

霞ヶ浦湖岸汀線上における波浪流量について

浜田篤信・河崎正・喜多明・外岡健夫

湖岸に打ち寄せる波は、汀線を越えて、湖岸帯陸域に移動する。陸域に運ばれた湖水の一部は地下に浸透し、他は地表面を湖へ戻るが、この過程で水質が変化するのではないかと考えられる。藍藻類の水の華のように水面に浮遊する物質にあっては、波浪によって、浮遊物質が陸域へ打ち上げられ、湖水が浄化される可能性も考えられる。従来、湖の物質循環を論ずる際には、湖岸帯のこうした水の挙動が対象とされることはなかったが、湖岸帯における波浪の実態を観察すると波浪が湖水の浄化に果たす役割は決して無視できるものではないのではないかと考えられる。こうした観点から、本報告では、波浪によって汀線上を水域側から陸域へ移送される水量（ここでは波浪流量という）の測定法の考案とそれによるいくつかの測定例について報告する。

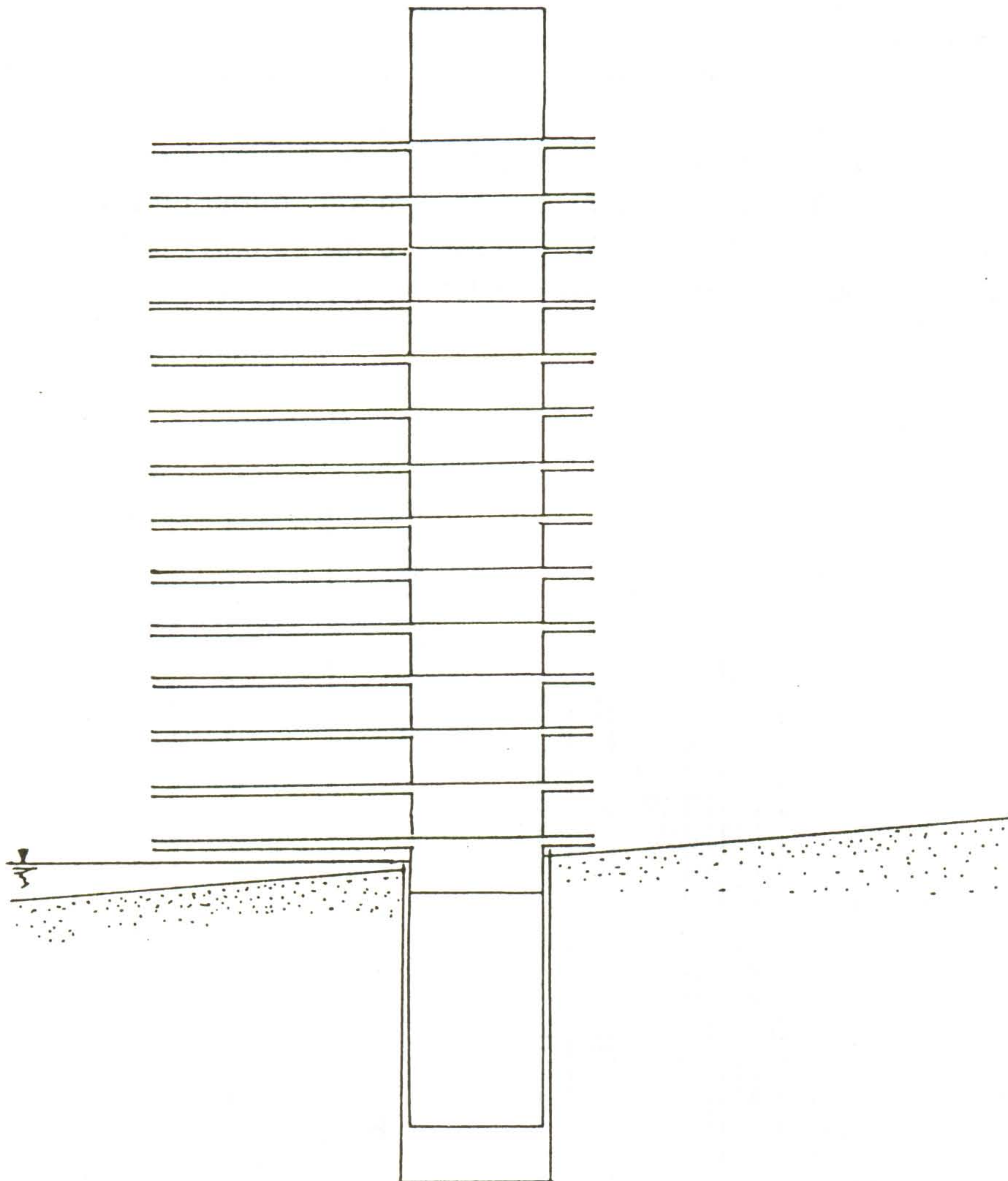
波浪流量の測定原理

汀線上を通過する波浪流量は、汀線上の位置が上方へ移動するほど小さくなり通過流量と位置(汀線上における水面からの高さ、 h)との間には、或る関係が成立し、定量化が可能となるのではないかと考えられる。汀線上の任意の高さにおける流量は、実験的に求めておいたガラス管を通過する流量と流速との関係から求めた。又、ガラス管を通過する流量は第1図のように、2 cm毎に仕切りをもつスチロール管の内部に、一定時間に溜る水量から算出した。

実験の方法

ガラス管内の流速、流量は幅15cmのコンクリート水路に地下水を流し、一定距離を流下するのに要する時間をフルオレセンナトリウムを指標物質として求め算出した。

汀線上の波浪流量は、内水面水産試験場地先の勾配5/100の湖岸帯において測定した。10cmのガラス管をもつスチロール管を汀線上に設置しスチロール管内に溜る水量を測定した。又、5-10cmのスチロール管に2cm毎の個室をもうけ、それぞれの個室上端にガラス管をとりつけた(第1図)コンパクトな型のものを併用した。汀線上に、このスチロール管を取り付ける塩化ビニール管を打ち込み、ガラス管が汀線と平行になるように取り付け、その後、スチロール管を90度回転させて、ガラス管の断面が波浪を受けるように設置し測定を開始した。



第1図 波浪流量計（実物の1/2）

実験結果と考察

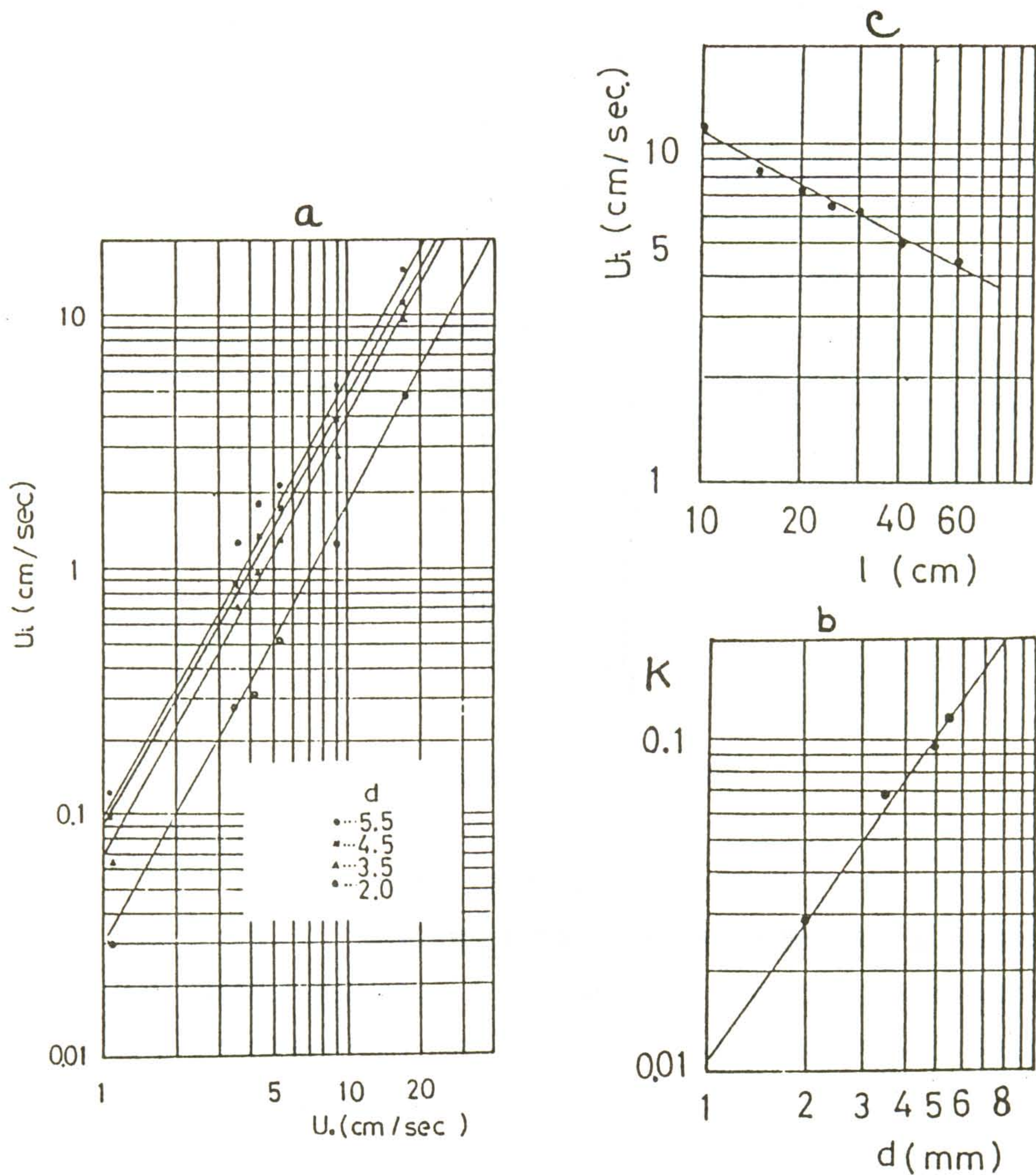
1. 水路の流速とガラス管内を通過する流速及び流量の関係

水路内の流速を 1.2 ~ 16.7 cm/s の範囲で変化させて、水路内の流速 (U_0) と水路内に保った直径 2 ~ 5.5 mm, 長さ 10 ~ 60 cm のガラス管内の流速 (U_i) を測定した。まず、直径の異なる長さ 20 cm のガラス管について得られた結果を第 1 表第 2 図 a に示した。水路の流速とガラス管内の流速との関係は、両対数紙上で直線となり、次式にしたがうものと考えられる。と

$$U_i = aU_0 \dots \dots \dots (1)$$

第1表 ガラス管の直径と管内の流速の関係

U_0 (cm/sec.)	16.7	9.10	5.25	4.35	3.63	1.17	$U_i = a U_0^b$	
							a	b
d (mm)								
5.5	15.4	5.27	2.15	1.79	1.26	0.124	0.129	1.71
4.5	11.1	3.85	1.70	1.37	0.870	0.0987	0.0740	1.81
3.5	10.0	2.86	1.31	0.966	0.702	0.0659	0.0635	1.78
2.0	4.76	1.26	0.502	0.307	0.273	0.0299	0.0219	1.88



第2図 水路の中におかれたガラス管内の流速 (U_i) と周りの流速 (U_0) との関係

得られた結果を(1)式にあてはめると第1表の右欄の a および b の値がえられる。勾配の b 値は 1.7 ~ 1.9, 平均値は 1.80 でほぼ一定の値を示したが, a 値は直径が大きくなる程, 大きくなり管内の流速 U_i は直径 d 1.46 に比例して増加した (第2図 b)。

次に, 直径 5 mm, 長さ 10~60cm のガラス管について, 33.0 cm/s の条件下で行った実験の結果を第2図 c に示した。管内の流速とガラス管の長さ l の平方根との間には負の相関関係が認められた。

以上の実験結果から, 一般的に流速とガラス管内の流速との関係について

$$U_i = K \cdot d^{1.46} \cdot U_o^{1.8} / \sqrt{l} \dots\dots\dots (2)$$

がえられる。第1表の実験結果を(2)式に代入して K 値を求めたものが, 第2表である。K 値は 0.64 ~ 1.06 の範囲にあって平均値は 0.858 であった。この U_i は, 管内の最大流速であったから, 平均流速はその 1/2 となる。従って, ガラス管内の流量 (Q) は

$$Q \text{ (ml/sec)} = \frac{1}{2} A \cdot U_i = \frac{K}{2 \sqrt{l}} A \cdot d^{1.46} \cdot U_o^{1.8} = \frac{K}{8 \sqrt{l}} d^{3.46} \cdot \pi \cdot U_o^{1.8} \dots (3)$$

となる。K については, 前述の実験で 0.858 を得ているので, 管内を通過した水量と管周辺の流速 (U_o) との間には, (4)式が成り立つ。

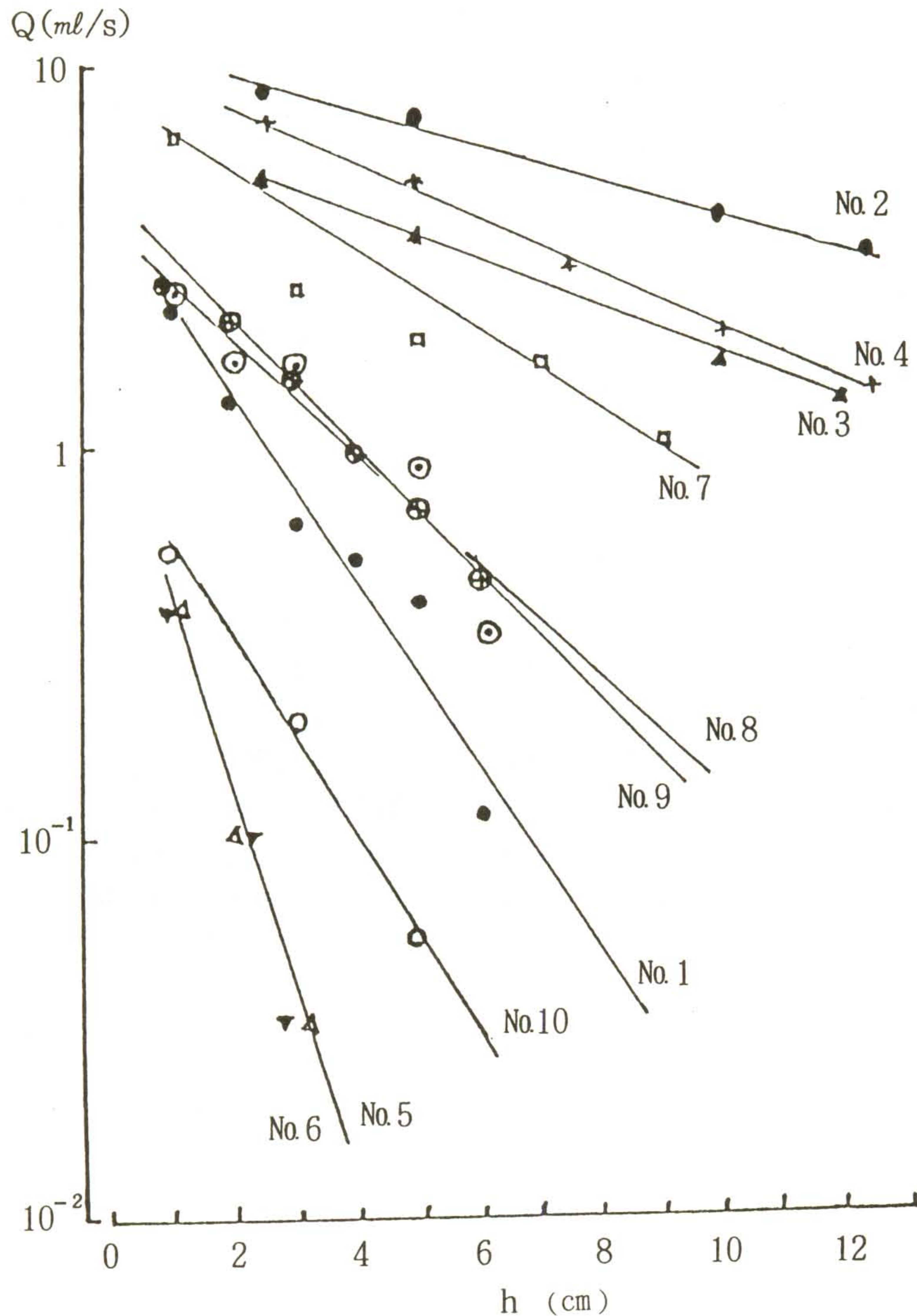
$$U_o \text{ (cm/sec)} = \frac{3.18 \cdot l^{0.278} \cdot Q^{0.556}}{K^{0.566} \cdot d^{1.92} \cdot \pi^{0.556}} \dots\dots\dots (4)$$

第2表 K 値

U_o (cm/sec.)	16.7	9.10	5.25	4.35	3.63	1.17
d (mm)						
5.5	0.833	0.843	0.927	0.967	1.058	0.797
4.5	0.712	0.733	0.872	0.884	0.865	0.753
3.5	0.926	0.788	0.970	0.895	1.008	0.725
2.0	0.996	0.787	0.841	0.643	0.886	0.744

2. 汀線上における測定

汀線上において、水面と平行に水面から1, 2, 3, 5, 7 cmの高さに10cm, 5 mmのガラス間をもったスチロール管を10cm間隔に設置し、一定時間内にスチロール管内に溜る水量を測定した。結果は第3表のとおりである。波浪流量は風向風力と密接な関係があるものと考えられるので、表中の左の欄には、風向風力及び距岸3メートルの地点における波高も同時に示した。水面からのガラス管までの高さ (h) と通過流量 (Q) の関係を図示したものが第3図である。いずれの場合にも、両者の関係は片対数紙上で直線となる。又、風力の大きい場合程、図中上方に位置し、勾配、



第3図 汀線上における波浪流量の測定

縦軸との交点ともに大きい値を取ることがわかる。 Q 及び h の関係は、

$$Q = K \cdot \text{EXP}(-bh) \dots\dots\dots (5)$$

であらわすことができるので、結果を上式に代入し、 k 及び b を算出し、同表中に示した。汀線上において、水域から陸域へ移動する総水量 (ΣQ) は(5)式を高さ方向へ、0から ∞ まで積分した値に相当するので、 $l = 10\text{cm}$, $d = 5\text{mm}$ の場合、次式によって求めることが出来る。

$$\Sigma Q (\text{ml/cm/sec}) = \int_0^{\infty} 13.19 [K \cdot \text{EXP}(-bh)] \cdot 0.556 \cdot dh \dots\dots\dots (6)$$

(6)式に従って計算した波浪流量を同表右欄に示した。波浪流量は、風力が大きい場合には、8584 ton/day・m、風速が5メートルではその1/10の890 tonであった。ここで風向きは実験を行っている砂浜の前面からの風向のみに限定してあるが、この条件の中では風力 (V) と波浪流量との間には相関関係がみられ、次の関係が成り立っている ($V = 0.870$)。

$$Q (\text{m}^3/\text{day} \cdot \text{m}) = 106.81 \cdot V^{1.34} \quad Q = 106.81 V^{1.34}$$

かりに、自然の湖岸が存在し、前面から3.5メートルの風が吹いているとすると500 ton/day・mの湖水が陸域に打ち上げられることになる。霞ヶ浦の湖岸線は250kmであるが、湖の50%の部分で前面から風を受けているとすると、湖全体では12510 ton/dayの湖水が打ち上げられることになる。この水量は、河川から流入する水量の数10倍に相当するものであり、この過程で水質に変化がおこるとするとその効果の検討は重要な課題となる。

第3表 汀線上における波浪流量

No.	風向風力 (m/s)	波高 (cm)	K	b	ΣQ ($\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{m}$)
1	S, 5	4	5.07	0.712	709.9
2	NW, 17	35	10.66	0.089	8584.7
3	"	26	7.96	0.146	4448.7
4	"	30	11.03	0.171	4553.6
5	E, 5.5	1.0	0.876	0.212	889.8
6	E, 5.5	1.6	1.20	1.23	1844.1
7	SE, 15	22	6.20	0.213	2653.8
8	SSW, 9	14	4.21	0.367	1241.9
9	W, 8	8	3.92	0.179	2447.3