

波状固定床上の非定常乱流構造に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川博次 京都大学工学部 正 員 榊津家久
 鹿 島 建 設 正 員 藤井信宏 京都大学大学院 学生員 越智 厚
 京都大学大学院 学生員 石田吉宏

1. まえがき 洪水時に実河川でどのような現象が生じているかを明らかにすること

は、工学的に非常に重要な課題である。本研究は、滑面及び波状固定床上での非定常流れの乱流構造を、実験を通じて比較・検討し、さらに大規模渦構造を調べる。

2. 実験方法 まず滑面上に非定常流を流して、波高計とレーザー流速計の同時計測を行い、非定常流自体の性質を調べる(実験I)。次に波状固定床を設置して、波高計と

表-1 実験条件

Case			Q_b	Q_s	ΔT	λ	Fr_b	Fr_s	サンプリング周波数 (Hz)
実験 I	実験 II	実験 III	(l/s)	(l/s)	(s)				
LFT11	LDT11	CDT11	1.6	3.2	60	0.07	0.07	0.14	200
LFT12	LDT12				180	0.02			
LFT21	LDT21				60	0.16			
LFT22	LDT22		8.4	16.8	180	0.06	0.36	0.51	100
LFT23	LDT23				420	0.03			

CDT11のサンプリング周波数は 20Hz

レーザー流速計の同時計測実験(実験II)、波高計と光学式濃度計の同時計測実験(実験III)を行う。実験水路は、長さ10m、幅40cmである。流量は、コンピューターで制御される電磁流量バルブによって調節された。波状固定床上の実験で用いられた三角形上河床波モデルは、波高 $H_w=2cm$ 、波長 $L=40cm$ の鉄製の二次元的なものである。実験条件を表-1に示す。base flowの平均水深 h_b は7cmである。 λ は高橋¹⁾の提案した非定常パラメータである。 $\lambda \equiv (h_m - h_b) / i \sqrt{g h_m T_b}$ で表され、実際の洪水と相似となるように考慮された。ここで h_m は最大水深、 i は勾配、 T_b は水深変動の継続時間を表す。点計測実験によって得られた瞬間値データは、周波数領域法(波の重ね合わせ回数は7)を用いて平均流速とした。実験IIIでは、再付着点付近($x/H_w=5.0$)から染料を注入し、その拡散濃度を濃度計で計測した。

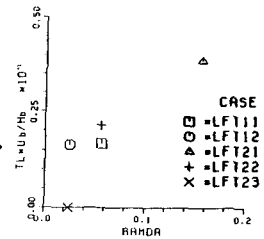


図-1 水深変動の応答遅れ

3. 実験結果及び考察 まず滑面上の非定常流れの乱流構造について述べる。水深が変動しはじめてからピークを迎えるまでの時間を T_{hmax} とする。水深変動の応答遅れ T_L を $T_L = T_{hmax} - \Delta T$ と定義すると、 λ との関係は図-1のようになる。つまり非定常性が大きい方が水深変動の応答遅れは大きくなる。平均流速の分布形の時間変化には大きな変化が見られず、対数則をほぼ満たしながら増減する。乱れ強度の分布の時間的変化に関しては、概ね普遍関数分布式を満たしており、対数則から得られた摩擦速度 U_* の変化に非定常性が吸収されしまうようである。Reynolds応力に関しては、非定常効果がより明瞭に現れるが、その変化特性は乱れ強度の変化

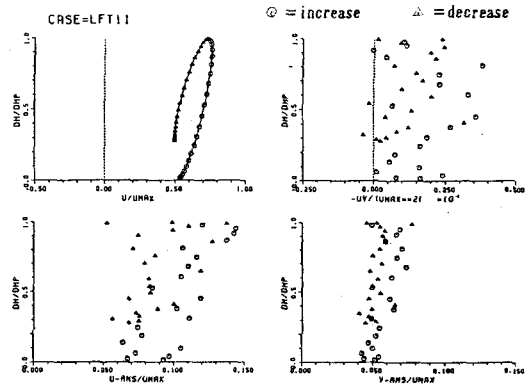


図-2 水深変動と平均流速、乱れ強度及びReynolds応力

と似た傾向を示す。図-2は水深変動と平均流速、乱れ強度及びReynolds応力の関係である。いずれも同一水深において、増水期の方が減水期より大きな値をとっており、概ね“反時計回りのループ”を描いている。

Hiroji NAKAGAWA, Ichisa NEZU, Nobuhiro FUJII, Atsushi OCHI & Yoshihiro ISHIDA

増水期及び減水期の全体の乱れ強度の比を示したものが図-3である。非定常性が大きいほどその差が大きいことがわかる。以上より、本研究における非定常性の小さな流れにおいては、自由水面の変化が圧力開放により非定常効果を緩和し、相似な分布形を維持しようとして働いている。しかし水深変動の応答が遅れるため、平均流速、乱れ強度及びReynolds応力のいずれに関しても、同一水深において増水期の方が減水期より大きいという結果を招くと考えられる。次に波状固定床上の非定常流れの乱流構造について述べる。平均流速、乱れ強度及びReynolds応力の分布形は、巨視的には概ね定常時の特徴²⁾を維持して変化する。その他の特徴も滑面上の非定常流れと同様である。このように自由水面が、波状固定床上の非定常流においても滑面上と同様の働きをする。実験Ⅱのデータから得られたスペクトル分布の卓越周波数 f_0 の変化より(図-4)、剥離渦の再付着周波数は増水期の方が減水期より大きいことがわかる。また、逆流率から算出した再付着点距離 X_r より(図-5)、再付着点は増水期の方が減水期より上流側にずれることがわかる。さらに実験Ⅲの結果よりkolk-boil渦の特性を定量的に説明する。光学式濃度計は染料の通過に過敏に反応するが、通過がなければ原点にもとる。この特徴から、計器のノイズを取り除いて求められたしきい値 H_0 を用い、 H_0 以上なら組織渦の通過とみなしてkolk-boil渦の時系列を求めた(図-6)。これよりkolk-boil渦は増水期の方が減水期より発生周波数が大きいことがわかる。また濃度の標準偏差が組織渦の通過と対応するものと考え、標準偏差の分布から(図-7)kolk-boil渦の軌跡は増水期の方が減水期より上流側にずれることがわかる。増水期の方が減水期より、同一水深における平均流速が大きく、そのために剥離渦の発生・再進行が頻繁になる。また、剥離渦の再付着点における渦の低周波振動が、再付着点付近の低速流体を浮上させ、kolk-boil渦が発生する原因となる²⁾ことから、以上に述べたような結果が得られたものと考えられる。

$X/H_S=0.00$ $T/H_S=2.50$

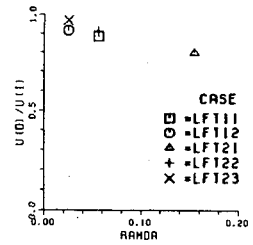


図-3 増水期と減水期の乱れ強度 u' の比

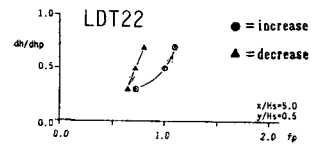


図-4 水深変動と卓越周波数

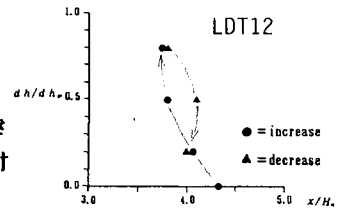


図-5 水深変動と再付着点距離

4. あとがき 本研究では、非定常流の性質及び波状固定床上での組織渦の特性について調べた。しかしこれらは実地観測結果³⁾と完全に一致するものではなく、さらに検討を要する。

<参考文献> 1. 高橋保(1988):一様水路の不定流, 京大防災研究所年報第12号B, pp515-527

2. 中川, 柳津, 松本, 金澤(1989):開水路河床波上の乱流構造と組織渦に関する研究, 第33回水調論文集, pp475-480

3. 木下良作(1990):石狩川下流部における洪水時の濁度鉛直分布と流れの構造について, 水工学論文集 第34巻, pp463-468

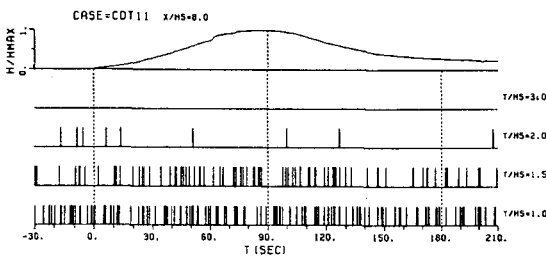


図-6 組織渦の通過の時系列

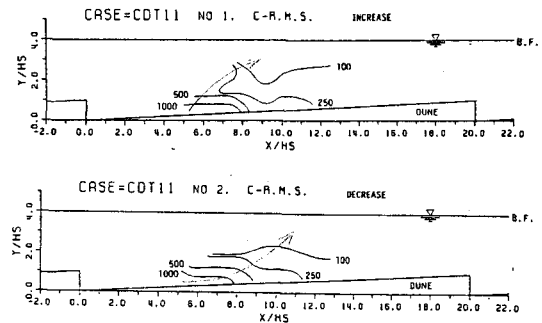


図-7 染料の濃度の標準偏差分布