

(17) 廃棄物埋立場浸出液の集水効果について

○山崎 惟義* 大西 和栄** 花嶋 正孝*

Koreyoshi YAMASAKI* Kazuei ONISHI** Masataka HANASHIMA*

ABSTRACTS; To ascertain the phenomenon by which leachate is collected by a leachate collection pipe, and how much part of leachate flows into the ground and how much is collected by the collection pipe, (1) we experimented the leachate collection in the experimental sanitary landfill model, and (2) we analyzed seepage flow near the interface between base ground and waste. We got the results: Some part of leachate flows into the ground and the other part of it is collected by the collection pipe. (2) The amount of the leachate that flows into the ground depends only on the seepage characteristics of ground soil and rain fall intensity i.e., the excess of the rain fall over seepage capacity of ground soil is collected by the collection pipe. (3) The amounts of leachate that is collected and flows into the ground are affected by the atmospheric pressure.

KEYWORDS; SANITARY LANDFILL, LEACHATE, LEACHATE COLLECTION, SATURATED AND UN-SATURATED SEEPAGE FLOW, INCINERATOR RESIDUE

1. ま え が き

(1) 背 景

廃棄物埋立場の周辺環境に及ぼす影響のうち浸出汚水によるものは最も大きなものの一つである。この浸出液による環境汚染としては、浸出液が表流水に混入することによる河川、湖沼汚染と、地下水に混入することによる地下水汚染とがある。表流水の汚染の場合は、浸出液を処理することによって対処する事は困難ではない。一方地下水汚染の場合、問題は非常にやっかいである。そこでこれを防止するために、一般には、埋立場底面に防水シートをはるることによって浸出液の地下水への浸透を防止している。ところが、このシート等によって、埋立場の建設コストが非常に大きくなっている。(1 m²あたり数千円程度) 又、ゴムシートのキ裂、あるいは火災による焼失、シートの耐久性等の問題もある。この様に、防水シートにも種々の問題があり、これについては、その方向からの研究が必要であろう。

しかし、浸出液に本質的に対応するには、浸出液の地下浸透のメカニズムを明らかにし、それに対応する形で環境保全対策を構ずる必要がある。すなわち、廃棄物底面に達した浸出液がどの様にどれだけの量地中へ浸透するか、あるいは集水管へ流出するかを明らかにし、それに基づいて浸出液の地下浸透の防止対策を立てる必要がある。

(2) 目的及び手法

上記の問題へのアプローチの一つとして、本報告では、①廃棄物底面と基礎地盤の境界での浸出液の流れを解析する。②これに基づいて、防水工がない場合の集水管による集水効果を明らかにする。③最適な集水構造の検討。④地下浸透した浸出液が地下水へ混中する過程を解析する事を目的とする。

①～④を明らかにするための実際的手法としてここでは ①廃棄物埋立場をモデル化した浸透実験

* 福岡大学工学部 Fukuoka Univ. Eng. Dep., ** 福岡大学理学部 Fukuoka Univ. Sci. Dep.,

を行う。②飽和不飽和浸透理論によって、浸出液の移動を解析する。③廃棄物及び基礎地盤の透水パラメーターを測定する。④③で求めた透水パラメーターを用いて、②の数値計算を行う。⑤モデル実験の結果と④の数値計算の結果を比較検討するという手法について検討を行う。特に本報告では、実験に重点をおき、理論解析は若干付加するにとどめる。

2. 実 験

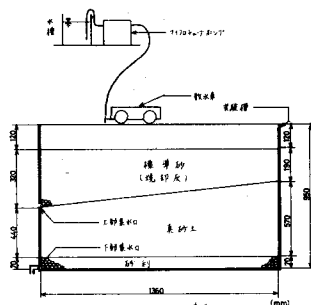
(1) 集 水 実 験

目 的

廃棄物埋立場底面近くにおける浸出液の移動及び集水管による浸出液の集水効果を実験的に明らかにする事を目的とする。

廃棄物埋立場に降った雨は、一部表流水として排除されるが、一部は廃棄物層へと浸透する。廃棄物層へ浸透した雨水は、表面から一部は蒸発するが、残りは埋立地盤へ浸透していく。基盤に達した雨水は一部基盤と廃棄物境界面近くを流下し、集水管が設けられていればそこへと集水される。一方、基盤に達した雨水の一部は、地盤へと浸透していき、これが地下水汚染の原因となる。

ここでは、この現象を実験的に明らかにするために、基盤、廃棄物境界付近のモデルとして図(2-1)に示した装置を設けた。すなわち、散水車とマイクロチューブポンプによって焼却灰又は標準砂表面に散水された水は、焼却灰又は標準砂層を通して真砂土との境界面に達し、一部は境界近くを流下し上部集水口に集められる。又、一部は真砂土層へと浸透して行き、下部集水口に集められる。このようにして、散水量のうちどれだけが集水され、どれだけが真砂土層へ浸透して行くかを明らかにすることができる。



図(2-1) 実験槽

1) 実験装置

本実験装置は廃棄物埋立場をモデル化した実験廃棄物槽と、これに降雨に相当する水を供給する降雨装置より成っている。

図(2-1参照)

実験廃棄物槽

図(2-1)に示すように、本槽には側壁中央部と下部に集水口を設けたアクリル製の廃棄物槽である。それぞれの穴には集水の受口を取りつけた。

散水装置

一定量の水を廃棄物上面に均一に供給するために、10連マイクロチューブポンプを用いた。ポンプの吐出口は廃棄物表面横方向に10個ならべ散水車によって、従方向に一定速度で、移動散水できるようにした。

散水車は常時往復運動をさせておき(周期4分程度)復時のみマイクロチューブポンプを作動させた。従って24時間はほぼ連続に散水できたと考えられる。

2) 槽の充填

埋立場底面を難透水層と、透水層の境界が傾斜した2層問題と考えて、次のように槽を充填した。

図(2-1)に示したように、実験槽に、砂利、真砂土、砂又は焼却灰を充填した。まず底部に径約3cmの砂利を充填、その上に真砂土を締め固めながら、各層10cm程度づつ充填し、上部集水口のレベルに達すると、そこから約6°の傾斜をつけて最終層の充填を行った。次に上部集水口のまわりに、底部と同じ砂利を直径約10cmの1/4円筒状に置いた。その上から砂を締め固めながら、充填した。この状態で一連の散水実験を行い、その後砂を焼却灰におきかえた。これらの充填条件は表(2-1)に示したとうりである。

表(2-1) 実験槽充填物の条件

条件\試料	標準砂	焼却灰	マサ土	砂利	単位
全重量	294.8	280.0	597.5	81.1	kg
体積	0.160	0.160	0.316	0.044	m ³
含水率	3.93	20.56	12.4	—	%
湿潤単位重量	1.843	1.750	1.891	1.843	t/m ³
乾燥単位重量	1.771	1.390	1.657	—	t/m ³
真比重	2.63	2.46	2.60	—	—
空隙率	32.66	43.50	36.27	—	%

但し、焼却灰の成分はガラス、陶器、金属、十分に焼却されない紙類等が含まれ、かなり不均一である。

そこで今実験では、成分を均一化するために、焼却灰を3cm目のふるい分けを行い、大きな塊を除去した。

3) 集水実験

散水

マイクロチューブポンプを調整して、所定の量の散水を行う。

散水量はポンプの吸入口を水槽に入れておき、1日間での水槽中の水量の減少量を測定することによって求めた。散水量を数回づつ変化させた一連の実験を行った。

上部、下部集水量の測定

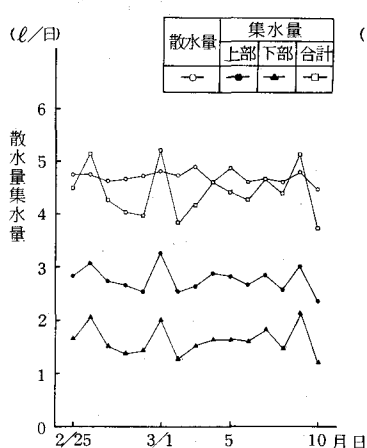
上部集水口および下部集水口からオーバーフローして来る水をタンクに導き、1日1回その量を測定した。

気圧は約2km離れている福岡管区気象台のデータによった。

4) 実験結果

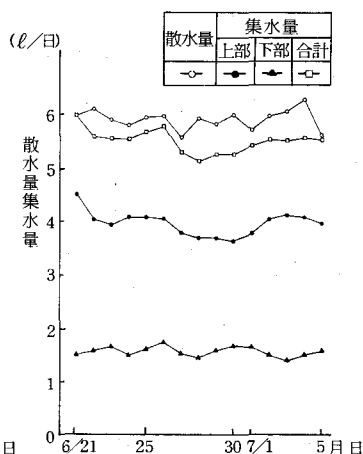
散水量、上部集水量、下部集水量の関係

散水量を段階的に変えたときの散水量、上部集水量、下部集水量の経時的な変化を図(2-2)～図(2-8)に示した。



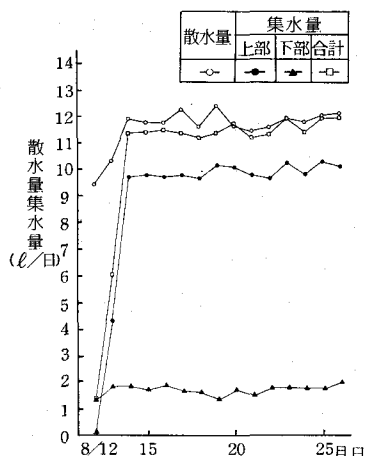
図(2-2) 散水量及び集水量の経時変化

上層: 標準砂 下層: 真砂土



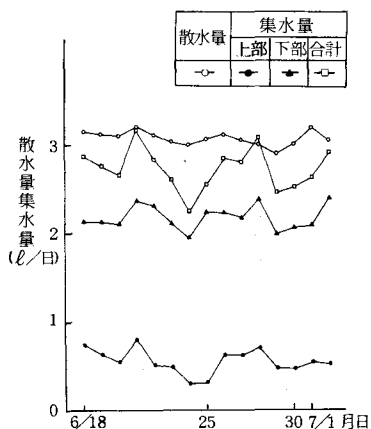
図(2-3) 散水量及び集水量の経時変化

上層: 標準砂 下層: 真砂土

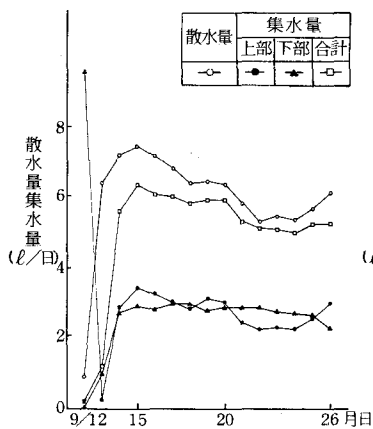


図(2-4) 散水量及び集水量の経時変化

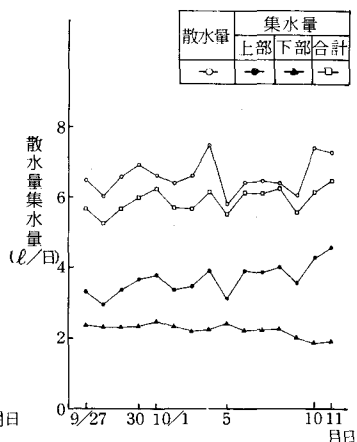
上層: 標準砂 下層: 真砂土



図(2-5) 散水量及び集水量の経時変化
上層: 焼却灰 下層: 真砂土



図(2-6) 散水量及び集水量の経時変化
上層: 焼却灰 下層: 真砂土



図(2-7) 散水量及び集水量の経時変化
上層: 焼却灰 下層: 真砂土

5) 実験の考察

散水量, 集水量の変動

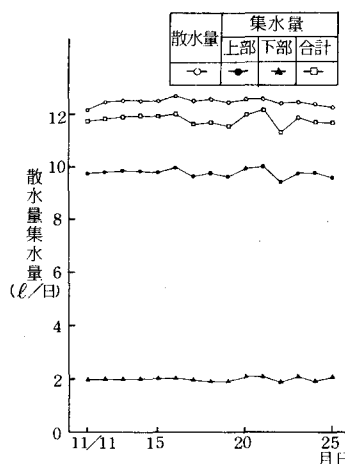
図(2-2)～図(2-8)からわかるように各段階で散水量を完全に、一定にする事はできなかった。又、散水量を変化させた直後集水量がほぼ一定になるまでにもいくらか時間を要した。そこで以下の解析は、散水量がほぼ一定で、集水量もあまり変化のない区間について検討することにした。

気圧変動と集水量との関係

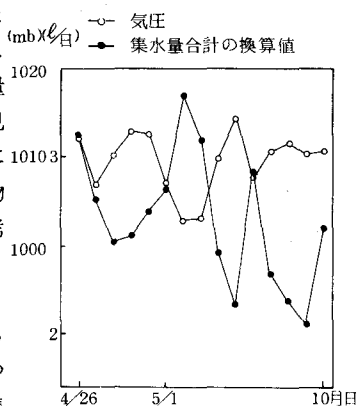
散水量はほぼ一定の場合でも、各集水量およびその合計が大きく変動していることがある。一連の実験から、気象との関係があることがわかった。そこで気象のうち、最も影響の大きいと考えられる気圧と、上下集水量の合計との経時変化の例を図(2-9)に示した。この図からわかるように、気圧が高くなると、集水量の合計は小さく、気圧が低くなると集水量の合計は大きくなる傾向がある。そこで気圧と上・下集水量の合計との関係を図(2-10)に示した。これからわかるように、気圧と集水量の合計には負の相関があるように見受けられる。このことは気圧変動によって生ずる、土壌あるいは廃棄物中の空気の体積変化によるものと考えられる。

散水量と上, 下部集水量の関係

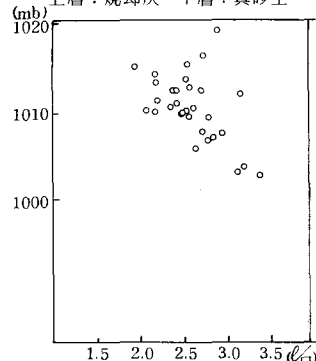
図(2-2)～図(2-9)からわかるように3ℓ以上の散水量については、散水量が増加すると上部集水量はそれとともに増加するが、下部集水量にはあまり変化がない。そこで散水量と上, 下部集水量との関係を図(2-11), 図(2-12)に示した。これらの図から上記のことがより明らかになる。



図(2-8) 散水量及び集水量の経時変化
上層: 焼却灰 下層: 真砂土



図(2-9) 気圧及び上, 下集水量合計の経時変化



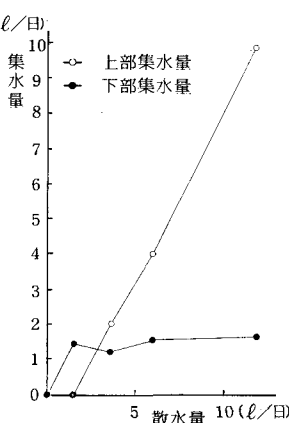
図(2-10) 気圧と集水量合計との関係

又、図(2-12)において散水量2 (ℓ/日) ℓ〜3 ℓでは、下部集水量も散水量とともに増大する。2 ℓ以下では上部集水量は0となる。このことから、本実験のような条件下では真砂土層には、ほぼ一定の(この場合約1〜2 ℓ/日 i.e. 0.2〜0.4 cm/日程度)の透水能があり、その透水能以上の降雨は全部上部集水量として、浸出することになると考えられる。

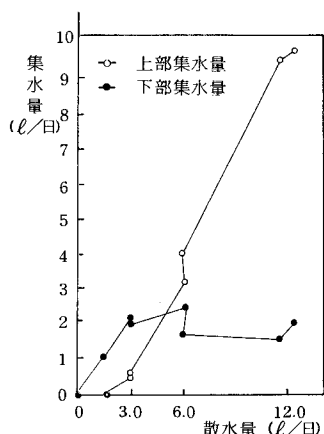
このことは後述するように、上層を焼却灰に置きかえても下部集水量に大きな変化のないことからより明らかとなる。図(2-12) 参照

砂と焼却灰との浸出特性の違い

散水量と浸出量との関係を示す図(2-11)、図(2-12)からわかるように、上層を砂あるいは焼却灰とかわけても、上下の浸出量と散水量との関係はあまりかわらない。



図(2-11) 散水量と集水量合計との関係
上層：標準砂 下層：真砂土



図(2-12) 散水量と上、下集水量の合計との関係
上層：焼却灰 下層：真砂土

(2) 透水実験

目的

3.で述べるように、浸透解析を行うには透水パラメーターを与える必要がある。そこで本実験の目的は、飽和不飽和透水パラメータすなわち、含水率と吸引圧水頭との関係 $\theta(h)$ および透水係数と吸引圧水頭 $K(h)$ あるいは含水率 $K(\theta)$ との関係を集水実験で充填した各試料について実験的に求めることである。

1) 試料の採取

集水実験のために充填した真砂土、砂、焼却灰をサンプリングし、100 ml のサンプラーに充填した。

2) 透水実験装置

本実験の装置を図(2-13)に示した。本実験装置は試料を入れたカラム、メンブレンフィルター、真空器及び電子天秤より成る。

3) 透水実験方法

- ① 試料を充填したカラムを水につけ、試料に水を吸収させる。
- ② 実験装置にカラムをセットし、真空容器の圧力を一段階下げる。
- ③ カラムからフィルターを通して浸出してくる水量を電子天秤によって経時的に測定する。
- ④ 水が浸出しなくなると、真空容器の圧力をさらに一段階下げ上記の実験をくり返す。
- ⑤ 所定の圧力まで下げると以後逆に圧力を段階的に上げながら上記の実験をくり返し、大気圧まで上げた所で終了とする。
- ⑥ 最後にカラムから試料を取り出し、最終含水率を測定する。

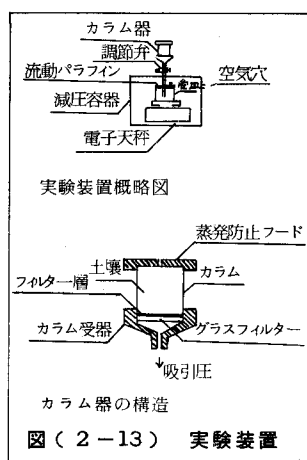
圧力の段階を表(2-2)に示した。

4) 実験結果

浸出水量と時間との関係の一例を図(2-14)に示した。

透水パラメーターの計算

- ① 含水率 θ と吸引圧水頭 h の関係



図(2-13) 実験装置

表(2-2) 透水パラメータ測定実験での各吸引圧水頭の段階

段階	試料	真砂土	焼却灰
0		0.0	0.0
1		25.2	25.2
2		40.8	41.5
3		59.2	59.2
4		109.5	95.9
5		191.1	195.2
6		263.2	263.2
7		189.7	372.0
8		109.5	263.2
9		61.9	195.2
10		43.5	95.9
11		25.2	59.2
12		0.0	41.5
13		—	25.2
14		—	0.0

単位 (cm)

② 土壌水分拡散係数の計算

段階的に変えた圧力の各段階に対して土壌水分拡散係数は一定であると仮定した。この

様に仮定すると、各段階での浸出量と時間の関係は

$$W(t) = W\infty \left\{ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \text{EXP} \left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2}{4L^2} Dt \right) \right\} \dots\dots (3-1)$$

ここで $W(t)$: 浸出水量 (ml)

$W\infty$: 最終浸出水量 (ml)

L : カラムの長さ (cm)

D : 土壌水分拡散係数 (cm^2/sec)

となる。(図(2-14)参照)

そこで実験で求めた浸出液量と(3-1)が最もよく合うような D を求めた。

各段階における D を求めることにより、 D と吸引圧、水頭の関係 $D(h)$ を求めることができる。又、含水率 θ と吸引圧水頭 h の関係がわかっているので、拡散係数 D と θ との関係 $D(\theta)$ を求めることができる。

③ 不飽和透水係数

$K(\theta)$ と $D(\theta)$ との関係は次式で表わされる。

$$K(\theta) = D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial h} \dots\dots (3-2)$$

$K(\theta)$: 不飽和透水係数 (cm/sec)

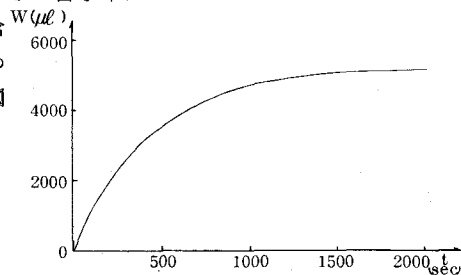
$D(\theta)$: 土壌水分拡散係数 (cm^2/sec)

θ : 含水率 (%)

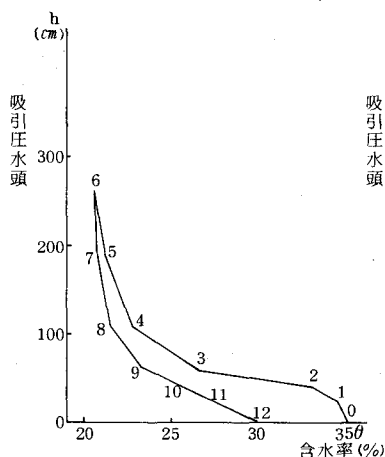
h : 吸引圧水頭 (cm)

浸出入した水量と最終含水率より、各時点の含水率を求め各吸引圧水頭の平衡の含水率を計算し、(各圧力段階で水が浸出入しなくなったときの含水率)

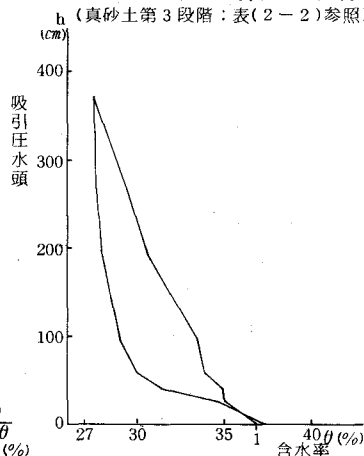
吸引圧水頭と含水率の関係を求めた。この結果を図(2-15)、図(2-16)に示した。



図(2-14) カラム中の土壌水分浸出特性
(真砂土第3段階: 表(2-2)参照)



図(2-15) 吸引圧水頭と含水率の関係
(真砂土)



図(2-16) 吸引圧水頭と含水率の関係
(焼却灰)

上式に実験で求めた $D(\theta)$ 及び $\theta(h)$ を代入することによって $K(\theta)$ を求めた。

又、 $\theta(h)$ がわかっているのて、 K を h の関数として、 $K(h)$ を求めることができる。

$K(\theta)$ を図 (2-17)、図 (2-18) に示した。

3. 浸透理論による解析

目 的

集水実験の結果を浸透理論により説明し得るかどうかを検証する事を目的とする。

(1) 解析方法

解析方法は Neuman¹⁾ 赤井²⁾の方法によった。コンピュータプログラムは秋根³⁾による飽和不飽和有限要素法プログラムを使用した。

(2) 解 析

1) 三角形要素

有限要素分割を図 (3-2) に示した。

2) 透水パラメーター

真砂土、標準砂、焼却灰の散水量は、 $0.694 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ ($37.51 \ell / \text{日}$)、 $0.289 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ ($15.62 \ell / \text{日}$) について計算した。

透水パラメーターの主ヒステリシス曲線 $\theta(h)$ 、 $K(h)$ は実験より求めた値を Gillham⁴⁾ に従い回帰して求めた。

3) 境界条件

図 (3-1) に示した。

(3) 解析結果

1) 流 速

計算結果のうちの一例として、浸透流速を図 (3-2) に示した。

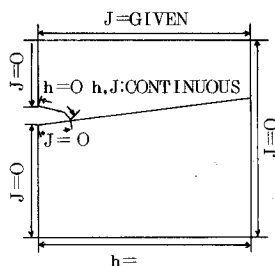


図 (3-1) 計算に用いた境界条件

(J: 浸透流速, h: 吸引圧水頭)

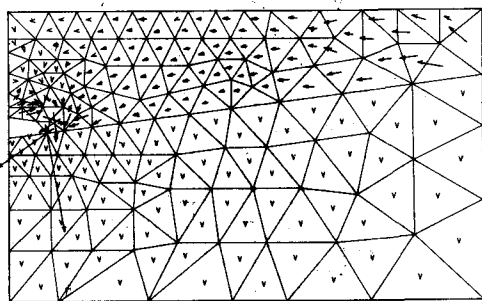


図 (3-2) 雨量 2.5 mm/hr のとき浸透流

(5.0 時間後) $\leftarrow: 0.1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$

4. 考 察

実験結果と理論解析との比較

実験では槽内部での浸透流速は求められていないが、上部集水口、下部集水口から浸出があるという事から、その方向への浸透流がある事は明らかである。計算結果、図 (3-2) を見ると、これも上部集水口、及び下部集水口 (この場合は、領域底面方向) への浸透流がみられ、定性的には、各集水口へ浸出があるという実験結果を説明し得ると考えられる。

5. 結論および今後の課題

(1) 結 論

実験より

- ① 防水工のない廃棄物埋立場において、降雨のうち一部は、集水管へ浸出液として浸出し、一部地下へ浸透するという現象を確認できた。
- ② 地下へ浸透する水量はこの実験の範囲内では、埋立地基盤の特性と降水量のみによって定まる。すなわち、基盤の透水能以上の降雨があった場合にのみ透水能を越えた水量が集水管へ集まる。
- ③ 気圧変動によって浸出水量は変化し、気圧が低下すると、浸出水量は増加する傾向がある。

理論解析より

廃棄物埋立場での浸出液が廃棄物、基盤両境界層と集水管という構造によって、集水されるということのを定性的に記述することができた。定量的には、まだ問題がある。

(2) 今後の課題

理論解析の精度を上げて、定量的に集水効果を記述する手法を開発する必要がある。
上記の問題を解決し、最適な浸出液の集水構造の設計手法を今後開発していきたい。

謝 辞 本研究を進めるに当り、本研究室卒業生に実験及び計算で大変お世話になりました。心より深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Neuman, S. P. : Saturated Unsaturated Seepage by Finite Elements. Proc. ASCE HY, Vol. 99, No. 12, pp. 2233-2250, 1973
- 2) 赤井・大西・西垣：有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析．土木学会論文報告集，第264号，pp. 87-96, 1977
- 3) 秋根・小柳・小畑：飽和不飽和浸透問題の解析プログラム．福岡大学工学集報，第23号，pp.239-252，1979
- 4) Gillham, R. W., Klute, A., and Hermann, D. F. : Hydraulic Properties of a Porous Medium ; Measurement and Empirical Representation. Soil Sci. Soc. AM. J., Vol. 40, No. 2, pp. 203-207, 1976.