

矢作川河畔の地下水

理學博士 野 滿 隆 治
工 學 士 都 々 木 春 美
玉 田 博 一

I. 緒 言

三河の國矢作川は内務省名古屋土木出張所の手で數年前から改修中であるが、岡崎市の少し上手の左岸河畔に多量の湧水ある地域がある。而も其水は岡崎レーヨン會社の工場用水に使はれて居る。第1圖に P と記したあたりで、湧水は大部分一本の水路に集まり附近の大門池に流れ込んで居る。地域は川の一彎曲部に當り、その川幅は幾分過小で曲率は過大の嫌があるため、改修に當つては圖の破線で示した様に堤防を多少後退させる計畫になつて居る。然るに豫定堤防線は生憎前記湧水の主要水路上に當るので、名古屋土木出張所長田淵壽郎氏は工事施工前豫め附近地下水調査の必要を感じられ、昭和14年秋筆者の1人野滿に其の調査を委嘱せられ、改修主任技師都々木と協議實行することになつた。本文は爾後約1個年に互り施行した調査結果の報告である。



第1圖 測定地域(P)

II. 地下水流向と等水位線

筆者の1人野滿が此の地點に案内されて第一に注意を惹いたことは、地表の湧出水が河水とは反對に却つて上流に向ふ水路を作り、而もその水量が次第に増加して池の入口では毎秒數個の流勢を示して居ることであつた。それで最初の直觀的印象から、之は普通一般の河畔とは違ひ、河水が直接眞横に堤防の下を潜つて一様に堤内地へ浸透し來るといふよりは、寧ろ主として河川彎曲部の下流某點から浸入し溯上するのではないかといふ豫想を懷いた。若し果して然らば眞とに面白い現象だと思はれるので、先づ調査の手始めとして此の地域地下水の最大浸入點を突き止め、それが如何なる經路を取つて流動しつゝあるかを明かにする事とした。この目的に應ずる最善の方法は地下水位の等高線を作る事である。

矢作川河畔の地下水

仍て我々は此の附近に多數の試掘を施し、水準測量と共に地下水の水頭を測つた。尤も地下水の水頭といつても、試掘中に初めて遭遇する最初の地下水面のみならず、更に4~5米掘鑿して鐵管を挿入した後管内に昇り来る上昇水位をも測つた。説明の便宜上この2種の地下水頭の中最初のを表層地下水位と呼び、後者を中層地下水頭と呼ぶことにする。

施行した試掘の深さは湧水幹線水面下4~5米を超えないけれど、其の數は實に320以上で、更に民間の井戸20數個をも利用して得た地下水位等高線は第2圖(a)及び(b)の様になつた。各測點の數値は第1表(a)及び(b)の通りである。(水位の測定は昭和15年1月11日より13日まで3日間に行つた)。

此の圖の(a)を見れば、豫想の通り上昇水頭の最高部は川の下流點 A 附近から起り、現在の湧水幹線よりも裏側を舌狀に延び恰も山の尾根を張る様に明瞭な分水線を形成して、上流地の大門池に向ひ、中層地下水の大部分がA點から浸入して溯上し、大門池に流入して居ることを示す。又 A 點より上流では、河水が普通の河岸に見る様に眞横に堤防の下を潛入して居ることも明かであるが、然しそれは悉く湧水幹線に放出してしまひ、内野を涵養しては居ない。現在の湧水幹線は地下水位の谷に當り、其の兩側から一面に湧水して居ることが如實に知られる。従つて其の水量が湧水源から末端大門池に近づくにつれ次第に増加するのは當然すぎる當然である。昭和14年12月2日に實測した主水路の流量は第1表の通りであつた。

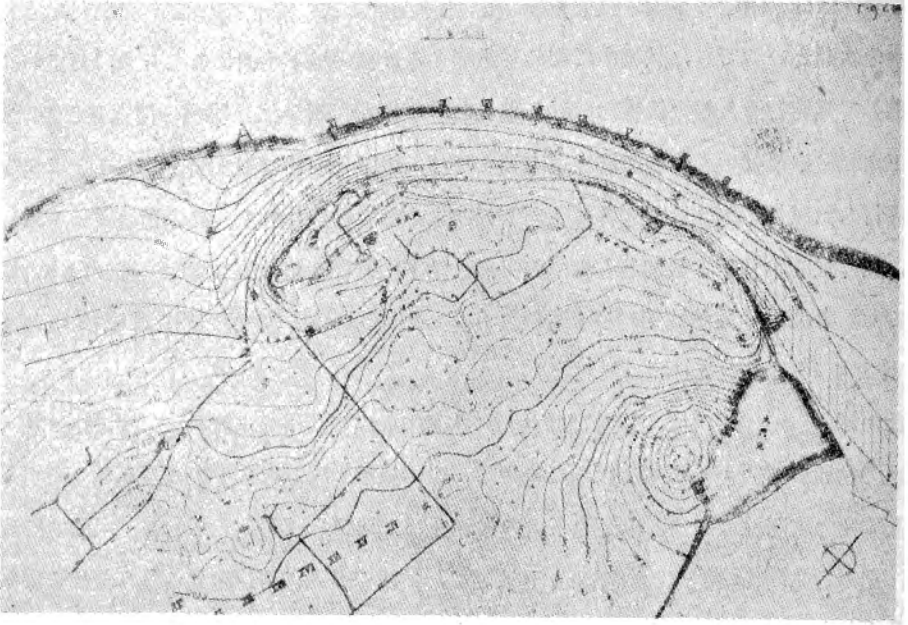
第1表 湧水幹線の流量

測 點 番 號	1	2	3	4
大門池入口よりの距離 (m)	0	25	300	525
流 量 (m ³ /sec)	0.153	0.144	0.098	0.031

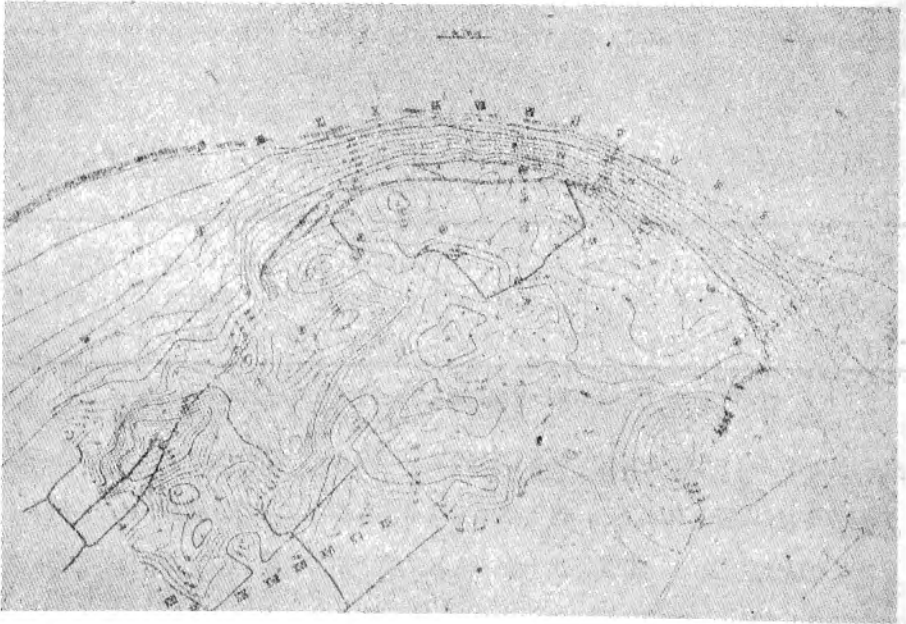
尙大門池にはこの分水線の先端に當るあたりに盛なる湧泉ある由である。

次に第2圖(b)を(a)と比較すれば、大勢は似て居るが、随分違つて居る。例へば表層地下水位(b)は中層上昇水頭(a)ほど整正ではなく複雑で、川の彎曲部下流から浸入して溯上する地點は限られた A 點附近といふよりは寧ろ相當廣範圍に亙つて居ること、又上流部の現湧水幹線に沿うても別に著しい地下水位の谷にはなつて居ずに極めて平板的であること等が目につく。要するに表層地下水も川から堤防下を潛つた後大部分は主水路に湧出するが、残りの幾分は主水路より新たな補給をも受けて内野へ流れ行く傾向が見える。

●矢作川河畔の地下水



(a) 中層上昇水頭



(b) 表層地下水位

第2圖 矢作河畔の地下水位等高線

水と陸の境界の地すべり

第1表 (a) カーガー試錐個所に於ける中層上昇水頭並井戸水位一覽表
 對稱圖面番號 Fig. 2 (a) () 内は井戸の水位 各水位は東京灣中等潮位上の高さにて表す

No.	Line	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
a		17.42 ^m	17.45 ^m	17.44 ^m	17.37 ^m	17.38 ^m														
b		17.36	17.33	17.35	17.30	17.43	17.49													
c		17.19	17.20	17.27	17.35	17.43	17.47													
d		16.54	16.37	16.47	16.62	16.76														
e		16.64	16.51	16.32	16.28	16.16	16.20	16.11	16.10	16.08	16.64	16.11	16.11	16.28	16.41	16.57	16.72	16.88		
f		16.30	16.30	16.03	16.08	16.35	16.56	16.64												
g		19.85	17.46	17.74	17.65	17.47	17.14	16.87	16.50	16.48	16.64	16.77	16.39							
h		19.79	17.62	17.97	17.88	17.78	17.57	17.44	17.24	17.06	16.73	16.74								
i		19.78	17.63	17.89	17.98	17.84	17.63	17.55	17.42	17.20	17.05	17.04								
j		19.67	17.65	17.71	17.80	17.80	17.68	17.63	17.52	17.53	17.44	17.37								
k		19.61	17.70	17.82	17.84	17.86	17.83	17.74	17.63	17.61	17.51	17.37								
l		19.55	17.72	17.81	17.91	17.99	17.88	17.78	17.71	17.65	17.61	17.57	17.54							
m		19.49	17.79	17.73	17.87	18.10	17.93	17.97	17.91	17.81	17.73	17.62	17.50							
n		19.48	17.77	17.78	17.77	18.15	18.13	17.89	17.84	17.78	17.63	17.56	17.50							
o		19.37	17.86	17.76	17.78	18.24	18.13	18.11	18.11	18.04	18.03	17.65	17.89	17.96	17.96	17.69	17.69	17.68	17.74	
p		19.31	17.85	17.76	18.05	18.27	18.24	18.11	18.19	18.02	17.96	17.82	17.81	17.76	17.76	17.76	17.72	17.68	17.68	17.74
q		19.25	18.20	17.80	17.80	17.87	18.32	18.16	18.24	18.32	18.29	18.08	17.76	17.77	17.74	17.76	17.72			
r		19.19	17.97	18.02	17.97	17.97	18.31	18.31	18.24	17.87	17.75	17.71	17.64							
s		19.13	18.95	18.12	17.84	18.04	18.11	18.31	18.23	18.11	17.97	17.61	17.67	17.64						
t		19.06	18.89	18.52	18.38	18.37	18.28	18.24	18.15	17.72	17.67	17.51	17.47							
u		18.63	18.30	18.30	18.26	18.27	18.19	18.12	18.17	17.76	17.62	17.47								
v		18.99	18.60	18.56	18.34	18.36	18.27	18.20	18.17	18.05	17.79	17.62	17.59	17.45						
w		18.93	18.57	18.41	18.44	18.32	18.28	18.10	18.05	17.97	17.75	17.60	17.57							
x		18.44	18.34	18.24	17.85	17.92	17.90	17.76	17.78	17.85	17.53									
y		18.87	18.51	18.41	18.32	18.10	17.87	17.78	17.68	17.76	17.79	17.58								
z		18.46	18.40	18.17	18.06	17.80	17.67	17.52	17.81	17.65	17.61	17.44								
aa		18.35	18.37	18.15	18.13	17.88	17.68	17.56	17.57	17.82	17.48									

尚 IX₂ と X₂ の中間の點 17.98 X₂ と XI₂ の中間の點 18.16

矢作川河畔の地下水

第一表 (b) ナーガート試験箇所における表層地下水水位一覽表 對稱圖面番號 Fig. 2 (b) 各水位は東京灣中等潮位上の高さにて表す

No.	Line	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
a	m	16.68	16.71	16.59	16.97	15.86	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
b	m	16.71	16.68	16.48	16.78	16.80	16.19														
c	m	16.55	17.00	17.07	16.40	16.96	16.51														
d	m	16.53	16.37	16.47	16.60	16.37															
e	m	16.60	16.36	16.14	16.28	16.37	16.19	16.11	16.10	16.08											
f	m	16.17		16.08	16.08	16.08	16.56	16.44	16.27	16.48	m	16.72	16.88								
I	m	19.86		17.30	17.20	17.08	16.98	16.91	17.09	16.15	16.72	16.71									
II	m	19.79		17.92	17.79	17.64	17.60	17.41	17.36	17.10	16.68	16.86									
III	m	19.78		17.64	17.60	17.57	17.56	17.49	17.36	17.10	16.68	16.86									
IV	m	19.67		17.47	17.36	17.71	17.37	17.18	17.18	17.16	17.10	16.83									
V	m	19.61		17.25	17.06	17.34	17.60	17.27	17.11	16.85	16.47										
VI	m	19.56		17.18	17.11	17.73	17.47	17.07	16.64	16.93	16.47										
VII	m	19.49	17.48		17.85	17.28	16.98	17.32	17.17	16.07	16.89	16.89	16.45								
VIII	m	19.48	17.44		17.22	17.31	17.13	16.61	16.72	16.51	16.68	16.68	16.80	17.45							
IX	m	19.37	17.57		17.69	17.63	17.29	17.50													17.12
X	m	19.31	17.76		18.05	18.18	17.36	17.07	17.50	16.97	16.70	16.87	17.89	16.96	17.45						
XI	m	19.25	17.93		18.05	18.18	17.36	17.07	17.50	16.97	16.70	16.87	17.89	16.96	17.45						17.57
XII	m	19.19			17.29	17.24	17.07	16.86	16.97	16.70	16.87	17.89	16.96	17.45							
XIII	m	19.18	18.84	17.24	17.00	17.20	17.38	17.41	17.88	17.22	16.50	15.46	16.24	16.49							
XIV	m		18.72	18.23	17.46	17.83	17.99	17.43	17.83	16.12	15.82	15.59	15.36								
XV	m	18.47		16.88	17.68	17.53	17.54	17.51	17.74	16.26	15.90										
XVI	m		18.61	18.34	17.70	17.66	17.26	17.00	17.04	17.04	16.92	16.71	16.49	15.69							
XVII	m		18.51	18.01	17.84	17.21	17.08	15.50	16.88	16.76	16.03	15.50	16.30								
XVIII	m	18.15	17.91		15.18	16.01	16.38	16.83	16.79	15.46	15.95	16.28									
XIX	m		18.47	17.90	17.70	15.61	15.18	16.02	17.24	16.31	17.15	16.28									
XX	m	18.47	17.88	17.27	17.57	15.71	16.07	15.95	16.40	16.69	16.69	16.08									
XXI	m		17.74	16.84	17.89	17.49	15.57	15.61	16.47	15.31	15.60										

VI₁ と VII₂ の間の點 17.42 VI₂ と VIII₂ の間の點 17.48 VIII₁ と IX₂ の間の點 17.45 VIII₁ と IX₁ の間の點 17.48
 IX₂ と X₂ の中間の點 17.60 X₂ と XI₂ の中間の點 17.83 X₁ と XI₁ の中間の點 17.75

矢作川河畔の地下水

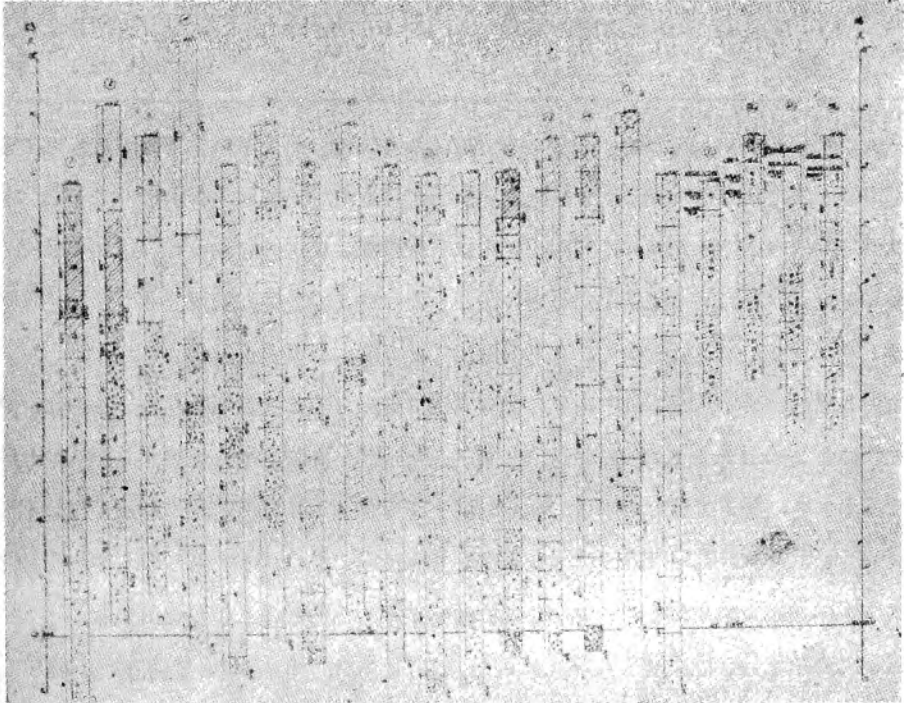
尙諸所に等高線が天気圖の低氣壓や高氣壓部の様な閉鎖曲線をして散在して居る。其の内中央部の低くなつたもの(大圓寺南と北の如き)は表層地下水の湧出箇所なるを示し、中央部の高くなつたものは中層地下水が表層地下水中に上昇混入し其の水位を高めて居ることを示す。只大門池近くの綺麗な眼玉状コントア・ラインは言ふ迄もなくレーヨン會社取水井の作用によるもので、地下水學上に必要な一つの井戸實驗をして呉れて居ることになる。この井戸の取水量は會社の説明によれば、

大門池内の1號井より池の表面水を約 $0.03 \text{ m}^3/\text{sec}$	} 合計 $0.10 \text{ m}^3/\text{sec}$
1, 2, 3 號各井戸より地下水を 約 $0.07 \text{ m}^3/\text{sec}$	

汲出して居るとのことであるが、筆者の1人玉田が唧筒のマノメトリック水頭及び電動機の出力から推算して見ると $0.143 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。仍て兩者の平均 $0.121 \text{ m}^3/\text{sec}$ 即ち 4.35 個が全取水量で、其の7割が地下水から汲み上げられて居ると見てよからう。

III. 地層の構造と透水係數

前述の如く、此の地域の河水滲透が河岸の大部分に於ては比較的弱く、彎曲部下流の一



第3圖 コア・ボーリングによる地質調査と各層の透水率

矢作川河畔の地下水

小部分に於て最も著しく而もそこから上流に向け河岸よりも相當離れたところを溯上して居るといふことは、眞に面白い事實といはねばならぬ。然らばどうして斯かる現象が起り得るか。

吾々は此の現象の原因を地層の關係で透水性に差異ある爲だと思ふ。實際、地水位測定用の試掘でも、A點附近が表面より下まで全部透水性多き砂礫層から成り、其の上流部では堤防と湧水幹線の間あたりに粘土層の地下數米まで夾在して居ることの多いことを知つたのである。そこで更に之を確める爲め、A點附近から上昇水頭の最高分水線に沿ひ10點夫れを夾んで兩側に6點、都合16點を選びコア・ポーリングを施し地下約10米までの土砂を完全に採集して、地質の相違を検討し且つ夫れ等の透水係數(Permeability)を特別装置で測定した。試掘地點は第2圖(a)中に丸に番號を書込んで示し、其の地質と透水係數とは第3圖に之を示す。透水係數の値は第2表の通りである。

第2表 各層の透水性

層の種類	1 粗砂交り 砂利	2 砂利交り 粗砂	3 稍粗き砂	4 褐色粗砂	5 赤色粗砂	6 褐色砂	7 白灰色 粗砂	8 土交り 細砂	9 細砂交り 粘土	10 粘土
透水率 (cm/sec)	0.247	0.200	0.153	0.106	0.073	0.038	0.0014	0.0008	3×10^{-5}	5×10^{-6}
測定時 水 温	20°C	19°	22°	22°	20°	21°	22°	21°	22°	22°

之を以て見ると果して豫想の通りであつて、A點に近い第4號試掘では地表から下まで全部砂層か礫で最も透水性が大きい。之に反し其の上流堤防部湧水幹線附近の第5, 7, 10號試掘では地表下4米乃至2米の粘土層を以て蔽はれ、粘土層の稍々薄い第10號地はその下の砂礫層が案外に透水係數小なるものばかりである。この様な状況であるから河水の浸透が上流部堤防では比較的少く、A點附近にて最も著しい理由が首肯される。

次にA附近を潜つた地下水の主なる部分が第2號點と第5號點の間をぬけるのは、第2號點は地下2~4.3米と6.30~6.80米とに粘土層があり、5號點でも地表から3.80米も厚い粘土層があり、第1號點でも厚さ3.30米の粘土層をかぶつて居て、水の通過が幾分不自由な爲めであらう。5號點附近及び2號點南から1號點にかけ湧水を見るのも亦粘土層介在により水の通過困難なため、一部を地表に湧出するのであることが想像出来る。

最後に地下水分水線に沿つた第6, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16號試掘は、堤防寄りの第5, 7, 10號試掘に比して、遙に透水層が厚く且つ概して粒の大きな粗砂礫層が多い。その事情が分

水線の出来る由来を説明して呉れるではないか。勿論大門池が上流部の地下水を吸入する作用も加はつて地下水の溯流を助長するのではあるが。

IV. 上下地下水頭の差, 透水層の厚, 地下水量, 其他

第2節に述べた如く、本地域の表層地下水位と中層地下水頭の間には随分相違がある。途中に粘土層が夾まつて居る所ならば、其の上と下とで水頭に差があつても常識上當然であるが、然し吾人の場合には、途中に粘土層のない一連の透水層なる地點でも何十種といふ水頭差がある所も多いのである。かかる事柄は吾人の寡聞かも知れぬが従來の地下水學上には餘り記載を見ないことである。故に最初は多少の疑問を懷き、再三精密な水頭測定を繰返して見たが、寧ろ砂礫粒の異なる毎に水頭に差のある傾向が確認された。そこで翻つて考へると、矢張り之は當然のことであつた。蓋し本地域の様に地下水が主もに河岸の一點から導入せられ強力な水脈を成して内野に浸入する場合には、恰も穴開き鐵管を砂層中に埋没し之に高水頭の水を流すに似て、鐵管から迸出する水は砂層内に地下水を形成するが、廣い砂層に擴がり流れ去るがため、鐵管外の水頭特に表面水位は固より鐵管内の水頭よりは著しく低下される様なものである。か様な理由で本地域の地下水頭は一般に、地表より下まで一連の透水層なる箇所でも、中層地下水頭が表面水位より高いのであらう。

次に本地域の透水層の全體の厚を推定しよう。吾々の試掘は普通4~5米、深きも10米内外に止まり、所謂地下水床(Wassertragende Sohle)を突き止めて居ない。試掘中全然粘土層に遭遇せなかつた場所も多いが、途中に粘土層を見た場合でも夫れは局部的に散在するレンズ状のもので地域一面に互るものでない。然し或深さまで行けば少くとも一層は全地域に互る不透層がなければならぬ。そして夫れは、此の地が三河灣の一部を埋めた沖積地であることから、往時の海底泥土層であらうかと私共は想像する。兎もあれ此の地域の透水層全部の厚さは如何程であらうか、井戸實驗によつて推定しよう。

井戸理論によると、透水係數 κ 、厚さ H なる透水層に充滿せる不壓地下水に井戸を設け單位時間毎に Q なる水量を汲出し定常状態になつたとき、井戸より距離 r_1 、 r_2 の地點に於て水位の降下 δ_1 、 δ_2 ありとすれば、

$$\kappa H \div \frac{Q}{2\pi(\delta_1 - \delta_2)} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

となる筈である。吾々は目下三四點で理想的な井戸實驗を施行中であるが、未だ完了しないから茲では第2圖中のレーヨン會社取水位の影響を利用して大略の推算をして見る。池中の井戸は別とし、陸上の三井から汲出して居る水量は既述の如く毎秒 $0.121 \times 0.7 = 0.085$ 立方メートルの割合である。二井の重心から10米と40米距離に於ける平均 $s_1 - s_2$ を圖上で求めると0.4米程度になる。又 μ は第3圖中に記入せる値から平均0.0015米/秒とする。さすれば

$$H = \frac{0.121 \times 0.7}{0.0015 \times 2\pi \times 0.4} \ln \frac{40}{10} = 30.5 \text{ 米}$$

勿論此の井戸は透水層の底まで掘り下げた所謂完全井ではないから、水位低下の割に汲出量が大きくなく、従つて H は一二割過小に出て居るかも知れぬ。其の點を考慮しても本地域の透水層全體の厚さは30~40米程度だらうと考へられる。之は往時の海底の位置としても無理でない。現在の三河灣は深い處で10米内外だし、現地域の標高は20米未滿だからである。

次に地下水流であるが、方向は水位等高線に直角で、流量は水位勾配と透水係數とに比例するのであるから、河岸一面から浸入する表層2米位までの水は第2圖(b)で分る通り大部分湧水幹線に放出せられ、極小部分だけ其のフロントを大體河岸に平行に保ちつゝ内野に押して行く。たゞ川の彎曲部A點附近から浸入した表層水は、明かに湧水幹線の裏側へ中途までは溯上の模様が見えるけれど、餘り上流までは届いて居ない。

次に中層(湧水幹線水位以下4~5米邊)は第2圖(a)によると、湧水幹線の處が地下水頭の谷となり、上流部河岸から來る水の全部と下流A點附近から浸入溯上する水の一部とをこゝに放出し、内野に於ては主として溯上した水の殘部によつて涵養されて居ることが分る。

更に深部はコア・ボーリングの數が僅か16しかないので到底水頭分布圖を描くに足らず水平流動の狀況は今の處不明といふ外はないが、それでも第3圖を参照すれば、水頭が一般に中層部より低くなつて、殆んどどこも湧水幹線水面以下となつて居ることは注目に値する。即ち之によつて前の中層部以下の水は地表に湧出することなく、否却つて幾分下降しつゝ最深部の水を涵養して居ることが分る。

それで現在湧出して居る水は幹線水路以下5米までの表層乃至中層水であるとして、其の水量 Q が水面勾配 i 並びに實測の透水係數 μ から算出したものと大體一致するかど

矢作川河畔の地下水

うかを見よう。コア・ボーリング第5號點から第16號點まで直距離400米の湧水幹線へ河岸からの水頭勾配平均は第2圖によつて約1/25, 又裏側中層水分水線から幹線水路への平均水頭勾配は1/55で, 透水率は平均0.00152 m/secであるから, 公式

$$Q = \kappa A i, \quad (A = \text{斷面積})$$

によつて Q を計算すると

$$\text{河岸から } Q_1 = 0.00152 \times 400 \times 5 / 25 = 0.122 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{裏側から } Q_2 = 0.00152 \times 400 \times 5 / 55 = 0.055 \text{ "}$$

合計 0.177 m³/sec となり, 實測量 0.153 m³/sec と程度は一致する。

尚ほ終りに, 以上の諸測定は大體冬期1月に行つたが, 更に夏季6月14日レーヨン會社取水井附近の水位を再調査したところ, 冬よりも60糎ほど上昇して居た。然るに湧水幹線附近は殆んど變りなく, 河水位は18 cm 程低かつた。之は恐らく透水係数が温度の上昇によつて幾らか増大した爲め一定の井戸取水量に對し水位勾配が減少するためである。

V. 結 論

以上所説の内, 重要と思はれる點を摘記すれば

1) 河岸の地下水は河岸一面から均等に浸入すると限らず, 或一局部から特に多量に浸入して内野の裏側に廻り水頭最高なる分水線を形成することがある。特に川の彎曲部では河底の沈澱泥土に差があるから左様な現象が起り易く, 且つ分水線が河の流向とは反對に溯上することさへあり得る。

2) 地下分水線と河岸との間には必然的に多量の湧水を見るであらう。

3) 一連の透水層に於ける水頭は, 從來各深度とも均一と考へられる傾向があつたが, 本地域に在つては表層から下層まで砂礫であつても水頭が深さにより異なることを發見した。之は將來念頭に置くべき大切なことと信ずる。

4) 一定量汲出しの取水井周圍の水位は, たとへ其の地下水源(河川湖沼等)の水位が低下しても却つて上昇することもある。それは地層の透水率が温度によつて變化するからであらう。

5) 本地域透水層全體の厚さは大體三河灣底と同深度まである様で, 其處は往時の海底跡ではあるまいか。

矢作川河畔の地下水

- 6) 現在の湧水量は主水路面下4~5米までの處に河岸から浸入した地下水である。

本研究は、名古屋土木出張所長田淵壽郎氏が特殊地域の工事に當つては豫め細密なる科學的調査の必要を感じられ、筆者等に懇懇せられたもので、茲に同所長の心構へに對し滿腔の敬意と謝意とを表する。