

二風谷ダム湖に堆積した微細粒子の沈降・浮上速度

北海道開発土木研究所 ○正会員 島田 友典
北海道開発土木研究所 正会員 渡邊 康玄

1. はじめに

近年，河道内の上・下流における土砂収支のアンバランス等の課題が指摘され，河川管理において流域一貫した土砂管理の重要性が指摘されている．

著者らは未解明部分の多いダム湖に堆積する粒径の非常に細かい土粒子の挙動を把握することを目的に，土粒子の沈降・浮上実験を行いその推定式を導きだした¹⁾．しかしその後の検討で実験装置等の影響を考慮する必要があると考えた．

本論文ではこれらを考慮し，新たな推定式を導くことで，二風谷ダム湖内の土粒子の挙動についてより再現精度をあげるべく河床変動計算で用いられている砂礫を対象とした既往の式の適応性について検討を行った．

2. 土粒子の沈降・浮上速度式の推定

沈降速度及び浮上速度の推定を行うためのデータは以前の報告での実験結果を用いた¹⁾．そのため本論文では実験の詳細・諸元については省略する．

(1) 沈降速度式の推定

前回の報告では実験により得られた土粒子の粒径と沈降速度を用いて抵抗係数 C_D とレイノルズ数 Re との関係を推定した．その後の検討で，実験により観測された沈降速度の値には実験装置による影響が含まれている可能性があるため，その影響を考慮する必要があると考えた．

実験の測定値に影響を与えたものとして，水槽内の土砂濃度と水槽の底面，及び側壁の影響が考えられる．なお用いた水槽は高さ 75cm，幅 15cm，奥行 5cm である．この水槽内に脱イオン水を満たし 10g/L の懸濁液を滴下試料として 1～2mL/回を水槽に滴下し，底面から 30cm のところを通過する土粒子の沈降速度を計測した．水槽内の土砂濃度を考えると観測地点を通過するまでに，滴下した試料が均一に水槽内に広がったと仮定すると，その濃度は 0.0003% ほどであり沈降速度への影響はないと考えられる．また脱イオン水を用いていることから，電気化学的な力も生じていないと考えられる．

次に水槽の底面，及び側面が与えた影響を考える．底面の影響として Brenner²⁾ は (1) 式を提案している．

$$K_{fb} = 1 + \frac{9}{8} S_{rb} \quad (1)$$

ここで， K_{fb} :沈降速度の補正係数， $S_{rb} = r/s_b$ ， r :土粒子の半径， s_b :水槽底面から土粒子の中心までの距離ある．ただし補正を考慮するのは $S_r > 15$ の時であり，

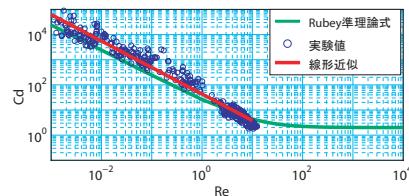


図-1 土粒子に対する抵抗 C_D

実験条件では底面影響を受ける土粒子直径は 300 μ m 以上となるため，水槽の底面影響を考慮する必要はない．

次に側壁の影響として McNown³⁾ は (2) 式を提案している．

$$K_{fs} = 1 + 1.006 S_{rs} \quad (2)$$

ここで， $S_{rs} = r/s_s$ ， s_s :側壁から土粒子の中心までの距離ある．実験の結果より個々に求められた K_{fs} の平均値は 1.003 程度である．

この補正係数を用いて観測された個々の土粒子の沈降速度を (3) 式のように補正する．

$$w_{fk} = K_{fs} w_f \quad (3)$$

ここで， w_{fk} :補正された沈降速度， w_f :観測した沈降速度である．この結果より算出される抵抗係数とレイノルズ数 Re の関係を図-1 に示す．抵抗係数について Rubey の値と比較すると，実験結果では全体的に大きな値を示している．実験値を最小二乗法により線形近似を行い (4) 式を得た．

$$C_D = \frac{43.18}{Re^{1.05}} \quad (4)$$

この式を用いて前回と同様の手法¹⁾で沈降速度式を推定し (5) 式を得た．

$$w_{fi} = \left(\frac{1}{32.38} \frac{sgd_i^{2.05}}{\nu^{1.05}} \right)^{1.05} \quad (5)$$

ここで， w_{fi} :沈降速度， ν :水動粘性係数， s :砂粒の水中比重， d_i :土粒子の粒径（下添字 i は混合粒径における粒径 d_i の粒子に対する物理量を表す．以下全てに共通）， g :重力加速度である．(5) 式で表される沈降速度を図-2 示す．なお比較のために Rubey の式による値も併記した．

(2) 浮上速度式の推定

前回の報告では通水前後の土砂浮上量を用いて浮上量式の推定を行った．しかし 30 分の通水中に，水中の

Key Words: 二風谷ダム，微細土粒子，沈降速度式，浮上速度式
〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号 (独) 北海道開発土木研究所 TEL 011-841-1639

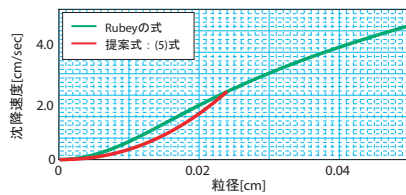


図-2 Rubey の式と著者が提案する式の関係

土砂濃度に変化があり，時間によって浮上量に違いがあると考えられる．今回の報告では通水から5分毎の浮上量と，観測された水中のSS濃度を用いて浮上量式の推定を行うこととした．浮遊砂を考慮した河床の変動量は(6)式で表される．

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{1-\lambda} (q_{sui} - w_{fi} c_{bi}) \quad (6)$$

ここで q_{sui} : 粒径別単位時間単位面積あたりの河床からの浮上量, z : 河床高, t : 時間, λ : 空隙率, c_{bi} : 粒径別浮遊砂基準点濃度である．

この(6)式に各実験ケース・粒径別・時間毎の実験結果を代入することで実際の浮上速度 q_{sui} が求められる．(7)式⁴⁾で表される板倉の式を用いて，実験値の比較を行った．

$$q_{sui} = p_i K \left(\alpha_* \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \frac{g d_i}{u_*'} \Omega_i - w_{fi} \right) \quad (7)$$

ここで, p_i : 粒径 d_i の粒子が存在する割合, ρ_s : 浮遊砂粒子の密度, ρ : 水の密度, u_*' : 有効摩擦速度, $K=0.008$, $\alpha_*=0.14$ である．また Ω_i は(8)式で表される．

$$\Omega_i = \frac{\tau_{*i}'}{B_{*i}} \frac{\int_{a'}^{\infty} \xi \frac{1}{\pi} (-\xi^2) d\xi}{\int_{a'}^{\infty} \frac{1}{\pi} (-\xi^2) d\xi} + \frac{\tau_{*i}'}{B_{*i} \eta_0} - 1 \quad (8)$$

ここで τ_{*i}' : 粒径別限界無次元有効掃流力, $\eta_0=0.5$, B_{*i} : 揚力算定の際の速度に摩擦速度を適用するための換算係数, $a' = B_{*i}/\tau_{*i}' - 1/\eta_0$, τ_{*i}' : 粒径別無次元掃流力である．なお(7)式と(8)式の u_*' と τ_{*i}' は本来は全せん断力から河床波等の形状抵抗成分をのぞいたものとするべきものであるが，ここでは実験中河床波等が形成されなかったことから，河床波等がない場合として全抵抗に等しいとした．

実験で得られた値を用いて(7)式の係数 K について最小二乗法により算出した結果, $K=0.00027$ となった．図-3は浮上速度の観測値と，今回推定した係数を用いて計算値と比較した結果であり，板倉の係数を用いた場合のデータも併記してある．

なお板倉の式は粘着性土を対象としないが，関根ら⁵⁾は粘着性土の浸食過程に関する研究を継続的に進めており，条件は限られているが(9)式で表される浸食速度式を導き出した．そこで今回推定を行った浮上速度式との関係を確認する．

$$E_s = \alpha R_{wc}^{2.5} u_*'^3 \quad (9)$$

ここで, E_s : 浸食速度, α : 試料・水温により決まる係数, R_{wc} : 水含有率, u_*' : 摩擦速度である．

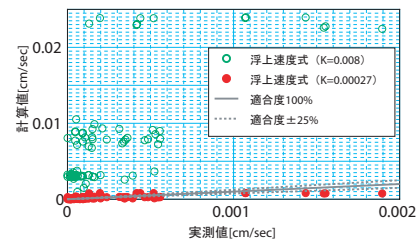


図-3 観測値と推定係数を用いた計算結果との適合性

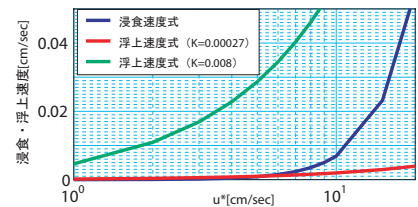


図-4 浮上速度と浸食速度の比較

ここではS.Aクレー (d_{60}) 対象に，水温 20℃，係数 $\alpha = 3.89 \times 10^{-5}$ ，水含有率 50% の条件で推定浮上速度式と浸食速度式を用いて計算を行った．図-4はその結果である．なお，比較のために板倉の係数を用いた場合のデータも併記してある．本条件において，推定浮上速度式と浸食速度式の計算値を比較すると， u_* が 10cm/s を超えたあたりからその差が大きくなる．このことについては式の適用限界も含めて検討を行う必要があるが，対象としているダム湖に限ってみると，大規模洪水時でも摩擦速度は 10cm/s 以下であることが想定される．この結果より，本来であれば粘着性土砂について考慮すべきところを，板倉の式の係数 K を変えることにより粒径の非常に細かいものについても再現可能であると考えられる．

3. まとめ

本報告はダム湖内における土粒子の挙動を明らかにするため，以前の著者の報告¹⁾に実験装置などによる影響を除去したことで，土粒子の沈降速度式と浮上速度式の精度が上がったと考えられる．今後はこれらの式を用いて二風谷ダム湖内の再現計算を行い，未解明部分とされてきたダム湖内の土粒子の挙動を明らかにし報告する予定である．

参考文献

- 1) 島田友典・渡邊康玄：2003年8月洪水において二風谷ダム湖に堆積した微細粒子の沈降・浮上速度，土木学会北海道支部論文，2005.
- 2) Brenner, H.: The Slow Motion of a Sphere Through a Viscous Fluid Towards a Plane Surface, Chem. Eng. Sci., Vol.16, 1961.
- 3) McNowan, J.S.: Particles in Slow Motion, La Houille Blanche, Vol.6, No.5, 1951
- 4) 板倉忠興：河川における乱流拡散現象に関する研究，北海道開発局土木試験所報告，第83号，1984.
- 5) 関根正人：実河川に自然堆積した粘着性土の浸食機構の解明と現地浸食試験法に関する研究，平成14年度～平成15年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)）研究成果報告書，2004.