

開水路浮遊砂流の乱れ特性に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
 京都大学大学院 学生員 浅野 富 夫
 日 建 設 計 (株) 正員 ○石 垣 泰 輔

開水路浮遊砂流の水利特性についてはすでにかんりの理論的・実験的検討がなされ、濃度の増加とともにカルマン定数および抵抗係数は減少、乱れの強さはやや減少、流れの中心部のエネルギー逸散、粒子浮遊のためのエネルギー、エネルギー生産および平均流速は増加するとされている^{1),2)}。しかしながら、実験的検討の多くは粗面上の流れを対象としたものであり、滑面についてはまだほとんどなされていないため、本報告では、滑面上の浮遊砂流の水利特性の実験的解明に重点をおき、ホットフィルム流速計を用いた実験により検討したものである。なお、実験装置および方法は別報³⁾に示されたものと同じものが用いられている。

1. ホットフィルム流速計の適用性

一般に、ホットフィルム流速計は清水中で使用されるべきであって、浮遊砂を含む流れに適用することは困難であるとされ、通常、浮遊砂流における速度計測には主としてピトー管式流速計が使用されてきた。しかしながら、乱れ特性を検討するためには高周波数の速度変動をも計測する必要がある、周波数応答特性の優れた流速計を用いねばならない。

したがって、本実験においてはホットフィルム流速計の使用を試み、その適用性について十分な検討を行った結果、従来より粒子が付着しにくいとされているコンカル型プローブを用いた場合、計測時間がそれほど長時間でないかぎり、浮遊砂流においても清水流とはほぼ同様に使用されることが確かめられた。なお、流速計からの出力電圧をシンクロスコープで監視することにより、センサーに粒子が衝突する確率は非常に小さいことが確認されている。

2. 平均速度分布

図-1は流量一定のもとで計測された平均速度分布を示したものであって、平均重量濃度 $C_m = 5090$ ppm のものを除き、浮遊砂流においても対数速度分布則がよく適用されることが知れる。なお、図において平均速度 U は摩擦速度 $U_\tau = \sqrt{gH I_b}$ (I_b は路床勾配) により無次元化されており、別報で示したような C_m の増加に対する抵抗係数 $C_f = 2 / (U_m / U_\tau)^2$ の増加特性が速度計測から確かめられる。

さらに、対数速度分布則におけるカルマン定数 K および積分定数 A_g に及ぼす C_m の効果について検討するため、相対水深が $0.2 < z/H < 0.8$ の計測値に最小二乗法を適用して K および A_g を算定すると図-2 のようになる。なお、 K および A_g はそれぞれ清水流についての K および A_g で基準化されている。図にみられるように、計測値には

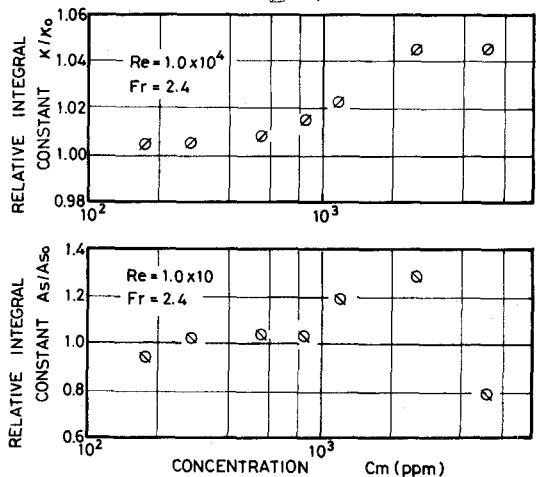
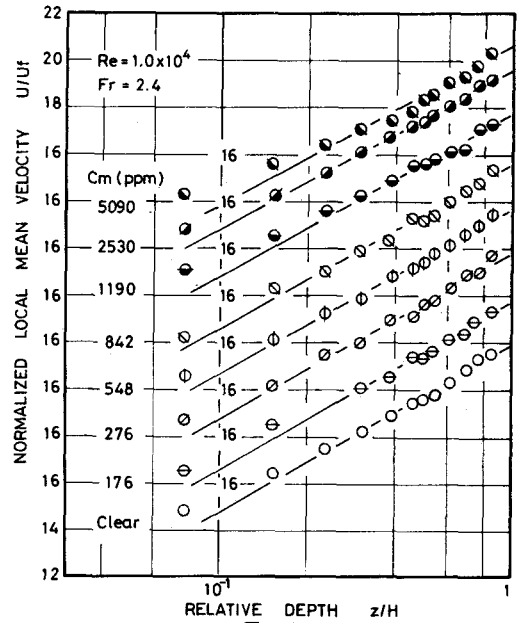


図-2

大きなばらつきがあるものの、 k および As は C_m の増加とともに増加することが知れる。

このような結果は、粗面上の流れを対象とした Vanoni⁴⁾の実験結果とは全く相反しており、日野の統一的説明とも異なっている。

3. スペクトル特性

1次元エネルギー・スペクトル $S(k)$ の計測例として、半水深におけるものを図-3に示す。スペクトル計算はサンプリング周波数 f_s を $f_s = 40$ および 320Hz の2段階に分けて行い、データ数 $N = 500$ 、繰返し数 N_R は前者については5、後者については15とされている。図-3にみられるように、浮遊砂流における $S(k)$ は、清水流におけるものと同様に、生成領域とみなされる低波数領域においては波数 k に関係なく（図は $k \cdot S(k)$ で表示されているため1の勾配）、慣性領域とみなされる高波数領域においては $-5/3$ 乗に比例して減少しており、清水流におけるスペクトル相似則がそのまま適用されることが確認される。なお、図においていずれの $S(k)$ にも生成領域および慣性領域はそれぞれ2ヶ所に存在しているが、これは開水路流れにおける乱れの多重構造的性としての特性⁶⁾が現われているためと考えられる。

また、生成領域での $S(k)$ は C_m の増加とともに若干減少、慣性領域では若干増加する傾向があるようである。しかしながら、このような傾向はデータのばらつきを考慮すると断定しがたいものであり、今後さらに詳細に検討する必要がある。

4. 乱れ特性量

乱れ特性量として、乱れの強さ u' 、平均スケール T_E およびエネルギー逸散率 ϵ を取上げ、それぞれ、清水流における計測値で基準化して示すと図-4のようになる。なお、 u' は平均値評価時間を T_E の10倍程度とした場合の r.m.s.、 T_E は自己相関係数における second mild maximum の発生遅れ時間⁷⁾、 ϵ は慣性領域の $S(k)$ より、それぞれ、評価されている。

図-4にみられるように、浮遊砂流における u' は、清水流の場合と同程度の大きさであって、 C_m の増加とともにやや減少するというよりはむしろ、 C_m に関係なくほぼ一定とみなした方がより妥当のようである。これに対し、 T および ϵ は、それぞれ、 C_m の増加とともに若干増加する傾向を示している。なお、両者の増加の割合はほぼ同程度であるが、図-2に示したカルマン定数 k あるいは積分定数 As ほど顕著ではなく、詳細についてはさらに検討しなければならない。

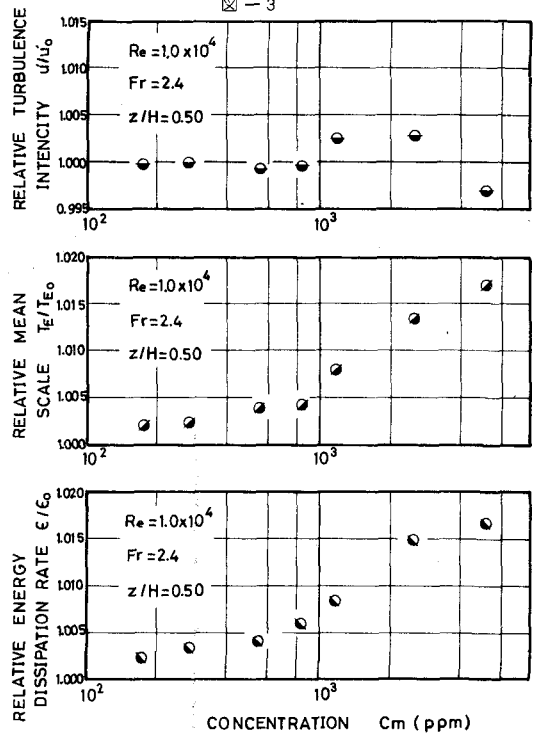
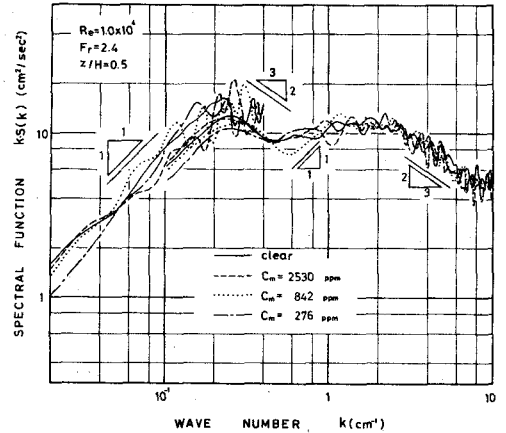


図-4

参考文献

- 1) 日野：土木学会論文集，92，1963.
- 2) 日野：水工学シリーズ 66-07，1966.
- 3) 今本・浅野・大年：土木学会関西支部年講，1977.
- 4) Vanoni：Proc. ASCE，70，1944.
- 5) Vanoni and Nomikos：Trans. ASCE，126，1961.
- 6) 浅野・今本・石垣：土木学会第31回年講，1976.
- 7) 今本・浅野：第19回水理講演会論文集，1975.