

ボーリング孔内及びその周辺の多孔性媒質中の地下水流れに関する検討

九州大学工学部○学生員 本田 保 九州大学大学院 学生員 本村 浩志
九州大学工学部 正 員 舩井 和朗 九州大学工学部 正 員 神野 健二
九州大学工学部 正 員 上田 年比古 清水建設㈱技研 正 員 平野 文昭

I. はじめに 一般に、地盤内を流れる地下水の流れを知る場合、ボーリング孔を設けて流速や流向の調査が行なわれている。この場合、ボーリング孔を設けることにより、元の地下水の流れが変化することが考えられるため、元の地下水の流れとボーリング孔内の流れとの関係を明らかにする必要がある。これまで、ボーリング孔内の流れについて、理論的な考察はいくつも行なわれているが、実験による検討は行なわれた例がない。本研究では、5mW He-Ne のレーザ流速計(LDV)を用いて、ボーリング孔中心位置での流速を測定し、元の地下水流速との比較、検討を行なったものである。

II. 理論 定常で一樣な流れのある多孔性媒質中に半径 R_0 のボーリング孔を設けた場合に対し、佐野(1983)¹⁾は、多孔性媒質中の地下水流れには一般化されたDarcyの式を、ボーリング孔内流れには粘性流体の基礎式であるStokesの式を適用し、境界条件には、①ボーリング孔から無限遠での多孔性媒質中のダルシー流速は U_∞ 、ボーリング孔境界($r=R_0$)において多孔性媒質とボーリング孔内の両者の②速度、③圧力、④剪断力がそれぞれ等しいという4つの条件を用いて、次に示すボーリング孔内の流速(u_r , u_ϕ)の理論解を提示している。

$$u_r = (u_0 + U_\infty \frac{a}{8} \zeta^2) \cos \phi \quad (1)$$

$$u_\phi = -(u_0 + U_\infty \frac{3a}{8} \zeta^2) \sin \phi \quad (2)$$

ここに座標系は円筒座標であり、 r ;半径方向、 ϕ ;接線方向、及び

$$\zeta = \frac{r}{\sqrt{K}}, \quad \zeta_0 = \frac{R_0}{\sqrt{K}}, \quad a = -8 \frac{\alpha - \beta}{\Gamma},$$

$\Gamma = 8(\alpha - \beta) + \zeta_0^2(\alpha + 3\beta)$, $\alpha = K_0(\zeta_0) + (\zeta_0 + 2\zeta_0^{-1})K_1(\zeta_0)$,
 $\beta = K_0(\zeta_0) + 2\zeta_0^{-1}K_1(\zeta_0)$ であり、 $K_0(\zeta_0)$, $K_1(\zeta_0)$;第二種変形Bessel関数、 K ;地盤に固有の透水係数(次元は長さの2乗)である。

式(1),(2)の u_0 はボーリング孔中心流速であり、次式となる。

$$u_0 = \left\{ \frac{8\zeta_0^{-1} + (3 + 16\zeta_0^{-2})K_1(\zeta_0)K_0(\zeta_0)^{-1}}{4\zeta_0^{-1} + (1 + 16\zeta_0^{-2})K_1(\zeta_0)K_0(\zeta_0)^{-1}} \right\} U_\infty \quad (3)$$

通常の地下水流れの調査では、ボーリング孔の直径は6cm、透水係数 k のオーダーは1cm/s以下であり、この場合は、 ζ_0^{-1} が十分に小さく、 $K_0(\zeta_0)K_1(\zeta_0)^{-1} \approx 1$ となり、式(3)より $u_0 \approx 3U_\infty$ の関係となる。

III. 実験による検討

1) 実験装置及び方法 実験装置の概略を図-1に示す。上記の理論により、ボーリング孔の影響がほぼ無視できると考えられる縦、横50cm、高さ12cmの寸法の装置に、粒径範囲0.42~0.84mmの十分に湿らせた砂を詰め、その中心に半径 $R_0 = 3$ cmの孔を設けて密閉し、ボーリング孔の崩壊を防ぐために目開き径0.45mmのステンレス製網で保護した。流出部には越流堰を設置し、越流堰天端は透水層上面より高くし、浸透流は被圧状態としている。実験で用いた砂の透水係数は、マノメータを流れ方向に対して14cm間隔で4ヶ所(図-1(b)のNo.1~No.4)に設置し、種々の流量に対する動水勾配と流量の実測値により求めている。ボーリング孔

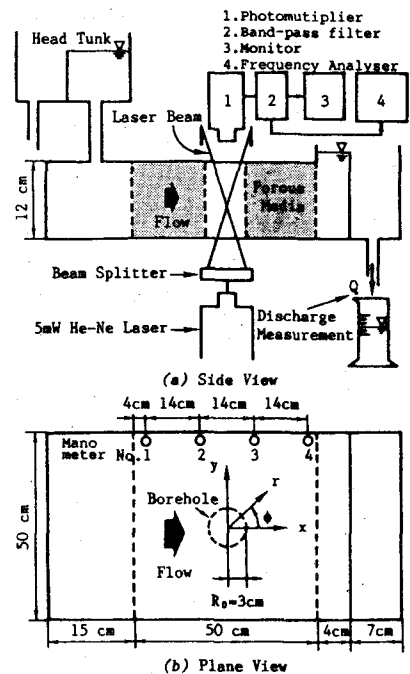


図-1 実験装置

中心の流速測定は、5mW He-Ne レーザ を用いて、装置下方よりレーザ光を投光し、測定点はボーリング孔底面から6cmのビーム交差位置であり、装置上部のフォトマル(図1-(a)の1)で散乱光を受光している。フォトマルからの出力は、雑音を取り除くためにバンドパスフィルター(2)を通し、その後、ドップラー信号の周波数解析(4)をFFTを用いて行っている。図-2にドップラー信号とその周波数解析結果の一例を示している。流速値は、周波数に換算定数(本LDV光学系では $7.603 \times 10^{-4} [\text{cm/s/Hz}]$)を乗じて求められる。

2) ダルシー流速と動水勾配との関係

流量を変化させ、それに対応するダルシー流速と動水勾配との関係を示したのが図-3である。ここで、ダルシー流速とは、流出部において計測した流量を流出部の断面積($50 \times 12 \text{ cm}^2$)で割ったものである。図より、両者の関係は直線的であり、本実験がダルシー則の適用範囲にあると言える。なお、直線の傾きにより、実験で用いた砂の透水系数は、 $k = 0.26 \text{ cm/s}$ である。

3) ボーリング孔中心流速とダルシー流速の関係

図-4には、横々に変化させた流量に対応するボーリング孔中心位置における流れ方向の流速のレーザ流速計(LDV)による実測値(u_L)と流量測定により求めたダルシー流速(U_D)との関係を示している。図より $u_L \div 3 U_D$ と言える。ここで、ボーリング孔の流れに及ぼす影響を無視できるとすれば、式(3)の $U_m \div U_D$ 、また $u_o = u_L$ であるから、実験結果は式(3)と良い一致を示している。以上によって、ボーリング孔の中心で流速測定を行った場合、ボーリング孔を設置しない元の多孔性媒質中のダルシー流速は、中心での実測値の1/3の値であると言える。

IV. おわりに

本研究では、多孔性媒質中の地下水流れとボーリング孔内の流れとの関係について、レーザ流速計(LDV)を用いて実験的検討を加え、ボーリング孔 中心位置における流れ方向の流速が地下水の流速の3倍となる実験結果を提示した。これを利用することにより、ボーリング孔中心位置における流れ方向の流速を測定することで、多孔性媒質中の地下水の流速を推定できると言える。

参考文献

- 1) 佐野 理 : 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, Vol. 2, p p. 252-259, 1983.

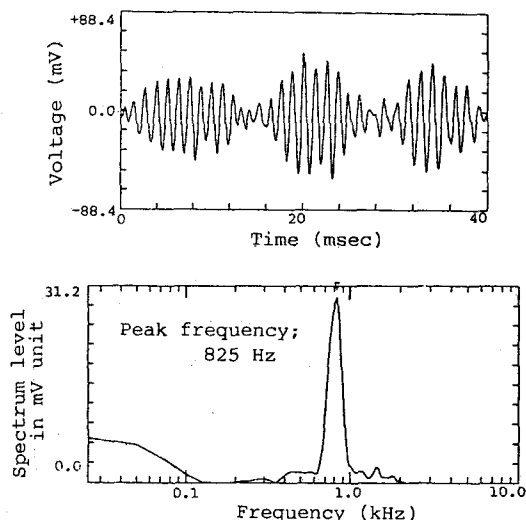


図-2 ドップラー信号と周波数解析の例

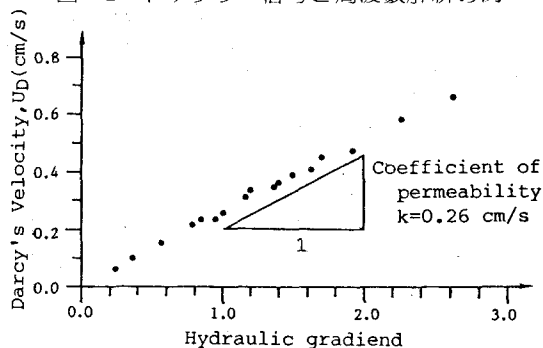


図-3 ダルシー流速と動水勾配の関係

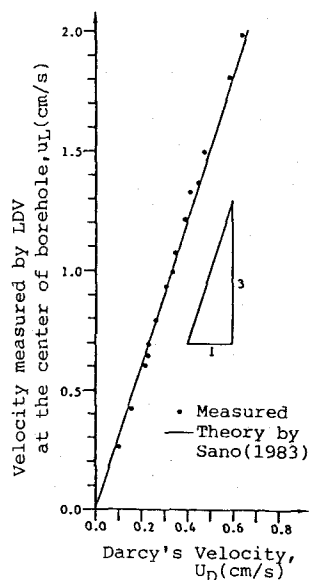


図-4 ボーリング孔中心流速とダルシー流速の関係