

開水路流れにおける自由表面の変動特性について

京都大学防災研究所 正員 今本博健
 建設省 正員 浅野富夫
 京都大学大学院 学生員 ○幸道隆治

開水路流れに特有な現象の一つとして水面の時間的・空間的変動現象が挙げられるが、その変動特性は間接的に論じられているものの、詳細な検討はほとんどなされていない。しかしながら、流れの抵抗特性に関する岩垣²⁾、福岡³⁾の研究、あるいは乱れ特性に関する玉井⁴⁾、祢津⁵⁾の研究のように、水面変動は開水路流れに現れる種々の特性と密接な関連をもち、水面の変動特性を解明することは極めて重要と考えられる。

このような観点から、本報告においてはレイノルズ数 $Re = \frac{U_m H}{\nu}$ およびフルード数 $Fr = \frac{U_m}{\sqrt{gH}}$ を系統的に変化させた実験を行い、水面の変動特性と水理条件との関係について検討する。ただし、 U_m : 断面平均流速, H : 水深, ν : 動粘性係数, g : 重力の加速度である。

1. 実験装置および方法: 実験水路は長さ13m, 幅40cm および深さ20cmの長方形断面を有する直線水路であって、路床面および側壁面はアクリル樹脂製の滑面である。水位変動の計測にはサーボ式水位計(計測技研SW-201型)および容量式水位計(計測技研D-100型)が使用されている。図-1は同一条件下で計測された水面変動スペクトルにより両水位計の応答特性を検討したものであって、両者のスペクトルはほぼ一致しており、両水位計の有効性が確かめられるが、本実験においては使用の簡便性より主にサーボ式水位計を用いて検討することとする。

2. 水面変動の大きさとフルード数との関係: 図-2に水面変動の標準偏差 h' と Fr との関係を示す。また図-3には h'/H と Fr との関係もそれぞれ示す。なお、 Fr の小さな一部の実験については下流水位をせき上げた不等流状態で行われている。図-2より、 $Re=328 \times 10^4$ の場合、 h' は $Fr=0.7 \sim 0.8$ 付近で顕著な極大値を示すが、 Re が小さくなると、 h' の値自体が小さくなるとともに極大値の存在は不明瞭となる。射流状態で Fr が2を越えたところで h' が大きくなっているが、これは転波列の発生によるものと考えられる。また、 h'/H と Fr との関係を示した図-3からも同様の傾向が確かめられるが、射流状態における極小値の発生位置は $Fr=1.2$ 付近にずれている。

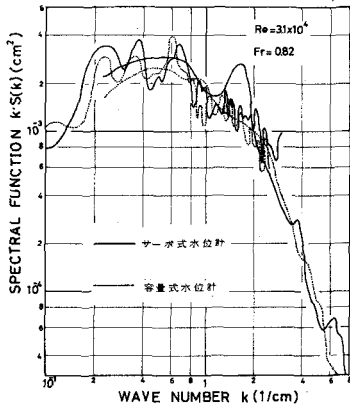


図-1

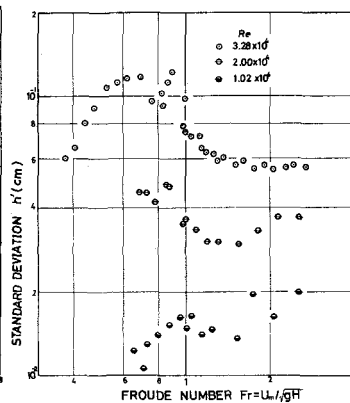


図-2

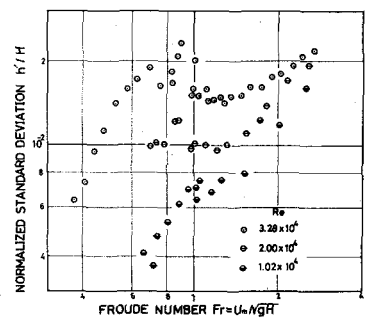


図-3

以上より知れるように、 h あるいは h/H は必ずしも限界流付近で顕著な極大値を示すとは限らず、 Re による差異が認められる。

3. 水面変動のスペクトル特性：水面変動のスペクトル特性については玉井⁴⁾および祢津⁵⁾により高波数領域における -3 乗則および -5 乗則が実験的に見出されているが、詳細については不明な点が多いため、次元解析的検討を行うことにする。

いま、波数表示による水面変動の1次元スペクトル $S(k)$ について考える。 k が十分小さい場合、相関関数との対応性より $S(k)$ は次のようである。

$$\text{低波数領域} : S(k) = \frac{2}{\pi} \overline{w}^2 L \quad (1)$$

ここに $\overline{w}$: 水面変動の分散値、 $L = \int_0^\infty R(\omega) d\omega$: 水面変動に関する相関係数の積分スケールである。

k が大きな場合のスペクトル特性については不明な点が多いが、ここでは $S(k)[L^3]$ が流体の密度 $\rho[M]$ 、表面張力 $\sigma[MT^2]$ 、重力の加速度 $g[LT^{-2}]$ および波数 $k[L^{-1}]$ によって定められると仮定すると、次元解析により次の相似則が得られる。すなわち、 $S(k)$ を規定する量のうち $[M]$ の次元を有する量は ρ および σ の2量のみであるから、これらは ρ/σ の形で関与するものと考えられる。したがって、 ρ/σ および k を基本量として次元解析を行うと次式が得られる。

$$S(k)/(\sigma/\rho g)^{3/2} = f(k/(\sigma/\rho g)^{1/2}) \quad (2)$$

(2)式において、

$$f(k/(\sigma/\rho g)^{1/2}) \sim (k/(\rho g)^{-1/2})^q \quad (3)$$

と表わされると仮定し、 k がそれほど大きくない場合、 $S(k)$ は σ に関係しないとする $q=-3$ となり、

$$\text{中間波数領域} : S(k) \sim k^{-3} \quad (4)$$

が得られる。また、 k が十分大きい場合、 $S(k)$ は σ^4 に比例すると仮定すれば $q=-5$ となり、

$$\text{高波数領域} : S(k) \sim (\rho g/\sigma) k^{-5} \quad (5)$$

となる。

図-4は計測された周波数表示のスペクトルを凍結乱流の仮定を用いて波数表示に変換したものを示しているが、これを上述の相似則と比較すると次のようである。まず、低波数領域についてみると、 $k=(3\pi g/\lambda)^{1/2}$ には(1)式が適用されるようであるが、さらに低波数領域では $S(k)$ が大きくなっており、水面変動のスペクトルもまた多重構造性であると考えられる。また、 $Fr=0.82$ および 1.05 の場合、 $k=5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ 以上の波数領域の $S(k)$ はほぼ -3 乗則に従っており、かつこれら2種の Fr における $S(k)$ はほぼ互いに同じ値を示すことから(4)式の適用性がうかがわれる。なお、(5)式で示される -5 乗則は本実験には認められず、その適用性を検討するにはより高波数領域を対象とした計測が必要である。また、図-4において $Fr=1.27$ の場合の $S(k)$ は衝撃波などの影により前二者とやや異なる特性を示すが、詳細については今後の検討課題とした。

参考文献 1) 本間：土木学会誌，28-5，1942. 2) 岩垣：土木学会論文集，16，1953.

3) 福岡・吉川：東工大工学科研究報告，10，1971.

4) 玉井・林・広沢：土木学会年講，1975.

5) 祢津・中川：土木学会年講，1975.

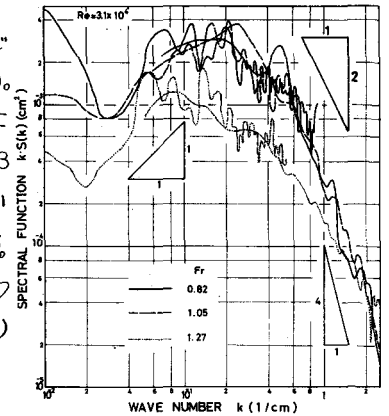


図-4