

II-7 ホットフィルム流速計の静的応答特性に関する検定について

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健

京都大学大学院 学生員 ○浅野 富夫

ホットフィルム流速計の実用化によりこれまで困難とされていた水流の微視的構造の取扱いが可能となり、気流におけるホットワイヤ流速計に比肩しうるデータが得られるようになつたが、その使用に際しては、流水の温度変化ならびに流水中に含まれる微粒子のプローブへの付着に伴なう応答特性の変化など多くの問題点が残されており、応答特性に関する検定が基本条件として要求される。本研究においては、ホットフィルムプローブとしてファイバー型、くさび型および円錐型の3種を取り上げ、定温作動におけるそれらの応答特性について静水中でプローブを移動させる検定法により明らかにしようとするものである。

1. 検定装置および方法： 検定水路は、幅および高さ30cm、長さ4mの直線水路であつて、図-1に示されるように、水路上を検定台車が移動させられるようになっている。台車の駆動には無段变速モーターが用いられ、移動速度は検定水路中央部に設けられた計測区間(16.27cm)の台車通過時間を10⁻⁵秒読みカウンターで計測することにより求められる。流速計の出力電圧はペン書き記録計を用いて10⁻²Vまで読み取られる。なおプローブの温度は温度・抵抗検定曲線より推定され、水温は水温計により10⁻²°Cまで測定されている。

2. 温度効果： 種々のセンサー・水温差 ΔT における流速 U と出力電圧 E との関係を示すと図-2のようになり、 E は U および ΔT の関数となることが知れる。 T が一定の場合、図-3のように、ファイバーおよびくさび型プローブについては円柱からの放熱特性より求められる $E^2 = A + B\sqrt{U}$ ……(1) の関係式が成立するが、円錐型についてはより高次の関係式によって近似する必要がある。(1)式における係数 A および B と T との関係を明らかにするため U が一定の場合の E と ΔT との関係を示すと図-4のようになり、近似的に E は $\sqrt{\Delta T}$ の1次式で表わされることが知れ、結局、 A および B は ΔT の2次式で近似されると推測される。すなわち、 $A = A_0 + A_1\sqrt{\Delta T} + A_2\Delta T$ および $B = B_0 + B_1\sqrt{\Delta T} + B_2\Delta T$ ……(2) と近似される。ここに、係数 A_0, \dots, B_2 はプローブごとに定まる定数であつて、これらの係数が与えられるとファイバーおよびくさび型プローブについての温度効果が知れることになる。また、円錐型プローブについては U と E との関係を少なくとも一般の4次式で表わす必要があるため、

5個の係数のそれぞれについて ΔT との関係を明らかにする必要があり、温度変化の評価はかなり複雑となる。温度効果の一例として、 T の設定誤差 $\Delta T = 1^\circ C$ に対する U の相対誤差 $\Delta U/U$ と T との関係を示すと図-5のようになり、どの型でも T が小さいほど温度誤差に基づく平均速度の推定誤差は大きくなることが知れる。また、3種のプローブを比較すると、円錐型プローブに関するものがもっとも

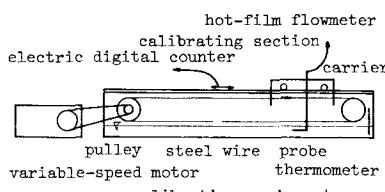


図-1 検定装置

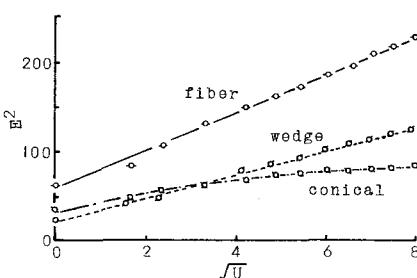


図-3 流速と出力電圧との関係

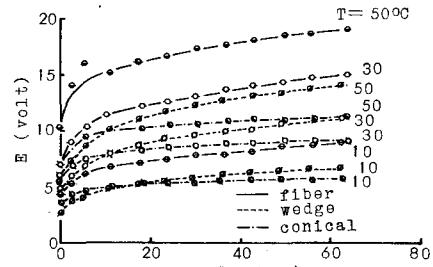


図-2 流速と出力電圧との関係

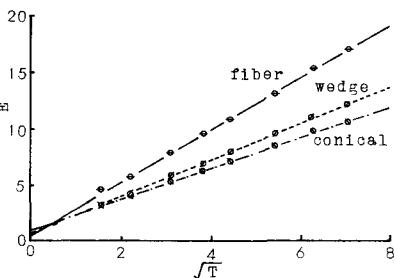


図-4 水温差と出力電圧との関係

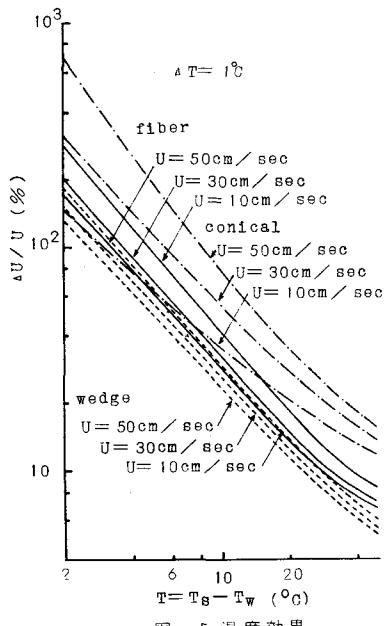


図-5 溫度効果

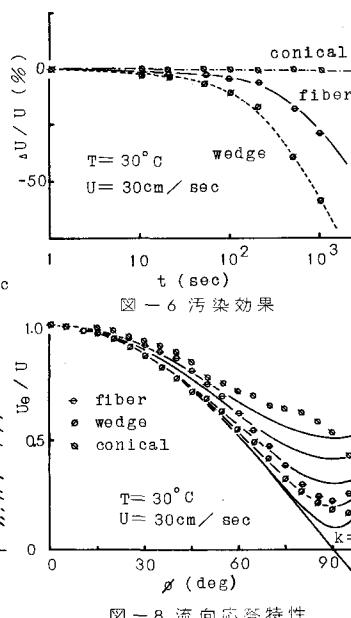


図-6 汚染効果

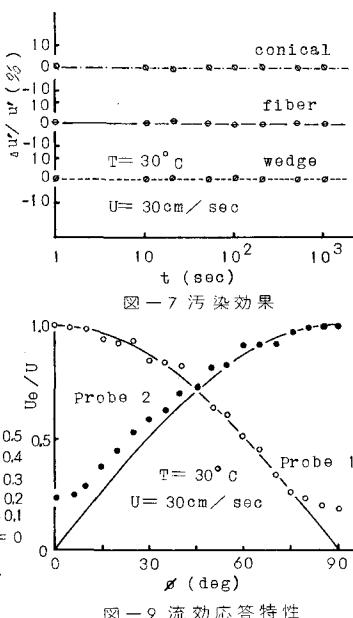


図-7 汚染効果

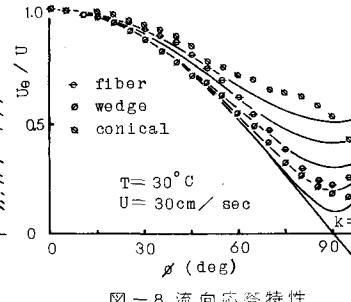


図-8 流向応答特性

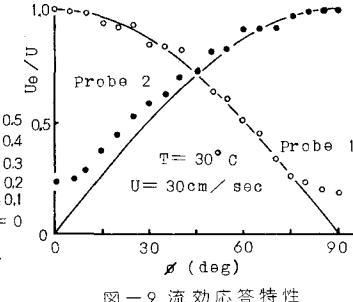


図-9 流効応答特性

大きく、水温の微小な変化ですらかなりの誤差を生ずる。

3. 汚染効果：ホットフィルム流速計は、本来、清水中で使用されるべきものであるが、室内実験においてすら流水の清浄性を保持することはきわめて困難であり、流水中に含まれる微細粒子のプローブへの付着に関する考慮が必要となる。このようなプローブ汚染の効果を明らかにするため、通常の水道水を約1週間放置してかなり濁った状態の実験水を用い、室内実験水路において $T=30^\circ\text{C}$ としてホットフィルム流速計を作動させた場合の平均速度計測誤差 $\Delta U/U$ と計測継続時間との関係を示すと図-6のようになり、プローブ汚染に伴なう計測誤差はくさび型がもっとも大きく、数十秒程度ですでにかなりの誤差の発生が認められるのに対し、円錐型は長時間にわたってほとんど誤差は認められず、ファイバー型は両者の中間であることが知れる。一方、乱れ速度については、図-7に見られるように、いずれの型についてもプローブ汚染の効果は無視されることが知れる。また、表は平均および乱れ速度計測における温度および汚染効果を比較したものであるが、平均速度計測においてはとくに測定条件に適合したプローブの選定が必要であることが知れる。すなわち、温度変化が比較的大きい場合はファイバー型およびくさび型が、汚染効果が問題となる長時間計測では円錐型が適している。一方、乱れ速度計測においてはいずれの型によてもその誤差は十分小さく、ホットフィルム流速計の乱れ計測における有用性がうかがわれる。

4. 流向応答特性：以上はプローブの軸を流れ方向に一致させ流速が有効流速に一致する場合について取り扱ったものであるが、プローブ軸が流れ方向に一致しない場合の有効流速 U_e と流向 ϕ との関係について検討すると図-8のようである。流向に対する応答特性については、ファイバー型およびくさび型が円錐型より優れており、 $U_e^2 = U^2(\cos^2\phi + k^2 \sin^2\phi)$ ………(3)なる関係式と比較すると、ファイバー型およびくさび型では $k=0.2$ 程度となり k^2 は1に比較して十分小さいと考えられる。さらに、2成分V型プローブについて同様の検討を行なうと図-9のようになり、優れた方向特性よりかなり精度の高い2方向の速度測定が成されることが知れる。

本報告においては、ホットフィルム流速計の静的応答特性に着目して検討を行なったが、今後は、さらに動的応答特性に関する検討を行なう予定である。

表-1 温度効果 ($\Delta T = 1^\circ\text{C}$) および汚染効果 ($t = 100\text{sec}$) ($T = 30^\circ\text{C}$, $U = 30\text{cm/sec}$) (単位 %)

type	thermal change		contamination	
	$\Delta U/U$	$\Delta u/u$	$\Delta U/U$	$\Delta u/u$
fiber	9.56	0.53	-4.69	≈ 0
wedge	8.63	0.48	-10.74	≈ 0
conical	18.83	0.46	-0.01	≈ 0