

流量変化に伴う河床波の変形過程

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 河川の抵抗特性や流砂問題に密接な関係のある河床波に関しては、従来、平衡状態を対象とした研究が多く行われてきた。洪水のような流量が変化する場では、河床波は必ずしも時々刻々の水理量に対応しないが、その研究は数少ない。本研究は、そのような場における河床波の変形過程に関して実験的に考察を行うものである。

2. 実験方法 実験に用いた水路は、幅50cm、長さ20mで、等流条件を保つため、下流端80cmを固定床とし、転倒堰を設けて水面勾配を所定の値に保つとともに、流出土砂はサンドポンプで循環させている。測定区間は9mで、砂面測定器と水位計を取り付けた台車を水路中心線に沿って、約50cm/sの速度で走らせ、3分毎に測定する。勾配は $I=1/500$, $1/50$ 粒径は $d_m=0.30, 1.0$ (mm)の2種を用い、波の勾配のできるだけ異なることが期待される2, 3の流量を交互に変化させ、15回の実験を行った。個々の波の判別には、

zero-crossing法を用いて crest から trough までの落差をもとめて波高とし、以後の解析にはすべてその平均量を用いる。

3. 実験結果と考察 図-1は、単位幅流量 q 、水面勾配 I_w 、水深 h 、波高 Δ 、波長 λ および波の勾配 λ/Δ の時間的変化を示したものである。水深は、明らかに流量変化時に急変し、細かい動きは水面勾配の変化と対応しているが、それらを除去した同じ流量間での全体的な動きは、波高あるいは波の勾配の変化と対応している。すなわち、大流量時には波高および波の勾配が指数関数的に増大し、小流量時にはそれらが減少しているが、それらと水深の対応がきわめて良いのである。ところが、波長の変化は複雑で、Case 14bではあまり変化が見られないが、Case 15では流量増加時に急減し、小流量時にそれが回復している。この現象の違いは、流量急増直前の波高が、前者の場合大流量の平衡状態に近い5~6cmであるのに対し、後者の場合小流量のそれに近い1~2cmであることによるものと考えられる。

そこで、波長と波高の変化の複合効果を見るために、図-2のような λ - Δ 平面上で、変形過程の追跡を試みた。この図より、各水理条件に固有の直線と平衡点が存在し、平衡点から離れた点はまずその直線に向かう。

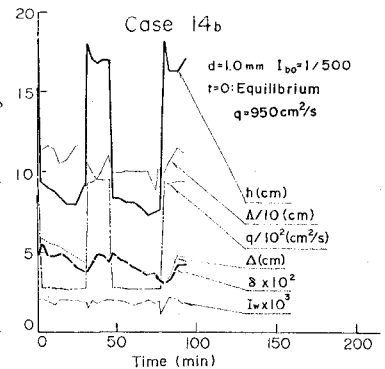


図-1(a) 諸量の時間的変化

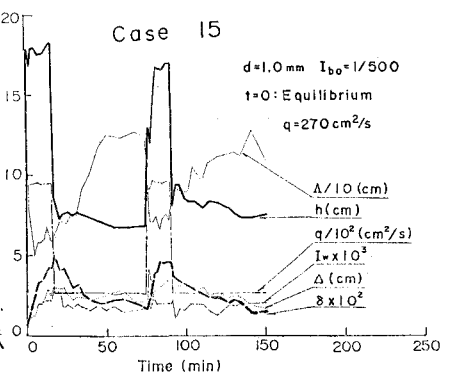


図-1(b) 諸量の時間的変化

KAZUO ASHIDA, KENJI SAWAI, HITOSHI KATO

7移動し、その後その直線に沿って平衡点に向かうことになる。これらの動きは、河床波の統合と分裂、増幅と減衰の組み合わせから次のように説明される。すなわち、その直線の下側の領域では、分裂により波形勾配一定のものがある程度まで波長と波高が減少し、その後個々の波の増幅効果が現れ波形勾配が少しずつ増加する。もしこの直線に達すると、統合効果が卓越して波長が増大するようになる。しかしながらこの過程には個々の波の増幅が伴うため、直線は原点と近らず、平衡点に近づくにしたがって波形勾配が増加する。またこの直線の上側の領域では、波長が平衡状態の値に近り場合には、個々の波の減衰により波高だけが減少し、波長が小さい場合には、統合と減衰が複合して、波高が減少しながら波長は増加して平衡点に接近する。このように、平衡点を中心とする領域別には統合、分裂、増幅、減衰の4つのプロセスが複雑に組み合わさるから平衡点への移行が生じているのである。

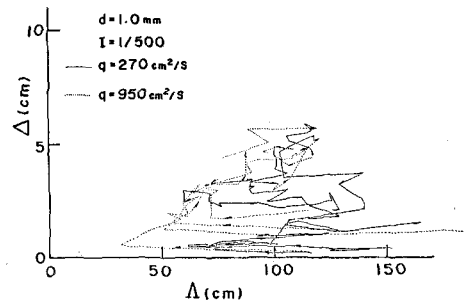


図-2 水理条件毎の波長・波高平面上における推移

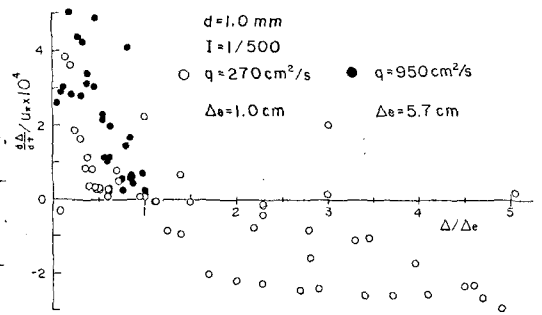


図-3 波高に属する平衡状態からの偏倚と変化速度

表-1 水理条件毎のαの値

No.	d (mm)	I	q (cm²/s)	α × 10⁴
1	1.0	1/500	270	2.4
2	1.0	1/500	950	6.0
3	0.30	1/500	160	3.5
				15.2
4	0.30	1/500	350	11.4
5	0.30	1/500	520	21.9
6	0.30	1/500	890	4.1
7	0.30	1/250	160	7.9
8	0.30	1/250	300	2.6

図-3は、波高に属する平衡状態からの偏倚と変化速度の関係を描いたもので、変化速度は各時点の摩擦速度 u_{*c} で、波高は平衡状態の波高 Δ_e で無次元化した。これによると、図-3の2では、水理条件毎にある傾きをもった点列の直線関係が存在する。その傾きの絶対値αを表-1に示す。ただし、図-3には2本の直線がめられた。Dunes 領域のNo. 1と2 Ripples 領域のNo. 3, 4, 5では、それぞれ流量が大きいほどαの値も大きくなる。7になるが、遷移領域のNo. 6, 7, 8では必ずしもそのような傾向は見られない。また、図-3の2では $\frac{1}{u_{*c}} \frac{d\Delta_e}{dt}$ はほぼ一定で、波高は近似的に等速で減少している。

最後に、Yalinの抵抗算定式⁷⁾に実測の Δ と α の値を代入して水深 h を求め、実測値と比較したところ、平衡状態にあるか否かにかわらず、両者の比が0.9～1.1の範囲に入り、河床波形状が把握できれば、抵抗の算定が可能であることがわかった。

4. あとがき 以上、流量変化に伴う河床波の変形過程を解明する第一歩として、実験に基づいていくつかの法則性を見い出した。しかし、それらを統一的に説明できるパラメータを抽出するには至っておらず、その内部機構に立ち入った力学的な考察が必要である。

<参考文献> リ水理委員会移動床流れの抵抗と河床形状研究小委員会：移動床流れにおける河床形態と粗度、土木学会論文報告集 第210号 1973. 2 P. 88