

II-122

気泡混入衝突流れによる洗掘の数値的検討

西日本工業大学○正員 赤司信義
山口大学工学部 正員 斎藤 隆
西日本工業大学 正員 石川 誠

鉛直に水面に突入する流れは水面突入点で空気泡の混入を伴い、その衝突流れによって河床洗掘を誘起するものであるが、本研究ではこうした流れによる洗掘を気泡混入衝突流れによる洗掘として取り扱う。気泡混入を無視すれば従来多く取り扱われているように潜り噴流による衝突流れとして取り扱うことができる。これまでの研究において、気泡混入を伴う衝突流れによる河床洗掘の機構は潜り噴流の衝突による洗掘機構とほとんど同じであると考えられるので、本研究では、潜り噴流による洗掘解析手法にこれまでに明らかにした気泡混入衝突流れの流れ特性を導入して洗掘解析を行い、最終洗掘深についての解析結果を取りまとめたものである。

洗掘機構とともに解析手順を示したものが図1である。洗掘機構について概説すれば、初期洗掘はほぼ水平河床に沿う流れによる砂移動の場所的変化に起因し、中期洗掘は河床に沿う流れのはく離が洗掘に大きく影響を与える。さらに後期洗掘では、洗掘穴内部での流向の急変に伴う流体力 F_a と堆積部の洗掘穴へ滑り落ちようとする土圧 P_a との不均衡に基づく間歇的崩落とそうした不均衡に基づいて出現する洗掘形状の変曲点での洗掘穴からの浮流砂拡散および浮流砂の沈降によって形成される堆積部での砂粒子の転落すなわち安息角勾配を持つ斜面の形成が特徴的な機構として挙げられる。

図2は洗掘解析結果の一例を実験形状と比較したものである。実験形状は洗掘継続時間を2時間で打ち切っているため、最終洗掘深の評価はできないが、計算形状は堆積部を越える砂量（この量によって洗掘の進行が決定される）が洗掘計算時間刻み Δt 内での仮想洗掘量の0.1%以下になる場合をもって最終洗掘深として計算を終了させている。得られた形状は、洗掘穴形状に関する実験結果を解析に取り入れているものの、非常によく合致していて、洗掘の進行を決定づける堆積部頂点での通過砂量が適切に評価されているものと考えられる。

さて、気泡混入衝突流れによる河床最大洗掘深は次元解析的に、次式で示される。

$$D/b_i = f_{unc.} (h/b_i, d/b_i, u_i^2/sgd, f_o) \quad \text{-----} \quad (1) \quad \text{ここ}$$

に h は水深、 b_i は水面突入幅、 d は河床平均砂粒径、 u_i は水面突入点での流速、 s は砂の水中比重、 g は重力加速度、 f_o は水面突入点での空気混入流量 q_a と水流量 q との比で気泡混入率を示す。一方、水面に突入する流れにおいて、水深が十分に深い場合気泡停滞深さ X_e が観察されるが、この時の X_e は $\{u_i^2/(f_o g b_i)\}^{-2/3} \cdot X_e/b_i = 1$ ----- (2) によって求められる。そこで与えられた u_i, b_i のもとで、 $X_e=h$ になる f_o を f_{o0} とすれば(1)式の f_o の代わりに f_o/f_{o0} を用いることができる。ここに f_{o0} は次式と定められる。 $f_{o0} = u_i^2/(g b_i)/(h/b_i)^{3/2}$ ----- (3)。

図3は $h/b_i=20, d/b_i=0.1, u_i^2/sgd=500$ の条件のもとに f_o/f_{o0} の違いによる洗掘形状の違いを計算結果によって見たものである。 $f_o/f_{o0}=1$ になれば洗掘は生じないのであるが、 f_o/f_{o0} が大きくなるにつれ洗掘深は小さくなっていることがよ

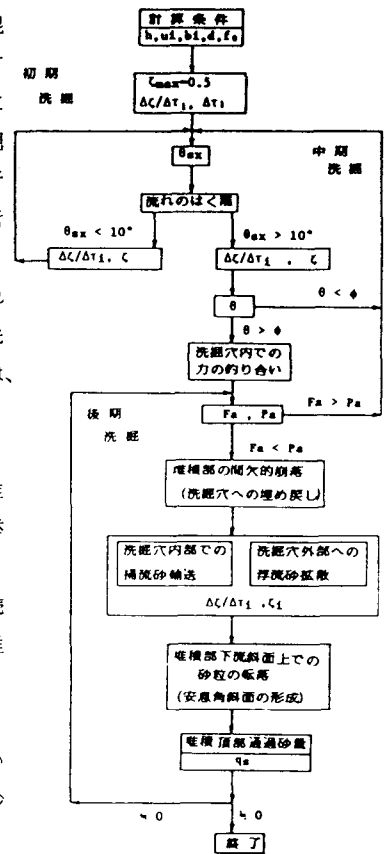


図1 解析手順

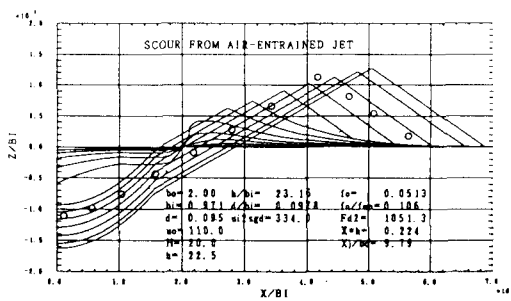


図2 洗掘形状計算結果との比較

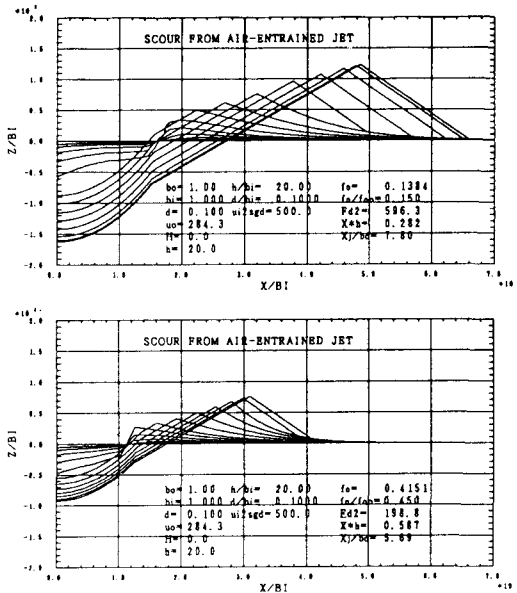


図3 空気混入率による洗掘形状の違い

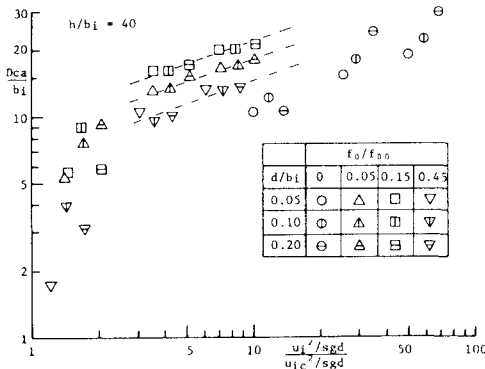


図5 予測式と計算結果との対応

く分かる。 u_i^2/sgd , h/b_i , d/b_i , f_o/f_{o0} をパラメーターにして計算した最終洗掘深の結果を示したものが図4である。図4の横軸は、衝突点での掃流力 u_i^2/sgd が $u_{ic}^2/sgd = 0.05$ (u_{ic} は限界摩擦速度) を与える水面突入点での流速 u_{ic}^2/sgd で規準化している。又、同図中にはこれまでに得られた気泡の混入しない潜り噴流による洗掘解析結果も合わせて示している。これらの図をまとめて最終洗掘深に関する計算結果を定式化したものが次式である。

$$D_c/b_i = 0.72 \cdot (h/b_i)^{0.79} \cdot (1 - f_o/f_{o0})^{1.2} \cdot ((u_i^2/sgd)/(u_{ic}^2/sgd) - 1)^{1/3} \quad (4)$$

潜り噴流によるものは抵抗抗が異なるため、上式と異なった形で次式と示された。

$$D_c/b_i = 14 \cdot (d/b_o)^{0.86} \cdot (h/b_o)^n \cdot ((u_o^2/sgd)/(u_{oc}^2/sgd) - 1)^{1/3}$$

$$n = 0.09 \cdot (d/b_o)^{-0.52} \quad (5)$$

直接洗掘計算結果から得られた最終洗掘深 D_{ca}/b_i と上式で定められる最終洗掘深を比較したものを図5に示している。若干、予測式とのずれはあるものの、計算結果は適切に評価されているものとする。図6は洗掘時間2~4時間で観察された最終洗掘深 D_e/b_i と上式との比較を示したものである。実験値にはかなりばらつきがあり、判然とその傾向を認めにくい、予測式との適合はほぼ妥当なものであると考える。本研究によってこれまで明らかにされていなかった気泡混入の洗掘軽減効果を見出すことができた。参考文献：(1)鉛直もぐり噴流による洗掘深の予測について：水講 1984. 2

(2)気泡混入を伴う衝突噴流の抵抗係数について：水講 1987. 2

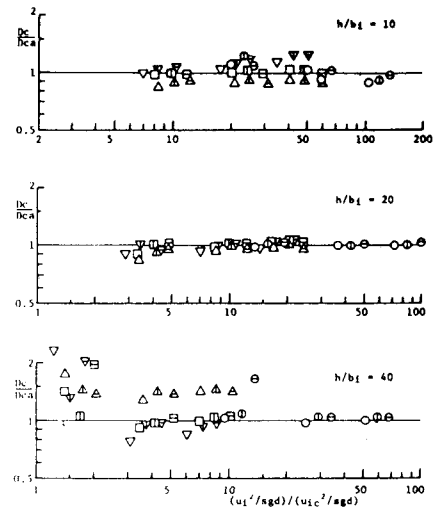


図4 最終洗掘深(計算結果)

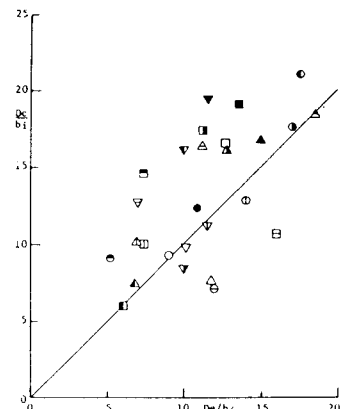


図6 実験値と予測式との比較