

## 流砂の作用によるコンクリート磨耗の予測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

水理構造物に多用されるコンクリートは磨耗に対する耐久性が低いといわれており、河川構造物や導水路等において、濃度に関わらず流砂を含む流れが長時間作用することにより、コンクリート壁面の損傷が無視できない状況になることがある。しかし、流水中の粒子による磨耗に関するプロセスは非常に複雑であり、必ずしも十分に明らかにされているとは言えない。そこで本研究では、固体粒子の壁面への衝突による磨耗について検討している。水路床近傍における粒子の挙動を実験により解析し、コンクリート壁面磨耗に関わるパラメータの一つである壁面への粒子の衝突数を断面平均濃度や平均流速との関係で検討したものである。

### 2. 磨耗モデル

球状粒子が流れの中で固体壁面に衝突し、衝突した壁面の一部が剥離する過程を、本研究では単位時間当たりにおける壁面磨耗量の変化式として次式を用いて表している<sup>1),2)</sup>。

$$\frac{dD}{dt} = \frac{4}{9} \pi \cdot C_d^2 \left( \frac{1-e}{t_a} \right)^2 R^5 \left( \frac{\rho_s}{\tau_c} \right)^2 v^2 \cdot N \quad (2.1)$$

ここに、 $D$ :平均磨耗量、 $R$ :粒子半径、 $\tau_c$ :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粒子の補正、 $\rho_s$ :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、単位面積当たりの粒子の衝突個数

### 3. 流水中における粒子の水路床面への衝突割合と衝突速度に関する実験

磨耗に関係する粒子の流水中における挙動を把握し、流水に含有する粒子の、水路床面への衝突割合と衝突速度を検出するために次のような実験を行った。

#### (1) 実験の概要

実験で使用した水路は図1に示す水路長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。水路床はコンクリート面である。実験で使用した粒子は中央粒径 $d_{50}=0.7\text{mm}$ 、密度 $\rho=2.48\text{g/cm}^3$ の透明ガラスビーズである。この粒子を含む水を、可変流量ポンプを用いて水路勾配 $\theta=1,3,5,7,10$ (DEG)の水路内を循環させた。この流水を、高速度 CCD カメラを用いて2000frames/secで水路側面より撮影した。流量 $0.003\text{m}^3/\text{sec}$ 、断面平均濃度 $0.18\sim 1.32\%$ である。また、側壁から2cmほど離れた部分の粒子が、水路幅方向に5mm程度の範囲で撮影できるように水面付近にスリットを設置した。画像の解析方法として、撮影画像を水深方向に10分割し、粒子の存在個数をカウントし、水深方向の濃度分布を求めると同時に、衝突する粒子数と一断面を通過する粒子数をカウントすることにより衝突割合を求めた。また、撮影画像内での粒子の位置を $5/2000\text{frames}$ 間隔で追跡し衝突速度を求めた。

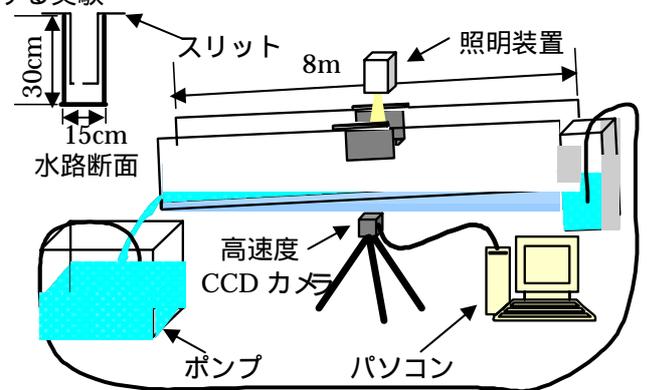


図1 実験水路

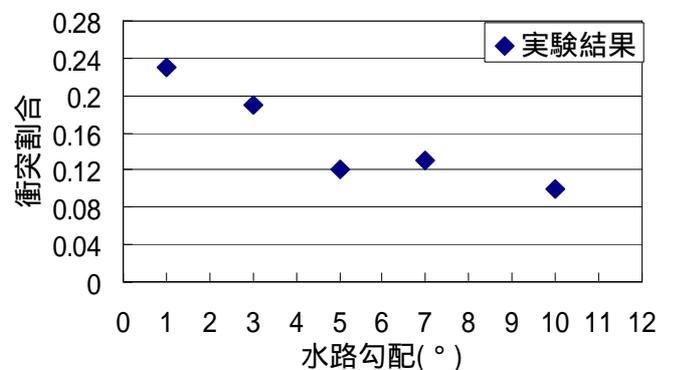


図2 衝突割合

キーワード：流砂，磨耗，コンクリート，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 TEL 052-832-1151 FAX 052-832-1178

## (2) 実験結果

粒子の衝突割合は画像内の一断面を通過する粒子数に対する水路床面に衝突する粒子数の比として求めた．その結果を図2に示す．粒子の衝突割合は約15%程度であった．また実験結果より水路勾配の増加に伴い衝突割合が減少する傾向が見られた．これは、底面近傍の磨耗速度が粒子の壁面衝突に影響しているものと考えられる．一方、粒子の衝突速度を理論的に導くことは今のところ困難なため、平均流速や表面流速との関係を求めると実用的には有用である．ここでは、断面平均流速と衝突速度との関係を実験的に得ており、表-1のようである．粒子の水路床への衝突速度は、断面平均流速の6割程度である．

## 4. 流砂によるコンクリート製水路床の磨耗実験

実際の流砂による磨耗量を測定するために次のような実験を行った．

## (1) 実験の概要

実験で使用した水路は水路長3m、幅10cm、高さ15cm、水路勾配10°の循環式水路である．使用した粒子は中央粒径 $d_{50}=0.7\text{mm}$ 、密度 $\rho=2.60\text{g/cm}^3$ の珪砂4号である．この粒子を含む水を、可変流量ポンプを用いて断面平均濃度2.85%、流量 $0.0029\text{m}^3/\text{sec}$ の定常流として流した．なお表面流速は $1.70\text{m/sec}$ であった．

磨耗対象であるコンクリート供試体は細骨材率を100%、80%、60%、40%、20%とした5種類を水路床上に設置した．供試体の圧縮強度は $43.3\sim 58.5\text{MPa}$ でほぼ等しいものである．実験開始から25時間毎に流量と濃度を測定、調節し、50時間毎に、分解能 $1\mu\text{m}$ の光波測定器を用いて磨耗量の測定を行った．

## (2) 実験結果

図3は磨耗モデルを用いた計算結果と実際の磨耗量の測定値を比較したものである．磨耗モデルの計算上用いる各パラメータは前実験において画像解析を行った際に得た結果を検討し考慮した．粒子の跳ね返り係数 $e=0.56$ 、粒子の壁面への接触時間 $t_a=0.0002\text{sec}$ 、単位時間、単位面積当たりの粒子の衝突個数は前述の実験結果より、 $N=7.03\times 10^5$ 個であった．衝突速度は断面平均流速の約6割とした．供試体のせん断降伏応力 $\tau_c$ は圧縮強度の1/2として使用した．また周辺流体の影響と非球形粒子における補正係数 $C_d$ は50として計算している．図3より細骨材率100%、80%、60%の供試体の磨耗量は計算結果と比較よく一致している．しかし、細骨材率40%、20%の供試体での磨耗量は計算結果と比べて多く磨耗していることがわかる．粗骨材率20%の場合、特に実験結果の磨耗量が多くなっている．これは、粗骨材が最も多いコンクリートであり、局所的な強度の不均質やモルタル部分の磨耗により粗骨材が流水中に露出し、流水の効力の作用など粒子衝突以外の要素の影響と考えられる．

## 5. まとめ

流水中における壁面へ衝突する粒子の挙動とコンクリート水路床における磨耗量について検討した．壁面への粒子の衝突速度は断面平均流速の約6割程度のものであった．また、水路の一断面を単位時間に通過する粒子に対する壁面衝突粒子数の割合は平均で約15%であった．コンクリート水路床における流砂による磨耗量の実験を行い、著者らのモデル式と実験結果は比較的良好に一致することを示した．

## 【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磨耗予測に関する研究, 水工学論文集, No.49, pp.931-936, 2005.3.
- 2) 新井宗之, 加藤隼平, 澤木洋一: 流砂による壁面磨耗モデルに関する基礎的研究, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.163-164, 2005.3.

表-1 衝突速度と断面平均流速との対比

水路勾配	断面平均流速 (cm/s)	衝突速度 (cm/s)	速度割合
1°	111.21	56.52	0.51
3°	138.70	81.18	0.59
5°	162.07	97.07	0.60
7°	167.09	117.15	0.70
10°	197.60	132.87	0.67

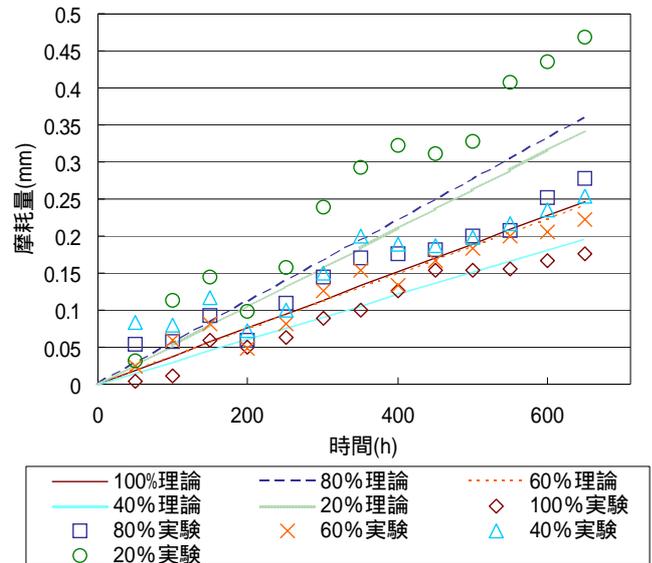


図3 壁面磨耗量の計算結果と実験結果の比較