コンクリート磨耗に関わる水路床近傍の流砂の挙動に関する実験的検討

1.はじめに

ダムの導水路等コンクリート製水路において土砂粒 子による磨耗が無視し得ない場合がある.この磨耗量 を定量的に予測するためには,水路床近傍における粒 子挙動を明らかにする必要がある.

本研究では,水路床壁面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方向ベク トルを実験的に明らかにした.

2. 流砂による壁面磨耗量

球状の固体粒子が流れの中の固体壁面に衝突し,そ の壁面の一部が剥離して磨耗する過程を筆者らは単位 時間あたりの磨耗量の変化率として次式を得ている¹⁾.

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

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.

上式からわかるように,平均磨耗量 D は,粒子衝突数 N に比例する.

3.実験の概要

実験で使用した水路は、図1に示すように水路長8m, 幅 15cm,高さ30cmの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,図2に示すように密度 *σ* = 2.48g/cm³,中央粒径*d*₅₀ =0.7mm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.実 験は水路勾配を $\theta = 0.94$, 2.99, 5.03, 6.98, 9.99DEG で行った.断面平均体積濃度は 0.18~



学生会員

澤木 洋一

10

名城大学大学院

0.1

図2 実験粒子の粒径加積曲線

粒径(mm)

表1 実験条件一覧

No.	水路勾配(°)	流速(cm/sec)	水深(cm)	容積濃度(%)
1	0.94	130.3	1.49	1.32
2	2.99	155.1	1.25	0.18
3	5.03	191.3	1.01	0.24
4	6.98	258.5	0.84	0.46
5	9.99	248.0	0.75	0.37

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.実験結果及び考察

流砂などの固体粒子の衝突に起因する河床材料の磨 耗量を定量的に明らかにするためには,粒子の河床壁 面への衝突機構を明らかにする必要がある.とりわけ, 粒子の衝突数を明らかにする必要がある.

ここでは,上記のような実験によって水路床壁面への粒子衝突について検討する.

Rouse は,定常流の濃度に関する次式のような拡散 方程式より,河床からy = aにおける濃度を C_a とし て次式のような濃度分布式を導いた.

キーワード コンクリート磨耗,実験的検討,流砂,粒子挙動,水理構造物

連絡先 〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目 501 番地 名城大学 TEL 052-832-1151 FAX 052-832-1178



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 $\theta = 5.03^{\circ}$





ここに, *C*:河床から高さ y における濃度, *h*:水 深, *Z* = $w_0 / \beta \kappa u_*$, u_* :摩擦速度(= $\sqrt{gh \sin \theta}$), κ :カルマン定数(=0.4), β :実測値による補正係数.

図3は水路勾配 θ = 0.94°の場合の実験結果(印) と Rouse による濃度分布式(実線)との関係を示して いる. β は β = 1.6としている.実験結果と理論値は 比較的よく一致している.図4,図5はそれぞれ水路 勾配が θ = 5.03°,9.99°の場合である. θ = 9.99°の 場合は,河床近くで濃度の一様な状態があり,それよ り上層部において,Rouse分布がよく一致している. この場合も β = 1.6である.図では示していないが, θ = 2.99°で β = 1.6, θ = 6.98°で β = 1.4で比較的, 実験結果と Rouse の濃度分布式がよく一致している. このことは,時間平均的にみれば,粒子の沈降と粒子 の上方拡散が平衡状態にあることを意味している.

しかし,このことが水路床近傍においても言えるか どうか明らかではない.そこで,水路床近傍における 粒子の鉛直方向運動の分布について調べた.図6は水 路勾配 $\theta = 0.94^{\circ}$ における,粒子の鉛直方向ベクトル 分布を示している.横軸は, $\xi = (w_s - \overline{w_s})/\sigma$ で鉛直 方向成分の大きさを示している.ここに, w_s は粒子速 度の鉛直方向成分, $\overline{w_s}$ は w_s の時間平均, σ は w_s の 標準偏差である.上向き(水面方向)を正,下方(河 床方向)を負としている.縦軸は確率密度を示してい





図9 下方ベクトルの割合

る.画像解析の精度から,鉛直方向の分解能は $|\Delta w_s| = 0.8 \text{ cm/sec}$ である 鉛直成分 ξ が $\xi \approx 0$ の場合, 粒子は流下方向にほぼ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,時間平均的 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. 図 7, 図 8 の水路勾配 θ = 5.03°, 9.99°の 場合もほぼ同様な傾向を示している.ただ,固定床の 粒子運動であるので,コントロールボリューム内の粒 子の連続性は保たれていなければならない.したがっ て、図6の θ = 0.94°の場合は顕著に示されているが、 河床近傍で,ゆっくりと下方から流下方向成分に移動 し,流体の乱れ等による上向成分に移動する粒子が比 較的多いことを示しているものと考えられる.図9は 下方ベクトルの割合を示している.横軸は水路勾配で ある,実験結果によると粒子の下方ベクトル成分の分 布は平均的には河床近傍粒子(濃度)の30~40%程度 であることを示している.

【参考文献】

 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