

II-80

ボーリング孔内地下水流速測定へのLDVの適用

九州大学工学部 正員 初井 和朗

九州大学工学部 正員 神野 健二

清水建設機技研 正員 平野 文昭

清水建設機 正員○本村 浩志

1. はじめに

本研究では、まず、ボーリング孔内に挿入可能な微流速測定用レーザドップラー流速計（以下LDVと略す）を試作し、地下水流速測定への試作LDVの適用性について検討を行う。次いで、被圧浸透層内に設けたボーリング孔内の中心流速を試作LDVにより実測し、この値と浸透層内の断面平均流速との関係について実験的検討を加えるものである。

2. ボーリング孔内流速測定用試作LDVの性能

本研究で用いる試作LDVの主な特徴は、①LDV計測プローブを外径6.4cmの円筒型アルミ合金製容器中に収納し、直径約10cmのボーリング孔に挿入可能な形状であること、②水平面内での2方向の測定が可能であること、③地下水流れのような微流速の流向を判定するための回転回折格子による微速度用周波数シフターを組み込んでいることである。なお、試作LDVの詳細は稿を改めて発表する予定である。

ここでは、試作LDVの性能を検討するために、回転速度 10^{-2} cm/s～ 10^{-5} cm/sで回転するガラス盤を試作LDVの測定点を通過させ、この回転速度を試作LDVにより実測し、実測値と既知の回転速度との比較を行った。表-1には、ガラス盤の回転速度の真値 u_g と試作LDVによる実測値 u_L との比較を示している。実測値と真値はほぼよい一致を示している。ここでの検討例からすると、試作LDVは 2.5×10^{-5} cm/sまでの速度測定が可能であり、測定誤差は約8%以下といえる。以上のことから、試作LDVは、地下水のような微流速測定に十分な精度で適用が可能なものと考えられる。

3. 被圧浸透層への試作LDVの適用

3.1 実験

図-1の実験装置の概略に示すように、被圧浸透層の中心に半径 $R=5$ cmのボーリング孔を設け、その中心の流速 u_L を、試作LDVにより測定する。また流出部で測定した流量を流出部の断面積で除した値を、浸透層内の断面平均流速 U_0 としている。実験に用いた砂は平均粒径0.15mm、透水係数0.022cm/sである。

3.2 ボーリング孔中心流速と断面平均流速の関係

図-2に測定結果を示している。図中の記号△は、実験装置は異なるが、被圧浸透層において従来のLDV計測システムを用いて測定した結果¹⁾であり、記号▲は、今回試作LDVにより測定した結果である。また図中の実線は、佐野²⁾によるボーリング孔中心流速 u_0 とボーリング孔設置前の元の浸透層内の断面平均流速

表-1 試作LDVの性能

Rotational speed of glass disk u_g (cm/s)	Measured value by LDV u_L (cm/s)	Measurement error $ u_g - u_L / u_g$ (%)
2.76×10^{-5}	2.55×10^{-5}	7.6
5.52×10^{-5}	5.75×10^{-5}	4.1
1.38×10^{-4}	1.40×10^{-4}	1.4
2.76×10^{-4}	2.68×10^{-4}	2.8
6.89×10^{-4}	7.16×10^{-4}	3.9
1.38×10^{-3}	1.47×10^{-3}	6.5
2.76×10^{-3}	2.81×10^{-3}	1.8
6.90×10^{-3}	7.03×10^{-3}	1.8
1.38×10^{-2}	1.40×10^{-2}	1.4

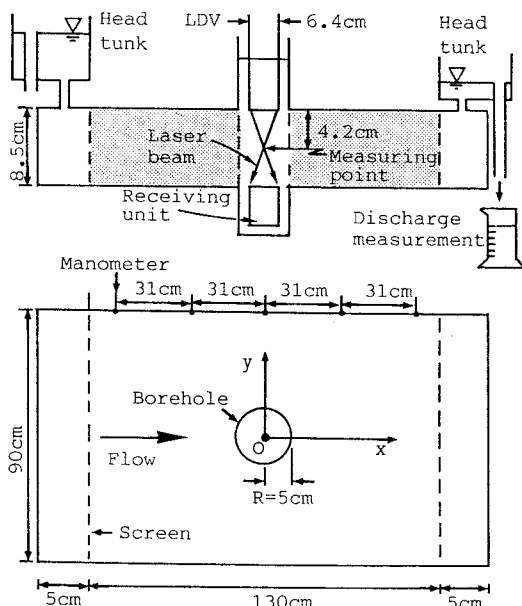


図-1 実験装置

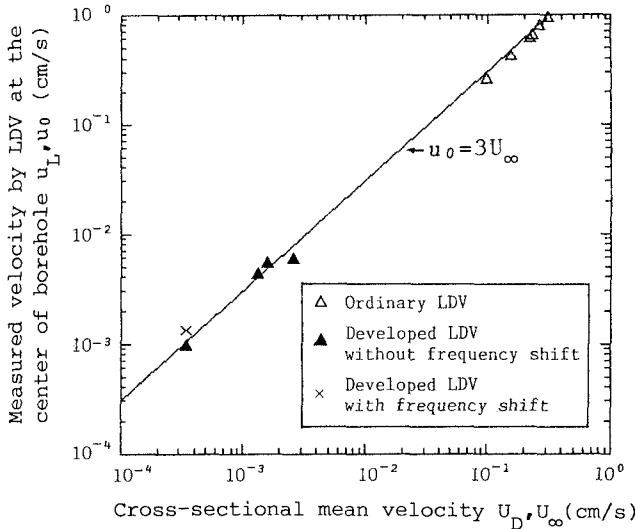


図-2 ボーリング孔中心流速と断面平均流速の関係

U_∞ との関係： $u_0=3U_\infty$ を示している。図示のように、本実験で対象とした孔内流速のオーダー 10^{-3} cm/sにおいても、従来のLDVによる結果と同様に、試作LDVによる実測値は理論解と比較的によく一致しているといえる。従って、試作LDVを孔内流速計として用いることにより、ボーリング孔設置前の元の浸透層内の断面平均流速を十分な精度で求めることができるといえる。

3.3 流向測定

図-2の記号×は、現場を想定して流向を未知として、周波数シフターを作用させて求めたものであり、図-3には、この場合の測定結果の詳細を示している。図-3の直線(a)は周波数シフトを行わない場合のドップラー信号のピーク周波数 f_d と流速 u_L との関係である。式中の d_r は、測定体積中の干渉縞の間隔（試作LDVでは $d_r=1.222 \times 10^{-4}$ cm[(cm/s)/Hz]）である。ここでドップラー信号のスペクトル解析により算定されるピーク周波数は正の値であり、流速 u_L の正負の判定はできない。流速 u_L の正負の判定のために、図の直線(b)に示すように、ここでは、流速が零での周波数を予め Δf だけシフトさせ、このとき得られるピーク周波数 f_d' と Δf とを比較する方法を採用している。従来のLDVでは微速度用の低周波数シフトが困難であったが、試作LDVでは回折格子による周波数シフト法を採用しており、例えば図-3のように $\Delta f=50$ Hzを与えることが可能となる。この場合断面平均流速 $U_0=3.4 \times 10^{-4}$ cm/sにおいて得られたピーク周波数は $f_d'=39.2$ Hzであり、直線(b)により $u_L=1.3 \times 10^{-3}$ cm/sとなる。従って、流向はx軸の正の方向であるといえる。このようにして求めた図-2の記号×は、周波数シフターを作用させずに求めた値（記号▲）より若干大きな値となっているが、概ね理論解（実線）と一致していると考えられる。

4. おわりに

本研究で得られた結果は次のようである。

- 1) ガラス盤の既知の回転速度と試作LDVによる実測値との比較により、測定誤差約8%以下で、速度 2.5×10^{-5} cm/sまでの測定が、試作LDVにより可能であることを示した。
- 2) 被圧浸透層におけるボーリング孔中心流速は、浸透層内の断面平均流速の3倍となることを、孔中心流速のオーダーが 10^{-3} cm/sにおいて、試作LDVを用いて実験的に明らかにした。
- 3) 試作LDV内に組み込んだ微速度用周波数シフターを用いることにより、流向の判定が可能であることを被圧浸透層における流向流速測定により示した。

参考文献 1) 初井・神野・本村・平野：ボーリング孔内の地下水流れに関する実験的研究，地下水学会誌，第31巻，1989。 2) 佐野：多孔性媒質中に穿った円柱状の空洞を過ぎる粘性流，ながれ，第2巻，1983。

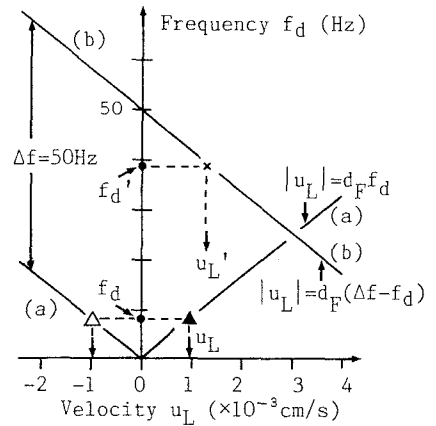


図-3 流向流速測定の詳細