

II-295 河床波の変形過程に関する研究(2)

京都大学防災研究所 正会員 澤井健二

〃 〃 〃 芦田和男

〃 大学院 学生員 加藤 均

まえがき 前報¹⁾において、著者らは、河床波の変形過程に関する研究の意義を述べ、その接近法として、任意の時点における河床波の形状と水量とから、その形状の変化速度を予測するような形で、法則を記述することの有用であることを指摘した。また、河床波の形状を表す代表量としては、少なくとも抵抗予測に関する限り、平均波長と平均波高で、かなりの程度まで目的を達し得る。

そこで、著者らは、河床波の変形過程を、平均波長・平均波高平面上で追跡することを試み、そのような平面上において、各水理条件ごとに、ひとつのとり易い波高と波長の関係を表す直線があり、それから外れた状態にある河床波は、まず何らかの経路を経てそのような直線に近づいた後、その線に沿って平衡点に近づくことを見出した。

本報は、このような、平均波長・平均波高平面を用いて、河床波の変形過程をさらに明確にするために行った一連の実験と、それに基づく変形過程のモデル化について報告するものである。

1. 実験方法 前回の実験においては、実河川の現象を念頭におき、勾配と流量を独立変数に選んで、勾配を時間的に一定に保ち、2~3の段階の流量を交互に変化させた場合での河床波の変形過程を調べたが、上に述べたような観点からすれば、必ずしも複雑なハイドログラフを用いた実験が得策ではなく、むしろ、水量は一定であっても、初期の河床形状を変えることによって、その変形過程がどのようになるかを調べる方が適切である。そこで、今回の実験においては、種々の形状を有する初期河床を、水流あるいは入手で作成したのち、同一の勾配と流量を与えて、その変形過程を追跡した。

用いた河床材料は、平均粒径1.0 mmの均一砂で、初期形状設定後の水理条件は、各ケースとも、勾配1/500、単位幅流量600 cm²/sとし、約2~3時間の通水を行った。実験は12ケースからなり、Case 2~4の初期形状は、異なる水理条件下の水流によって形成されたものであり、不規則性が強く、波長・波高の変動係数も大きい。これに対して、Case 1およびCase 5~11は、下流側勾配を安息角とする、できるだけ規則的な三角波を人為的に作ったものであり、変動係数も小さい。Case 12は、砂面をできるだけ平坦に敷きならしたものであり、変動係数は大きいが、凹凸の絶対値あるいは波形勾配はきわめて小さくなっている。なお、本実験で対象とした河床波は、いずれも砂堆の領域に属するものである。

2. 実験結果ならびに考察 図-1は、Case 6における、平均波長 λ 、平均波高 Δ 、それらの変動係数 α_λ 、 α_Δ 、ならびに波形勾配 δ ($\equiv \Delta/\lambda$)の時間変化をプロットしたものである。ここで、個々の波の判別には、二粒径以上の凹凸をすべて取り出し、ひとつの峰から、その直下流の各までの落差をもって波高とし、その谷をはさむ2つの峰間隔を波長として読み取っている。この実験ケースでは、人為的に作った比較的規則的な三角波を初期形状としているため、実験初期における波長と波高の変動係数は共に小さいが、比較的短時間のうちに変動係数が増加し、長時間後の値(全ケースを通してみると、 $\alpha_\lambda = 0.25 \sim 0.5$ 、 $\alpha_\Delta = 0.3 \sim 0.6$)とあまり違わなくなっている。

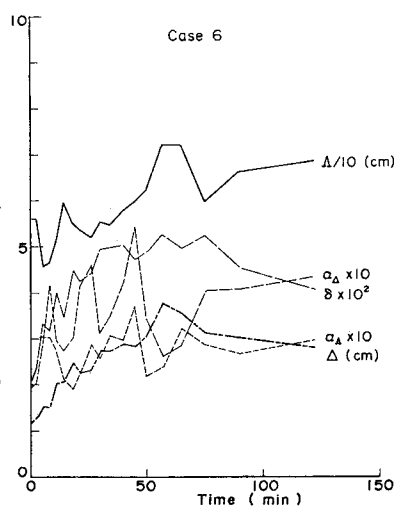


図-1 諸量の時間的変化

図-2は、各ケースにおける河床波の変形過程を、 λ - Δ 平面上で追跡したものであり、前報でも指摘したように、ひとつの平衡点とそれを通る1本の直線があり、その直線から大きく隔った河床波は、まず急速にその直線に近づいた後（第一過程）、その直線に沿って減速しながら平衡点に近づいていく（第二過程）。ただし、ここでの平衡点とは、一定の水理条件のもとで長時間通水を行った時に形成される波長と波高の期待値のことであり、必ずしもそれらがこの点に向かって収束することを意味するものではない。事実、図-2において斜線を施した領域では、河床形状がどの方向に変化するかを決定し難く、

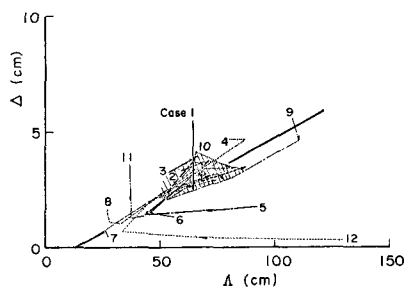


図-2 λ - Δ 平面上における実験結果の追跡

長時間後においても、その範囲内を不規則に変動している。また、上述の直線上では、波形勾配がほぼ等しく、河床波の変形過程において、各水理条件に対応したひとつのとり易い波形勾配の存在することがうかがわれる。この直線の右下の領域、すなわち平均波形勾配が平衡状態のそれよりも小さい領域では、波高の変化は微小で、波長が急速に減少することにより、波形勾配が増加する。一方、この直線の左上の領域、すなわち平均波形勾配が平衡状態のそれよりも大きい領域では、波長の変化はわずかで、波高が急速に減少することにより、波形勾配が減少しているが、この傾向は、前報で述べたものと若干異なっている。すなわち、前回の実験では、波形勾配の大きな領域において、波高が減少するとともに波長が増加することによって、波形勾配が平衡値に近づいていたのである。これは、前回の実験においては初期形状が不規則であったために、平均波形勾配が平衡値に至るまでに波高の小さな波が消滅してしまったのに対し、今回の実験では初期形状が規則的であったため、個々の波が消滅するまでに平均波形勾配が小さくなる。たことによるものと考えられる。

3. 河床波の変形過程に関するモデル化 上記の実験事実に基づいて、河床波の変形過程はその波形勾配により、次のように特徴づけられる。

- 1) $\Delta/\lambda < \Delta_e/\lambda_e$ の場合：河床波の分裂が支配的で、波形勾配が増加して平衡状態のものに近づく。
- 2) $\Delta/\lambda > \Delta_e/\lambda_e$ の場合：波の峰部が洗掘されて各部を埋め、波形勾配が減少して平衡状態のものに近づく。
- 3) $\Delta/\lambda = \Delta_e/\lambda_e$ の場合：波の分裂と統合、増幅と減衰があるバランスを保ち、波形勾配を一定に保ちながら、時間に関して指数関数的に平衡点に近づく。

上記の1)の過程を、平坦河床における単位時間・単位距離当たりの河床波の発生頻度 α を用いて定式化し、3)の過程と線形的に重ね合わせたもの²⁾を無次元表示すると、次式のようになる。

$$d\eta/d\tau = A'(1-\eta) - \gamma\eta + \eta^2 \quad \dots\dots (1)$$

$$d\gamma/d\tau = B'(1-\gamma) - \gamma^2 + \gamma\eta \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 $\gamma \equiv \lambda/\lambda_e$ 、 $\eta \equiv \Delta/\Delta_e$ 、 $\tau \equiv t/\lambda_e$ である。

河床波の変形の第二過程において、波形勾配がほぼ一定に保たれることから、係数 A' と B' とはほぼ等しい値をもつものと考えられ、試行錯誤的にその値を定めて上式を積分し、 λ - Δ 平面上的軌跡を求めたものが図-3である。

あとがき 以上、河床波の変形過程に関する実験に基づき、河床波の分裂と統合に着目したモデルを組み立てたが、今後さらに、波の発生頻度 α と水理量の関係を見い出すとともに、埋め戻しの過程をも包含した、より一般的なモデルを組み立てていく必要がある。

参考文献

- 1) 澤井・芦田・加藤：河床波の変形過程に関する研究，第35回土木学会年講概要，II-150，1980。
- 2) 芦田・澤井・加藤：〃，昭和56年度土木学会関西支部年講概要。

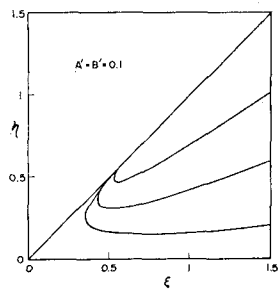


図-3 式(1)(2)に基づき変形過程の追跡