

流砂によるコンクリート磨耗に関わる水路床近傍の粒子挙動に関する実験的検討

名城大学大学院 学生会員 澤木 洋一
名城大学理工学部 正会員 新井 宗之

1. はじめに

コンクリートは磨耗に対する耐久性が低いと言われており、河川構造物やダム等の導水路等に使用されているコンクリート製水路に土砂粒子を含んだ流れが長時間作用すると、土砂濃度にも関係するが、コンクリート壁面の磨耗が無視し得ない状態になることがある。しかし、コンクリート壁面の粒子衝突による剥離や磨耗のプロセスは複雑であり、必ずしも十分に明らかにされているとは言えない。

本研究では、流砂によるコンクリート壁面の磨耗量の定量的な予測をするため、水路床に衝突する粒子数を明らかにすることを目的とし、水路床近傍での粒子濃度と粒子挙動の関係を実験的に検討した。

2. 磨耗モデル

コンクリート壁面に衝突する粒子が球状で、壁面に衝突してその一部が剥離し磨耗する過程を図1のようにモデル化すると、球状粒子が壁面に衝突する前後の運動量の変化が衝突力であると考えられ、単位時間あたりの磨耗量変化率は式(1)のようになる。

$$\frac{dD}{dt} = \frac{3}{4\pi R} \left\{ \left(\frac{1}{\tau_c} \right) \frac{C_d}{t_a} \rho_s \frac{4\pi R^3}{3} (1-e) \right\}^2 v^2 \cdot N \quad (1)$$

ここに、 D ：平均磨耗量、 R ：粒子半径、 τ_c ：壁面材料せん断強度、 t_a ：運動量の変換時間、 C_d ：減衰率、 ρ_s ：粒子の密度、 e ：跳ね返り係数、 v ：粒子の衝突速度、 N ：単位時間、単位面積あたりの粒子衝突数。

本研究ではこの磨耗モデルの必要なパラメータの1つである N の値を求めることを目的とし、実験的に検討した。

3. 実験の概要

実験で使用した水路は、図2に示すように水路長8m、幅15cm、高さ30cm、片面透明ガラス側壁の循環式可変勾配水路である。水路床はペンキ塗布し、滑面である。実験で使用した粒子は、密度 $\sigma = 2.48\text{g/cm}^3$ 、中央粒径 $d_{50} = 0.7\text{mm}$ の球状のガラスビーズである。

実験では、インバータを用いた可変流量ポンプを用いて、ガラスビーズを含んだ水を循環させた。その流水に含有された粒子の挙動解析のために高速度 CCD カメラ (Photoron 製) を用いて 2000frames/sec で流れを撮影した。実験条件は表1に示すとおりである。水路勾配を $\theta = 0.94, 2.99, 6.98\text{DEG}$ で行った。断面平均体積濃度は 0.18~1.32% である。また、流水中の粒子の撮影は、側壁から 2cm 離れた部分が水路幅方向に 5mm 程度撮るように、水面近くにスリットを設けて、撮影粒子を限定した。

4. 実験の結果及び考察

粒子濃度は、高速度 CCD カメラで撮影した画像を水深方向に 6 分割し、その中の粒子数を数えることにより得ている。

Rouse は定常流における濃度の拡散方程式から、河床から $y = a$ の高さにおける濃度を C_a として、次式の

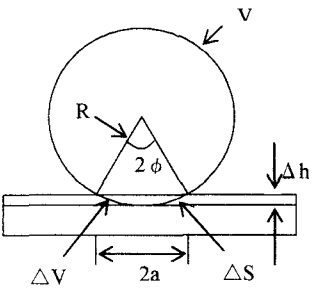


図1 磨耗モデル

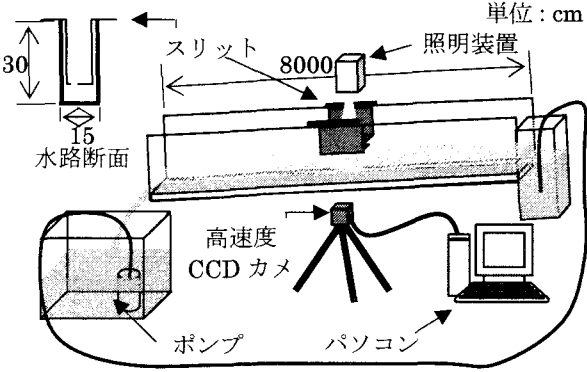


図2 実験装置

表1 実験条件

No.	勾配(°)	流速(cm/sec)	水深(cm)	濃度(%)
1	0.94	130.27	1.49	1.32
2	2.99	155.07	1.25	0.18
3	6.98	258.52	0.84	0.46

ような濃度分布式を導いている。

$$\frac{C}{C_a} = \left[\left(\frac{h-y}{y} \right) \left(\frac{a}{h-a} \right) \right]^Z \quad (2)$$

$$\text{ただし, } Z = \frac{w_0}{\beta \kappa u_*}$$

ここに, C : 河床からの高さ y における濃度, h : 水深, w_0 : 粒子の沈降速度, κ : カルマン定数 ($=0.4$), u_* : 摩擦速度 ($=\sqrt{gh \sin \theta}$), β : 定数。

図3は水路勾配 $\theta = 0.94^\circ$ における実験結果 (■印) と Rouse による濃度分布式 (実線) を示している。図中の実線に式(2)の β を $\beta = 1.6$ とした場合の結果である。実験結果と理論値とは比較的よく一致していると言える。図4, 図5はそれぞれ水路勾配が $\theta = 2.99^\circ$, $\theta = 6.98^\circ$ の場合である。 2.99° の場合もよく一致しているが水路勾配 6.98° の場合は, 河床近傍で濃度が様な層があり, それより上層で Rouse 分布が比較的よく一致している。ただし, この場合 $\beta = 1.2$ としている。

水深方向の濃度分布が, Rouse 分布によく一致しているということに, 時間平均的にみれば, 粒子の沈降 (下方) と上向きの粒子の拡散が平衡状態にあるということの意味している。

しかしながら, このことが水路床近傍でも同様なことが言えるか

どうか明らかでない。そこで, 水路床近傍での粒子方向ベクトル分布を調べた。図6は水路勾配 $\theta = 0.94^\circ$ における粒子の方向分布を示している。横軸に $\xi = (x - \bar{x}) / \sigma$ を, 縦軸に確率密度をとっている。上方 (水面方向) を正, 下方 (河床方向) を負としている。解析画像の精度から分解能力は, $\Delta w = \pm 0.8 \text{ cm/sec}$ である。

水深方向 (y) の速度成分 w が $w = 0$ の場合, 粒子が流下方向に平行移動していることを示している。図6の水路勾配 $\theta = 0.94^\circ$ の場合, 平均的には上向きのベクトルの方が多く, 逆に下方の割合は少ない。水路勾配 $\theta = 2.99^\circ$, 6.98° の場合も同様な傾向を示しており, 粒子の下方へのベクトル分布は 30~40%程度であることを示している。

5. おわりに

粒子の流下過程における挙動について検討した。水深方向の断面平均的には, 粒子沈降と拡散が平衡しているか, 河床近傍では上向粒子の方が多いことを実験的に明らかにした。

【参考文献】 1) 松井宏充, 新井宗之: 土木学会第 58 回年次学術講演会概要集, VI-157, 2003-9

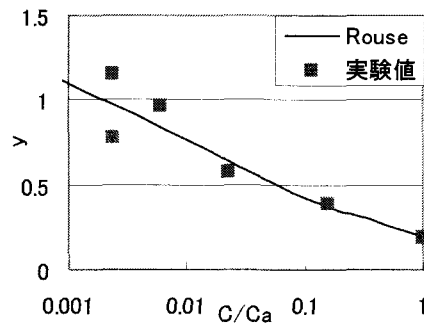


図3 濃度分布 $\theta = 0.94^\circ$

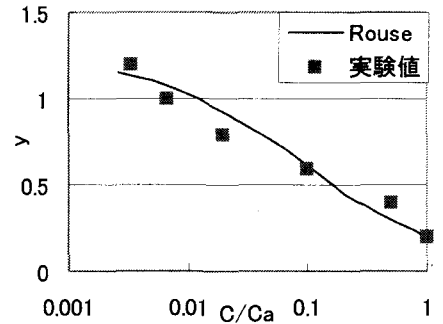


図4 濃度分布 $\theta = 2.99^\circ$

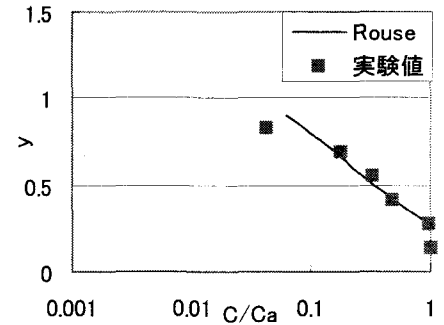


図5 濃度分布 $\theta = 6.98^\circ$

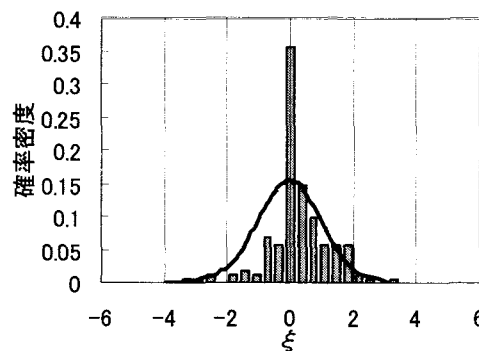


図6 縦ベクトル方向分布 $\theta = 0.94^\circ$

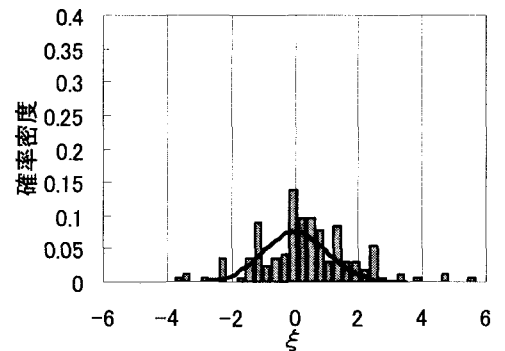


図7 縦ベクトル方向分布 $\theta = 2.99^\circ$

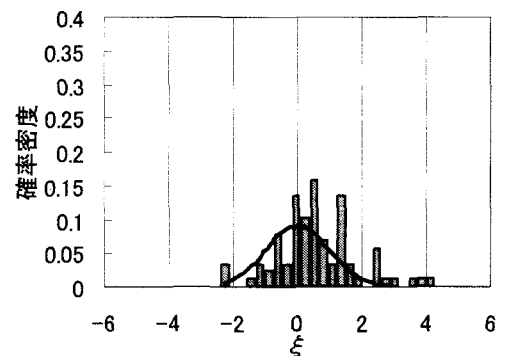


図8 縦ベクトル方向分布 $\theta = 6.98^\circ$