

壁面近傍の粒子挙動を考慮した流砂によるコンクリート製水路の摩耗

名古屋大学大学院 学生会員 ○松井 宏充
名城大学理工学部 正会員 新井 宗之

1. はじめに

コンクリートは摩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等を含んで水が流れている場合、土砂濃度に関係するが、コンクリート壁面の摩耗量が無視し得ない状態になることがある。これは、河川構造物の維持管理の面からも重要な問題である。しかし、コンクリート壁面の粒子衝突による剥離や摩耗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。本研究ではコンクリートの摩耗において、流水中の砂粒子の衝突力が主要な要因であると考え、摩耗過程の粒子衝突による壁面剥離の物理モデルをもとに、摩耗量を定量的に予測するため、粒子の壁面衝突による運動量変換時間、水路床近傍での粒子濃度を実験的に明らかにすることを目的とした。

2. 摩耗モデル

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摩耗する過程を図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、単位時間あたりの摩耗量変化率は式(1)のようになる。

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

ここに、D:平均摩耗量、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、単位面積当りの粒子衝突数。

3. コンクリート壁面近傍の流砂の速度と衝突個数

(1) 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200cm、幅10cm、高さ15cmの可変勾配水路である。水路床は摩耗実験に使用したコンクリート製供試体を敷き並べてある。実験砂は珪砂6号で、密度 $\rho_s=2.60\text{g/cm}^3$ 、中央粒径 $d_{50}=0.35\text{mm}$ である。実験条件は流量 $Q=0.0022\text{m}^3/\text{s}$ 、表面流速 $v=2.0\text{m/s}$ 、水深 $h=1.5\text{cm}$ 、容積濃度 $C=0.002$ である。また、砂粒子の挙動解析のために高速CCDカメラを使用し3000frames/secで流れを撮影し解析に供した。

(2) 実験結果及び考察: 図-3は流砂の流下状況の画像例である。水深方向の粒子濃度分布は図中に示しているように、水深方向を6分割し、その中の粒子数を数えることによって得ている。粒子の水深方向の濃度分布は図-4のようである。横軸は、流水中のカ

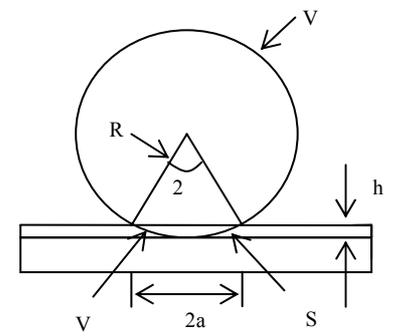


図-1 摩耗モデル

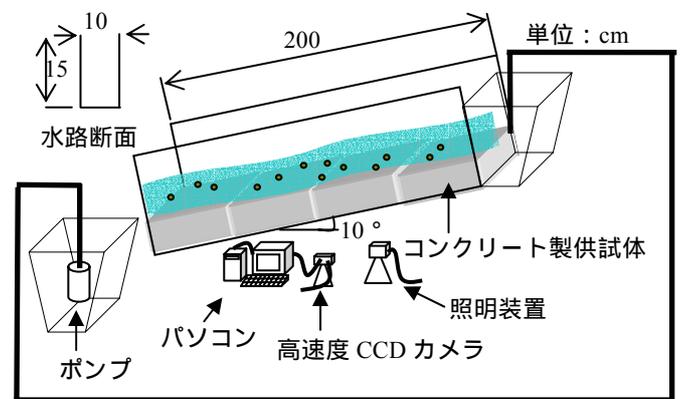


図-2 実験装置

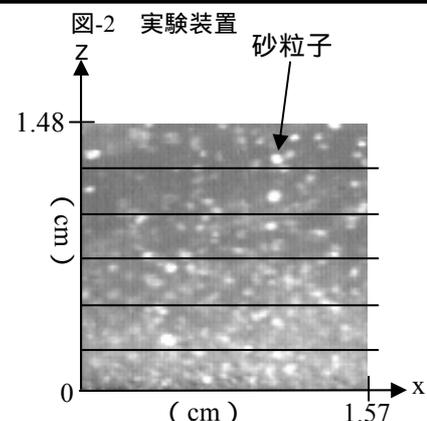


図-3 個数分布の解析画像の例

キーワード: 摩耗, コンクリート製水路, 実験, 流砂

連絡先: 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 TEL 052-832-1151 FAX 052-832-1178

ウントされた粒子数 (n_i/n_1) を示している。図中の実線は対数関数を示しており、このような短い水路においても平衡状態の浮遊砂濃度分布は、ラウスなどが求めた指数関数に近いことを意味している。この実験では路床近傍 ($z_a=0.05H$) に粒子全体の 31% が存在することを示している。また、路床近傍の砂粒子のベクトルの方向分布を調べると、下方向のベクトルは 36.5% 程度の割合である。平衡状態では下方、上方がそれぞれ 50% と考えられるが、測定範囲内では浮遊状態のままで流下する粒子があるためこのような結果となったと考えられる。また粒子の軌跡から、流下方向、鉛直方向の速度成分はそれぞれ 0.79m/s 、 0.0098m/s である。これらのことから単位時間 (sec)、単位面積 (m^2) あたりの壁面への粒子衝突個数は $N=1.33 \times 10^8$ 個である。

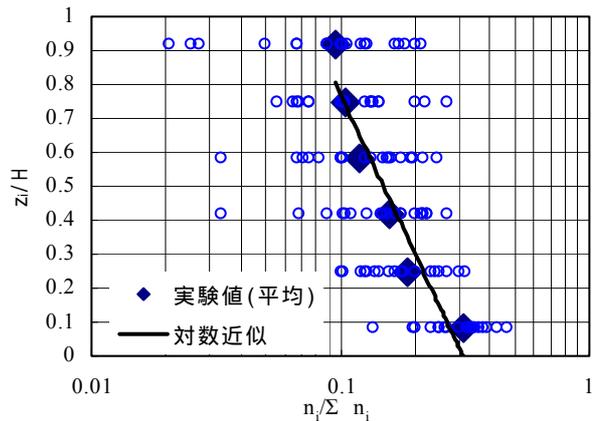


図-4 相対水深における砂粒子の個数割合

4. 流水中における粒子の壁面衝突時間

前節で用いた実験水路を用い、粒子を含有する流れを水路床コンクリート壁面にほぼ 45° の角度で衝突するように流した。実験粒子は球状のガラスビーズで粒径 $d=0.9\text{mm}$ 、密度 $\rho=2.48\text{g/cm}^3$ である。流水中の粒子は高速度 CCD カメラを用いて 5000frames/sec の撮影画像により解析された。粒子の速度は 5frames の平均を用い、粒子の路床面接触前後の移動軌跡、速度変化から粒子の跳ね返り係数と接触時間を求めた。15 回の平均結果は、跳ね返り係数 $e=0.544$ 、接触時間 $t_a=1/3018 \approx 1/3000=0.00033\text{sec}$ であった。

5. 流砂によるコンクリート壁面の摩耗

前節で用いた実験水路で表-1 に示す細骨材率の異なったコンクリート供試体の摩耗量を検討した。流砂とした珪砂 6 号を容積濃度 $c=0.03$ (3%) を含有させ流量 $Q=0.0033\text{m}^3/\text{s}$ を定常流として流した。流水の表面流速は約 2.0m/s である。コンクリート供試体は、細骨材率を 100, 80, 60, 40, 20% と変え、圧縮強度は $49.9 \sim 56.6\text{MPa}$ でほぼ等しいものである。摩耗量の測定は分解能 $1\mu\text{m}$ のレーザー測定器を用いた。図-5 に実験結果と式 (1) による計算結果が示してある。計算値で用いた水路床面への粒子衝突数 N 、衝突時間 t_a 等は前節までの結果を用いている。計算値と実験値は、計算値が少し小さな値となっているが比較的良好に一致していると思われる。

表-1 圧縮試験結果

細骨材率(%)	圧縮強度(MPa)
100	51.9
80	50.3
60	56.6
40	51.8
20	49.9

6. おわりに

理論式に含まれる粒子衝突数や接触時間を詳細に検討し、流砂による水路床摩耗実験を行ない摩耗モデルと実験値がよく一致していることを示した。ただし、理論値の方が少し小さな値となっておりさらに検討したい。

謝辞 実験等に際し柴田賢吾氏に協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献：1) 新井宗之, 川島和義, 福島浩一, 武田晋治; 土木学会第 54 回学術講演会概要集, 177, 1999, 2) 東条裕, 久田雅樹; 流砂によるコンクリート製水路の摩耗予測に関する水工学的研究, 名城大学理工学部土木工学科卒業論文, 2001

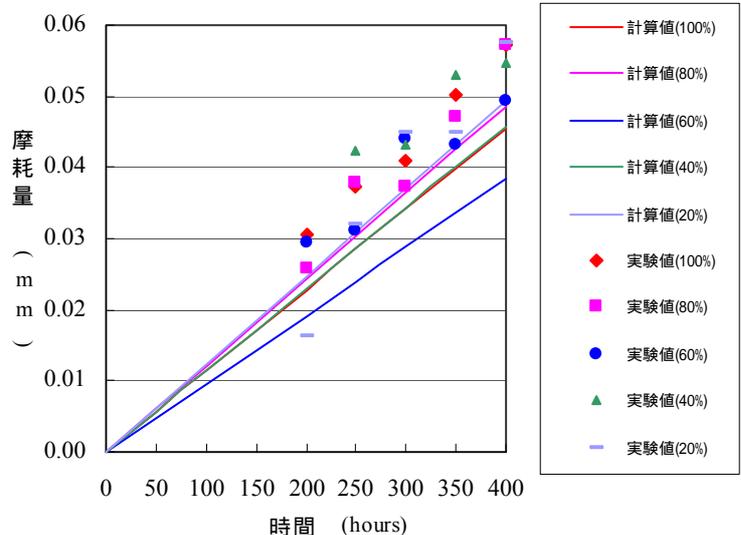


図-5 摩耗量