

## 湖沼沿岸帯における波浪流量と浸透水量の測定法の開発

独立行政法人土木研究所 正会員 中村圭吾, 尾澤卓思, 霞ヶ浦生態系研究所 浜田篤信

## 1. はじめに

自然再生型公共事業として、湖沼において沿岸帯の復元が霞ヶ浦や宍道湖で実施されている。これらの復元は、湖沼沿岸帯の生態系機能の復元や湖沼らしい景観の復元などのほかに、沿岸帯の持つ水質浄化機能の復元が期待されている。しかしながら、沈水植物の機能を除いて、湖沼沿岸帯の浄化機能を定量的に明らかにしている事例は少なく、沿岸帯における調査事例もほとんどない。

本研究は、上記研究を進めるにあたり、まず沿岸帯、特に砂浜における水収支を明らかにすることを目的とした。砂浜に波浪によって打ち上げられる流量を波浪流量とし、波浪流量のうち砂浜に浸透し、湖沼に戻る水量を浸透水量として調査した。ここでの水収支は、波浪流量 = 浸透水量 + 表面還流量、として定義した。波浪流量と浸透水量の調査方法および調査結果について述べる。

## 2. 調査対象及び方法

調査地点は、宍道湖の南岸、玉湯川河口から西に広がる砂浜(St.1, N30°E)および北岸の秋鹿「道の駅」の南方に広がる砂浜(St.2, N45°W)である。粒径は0.5-1.0mm程度、中央粒径値はそれぞれ0.72mm, 0.76mmで、勾配は約1/10である。調査は2001年の11月19日, 20日(風力0.7-1.5m/s, 南西から西北西)及び12月28日, 30日(風力2.6-8.8m/s, 南西から北北西)の2回実施した。

波浪流量の測定は図1 (Type 1 を示す。実際の調査ではType 1 とType 2 (微風型) を併用) に示すキャビネットタワーを用いた。キャビネットタワーは汀線上に設置した。このキャビネットタワー内にフルオレッセイン・ナトリウム溶液を満たし、その濃度変化よりキャビネットタワー内への湖水流入量を推定した。この湖水流入量と流速の関係を別途検定実験で求め波浪流量の流速とした。また、キャビネットタワー法で得られた値の妥当性を検討するために、幅10cm, 高さ60cmの金枠に奥行き100cmのビニール袋をタモ網状に固定したスクーピングバッグを作成し、波浪流量の直接測定を実施した(スクーピングバッグ法)。

浸透水量の測定は内径30mm, 高さ100mmのスチロール性シリンダーの上下をGG42のプランクトンネット地で覆ったものを使用した。このシリンダーを現地の砂およびトレーサーとなるフルオレッセイン・ナトリウム溶液で満たし、砂浜に埋設し、一定時間に発生する濃度変化より、浸透水量を測定した(シリンダー埋設トレーサー法)。トレーサーは1%フルオレッセインを100-200倍に希釈し、溶解促進のため20%水酸化ナトリウムを1000mlあたり約1ml加えた。打ち上げられた湖水はまず砂浜表面から下方に移動するのでシリンダーはなるだけ表面近く、かつ容器が浸透を妨げることのないよう表面より1-2cmの地点に縦方向に設置した。シリンダーは汀線から打ち上げ幅のやや上方まで等間隔で5地点から10地点埋設した。埋設時間は10-30分とした。一本は対照として保存する。回収後、湖水80mlをシリンダーに上方よりすこしずつ加え、トレーサーを押し出し、回収したトレーサーを100mlにメスアップする。対照も同様の処理をする。濃度を分光光度計(Hack DR/890 波長420nm)で測定し、濃度の相対値(試料の濃度/対照の濃度)を測定する。浸透水量と濃度の相対値の関係は別途検定試験によって求めておき、その関係から浸透速度を求めた。

また、波浪が砂浜に打ち上げられて到達する先端部の汀線からの距離を波浪打上幅、および汀線通過時の波高についても実測した。

## 3. 調査結果および考察

## 3.1 波浪流量, 波浪打上幅, 汀線上波高の算定

波浪打上幅の観測(一観測当たり30-50回測定)ごとの平均値は風速( $U_w$ )と比例関係にあり、その関係式は式(1)となった。

$$L_{sw} = 0.461 * U_w \quad (r^2 = 0.996, n = 7) \quad (1)$$

ここで、 $L_{sw}$ : 波浪打上幅(m),  $U_w$ : 風速(m/s)

汀線上の波浪流量は汀線からの高さによって変化し、 $Q$ (流量)= $a \cdot$

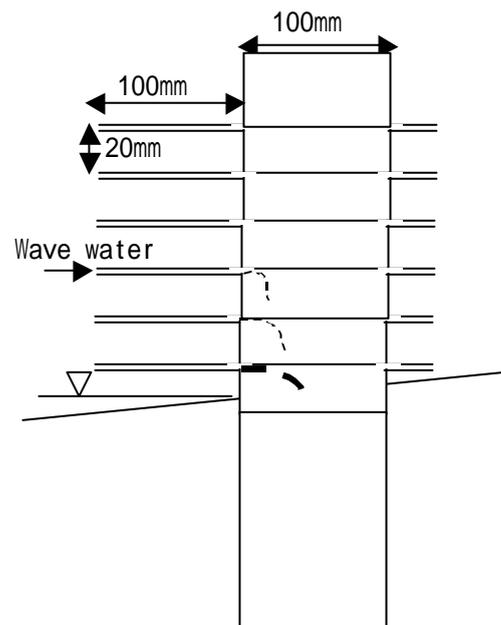


図1 キャビネットタワー概要

キーワード：湖沼沿岸帯 水質 浄化機能 湖岸 自然再生

独立行政法人土木研究所水循環研究グループ河川生態チーム〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6

TEL0298-79-6775 FAX0298-79-6748

h(汀線通過時の波高)+b(a,b定数)という関係式で示されることが分かった。それぞれの観測例より、Q=0となるのは波浪流量がなくなる高さ、すなわち汀線上の波浪流量が0となる高さということになる。このようにして求めた波高hと風速Uwをプロットすると線形の関係にあり、その関係式は式(2)となった。

$$h = 0.0316U_w + 0.10 \quad \text{ここで、} h : \text{汀線通過時の波高(m)} \quad (2)$$

また、キャビネットタワー法により求めた波浪流量を表1に示す。

### 3.2 風速からの波浪流量推定

砂浜に打上られた湖水量 $Q_{sw}$ は、波浪打上幅 $L_{sw}$ と汀線上の波高 $h_0$ によって形成される3角形の範囲、 $Q'_{sw} (=L_{sw}h_0/2)$ に比例すると考えられ、 $Q'_{sw} > Q_{sw}$ の関係にあると考えられる。そこで、 $Q_{sw} = kQ'_{sw} = k \cdot L_{sw} \cdot h_0/2$ とし、これにキャビネットタワー法によりもとめた波浪流量の実測、L, hの実測を代入し、kの平均値を求めると $k=0.532$ という値が得られる。ここで1回当たりの波浪流量を $q_{sw}$ とすると、 $k=0.532$ ,  $L_{sw}=0.463U_w$ ,  $h_0=0.0316U_w+0.10$ より、 $q_{sw}=0.00388U_w^2$ 、また実測より、1分当たりの波数 $N_w=37.8 \cdot U_w^{-0.13}$ となるので、湖岸線1mあたり、一日当たりの波浪流量 $Q_{sw}(m^3/m/d)$ は、式(3)となる。

$$Q_{sw} = 211 \times U_w^{1.87} \quad (3)$$

ただし、風速が0のときも、実際はある程度の波浪があり、式(3)では低風速時に波浪流量を過小評価してしまう。そこで、風速1m/s以下の時の観測時結果と計算値の平均値である $165m^3/m/day$ を加え、式(4)を今回の調査結果から得られた波浪流量推定式とする。

$$Q_{sw} = 211 \times U_w^{1.87} + 165 \quad (4)$$

### 3.3 浸透水量

浸透水量の調査結果を表2に示す。実測より浸透水量 $Q_f(m^3/m/day)$ は風速の一次式で表され式(5)のようになる。

$$Q_f = 3.18U_w - 0.778 \quad (r^2 = 0.96, n = 7) \quad (5)$$

しかしながら、表2より単位面積あたりの浸透水量 $Q_{f\_unit\_area}$ は風速が5m/s程度となると、 $11.4m^3/m^2/day$ （限界浸透速度）に収れんし、その関係式は式(6)で表される。

$$Q_{f\_unit\_area} = 11.4[1 - \exp(-0.5147U_w)] \quad (6)$$

したがって、波浪が大きくなると浸透する砂浜の面積が問題となる。そこで、浸透幅(m)=(単位汀線あたりの浸透水量)/（限界浸透速度）と定義すると、浸透幅 $L_f$ は式(7)で示される。また、浸透水量は単位面積あたりの浸透水量 $Q_{f\_unit\_area}$ と浸透幅 $L_f$ の積で表され、式(8)のようになる。ただし、式(8)は一次式でも近似可能で、式(9)のようになる( $r^2=0.999$ )。表面還流量 $Q_0$ は波浪流量、式(4)と浸透水量、式(9)の差で表され式(10)となる。これらの結果より、風速により、波浪流量、浸透水量、表面還流量が評価できることが示された。

$$L_f = 0.295U_w + 0.281 \quad (7)$$

$$Q_f = (3.36U_w + 3.20)[1 - \exp(-0.5147U_w)] \quad (8)$$

$$Q_f = 3.54U_w + 0.37 \quad (9)$$

$$Q_D = 211U_w^{1.87} - 3.54U_w + 166 \quad (10)$$

表1 波浪流量の観測条件及び測定結果

観測番号	観測地点	観測日時	時刻	風向	風速 m/s	観測時間 min	波浪流量 (m <sup>3</sup> /m/day)
1	1	11/19	10:40	WNW	0.7	10	371
2	1	11/19	13:30	WNW	1.5	10	384
3	1	11/19	13:30	WNW	1.5	10	399
4	2	11/20	10:45	SW	0.7	10	241
5	2	11/20	11:40	SW	0.9	3	323
6	1	12/28	12:00	NWN	2.8	3	1,894
7	1	12/28	12:09	NWN	2.6	3	2,613
8	2	12/29	9:55	SW	3	2	---
9	2	12/29	15:20	SW	5.3	2	6,770
10	2	12/30	9:25	NWN	8.8	2	11,567

表2 浸透水量

観測No.	2	3	6	7	8	9	10
風速, m/s	0.7	1	2.8	2.6	3	5.3	8.8
浸透水量 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	3.97	3.93	6.60	7.12	12.44	16.95	35.05
限界浸透速度 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	4.3	4.8	5.7	8.8	11.3	11.4	11.4
浸透幅(m)	0.9	0.8	1.2	0.8	1.1	1.5	3.1

参考文献：浜田篤信(1996)：波浪によって砂浜に打ち上げられた湖水の水収支、用水と排水，38，911-918。