

長方形開水路における乱流スペクトル密度関数に関する一検討

日本大学工学部 正員 ○長林 久夫
日本大学工学部 正員 木村 喜代治

流速変動と波動の集合として見た結果として得られるスペクトル分布形状について検討することは、開水路内の渦度の伝達機構を調べるうえでも有効であると考え。図-1には $B/H = 2.17$ の水量における主流流^①のスペクトル分の一例を示している。この図より低波数側に一部であるが慣性領域に近づく急激な勾配が示されており、多重構造性を有する流れであることがわかる。一般に流れの多重構造性は支配スケールに差のあるものほど明確に認められるものであるが、我々が対象としたような B/H の小さな長方形開水路では支配スケールに差がなく、一見一つの境界面に支配されたスペクトル分布形状の様相を呈する。

レガレ水路横断面内でのスペクトル形状の比較検討により、断面内の場所に応じて変化が認められ、この様なスペクトルにも多重構造性が存在するものと思われる。従来研究されている二次元流れのスペクトル密度関数の式を組み合わせるこの分布を表現しようとする場合、支配スケールが不明確であるために、どのように組み合わせるかが問題となる。そこでここでは従来の方法を用いずに、支配スケールの差の小さな多重構造的な分布形状までを表現できる式の検討を行うこととする。

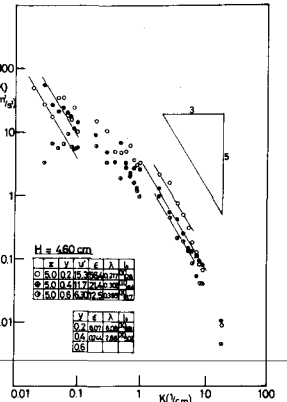


図-1 スペクトル分布曲線図

図-2はスペクトル分布の特徴と比較するために、低波数側からの累加百分率^②を示している。この図よりエネルギーの50%が通加する渦径 L_{50} を求めて、水量による変化^③を調べた。

図-3は L_{50} と平均渦径 L_E の比較を示したもので、図-3(a)は水路中央部の水深方向の変化を示し、図-3(b)は側壁近くの測点を示している。これよりバラツキはあるものの、 L_{50} と L_E はほぼ同一オーダーであることが認められる。

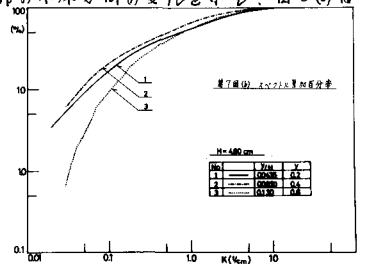


図-2 スペクトル累加百分率

ここではスペクトルの累加百分率の分布が粉体で用いられる通過加積曲線の形状に類似していることより、この曲線の評価として式(1)に示す Rosin-Rammler^④の関数形を用いてスペクトル分布形状の表現を試みる。

$$R = e^{-\delta^n} \times 100 = 10^{-b\delta^n} \times 100 \quad (1)$$

この式中で R は通加百分率で δ は粒子径である。この関数をスペクトル

分布に適用するには、スペクトルの累加百分率を $E_s(k)$ として低波数側より計算を行うと、

$$E_s(k) = \frac{\int_0^k E(k) dk}{U'^2} \quad (2)$$

$$E_s(\infty) = \frac{\int_0^\infty E(k) dk}{U'^2} = 1 \quad (3)$$

スペクトル累加百分率と Rosin-Rammler 曲線との関係は式(4)となる。

$$E_s(k) = 1 - \exp(-b k^n) \quad (4)$$

この累加百分率を Rosin-Rammler 線図上にプロット

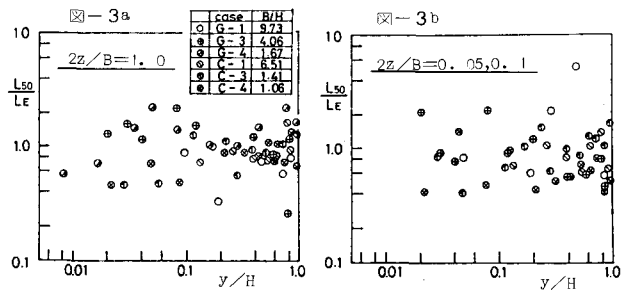


図-3 平均渦径と L_{50} 渦径

プロットしたのが図-4(a)である。この図においてはスペクトルが二つないし三つの直線で表わされる場合がある。これらの直線式の定数を検討すれば良いがこれらの関連を見い出すことは困難であり、一つの直線で表現された方が便利である。したがってここでは、これらの曲線の横軸の座標を移動させることにより、図-8(b)のように一つの直線で示される関数を得た。式(4)の波数 k を k_0 だけ平行移動すると、

$$E_s(k) = 1 - \exp\{-b(k+k_0)\} \quad (5)$$

図-4 a Rosin-Rammler 曲線図

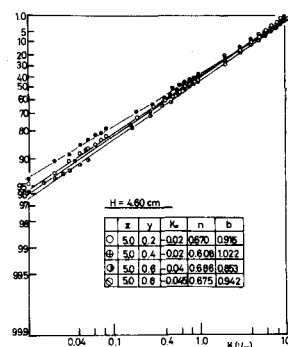


図-4 b Rosin-Rammler 曲線図の直線化

この式を平均粒径 ϕ の k_{50} によって無次元化すると、式(6)となる。ここで $C = b \cdot k_{50}^n$ である。

$$E_s(k) = 1 - \exp\left\{-C \left(\frac{k+k_0}{k_{50}}\right)^n\right\} \quad (6)$$

式(6)を微分して式を整理すると、正規化されたスペクトル密度関数 $E(k)_*$ が得られる。

$$E(k)_* = \frac{E(k)}{U^2 \cdot L_{50}} = C \cdot n \cdot \left(\frac{k+k_0}{k_{50}}\right)^{n-1} \exp\left\{-C \left(\frac{k+k_0}{k_{50}}\right)^n\right\} \quad (7)$$

図-5 は式(7)の定数について、実験で得られた数値を代入してスペクトル分布形状に対する効果を調べたものである。図-5(a)は定数 n の効果を検討したもので、図より n の増加にともなう粘性領域の低波数側への移行と波数約1程度の中間領域のエネルギー量の増加が見られ急激に慣性領域から粘性領域へと変化するスペクトル形状となることが分かる。図-5(b)は座標移動量 k_0 によるスペクトル形状の変化を示している。これは k_0 の変化は低波数側のエネルギー量に影響を及ぼし、 k_0 の増加に対して低波数側のエネルギー量の減少傾向を示している。

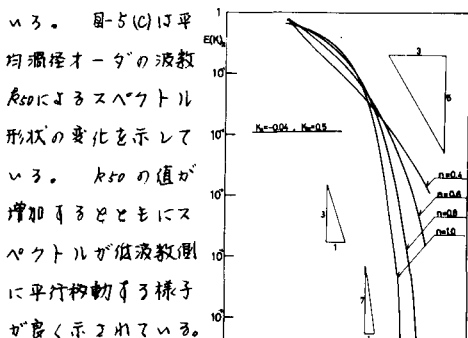


図-5 a

無次元スペクトルに及ぼす定数 n の影響

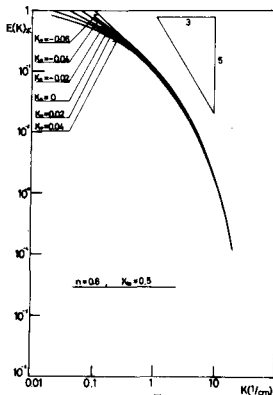


図-5 b

無次元スペクトルに及ぼす移動量 k_0 の影響

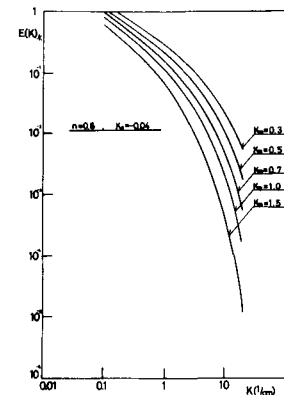


図-5 c

無次元スペクトルに及ぼす波数 k_{50} の影響

をパラメータとした場合の無次元スペクトルの変化が良く示されており、剛直で得られた多重構造的なスペクトルの形状もこれらの定数の組み合わせで表現できるものと思われる。

参考文献

- ① 最林・木村：長方形開水路における一次元波数スペクトルに対する側壁の影響について、土木学会年次講演会、1978年、10月
- ② 最林・木村：長方形開水路における乱流スペクトルの多重構造性に関する一考察、日本学工学部記要、1980年、3月、分冊A。
- ③ A. Ogawa: Collection Characteristics of The Cyclones in Series, Air Purification, 1970年、August.