

単数観測井と複数観測井の視点に基づく三田川層中地下水の流向・流速に関する検討

佐賀大学理工学部 ○学 岡村美沙 正 日野剛徳

1. **はじめに** 筆者らは、有明海沿岸道路（佐賀福富道路）の建設に伴う地下水モニタリングを行ってきている^{1)~3)}。同道路の建設は最終工区の福富地区に達してきているが、従来の軟弱地盤対策技術であるフロート式深層混合処理工法⁴⁾が成り立たなくなり、後期更新統の三田川層（旧洪積層上面）を支持層とする着底式が採用されることになった。この経緯に伴い、同地層を対象に四角形配置からなる観測井の増設に基づく地下水モニタリングの強化も進められ、従来の観測井ごとの検討⁵⁾のみならず、平面的な検討²⁾が可能になった。本報では三田川層の地下水流向・流速に関する平面的な検討を行い、従来の検討手法による結果との間で比較した。



図-1 観測井の位置（赤点）と地盤調査位置（青点）

2. **観測井の設置状況** 図-1に、2018年度に四角形配置により増設された観測井（赤点）と地盤調査の位置（青点）を示す。観測井9（福富下分1）から時計回りに観測井10（福富下分2）、補助観測井10-a、補助観測井9-aと呼び、以後の検討に臨んでいる。観測井9のストレーナーはG.L.14.7~16.7m、観測井10のストレーナーはG.L.16.9~18.9mの地下水を捉えるように設けられている。各観測井におけるストレーナーの仕様、ならびに観測井ごとの流向・流速の計測（熱量式）は従来の手法¹⁾に従っている。

表-1 各観測井における地下水位の標高 (m)
(赤枠：各年度における最も高い地下水位の計測)

計測年月	観測井9	観測井10	補助観測井10-a	補助観測井9-a
2018年12月	0.28	0.37	0.17	0.26
2019年11月	0.36	0.04	0.64	0.3

3. **流向の平面的検討** 増設された各観測井において、2019年度までの2年間にわたって地下水位が計測されてきている。フリーソフトのGraph-Rを用いてそれらの値をコンター化した。さらに4つの平面を設けることで、流向の検討を重ねた。平面方程式は空間中の3点によって決まるため、4箇所の観測井のうち3箇所を取り上げることで平面の場合分けを行った。各観測井の地下水位に座標(x,y,z)を与え、ベクトルの外積を用いることで平面方程式 $ax+by+cz+d=0$ が得られる。同式から勾配ベクトル $(\partial z/\partial x, \partial z/\partial y)$ が得られ、同勾配ベクトルと座標軸のなす角 θ を xy 平面上における $\theta = \tan^{-1}(\partial z/\partial y)/(\partial z/\partial x)$ として求めた。表-1に、各観測井における地下水位の標高を示す。同結果に基づいて、図-2(a), (b)にコンター化した結果を示す。

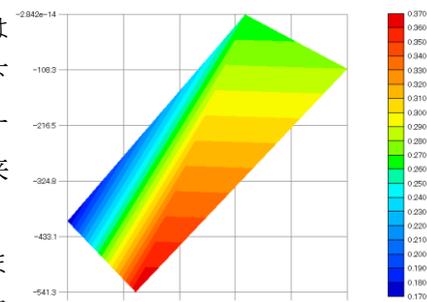


図-2(a) 地下水位の標高(2018年12月)

図-2(b)にコンター化した結果を示す。北方向を 0° とする時計回りの角度を正として、図-2(a)より概ね西(270°)の流向が推定される。図-2(b)では概ね東(90°)の流向が推定された。表-2に、各年月および各平面における流向の結果を示す。図-

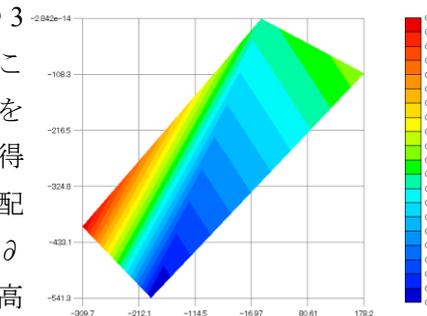


図-2(b) 地下水位の標高(2019年11月)

表-2 平面的検討から得られた流向・流速の推定値
(赤枠：各年度において最も高い地下水位が計測された観測井を含む平面)

計測年月	流向 流速	平面(1) (No.9,9-a,10)	平面(2) (No.9,9-a,10-a)	平面(3) (No.9,10,10-a)	平面(4) (No.9-a,10,10-a)
2018年12月	流向 ($^\circ$)	北 (3.1)	西南西 (241.4)	西北西 (319.0)	西北西 (299.4)
	流速(m/s)	3.4×10^{-8}	1.3×10^{-8}	1.6×10^{-7}	1.7×10^{-7}
2019年11月	流向 ($^\circ$)	南 (183.3)	北 (9.3)	北北東 (39.3)	東南東 (117.1)
	流速(m/s)	8.6×10^{-8}	5.3×10^{-8}	6.8×10^{-7}	5.1×10^{-7}

2(a)の流向は、表-2の2018年度において最も高い地下水位を示した観測井10を含む平面(1), (3), (4)における流向との間で90°程度の差に収まるようになり、概ね北(0°)を示すようになってきた。同様に、図-2(b)の流向は、表-2の2019年度において最も高い地下水位を示した補助観測井10-aを含む平面(2), (3), (4)における流向との間で90°程度の差に収まるようになり、北東(45°)を示すようになってきた。

表-3 単孔・熱量式流向・流速計の結果

計測年月	流向 流速	観測井9	観測井10	合成
2019年1月	流向(°)	東 (102.0)	北北西 (333.0)	北東 (37.5)
	流速(m/s)	1.3×10^{-6}	4.0×10^{-6}	2.7×10^{-6}
2019年12月	流向(°)	西 (276.0)	北東 (57.0)	北北西 (346.5)
	流速(m/s)	8.3×10^{-7}	1.6×10^{-7}	5.0×10^{-7}

4. 流速の平面的検討 流速について、三田川層中の地下水は定常流と仮定し、ダルシー則 $v=ki$ を用いて推定した。平面の傾き i は先述した平面方程式より、 $i = \Delta z / \sqrt{\{(\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2\}}$ として求めることができ、この値を動水勾配 i とみなした。透水係数 k についてもあらかじめコンター化して平面的な傾向を確認するとともに、観測井9の $k=6.9 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 、観測井10の $k=1.4 \times 10^{-4} \text{m/s}$ のように定めた。以上のような方法で得られた流速の結果を表-2に示す。年度、平面の場合分けによらず、 10^{-8}m/s から 10^{-7}m/s 程度の値が推定された。

5. 平面的な流向・流速と観測井ごとの流向・流速の比較 表-3に、観測井9と観測井10における観測井ごとの流向・流速の結果を示す。

図-4(a), (b)には、観測井9と観測井10の両者を含めて成り立つ平面(1)と平面(3)における各流向について図示した。各矢印は、向きの違いのみ意図している。さらに、黒矢印は表-2における各平面の結果に基づく。青矢印は、表-3における観測井ごとの結果に基づく。赤矢印は、表-3における観測井9と観測井10の合成からなる。表-3の結果から、2年間の計測の中で観測井9の流向は真逆の傾向を示した。観測井10は90°内の差に収まった。このように、観測井ごとの結果は幅広いばらつきを伴うが、これらの結果を合成し、平面(1)と平面(3)の検討に基づいて得られている流向との間の比較を行うと、概ね90°内の差に収まることわかってきた。観測井9と観測井10における流速について、2018年度から2019年度にかけて1オーダーの差が認められる。表-2との間で比較すると、2018年度の場合で2オーダーの差が認められる。平面的な検討によって得られる流速に比べ、観測井ごとの計測で得られる流速は過大側にあることもわかってきた。各年度の地下水位と流向・流速の計測時における有明海の潮位(標高)を確かめると、2018年12月の有明海の潮位(標高)は-112~-46cm(大潮・干潮時)、2019年1月は-117~-46cm(大潮・干潮時)、2019年11月は72~124cm(小潮・満潮時)、2019年12月は66~180cm(小潮・満潮時)であった。このような有明海の海象が、計測値のばらつきをもたらしている可能性がある。

5. まとめ 本検討で得られた知見を要約すると、次のとおりである：(1) 地下水位のコンター化に伴い、2018年度は概ね西(270°)、2019年度は概ね東(90°)の流向が推定された；(2) (1)の結果に数値計算的検討を加えることで、前者の推定値は概ね北(0°)、後者の推定値は北東(45°)に収まるようになってきた；(3) 流速は年度・平面の場合分けによらず、 10^{-8}m/s から 10^{-7}m/s 程度の値として推定された；(4) 観測井ごとの流向は幅広いばらつきを伴うが、その合成結果は平面的な結果との間で概ね90°内の差に収まった；(5) 平面的な検討によって得られる流速に比べ、観測井ごとの計測で得られる流速は過大側を示した。

謝辞 本検討は、佐賀県有明海沿岸道路整備事務所による令和元年度受託研究課題「有明海沿岸道路における盛土および基礎技術に関する研究」(研究代表者：柴錦春(佐賀大学))における小課題の一環として行った。記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 速水ら：平成20年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，CD-ROM，pp.391-392，2009. 2) 内川ら：平成21年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，CD-ROM，pp.521-522，2010. 3) 平田ら：平成22年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，CD-ROM，pp.313-314，2011. 4) 伊賀屋ら：地盤工学会誌，地盤工学会，Vol.60，No.8，pp.18-21，2012. 5) Chai et al.: Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 35, No. 5, pp. 2107-2122, DOI: 10.1007/s10706-017-0231-y, 2017.

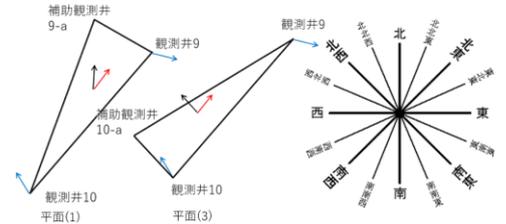


図-4(a) 平面的な流向と観測井ごとの流向の比較 (2018年度)

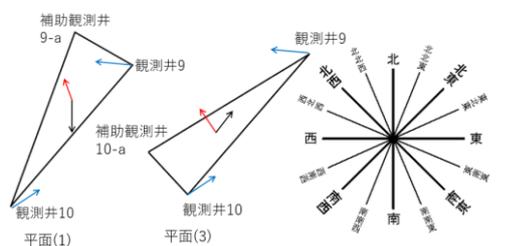


図-4(b) 平面的な流向と観測井ごとの流向の比較 (2019年度)