

名古屋大学 学生員 小山 裕文

名古屋大学 正 員 岩田好一朗

1. はじめに…流速測定法の1つに、流れの中に物体を置き、それが流体から受ける抗力による変位から流速を求める「動圧法」がある。著者らは既に、両端固定の糸をセンサーとしたテンション・スレッド流速計¹⁾(T.T.流速計)を用い、波の水粒子速度を計測している。今回、両端固定のT.T.流速計より流れを乱さない、片端固定のキャンティレバー型流速計を試作し、水粒子速度を計測したので、その結果の一部を報告する。

2. 原理と特性…流速計の原理は、動圧を受けるセンサーとして、竹製の小円柱(直径 $D=0.9\text{mm}$)を用い、このセンサーをひずみゲージを張った片持ち板に取り付けることにより、板に作用する垂直な動圧成分のみを取り出すというものである(図-1参照)。流速計のセンサーの径は小さく、K.C.数が大きくなるため、揚力の影響は小さいと考えられる²⁾。したがって、動圧によるひずみゲージからの出力 X は、次式(Morison式)で表わせるものと思われる。

$$X = k_x \frac{F}{l} = \frac{k_x}{l} \left(\frac{\rho}{2} C_D \cdot D \cdot |u| |u| + \frac{\rho}{4} C_M \pi \cdot D^2 \frac{du}{dt} \right) \dots (1)$$

$\left\{ \begin{array}{l} X: \text{X方向センサーの出力, } k_x: \text{センサーの長さ・性質によって定まる定数, } F: \text{全抗力(動圧)} \\ l: \text{センサーの長さ, } D: \text{センサーの直径, } C_D: \text{抗力係数, } u: \text{X方向流速, } C_M: \text{慣性力係数} \end{array} \right\}$

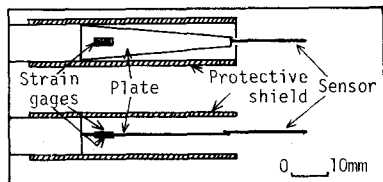


図-1. 流速計センサー部概要図

ここで、センサーの直径 D は、i) 慣性力項が無視できるように、また ii) C_D の値がほぼ一定になるように決定すべきである。まず、 $C_D=1$ 、 $C_M=2$ とし、微小振幅波理論による u 、 du/dt を用いて、水平に置かれた円柱に対して計算された抗力・慣性力の卓越領域を示すと図-2のようになる。一方、 C_D とレイノルズ数 $Re(=uD/\nu)$ の関係については、K.C.数が高いため、センサーまわりの流況が定常流に近いことを²⁾考慮し、定常流に対する C_D と Re の関係が用いられるものとする(図-3参照)。いま、対象とする波を、水深波長比 $h/L < 0.25$ 、碎波波高 $H_b \approx 10\text{cm}$ として、10~100%の流速の計測を考えると、直径 $D=0.9\text{mm}$ では、 $H/D \approx 100$ 、 $10^2 < Re < 10^3$ となり、i)、ii)の条件はほぼ満たされていることがわかる。よって、式(1)は次のようになる。

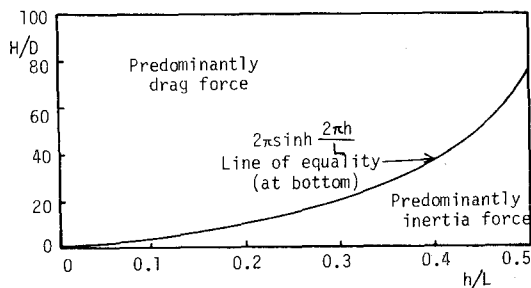


図-2. 水平円柱に対する抗力と慣性力の卓越領域

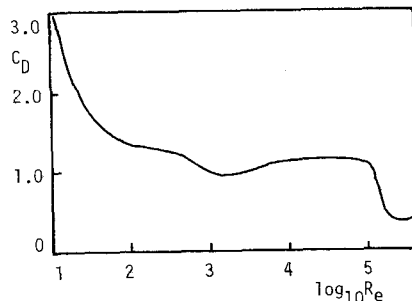


図-3. 円柱に対する抗力係数(C_D)とレイノルズ数(Re)(理論値より)

$$X = \frac{k_x \rho G \cdot D}{2l} |u| |u| \dots \dots \dots (2) \quad \therefore, \frac{k_x \rho G \cdot D}{2l} = k'_x = \text{constant.}$$

ただし、式(2)は一次元流れに適用する場合であり、二次元流れでは、(速度ベクトル)²のX成分がXと対応づけられるので、y方向にもセンサーを置き、式(3)により換算しなければならない。

$$|u||u| = \left(\frac{X}{k_x}\right) \left|\frac{X}{k_x}\right| / \sqrt{\left(\frac{X}{k_x}\right)^2 + \left(\frac{Y}{k_y}\right)^2}, \quad |v||v| = \left(\frac{Y}{k_y}\right) \left|\frac{Y}{k_y}\right| / \sqrt{\left(\frac{X}{k_x}\right)^2 + \left(\frac{Y}{k_y}\right)^2} \dots \dots \dots (3) \quad \left\{ \begin{array}{l} U: \text{y方向の流速}, Y: \text{y方向センサーの} \\ \text{出力}, k_y: \text{y方向センサーの係数} \end{array} \right\}$$

また、Karman 渦による振動は、ほぼ10Hz以上となることから、出力信号に10HzのLow pass filter を通すことにより、その影響は無視できるものと思われる。

3. 校正及び水粒子速度の計測…校正実験の結果は、図-4に示すように、 $10 < U < 100 \text{ cm/s}$ ($10^2 < Re < 10^3$) の範囲で、両対数軸上 $1/2$ の直線付近にあり、式(2)の成立が認められた。さらに、波動場での検定として、中部電力総合技術研究所の三次元水槽において、図-5に示す地点で、斜め45度から入射する波の水粒子速度について、超音波流速計との同時計測を行った。その結果、両者はほぼ一致し、キャンティレバー型流速計の波動場への適用性が確かめられた。

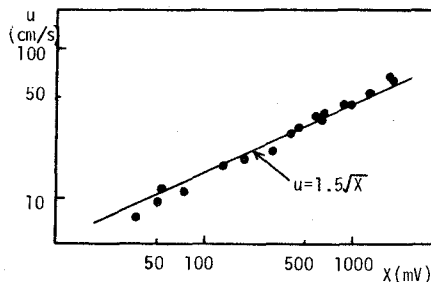


図-4. 校正直線

最後に、二次元水槽で計測した U_{max} の鉛直分布の一例を図-6に示す。実験条件は、Méhauté³⁾のもの、ほぼ一致させた。(但し、斜面勾配が多少異なる。) 同図より、Méhautéらの浮遊粒子法による結果と着着らの実験値との対応性が良いこと、及び従来より指摘されている通り、Deanの流関数法⁴⁾の方が、微小振幅波理論より、比較的良く浅海波における U_{max} の鉛直分布を表わすことがわかる。

4. 結び…以上、本研究により、動圧法を用いたキャンティレバー型流速計が波動場へ適用できることがわかった。今後、既存の流速計では計測が困難な領域(例えば、現地・碎波後の段波状の波等)の計測も行ない、浅海波の内部機構を明らかにしたい。なお、超音波流速計・三次元水槽の使用に際し、便宜をはかっていただいた中部電力総合技術研究所の皆様方に、感謝致します。

〔参考文献〕 1) 中川・岩田・小山：第28回海岸工学講演会，1981，2) 岩垣・樺木著「海岸工学」，3)

Méhauté, Divoky and Lin: Proc. 11th. ICCE, 1968, 4) Dean: Jour. of Geophysical Res. Vol. 70, 1965

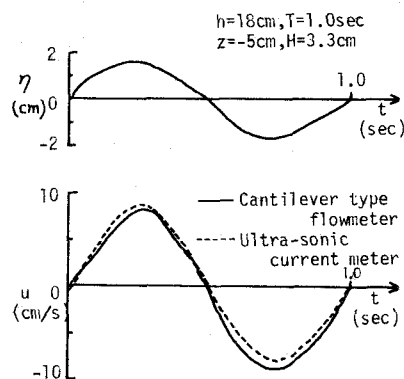


図-5. 超音波流速計との比較

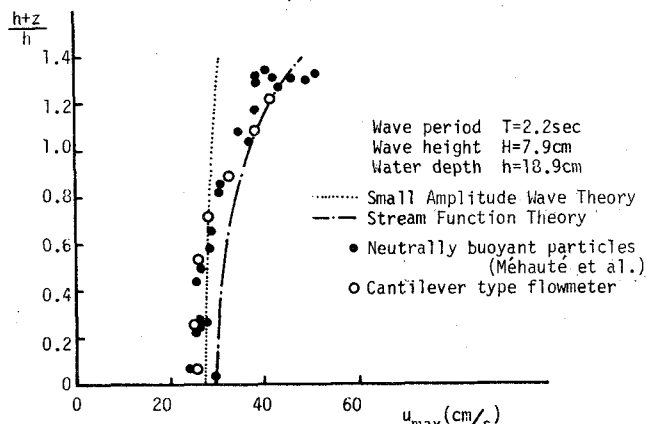


図-6. U_{max} の鉛直分布