

浮遊砂の濃度変動の特性について

京大防災研究所 正 天野 勝正

〃 〃 道上 正規

兵庫県土木部 〃 〇白川 清

1. 緒言 水流の土砂の輸送過程の一形態として、乱れに因って現象が支配されている浮遊砂の運動がある。水流の乱れに因って規定されている浮遊砂濃度は当然のことながら不規則な変動を呈しており、これらの変動量を測定、把握することが適切な平均濃度や土砂拡散係数を知るために必要であると考えられる。そのためには、まず浮遊砂濃度の連続記録をとる装置の開発が必要である。ここでは、以上の考えに基づいて濃度計の特性ならびにそれによって測定した濃度変動あるび浮遊砂を含む流れの乱れに関する測定結果について述べる。

2. 濃度計の概要 浮遊砂濃度の連続測定を行なうために、光学的に濃度を測定する方法が本間・堀川・岡沢¹⁾に因って考案され、また最近では同様な手法に因って Bhattacharya-Glover-Kennedy²⁾に因って開発研究されている。著者らも同様な方法で濃度計を試作し、その問題点を考えてみることにした。まず、光の波長が砂粒子径に比較して十分小さい場合には、光量の減少は砂粒子の断面積による遮蔽効果が支配的であることが知られている。したがって、遮蔽による光量の減少を本間らにならうて式で一般的に表すとつぎのようになる。

$$I/I_0 = \exp\{-3/2 \cdot C \cdot S_0 / (S_p \cdot d_m) (1 + \sigma^2/d_m^2) L\} \quad (1)$$

ここに、 I_0 , I : 光源あるび光源からしたはなれた受光面での光量,
 C : 濃度(重量濃度), S_p , S_0 : 砂あるび水の密度, d_m : 平均粒径
 σ : 砂粒の標準偏差, である。(1)式から明らかに、 d_m , σ が既知であれば、光量の減少を測定すると濃度が測定できることになる。

ここではこうした原理に基づいて、光源としては安定でかつ波長の 0.84 μ (近赤外) で非常にシャープなスペクトル特性を有しているシャープのガリウム砒素発光ダイオードを用い、受光器としてはこの発光ダイオードからの光量を受け取るのに適したシャープシリコンフォトトランジスタを使用し、受光面における光量の増減を電圧変換して濃度を測定することにした。(図-1 参照) いま、 $K = (1 + \sigma^2/d_m^2)$ とおくと、この式を(1)式に代入すると、

$$I/I_0 = \exp(-3/2 \cdot S_0/S_p \cdot K \cdot L \cdot C/d_m) \quad (2)$$

のようになる。しかしながら(1)および(2)式からわかるように、混合砂の場合には d_m , σ あるいは C が未知量となって濃度の測定はできないので、ここでは必ず一様な砂を使用することにした。使用砂は d_m : 0.097 mm (A砂), 0.034 mm (B砂), $(W_{80}/W_{10})^{1/2}$: 1.23 (A砂), 1.24 (B砂) である。ここでは砂が一様であると仮定して、 $K=1$, $S_0=1 \text{ g/cm}^3$, $S_p=2.65 \text{ g/cm}^3$, $L=3 \text{ mm}$ とし(2)式を書きなおすと、つぎのようになる。

$$I/I_0 = \exp(-1.700 \times 10^{-6} \cdot C/d_m) \quad (3), \quad \Delta I/I_0 \div 1.700 \times 10^{-6} \cdot C/d_m \quad (4)$$

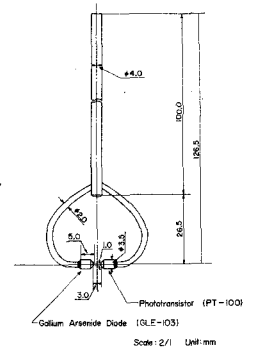


図-1 濃度計検出部

ミニに, C ; ppm単位, dm ; mm単位, $\Delta I = I_0 - I$ である。一方, 光量の減衰を電圧変換して記録するので, $\Delta I/I_0 = \Delta V/V_0$ の関係が成立する。ミニに, V_0 ; 濃度 0 の場合の出力電圧, ΔV ; 濃度 0 の出力電圧からある濃度の場合の出力電圧を引いたものである。図-2 は濃度計による記録とサイフォン方式によって採水した濃度との比較を示したものである。④式の理論式 ($\Delta V/V_0 \div 1.700 \times 10^{-6} C/dm$) と実験値 ($\Delta V/V_0 = 1.705 \times 10^{-6} C/dm$) は予想以上に非常によく一致している。このことから, 光波長入が砂粒径よりも十分小さく ($\lambda/dm; 0.97 \sim 2.76 \times 10^{-2}$), しかもそのスペクトル特性がシャープで, 一鉢砂を使用する範囲にありては十分な精度でこの装置は濃度計として使用しうることが明らかにされた。また, ②式から明らかなように, 光源と受光面との距離が大きくなると線型性が成立する範囲は小さくなる。

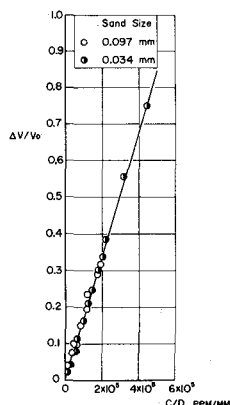


図-2 濃度計の検定

3. 濃度変動と乱れの特性 一般に河床砂を含む流れでは, 乱れエネルギーは減衰し, 平均流の速度こう配は増加(カルマン定数の変化)すると考えられている。この実験では, 回転式流速計を用いて, 濃度の变化による流れ方向の乱れの強度を測定した結果, 図-3に示すように濃度の増加とともに乱れ強度は若干増加していく傾向がみられる。流速計の精度にも限度があり, また成分のみしか測定してないので, 明確な結論は今後の精密な測定を待たなければならぬが, カルマン定数の減少があるにもかかわらず, 乱れ強度の若干の増加が認められる。Euler 的 integral scale L_x は濃度の増加に比例してわずかに増大する傾向にあり, いままでの研究によってカルマン定数の減少の説明に用いられてきた濃度の増加とともに乱れスケールの減少という考え方は, この実験結果は説明できないように思われる。つぎに, 平滑な河床上の濃度変動の強度を測定した結果, この値は 0.05~0.15 程度であり, 乱れ強度よりもわずかに大きいというのであるが, そのスペクトルは図-5に1例を示すように, 乱れのスペクトルとはかなり相違している。乱れのスペクトルは $0.8 Hz (U/h = 16)$ にあってピーク値を示し, それより高周波側では Kolmogorov の $-5/3$ 乗則の理論に近い関係で低減しているが, 一方濃度変動は低周波側では流屋と類似したスペクトル構造を有しているが, $\pi = 2 \sim 6 Hz (U/h = 3 \sim 5)$ から高周波側ではその低減特性がことなり, ホワイトノイズ的なスペクトル構造を有しているようである。こうした現象は鉛直成分の乱れのスペクトル構造と関係しているものと思われる。今後土砂拡散係数の測定と関連して鉛直成分の乱れの測定が必要であると考えられる。砂連が存在する河床上の測定結果については講演時に述べの予定である。

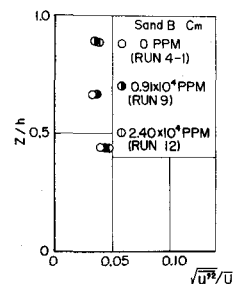


図-3 乱れ強度
($h=4.5cm$, $z=1/100$)
 $U \div 100 cm/s$

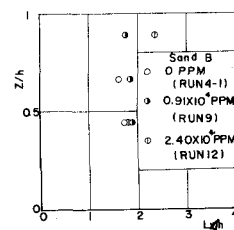


図-4 乱れスケール

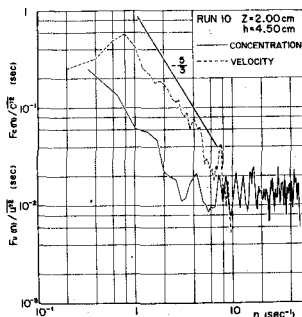


図-5 濃度・流速のスペクトル

1) 本間ら; 土木学会年次講演会, II-69(1963)

2) Bhattacharya etc; 13th IAHR, B-25(1969)