

1. まえがき 流量の変化に伴って河床形状がどのように変化するかを明らかにすることは、洪水時における流水抵抗や河床変動を予測する上できわめて重要な課題であり、従来数多くの研究がなされてきた。その結果、河床波の変形にはかなりの時間を要するため、急激な流量変化に対しては時間遅れを伴って応答し、水深-流量関係にループの現れることなどが見出されている。しかしながら、これまでに提案されてきた河床波の変形過程の予測モデルは、主として流量を階段状に変化させた実験において見出された特徴を抽出して構成されたものであり、一般的な流量変化に対して適用できるかどうかは疑問である。ことに、流量減少時の砂堆の波長の変化機構や、遷移領域あるいは upper flow regime にまたがる場合の河床波の変形機構に関しては、不明の点が多く残されている。

そこで、本研究は、流量を周期的かつ連続的に変化させた場合の河床波の変形過程に関する実験を行い、その応答性状を明らかにしようとするものである。

2. 実験装置および方法 実験に用いた水路は、幅50 cm、長さ21 mの勾配可変水路で、サンドポンプにより水と土砂を同時に循環させることが出来る。著者らは従来この水路を用いて多くの実験を行ってきたが、流量変化に伴う河床波の変形過程に関する基礎的な実験を行うにはいくつかの困難があり、実験条件が非常に制約されていた。その最大の難点は、流量変化そのものを円滑に与えられなかったことである。河床波の変形過程に関する基礎実験では、上下流端の境界条件の影響を小さくして、非定常ではあるができるだけ等流に近い状態を維持しようとするのが多いが、それには下流への流出土砂量に等しい給砂を上流から与える必要がある。これには下流への流出土砂を捕捉・計量し、それと同量の土砂を別の給砂器から供給する方法と、下流へ流出した土砂をそのまま上流へフィードバックする方法とがあるが、複雑かつ長時間にわたる実験では、後者の方法が有効である。その場合、流量制御をバルブの開閉によって行くと、バルブ開度の小さな時に土砂がつまり、流量が変動し易くなるため、本実験では、バルブ開度を一定にしてポンプの回転数を変化させることにした。図-1はその概要を示したものである。すなわち、流量の検出にはベンチュリー管を用い、差圧を電圧に変換し、対数アンプを通したのちAD変換してパソコンに入力し、設定流量と比較しながらポンプ駆動モータの電源周波数を制御する自動制御システムである。設定流量ハイドログラフは、0.5秒ピッチの任意の折れ線と与えることができ、制御できる流量範囲は0~40 l/s、分解能は約0.2 l/sである。

非定常移動床実験におけるもうひとつの困難は、流量変化だけでなく河床粗度の変化によっても等流水深が変化するため、等流あるいはそれに近い状態を維持するには、きわめて複雑な水位制御を要することである。これについては、底部を土砂が通過できる転倒ゲートを水路下流端近くに設け、水面勾配を頻繁にチェックしながら所定の水面勾配が維持されるよう、ゲートを調節した。

河床材料は、中央粒径0.77 mmのほぼ均一砂で、勾配を1/100、流量を20 l/s ~ 40 l/s の範囲で正弦波状に周期的に変化させ、数周期反復した後、1周期にわたって水路中心線に沿う河床形状ならびに水位の変化を計測した。測定区間長は10 mで、河床形状の測定には電気抵抗式サーボ河床計、水面計測には磁針式サーボ水位計を用いている。

河床形態は、砂堆の領域に属する。

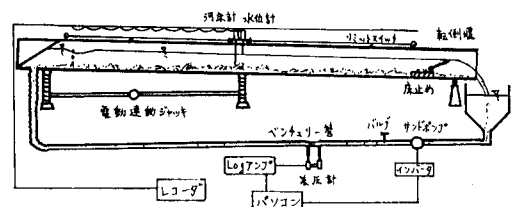


図-1

3. 実験結果および考察 図-2 は、流量周期が約3

時間の場合における、5周期目から6周期目にかけた河床波の平均波高、平均波長ならびに平均水深の時間変化を示したものである。この図からわかるように、流量変化に伴って水深もほぼ正弦波状に変化しているが、両者の位相には約10分間のずれが見られる。本実験の制御法から考えて、これは洪水波の伝播によるものではなく、河床形態の応答遅れによるものであると判断される。事実、平均波高の時間変化も流量波形に比べて約10分間の位相の遅れがあり、水深の変化とほぼ対応している。平均波長の変化にはやや不規則性が増すが、大体的には波高や水深の変化と同じパターンを示している。

ここで特に注目されるのは、位相 π ($-\frac{1}{4}\pi$) から $\frac{1}{4}\pi$ にかけて、波長が顕著に減少していることである。従来の研究においては、波長の減少過程が的確に捉えられた例が少なく、モデルを組み立てる上での大きな障害となっていたが、このように流量を連続的かつ周期的に変化させることにより、その過程を明確に抽出することが可能となった。

図-3 は、横軸に流量をとって、図-2の結果を表現し直したものである。これにより、波長・波高・水深は、いずれも反時計回りのループを描いていることがわかる。なお、増水期で流量が約34 l/sのとき、波長や波高にギャップが生じているが、反復回数が少ないため、まだ完全な周期過程に至っていないのか、現象のばらつきであるのかは明らかでない。

図-4 は、流量周期を11分にした場合の諸量の時間変化を示したものである。この場合にも水深は流量に比べて若干の時間遅れを伴ってほぼ正弦波状に変化しているが、河床波の形状の変化特性は先の場合と全く異なる。すなわち、河床波の波長や波高は増水期にむしろ減少傾向にあり、減水期にさしかかると波長・波高ともに急速に増大し、 $\phi = \pi$ 以後波高は減少傾向に転じるが、波長は $\phi = 2\pi$ まで増大し続けている。このように流量あるいは水深の変化の位相と、河床の波長・波高の位相が逆転あるいはそれに近い状態になることは、さきわめて興味あることからである。図-5 は、流量を横軸にとり、図-4の結果を表現し直したものであり、時計回りのループと反時計回りのループが混在しているが、ループ幅あるいは振幅そのものがさほど大きくなく、諸量の変化が流量変化に充分追随していないことがわかる。これを周期3時間の場合と比較すると、水深の変化範囲は周期3時間の場合に約9~15 cmであったものが、周期11分では約11~14 cmの範囲に狭まっているものの、その平均値がほぼ同じであるのに対し、波高や波長は単に変化範囲が狭まるだけでなく、その平均値もかなり大きくなっている。すなわち、このように流量が周期的に変化する場合において、1周期を通じての平均量を支配する支配流量というものがあるとすれば、それが流量の周期により、異なることになる。

4. あとがき 以上、流砂循環水路に流量自動制御装置を付加することにより、連続かつ周期的な流量変化に伴う河床波の変形過程を比較的容易に発生させることが可能となり、この方面の研究を大きく前進させることが得られた。今後、水位制御の自動化、勾配制御の自動化、流砂量の連続計測など、さらに実験法を改良するとともに、河床波の変形機構について考察を進めたいと考えている。なお、本研究は、昭和58年度文部省科学研究費一般研究B（代表者：芦田和男教授）の補助を得て行ったものである。記して謝意を表す。

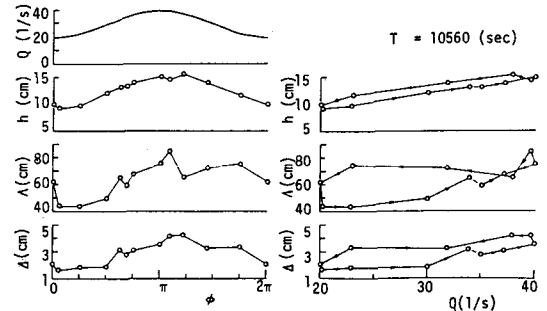


図-2

図-3

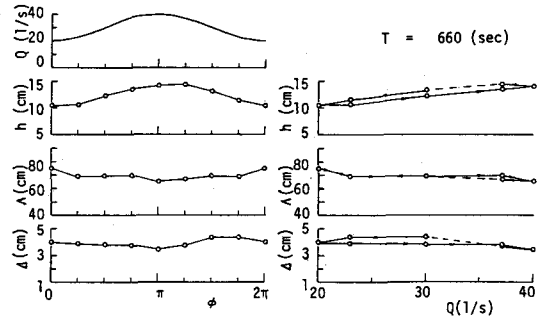


図-4

図-5