

流水中の土砂粒子の粒径変化による水路壁面の摩耗に関する実験的研究

名城大学 正会員 新井 宗之

名城大学 学生会員 ○加藤 隼平

1. はじめに

水理構造物等に多用されている建設材料であるコンクリートは、一般的に流砂の作用による耐摩耗性が一般的には低い。そのため土砂粒子の衝突などの影響を長時間受けることにより、壁面の摩耗による損傷が無視できなくなることがある。この壁面摩耗量を定量的に予測するに当たって、粒子の作用による壁面剥離や摩耗のプロセスは複雑な面があり、必ずしも十分に明らかにされているとはいえない。

本研究では粒子の壁面衝突時における衝突力に着目し、粒子の衝突による壁面剥離を表した摩耗モデルを用いて、コンクリートの壁面摩耗量を予測することを目的としている。摩耗モデルにより摩耗量を算出する際に適用するパラメータを正しく評価するために、高速度 CCD カメラを用いた画像解析によって壁面摩耗に関わる水路床近傍における粒子の挙動に関わる粒径の影響について実験的に検討した。

2. 摩耗モデル

本研究では球状粒子が壁面に衝突する前後における運動量の変化量を衝突力と考え、この衝突力の衝突前後での変化量に相当する単位時間当たりの壁面摩耗量を次式で表している¹⁾。

$$\frac{dD}{dt} = \frac{4}{9} \pi \cdot C_d^2 \left(\frac{1-e}{t_a} \right)^2 R^5 \left(\frac{\rho_s}{\tau_c} \right)^2 v^2 \cdot N \quad (1)$$

ここに D : 平均摩耗量, R : 粒子半径, τ_c : 壁面材料のせん断強度, t_a : 粒子の壁面への接触時間, C_d : 周辺流体の影響と非球形状による補正係数, ρ_s : 粒子の密度, e : 跳ね返り係数, v : 粒子の壁面への衝突速度, N : 単位時間, 単位面積当たりの粒子の衝突個数。

3. 水路床近傍における粒子挙動に関する実験

摩耗モデルに用いるパラメータを的確に評価するために以下のような実験を行った。

(1) 実験の概要

実験装置は図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。水路床はモルタルを塗布してあり、粗面状態である。実験で使用した粒子は密度 $\rho = 2.48 \text{ g/cm}^3$ 、中央粒径 $d_{50} = 0.7 \text{ mm}, 1.21 \text{ mm}, 3.00 \text{ mm}$ の3種類の透明ガラスビーズを使用した。この粒子を含む水を、可変流量ポンプを用いて水路内を循環させ、水路床近傍における粒子の挙動を、高速度 CCD カメラを用いて 2000(frames/sec)で撮影する。水路勾配は、 $\theta = 0.94, 2.99, 5.03, 6.98, 9.99 \text{ (DEG)}$ の5パターンである。パソコンに取り込んだ撮影画像より水路床近傍における粒子の挙動特性について画像解析を行った。粒子挙動は側壁より2cm水路中央よりで、5mmのスリット光源の照射を受けた粒子を解析に供している。

(2) 画像解析方法

図2は解析方法の概念図である。摩耗量予測に対して重要な要素である粒子の衝突速度は、粒子が壁面に衝突する前後の5frames間隔で6区間、合計30framesを追跡し、画像内における粒子の位置座標と経過時間の関係より求めた。また、断面平均流速と比較した。単位面積当たりの粒子の接触個数の割合は、撮影した5秒間において壁面に衝突した粒子の総数をカウントし、画像解析時に各粒径、各勾配での流下方向への粒子流速と、画像内に存在する粒子の総数をカウントし、その平均から撮影時間内に画像内を通過する粒子数を求める、この結果と衝突粒子個数との比をとって求めた。

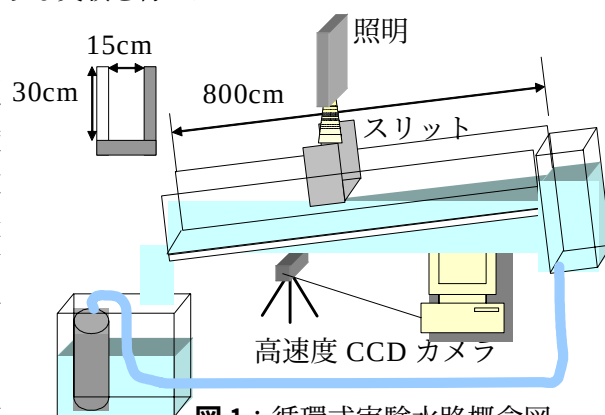


図1：循環式実験水路概念図

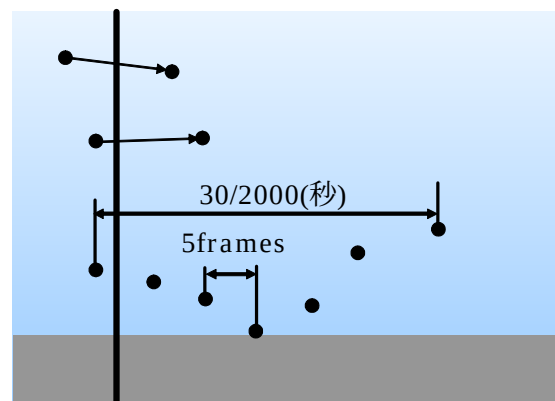


図2：粒子挙動解析の概念図

キーワード：流砂，摩耗，粒子挙動，実験

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 TEL052-832-1151 FAX052-832-1178

(3) 実験結果・考察

粒子の壁面への衝突速度を断面平均流速との比で表したものが図3である。図3より中央粒径 $d_{50} = 0.7\text{mm}$ のとき壁面への衝突速度は断面平均流速の約6割程度であり、勾配の増加にしたがって若干増加していく傾向が見られた。また中央粒径 $d_{50} = 1.71\text{mm}, 3.0\text{mm}$ のときの衝突速度は断面平均流速の約8～10割程度で平均流速と同程度で粒子が水路床に衝突することがわかった。粒径が $d_{50} = 0.7\text{mm}$ のような小さな粒径の場合には、水路床近傍で流速の遅い流体の影響を強く受けるためだと考えられる。また、水路勾配が 3° 以上のとき衝突速度は粒径の変化によって比較的变化しない傾向が見られた。

粒径変化による水路勾配(掃流力)の変化に関わる粒子の壁面への衝突割合を図4に示している。中央粒径の増加にしたがって若干の変動があるが、水路勾配が 3° 以上では粒径の違いによる大きな差異は見られない。しかし、勾配が 1° のように掃流力が小さく粒子の浮遊に均衡するような領域では粒径の影響が大きくなるものと考えられる。

4. コンクリート供試体の流砂による摩耗実験

(1) 実験の概要

上記の解析等で得られたパラメータを用いた摩耗モデルによる摩耗量の予測結果と実際の壁面摩耗量との比較を行うために以下のような実験を行った。は水路長 3m, 幅 10cm, 水路側壁高 15cm, 水路勾配 7° の循環式水路である。使用する粒子は平均中央粒径 $d_{50} = 1.21\text{mm}$, 密度 $\rho = 2.60\text{g/cm}^3$ の土砂である。この土砂を含有する水を、可変流量ポンプを用い、流量・濃度がほぼ一定の値となるように調整しながら水路内を循環させる。なお断面平均濃度 2.88(%), 平均流量 $0.0033(\text{m}^3/\text{s})$, 表面流速は $1.71(\text{m/s})$ であった。

(2) 実験結果

50時間ごとの壁面摩耗量と摩耗モデルによる計算結果を比較したものが図5である。摩耗モデルの計算に用いるパラメータは画像解析によって得られたものを用い、跳ね返り係数 $e = 0.76$, 壁面への接触時間 $t_a = 0.0002$ (秒), 衝突速度は断面平均流速の約8割強として算出した。25時間ごとに流量・濃度を調節したが完全に一定の値にすることは極めて困難であるために、実際の壁面摩耗には時間的にばらつきが出ているが摩耗モデルによる計算値と壁面摩耗量は比較的良好な傾向の一致を示した。

5. まとめ

本研究では流水中における粒子挙動に関する検討を行った。壁面への粒子の衝突速度は粒径の変化によって断面平均流速の約6割程度から約9割強程度まで変化する傾向を見せた。また壁面への衝突割合掃流力が大きな場合には粒径の影響は顕著には現れないが、小さな場合には粒径の影響が生じる傾向が見られる。これらのパラメータを用いた摩耗モデル式による計算結果と実際の水路壁面の摩耗量は比較的良好な一致を示した。

【参考文献】

- 1) 新井宗之, 澤木洋一: 流砂によるコンクリート製水路の摩耗予測に関する研究, 水工学論文集, №49, pp.931-936, 2005.3
- 2) 新井宗之, 加藤隼平: 壁面摩耗に関わる流水中の粒子挙動に関する実験的研究. 土木学会中部支部, 平成17年度研究発表会講演概要集, p.p127-128, 2006-3

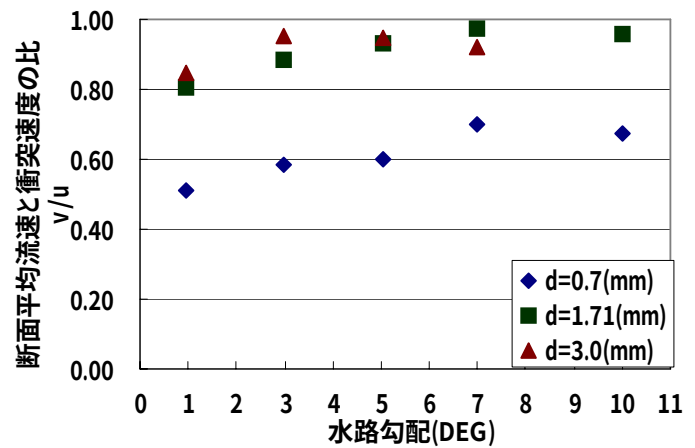


図3：粒子の衝突速度と断面平均流速との関係

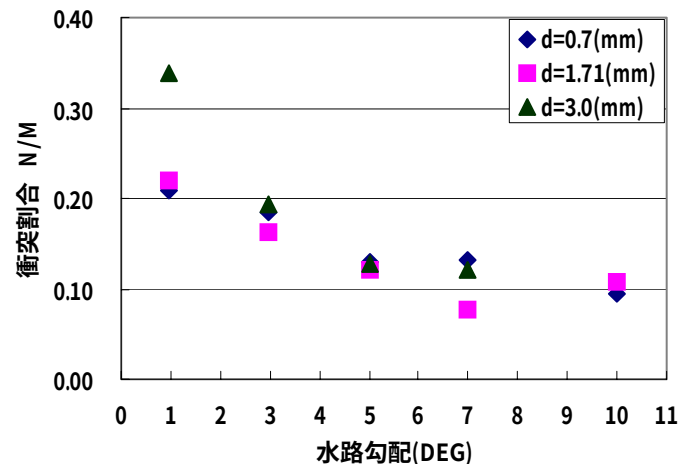


図4：粒子の壁面への衝突割合

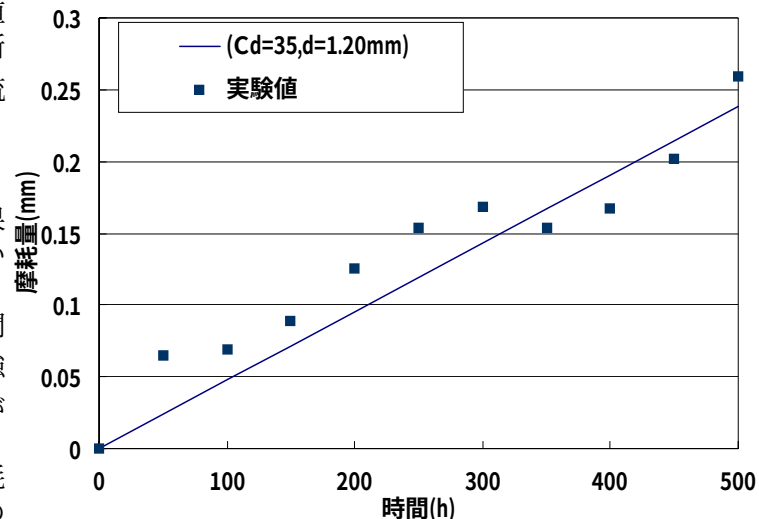


図5：壁面摩耗量と摩耗モデルによる理論値