

開水路における底面近傍の流速分布の近似式

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

1. はじめに

水力発電所における取水流量は直接測定できないため、水路内の流速の計測値より流量を算定することになる。流量の算定は、通水断面積に平均流速を乗じて求められてきたが、超音波ドップラー流速計の普及により通水断面内での流速分布を比較的容易に測れるようになったことから、通水断面積を小分割し流束 (Flux) の集合体として流量算定する方法¹⁾も実用化されている。

管路内において超音波ドップラー流速計の計測結果から得られる計測線上の流れ方向 1 成分の流速分布を用いて流量を算定した結果、助走区間を経て十分に発達した管内流速は $1/n$ の形で表されるべき乗指数が $1/7$ (以降 $1/7$ 乗則) のべき乗則式による近似がよく一致し、得られた流速分布を管断面積で積分することにより得た流量は計測誤差が 1% 以下となることが報告²⁾されている。また、工藤によりべき乗指数 $1/n$ とレイノルズ数 (Re) の関係が示されている³⁾。

これらの事例は管路での値であり、開水路での流速鉛直分布に対するべき乗則式の適値は不明である。そこで、本検討では開水路底面に超音波ドップラー流速計を設置して計測した流速に対して、底面近傍の流速分布形状をべき乗則式により近似し、べき乗指数の適値を探った。図 2 にべき乗指数とレイノルズ数の関係を示す。検討には、35 箇所水力発電所での 209 ケースの流速計測値を用いた。

2. 計測実施施設の概要

表 1 に、流速計測を実施した施設の概要を示す。ただし、レイノルズ数の代表長さ (D) は径深を用い、動粘性係数は水温 20℃ の値⁴⁾ ($=1.01 \times 10^{-6}$ (m²/s)) とした。なお、本編では、便宜上フルード数およびレイノルズ数の算出に用いた平均流速は $1/6$ 乗則を適用⁵⁾した。

小規模な溪流取水から中規模水力発電までの地点で計測を実施し、水路断面形状は矩形、馬蹄形あるいは台形のコンクリート張り水路である。なお、流速計は上下流に直線であり、流れの乱れが少ない箇所に設置した。計測箇所毎に流量を変え数ケースを計測した。

3. べき乗則式による流速分布形状

べき乗指数を変化させた流速分布を図 1 に示す。横軸は流速比、縦軸は水深比である。べき乗指数の分母 n が大きくなるにつれ、壁面 (水深比 0) 近傍の流速が速くなる。

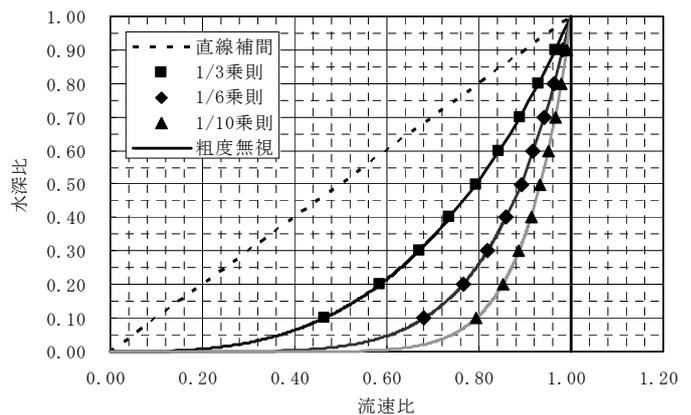


図 1 べき乗指数による流速分布

表 1 計測実施地点概要 (35 発電所)

| | 計測諸元 | | | | | |
|----|------------------|----------------------------|--------------|-------------------------------|-------|--------------------|
| | 1箇所当りの計測 ケース数 | 水路断面積 (m ²) | 発電出力 (kW) | 最大使用水量 (m ³ /s) | フルード数 | レイノルズ数 |
| 最小 | 4 | 1.2 | 470 | 0.70 | 0.020 | 3.74×10^4 |
| 最大 | 16 | 24.8 | 34,000 | 40.00 | 0.829 | 3.80×10^6 |

キーワード：超音波ドップラー流速計, 流量測定, 流速分布, べき乗則, 壁面影響

〒455-0054 名古屋市港区遠若町 3-7-1 Tel. 052-651-3894 E-mail ma.itou@ctechcorp.co.jp, h.maeda@ctechcorp.co.jp, s.tsuchiyaama@ctechcorp.co.jp

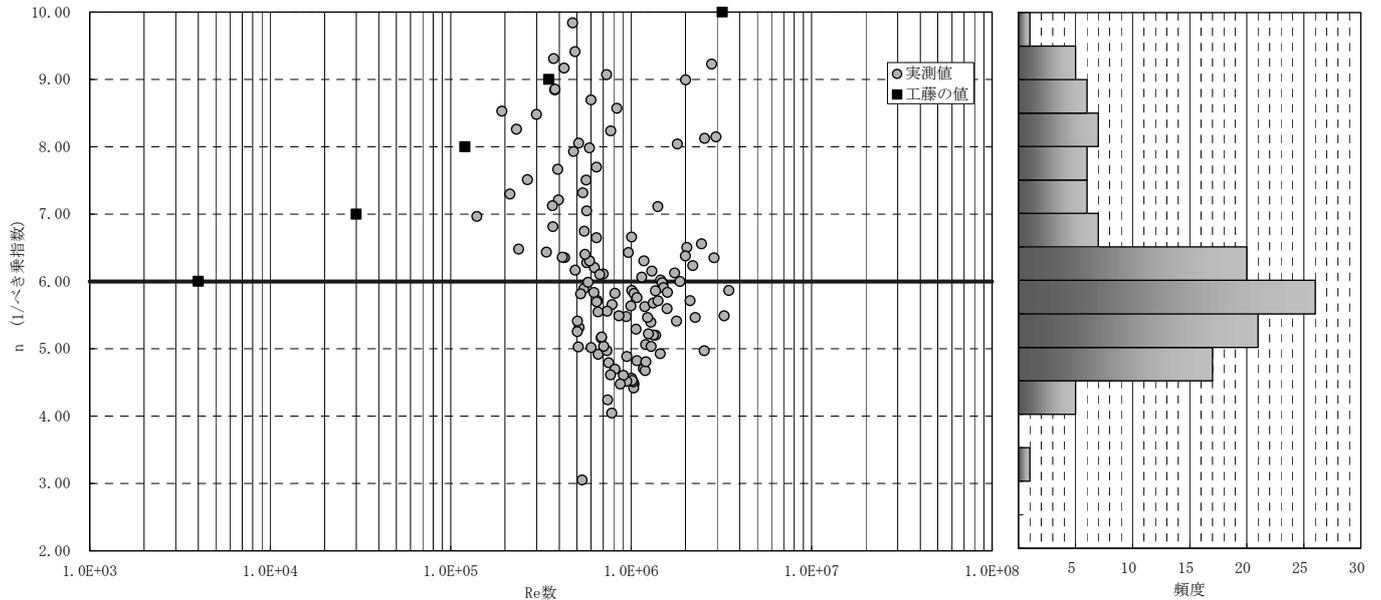


図2 べき乗指数とレイノルズ数の関係

4. 計測概要

使用した超音波ドップラー流速計は水路底面の中央に設置し、鉛直方向に最大10分割 (Cell) の測点の流速データを同時に取得した。ただし、超音波ドップラー流速計の設置に伴い水路底面近傍には計測不能領域が発生する。

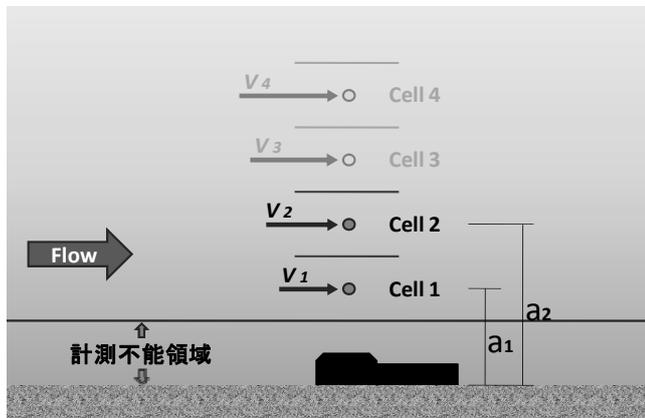


図3 計測の概略 (鉛直分布図)

5. べき乗指数の算出

流速計測値を用いてべき乗指数の適値を検討した。水路敷に固定した超音波ドップラー流速計から得られる鉛直方向流速分布のうち、流速計直上の流速値 V_1 (Cell 1 流速値) とその上の流速値 V_2 (Cell 2 流速値) と各流速測定位置 (水路敷からの距離) を、べき乗指数による流速推定式³⁾ (5.1) を変形した (5.2) 式に代入し、べき乗指数を算出した。

$$v_2 = v_1 \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^{1/n} \dots \dots \dots (5.1)$$

$$n = \log \left(\frac{a_2}{a_1} \right) / \log \left(\frac{v_2}{v_1} \right) \dots \dots \dots (5.2)$$

ここに、 v_1 は Cell 1 の流速、 v_2 は Cell 2 の流速、 a_1 は底面から Cell 1 中心までの距離、 a_2 は底面から Cell 2 中心までの距離、 $1/n$ はべき乗指数である。

算出したべき乗指数を図2に示す。全209ケースのうち V_1 よりも V_2 の流速が小さく指数がマイナスであるものや、両者の差異が殆ど無く極端に大きいものを除いたところ、べき乗指数はレイノルズ数との関係が見られず、4.5 から 7.0 までの間に 71% が集中し、5.5 から 6.0 の間の頻度が最も高い。なお、レイノルズ数は 10^5 から 10^6 の範囲に分布している。

6. まとめ

今回実施した水力発電所のコンクリート張り導水路での計測データより、流速分布をべき乗則式で記した場合のべき乗指数 n の中央値は 5.88 となった。これは、工藤の値 (図2 参照) よりも小さい。開水路の流速分布は管路と異なる状況であると考えられる。

参考文献

- 1) 武田：流動場と流量計測におけるパラダイムシフト、計測技術, Vol37, (2009), pp.1-2
- 2) 大窪, 武田, 石川：超音波ドップラー流速分布計測法の応用, 超音波テクノ, (2004), pp.17-21
- 3) 工藤：導水路における流量測定, 発電水力 No.68, pp.47-53
- 4) 土木学会：水理公式集 [平成11年版]
- 5) Cheng-lung Chen：Unified Theory on Power Laws for Flow Resistance, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, No. 3, (1991), pp.371-389