

護床ブロック間隙よりの砂粒の抜け出し機構に関する検討

京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学工学部 正員 村上正吾
 京都大学工学部 正員 仙波秀治
 J R 西日本(株) 正員 o萱島正友

1. まえがき 局所洗掘を防止する目的で設置された防護工内では、護床工表面での流れの剝離によって生じる圧力低下や、間隙への流れの流入による攪乱、あるいは防護工上の水面変動に伴う防護工間隙における大きな圧力変動等によりその間隙から砂が抜け出す現象がみられる。護床工下部の砂が抜け出すことによって護床工の安定が崩され、変形し、新たな局所流を発生させ、かえって洗掘を助長する可能性がある。本研究では護床工上の表面流の条件とブロックの間隙の違いによる砂の抜け出し現象に及ぼす影響を検討した。

2. 実験装置とその方法 図1のように水叩き直下流部の移動床に水路幅方向に連続した厚さ2cmの板を3列、間隔を4通りに変えて並べ、跳水を発生させる位置を水叩き上、護床工上、固定床上の3通り行い、計12ケースの抜け出し、吸い出しの実験を行った。

3. 実験的検討 護床工上の流れの条件により吸い出しの様子の違いがみられた。図2に河床低下量と時間の関係を示す。まず射流状態で流れる場合、通水初期に跳水区間が護床工上を移動するときに激しく砂が吸い出されるものの、その後はほとんど砂が吸い出されることはなく、護床工の間隙に流れの剝離によって形成された渦が観察された。この場合底面付近の流速は大きいものの、水面変動に起因する底面圧力変動が小さいために、ほとんど砂が抜け出さなかったものと考えられる。次に護床工上で跳水が起こっている場合は、間隙内に回転方向の不規則な渦が形成され、砂の抜け出しは激しく、2列目の護床工下部が空洞化するほど抜け出し強度は大きく、これは跳水による圧力変動及び水流の乱れが非常に大きいためであると考えられる。また図3より護床工間隙と粒径比が大きいほど砂の抜け出しに要する時間が短いことがわかる。最後に常流状態で流れる場合は、上流側の間隙の方が下流側のそれよりも砂の吸い出しが激しかった。これは今回の条件では、上流側の方の底面近傍流速、その乱れ強度、また水面変動強度が下流側より大きいためと考えられる。間隙の違いによる違いを見ると図4より間隙粒径比(D/d)が大きいほど河床低下も大きいことがわかる。また、図5より最終洗掘深と水深の乱れ強度の関係をみると、跳水が護床工上で起こっているとき(水面変動が最も激しいとき)に最も河床低下が大きいことがわかる。但し射流の場合の水面変動の強度は、常流の場合のそれより小さいにも関わらず河床低下が大きいのは、通水初期に跳水が護床工上を通過するのが原因だと考えられる。

4. 理論的検討 砂の吸い出しが圧力変動が主な原因となっていると考え以下のように運動方程式を用いて理論的検討を行った。摩擦力を無視すると(1)の運動方程式が得られ、中川、辻本¹⁾の方法に習って、(1)に対応する砂粒の単位時間当りの抜け出し率 p_s は無次元表示して(2)のように表される。 p_c は実際には大きく変動していることより、 p を(3)で表される標準偏差 σ_p の正規分布と仮定すると p_s^* は式(4)(図6)のように表される。計算においてはpick-up rateの推定に際して用いられる $\sigma/\rho=2.65$ 、 $C_n=0.5$ 、 $\varepsilon_0=1$ 、 $A_2=\pi/4$ 、 $A_3=\pi/6$ 、 $K_0=1$ 、 $t_0=0.01$ とした。ところで、河床低下量 Z_s とpick-up rate p_s は抜け出し初期においては、式(5)のように表され、底面における圧力変動の強度を水面変動の強度とほぼ等しいとみなして、 σ_p を与えて計算された結果は図3に併示されている。実験値と理論値は比較的良好一致を見せていることがわかる。

Hiroji NAKAGAWA, Shougo MURAKAMI, Hideharu SENBA, Masatomo KAYASHIMA

$$M dv_g/dt = P - W \quad (1) \quad M = \rho (\sigma/\rho + CM) A_3 d^3$$

$$p = \varepsilon_0 \rho A_2 d^2 \quad (\text{揚力}) \quad W = \rho (\sigma/\rho - 1) g A_3 d^3 \quad (\text{砂粒の水中重量})$$

v_g : 砂粒子の抜け出し速度、 σ/ρ : 砂の比重、 CM : 仮想質量係数、 ε_0 : 遮蔽係数、 A_2 、 A_3 : 砂の形状係数、 g : 重力加速度、 ρ : 水の密度

$$p_{s-0} = F_0 (\hat{p} - \hat{p}_c) \quad (2)$$

$$F_0 = \frac{\varepsilon A_2}{2 A_3 K_0 (\sigma/\rho + CM)} \quad \hat{t}_0 = t_0 \sqrt{(\sigma/\rho - 1) g/d}$$

$\hat{p}_c = p_c / (\rho (\sigma/\rho - 1) g d) = 1 / \varepsilon_0 * A_3 / A_2$: 限界圧力、 K_0 : 抜け出し距離に関する実験定数、 t_0 : 圧力変動の時間スケール

$$\Phi(p) = 1 / (\sigma_p 2 \pi) * \exp(-p^2 / 2 \sigma_p^2) \quad (3)$$

$$P_s = \int_0^\infty F_0 (\hat{p} - \hat{p}_0) \Phi(\hat{p}) d\hat{p} \quad (4) \quad Z_s/d = A_1 p_s t \quad (5)$$

σ_p : p の標準偏差、 Z_s : 河床低下量、 A_1 : 砂の形状係数

参考文献 1) 中川博次、辻本哲郎、村上正吾、水橋雄太郎、河床波状の流砂量分布について、第28回水理講演会論文集、pp.735-741、1984

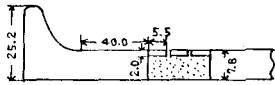


図 1

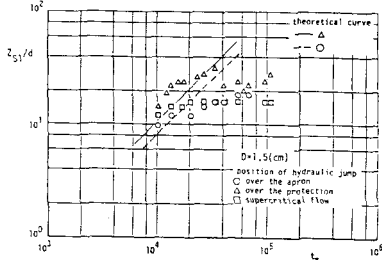
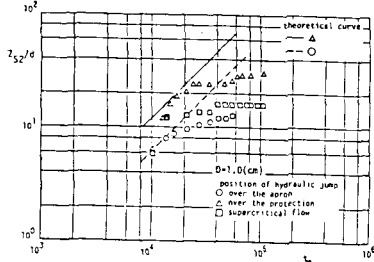
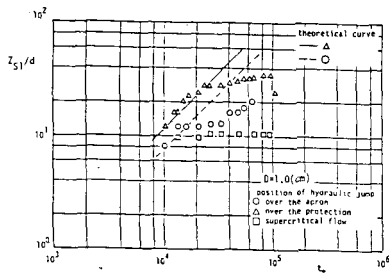


図 2 河床低下の時間変化

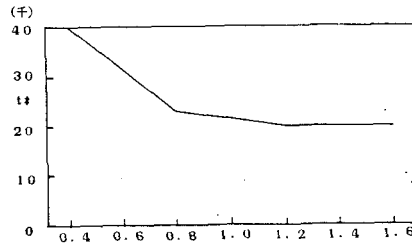


図 3 D/d

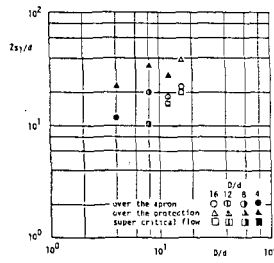


図 4 最終河床低下量 (Z_{s1}/d) と間縁の関係

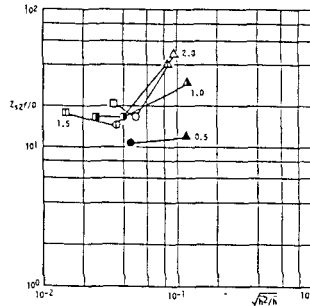


図 5

最大洗掘深 (Z_{s2}/d) と水深の乱れ強度の関係

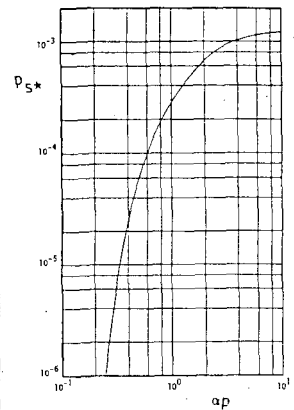


図 6 $p_s \sim \alpha_p$ の関係