

名古屋大学工学部 正員 中川武夫

1 ま え が き

水粒子速度の定量的かつ高精度の測定は複雑な流の運動の正しい理解に不可欠である。最も初歩的な水粒子速度の測定法は造波水槽内に散りばめた中立浮遊粒子群の運動軌跡を連続写真撮影するものである。水粒子速度の測定技術の定性的段階から定量的段階への移行期における重要な業績は京都大学の2つのグループによるものである。これらのグループは水素気泡、熱線流速計¹⁾として音響ドップラー流速計²⁾を水粒子速度測定に適用している。さらに最近のレーザー・ドップラー流速計の出現により水粒子速度の測定精度が著しく向上した。しかしながらレーザー・ドップラー流速計の適用場所は実験室内に限定される上にその装置のセットが複雑、高価である等の欠点がある。ここでは高い測定精度を保持しつつ、上記の種々の水粒子速度測定法の欠点を補う流速計の一例として考案、試作したテンション・スレッド流速計の紹介とこの流速計を使った水粒子速度の測定結果の一部を報告する。

2 テンション・スレッド流速計

非定常な水粒子速度を測定するために試作した、テンション・スレッド流速計(以下、T.T.流速計と略す。)の概要図を図-1に示した。

T.T.流速計の原理は流れによって生じる綿糸の抵抗力を弾性片持ち板のひずみ量として検出するものである。流速検知部は中央横環内に張った一本の水平綿糸と二本の垂直平行綿糸である。各綿糸の一端は剛性的にクランプ支持され、他端は表面にひずみゲージをはった弾性片持ち板の先端に支持されている。このひずみゲージはブリッジ回路の抵抗部を構成し、弾性片持ち板の面に垂直方向のひずみに伴う出力電気信号を増幅され、記録される。水平綿糸を例にとると、この弾性支持端は水平に保持された弾性片持ち板の自由端である。一方、弾性片持ち板の厚みに対する幅の比が約10と十分大きく設計されているために弾性片持ち板はその面に垂直に働く力に対してひずみを生じやすいが、面に平行に働く力に対しては実用上無視する程度のひずみしか生じない。したがって、水平綿糸に斜めから当たる水粒子に対しては水平綿糸は水粒子速度の垂直成分のみを検知することになる。全く同様に、垂直綿糸はその水平成分のみを検知する。垂直綿糸が二本あるのは野外実験で三次元の流速測定時に使用したものである。このT.T.流速計の速度較正には変速可能なTOWING CARRIAGEを使用して行なったが、その較正曲線を図-2に示した。この較正曲線は両対数紙上で流速とブリッジ回路の出力電気信号との間に良好な線形関係があることを示している。この例では流速の測定範囲はたまたま5~10 cm/s となっているが、綿糸の初期張力を加減することにより測定範囲を自由に調節できる。たとえば、この流速計で最高100 cm/sまでの流速を測定した例もある。測定されるのは当然綿糸の長さスケールでの平均的な速度ということになるが、より局所的な流速を測定する場合には横環内を小さくするなどの工夫をすれば良い。その際、横環形の外わくと流れとの干渉の問題は残っているが、これまで行なった実験例ではほとんど無視しても良い程度であった。また、T.T.流速計の力学系の共振周波数は約70 Hz と比較的高いので乱流等の極めて非定常な速く速度変動

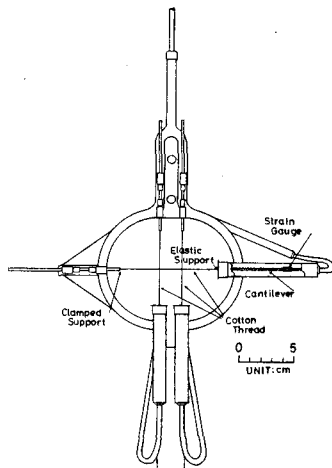


図-1 テンション・スレッド流速計概要図

図-2: Velocity correction curve. The graph plots Velocity V (cm/s) on the y-axis (logarithmic scale from 1 to 15) against Electrical Output Signal R on the x-axis (logarithmic scale from 1 to 10). A straight line is drawn through the data points, indicating a linear relationship on the log-log scale. The equation $V = 3.304 \cdot R^{0.85}$ is shown on the graph.

図-2 速度較正曲線

に対して良好な応答特性を示すことが熱線流速計との比較実験により証明されている。

3 実験

実験はメルボルン大学土木工学科MICHELL実験室の造波水槽(全長、65m、深さ2.03m、幅1.83m)で実施した。実験概要図は図-3に示したとおりである。造波水槽はいわゆる

“あひる”型で、近似的に二次元の正弦規則波を生ずるように設計されている。水槽の他端には消

波用のビーク(傾斜角 $=14^{\circ}22'$)がセットされ、その波反射率は約5%であった。T.T.流速計を使って水面下の各位置における水粒子速度の水平、垂直面成分の時間的変化を同時にテープ上に記録した。なお水粒子速度の計測中、同時に容量型波高計により波形をも記録した。

4 測定結果

図-4にT.T.流速計による水粒子速度の測定結果の一例を示す。図中、縦軸は水深 d で無次元化した水槽底面からの垂直距離であり、横軸は重力加速度 g と水深 d で無次元化した水粒子速度の水平成分 u (あるいは垂直成分 v)である。なお図中 $\times$ 印は今回のデータを示し、参考のためAIRYの理論をも合わせて示した。図中の文字Hは波高、Lは波長である。図-5は図-4と同条件下で行った実験から得られたデータのより詳細な表示である。測定位置($\times$ 印)は水深 d で無次元化した水槽底面からの垂直距離で示され、図中にはこの測定位置における水粒子速度ベクトル先端の時間的推移を $\circ$ 印、 $\times$ 印などで示した。図-5で明らかなように表面近くの点における水粒子速度ベクトル先端は、ほぼ円に近い軌跡を描き、水槽底面に近づくにしたがって、水平方向に長軸を持つ楕円形から一本の水平線へと変化していく傾向を示している。

5 結論

T.T.流速計の主な長所は次のようである。

- (1) 熱線流速計、水素気泡法の欠点である非定常な振動流の計測にも適用できる。
- (2) レーザードップラー流速計、水素気泡法および浮遊粒子法の欠点である野外実験にも適している。
- (3) レーザードップラー流速計、音響ドップラー流速計、浮遊粒子法に必要な中立浮遊粒子が不要である。
- (4) 水素気泡法の場合の水素気泡発生用の白金線の後流および水素気泡の浮力による影響を受けない。

上記の長所に加えて、T.T.流速計の測定精度は速度校正をいかに厳密に行なうかという点に依存するが全体的に簡単である上に、かなり精度高く流速の測定ができるT.T.流速計の今後の発展が期待される。

最後に本稿執筆に際して助言をいただきました名大高木教授に感謝致します。

- References
- 1) Iwagaki, Y. and Sakai, T. Proc. 12th Conf. Coast. Eng. 1970, I3.
 - 2) Tsuchiya, Y. and Yamaguchi, M. Proc. 13th Conf. Coast. Eng. 1972, 555.
 - 3) Lee, A., Greated, C.A. and Durrani, T.S. Proc. 14th Conf. Coast. Eng. 1974, 558.

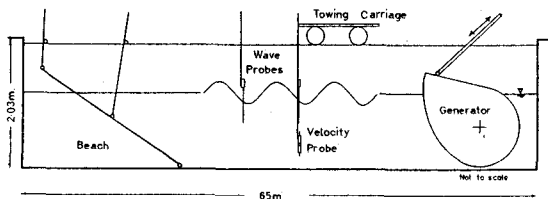


図-3 実験概要図

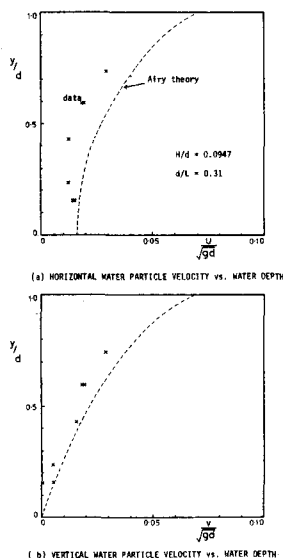


図-4 水粒子速度と水深の関係

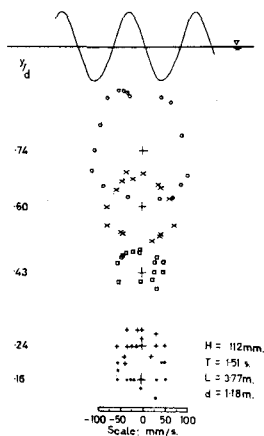


図-5 水粒子速度ベクトルの時間的変化