

大阪産業大学工学部 正員 重光世洋
神戸大学工学部 正員○道奥康治

1. はじめに

近年、貯水池の堆砂が進行し、取水口周辺の局所洗堀や底質流砂の混入が問題となっている。本報では、土砂問題を軽減するための最適取水口を設計することを目的として、図-1のような三次元水域に設置された長方形断面取水口周辺の三次元流況解析を行い、取水条件と底質の移動限界との関係について検討を行う。流軸に関し対象な流れであり、図-1の右側半分領域を対象として三次元解析を行う。

2. 諸量の規準化

取水口の開口高さ $h'=(h'-D')$ と取水口での断面平均流速 $U_0'=Q'/(a'h')$ を代表量として、諸量を次のように規準化する。〔座標〕： $(x,y,z)=(x',y',z')/H'$ ，〔取水口の半幅〕： $a=a'/H'$ ，〔取水口の敷高〕： $D=D'/H'$ ，〔水深〕： $h=h'/H'=1+D$ ，〔取水口での流速〕： $U_0=U_0'/U_0'=1$ ，〔速度ポテンシャル〕： $\phi=\phi'/(Q'/a')$ ，〔流速〕： $(u,v,w)=(u',v',w')/U_0'$ ，(Primeを付した項が次元量，Primeのない項が無次元量)。

3. 流速分布

一例として、 $(a,D,h)=(1.0,0.4,1.4)$ の場合について、 $(y-z)$ 平面の $(x=0)$ 断面、 $(x-y)$ 平面の $(z=0)$ 断面、 $(x-z)$ 平面の $(y=0)$ 断面における流れ場を各々図-2～4に示す。図-3の太線は底面流速 $q_b=(u^2+v^2)^{1/2}$ のコンターをあらわす。取水口(ハッチ部分)の隅角部において大きな流速が出現している。

4. 底質の移動限界

底質の移動限界流速 U_c は粒径 d と取水条件より決定される。ここでは、 $N_s=q_b'/\sqrt{(\sigma/\rho-1)gd}$ によって、底質の移動限界を記述する。ここで、 q_b' ：生の底面流速、 $(\sigma/\rho-1)=1.65$ ：土砂の水中比重、 d ：底質土砂粒径、 g ：重力加速度、である。Chezyの平均流速公式を用いると、(摩擦速度 $U_* \sim$ 底面流速 q_b')および(Sediment数 $N_s \sim$ 無次元掃流力 $\tilde{\tau}_*$)の関係は各々次式で与えられる。

$$(q_b'/U_*)^2=C^2/g, \quad N_s^2=\tilde{\tau}_*(C^2/g) \quad (1)$$

ここで、 C ：Chezyの係数、である。上式より N_s の限界値 $N_{s,c}$ は $\tilde{\tau}_*$ の限界値 $\tilde{\tau}_{*,c}$ と対応づけられる。今、 $\tilde{\tau}_{*,c}$ を与えるShields曲線を次式のようにあらわす。

$$\tilde{\tau}_{*,c}=\phi(R_{*,c}) \quad (2)$$

ここで、 $\tilde{\tau}_{*,c}=U_{*,c}^2/(\sigma/\rho-1)gd$ ：無次元限界掃流力、 $R_{*,c}=U_{*,c}d/\nu$ ：砂粒レイノルズ数である。

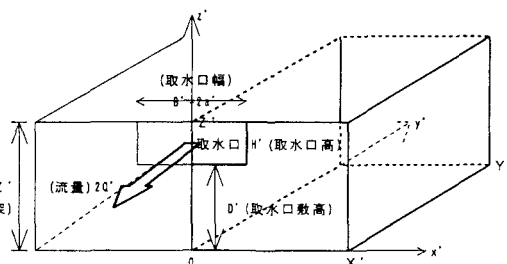


図-1 対象とする取水流動場

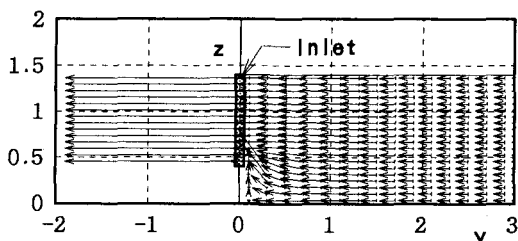


図-2 y-z平面, (x=0)断面

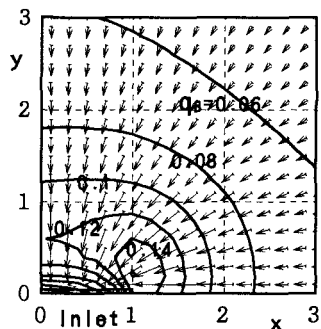


図-3 x-y平面, (z=0)断面

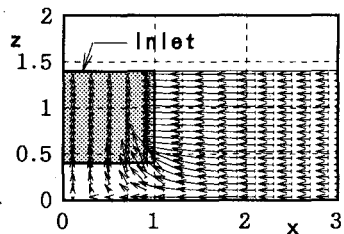


図-4 x-z平面, (y=0)断面

式(1),(2)を用いれば、取水口流速 U_o' で無次元された限界底面流速 $U_c=q_{bc}'/U_o'$ は、次式のように取水口流速 U_o' に関する砂粒フルード数： $F_{do}=U_o'/\sqrt{(\sigma/\rho-1)gd}$ と砂粒レイノルズ数： $Re_{do}=U_o'd/\nu$ 、の関数となる。

$$U_c = \sqrt{(C^2/g)F_{do}^{-2}\phi\{(g/C^2)^{1/2}U_cRe_{do}\}} \quad (3)$$

今、 $K=Re_{do}^{1/2} \cdot F_{do} = \sqrt{U_o'^3/((\sigma/\rho-1)g\nu)}$ とおけば、式(3)の関係は図-5のようである。これより、取水口流速 U_o' と砂粒径 d が与えられると、 (F_{do}, Re_{do}) が決まり、式(3)から限界流速 U_c が与えられることになる。三次元流動解析より得られる底面流速 $q_b=q_b'/U_o'$ が U_c を越える時、すなわち $q_b \geq U_c$ の時、底質が移動する。取水条件が底質移動におよぼす影響を定量的に表現するために、底質が移動する範囲($q_b \geq U_c$ となる領域)の面積 $A_c=A_c'/H'^2$ (無次元量)を考える。取水流速 U_o' が与えられると K が決まり、 A_c は次のように、 $a=a'/H'$ (無次元取水口幅)、 $D=D'/H'$ (無次元取水口数高)、 F_{do} (砂粒フルード数)の関数として与えられる。

$$A_c = \text{Func.}(a, D, F_{do}) \quad (4)$$

5. 取水条件と底質移動範囲の関係

例として全取水流量 $2Q'=11.6(\text{m}^3/\text{sec})$ 、取水口高 $H'=2.5(\text{m})$ 、取水口幅 $a=1.0, 1.5, 2.0$ ($B'=5.0, 7.5, 10.0(\text{m})$)、取水口数高 $D=0 \sim 0.8$ ($D'=0 \sim 2.0(\text{m})$)の場合の解析を行い、取水口幅 a と取水口数高 D が底質移動範囲 A_c におよぼす影響を調べる。図-6は $a=1.0$ の場合の各粒径 $d(\text{mm})$

(あるいは砂粒フルード数 F_{do})にともなう底質の移動範囲の変化を示す。

F_{do} の増加(あるいは d の減少)とともに底質が移動する範囲の面積が広がっている。

図-7, 8, 9は無次元取水

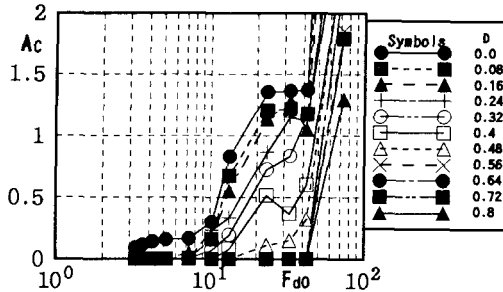


図-7 A_c と F_{do} の関係($a=1.0$)

口幅 $a=1.0, 1.5, 2.0$ の場合の A_c と砂粒フルード数 F_{do} の関係を様々な無次元取水口数高 D についてあらわしたものである。いずれの図においても F_{do} の増加とともに底質の移動範囲が増加する。数高 D を増加させると底質の移動範囲は減少し、 $D \sim 0.56$ ($D' \sim 1.4(\text{m})$)程度以上の数高では最も大きな F_{do} に対する底質を除き、土砂移動はほとんど見られなくなり、数高を大きくすることによる底質移動の抑制効果が大いことがわかる。取水口幅 a が底質移動におよぼす影響は数高 d の場合ほど大きくない。

今後、洗堀量や洗堀深に関する定量的評価を行うためには水理模型実験や現場実証実験を遂行する必要がある。

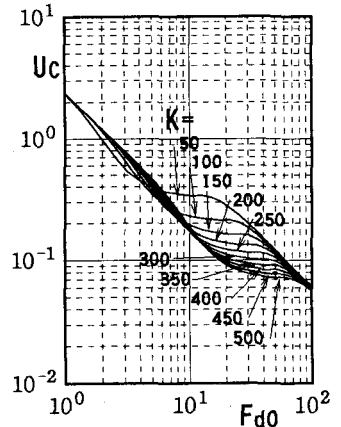


図-5 U_c と F_{do} の関係

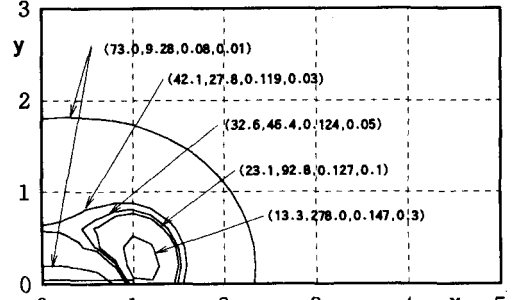


図-6 各粒径 d に対する底質の移動範囲

[()]内の数字は($F_{do}, Red0, U_c, d(\text{mm})$)を表わす]

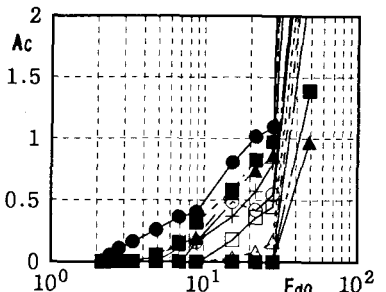


図-8 A_c と F_{do} の関係($a=1.5$)

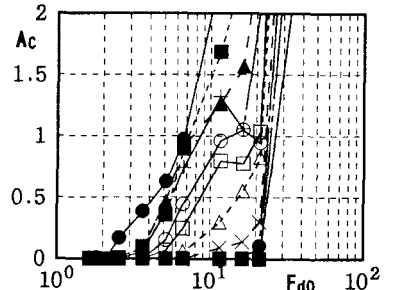


図-9 A_c と F_{do} の関係($a=2.0$)