

密度可変固体トレーサを用いた流向流速計の開発

5. 計測結果への地質環境の影響検討

(株)ダイヤコンサルタント	○正会員	菱谷 智幸	(株)ダイヤコンサルタント	正会員	杉本 映湖
岡 山 大	正会員	西垣 誠	鹿 島 建 設 (株)	正会員	戸井田 克
鹿 島 建 設 (株)	正会員	田中 真弓	東 海 大	非会員	大江 俊昭
(株) 東 芝	非会員	佐藤 光吉			

1. はじめに

筆者らが開発中の流向流速計の開発に際し、原位置で信頼できる計測結果を得るために必要なシステム全体の精度把握を行うとともに、具体的な計測計画・手順を事前に検討した。システムの計測精度に関しては、水分子のブラウン運動、海洋潮汐、地温分布、ボーリング孔内浮遊物質などの地質環境条件が計測結果に及ぼす影響を数値解析的に評価したので（図1参照）、これらの結果について以下に報告する。なお、本研究は（財）エネルギー総合工学研究所の「平成16年度革新的実用原子力技術開発公募事業」の成果の一部である。

2. 流向流速計測結果に影響する地質環境条件

流向流速計測結果に影響する地質環境面の要因の中で、海洋潮汐と、地温勾配に起因する密度流の影響が大きいと考え、それぞれの要因の影響程度に関する検討結果を行った。

2. 1 海洋潮汐

潮汐には、地球潮汐と海洋潮汐があるが、前者は、計測対象を含む地球全体が一様に変動していると考えられるため、流向流速計測結果に影響を与えるものとしては後者のみと判断し、海洋潮汐に伴う地下水位変動による地下水流速の理論的検討を行った。水平で層厚一定、等方均質な被圧帯水層の場合、海洋潮汐を正弦波と仮定すれば、地下水位変動は式(1)で示す理論解が得られる。

$$\zeta = a \exp(-mx) \cos(\omega t - mx), m = \sqrt{\omega S / 2T}, \omega = 2\pi / t_0 \cdots \cdots (1)$$

ここに、 ζ ：地下水位、 a ：海洋潮汐による振幅、 m ：減衰係数、 x ：海岸線からの離れ、 ω ：角速度、 t_0 ：周期、 S ：貯留係数、 T ：透水量係数。帯水層の厚さを b とすると、貯留係数は $S = Ss b$ となり、透水係数 k を用いれば、 $T = kb$ となるので、これらより式(1)は、 $m = \sqrt{\omega S s b / 2kb} = \sqrt{\omega S s / 2k}$ となり、海岸線からの距離 x の点での振幅 a_x は式(2)で示される。

$$a_x = a \exp(-x \sqrt{\omega S s / 2k}) \cdots \cdots (2)$$

式(2)を用いて、①海洋潮汐に伴う被圧地下水の地下水位変動の振幅：1m、②海洋潮汐の周期：12時間、③動水勾配：対象とする海岸線からの離れ±1mの地点での理論式から得られた地下水位の差をその距離2mで除した値、④最大動水勾配：1周期における10分刻みで求めた動水勾配の最大値、という条件で海岸線からの離れに対する動水勾配を求めた。

図2に示した海岸線からの離れに対する最大動水勾配では、 Ss/k が100を越えると減少率が大きく、 Ss/k が1～10程度の場合には減少率が比較的小さい。本開発での検討対象内の中央値相当である透水係数 $1 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 、比貯留係数 $1 \times 10^{-6} \text{1/m}$ という条件での、海洋潮汐に起因する地盤中地下水のダルシー流速の算出結果を図3に示す。流向流速計が対象とするダルシー流速の最小値が $1 \times 10^{-10} \text{m/s}$ レベルであることから、海岸線からの離れが50m以内の場合、その計測対象が 10^{-10}m/s レベルの流速の場合には海洋潮汐に起因して発生することが予想される。

2. 2 地温勾配による密度流

流向流速計測結果への地温勾配(一般的には $3^\circ\text{C}/100\text{m}$)の影響について検討するため、地温勾配による密度流を考慮した移流分散解析手法を用い、微少地下水流動に与える影響について解析を行った。密度流解析は、

キーワード 数値解析、海洋潮汐、地温勾配

連絡先 〒330-8660 さいたま市北区吉野町 2-272-3 (株)ダイヤコンサルタント TEL 048-654-3129

簡易解析としてボーリング孔内計測区間と周辺の岩盤を解析対象とし、図4に示すような50cm×60cmの解析領域に、孔径10cm、長さ15cmの計測区間を鉛直2次元にモデル化した。鉛直2次元モデルとすることで岩盤中に水平流速場を与えた状態での地温勾配による密度流の影響について検討したが、本モデルでは計測区間は3次元の円孔ではなく矩形のスリットとしてモデル化されている。解析条件として初期水平流速を $1E-8$ 、 $1E-9$ 、 $1E-10$ m/s、初期岩盤温度を地温勾配 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、初期孔内温度は 35°C (GL-500m相当)で均一とそれぞれ設定した。また、計測区間の上下が岩盤の場合とパッカの場合の両ケースについて検討を行った。

図5に示すように計測区間周辺が全て岩盤のモデルでは、 $1E-8\sim 1E-10$ m/sの水平流速に対して孔内で熱対流は発生せず、3～9時間程度で平均孔内流速が各設定値に収束した。一方、計測区間の上下にパッカを模擬した場合では、 $1E-10$ m/sの場合にのみ熱対流が発生した。したがって、地温勾配による密度流の影響は、地盤中地下水流速が小さく、地盤中の温度影響が孔内に反映されにくい状態ほど大きいことが分かる。ただし、本解析は鉛直2次元モデルのため、計測区間がスリット状であり、地盤と地下水の接する部分、すなわち地盤中の温度影響を受ける部分が孔内の両側しかなく、温度勾配による密度流影響を受けやすい。したがって、3次元場における円孔であれば、円孔の側面すべてから地盤中の温度影響を受けることが可能となるため、地温勾配による密度流の影響が小さくなることが考えられる。

3. おわりに

以上の結果から、原位置での計測実施時には、海岸線からの距離や地盤の水利特性を勘案して流向流速結果への影響を検討しておくことが必要であると考えられる。今後、原位置試験結果を評価する際には、上記の点に留意した検討を行う予定である。

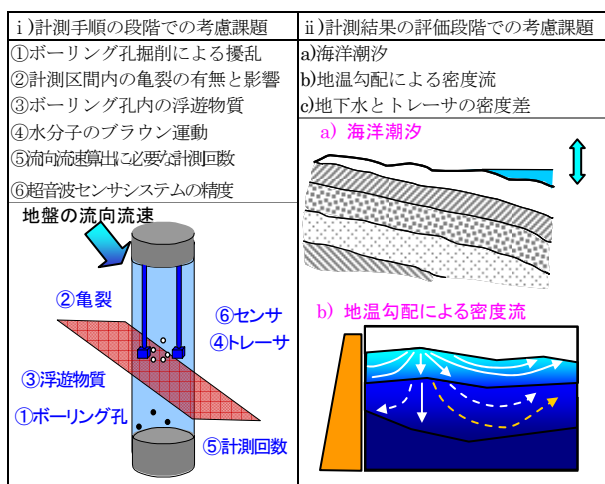


図1 計測手順段階、計測結果評価段階での考慮課題

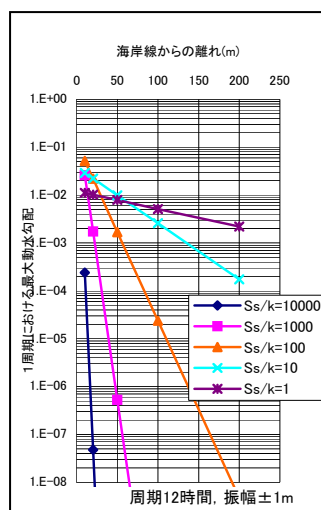


図2 海岸線からの離れに対する最大動水勾配

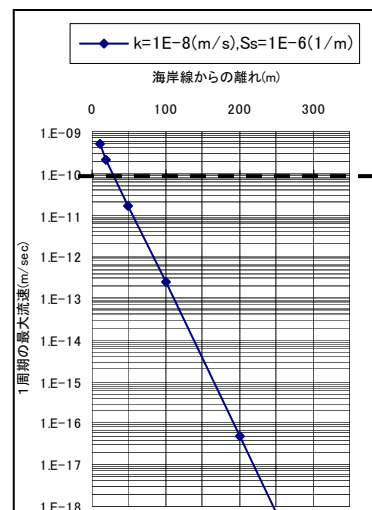


図3 海岸線の離れに対する最大ダルシー流速

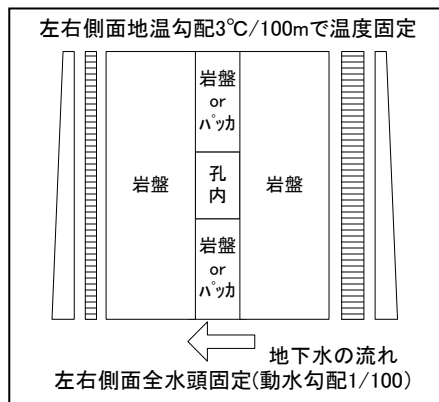


図4 密度流解析モデル概念図

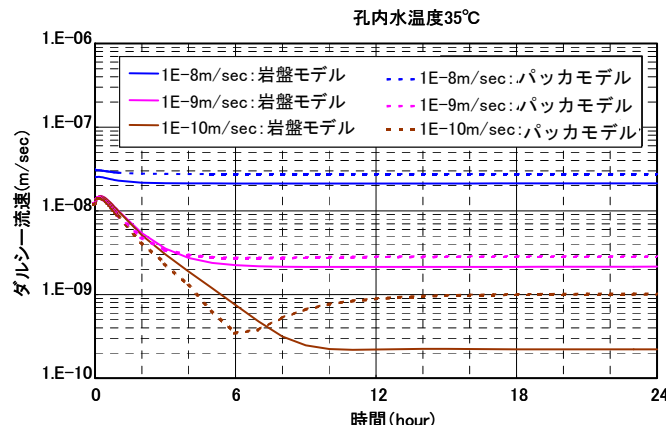


図5 孔内流速時間変化(孔内温度 35°C)