

流速計まわりの水の乱れについて（数値解析による検討）

(株)シーテック 正会員 ○前田 浩伸
 (株)シーテック 正会員 伊藤 真行
 (株)シーテック 正会員 土山 茂希

1. はじめに

水力発電所では、河川からの取水量が法で定められており、遵守が求められている。水力発電所の導水路の水深および流速は、取水流量に応じて大きく変動する。このため、著者らは、取水流量を正確に把握するため、超音波ドップラー流速計を水路敷中央に設置して得られる鉛直方向の流速分布を計測し、流量を算定する方法を試みている¹⁾。

2. 現状の計測手法における問題点

現在使用している超音波ドップラー流速計(Sontek 社 Argonaut-SW)は、検定方法が確立していないため、試験水路で検定台車を用いて機器検定を行っている。著者らは、試験水路での検定時の実測値をシミュレーション結果と比較したところ、両者の整合性が高いことを確認した。²⁾しかし、現地計測状況では、検定台車のように静止水槽内を流速計が移動する状況とは異なるため、試験水路での結果をそのまま現地計測へ摘要することの可否に疑念が残る。

ここでは、数値解析により現地計測状況に即したモデルを作成し、流速計設置に伴う水の乱れの範囲を把握するとともに、適正な流速測点配置について考察を行う。

3. 解析方法

取水量調査に使用する超音波ドップラー流速計は、水路底面もしくは壁面に設置して流速測定を行う形式のものであり、1測線に最大10測点の流速データを同時かつ瞬時に取得しうる。しかし、ブライス型流速計と比較して体積が大きく、流速計の周囲の水流に乱れを生じさせることが懸念される。このため、現地計測状況を数値解析で模擬した計算を実施し、流速計による水流の乱れの影響を受けない計測範囲を提案する。

数値解析には、汎用流体解析プログラムであるFlow-3D[®]を用いた。解析範囲は、試験水路中央軸を対称条件としたハーフモデルとし、解析範囲は水路幅1.0m、水深1.8m、水路長4.0mである。

解析では、流速計を直線矩形水路の底面に設置した状態で、流速 U_0 を1.0m/sから5.0m/sに変化させた。ただし、流速分布 U は、水路底部までべき乗則により設定した。

$$U = U_0 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/n}$$

ここで、 U_0 : 壁面影響の無い一様流速、 Y_0 : 境界層厚さ、 n : 指数とする。

この際、べき乗則指数は計測結果³⁾より算定した値を使用した。境界層の厚さについては、一般に層厚そのものを厳密に定義するのは困難とされている。ここでは、99%境界層厚さの考えを取り入れた。

表1に解析条件および解析ケースを示し、図1に、解析モデル図を示す。

表1 解析条件およびケース一覧

項目	諸元		
計算領域[m]	X:流下方向	-2.0~2.0	
	Y:流下直行方向	0.0~1.0	
	Z:鉛直方向	0.0~1.8	
メッシュ分割数	X:流下方向	200	
	Y:流下直行方向	21	
	Z:鉛直方向	55	
最大アスペクト比	X-Y	2.5	
	X-Z	1.0	
	Y-Z	2.5	
乱流モデル	RNG k-εモデル		
表面粗度[mm]	水路 1		
流速分布 U	一様流速 U_0 [m/s]	1.0~5.0	
	底部は境界層までべき乗則を適用		
	99%境界層厚さを適用 ($Y_0=0.05\sim 0.02$ [m])		
べき乗則指数(n)	5.88		
水深[m]	1.8		
流速計寸法[mm]	X:流下方向	245	
	Y:流下直行方向	100	
	Z:鉛直方向(上流側)	63	
計算ケース (流速のみ変えた)	Case1	U_0 [m/s]	1.0
	Case2	U_0 [m/s]	2.0
	Case3	U_0 [m/s]	3.0
	Case4	U_0 [m/s]	4.0
	Case5	U_0 [m/s]	5.0

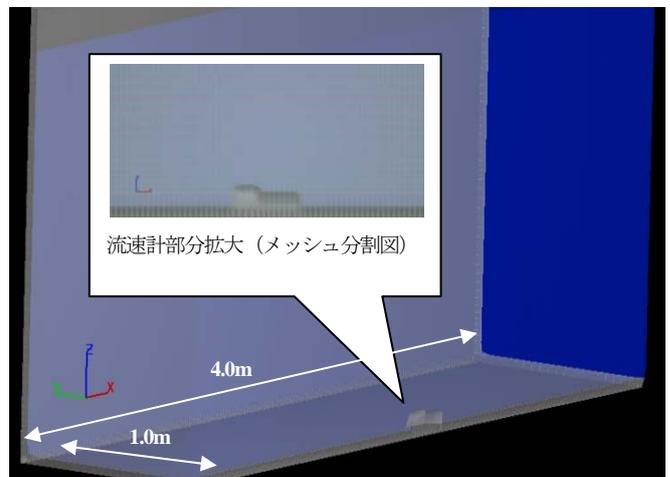


図1 解析モデル図

4. 解析結果

図2に、Case1およびCase5の数値解析結果より、流下方向の流速の乱れをコンターで示す。なお、値は流速の解析値を入力した U_0 で割り、減衰率を求めた。流速計設置位置を中心として横軸に流下方向の距離、縦軸に鉛直方向の距離を取っている。なお、発電水力流量測定規則により、使用可能な流速計の許容機械誤差が1.5%以内と定められている⁴⁾ことを考慮して、図には1.5%を基準に0.5%から3.0%までの範囲を示した。

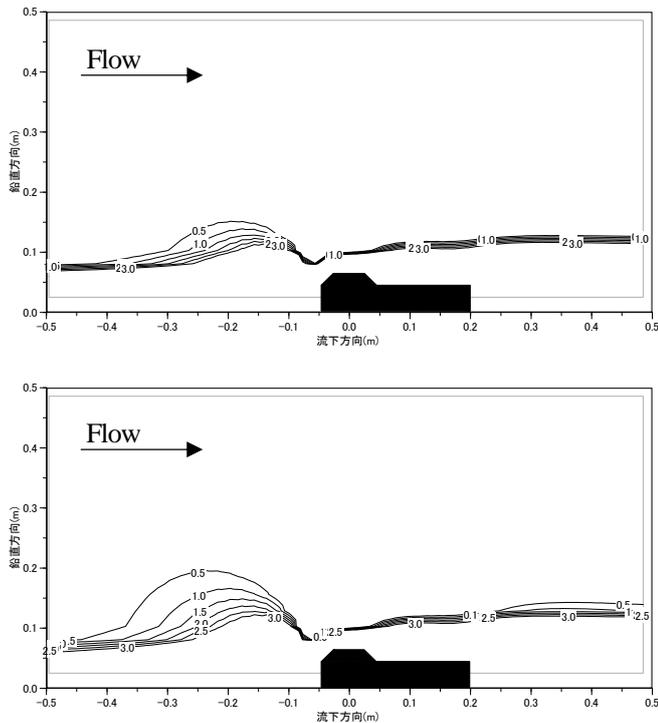


図2 解析結果例(上: Case1, 下: Case5)

図3には、横軸に流速、縦軸に水路底面からの鉛直方向の距離を示し、流速計による影響範囲を比較したものを示す。これにより、 U_0 に対する差異が3.0%の分布形状より、 U_0 に関わらず底面から0.12m程度までは流速計による抵抗の影響を受け、 U_0 よりも低い流速となる。次に、1.5%の分布形状からは、 U_0 が2.0m/sと3.0m/sを境に多少の変動はあるものの、0.15m程度までは流速計による抵抗の影響を受ける。0.5%については、 U_0 が2.0m/sと3.0m/sを境に影響範囲が0.15mから0.2mに増加する。

次に、流下直方向への流速計による乱れの影響範囲を確認した。図4に、横軸に流速、縦軸に流下直方向の距離を示し、流速計による影響範囲を比較したものを示す。ここで、比較検討対象とする流下方向の距離は、 U_0 との差異が1.5%の場合に最も影響の大きい断面($X=-0.177m$)とした。これにより、3.0%の影響範囲は流速計の中心から0.10m、1.5%では0.15m、0.5%では0.25m程度までは流速計の影響を受け、 U_0 よりも低い流速となる。

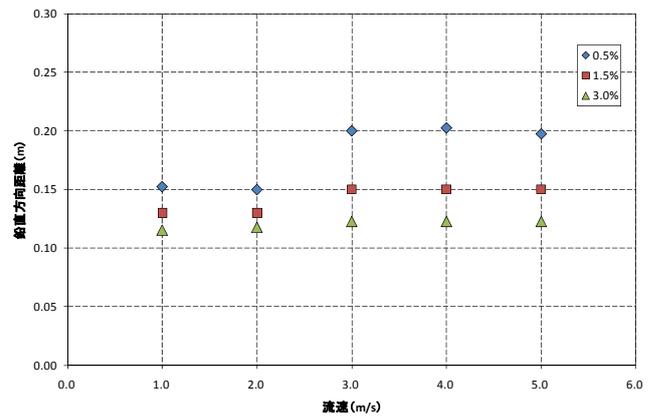


図3 流速計による鉛直方向の乱れの範囲比較

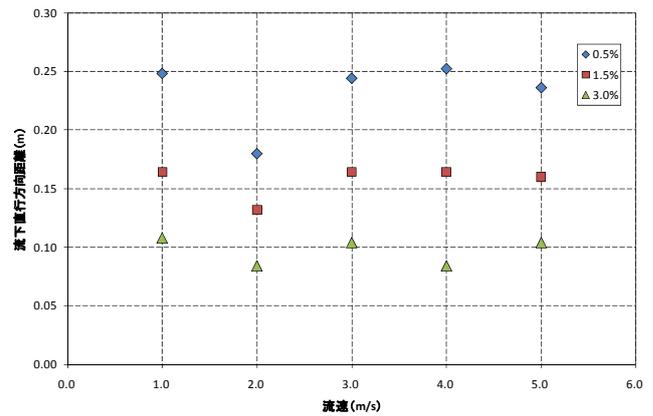


図4 流速計による流下直方向の乱れの範囲比較

5. 考察

流速計を直線矩形水路の底面に設置した状態で、流速を1.0m/sから5.0m/sに変化させた数値解析を行った結果により、水路底面への流速計の設置に伴う水の乱れの影響範囲を把握することができた。

数値解析の結果より、自由水面を持つ水力発電所導水路の底面に流速計を設置した場合、底面から0.2mの範囲は流速計の影響を受ける。底面から0.2mまでの範囲については、べき乗則による補間を行うことで、流速計による U_0 への影響を軽減できる。

また、鉛直および横断方向流速分布の同時測定を行う等、複数台の流速計を流下直方向に並列して使用する場合は、流速計による流下直方向の影響範囲が流速差1.5%の影響範囲では0.15mであることから、超音波干渉の他に、流速計の抵抗による影響範囲を考慮して、流速計間の離隔距離を0.3m以上取った測点配置が必要であるといえる。

参考文献

- 1) 伊藤, 前田, 土山: 暗渠部における流量把握方法の試み, 土木学会中部支部研究発表会 (2010.3), II-25, pp.165-166
- 2) 伊藤, 前田, 土山: ADCP による流速測定精度の検証結果 (試験水路), 土木学会第65回年次学術講演会 (2010.9), II-18, pp.35-36
- 3) 伊藤, 前田, 土山: 開水路における底面近傍の流速分布の近似式, 土木学会中部支部研究発表会 (2011.3), II-39, pp.157-158
- 4) (社) 電力土木技術協会: 発電水力流量調査の手引き, (2001) pp.21-45