

サンコーコンサルタント株式会社 正会員○石橋弘道
 日本大学応用地学教室 正会員 田場 穰
 日本大学応用地学教室 堀内清司

1. はじめに

山地の逕流は、乱流が著しく、流量や流速の測定が従来の堰や流速計の方法では、なかなかむずかしい。この様な所ほど実用的で、精度が高いと考えられる「塩分希釈法」を紹介し、あわせて流水における投入塩分の拡散状況について若干の考察を試みる。

2. 塩分希釈法の原理

濃度法の原理を応用し実用化したもので、理論式は次の如くである

$$Q = \frac{C q}{\int_0^{\infty} c dt} \quad (\text{Sudden injection})$$

C : 投入物濃度

c : 河川で希釈された濃度

q : 投入物の量

t : 時間

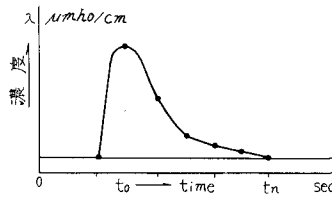


図-1 時間-濃度曲線

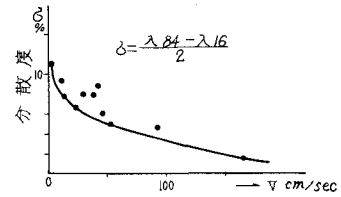


図-2 σ-V の関係

Q : 流量

(WMO. № 168. TP. 82)

3. 流量の測定手順

表-1 に示した記録用紙を用いる。電気伝導度計により、濃度 2 0, 0 0 0 ~ 5 0, 0 0 0 μmho/cm の食塩水を 0.5 ~ 2 ℓ 作り、溪流又は小河川に瞬間投入する。5 ~ 20 m 下流に於て、流水の増加電気伝導度を 5 秒単位で記録する。記録用紙の手順で、操作及び計算を行なう。同一地点で 2 ~ 3 回測定をくり返すとよい。2 ~ 3 回の練習で、誰でも測定を行なえる。必要機器……電導度計、ポリのメスシリンダー (500 cc)、ポリバケツ (5 ~ 10 ℓ 用)、腕時計、記録用紙、計算器 (計算尺等)、食塩 (市販のもの) …… 1 測定大さじ 1 ~ 2 杯分

4. 塩分濃度のパターン

流量の測定に際し、投入された塩分の混合拡散様式が主としてどの様な条件に支配を受けるかを検討するため、表-1 を用いて得られた濃度記録から、図-1 の様な時間-濃度曲線を描き、Inman の方法により分散値 σ (15 % 及び 85 % 濃度の平均) を求めた。

図-2 には、分散値 σ と流速の関係を示したが、流速が大きいほど σ は小さく、混合が良く行なわれるという結果を示している。即ち、図-1 の時間濃度曲線は流速が小さいほどピーク濃度以後の尾の引き方が長くなり、河床の低抗を受ける。逆に流速が速いと、河床の影響は小さく、境界層は薄くなる事を示している。この様に、投入塩分の流水中に於ける混合拡散のパターンは、渦動など、流水の運動状態に強く左右されるという結果を示した。

5. 投入塩分の拡散速度と Reynold's ナンバー

図-3 は、A 点に於て瞬間投入した塩分水塊が、L の距離を流下した B 点で、t0 の時に ℓ1 の拡がり、tn の時に ℓ2 の拡がりになって行く様子を、時間-濃度曲線と併に示した概念図である。この図より、塩分水塊の流下方向に対する拡散速度 U は次式で示される。

$$U = \frac{\ell_2 - \ell_1}{t_n - t_0} = V_1 - V_2 \quad \dots\dots\dots ①$$

$$\text{但し} \quad V_1 = \frac{L}{t_0}, \quad V_2 = \frac{L}{t_n}, \quad V_p = \frac{L}{t_p} \quad \dots\dots\dots ②$$

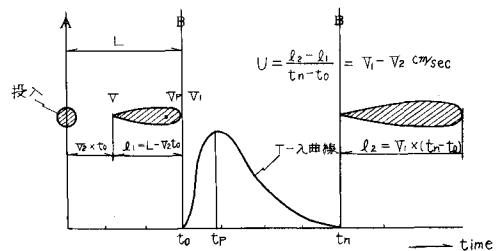


図-3 拡散速度概念図

代表的な山地乱流小河川での実測値から上記のそれぞれの値と流水の乱流の大きさを示すレイノルズナンバー（ Re ）も同時に求め、拡散速度 U と比較したのが図-4である。 U は、レイノルズナンバーと比例して大きくなり、乱流が著しいほど、投入塩水塊の拡散速度は大きくなる。しかも、図-2の関係より流速の大きなものは塩水濃度の分散値が小さいから、河床などの影響圏である境界層が薄くなり、塩水塊の拡散速度 U を支配するのは、河床などの影響よりも、流水自体にその要因があると推定せざるを得ない。

6. 考 察

流水は、位置のエネルギーを費して、運動エネルギーや河床摩擦などに消費することは知られている。乱流が著しくなると境界層が薄くなり、相対的に後者に費されるエネルギーは小さくなることは、先の図-2、図-4などの関係で明らかである。位置のエネルギーの大部分が乱流の運動エネルギーとして消費されると考えられるから、流水の流下につれて、又流量の大きいものほど、それは大きくなるはずである。即ち、塩水塊の拡散は、流水の消費エネルギーに比例すると考えれば、図-5より、次の関係を得る。

$$U_1 \propto h_1 Q g \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで $h_1 = \ell_1 \sin \theta$

$$\therefore U_1 \propto Q g \ell_1 \sin \theta \quad \dots\dots\dots (4)$$

流量 Q は $A \sim B$ で変らないならば

$$U_1 \propto \ell_1 \sin \theta \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$V = \frac{\ell_1 \sin \theta}{t} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\therefore U_1 \propto \ell_1 \sin \theta = V t \quad \dots\dots\dots (7)$$

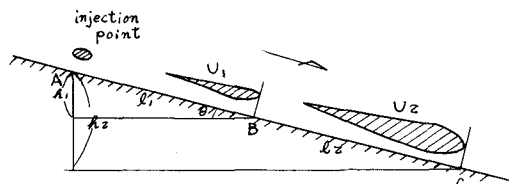


図-5 流水の消費エネルギーと拡散速度(U)

⑤式より塩水の拡散速度は、投入点からの距離を長くするとほど大きくなり、⑦式からは、流速 V の増加が時間 t に正比例することになる。

拡散は、一般に濃度勾配と、拡散係数に支配されると考えられている。流水に於ける前記の事実から、流水は流下につれて、拡散係数を増大させていくものと考えられることができる。図-6に拡散係数(K)と拡散速度 U の関係図を示した。拡散速度が大きくなると、拡散係数も、指数的に大きくなるのがわかる。

この様な事から、逆に、拡散係数の大きさは、水圏の消費するエネルギーの規模に比例するものとして、自然に対する水圏の役割りを知る上で一つの指標と見なし得るようである。

表-1 "IONIC WAVE"
DATA OF VARIATION OF SALT SOLUTION CONCENTRATION

DATE	TIME	M_0	LOCATION
INITIAL SOLUTION	q	ℓ	E.C. METER M_0 WATER DISCHARGE
	E'	$\mu\text{mho/cm}$	
RIVER WATER	Tw	$^{\circ}\text{C}$	$Q = \frac{q \cdot E'}{\lambda \cdot (t_n - t_0)} =$
	E	$\mu\text{mho/cm}$	
		$^{\circ}\text{C}$	$=$
$q \cdot E'$		$\ell \cdot \mu\text{mho/cm}$	
$\Sigma E.C.$		$\mu\text{mho/cm}$	$=$
average E.C.		$\mu\text{mho/cm}$	
ave. E.C. - E		$\mu\text{mho/cm}$	$=$
λ		$\mu\text{mho/cm}$	
START Time t_0		sec	$=$
END Time t_n		sec	
$(t_n - t_0)$		sec	$=$
$\lambda \cdot (t_n - t_0)$		$\mu\text{mho/cm} \cdot \text{sec}$	
t_n	sec	E.C. $\mu\text{mho/cm}$	Water Quality
1	0	16	pH
2	5	17	RpH
...	...	...	...
...	...	...	Cross Section

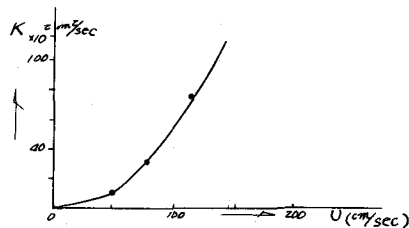


図-6 拡散係数と拡散速度

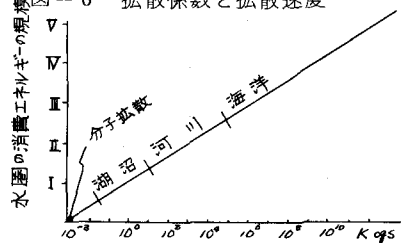


図-7 水圏の規模と拡散係数