

1. はじめに

水力発電所の取水口近傍では局所流が生じ、河床材料の洗掘・連行によって送水システム・タービンなど水力機器の損傷をもたらすことがある。このようなトラブルを最小限に押さえるためには水理学的な検討に基づき取水口形状の合理設計を行う必要がある。ここで対象とする現象では橋脚まわりの局所洗掘とは異なる機構が働き、静水からの取水であるので放流ゲートによるダム堆砂の掃流輸送過程とも大きく異なる局所洗掘現象である。本論は、長方形断面取水口周辺の三次元流況と局所洗掘過程を調べ、洗掘量と取水口形状との関連性を実験的に検討するものである。

2. 実験方法

実験は70cm×100cm×60cmの水槽に幅 b' の長方形取水口模型を設置し、底質として豊浦標準砂を敷き詰め、一定の取水口流速 U_0' で取水する。流速は二次元電磁流速計により、時々刻々の底質洗掘形状はレーザーセンサーにより計測する。図-1は対象とする取水口近傍の流れ場を模式的に表したものである。代表物理量として、取水口水深 H' 、取水口流速 U_0' を用いれば、流れ場および土砂の輸送過程を支配する互いに独立な無次元パラメータとして、(1)取水口形状比： $b=b'/H'$ 、(2)無次元敷高： $D=D'/H'$ 、(3)取水口流速に関する砂粒フルード数： $F_{s0}=U_0'/\sqrt{(\sigma/\rho-1)gd'}$ を得る。ここで、 $(\sigma/\rho-1)$ ：砂の水中比重、 d' ：砂の中央粒径、 g ：重力加速度である。実験条件については H' を5cmに固定し、 b' は5, 10, 15cmの三種類とした。また D' は0.0～0.4cm、 U_0' は28～55cm/secの範囲とした。

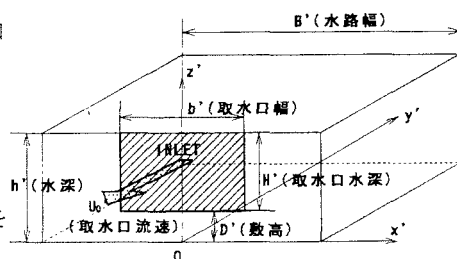


図-1 対象とする流れ場と諸元

3. 洗掘過程の概要

模型実験を観察した結果、取水口近傍の局所洗掘現象は、(i)取水口前面に発生する渦による洗掘と取水口両端の隅角部における掃流輸送過程とが共存する段階(初期)、(2)取水口前面の渦による洗掘のみが起こる段階(中期)、(3)ほぼ平衡洗掘深に達し、間欠的に発生する渦によって洗掘体積を増す段階(後期)、の三段階からなることが分かった。図-2に初期過程における洗掘の様子を示す。全体的な流れの観察より、取水口前面に生じる渦が洗掘に対して支配的な役割を果たしていることが確認された。洗掘の進行速度や、洗掘量の大きさはこの渦の強度や径に大きく依存している。渦径は洗掘の進行とともに増大する。初期過程に見られる取水口両隅部での洗掘は、隅角部に大きな底面流速が生じるためであると考えられるが、洗掘量全体に占める割合はごくわずかである。

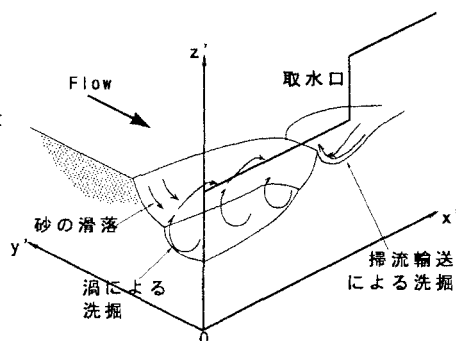


図-2 洗掘状況(初期過程)

4. 流速場

取水口周辺の流れ場について三次元ポテンシャル解析を行い、流速分布の厳密解を得た(表-1)。底面における流速分布については、実験では取水口前面に渦が発生するためポテンシャル解析解とは異なるが、水面付近に関しては図-3を見る限り、解析による流況の再現が可能であるといえる。

5. 取水口形状が洗掘過程におよぼす影響

図-4に洗掘深 z_s の経時変化を示す。洗掘量が大きなケースほど、洗掘現象の進行も早い。図-5は洗掘体積 V_s の経時変化を示したものである。洗掘深がほぼ平衡に達した後も間欠的に発生する渦などにより洗掘体積の増加が見られる。図-6は最終洗掘深 $z_{s,max}$ に及ぼす各無次元パラメータの影響を見たものである。砂粒フルード数 F_{d0} 。および取水口幅 b が大きいほど、また数高 D が小さいほど最終洗掘深は大きい。

6. むすび

本研究により取水口形状や水理量と洗掘量との定性的な関係が明らかになった。今後は現象のモデル化を行い、洗掘量の時間的変化特性を明らかにする予定である。実験において取水口前面に発生する渦が洗掘現象に対して支配的であることが確認されたが、三次元流れの理論解と実験で観察された渦の特性を考慮して洗掘過程をモデル化する必要がある。

表-1 三次元ポテンシャル解析による流れの理論解

流速 u, v, w	$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x}, v = \frac{\partial \Phi}{\partial y}, w = \frac{\partial \Phi}{\partial z}$	Laplace方程式 $\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0$
速度ポテンシャル Φ の解	$\Phi = \frac{bH}{B(D+H)} U_0 y + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{m,n} \cos \frac{2\pi m}{B} x \cos \frac{\pi n}{D+H} z \exp(-q_{m,n} y)$ $+ \sum_{m=1}^{\infty} A_{m,0} \cos \frac{2\pi m}{B} x \exp(-q_{m,0} y)$ $+ \sum_{n=1}^{\infty} A_{0,n} \cos \frac{\pi n}{D+H} z \exp(-q_{0,n} y)$	
ここに	$q_{m,n} = \sqrt{\left(\frac{2\pi m}{B}\right)^2 + \left(\frac{\pi n}{D+H}\right)^2}$ $A_{m,n} = \frac{4U_0}{\pi^2 m n q_{m,n}} \sin \frac{\pi b}{B} \sin \frac{\pi D}{D+H}$ $A_{m,0} = -\frac{2HU_0}{(D+H)m q_{m,0}} \sin \frac{\pi b}{B}$ $A_{0,n} = -\frac{2bU_0}{B\pi n q_{0,n}} \sin \frac{\pi D}{D+H}$	

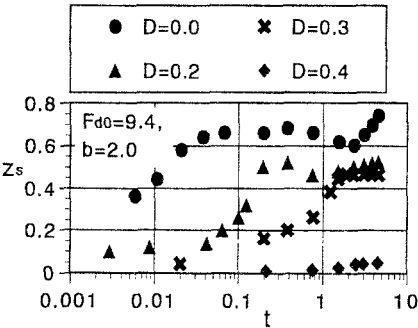


図-4 洗掘深 z_s の経時変化（無次元表示）

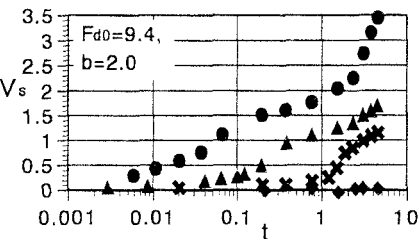
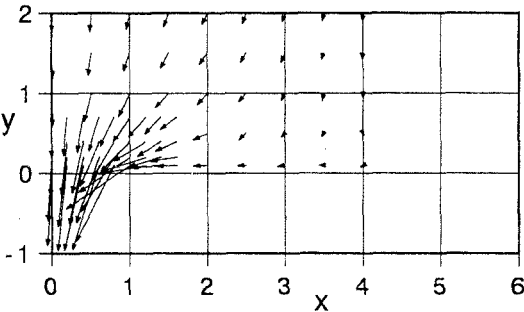
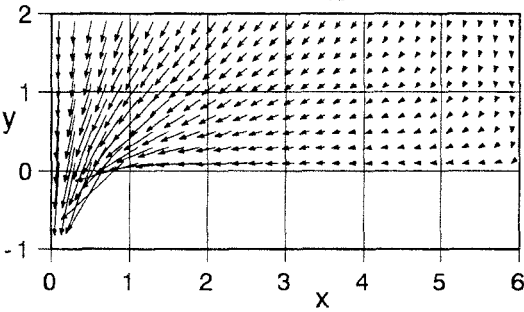


図-5 洗掘体積 V_s の経時変化（無次元表示）



(a) 実測値



(b) 理論値

図-3 流速ベクトル（無次元表示）
($F_{d0}=6.9, b=2.0, D=0.2, z=1.2$)

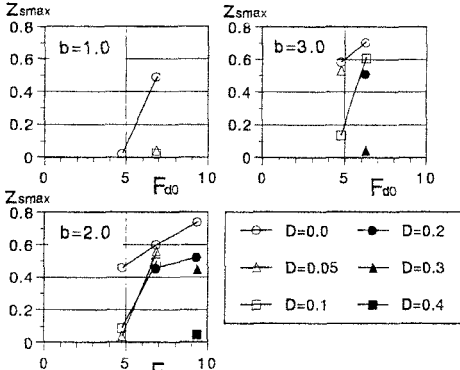


図-6 平衡洗掘深 $z_{s,max}$ に及ぼす各パラメータの影響