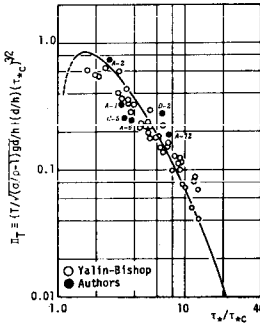


京都大学大学院 学生員 竹東 正孝
 京都大学工学部 正員 中川 博次
 京都大学工学部 正員 辻本 哲郎

まえがき 河床波の形成はかきりゆっくりした過程で、たとえば平坦河床から平衡状態の河床波に発達するのに図-1に示すような時間を要する。このため流量変化の時間スケールとの関係によっては応答遅れが無視できない場合がある。前報¹⁾では正弦波状の微小流量変動に対して河床波のスケール(波高)と抵抗(水深)の位



相差 ϕ_H, ϕ_R を換計したが、その結果を図示(前報では数式表示のみ)すると図-2のようになる(図中 a は振幅、添字 H, R, Q はそれぞれ河床波高、水深、流量についての値を表す、また ψ_n : 流達係数、 θ : 波形状係数、 $\delta = H_e/R$ 、 H_e : 平衡状態での波高、 ω : 流量変動の角周波数、 T_{ex} : 河床波の発達時間スケールの一つである)。前報¹⁾では流量変化時間スケールと河床波の発達時間スケールとが同じオーダーのとき有意な現象が現れることが明らかにされるなどの成果が得られたが、その扱

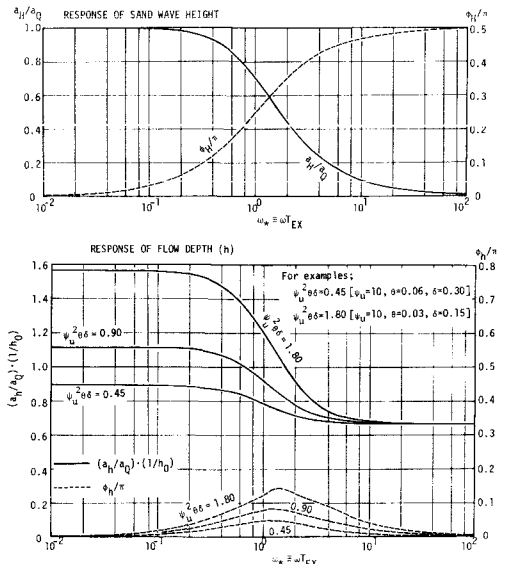


図-2 河床波高、水深の流量変動への応答

いはかなり理想化された条件のもとでの議論であり、実際上のこの種の問題に適用するにはまたまだ多くの問題が残されている。本報ではこれらを検討する第一歩として図-3に示されるような流量増加パターンについて水路実験を行った結果とその考察について述べる。なお本報の対象も lower regime に限られている。

実験方法と実験結果

実験は長さ 9m、幅 33cm の水路(路床勾配 1/500)で、中央粒径 0.5mm のほぼ均一砂を用いて行った。各 Case について数 runs の実験を実施しその平均値を各 Case の実験値とした。とくに Case 3~5 は同一流量への増加に要する時間 (T_f と表記)を変えたもので、これらの比較が今回の実験の主体である。 $T_f=0$ の場合を流量急増実験、その他を流量漸増実験と呼び、前者はいわゆる河床波の発達過程の実験²⁾と同等で、今回の実験でも波高 H 、波長 L (初期波長 L_0 を減じて整理)は図-4 にその一例が示されるように時間の平方根に比例して増加することが認められた(波高について、 H_1 : crest to crest, H_2 : trough to trough で定義)。また流量急増実験での流砂量の時間的変化は図-5 に示すように顕著でない。なお、これらの実験は路床勾配が一一定で、各時刻でほぼ等流状態が得ら

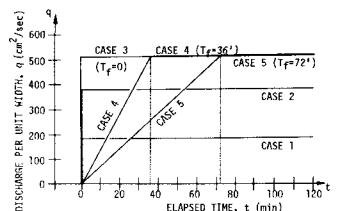


図-3 実験での流量増加パターン

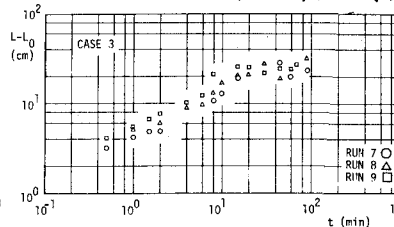
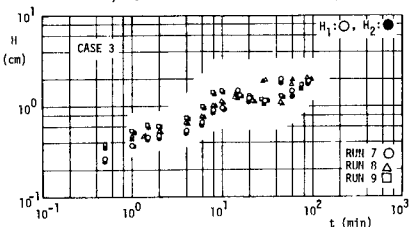


図-4 河床波の発達過程における波高波長の時間的変化

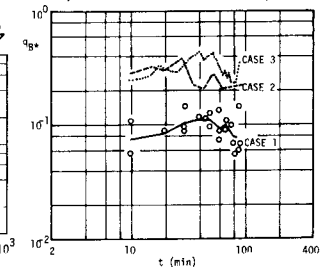


図-5 流砂量の時間的変化

れるよう下流端堰が随時調整されており、全抵抗の増加は水深 α 変化として現れる。流量急増実験時の水深の時間的变化は図-6に漸増実験の結果と併示されているが初期を除いてほぼ一定のようである。一方、流量漸増実験

の結果は波長・波高については図-7、流砂量については図-8に示される。図-7の破線は単に平均的な値を連ねたもの、図-8のそれは遅れが無いとして各時刻の流量に対応する流砂量を流砂量式から算出したものである。なお図-9には河床波スケールと流量の関係を示したが $T_F=36$ の場合、顕著なループが存在するようである。

考察 図-4より河床波の発達過程の大部分についてスケール

の時間的变化はほぼ次式で表わされる。 $\Pi(t) = K\sqrt{t} + \Pi_0 \dots (1)$ 添字0は初期値を表わす。これより $\Pi \frac{d\Pi}{dt} = K/2 \dots (2)$ が得られ、 K の推定に着着る以前のモデル⁽²⁾を適用すると、 $KH = \sqrt{2fs(\alpha) \cdot \sqrt{g_B\theta/(1-\beta_0)}} (H < H_e)$, $KL = \sqrt{2fs(\alpha) \cdot \sqrt{g_B/(1-\beta_0)\theta}} (L < L_e)$, $KH = KL = 0 (H \geq H_e, L \geq L_e) \dots (3)$ であり、ここに $fs(\alpha) \doteq 0.08$, g_B : 流砂量, β_0 : 砂の空隙率であり、添字eは平衡値を示す。式(2),(3)の検証結果が図-10, 11であり、平衡状態での g_B, θ の値を用いた計算値(図の実線)が実験値と比較的良好に適合している。但し平衡値の近傍で K が急に零にならずこのあたりのモデルの手直しが必要と思われる。さて、 K の値は河床波の変化速度に比べかなり瞬時に流量変化に応答すると考えられ、したがって河床波のスケールの変化は次式により逐次予測することができる。

$\Pi(t+\Delta t) = \frac{d\Pi}{dt}(\Pi(t), K(t)) \times \Delta t + \Pi(t) \dots (4)$
 こうして計算された結果が図-12で、 α -近似としては流量変化に対する河床形状応答が予測できるが今後改良が亦も多い。なおこの計算にもとづく予測関係を図-9にも点線で示した。今後更に系統的な研究を続ける予定である。

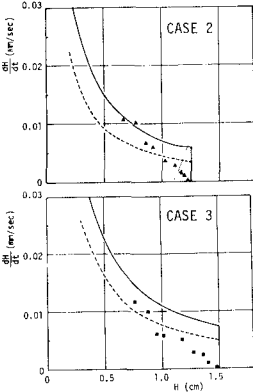


図-10 波高の増加率

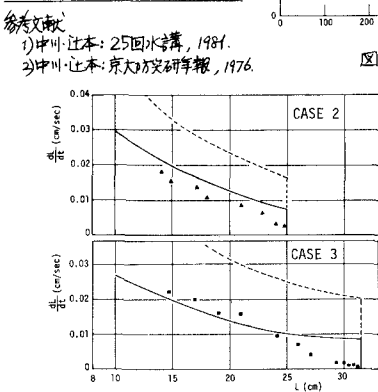


図-11 波長の増加率

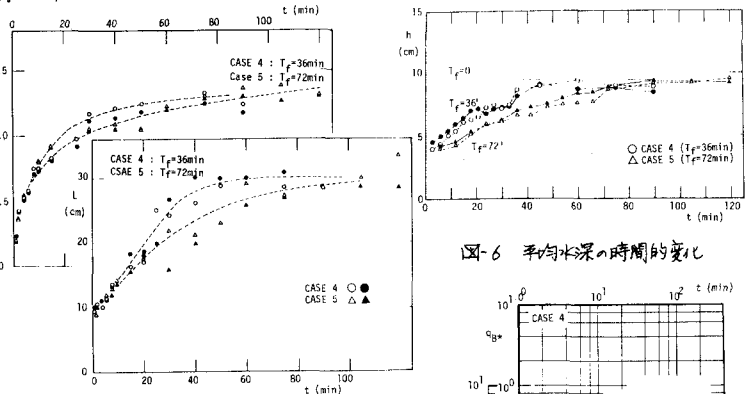


図-6 平均水深の時間的变化

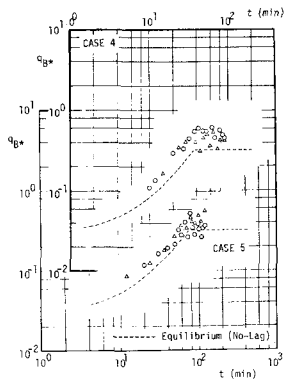


図-7 流量漸増時の河床波スケールの変化

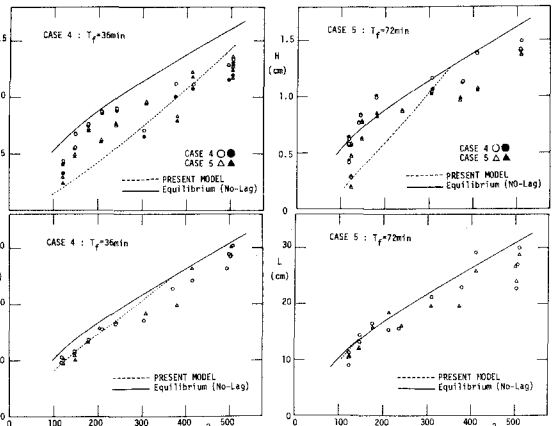


図-8 漸増実験時の流砂量の変化

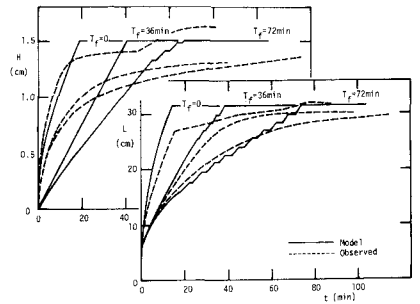


図-9 河床波のスケールと流量の関係

図-12 モデルの検証