

1. はじめに 移動床流れにおいて、与えられた水理条件に応じてどのような河床波が形成されるかを定量的に予測することは難しい。本研究は、河床波の波高の予測を目標として、砂漣の発達に伴う波高の増大過程を実験的に検討したものであり、実験においては河床波の発達過程を三次元的に計測する方法が用いられた。

2. 実験方法 実験は長さ8m、幅40cm、深さ30cmの直線水路で行い、流量を6.5 l/s、河床勾配を1/800、水温を18.6°C、河床砂の平均粒径を0.53 mmとした。以上の条件で通水を始めると、初め平坦であった河床に通水後20~30分で河床波が発生し、通水後100分程度で十分に発達した砂漣が形成された。このときの計測区間における水深および断面平均流速の経時変化を示すと図-1のようになる。

河床形状の計測区間は水路の上流端から5.5~6.3mの80cmの範囲とし、2台の超音波式河床計を取付けた測定台車を22 cm/sの速度で上下流に移動させて河床高を連続的に計測した。2台の河床計を横断方向に3 cm離して設置し、各一測線の河床を計測するごとにそれらを横断方向に2 cmづつ移動して、横断方向に27 cmの範囲が1 cm間隔で計測されるようにした。計測結果はペンレコーダーに記録したが、計測区間の両端を河床計が通過するときの信号も同時に記録した。このような計測は図-1の①~⑤の時間帯で行い、①では3 Case、②~⑤では各4 Caseの計測を連続的に繰り返したが、各Caseの計測には約140秒を要した。

上記のような計測を行うと同時に、変化してゆく河床形状を水路の直上2.2mの高さから各Caseについて4回づつ写真撮影した。その一例を写真-1に示す。

計測結果から、デジタイザーを用いて流下方向に80 cmの区間の河床高を1 cm間隔で読み取り、フロッピーディスクに収録した。これによって80 cm×27 cmの領域内の1 cm×1 cmの格子点の河床高が数値化されたが、これを計算機で処理した。

3. 砂漣の波高の増大過程 図-2にペンレコーダーの記録から直接求めた各Caseの砂漣の平均波高 H_m の経時変化を示す。

図-3に計算機で図化した通水後の経過時間 t が50分の時点の河床高の空間分布を示す。図において、各等高線間の高低差は2.5 mmであり、斜線で縁取りされた範囲は河床高が負の部分である。図においては、河床が周辺より特別に深くなった部分および高くなった部分が存在するが、これらに記号を付けて、それらが時間の経過に伴ってどのように変化してゆくかを詳細に検討した。

また、このような河床形状の理解を容易にするために、図-4に示すような河床形状の俯瞰図を計算機によって作画した。

以上の図および写真を対応させながら検討すると河床波の発達

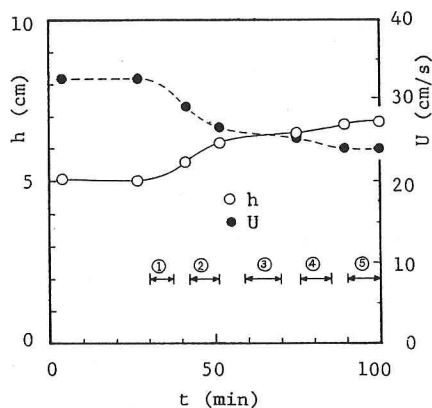


図-1 水深および断面平均流速の経時変化

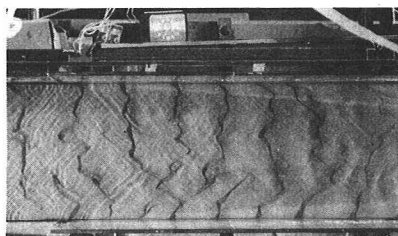


写真-1 河床形状の写真撮影例($t=50$ min)

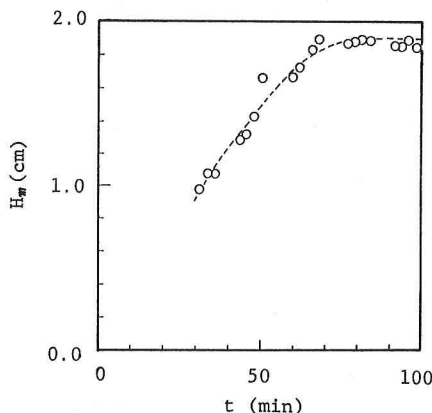


図-2 砂漣の平均波高の経時変化

過程が定性的および定量的な両面から把握できる。特徴的な現象について述べると、図-3において H_1 , I_1 , J ,なる記号を付けた洗掘部には水路横断方向に対して一定角度傾いた軸をもつらせん流（以下においては斜めらせん流と称する）が発生していることが写真-1から推察され、また、河床形状の時間的変化を

調べることによって、このような深掘れは斜めらせん流の渦運動によって発達し、高い堆積部も斜めらせん流によって流送された砂粒の堆積によって形成されることが明らかとなった。

河床形状の時間的変化の詳細な検討結果を基にして、砂漣の波高の増大過程を模式的に示すと図-5のようになる。図において、斜線を施した部分は洗掘部を、点の部分は堆積部を表わす。

河床波の発達の初期の段階では、(a)図に示すように、初め二次元的で波高も小さい河床波の一部に斜めらせん流によって局所的な深掘れが形成される。続いて、(b)図に示すように、深掘れの下流側に堆積が生じる。このときの堆積高さは洗掘深よりかなり小さい（図で、 $H_1 > H_2$ ）。

河床波の発達の最盛期では、(c)図に示すように、斜めらせん流による洗掘と堆積が河床のあちこちで次々に形成され、その洗掘深が最大に達するものが現われる。また、河床波の変形も激しい。このような洗掘および堆積の発達によって、河床波の平均波高も図-2に示すように急激に増大する。この段階においても洗掘深は堆積高よりも概して大きくなっている。

次の段階では、斜めらせん流による局所的な洗掘と堆積が河床面全体で発生し、同時にこのような洗掘と堆積の進行が河床波の規模を大きなものとする。この状態は(d)図に示されるようであるが、この段階では斜めらせん流の渦運動は弱くなり、河床の洗掘速度も小さいが、堆積部と洗掘部が連続するため河床波の波高は増大する。

以上の検討から、砂漣の波高は斜めらせん流の強さと規模によって決定されると言えよう。したがって、与えられた水理条件に対して斜めらせん流の強さと規模が決定されるならば、砂漣の波高が予測できることになる。

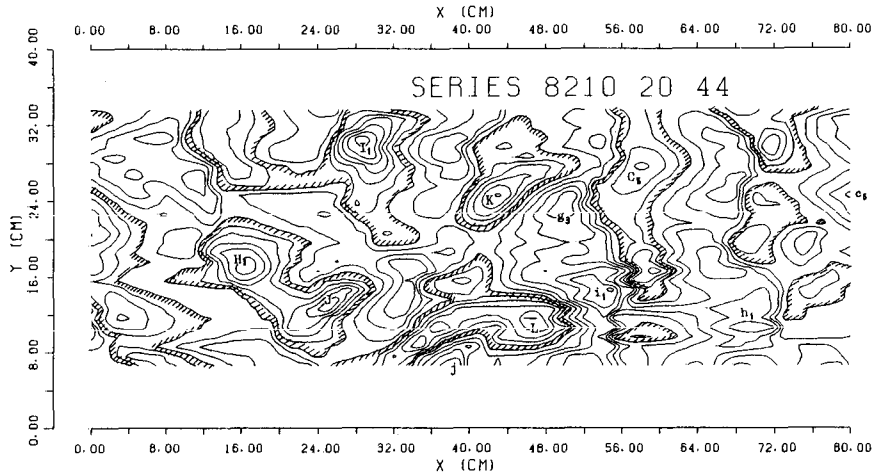


図-3 河床高の空間分布図 ($t = 50 \text{ min}$)

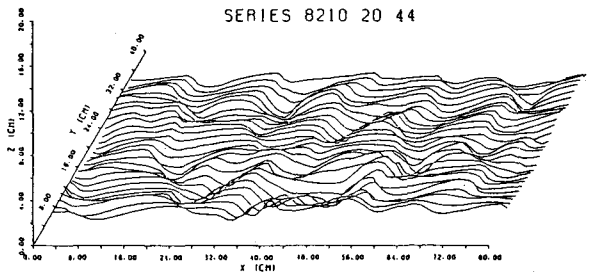


図-4 河床形状の俯瞰図 ($t = 50 \text{ min}$)

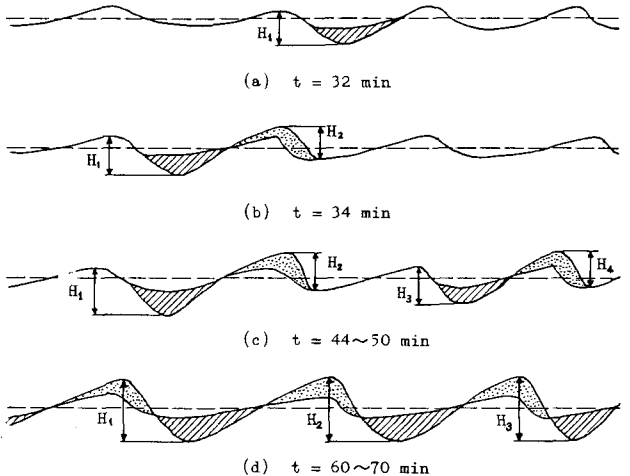


図-5 砂漣の波高の増大過程の模式図(縦断形状)