

地下水位潮汐応答の連続観測記録の分析による 淡水レンズ帯水層の水理性状不均質の評価

Heterogeneous hydraulic properties of a freshwater-lens aquifer
evaluated by analysis of continuous tidal fluctuations of groundwater level

○白旗克志, 吉本周平, 土原健雄, 石田聡

○SHIRAHATA Katsushi, YOSHIMOTO Shuhei, TSUCHIHARA Takeo, ISHIDA Satoshi

1. はじめに

地下水開発計画を検討する際には、帯水層の水理性状の把握が必要不可欠である。その方法としてボーリングコア試料を用いた室内試験や現場での揚水試験などが挙げられるが、特に不圧帯水層の場合には揚水試験の影響圏が小さいこともあり、概況把握手法としては効率的ではない。

南西諸島の一部のように、透水性の地層の分布が海水面下に及んでいる島嶼地域では、その内陸の地下に浸入した海水の上に淡水が薄いレンズ状に浮かぶ、いわゆる淡水レンズがみられる。このような地域では農業用水源として淡水レンズの開発利用が期待されているが、石灰質碎屑物等からなる地質に起因する水理性状の不均一性が、帯水層の評価にあたって課題となってきた。

本発表では、白旗ら(2013)が提案したフーリエ級数展開を用いた手法を発展させて、潮位伝播により周期変動する複数箇所の地下水位に適用し、上述のような水理条件にある沖縄県多良間島の淡水レンズ帯水層の広域的な水理性状不均質を評価した結果の概要を報告する。

2. 手法

用いた手法は、①複数観測孔における約1年間の連続水位観測、②フーリエ級数展開を応用した主要4分潮に関する水位調和解析、③2地点水位変動の減衰比および時間差への水位伝播式の適用を順次行い、2地点間の帯水層の水頭拡散率(=透水量係数/貯留係数)を推定するものであり、海岸からの距離が異なる2地点における同じ369日間の1時間1回の水位観測値を用いる。

潮汐変動は色々な周期の正弦振動成分(分潮)の重ね合わせで表され、その伝播により変動する地下水位も同様である。観測された潮位・水位の変動から個々の分潮の振幅と初期位相を求めることを調和解析という。本手法では、主要4分潮と呼ばれる次の周期の成分を対象とした。

- M_2 周期 12.420601 時間
- S_2 周期 12.000000 時間
- K_1 周期 23.934470 時間
- O_1 周期 25.819342 時間

一般に任意の周期関数 $f(t)$ は、次のように表されることが知られている(フーリエ級数展開)。

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n \frac{2\pi}{t_0} t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n \frac{2\pi}{t_0} t \quad (n \text{ は整数}) \quad \cdots(1)$$

$$a_0 = \overline{f(t)} \quad \cdots(2), \quad a_n = 2 \overline{f(t) \cdot \cos n \frac{2\pi}{t_0} t} \quad \cdots(3), \quad b_n = 2 \overline{f(t) \cdot \sin n \frac{2\pi}{t_0} t} \quad \cdots(4) \quad (\text{上線は } t_0 \text{ に亘る平均})$$

非周期関数であっても $f(t)$ が t の有限区間でのみ定義されている場合には、その区間を t_0 とすれば区間内において上の式はそのまま成り立つ。水位の時系列連続観測記録を $(t, f(t))$ として上の関係式を適用すると、観測期間全体を t_0 とするとき周期がその整数分の1 (t_0/n) である分潮成分の振幅と初期位相は、式(3)と式(4)を組み合わせることで容易に求められる。

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering, National Agriculture and Food Research Organization

キーワード：地下水位, 連続観測, 調和解析, 潮位伝播, 水頭拡散率, 淡水レンズ, 多良間島

図1に、水位記録を用いる地点を示す。海岸に近い地点の水位としてA地点の水位記録を用い、内陸の4地点それぞれと組み合わせることにより、島の北西部、西部、南部、東部のそれぞれの帯水層の水頭拡散率を推定した。その際 t_0 を 369 日間 (8856 時間) とすることで、その整数分の1である以下の4つの周期が主要4分潮の周期にほぼ等しいことを利用して、近似的に主要4分潮の振幅と初期位相を算出した。

- M_2 近似周期 $8856/713 \approx 12.4208$ 時間
- S_2 近似周期 $8856/738 = 12.0000$ 時間
- K_1 近似周期 $8856/370 \approx 23.9351$ 時間
- O_1 近似周期 $8856/343 \approx 25.8192$ 時間

2地点の水位記録からそれぞれ得られた4分潮の振幅と初期位相から、2地点間の4分潮それぞれの減衰比と時間差を計算し、不圧帯水層における水位伝播の式を当てはめることにより、8つの水頭拡散率の値が算出される。その平均値を帯水層の水頭拡散率の推定値とした。

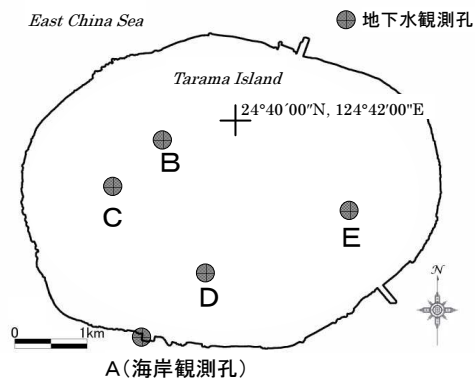


図1 対象観測孔位置図
Location of the groundwater observation holes

3. 結果

推定された水頭拡散率を表1に示す。4箇所について推定された水頭拡散率の範囲は $6 \sim 15 \text{ m}^2/\text{s}$ であった。北西部で小さく東部で大きい明白な不均質性があり、前者より後者の水頭拡散率が2~3倍大きい。

上記の水頭拡散率の範囲に、既往の文献を参考に仮に貯留係数 0.1、帯水層厚さ 45m を組み合わせて得られる透水係数は $1.3 \sim 3.3 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ となり、

これは山田ら (2009) が報告した揚水試験による透水係数 $1.05 \sim 2.91 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ にごく近い。また北西部と東部の間の不均質の傾向は、長田ら (1988) が地質ボーリングと水位観測から整理した島内位置の違いによる透水性の評価と整合する。

本手法による地下水位の潮汐応答観測記録の分析によって、多良間島の帯水層の水理性状の不均質性が裏付けられた。

本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価」(課題番号 91150) の支援を受けて実施した。沖縄総合事務局農林水産部 藤元栄一氏、同土地改良総合事務所 仲間雄一氏、白石晋氏には、同局が実施している調査にかかる地下水観測孔の使用や観測記録の利用を認めていただいた。記して感謝の意を表す。

(参考文献)

- 長田実也・古川博恭・富田友幸・座波吉実 (1988) : 日本地質学会学術大会講演要旨, 95, 420
- 山田茂昭・與那原信夫・祖父江久徳 (2009) : 日本地質学会学術大会講演要旨, 116, 83
- 白旗克志・吉本周平・石田聡・今泉眞之 (2013) : 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 534-535
- 白旗克志・石田聡・吉本周平・土原健雄 (2014) : 農村工学研究所技報, 215, 141-154

表1 算出された水頭拡散率
Calculated hydraulic diffusivities

島内位置		水頭拡散率 (m^2/s)				8つの値の平均値
		M_2	S_2	K_1	O_1	
北西部 (海岸~B)	減衰比から	5.2	5.5	5.2	5.4	5.7
	時間差から	6.8	6.8	5.6	5.2	
西部 (海岸~C)	減衰比から	12.1	11.2	11.9	11.6	12.9
	時間差から	15.9	15.6	13.1	12.0	
南部 (海岸~D)	減衰比から	9.8	9.2	10.1	10.0	10.2
	時間差から	11.9	10.9	9.8	9.4	
東部 (海岸~E)	減衰比から	14.0	13.1	15.5	14.8	14.6
	時間差から	16.3	15.1	14.7	13.6	