

局所洗掘現象は断面を通過する砂移動量の場所的な変化に起因し、洗掘の進行とこれにともなう洗掘穴附近における流れの変化とが有机的に関連したきめめて複雑な現象である。このため、局所洗掘現象に関する研究は古くより多く行なわれているが、そのほとんどが実験的研究である。水平噴流による洗掘に関する理論的研究としては、砂の連続の式を用いて考察した Laurson の研究、河床変動の基礎式に境界層の発達を導入した岩垣らの研究、および非平衡状態の流砂関数と河床変動の基礎式に導入した土屋の研究があげられる。これらの研究における流砂関数に用いられている摩擦速度は水平な初期砂面におけるもので、洗掘の進行にともなう洗掘穴附近の流れは変化していき、洗掘砂面上の摩擦速度が変化していくことは考慮されていない。

洗掘穴附近における流れはその概略を図-1に示してあるようにRollerを伴うきめめて複雑な流れであるので、これを理論的に解析し、その結果と洗掘機構の説明に導入することはすこぶる困難なことであつて、現時点においてはある程度単純化したモデルでもって考察していく必要がある。

洗掘のほぼ終局状態において測定した流速分布より等流速線図を描いた一例を図-3で、噴出流が洗掘砂面に再接触した後の洗掘砂面上の流速は流下にもない加速して洗掘穴下流砂面の中腹においてほぼ一定の流速を示し、その後減速していき、筆者が昨年報告した段落境界面に再接触する水平噴流による壁面噴流流れの様子とよく似ている。

このことより、かなり大胆な単純化ではあるが、洗掘砂面上の流れと最大洗掘深さDの段落境界面に再接触する湾曲噴流による壁面噴流流れで近似することとする。これによつて洗掘の進行にともなう洗掘砂面上の流れの変化を評価することが可能となる。

洗掘穴下流の砂堆部に明瞭な山頂がみられ、ほぼ相似な形状でもつて洗掘が進行していく後期洗掘においては、湾曲噴流と洗掘砂面との間にみられるRollerによる噴

図-1 記号説明

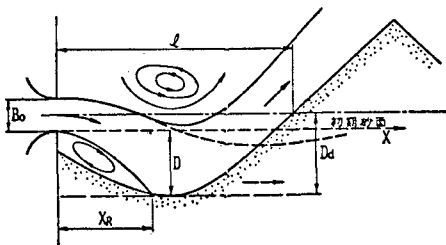


図-2 洗掘モデル

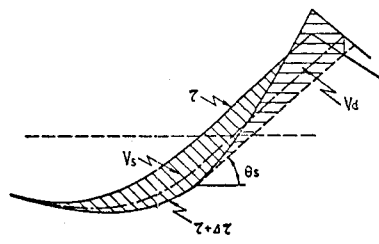
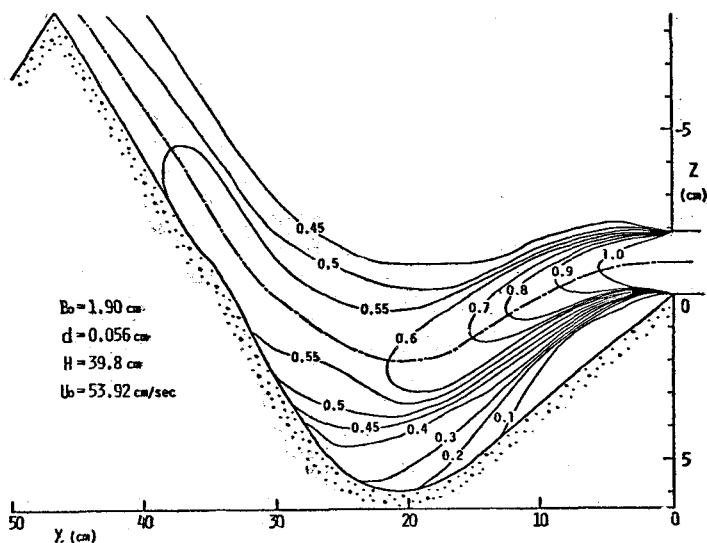


図-3 洗掘穴附近の等流速線図



出流の動揺にもなつて洗掘穴下流側斜面が同様に崩落しているのが観察される。この同様の砂面の崩落で洗掘穴下流の斜面がほぼ砂の水中安息角と同じ斜面と形成するものと考えられる。この崩落を図-2に示したようにモデル化した。

時刻 t より $t+\Delta t$ の時間における河床変化をEinsteinの砂移動モデルでもつて求めた非平衡状態の流砂関数と導入した河床変動の基礎式で計算し、この間における洗掘容積を V_s とする。上述の計算で求められた $t+\Delta t$ 時の洗掘砂面と砂の水中安息角より急な斜面部分と不安定な部分(図の破線より上部)の容積を V_u とする。

斜面の不安定部分の崩落で洗掘穴が埋めもどされる状態は明らかではないが、 $t+\Delta t$ 時の砂の水中安息角より緩やかな洗掘砂面の範囲では Δt 時間の河床変化量に比例($\Delta z \propto V_u / (V_s + V_u)$)して埋めもどされ、水中安息角より急な部分は水中安息角と形成するものとする。したがって洗掘の進行は洗掘穴下流の砂堆頂を越えて流下していく砂量によつて行なわれることになる。

先に報告した湾曲噴流による壁面噴流に関する理論的・実験的結果を計算の簡便化のため実験式化し、上記の流れおよび洗掘のモデルでもつて計算した結果と実験結果とともに示したのが図-4, 5, 6である。

計算では、限界掃流力の補正項を持つ指数型の平衡状態における流砂関数を用い、その指数を $n=1.80$ 、無次元限界掃流力を $U_{sgd}^2 / Sgd = 0.05$ 、また砂粒の平均移動距離を $\ell = \lambda d$ (λ は砂の径)と置き、 $\lambda = 100$ とした。

図に示したのと違った条件で行なつた実験についての計算結果と実験結果との関係も図の場合と同様で、計算結果は実験結果を定性的によく説明してりて、定量的にもかなりよく一致している。図-6における砂堆頂高の違いは、 Δt 時間における河床変化と計算する際に洗掘穴下流斜面における流れのはく離を考慮することによつて実験結果により近い値が得られるものと考えている。

図-4 最大洗掘深さの時間的变化

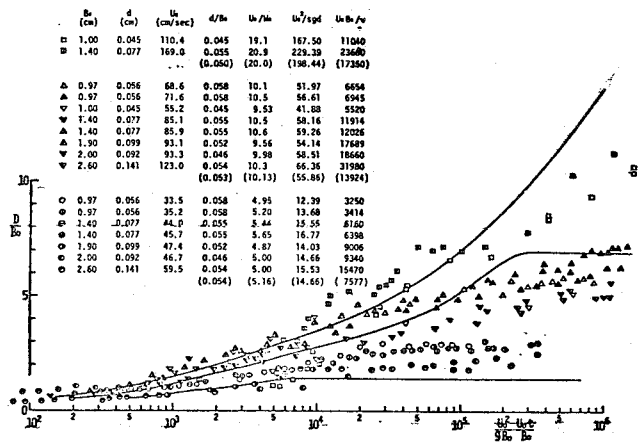


図-5 最大洗掘深さと洗掘長さとの関係

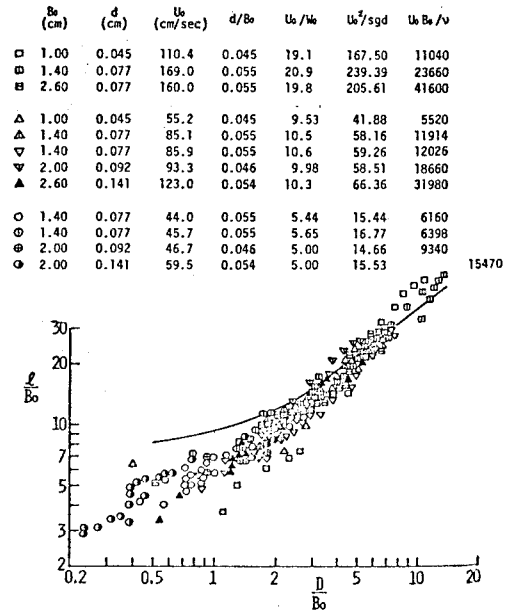


図-6 洗掘形状

