

床固め上流の洗掘

東京大学工学部 鮎川 登
同 矢島 昭弘

1. まえがき

河口付近を埋立て、河口部を浚渫して泊地として利用する場合には、河川と泊地の接合部に段落ちが存在することになり、河床は洗掘低下し、既設の護岸および堤防その他の構造物が破壊されたり、機能に障害をきたすことが予想される。これらに対処するために、河口に床固めを設置し河床低下を防止することが考えられる。しかし、床固めを設置した場合にも床固め上流の河床は洗掘低下することが予想される。床固めを計画するためには、床固め上流の河床低下がどの程度のものであるかを知っておくことが必要である。

現在、河口に床固めを設置した場合に、床固め上流の河床低下がどのようになるかを調べるために実験を行なっている。ここでは、これまでの実験で得られた結果について述べる。

2. 実験装置および実験概要

実験は長さ30m、幅60cmのコンクリート製水路を用いて行なわれた。水路の一部は片面ガラス張りとし河床の変動状況を観察できるようにしてある。移動床材料としては比重の軽い合成樹脂（平均粒径 $d = 0.86\text{mm}$ ，比重 $\rho_s = 1.05$ ）と人工軽量骨材（ $d = 0.28\text{mm}$ ， $\rho_s = 1.85$ ）を用いた。これらの粒度分布を図1に示す。

床固めとしては刃形せきタイプのものと天端幅をもたせたものの二種類を使用した。実験は床固め上流に移動床材料を水平に敷きならしておき、床固め下流の水位を所定の値に合わせておいてから通水した。実験は流量、床固めの天端高、下流水位をそれぞれ2、3種類変えて行ない、床固め上流の洗掘状況を観測した。水面高および河床高の測定は適当な時間間隔でポイントゲージにより測定した。

3. 床固め上流の洗掘状況

実験による床固め上流の一般的な洗掘状況を図2に示す。水平に敷かれた砂床上の流れは床固めを越流し、床固め上流の水面形は低下背水になる。そのため床固めに近づくにつれて流砂量が増加し、床固め上流の河床は洗掘され低下する。そうすると流れの一部は床固めの上流面にあたり、流速が遅くなり、その部分の圧力が増加する。この結果、床固め上流のある断面において主流が河床から離れ、図2に示すような渦が生じ、床固めのすぐ上流が局部的に深く洗掘される。それより上流は水面形に応じて河床が低下し、平衡状態に達する。

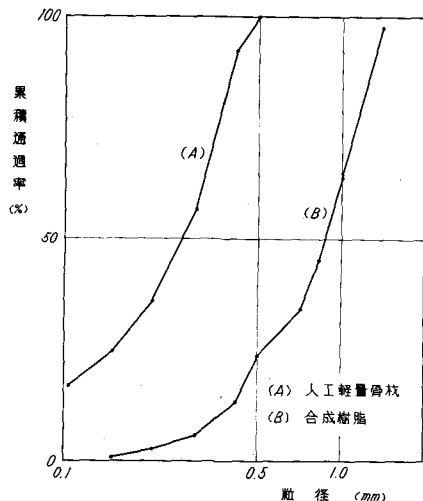


図-1. 粒度分布図

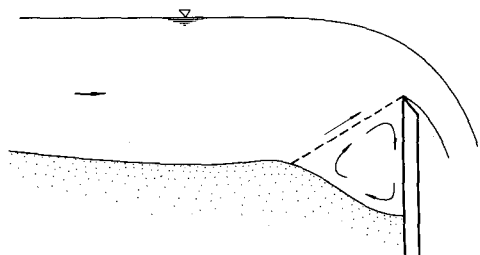


図-2. 床固め上流の洗掘

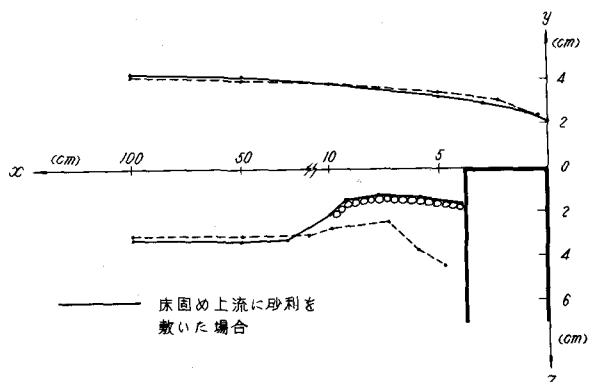


図-3. 床固め上流に砂利を敷いた場合の洗掘状況

床固め上流の局所洗掘は床固め上流に砂利を敷いておくことによつて防止できる。このような実験結果の一例を図3に示す。図3は合成樹脂を用いた場合の実験で流量は 8.59 l/sec ，犬端幅は 3.8 cm 下流水位は低く床固めを越える流れは下流水位の影響を受けていない。図3によると，床固め上流に砂利を敷くことによつて局所洗掘は防止できること，および，それより上流の河床低下は砂利を敷く

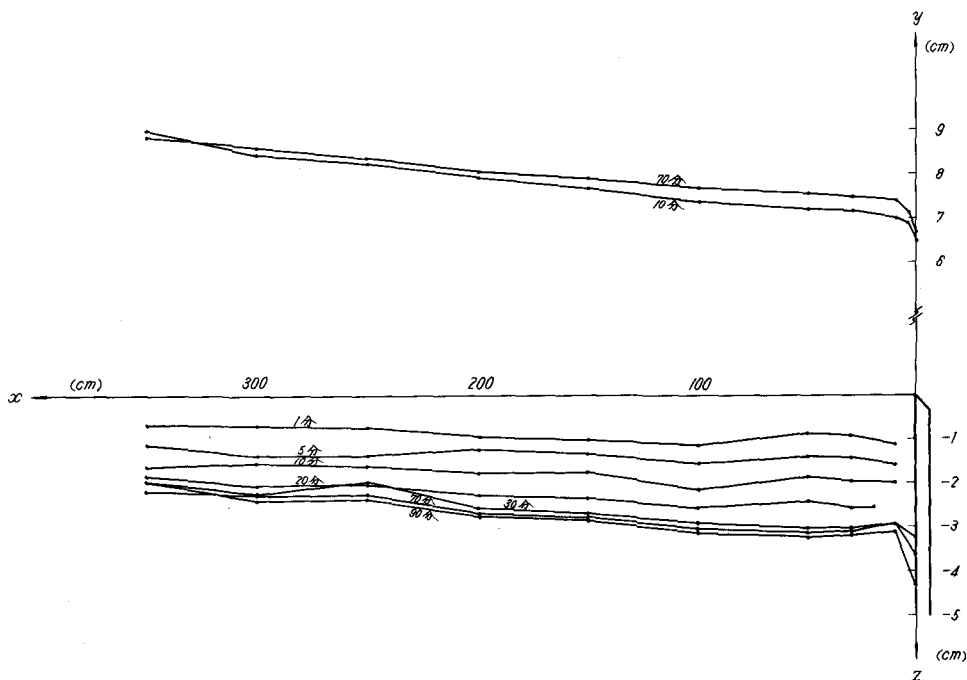


図-4. 床固め上流の河床低下

ことによつては影響されないことがわかる。ただし、砂利の代りにブロックなどの流れに粗さの影響をもたらすものを置くとときには水位が上昇し河床低下量は減少する。

河床低下の時間的变化の一例を図4に示す。図4は人工軽量骨材を用いた場合の実験で、流量は 33.6 l/sec で床固め上の流れは完全越流である。通水後1～2分は急激に河床が低下し、土砂の一部は浮遊して輸送されるが、その後は掃流状態で輸送される。図4によると通水後約30分で河床はほぼ平衡状態に達していることがわかる。水面形はあまり変化しないが、河床の低下に従つて水位が高くなり水面こう配は若干緩くなる。

なお、参考のために行なつた床固めを設置しない場合の河床変動状況は次のようである。はじめに人工軽量骨材を床固めの上流に段落の高さが20cmになるように水平に敷いておく。下流の水位を所定の値に合わせておき、所要の流量を通水してから、床固めを取りはずし、河床の変動状況を観察した。下流水位が低く床固めを越える流れが完全越流の状態にある場合には、段落ち部が急激に洗掘されて、図5のように斜面になり跳水を生じる。斜面上の流れは射流であり、洗掘が激しく、斜面は上流に向つて移動していく。下流水位が高い場合には、河床形状は貯水池内の堆砂の如き状況を示し、段落ち部は下流に移動していく。

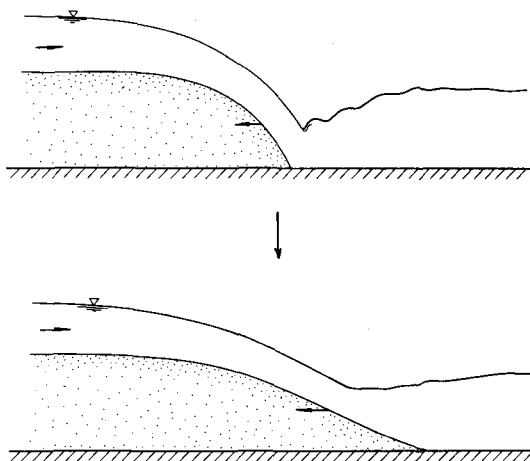


図-5. 床固めを設置しないときの洗掘状況
(下流水位が低い場合)

4. 河床変動計算

床固め上流の河床が一様に低下する部分には河床変動理論が適用され则认为られるので、河床変動計算を行なつてみた。

流水に関しては、流れは定常的であるとする。

運動方程式

$$-1 + \frac{dh}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) + \frac{n^2 v^2}{R^{\frac{4}{3}}} = 0 \quad (1)$$

連続式

$$Q = vA \quad (2)$$

流砂に関しては、非定常の場合にも定常等流に対する流砂量公式を適用できるものとし、佐藤・吉川・芦田公式を用いる。

$$q_B = \varphi \frac{\sigma}{\sigma - \rho} \tau_0 u_* f\left(\frac{\tau_0}{\tau_c}\right) \quad (3)$$

流砂の連続式

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial (q_B \cdot B)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

ここで、 i は河床こう配、 h は水深、 v は平均流速、 g は重力の加速度、 v はマンニングの粗度係数、 R は径深、 Q は流量、 A は流水断面積、 q_B は単位幅、単位時間当りの流砂量、 φ は n の関数、 σ は砂の密度、 ρ は水の密度、 τ_0 は掃流力、 τ_c は限界掃流力、 u_* は摩擦速度、 f は τ_0/τ_c の関数、 z は河床高、 λ は空けき率、 B は水路幅である。

床固め上の水深および流量を与えて、初期河床に対する各断面の水理量を式(1)、(2)から求め、その結果を用いて式(3)から各断面の流砂量を計算する。そして、式(4)から Δt 時間後の河床高を求める。つぎにこの河床に対して同様の手順で計算を進めていく。……… このようにして t 時間後の水位および河床高を求めることができる。

人工軽量骨材を使用した実験で、流量が $33.6 \ell/\text{sec}$ で、床固め上の水深が 6.84 cm (限界水深) および 8.12 cm の場合について河床変動計算を行なった結果を図 6、7 に示す。

この計算では、マンニングの粗度係数としては実験結果から求めた値 $n = 0.012$ を使い、空隙率は測定結果から $\lambda = 0.4$ とした。図 6、7 によると、いずれも計算値と実験値は合っていない。水面形が実験値と計算値で合わないために河床高の方も合わなくなると考えられる。現在、水面形を実験と計算とで合うようにする方法を考慮中である。

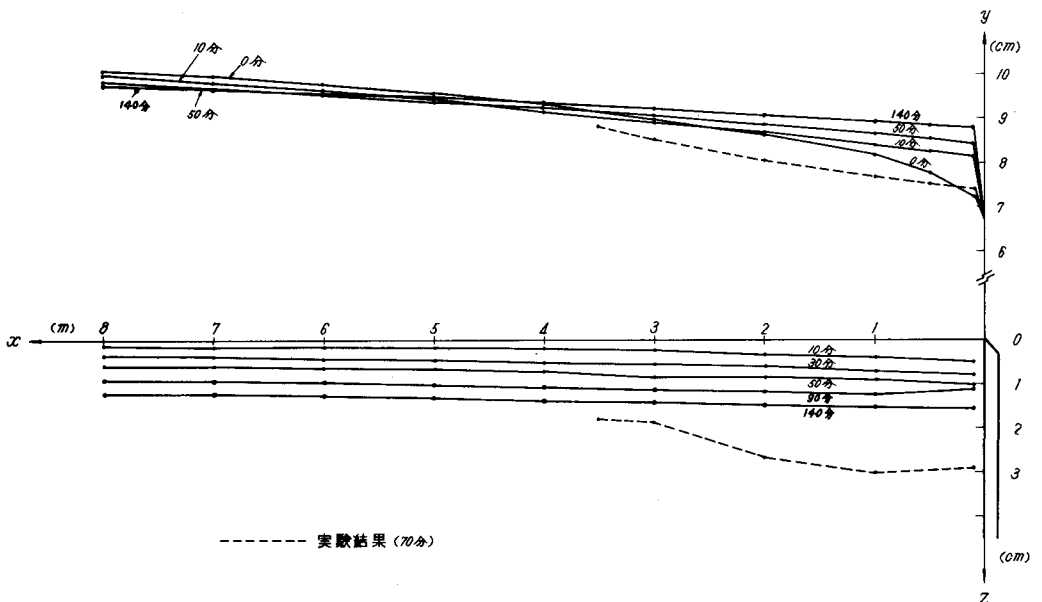


図 - 6. 河床変動計算の一例

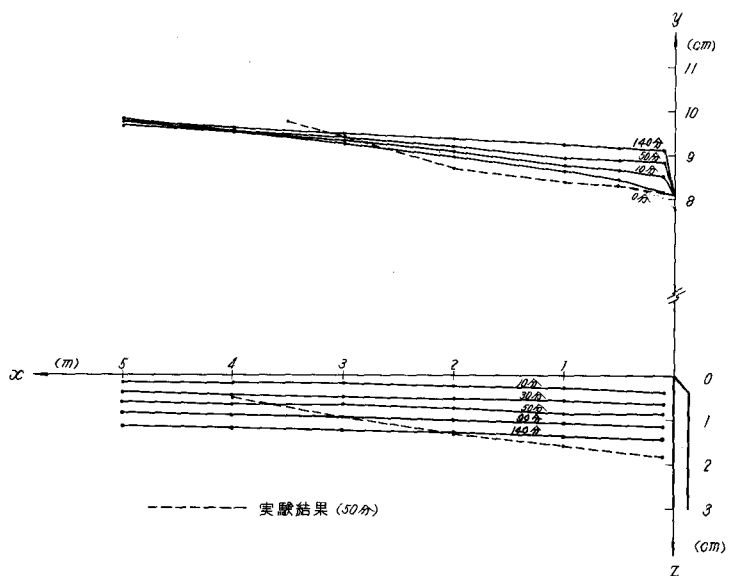


図 - 7. 河床変動計算の一例

5. あとがき

本実験は大分県新産業都市建設局の委託を受け現在継続中のものである。関係各位の御協力に感謝します。実験を行なうにあたって御指導下さった吉川秀夫教授，堀川清司教授ならびに計算に御助言下さった大学院生西村仁嗣氏に感謝します。