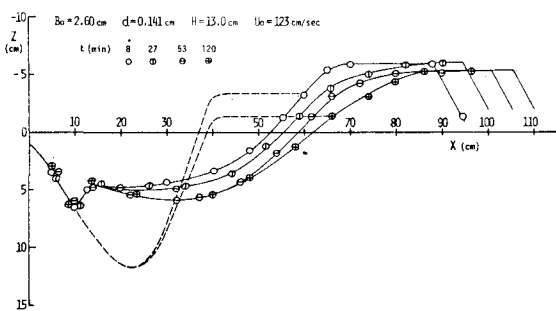


山口大学工学部 正員 齋藤 隆
西日本工業大学 正員 赤司 信義

前報において、水門下流部の洗掘について実験を行ない、各種壁面噴流の特性、流れのはく離および洗掘と斜面の間歇的崩落を非平衡状態での砂移動にもとづく河床変動の基礎式に導入して洗掘過程を解析した結果を報告した。下流水深が浅い場合には、洗掘の途中に噴出流の湾曲方向が変化して洗掘と埋めどしとが交互に繰返えられる現象がみられる。この間歇的洗掘現象が発生する条件および最大洗掘深さに及ぼす影響について系統的な実験を行ない、湾曲噴流の特性に関する知見にもとづいて現象論的に考察を行なった。

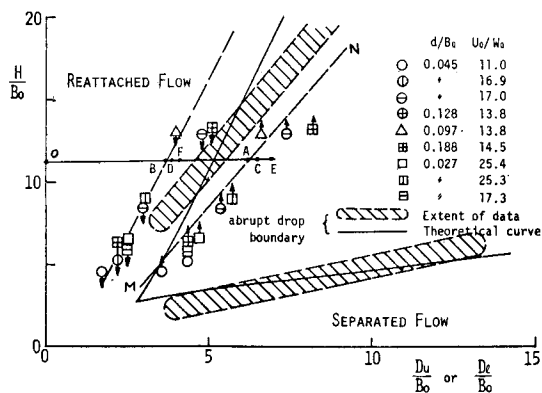
洗掘形状： 洗掘の状態から埋めどしに変わる直前（図-1の破線、洗掘状態の形状）および埋めどしの状態から洗掘が始まる直前（図-1の実線、埋めどし状態の形状）の形状の一例が図-1である。洗掘状態の形状は時間的にほとんど変化していないが、埋めどし状態の形状は時間的に最大洗掘深さとはあまり変わらないが、洗掘穴の長さは大きくなっている。洗掘形状と最大洗掘深さと洗掘長で無次元化して図示すると、洗掘状態の形状は水深が十分深い場合のものとはほぼ一致するが、埋めどし状態の形状は幾多 d/B_0 、下流水深 H/B_0 、噴出流速 U_0/sgd によって複雑に変化して統一的に表えることは困難である。

図-1 間歇的洗掘における洗掘形状



間歇的洗掘の発生限界： 噴出流が初めて下向き流れから噴上げ流れに変わる時（上矢印付描写）と噴き上げ流れが再び下向き流れに変わる時（下矢印付描写）の最大洗掘深さと下流水深との関係のプロットしたものが図-2である。洗掘開始（図の縦軸上のO点、 $D/B_0=0$ ）から洗掘の進行によって $H/B_0 \sim D/B_0$ の関係は OA 線と右側に移動していく。最大洗掘深さが A 点の値になると、洗掘穴方向に湾曲していた噴出流は噴上げ流れと変わり、洗掘砂面にさう逆流で徐々に洗掘穴は埋めどしされていく（図 $A \rightarrow B$ ）。埋めどしとれて最大洗掘深さが B 点の値になると、噴出流は再び湾曲方向と下向きに変わって深さ方向に卓越した急激な洗掘が行なわれる。以後、 B - 洗掘 $\rightarrow$ C - 埋めどし $\rightarrow D$ - と洗掘と埋めどしを間歇的に繰返していく。図中の実線と斜線部分は敗流境界面に再接触する湾曲噴流の逆流限界についての解析結果と実験結果である。洗掘実験と固定床実験を比較してみると、Separated flow（噴上げ流れ）から Reattached flow（下向き流れ）への限界値はあまり近い値であるが、Reattached flow から Separated flow への限界値は大巾に違っている。これは図-1に示した洗掘形状の違いによるもので、後者の場合には、水表面側にみられる強い roller が逆流限界に大きく影響している。間歇的洗掘の繰返しによって、埋めどし状態の洗掘長が

図-2 間歇的洗掘の発生限界



大きくなっていくため、Separated flowからReattached flowへの変流限界は固定床による実験結果に一致している。一方、Reattached flowからSeparated flowへの変流限界は、沈着形状の時間的変化から予想されるように、時間的にあまり変化していない。

最大沈着深さの時間的変化： 下流水深を変えて最大沈着深さの時間的変化を調べた一部が図-3である。図中の描点は沈着状態における最大沈着深さで、曲線は前報で述べた解析結果である。また、曲線の途中から分かれていた直線は間歇的沈着が現れた以後の実験描点の平均線である。図3-aの間歇的沈着現象がみられるのは $U_0/W_0=5$ の場合および間歇的沈着が発現するまでの最大沈着深さの時間的変化は下流水深によって変わっていない。しかし、間歇的沈着が現れると、最大沈着深さの増加速度（図中直線の勾配）は急激に減り、下流水深 H/B_0 が小さいほど最大沈着深さの増加速度は小さくなる。

段落固定床実験によると、湾曲噴流の変流限界は噴出孔と境界面の幾何学的条件で決まる。一方、下流水深を一定として行なった間歇的沈着実験では最大沈着深さは徐々にではあるが増大していく。これは沈着穴下流の砂堆部の長さが増大し、この間における損失水頭の増加に伴って沈着穴附近の水位が上昇するためである。なお、図-2で d/B_0 、 U_0/W_0 （ U_0/W_0 は間歇的沈着の発生限界にほとんど関係ない）ことから予測されるように、間歇的沈着現象の発生は d/B_0 、 U_0^2/Sgd によって最大沈着深さの増加速度が違うので沈着時間では規定され難い。

図-4は無次元時間 $\tau = U_0^2/Sgd \cdot U_0 t/B_0 = 10^7$ における最大沈着深さと下流水深との関係を表したものである。図中の右よりの直線は図-2の間歇的沈着の発生限界MN直線である。この直線より左側の領域において間歇的沈着が現れ、右側の領域においては間歇的沈着現象はみられない。図中の曲線は、下流水深の影響を判り易くするために、 H/B_0 以外のparameterが同じ場合の実験描点を連ねたものである。図より、間歇的沈着現象がみられない場合には、最大沈着深さは下流水深に関係ないが、間歇的沈着がみられる場合には下流水深が小さいほど最大沈着深さは小さくなる。

図-2、図-4における間歇的沈着の発生限界を与える直線は次式となる。

$$\frac{D_c}{B_0} = 1.0 + 0.45 \frac{H}{B_0} \quad \text{for } \frac{H}{B_0} > 3$$

H：下流水面から噴出孔中心までの深さ
D：噴出孔中心から測った最大沈着深さ

図-3 最大沈着深さの時間的変化

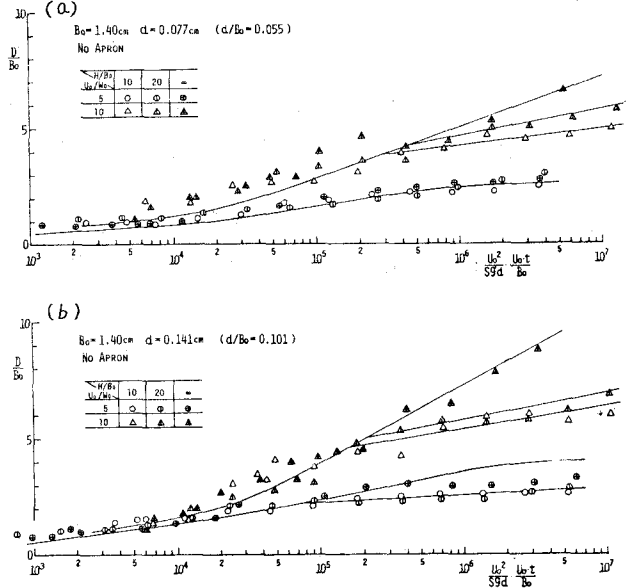


図-4 $\tau=10^7$ における最大沈着深さ

