

II - 1

現場用小型流速計(ADV)の出力検定

日本大学工学部 学生員 ○小金 理宏

日本大学工学部 正会員 長林 久夫・木村 喜代治

1. はじめに

河川には、河道内に樹木や草などが繁茂している。これらは、流れの抵抗や粗度要素として作用し、出水時の水位増加をもたらす大きな要因となっている。従って、断面が流下方向に変化したり、植生が空間的に群生している水路において、乱流計測を行い流れ構造を把握することは抵抗特性を検討する上で重要なことである。しかし、河川における乱流計測は、現場における流速計の設置などを考慮すると、室内実験のように容易にかつ精度良く行うことは困難である。とくに、2次流やレイノルズ応力を正確に測定するためには流速計の設置方法や出力の補正方法について検討する必要がある。今回は、河川乱流計測において3次元超音波ドップラー流速計（ADV-lab,sontec社（アレック電子機代理店））に設置誤差が生じた場合の補正方法について検討する事を目的として、室内水路および安積疏水においてADVの出力検定を行い検討した。

2. 検定方法

室内検定は長さ： $L=4\text{m}$ 、幅： $b=10\text{cm}$ 、深さ： $D=32\text{cm}$ 、水路勾配： $i_0=1/800$ の模型水路において行った。流れは等流で行い、水深を20cmに固定した。測定は主流流速に対するADVセンサーの方向性応答についての検討を行うために、水路中央測線の底面から10cm位置において、y軸を中心にしてADVプローブを水平回転させた場合の回転角に対する出力を測定した。計測時間は3分とし周波数は5Hzで測定を行った。野外検定は、幅： $b=4.2\text{m}$ 、水深： $h=0.5\text{m}$ 、水路勾配： $i_0=1/900$ の安積疏水（農業用水路）で行った。流速計は図1のようにレーシーバ1を下流に向けて上下方向にスライドするように金属製のアングルで作成した支持台に取り付けた。水路中央測線において支持台を橋の欄干に固定し、鉛直上方に速度分布測定を行った。なお、サンプリング周波数および計測時間は、各測点について10Hzで2分間とした。また、検討における座標系を流下方向にx、河床から鉛直上方をy、水路左岸から横断方向にzとし、3成分の瞬間流速を $(\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w})$ 、時間平均流速を (U, V, W) 、瞬間変動量を (u, v, w) 、乱流強度を (u', v', w') とした。

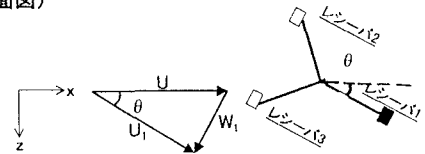


図1 ADVの計測概略図

流速計は図1のようにレーシーバ1を下流に向けて上下方向にスライドするように金属製のアングルで作成した支持台に取り付けた。水路中央測線において支持台を橋の欄干に固定し、鉛直上方に速度分布測定を行った。なお、サンプリング周波数および計測時間は、各測点について10Hzで2分間とした。また、検討における座標系を流下方向にx、河床から鉛直上方をy、水路左岸から横断方向にzとし、3成分の瞬間流速を $(\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w})$ 、時間平均流速を (U, V, W) 、瞬間変動量を (u, v, w) 、乱流強度を (u', v', w') とした。

3. 検定結果および検討

3-1. 主流流速に対するADVプローブの方向性についての検討

室内検定における、プローブ回転角度： θ と流速 U_1, V_1, W_1 との関係をにおける主流流速： U で無次元化して図2-(a)～(c)に、と乱流強度 u_1', v_1', w_1' との関係におけるの乱流無次元化し

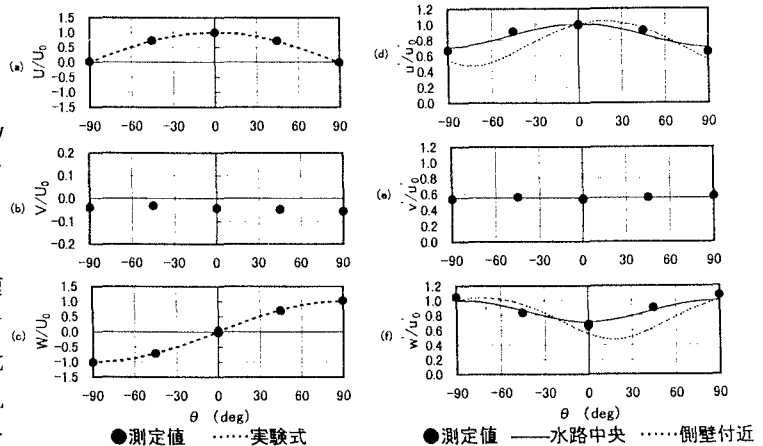


図2 ADVプローブを軸に水平回転させたときの流速と乱流強度の変化

図 2-(d)～(f)にそれぞれ示す。0 はレーシーバ 1 を上方から見て時計回りに回転させた場合を y 軸に関して右回りを正としている。図中の曲線は流れの方向に対して角度を持たせた場合の $U_1/U, u_1'/u_0'$ および $W_1/U, w_1'/u_0'$ の計算値であり式(1)～(4)で示される。ここで、 $\alpha = w'/u'$ で、 w' は $\theta = 0^\circ$ における乱流強度である。また、 $\beta = -uw/u'^2$ である。式(3),(4)は α, β をパラメータとしている。水路中央付近の α は乱流強度の普遍分布式¹⁾より 0.71 となる。また、側壁付近においては w' は v' にほぼ等しくなることから α は乱流強度の普遍分布式より 0.55 となり、 α の範囲は 0.55～0.71 をとる。また、水路中央付近の β はレイノルズ応力- uw の分布則より 0 となる。側壁付近において $\tau = -\rho uw = \rho U_*'^2 u'/U_*$ と ≈ 2.0 となることから $\beta = 0.25$ となる。よって、 β は 0～0.25 をとる。図 2-(e)中の直線は普遍分布式から決まる $v'/u' = 0.55$ を表しており、測定値と一致している。さらに、図 2-(d), (f)の曲線は、点線が側壁付近の分布、実線が水路中央付近分布をそれぞれ表しており、測定値●は水路中央付近の曲線にほぼ適合しているのが確認される。よって、レーシーバ 1 が

ADV プローブ軸をとって流れに対し角度を持ったときの流速と乱れ強度の補正式が妥当に導かれたと推測される。

3-2. 現地計測における ADV の設置誤差補正についての検討

野外検定における 2 次流速の鉛直分布を図 3-(a), (b)に○で示す。鉛直方向に $V < 0, W > 0$ の分布が確認され、 W に関する質量保存則および水面付近で $V = 0$ の条件を満たしていない²⁾。そこで、レーシーバ 1 が ADV プローブを軸として流れに対し水平回転角度を持ったまま

サポートおよび支持台に取り付けられ、さらに、この支持台が上流側に傾斜角を持ったまま橋の欄干に取り付けられたと考える。まず、式(1),(2)において W 流速に底面から水面までの質量保存則が成立するような角度： θ をこの測線の水平回転角度とした。さらに、式(5),(6)において V 流速が水面付近で零が成立するような角度： ϕ をこの測線の傾斜角とした。本検定では $\theta = -3.3^\circ, \phi = 3.8^\circ$ となる。図 3 中の●は、補正後の 2 次流速分布である。レイノルズ応力- uw の測定値と θ, ϕ による補正値を断面平均摩擦速度： U_* で無次元化し図 4 に示す。角度補正により図中の実線：2 次元開水路におけるレイノルズ応力の分布則に従うのが確認される。

4. おわりに

室内および野外で ADV の出力検定を行った結果、レーシーバ 1 が ADV プローブ軸として流れに対し角度を持ったときの流速と乱れ強度の補正式が一般系で導かれた。この補正式を用いて野外検定の測定値に水平回転として左岸側に 3.3° 、傾斜角として上流側に 3.8° の角度補正した結果、2 次元開水路におけるレイノルズ応力の分布則に従うことが確認された。

<参考文献>

- 1) 棚津 家久：開水路乱流の乱れ強度に関する研究、土木学会論文集、第 261, pp67-76, 1977
- 2) 富永・江崎：長方形断面開水路流の三次元乱流構造に関する実験的研究、土木学会論文集、第 357, pp81-88, 1985

・ ADV プローブが水平回転したときの流速、乱流強度の補正式

$$\frac{U_1}{U} = \cos \theta \text{ ---- (1)}$$

$$\frac{W_1}{U} = \sin \theta \text{ ---- (2)}$$

$$\frac{u_1'}{u'} = \sqrt{(\cos^2 \theta + \alpha^2 \sin^2 \theta) + \beta \sin 2\theta} \text{ --- (3)}$$

$$\frac{w_1'}{u'} = \sqrt{(\sin^2 \theta + \alpha^2 \cos^2 \theta) - \beta \sin 2\theta} \text{ --- (4)}$$

・ ADV プローブが傾斜したときの流速の補正式

$$\frac{U_1}{U} = \cos \phi \text{ ---- (5)}$$

$$\frac{V_1}{U} = \sin \phi \text{ ---- (6)}$$

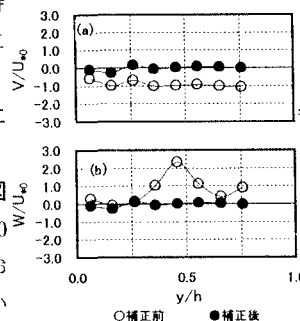


図 3 2 次流速分布

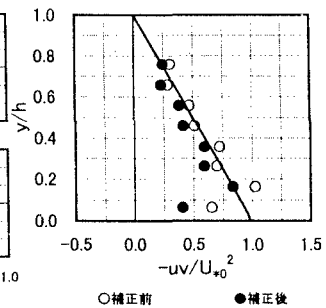


図 4 レイノルズ応力分布