河床波の変形過程に関する研究

京都大学防災研究所　正員　芦田和男
京都大学防災研究所　正員　澤井健二
京都大学大学院　学生員　○加藤均

1. まえがき 河床波は河川の抵抗特性や流砂問題に密接な関係があり、平衡状態の特性に関してはかなり解明されてきた。しかし、洪水のような流量が変化する場では河床波の変形過程そのものが問題となる。本研究は、前報[1]に続き、種々の初期状態を形成した河床に同一の水理量で通水し、河床波の変形過程を実験的、理論的に考察するものである。

2. 実験方法 実験水路および測定方法は前回と同様である。水理条件は粒径 $d_m = 1$ mm, 勾配 $I = 1/500$, 単位幅流量 $q = 600\ cm^2/sec$ で、実験は12ケース行い、その初期形状（平均波長Λ，平均波高Δ）は図-1でわかる。初期形状としてケース2，3，4は別の水理条件で数時間通水を行った後のものを用い、それ以外は三角形の規則的な人工の河床波を用いた。なお、個々の波の判別には、二粒径以上の波高を全て読み取った。

3. 河床波の波長・波高平面における変形過程の法則 図-1は Λ-Δ平面上で変形過程の追跡を試みたもので、図-2はその概念図である。これらより次の三点が指摘される。

(1) ひとつのとり易い波高と波長の関係を表わす直線が存在し、この直線に沿ってsteepness 一定を保ちながら平衡点に到達する。これを第二過程と定義する。

(2) (1)の直線から外れた状態のうちsteepnessの小さいものは、まず波長が減少し(1)の直線に近づく。また、steepnessの大きいものは、まず波高が減少し(1)の直線に近づく。これを第一過程と定義する。

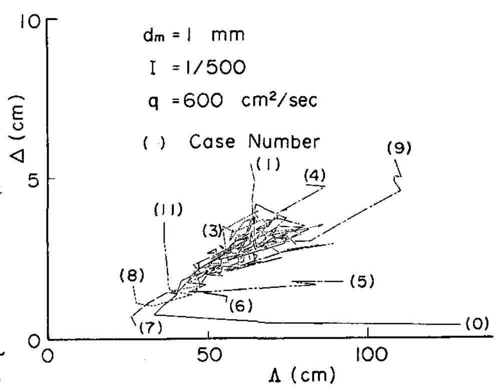

図-1　波長・波高平面上における推移

(3) 河床波の変形過程は第一過程と第二過程に分割され、第一過程はたかだか10～20分で終了し、その後長時間第二過程で支配される。

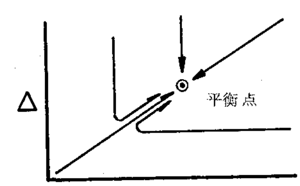

図-2　図-1の概念図

また、初期形状の与え方として規則的な河床波を作成したが、これと数時間通水したものと比較しても、河床波の波長，波高の時間的変化に差異は見られなかった。すなわち、初期の分布性状の差は河床波の変形過程に影響を及ぼさないと考えられる。これは短時間で、波長、波高の変動係数が数時間通水したもののそれと変わらなくなるためである。

4. 変形過程のモデリング 上記3. から判断して modeling を行う場合次の三つの機構を考える必要がある。ある時点の波高Δ，波長Λ　平衡状態の波高Δ_e，波長Λ_e とすると、

(1) $\Delta/\Lambda < \Delta_e/\Lambda_e$ の場合　波高がほぼ一定で、河床波の分裂によりsteepnessが増加して

Kazuo ASHIDA, Kenji SHAWAI, Hitoshi KATOH

平衡状態のものに近づく

(2) $\Delta/\Lambda = \Delta_e/\Lambda_e$ の場合　平衡点への移行過程は、steepnessをほぼ一定に保ちながら、時間に関して指数関数的である

(3) $\Delta/\Lambda > \Delta_e/\Lambda_e$ の場合　波長がほぼ一定のまま、波の山部が洗掘されて谷部を埋め、steepness が減少して平衡状態のものに近づく

ここでは model の一つとして(1)と(2)を含めた場合を考える。新しい波の発生は波形勾配と密接な関係があることがわかる。すなわち、ある定まった水理条件では、段落点から波高の一定倍の距離内には新しい波が発生せず、それ以外の場所で一定の波の発生頻度が存在する。これを式で表わすと次のようになる。

$$dn/dt = \alpha(1-\beta\,\Delta/\Lambda)$$

ここに、n；単位距離当りの波数　α；平坦河床上での波の発生頻度

平衡状態では波の合体や消滅がバランスするため $dn/dt=0$ より $\beta=\Lambda_e/\Delta_e$ が求められる。また、$\Lambda=1/n$ より波長の変化速度は次式で表現される。

$$d\Lambda/dt = -\frac{1}{n^2}\,dn/dt = -\alpha\Lambda^2\left(1-\Lambda_e/\Delta_e\cdot\Delta/\Lambda\right) \quad \cdots\cdots(1)$$

また、新しい波が発生した瞬間その波の波高はきわめて小さく、元の波の波高はそのままであると考えると、その平均波高は次式の関係を満たす。

$$\Delta_{t+\delta t}/\Delta_t = n/(n+\delta n)$$

ここに、δn；時間δt間の波数の増分　Δ_t；時刻tの平均波高

上式から波高の変化速度が求められる。

$$d\Delta/dt = -\Delta/n\;dn/dt = -\alpha\Lambda\Delta\left(1-\Lambda_e/\Delta_e\;\Delta/\Lambda\right) \quad \cdots\cdots(2)$$

発生した個々の波は、その後増幅なり追いつきによる合体をして平衡状態に近づくが、そのプロセスを指数関数で近似し、先の分裂のプロセスと組み合わせると次式が得られる。

$$\begin{cases} d\Delta/dt = A(\Delta_e-\Delta)-\alpha\Lambda\Delta\left(1-\Lambda_e/\Delta_e\,\Delta/\Lambda\right) & \cdots\cdots(3) \\ d\Lambda/dt = B(\Lambda_e-\Lambda)-\alpha\Lambda^2\left(1-\Lambda_e/\Delta_e\,\Delta/\Lambda\right) & \cdots\cdots(4) \end{cases}$$

ここに、A,B；定数

実験値から定数A, B, α を求め (3)(4)式から数値計算した結果、例えばCase 6で計算値と実験値を比較したものが図-3である。これより、平均波長、波高の時間的変化の傾向をかなり正確に把握していることがわかる。

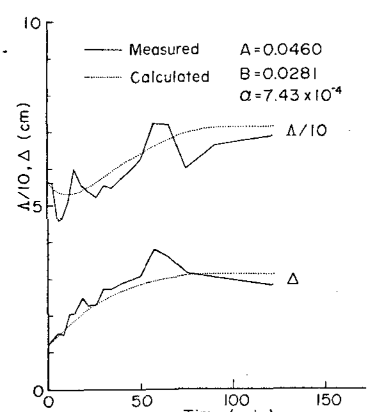

図-3 計算値と実験値の比較 (case 6)

5. あとがき　以上、河床波の変形過程に関して実験からいくつかの法則を見い出し、1つのmodelを提案した。しかし、本論文のmodelはsteepnessが平衡状態のそれより小さい場合に適用できるもので、今後はsteepnessが大きい場合のmodelも考えてゆきたい。また、(3)(4)式の係数の決定を水理条件、特に流砂量との対応から求めてゆく方法も合わせて考えてゆきたい。

<参考文献>　1) 芦田和男　澤井健二　加藤均「流量変化に伴う河床波の変形過程」関西支部年次学述講演会概要集 1980.5 II-47