力が優勢となるので飽和透水係数と概ね一致するという見方もある。そこで、最終浸透能と飽和透水係数の関係を確認する目的で、海岸の砂浜においてCIR試験を行い、そのシリンダーを直接持ち帰り、実験室で定水位の飽和透水係数試験を行った。結果を表2に示す。両者の数値は近く、CIR試験で得られる最終浸透能から、廃棄物層の飽和透水係数の大略の値を知ることができると考えられる。同様の実験は埋立地の焼却灰層でも行い、その結果を同表中に記した。若干の相違はあるものの焼却灰層の試験においてもオーダー的には同一のものが得られた。

以下、各埋立廃棄物ごとの浸透能測定結果を示す。

＜焼却灰層＞ 浸透能測定結果の例を図2に示す。浸透能は、いずれの測定点においても浸潤開始直後は大きな値を示すが、その後急激に減少

表1 浸透能測定対象廃棄物

対象物	状況	測定数
焼却灰	表層	27
	70cm下	3
混合ごみ	覆土	4
	覆土下	7
不燃ごみ（転圧前）	搬入直後	2
	（転圧後）	2

キーワード：廃棄物層、透水係数、浸透能、シリンダーインテークレート試験

連絡先：札幌市北区北13条西8丁目 TEL 011-706-6827 FAX 011-706-7890

し、概ね300秒以内に一定値に達する傾向を示した。現場の乾燥密度は約 $1\text{g}/\text{cm}^3$ であり、密度より間隙率を算出してシリンダー内の全間隙が水分で満たされる時間を求めると約300～500sec程度である。従って、シリンダー内において浸透能が一定値に達していると思なせ、現象の1次元的な取り扱いに問題はないと思われる。試験を行う場の締め固めの状況等により最終浸透能に差異が見られるが、焼却灰層における最終浸透能は大半が約 $0.01\text{cm}/\text{s}$ であり、これまで実験室で測定されている飽和透水係数とオーダー的に一致していた。一方、搬入路上などで非常に転圧された場では $10^{-3}\text{cm}/\text{s}$ 程度、また、投棄後十分な締め固めのなされていない地点では $10^{-1}\text{cm}/\text{s}$ 以上という結果も得られた。

深さ70cmにおける浸透能（図は省略）は表層部と同等であり、深度方向への浸透能の変化は今回の測定では確認できなかった。これは深度が70cmと浅いこと、対象とした埋立地の総埋立厚さが未だ3mに満たず、上部からの載荷をあまり受けていないことなどが理由と考えられる。

〈混合ごみ層〉 混合ごみ埋立地ではビニールフィルム等が層状に重なっており、シリンダーを埋設すること自体が困難であったが、シリンダー側壁より切り進み埋設した。浸透能の最終値は約 $0.04\text{cm}/\text{s}$ であり、埋設したシリンダーを乱さずに掘り返して実験室に持ち帰り、定水位法により測定した飽和透水係数もほぼ近い値であった。しかし、シリンダー埋設により薄層状のビニールフィルムが乱されるため、実際の浸透能とは異なる可能性があり、また、ビニールフィルムの存在によって本来は水平方向に向かう水分移動を鉛直方向の移動として測定しているとの問題もある。シリンダー内の構造の持つ透水性は確認できたと思われるが、実際の現場そのものの構造であるという信頼性は低い。

〈不燃ごみ層〉 分別ごみ埋立地ではごみ層露出面及び覆土をはがしたごみ層表面で測定を試みた。しかし、ごみ層露出面では廃棄物が空き缶やペットボトル、プラスチック容器等の粗大物であり、注入した水は一定水面に保持することが不可能なほどの透水性を示し、測定不能であった。覆土をはがしたごみ層表面でも廃棄物が大きく硬いことからシリンダーを埋設できず、直径20cm程度の円柱形の穴を掘りゲルパーミアメーター試験と類似の測定方法で測定した。ごみ層内に覆土がかなり混入しており、透水性は低く、覆土と同程度の $10^{-4}\text{cm}/\text{s}$ となった。

4. 不飽和浸透特性の推定 浸透能の低下曲線に対して1次元の不飽和浸透シミュレーションを行い、焼却灰の現場の含水率に対応するサクシオンポテンシャルの推定を試みた。解析は①Richardsの不飽和水分移動式をCrank-Nicolson法で解く方法と②Green-Amptの解析解を用いる方法の2通りを採用した。run26に対する計算結果を図3に示すが、いずれの方法においても現場で測定された含水率24%に対してサクシオンを -0.5cm 以下としたシミュレーションが浸透能の低下傾向を良好に表現した。焼却灰のサクシオンが非常に小さいという結果も実験室で行った土柱法実験で確認されていたものと同様である。

5. 結論・課題 本測定の結果、廃棄物層の最終浸透能のオーダーを表3のように得ることが出来た。また飽和透水係数と最終浸透能の比較から、焼却灰の同一試料ではほぼ同程度の値となり、本測定では埋立地の焼却灰層の飽和透水係数は $10^{-2}\text{cm}/\text{s}$ であった。また、不飽和浸透解析から現場の焼却灰層のサクシオンが小さいことも確認された。

表2 最終浸透能と飽和透水係数の比較

	海岸の砂	焼却灰
最終浸透能 (cm/s)	0.0084	0.022
飽和透水係数 (cm/s)	0.0087	0.018

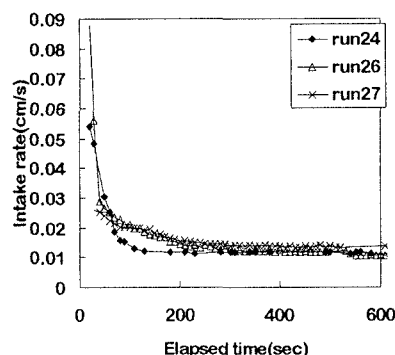


図2 焼却灰層浸透能測定結果例

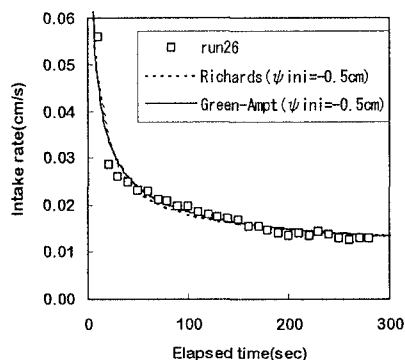


図3 run26に対するシミュレーション結果

表3 各種廃棄物層の最終浸透能のオーダー

内容物	最終浸透能 (cm/s)
焼却灰	10^{-2}
混合ごみ（覆土）	10^{-5} 以下
（ごみ層）	10^{-2} 程度
不燃ごみ（転圧前）	測定不能 (10^1 以上)
（転圧後）	10^{-4} 以下
砂	10^{-2}