

東北大学 学生会員 ○高橋 悠
東北大学 正 会 員 有働恵子
東北大学 正 会 員 真野 明

1. はじめに

砂地地域やその周辺における飛砂問題に対応していくためには飛砂量を算定する必要があるが、これまでに提案されている飛砂量式の変数は経験的に与えられており、飛砂のメカニズムに関して不明な点が多く残されている。本研究では飛砂の輸送過程、特に浮遊現象について基礎的な知見を蓄積するために、理論的に導かれた流砂についての Rouse 浮遊砂濃度分布式¹⁾(1937)を飛砂量鉛直分布の実験結果と比較してこれらの差異について調べた。

2. 研究方法

風速、飛砂量、ならびに飛砂粒子移動速度の鉛直分布に関する実験データ(Ni ら²⁾,2002, Dong ら³⁾,2006)を用いて飛砂濃度の鉛直分布を推定し、Rouse 浮遊砂濃度分布式と比較する。

3. 浮遊砂濃度分布の算定

Rouse 浮遊濃度分布式は次式で表される。

$$\frac{C_z}{C_a} = \left[\left(\frac{h-z}{z} \right) \left(\frac{a}{h-a} \right) \right]^N \quad (1)$$

$$N = \frac{\omega_0}{\kappa u_*} \quad (2)$$

ここで、 C_z は高さ z での浮遊砂濃度、 h : 水深、 ω_0 : 沈降速度、 κ : カルマン係数、 u_* : 摩擦速度($=\sqrt{\tau_0/\rho}$)、 τ_0 : 壁面せん断応力、 C_a : 基準高さ a における浮遊砂濃度である。流砂 h においては水深と定義され、一般に a は $0.05h$ で与えられる。飛砂に適用するにあたって、 h は飛砂層厚とした。Rouse 数を算定するために必要とされる沈降速度は Rubey⁴⁾(1933)の準理論式を用いて求めた。

4. 飛砂量の鉛直分布に関する Ni らの実験

4. 1 実験概要

Ni らは風洞内に粒径 $d=0.17$ mm および 0.35 mm の砂粒子を敷き詰め、自由流での風速 $U=8.5, 11.5, 13.5$, ならびに 16.5 m/s の風を作用させ、風速 $u(z)$ および飛砂量 $q(z)$ の鉛直分布を測定した。また、こ

れらの 8 実験ケースについてそれぞれ飛砂層厚を測定した。

4. 2 風速の鉛直分布

地表上の風速の鉛直分布は対数則に従うとされている。Ni らの実験で測定された風速の鉛直分布も対数則に従っていた。風速の鉛直分布から摩擦速度と粗度高さを算定すると $u_* = 0.49 \sim 1.77$ m/s, $z_0 = 0.04 \sim 0.80$ cm であった。

4. 3 飛砂量の鉛直分布

測定された飛砂の鉛直分布は風速が大きくなるほど鉛直方向に一様な分布に近づいていた。また粒径が大きい場合に鉛直方向に一様な分布に近づいていた。

5. 砂粒子の移動速度に関する Dong らの実験

Dong らは風洞内に粒径 $0.1 \sim 0.2, 0.2 \sim 0.3$, ならびに $0.3 \sim 0.4$ mm の砂粒子を敷き詰め、自由流での風速 $8.0, 10.0, 12.0, 14.0$ m/s の風を作用させる実験を行い次式の関係を見出した。

$$u_p(z) = U \times a_1 \left(\frac{z}{Z} \right)^{b_1} \quad (3)$$

ここで、 $u_p(z)$ は z (cm)での粒子移動速度[m/s]、 a_1, b_1 : 係数、 Z : 境界層高さ[m]である。

Dong らは式(3)を用いて得られる実験値の近似曲線式より係数 a_1, b_1 を求めた。式(3)を用いて、Ni らの実験条件における粒子の移動速度を算定した。ただし、粒子の移動速度が風速を越える部分については粒子の移動速度は風速と等しいと仮定した。

6. 飛砂濃度の鉛直分布

飛砂の質量フラックス鉛直分布と飛砂濃度鉛直分布の関係は次式で与えられる。

$$C(z) = \frac{q(z)}{u_p(z)} \quad (4)$$

ここで $q(z)$ は高さ z での飛砂の質量フラックスである。流砂においては流速と粒子の移動速度が等しいと仮定し、浮遊砂量を流速で除することで浮遊砂濃度分布を求める。しかし、飛砂においては風速と

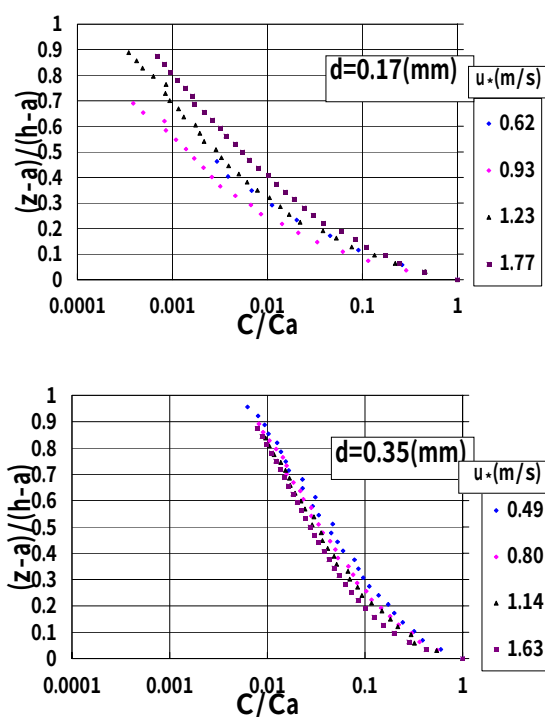


図1 飛砂の鉛直分布(Ni ら, 2002)

粒子の移動速度が異なると考えられるため、 $q(z)$ を式(3)より算定した $u_p(z)$ で除することにより飛砂の $C(z)$ を求める．基準点高さを $a=0.05h$ として C/C_a を求め Rouse 浮遊砂濃度分布式と比較する．

7. 飛砂実験と Rouse 浮遊砂濃度分布の比較

飛砂に関する実験の飛砂の濃度分布を図 1 に、Rouse 浮遊砂濃度分布式を図 2 に、飛砂実験と Rouse 浮遊砂濃度分布が最も一致していた $d=0.17\text{mm}$ 、 $U=16.5\text{m/s}$ における比較を図 3 に示す．

8. 結論

飛砂と流砂では粒径の変化に対して、飛砂では粒径が大きい場合に鉛直方向に一様な分布に近づくのに対し、流砂では砂面付近での濃度が大きくなり、逆の傾向にあった．これは、飛砂は主に掃流移動により輸送されるのに対し、流砂は浮遊移動により輸送されることが影響していると考えられる．また飛砂に関する Ni らの実験で最も粒径が小さく風速が大きい場合に Rouse 浮遊砂濃度分布式と一致する傾向にあった．これは、粒径が小さく風速が大きい場合に砂粒子が砂面に接することなく移動する距離が長くなり、浮遊に近い状態で移動するようになることが要因として考えられる．

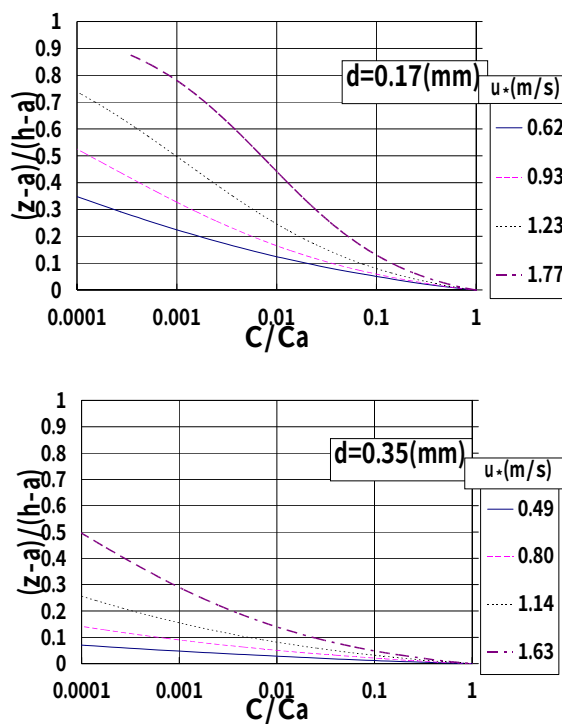


図2 Rouse 浮遊砂濃度分布式

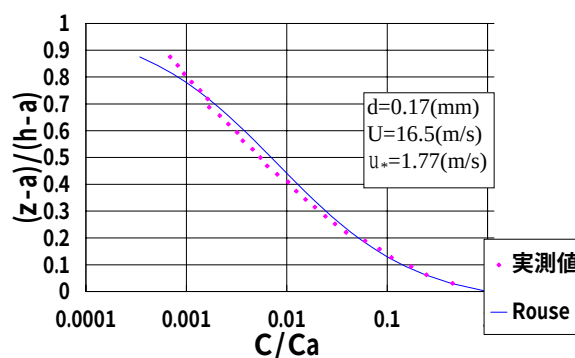


図3 $d=0.17\text{mm}$ 、 $U=16.5\text{m/s}$ における飛砂実験と Rouse 浮遊砂濃度分布の比較

参考文献

- 1)Rouse, H : Modern conceptions of the Mechanics of Tubulence, Trans.ASCE, Vol. 102, pp. 463-543, 1937
- 2)Ni.J.R, Li.Z.S. and Mendoza.C : Vertical Profile of aeolian sand mass flux,Geomorpology 49, pp.205-218, 2002
- 3)Dong. Z, Qian, G, Luo. W, and Wang. H : Analysis of the mass flux profiles of an aeolian salting cloud Jounal Of Geophysical Reserch, VOL.101,D16111, 2006
- 4)Rubey, W.W. : Settling Velocities of Gravel, Sand and Silt Particles, Amer. Jour Sci.,Vol. 25, pp.325-338, 1933