

(株)竹中土木

正 員 津国 正一

(財)兵庫県土地区画整理協会

正 員 永井 博文

神戸大学工学部

正 員 筧 源亮

1. まえがき

乱れた媒質中を波が伝播する時には、波と乱れとの相互干渉による波のエネルギー散逸が波の減衰に重要な働きをするものと予想される。乱れ成分とあまり変わらない程度の大きさの波について、乱れとの相互干渉によって起こる減衰の機構を調べるため、開水路を用いて内部波を発生させて実験を行なった。またこの結果について安定理論を基にした簡単な数値計算を行なって考察した。

2. 実験および測定方法

実験には長さ126cm・幅10cmの循環開水路を用い、上流側水槽内には図-1に示すように長さ10cm・幅1.5cm・厚さ1cmの亚克力板の回転によって内部波が発生する造波装置を設置した。造波板の回転数を変えることにより波の周波数を変化させることが出来るが、今回の実験では周波数を2.8Hz/secと一定にした。

流下方向にX軸、高さ方向にY軸を取った各測点について、レイノルズ数 $Re(Uh/\nu)$ (U:断面平均流速、 ν :動粘性係数) = 3600、5800、10000、13700の各条件下で発生させた波の抽出を、コンディショナルサンプリングと平均操作によって行なった。使用した計測機器はボックスカーインテグレーター⁰である。

コンディショナルサンプリングの方法は図-2に示すように、ホットフィルム流速計で測定したX方向の流速を入力信号とし、造波板の回転に同期させた参照信号によってサンプリングを行ない、測定した波形をX-Yプロッター上に描かせて発生させた波の抽出を行なう。測定時間は予備試験を行なって10分間とした。

3. 実験結果および考察

図-3は $Re=3600$ 、水路床からの高さ4cmの各測点で抽出した波形を流下方向の順番に並べた図で、発生させた波は伝播する間に波形が全体的に崩れながら減衰して行き、下流に行くにつれて周期性を見出すこともやや困難になる。

このようにエネルギーを失いながら伝播して行く機構を考えるために、まず発生させた波は $\exp(-\alpha X)$ の割合で減衰するものとし、この減衰率を最小2乗法で求めてレイノルズ数・水路床からの高さとの関係を求めたのが図-4・5で、レイノルズ数が大きくなると、また測点が水路床に近づくにつれて減衰率が大きくなる傾向があるのが分る。このように水深方向で異なる減衰率を示すこ

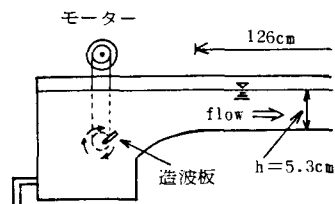


図-1 実験装置

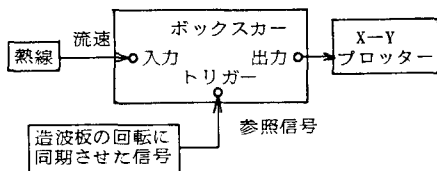


図-2 サンプリング方法

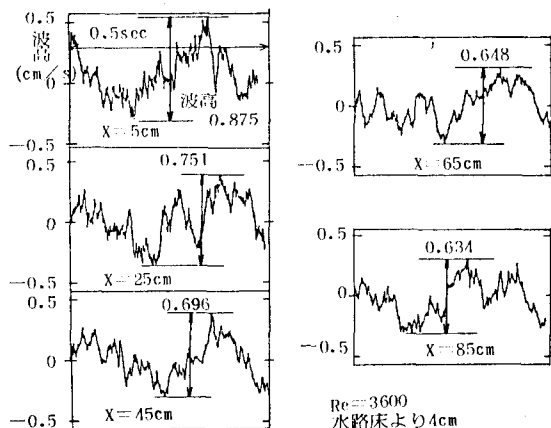


図-3 波形の変化

とは、波の減衰に粘性以外の要素としてレイノルズ応力が重要な働きをしているためであり、レイノルズ数が大きくなったり測点が水路床に近づく、と、乱れ成分が大きくなってレイノルズ応力が強くなることから、乱流中を伝播する波はレイノルズ応力が強くなると、それにつれて減衰率も大きくなるためにこのような傾向が得られたと考えられる。

次に波が失ったエネルギーの収支を考えるために、波を発生させている場合と流れだけの場合の両ケースについて、波を発生させた場合には波も含めた乱れ強度を各測点について求めた。

図-6 は水路床からの高さが4cm までの断面における、波を発生させている場合の乱れ強度の平均値(=A) と、流れだけの乱れ強度の平均値(=B) を流下方向の各断面で求め、両者の比(=A/B)を縦軸に、横軸には流下距離L を断面平均流速U と発生させている波の周期T(=0.36sec) で無次元化した値を取った図で、下流に行くにつれて次第に波を発生させている場合の割合が大きくなって行く、これは波を発生させている場合には波の失ったエネルギーが流れに供給されるために、下流側では両者の比が次第に大きくなるためであると思われる。

以上のことから乱流中を伝播する波はレイノルズ応力の強さに応じて減衰し、失ったエネルギーは流れに供給されるものと考えられる。

4. 数値計算

開水路乱流中を伝播する波の減衰に作用するレイノルズ応力の影響を調べるために、安定理論に粘性以外の応力としてレイノルズ応力を、渦動粘性係数ε(Y)を用いて導入した振幅関数φに対する式

$$\frac{Re}{Re} \{ (\bar{u} - \frac{\beta}{\alpha}) (\phi' - \alpha^2 \phi) - \bar{u} \phi \} + (\bar{u} - \frac{\beta}{\alpha}) (\phi'' - \alpha^2 \phi) - \bar{u} \phi = \frac{-1}{\alpha Re} (\phi'' - 2\alpha^2 \phi' + \alpha^4 \phi) \quad (1)$$

$$Re = Uh/\nu \qquad Re = Uh/\epsilon$$

を、 $\epsilon = \chi h U_* (1 - h/Y) Y/h$ (χ : カルマン定数, U_* : 摩擦速度²⁾)、流速分布は滑面乱流に対する対数則を用い、波数 $\alpha = \alpha_r + i\alpha_i$ とおいて空間的な減衰率を求めることにし

$$B.C : Y=0 \Rightarrow \phi = \phi' = 0 \qquad Y=1 \Rightarrow \phi = \phi' = 0$$

の境界条件の下で固有値αを求めた計算結果が図-7 で、実験値に比べて10倍程度大きなオーダーとなっているけれども、渦動粘性係数の値を大きくしてレイノルズ応力を強くすると減衰率が大きくなり、実験で得られた結果と同じ傾向が得られた。

今回の実験と数値計算では、乱流中を伝播する間に減衰する波についての結果が得られたが、今後は増幅あるいは中立な波の存在について実験および数値計算を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 篁・津国・石垣：第37回年講
- 2) 岩崎・佐藤：第17回海岸工学年講(1970)

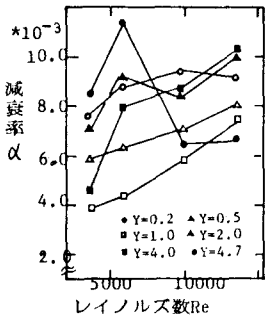


図-4 レイノルズ数との関係

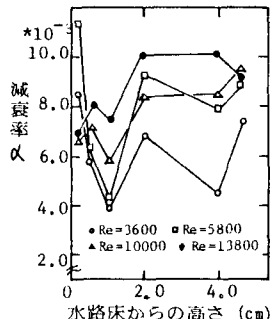


図-5 高さ方向への変化

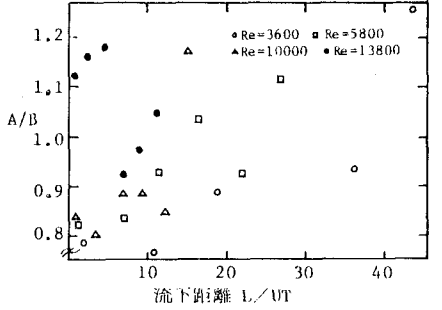


図-6 平均乱れ強度の比

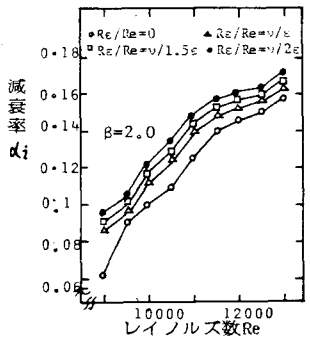


図-7 計算結果