

那賀川沿岸部における地下水の塩濃度変動

愛媛大学 正会員 ○井内国光, ニタコンサルタント 安富英樹

1. はじめに

地下水は1年を通じて水温の変化が少なく, 表流水に比べて一般的に水質が良いため貴重な水資源として古くから利用されてきた。しかしながら, 海に面した地域においては地下水中に海水が侵入する, いわゆる地下水の塩水化現象がみられる。海岸部で地下水を資源として利用するには, 塩水化についての知識を得ることは重要な課題である。

海岸部においては潮汐の変動に伴って海岸近くの井戸の水位が変動する現象は古くからよく知られており, この水位変動の伝播問題については種々の境界条件や半透水層の存在などを考慮した解析がなされ¹⁾, 近年では帯水層中に形成される塩水くさびの非定常な挙動についての数値解も示されている^{2)~5)}。

今回, 新たに設置した海岸近くの観測井で潮汐に対応した地下水の水位と塩濃度の変動の記録を得ることが出来たので, その考察結果について報告する。

2. 観測方法

那賀川下流域右岸の海岸から 1.4 km 内陸に入った地点に置いて, 被圧帯水層に掘った井戸において観測を行った。

①経時変化: 電磁誘導式電導率計 (応用地質製 MODEL-4631A) を地表面からケーブルでつり下げ, 被圧帯水層内の GL - 29m ~ - 38 m までの間で深度を変え, 1 ~ 2 ヶ月単位で圧力と電気伝導度の時間変動を観測した。

②鉛直分布: 井戸内における電気伝導度の鉛直分布を上記電導率計を井戸内で移動させることによって測定した。観測は 1 ~ 2 ヶ月に 1 度程度の割合で 2001 年 9 月から 5 年間実施した。また 2002 年 6 月 11 日には 2 時間間隔で 7 回測定した。

それぞれの深度における伝導度の潮汐に応答する変動は, 29m では 2400 μ S/cm, 30m では 2620 μ S/cm, 32m では 1660 μ S/cm, 34 m では 138 μ S/cm の変動幅がみられ, 海水の伝導度を 50000 μ S/cm とすると相対変動幅はそれぞれ 4.8 %, 5.24 %, 3.32 %, 0.276 % となる。

異なった時刻で測定した伝導度の鉛直分布を重ねると, 変動が大きいところではばらついた分布となり, 小さいところは重なる。このばらつきは帯水層の上面に当たる 29m では大きく, 電気伝導度の鉛直勾配が緩やかとなる 32m ~ 34.5m では小さくなっており, 34m 深では電気伝導度は潮汐の影響による時間変動をほとんど示さず, 一定値に近いものであった。しかしながら 35m ~ 36m では再び変動が見られる。

潮汐変動による濃度の観測結果が数値解析によって予測されるものと同程度のものであるかを調べるために, 2次元の帯水層モデルを用いた数値解析を行った。海岸帯水層内における地下水の塩水化現象を解析する代表的なモデルとして分散モデルがある。このモデルは, 淡水と塩水の混合を考慮したものであり, 境界面モデルに比べより現実的なモデルである。本研究では淡水と塩水の混合を重視するため, この分散モデルを用いて解析を試みた。

3. 解析結果および考察

平均海面時の塩濃度分布を数値解析により検討したところ, 水位変動と塩濃度変動は, 潮汐に応答して周期的な変動を示した。塩濃度変動をみると, その変動幅は 0.13 % で上述の観測値に比べておよそ 1/30 と非常に小さい。本モデルのように非常に内陸部まで塩水が侵入する場合には, 潮位変動に対して水位はかなり

の大きさに応答を示すが、濃度については減衰が非常に大きい。

上述のように井戸内の濃度変動は数値解析で予測されるものよりも非常に大きなものとなった。そこで井戸内の濃度が帯水層内の濃度分布をそのまま反映したものかどうか、疑いが持たれる。井戸内で濃度変動が大きく出の場合として、実際の帯水層内では濃度変動が小さくても、井戸内で水が上下運動をすることによって、見かけ上、定点においては、濃度が時間的に変動することが考えられる。今回の井戸では、水面が大気に開放されている状態で濃度の観測が行われている。そこで、蓋をすることによって水の動きを止めることが出来れば、検証が可能である。

そこで、井戸の上端に栓をして観測を行った。図2に示す井戸上端に栓をして測定した電導度の時間変動は、栓をしていない図1の観測結果と比べると、明らかに変動幅が減少している。したがって井戸開放状態における変動は井戸内での水の上下運動に起因している可能性が大となった。

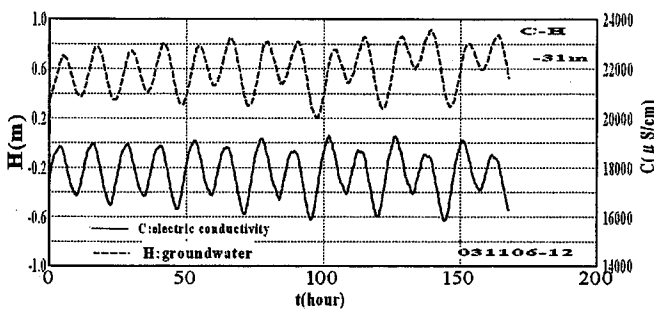


図1 地下水位と電気伝導度の時間変動
(深度 31 m ; 井戸上端に栓をしない場合)

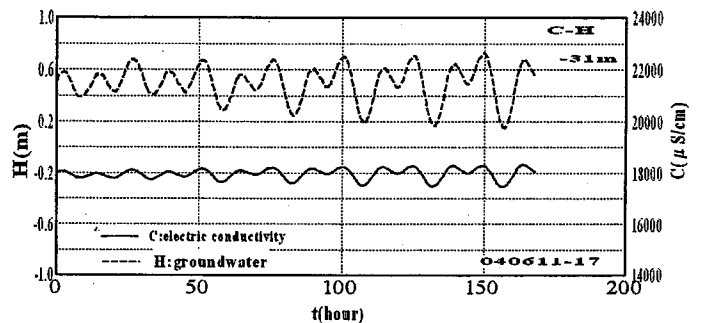


図2 地下水位と電気伝導度の時間変動
(深度 31 m ; 井戸上端に栓をした場合)

井戸内での濃度変動をシミュレートするために簡単な1次元の差分モデルを考えた。計算では井戸内の初期濃度を深さ方向で一様の $C/C_s=0.1$ として計算したが、時間の経過と共に、濃度の平均値は上下に差が見られ、定常振動解に近づいた。振動の幅は井戸中心部で大きく、4%程度の変動を示している。この解析結果からも井戸内の水が上下することによって、振動する濃度変動が得られることがわかる。

4. おわりに

徳島県那賀川流域の沿岸近くに新たに観測井を設置し、潮汐に対応した地下水位と塩濃度の変動記録を得た。しかし、ここで得られた潮汐による濃度変動は帯水層内の濃度変動をそのまま反映したものではなく、井戸内で水が上下運動をすることによって、見かけ上、濃度が時間的に変動するものであることが井戸に栓をすることや簡単な数値計算によってわかった。したがって開放井での濃度の観測においてはその変動成分を議論する場合には注意が必要である。

しかしながら、数日程度の期間を取った時間平均値としての濃度値は帯水層内の値に近いのではないかと考える。仮に井戸内に帯水層からの水の出入りが全く無くなった場合には、井戸に設けたスクリーン部分からの拡散によってのみ帯水層内の濃度が井戸内に反映されることになるが、スクリーンの開口率が低い場合には井戸内で上下方向の拡散が卓越し、鉛直分布は一様に向かう可能性が高いと思われる。しかし今回の場合のように移流によって水が出入りすれば時間平均値は帯水層内の濃度値に近いとも考えられる。なお、こうしたことのより詳しい検証は今後の課題としたい。

- 【参考文献】 1)石原(1958)：応用水理学Ⅱ。 2)Inouchi et al. (1990)：J. Hydrology, 115.
3)Li et al. (1999)：Environmental Modeling and Assessment, 4. 4)内山 (2001)：土木学会論文集, 670.
5)Chen and Hsu (2004)：J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 130.