

II-135 河岸の侵食機構について

京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄

京都大学防災研究所 正員 藤田裕一郎

1. まえがき 河岸侵食は、沖積河道の蛇行などの流路の平面変動を支配する現象であり、山地部河道では土砂生産機構の一部を担っている。洪水時に大災害をもたらす破堤は河岸侵食と直接結びついている。したがってある与えられた流量 Q 、流砂量 Q_B を安全に通過させる安定流路の問題と深く関連している。河岸侵食は河岸構成材料と河岸近傍の水理条件の二者に支配されよう。前者は粘着性材料と非粘着性材料に大別でき、侵食機構は大きく異なっていると思われる。後者には河岸近くの斜面こう配、掃流力、二次流などがあげられるが、直接測定できるのはこう配だけで、他の二つは河岸材料の挙動などから推定することが考えられるが、極めて困難であろう。非粘着性材料に限って考えても、河岸侵食を水理学的に取扱うには明らかにしなければならない点が多く残されている。

河岸侵食の進行は流路幅幅として観察できるが、その例を図-1に示す。これは流入端から2mの点で観察したものである。給砂した場合($Q_{Bs}=1\text{cm}^3/\text{sec}$)、幅の進行は早く、しない場合は停止するようだが、再三急激に幅幅する。これは不規則な形状のRippleが河岸に近づいて流水を集中させたためで、 $d_m=0.42\text{mm}$ の細砂だと、小規模な河岸形態によっても河岸侵食が促進されることがわかる。

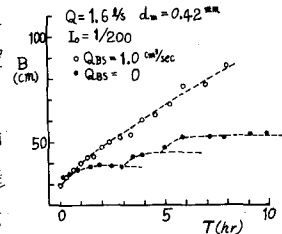


図-1 流路幅の変化

2. 河岸侵食の停止に関する仮定について 河岸侵食の停止の条件は、河岸近傍の掃流力と河岸砂の限界掃流力とによって示されると考え、河岸近傍の摩擦速度 U_{*f} を断面平均値 U_m に対する補正係数 ϵ で $U_{*f}=\epsilon U_m$ と表わせば $\epsilon U_m=U_{*c}$ となる。慣用の記号を用いて $Q_B=M_1(T_f-T_c)BU_{*c}$ 、 $U=Q/Bh=cU_m$ とすると、 Q と Q_B が一定の流路では、 $B=\frac{9QI_e}{cU_{*c}}\left(1-\frac{T_f}{T_c}\right)\frac{Q_B}{M_1QI_e}\left\{\frac{3}{cU_{*c}}\right\}^{\frac{3}{2}}-\frac{1}{2}$ 、侵食停止の条件は $B=\frac{9QI_e}{cU_{*c}}-\frac{1}{2}$ ②このとき、 $Q_B=M_1(1-\epsilon^2)QI_e/\left(\frac{T_f}{T_c}\right)c$ であり、河岸は安定で河床には流砂の存在する動的平衡状態の河道が形成されている。さらに流砂の存在しなくなる条件は

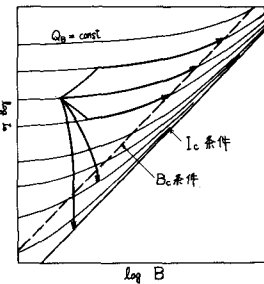


図-2 侵食停止境界

$B=\frac{9QI_e}{cU_{*c}}-\frac{1}{2}$ ①で示され、このとき静的平衡状態の河道が形成される。図-2にこれらの関係を、①は $Q_B=\text{const}$ の曲線で、②を B_c 条件、③を I_c 条件で示し、与えられた Q_B に対して安定な河道に到る径路を矢印で表わしてある。つぎに ϵ について検討するために、固定床での側壁の掃流力の最大値と $pgRI_e$ の比と B/h の関係を示したものが図-3である。各値は長方形断面では良く一致した傾向をみせているが、台形断面では値が大きく変化していて、 $B/h=2\sim3$ で1.4程度の極大値を示している。実河道の断面形状は台形に近いが、曲線形であることや、 B/h が大きいことを考え、円形断面で分布を測ったReplogle & Chowの結果を参照すると ϵ は1以下であると考えられる。実験的にも $B=56\text{cm}$ 、河床こう配 $I=1/200$ 、 $d_m=0.42\text{mm}$ 、長さ8mの流路に $Q=1\frac{1}{2}$ で80分通水したところ、河岸の侵食は全くみられなかったが $Q_B=1\text{cm}^3/\text{sec}$ であるような状態を生じることが観察された。この場合、結果的に $\epsilon=0.7\sim0.8$ となることわかった。

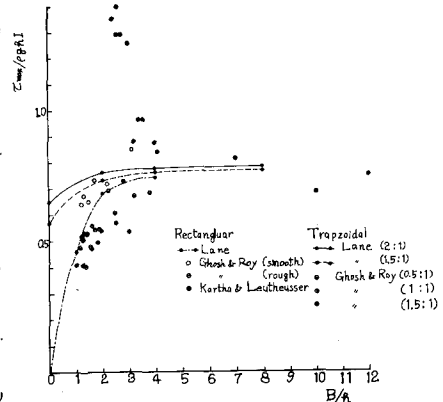


図-3 側壁の最大掃流力

3. 河岸の侵食形態と侵食された砂の拡散 河岸侵食には、水面より上部の崩落を生じる場合(A)と漸次表面

の砂を侵食していく場合(イ)とがある。静水位を上昇させて崩落幅と水面上の河岸高を測、たものが図-4で、河岸高とほぼ比例した崩落幅をもち、崩落の生じなくなる高さは20cmであることを示す。静水位の上昇によって生じる崩落は、水面下部で表面張力が消えて水中安息角になり、T-バーハングの状態が生じるためである。流水の場合も同じ現象は生じ、水位が上昇すれば崩落は生じやすくなる。流水中に入った河岸砂の拡散は河岸侵食量の関連する横方向の流砂の連続関係を知る上で重要であり、侵食形態はこの拡散過程に影響を与える。B=60cm, I=1/200, 流入端から3mの左岸を20cm幅に着色砂で置換し、Q=3%でそれぞれ20分通水して河岸砂の拡散幅を観察したものが図-5である。

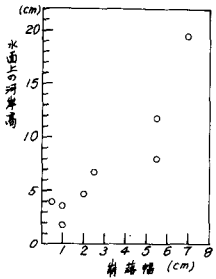


図-4

る。曲線Aは(イ)の場合の拡がりを、Bは(P)の河床表面での拡がり、Cは(P)のサンプリングで観察された拡がりを示す。B,Cは同じ実験で、崩落は通水後7分位に生じた。図の原点は置換した点の法線で、流下方向にX、横断方向にYをとっている。CではX=20cmでY=10cm程に拡がるがAでは1~2cmであるが、Y>10cmなら同一のYに対して拡がりの方向はほぼ等しい。またX=70cm位で流路中央Y=30cmに達するが、X=500cmの下流端まで、中央を越える砂粒は極めて稀であった。つぎに内径6mmのサンプラーで河床を深さ約3~5cmまで(P)の場合の着色砂の分布個数を図-6にContourまたは折線で示す。数字はサンプラー内に入った着色砂粒数である。崩落によって流路に入った砂のピークは河岸近くのY=20cmを進むが、ここは河岸斜面が平坦になる位置と大体一致する。また河岸からかなり離れた所まで崩落していった砂は、上流からの砂によって覆われることが、図-5の曲線B,Cと図-6のContourからわかる。上のピークの移動速度は約0.04cm/secで平均的な河床移動厚さを1cmと仮定すると

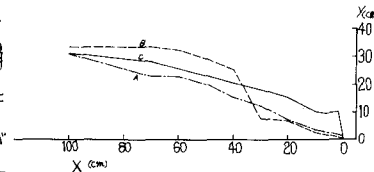


図-5 河岸侵食砂の拡がり幅

流砂量は単位幅当り0.04cm³/sec/cmで予想される値とよく一致する。(T)の場合、河床形態によつて様々に拡がっていくとは考えられないが、約1m流下すれば流路中央までほぼ一樣になるようである。河岸砂の追跡実験は始めた所なので、その量や方向と水理量の関係は今後検討を加えていくつもりである。

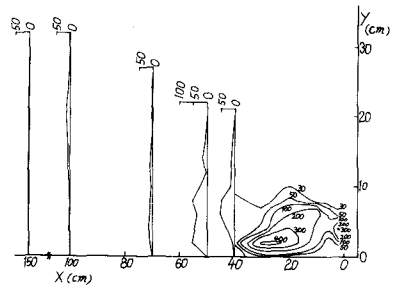


図-6 河岸侵食砂の分布

4. 河岸侵食量について 河岸侵食量の算定式としては、着者の式 $\frac{S_{sed}}{C_{sed}} = N_1 (C_{sed} - C_{sed}^0)^{1/2}$ と平野の式 $S_{sed}/sed = \frac{K}{\mu} \frac{h}{b} \sqrt{\frac{C_{sed}}{C_{sed}^0}} (T_{sed} - T_{sed}^0)$ があり、前者が掃流力分布を考慮しているのに対し、後者は河岸斜面こう配を考慮している。図-7に前者を検討してあるが、各実験ケース毎に比較的良好にまとまっていて、それに適合する係数 N_1 を与える必要がある。図-8には後者を、平野の実験に対し曲線A、着者の $d_m = 0.88 \text{ mm}$, $K=10$ に対しB, $d_m = 0.42 \text{ mm}$, $K=3$ に対しCで示して実験値と比較したものである。実験値は曲線よりも全体に立上がる傾向をもつ。また河道から外向きの浸透(Negative Seepage)のある場合には、河岸侵食が生じにくいことを示している。崩落の有無による侵食量の変化は、この検討からは明確にできない。

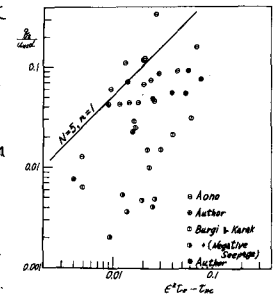


図-7 侵食量式の検討(1)

5. まとめ 以上、河岸侵食の停止と安定流路の仮定を述べ、河岸侵食砂の拡散現象にふれた。今後河岸近くの掃流力の分布と流砂の方向の分布、二次流の存在について検討し、横方向の侵食砂の連続関係から侵食機構をとうえたい。

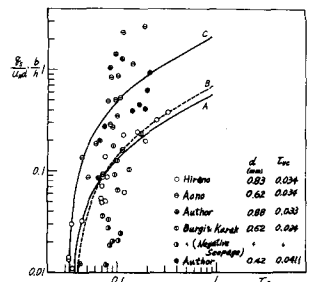


図-8 侵食量式の検討(2)

<参考文献> 1) Replogle & Chow; Proc ASCE Vol. 92, HY2, 1966. 2) 村本・田中・藤田; 京大防災研年報, 15号B, 1972. 3) 平野; 土木学会論文報告集, 210号 1973.