

流砂による壁面磨耗モデルに関する基礎的研究

名城大学理工学部 正会員 新井 宗之
 名城大学理工学部 学生会員 ○加藤 隼平
 名城大学大学院 学生会員 澤木 洋一

1. はじめに

電力用導水路等の水理構造物に多く使用されているコンクリートは、一般的に磨耗に対する耐久力が低いと言われており、流砂量の多い場合や、流砂量が少ない場合でも長時間その作用を受けると、コンクリート壁面の損傷が無視できない場合がある。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言えない。

本研究では、固体粒子の壁面衝突による壁面剥離の物理モデルを用いて、流砂によるコンクリート壁面等の磨耗量を定量的に予測することを目的とし、基礎的な実験によりモデルの妥当性を検討した。

2. 磨耗モデル

図1はコンクリート壁面に球状の粒子が衝突し、壁面の一部が剥離し摩耗する過程をモデル化したものである。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、単位時間当たりの磨耗量の変化率は式(1)のようになる¹⁾。

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

ここに、 D : 平均磨耗量, R : 粒子半径, τ_c : 壁面材料せん断強度, t_a : 壁面衝突時間, C_d ; 周囲流体の影響と非球形粒子による補正係数, ρ_s : 粒子の密度, e : 跳ね返り係数, v : 粒子の衝突速度, N : 単位時間・単位面積あたりの粒子衝突個数。

3. 実験の概要

図2は本実験で使用した実験装置を示したものである。実験で使用した粒子は図3に示すように中央粒径 $d_{50}=0.7\text{mm}$, 密度 $\sigma=2.48\text{g/cm}^3$ の球形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により、ガラスビーズを含んだ水をほぼ一定な流量(441~463 cm^3/s)と濃度(0.6~0.8%)で循環させた。その流水を内径1.6cmの塩ビ管より、コンクリート供試体上面の同じ位置に連続100時間あてた。ここで用いたコンクリート供試体は、図4に示すような直径10cm, 高さ20cmの円柱のものであり、圧縮強度41.0MPa, 細骨材率80%である。供試体は、一度衝突した粒子が再び衝突しないよう30°傾けて設置しており、供試体の上面は2枚の亚克力板を設置し仕切って流水のあたる範囲を限定している。また流れの中での粒

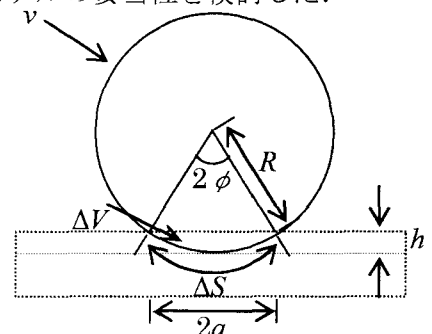


図1 磨耗モデル

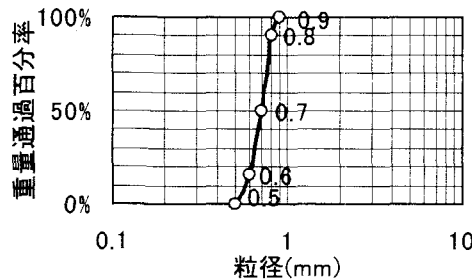


図3 実験粒子の粒径加積曲線

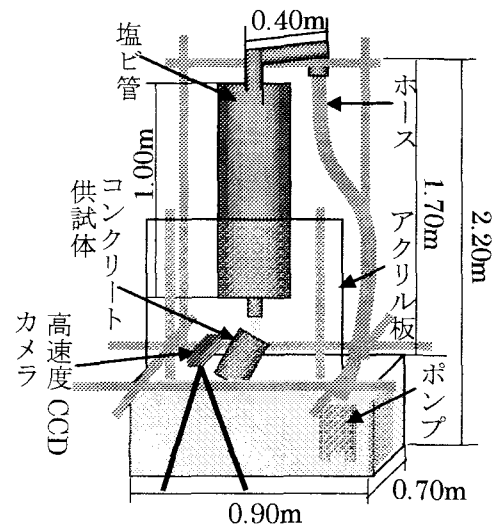


図2 実験装置

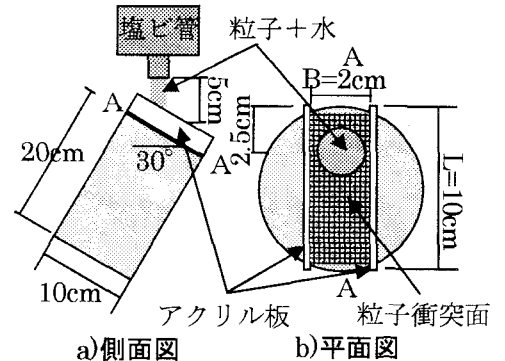


図4 コンクリート供試体

子がコンクリート壁面に衝突するときの挙動を知るため、高速度 CCD カメラ(Photoron 製)を用いて 1/5000sec で流水を撮影した。

磨耗量の測定は、分解能 $1\mu\text{m}$ のレーザー測定器を用いて 10 時間経過する毎に行った。測点は、供試体上面に 2 枚の亚克力板を設置して仕切った $2\text{cm}\times 10\text{cm}$ の区間を 2mm メッシュに分割した点とした。また、常に同じ位置の磨耗量を測れるよう測点の位置をデジタルインジケーターで計測しながら行った。

4. 実験結果及び考察

磨耗モデル式を用いて、粒子衝突によるコンクリート壁面の磨耗量を求めるためには、跳ね返り係数、粒子の壁面衝突速度、粒子の壁面衝突時間、単位時間・単位面積に衝突する粒子数を知る必要がある。本研究では、跳ね返り係数、粒子の壁面衝突速度、粒子の壁面衝突時間の値を知るために流水中の粒子の挙動を高速度 CCD カメラを用いて 1/5000sec で撮影し、画像解析により求めた。粒子の壁面衝突速度は、粒子がコンクリート壁面に衝突する直前の 9/5000sec の間において、3/5000sec 間隔で粒子を追跡して求めた。跳ね返り係数及び粒子の壁面衝突時間は、図 5 に示すように粒子がコンクリート壁面に接触した位置を基準として、粒子が壁面に接触する前後の粒子の挙動を 3/5000sec 間隔で 18/5000sec 追跡することにより得ている。その結果は、跳ね返り係数 $e=0.56$ 、衝突速度 $v=3.71\text{m/sec}$ 、粒子の壁面衝突時間 $t_a=0.0002\text{sec}$ であった。また、単位時間・単位面積に衝突する粒子数は、実験時における流量と濃度より算出し、その結果は $N=8.60\times 10^7$ 個であった。図 6 は連続 100 時間経過後のコンクリート壁面の磨耗状況を示したものである。流水はコンクリート供試体の直径の 3/4 の位置、図 6 のグラフの $L=75\text{mm}$ の位置に常にあてており、この図からその付近の磨耗量が多くなっていることがわかる。図 7 は磨耗モデルによる計算結果と実験結果を示したものである。ここで磨耗モデルに適用したコンクリート壁面のせん断降伏応力 τ_c は、最大せん断応力が最大垂直応力の 2 分の 1 であることから圧縮降伏応力 σ の 2 分の 1 を用いる。また、周囲流体の影響と非球形粒子による影響の実験定数 C_d は 0.8 としている。磨耗モデルによる計算結果と実験結果は比較的良好に一致した。

5. まとめ

本研究では、固体粒子の壁面衝突による壁面剥離の物理モデルを立て、そのモデル式に必要なパラメーターを画像解析により求め、モデルの妥当性を実験により検討した。その結果、実験定数 $C_d=0.8$ で磨耗モデルによる計算結果と実験結果は比較的良好に一致を示し、モデルの妥当性を示した。水路や河川の流砂現象における土砂粒子の河床面に衝突する粒子個数は、従来の流砂研究によるステップレングスなどの考えでは、得難いものがある。今後は河床近傍における粒子の挙動をさらに検討する必要がある。

【参考文献】 1) 澤木洋一, 新井宗之: 土木学会第 59 回年次学術講演会概要集, 2-113, 2004-9

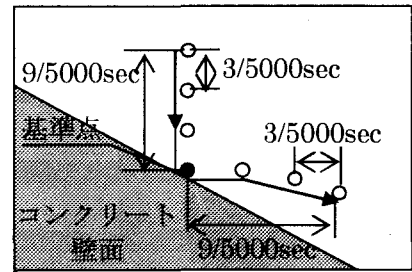


図 5 解析方法の例

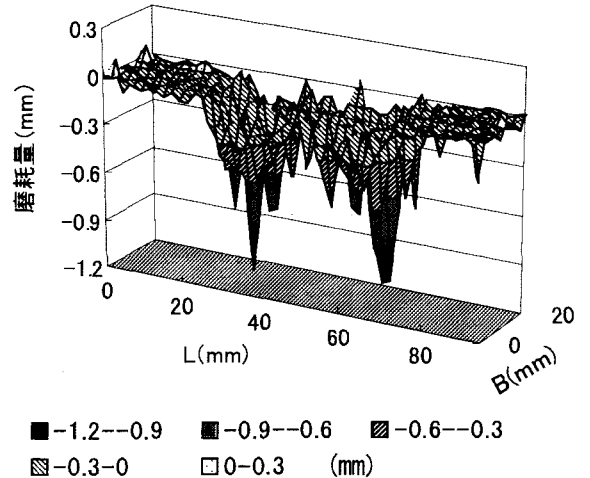


図 6 コンクリート壁面の磨耗状況

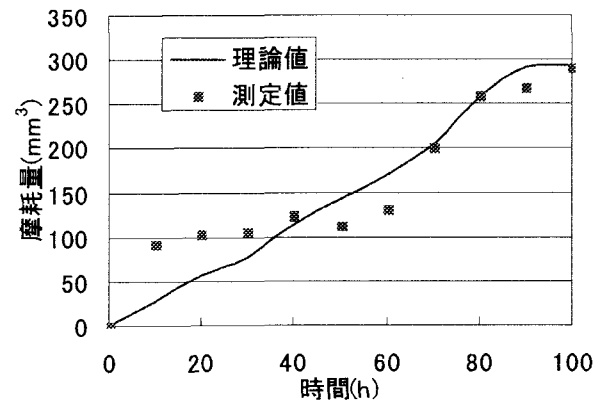


図 7 壁面磨耗量の計算結果と実験結果