

波浪によって砂浜域に打ち上げられた湖水の浸透水量の測定法

浜 田 篤 信

波浪によって湖岸帯の砂浜に打ち上げられた湖水は、一部は湖岸帯の地表面を流下し湖へ還流されるが、他は砂層に浸透して湖へ還流されている。この過程で、湖水に含まれる有機物は濾過分解されるなどの変化を受けて湖へ戻る。湖岸帯における水質浄化機能と構造を定量的に検討しようとするならば、この場における水質の変化と水収支を定量化することが必要となる。このような観点から、本報告においては湖岸帯砂浜に波浪によって打ち上げられた湖水の砂層への浸透量の測定方法と測定事例を報告する。

1. 浸透水の測定原理

波浪によって湖岸帯陸域に打ち上げられる水量（以下に陸域への波浪流量と云う）の一部は、砂層を湖水面水準まで鉛直方向に流下し、更に沖合い方向へ移動する。したがって、砂層に砂粒子よりも目合の小さいネットを蓋とする容器を、蓋の部分が湖水面直上に位置するように埋設し、浸透水を導入し流量を測定すれば、汀線から任意の地点の浸透水量を知ることが出来る。更に、汀線からある間隔で測定を行い、得られた結果を汀線からの距離について積分すれば湖岸単位延長当りの浸透水を定量化することが出来る。

流量の測定については、砂層内で大部分が湖水面以下に位置するように埋設した指標物質（フルオレッセン・ナトリウム）内蔵の容器について、指標物質の濃度変化から算出することが出来る。容器内の指標物質の濃度（ C ）は、容器内に流入する浸透水によって希釈され、容器内が良く混合されていれば次式にしたがって変化する。

$$\begin{aligned} dc/dt &= -Q \cdot C \\ C &= C_0 \exp. (-Q \cdot t/V) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 C_0 は指標物質の最初の濃度、 t は時間、 V は容器の水容積である。従って、容器内の指標物質をある時間間隔で測定すれば浸透水を求めることが出来る。

2. 測定容器の構造と設置方法

実験に供した容器はポリエチレン製の1リットル広口ビンで、蓋の部分を直径38 mmの円形状にくり抜き、この部分をプランクトンネット地（60メッシュ、空隙率0.550）で覆い浸透水の流入口とした。容器の底面から2 cm上方の1箇所を直径20 mmの円形状にくり抜き同様のネット地で覆い流出口とした。又、容器内の水を採取する目的で、容器の上方にゴム栓でガラス管を取

り付け，埋設された容器内に指標物質を注入し，容器内から随時採水出来るように設計した。

容器の埋設は，砂層が崩れないように直径15 cm，長さ50 cmのビニール管を砂層に打ち込み砂を取り除き，湖水面の上昇が止まるのを待って，容器の蓋に取り付けたネットの水準面が水面から15～20 mm上方へ位置するように埋設した。容器は，波浪の大きさに応じて汀線から数10 cm間隔で3～5個埋設した（図1）。

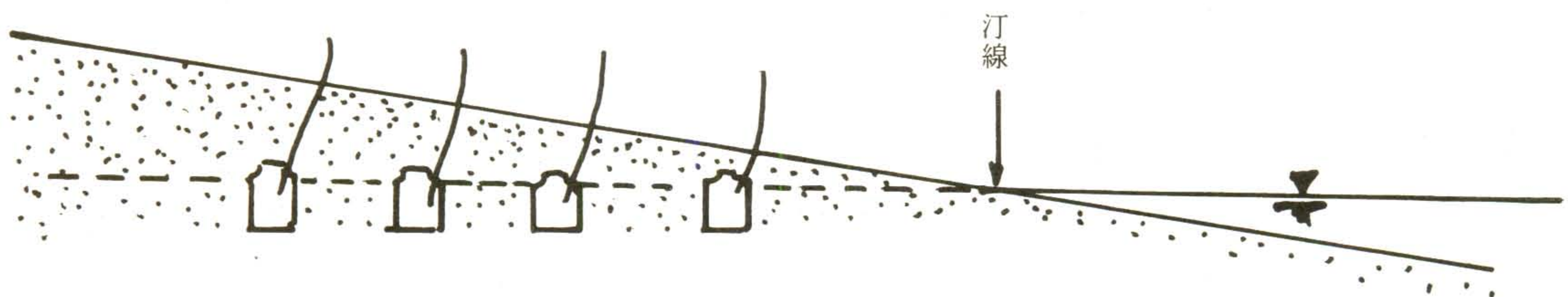
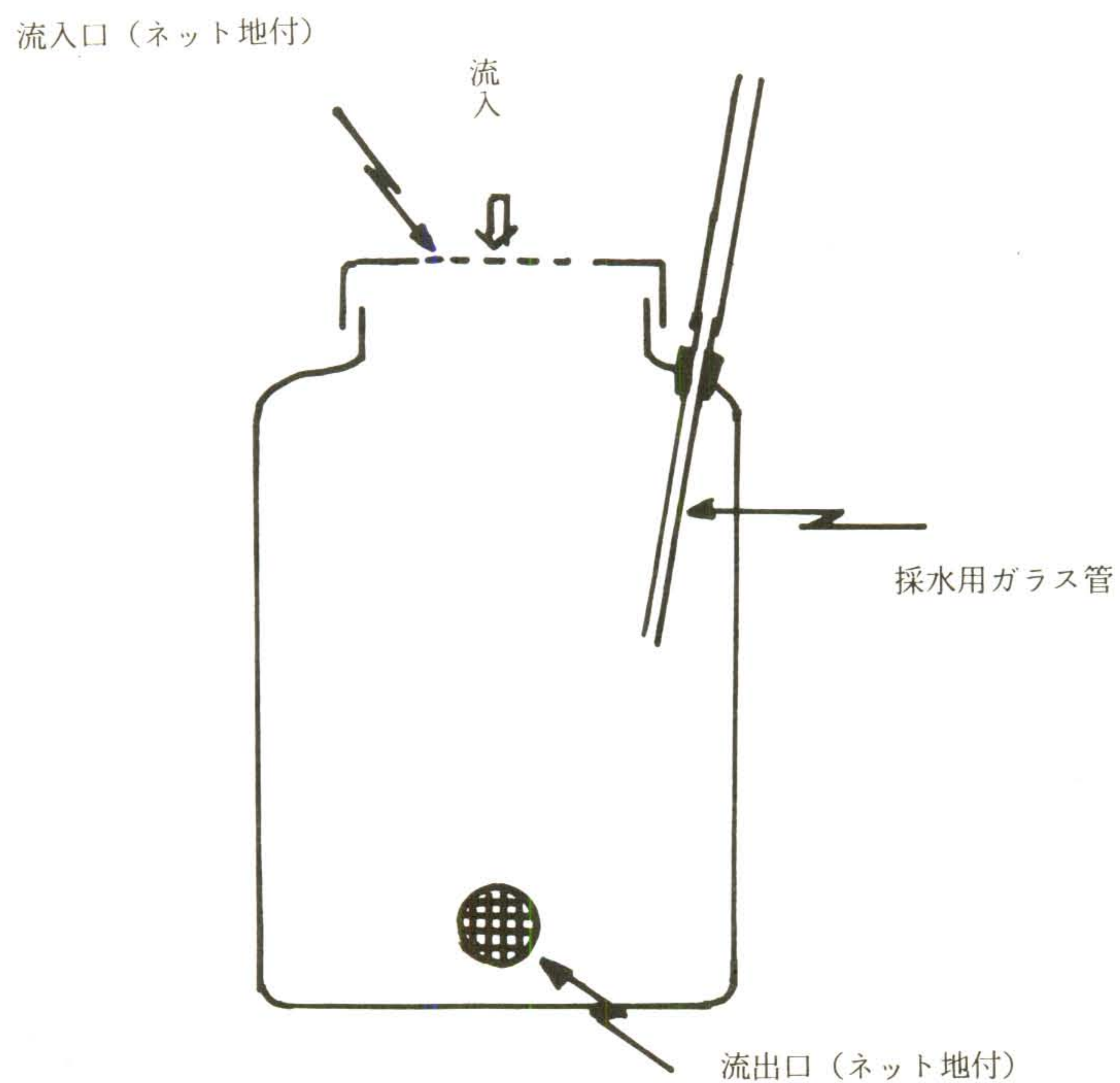


図1 浸透水測定容器（上段）と埋設法（下段）

指標物質として1%フルオレッセン・ナトリウム水溶液を数 ml 、注射器を用いて採水口から注入し、空気を吹き込んで容器内を十分攪拌して実験を開始した。採水を行う際には約 100 ml の空気を注射器で挿入し容器内攪拌してから 10 ml 程度を採取し分光光度計を用いて濃度を決定した。濃度の測定間隔は波浪の大きさに応じて変えたが15～60分間隔で行った。

3. 浸透水量の計算方法

指標物質の濃度変化から容器への流入水量 (Q) を計算する方法は(1)式によるが Q は、容器の形状、ネットの空隙率 (p_0 , 0.550), ネットを通過する際の水の粘性に関する流量係数 (k) の影響を受け、実際に直径 38 mm の円 (11.34 cm^2) を通過する浸透水量よりも少なくなる

$$Q = K \cdot p_0 \cdot Q_i \quad (2)$$

となる。 p_0 は、顕微鏡を使用して網地の空隙率を求めておけばよいから、 K を実験的に求めておけば、次式

$$Q_i = Q / K \cdot p_0 \quad (3)$$

から求めることが出来る。

4. 流量係数の決定

流量係数 K は次のようにして実験的に求めた。幅、水深及び長さがそれぞれ 30 , 20 , 300 cm の水路に $10\text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ の流れを作り、容器内の指標物質の濃度を 20 秒間隔で測定して Q_i を算出する。一方ネット地の無い容器での流入水量 (Q) は直径 38 mm の円を通過する水量で近似できるから、(流速×流入口面積)が流入水量となる。即ち、ネットの無い場合の容器内への流入水量 (Q , $ml \cdot \text{sec}^{-1}$) は $113.4\text{ ml} \cdot \text{sec}^{-1}$ で近似できる。また、ネット付きの容器で行った実験結果は図2の通りである。指標物質の濃度の減少は片対数紙上で直線を示し、

$$C / C_0 = \exp \cdot (-5.035 \times 10^{-3} t)$$

に従っている。このことは、指標物質の濃度変化が(1)式にしたがっていることを示している。又、上式から流入水量を求めると、 $Q_i = 60.44\text{ ml} \cdot \text{sec}^{-1}$ を得る。(3)式に、 $Q = 113.4$, $Q_i = 60.4$, $p_0 = 0.550$ を代入して $k = 0.969$ を得る。従って、現場に置いて実測した浸透水量に基づき(3)式から、実際の浸透水量を求めることが出来る。

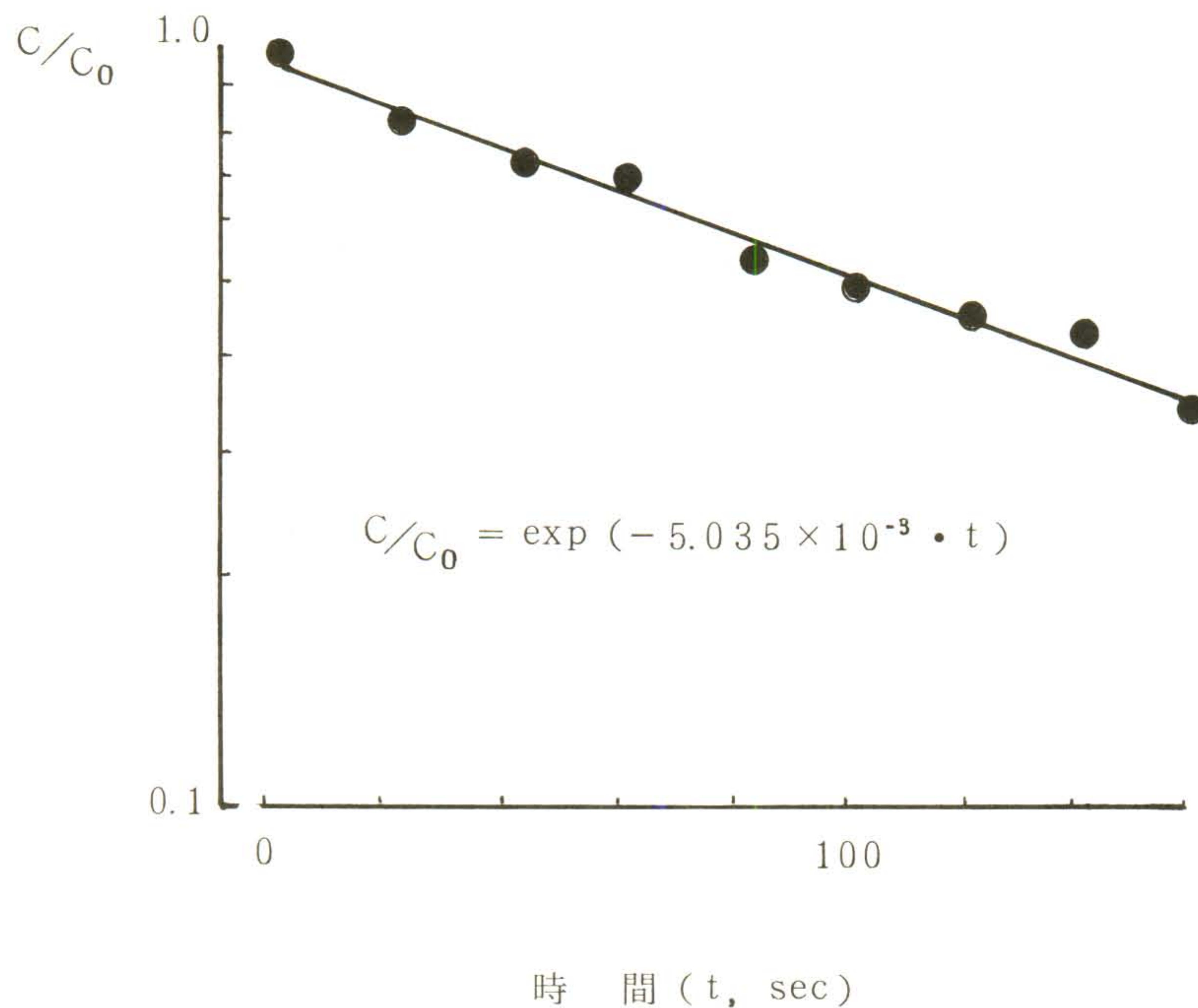


図2 測定容器の流量係数の検定

5. 湖岸帯陸域に埋設された容器内の指標物質の濃度変化と浸透水量の推定

汀線から40, 70, 100, 130 cm の箇所に容器を埋設し, 風向風力が比較的安定している条件下で容器内の濃度変化を測定したものが図3である。風向風速は北西風, 4~5 m/sec で比較的安定した条件下にあった。1時間間隔に取った容器内の指標物質の濃度は, 各地点と指数曲線にしたがって減少し(1)式にしたがっていることが分かる。指数曲線の勾配, 相関係数, 容器への流入水量(Q)及び間隙率, 流量係数及び流入口面積を勘案した浸透水量(Q_i)を表1に示した。又, 地下浸透水量を汀線からの距離との関係で図示したのが図4である。両者の関係は片対数紙上で直線となり,

$$Q = 1098.02 \exp(-0.210 \ell) \quad (4)$$

で近似することが出来る。湖岸単位延長(m)当りの全浸透水量(ΣQ_i)は, 図4で明らかのように, 浸透水量(Q_i)と汀線からの距離(ℓ)との関係を示す実験式を ℓ について積分して求めることができる。すなわち,

$$\Sigma Q_i = \int_0^{\infty} Q_i \, d\ell \quad (5)$$

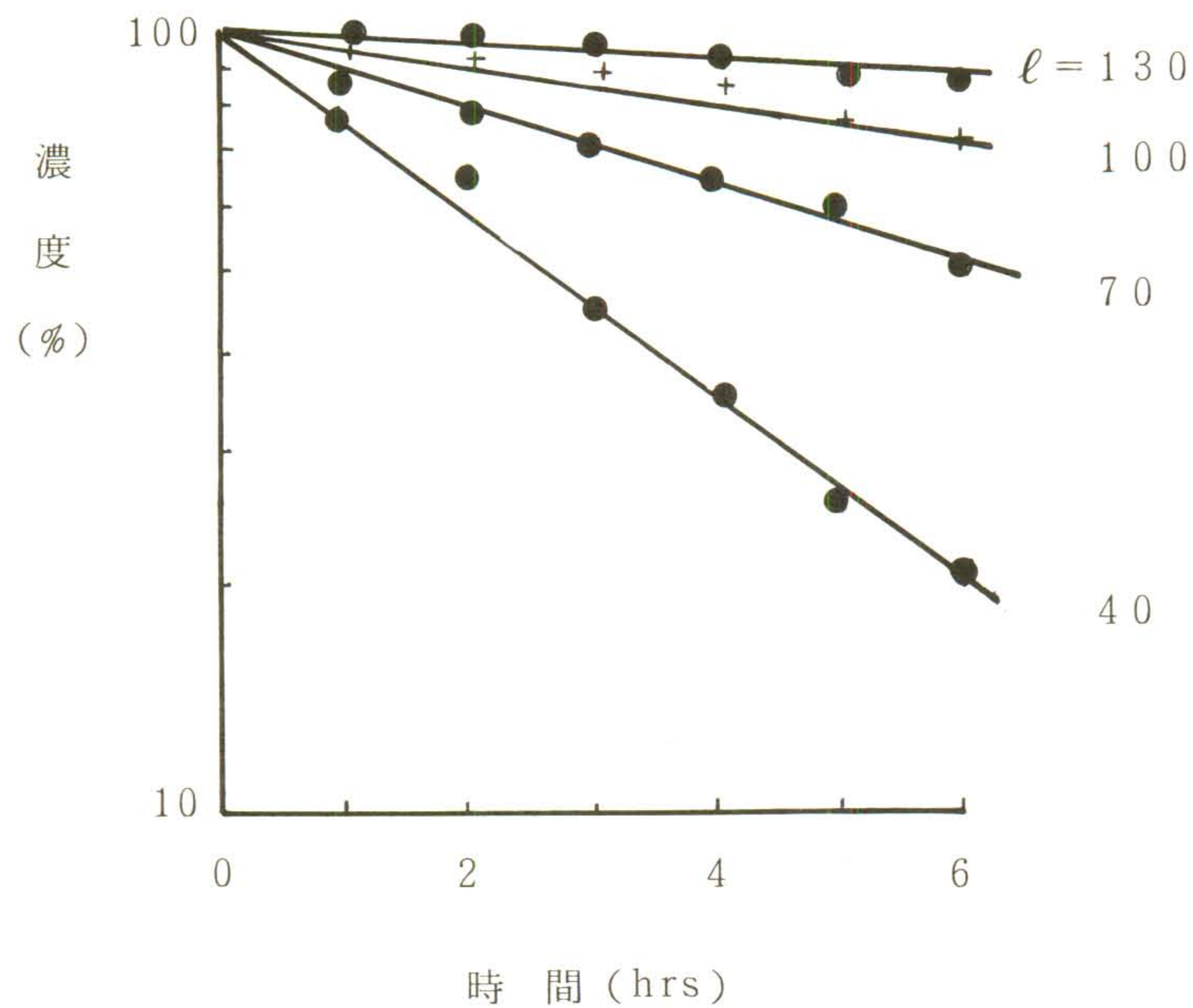


図3 容器内の指標物質の濃度変化

となる。こゝでの測定例では、

$$Q_i = 1098.02 \exp. (-0.210 \ell)$$

の関係が成り立っていたので、積分して $\Sigma Q_i = 125.49 \text{ m}^2 \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ を得る。

以上のように、汀線からある間隔で浸透水量測定用容器を埋設し、容器への流入水量を指標物質の濃度変化から算出し、汀線からの距離について積分すれば、波浪によって砂浜へ打ち上げられた湖水の浸透量を測定することができる。容器内の指標物質の濃度は、指数曲線にしたがって減衰するが、容器の埋設置等が適正でない場合には、両者の間に、そのような高い相関々係が成り立たなくなる。又、波高が高い場合等には、埋設した容器の流入口の位置が湖水面よりも相対的に低くなり流入が阻げられることがある。

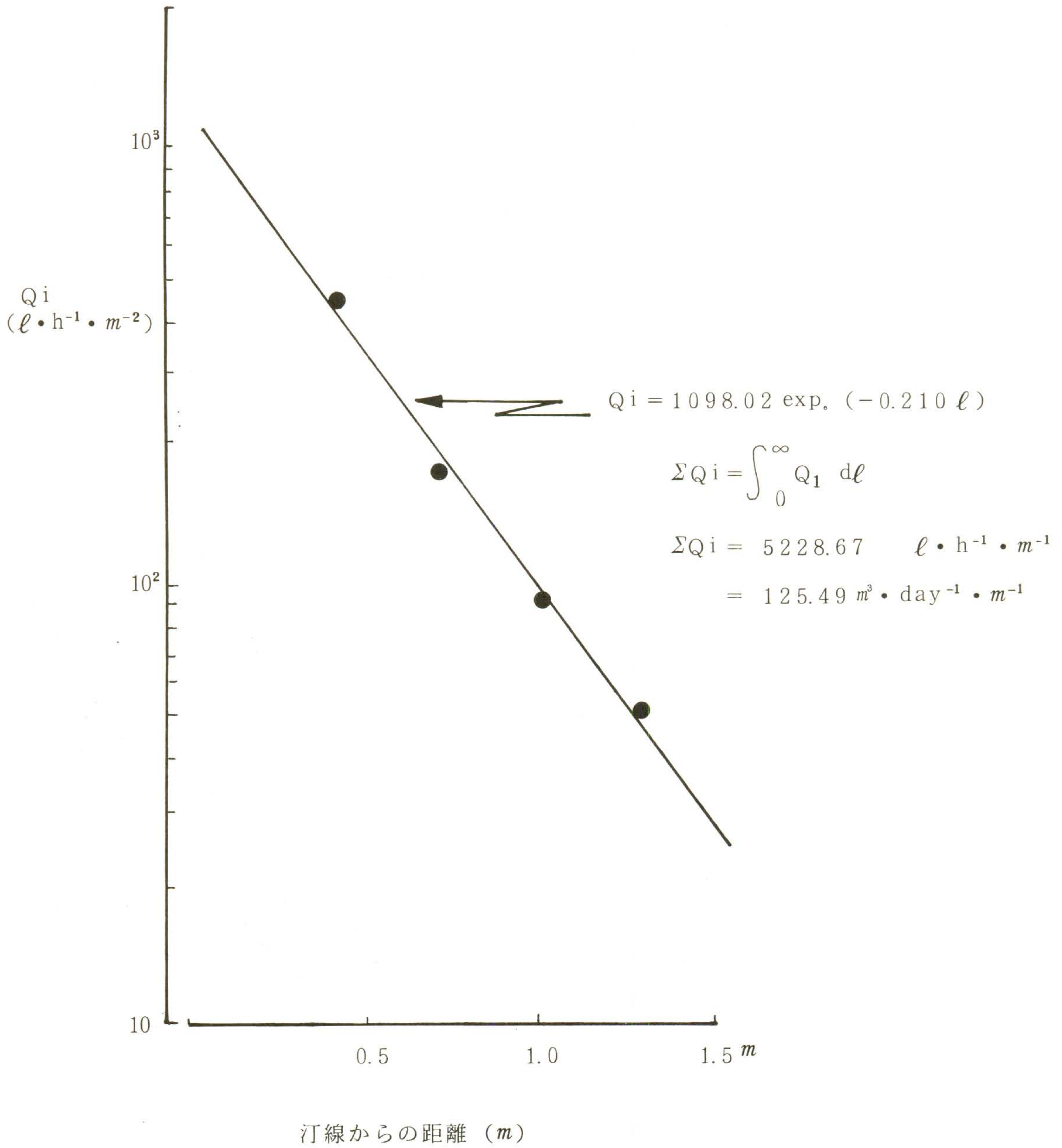


図4 浸透水量の推定

表1 容器内の指標物質の変化と浸透水量の算出

ℓ (cm)	時間 (hr)	1	2	3	4	5	6	b	-r	Q ml·h ⁻¹	Q^i ℓ·h ⁻¹ ·m ⁻²
130		99.6	92.3	91.0	89.4	88.6	82.0	0.0317	0.942	31.7	52.49
100		98.4	95.6	88.9	86.5	76.8	72.3	0.0560	0.971	56.0	92.74
70		88.6	79.8	70.2	61.5	59.8	49.7	0.112	0.994	11.2	185.5
40		77.5	65.0	43.2	34.8	24.9	19.7	0.277	0.997	27.7	458.7

$$Q \text{ から } Q^i \text{ の算出は, } Q^i = Q \times \frac{1}{0.19^2 \pi} \times \frac{1}{0.550} \times \frac{1}{0.969}$$

濃度: %, b: 曲線の勾配, Q: 容器への流入水量, Qⁱ: 浸透水量, ℓ: 汀線から容器までの距離