

論 說 報 告

第 25 卷 第 5 號 昭和 17 年 5 月

緩速式砂濾過法の濾過機能に對する實驗的考察

正會員 工學博士 醫學博士 廣 瀬 孝 六 郎*

目 次

第 1 章 總 論	第 3 章 砂層厚に就いて
第 2 章 濾過速度に就いて	1. 砂層厚の影響
1. 濾過速度の影響	2. 試驗濾池
2. 試驗濾池	3. 濾水々質
3. 濾過の均等性	4. 砂層内の状態
4. 濾水々質	5. 總括及結論
5. 砂層内の状態	第 4 章 總 結 論
6. 總括及結論	

要 旨 著者は昭和 14 年 10 月 20 日の本學會創立 25 周年記念講演會に於て、「緩速式砂濾過法の濾過速度に就いて」なる題下に講演を行つた。其梗概は第 25 卷第 12 號に登載されたが、當時實驗が完結に至らなかつた事は甚だ遺憾であつた。其後實驗完結に就き直に本誌に全文を發表すべく手續きしたが、都合で實現の運びに至らず、水道協會雜誌第 86~89 號に「砂濾過法の基本問題に關する實驗的考察」なる題下に、主として其前半（第 86 號、87 號に登載の分）に發表したのである。本文は其後引續き行つた實驗を附加した爲に、題目を上記の様に變更したが、其要旨は從來確然たる説明のなかつた濾過機能に對して、濾過速度と砂層厚とに關する 2 實驗を基礎として、之に或る程度の説明を加へ、之により全く無方針に行はれ來つた緩速式砂濾過法の作業に對して、一種の指針を與へんとするものである。但講演の分は、第 2 章「濾過速度に就いて」に包含されて居るが、之は當時の梗概に僅かに筆を加へ、未了の實驗結果と總括及結論とを附加したに止まり、大半が當時の發表と重複して居る事と、全體の記載は極度に簡單明瞭を旨とした事とは、前述の通り全文發表の機を得なかつた爲の、誠に止むを得ざる事情によるものではあるが、或ひは論旨の不徹底を恐れるもので、此點は會員諸賢の御諒承を乞ふ次第である。

第 1 章 總 論

緩速式砂濾過法の濾過機能に就いては、本法の既に 100 年餘を經過せる歴史、淨水法としての比類なき確固たる地位、上水道界に於ける目覺ましき普及發達にも拘らず、未だ不明なる點が多々ある。例へば其機能の行はれる部分にしても、表面に生ずる濾過膜と稱する薄層のみであるとする説と、表面薄層のみならず、下部砂層も亦濾過作用にあづかる事大なりとする説とがあるが、前説は古くより唱へられ、後説は比較的新しいものである。又作用其ものに就いても、生物學的説と機械學的説とがある。前者は生物による物理化學的作用を主に考へ、後者は篩による機械的作用を主として居る。かくの如く種々の意見が對立し、中には其折衷説を主張するものもあり、混沌たる状態にある。

從來濾過機能に關して確實に分つて居る事柄は、主に濾過による經驗や結果である。例へば濾過開始後相當の時日を経て、始めて完全なる濾過機能を現す事、又濾水としては細菌數の減少と、濁度即ち浮游質の減退とが特

* 東京帝大教授兼厚生科學研究所教授

徴で、溶解質の如きは殆んど變化のない事等は明らかにせられて居る。従つて之等の事實から或る程度迄は、濾過機能の本態を探る事も可能であるが、併し之を以て全貌を闡明する事は不可能である。

然らば直接濾過機能其もの本態を衝く意味を以て、之を理論的に解析し、又實驗的に例へば顯微鏡下に探究する事も、勿論有力なる研究方法ではあらう。併し濾過は餘りに微妙であり又複雑である爲か、従來は少くとも以上の如き方法では、満足なる解決が得られなかつた。

今濾過速度の大小が如何なる影響を及ぼすか、砂層厚は如何との 2 方面から實驗的研究を進め、之に依り濾過機能其ものに對する従來の説明に補足を加ふると共に、其知見を實際に應用して、濾過作業の運營方法に對する一指針を與へんとするのが、本文の主なる目的とする所である。

第 2 章 濾過速度に就いて

1. 濾過速度の影響

I. 緒言

濾過速度の大小が、緩速式砂濾過法に及ぼす影響に就いては、餘り確實なる結論は得られて居ない様である。併し研究が絶無なわけではなく、古く 19 世紀の終り頃 Zürich に於いて、綺麗な湖水を原水として用ひて、3~12 m/日 の範圍の濾過速度であれば、濾水々質に變化のない事が認められて居る¹⁾。次いで 20 世紀に入つてはアメリカに於て、Fuller, W. B. 氏²⁾ Hardy, E. D. 氏³⁾、本邦に於ては、仲田聰治郎氏⁴⁾、岩崎富久博士⁵⁾の研究があるが、何れも其の結論は、濾池の構造や作業を多少考慮すれば、濾過速度は或る程度迄増大しても差支なからうといふ事になつてゐる。數年前水道協會の委嘱に係る水道研究会内濾過速度調査委員會に於ける調査研究の結果は、一定の結論に到達せず、「各地上水道の濾池に適用し得べき濾過速度の許容限度は、原水の性質に應じ決定すべきものなり」として居る。本章は濾過速度の影響を考察せんが爲に、東京市水道局徒橋淨水所内試験濾池を用ひて、比較實驗を試みたものである。

II. 比較考察方法

濾過速度の濾過に及ぼす影響としては、次の 3 方面から實驗の上、比較考察を進めたいと思ふ。

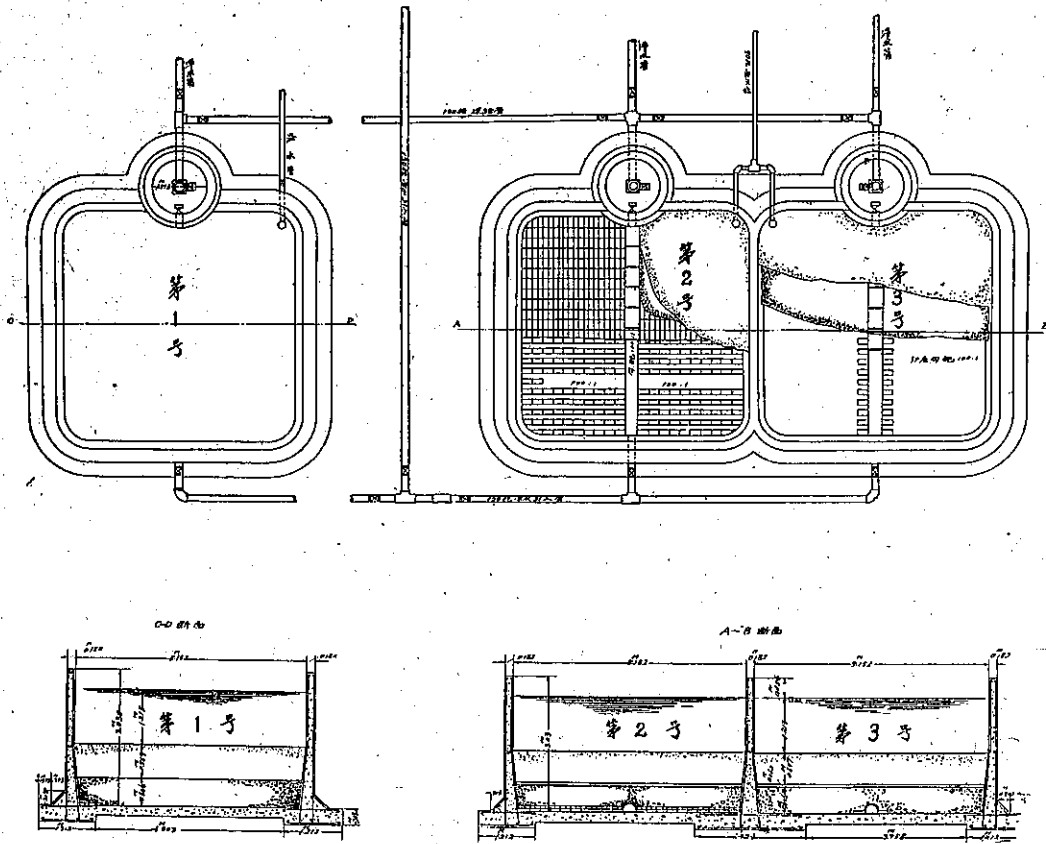
- 1) 濾過の均等性：濾過が均等に行はれるか否かは、従來屢々疑問とされてゐたものである。之は地下水の流速測定法に準じ、電解質を用ひる電氣的方法によつて實驗を行ふ。
- 2) 濾水々質：上記試験濾池の内 2 池が、同構造であり同能率を示す事を確めた後、同時に異なる濾過速度を以て作業し、細菌除去の状態を比較する。従來の百分率ではなく、著者の新表現法による細菌除去能率を用ひて、統計的考察を加へる。尙附加として、濁度と生物の出現を比較する。
- 3) 砂層内の状態：水理と水質兩方面から觀察する爲に、壁を通して砂層内に數多の細管を挿入し、他端を外に導き鉛直硝子管と連絡し、水頭の砂層内に於ける分布と其時間的變化の状態、及砂層の各深さから採取した水の淨化程度を調べる。之を各種の濾過速度に就て行ふ。

2. 試験濾池

I. 實驗設備

- 1) 濾池：前記試験濾池 3 ケの内、全く同構造である所の第 1 號と第 3 號とを、比較實驗用として使用した。面積各約 5 m 平方である。3 池は圖-1 に示す通りである。

圖-1. 試 験 濾 池



2) 濾過速度調節：第1號濾池に於ては、圖-2 に示す如く、矩形缺口を有する栗木式調節機によつた。第3號も最初同機によつたが、その不完全なる事を發見したので、水平孔口によるものと取替へた。この事は II. 豫備實驗で述べる。

3) 原水はすべて同浄水場で實際濾池用として使用してゐるものを、其儘分譲を乞ふて用ひた。従つて濁濁甚だしい場合は、硫酸礬土が混入してある。

II. 豫備實驗

目的は濾過速度調節の正確度を檢するにある。

1) 第1號濾池：本池の栗木式調節機では、缺口上溢流量のみならず、更に濾過水頭の増加と共に、徐々に下降する缺口附屬の内管と、之を圍む外管との間の磨り合せを通る漏水量を、附加考慮せねばならない。先づ缺口上の溢流水を第2號濾水溜に導き、其中の水位上昇の高さと時間とを計測して、溢流量を出す。但じ之から漏水量を差引く事は勿論である。同時に缺口上溢流水深を測定して、各種公式により流量を計算すると、沖公式が最もよく適合する事が分る。次に溢流水深が濾過の終始を通じて、一定か否かを見る爲に、缺口斜前水上に小函を浮べ、其中に自記装置を備へて、缺口側壁の一に固定させたペンを以て、缺口と水面との相對的高低差を自記させた。結果は第1號濾池に於ては、1~2 mm の差を示すに過ぎないが、第3號では濾過水頭の増加と共に溢

流水深を増し、甚だしきは 10 mm の差を示す事を発見した。漏水量は濾過を一時全く中止して、各種水頭下
上記と同様漏水を第 2 號濾水溜に導いて、測定した結果の平均値を採用する。

2) 第 3 號濾地：本池の栗本式調節機は、前述の通り誤差甚だしき爲に、圖-3 に示す如き水平孔口による調
節機と取換へた。各種直径の孔口を備へ、其流量は一定水頭下に検定を行ひ、必要に応じて孔口を取換へ使用す
る。但し之に漏水量を加へて、始めて實際濾水量を得る事は言ふ迄もない。

3) 誤差の計算：以上の如き濾過速度調節装置によつて、實際濾過の調節を行つた場合に、希望の濾過速度に

圖-2. 栗本式調節機

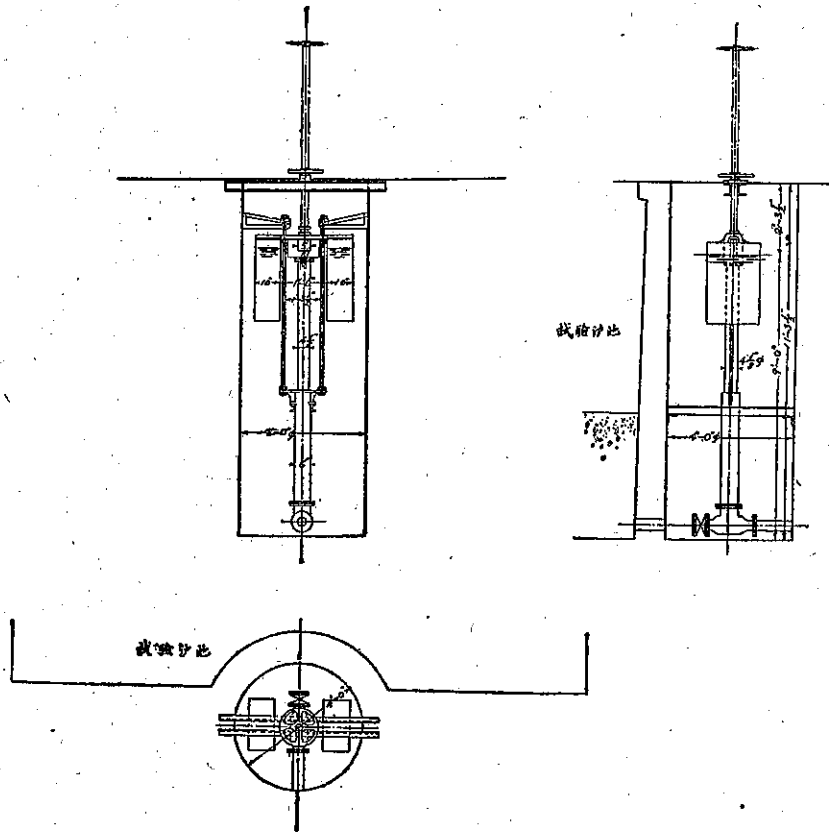


表-1. 濾過速度の誤差

濾池番號	濾過速度 (m/日)	所要水頭 (mm)	水頭の最大誤差 (記録による) (mm)	水頭による誤差 (%)	漏水による誤差 (%)	全誤差 (%)
第 1 號	3	21.6	1.0	7.0	4.6	11.6
	6	34.6	2.0	9.0	2.3	11.3
	9	46.2	1.0	3.2	1.5	4.7
第 3 號	3	495	14.0	1.3	8.5	9.8
	6	495	14.0	1.3	4.3	5.6
	9	495	14.0	1.3	2.8	4.1

對してどの位の誤差を生ずるかを檢するに、表-1 に示す通り、假りに 3 m/日 の濾過速度に調節した場合に、第 1 號濾池では約 11%，第 3 號濾池では約 10% である事が分つた。

3. 濾過の均等性

濾過が果して均等に行はれるか否か、一部の水が最小抵抗の部を通つて速かに逃れ去りはしないかとは、從來から屢々疑問とせられた所である。特に側壁と濾砂との接觸面が最小抵抗の箇所として、所謂側壁影響なる言葉も、一部の間には用ひられて居る。今電解質を原水に附加して、それが濾水として表はれる迄の時間を、電解電流の變化により測定して、推定實際濾過速度を算出し、之が實際濾過速度より大なれば、濾過は不均等なりとし、兩速度が略々等しければ濾過は均等なりと考へる。其爲には實際濾過速度を略々正確に知らねばならぬ。

I. 豫備實驗——所謂濾過速度と實際濾過速度との關係

所謂濾過速度とは、濾水量を濾過面積で除したもの、實際濾過速度とは、砂層内で濾水の濾過面に直角方向の流速を言ふ。

1) 所謂濾過速度から實際濾過速度を求むる法

大別して次の 2 法が考へられる。

- i) 理論的方法：之は濾砂の間隙率を求めて、流速が斷面積に反比例する事から、實際濾過速度を算出する。
- ii) 實驗的方法：之は小規模濾過装置により、濾過速度を調節して、實際濾過時間を後述の方法で測定して、實際濾過速度を得る。

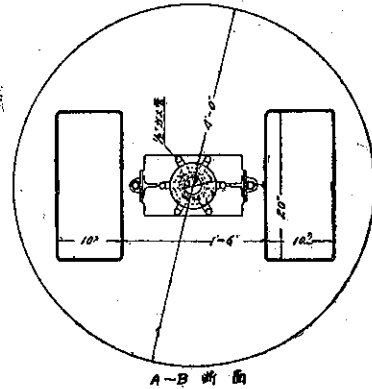
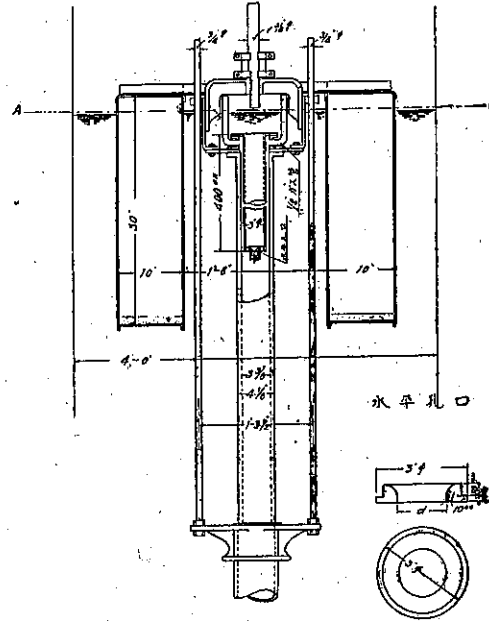
2) 理論的方法による實際濾過速度

- i) 間隙率そのものに、理論的と實際的との 2 つが考へられる。
- ii) 理論の間隙率とも稱すべきは、濾砂を乾燥後見かけの比重と眞比重とから、間隙率を算出するもので、之より得る實際濾過速度の値は、所謂濾過速度の 2.38~2.62 倍位である。
- iii) 實際の間隙率とも稱すべきは、乾燥砂を充填した容器の中に水を逆流させて、其の間隙率を測定するもので、之より得る値は所謂濾過速度の 2.93~3.30 倍位である。

3) 實驗的方法による實際濾過速度

- i) 之は内徑約 6 cm の硝子圓筒濾過装置により、既述の電解質を用ひる電氣的方法によつて、各種の濾過速度の下に、原水が濾水に表はれる迄の時間を計測して實際濾過速度を算出した。
- ii) 其の結果は實際濾過速度と所謂濾過速度との比は、圓筒中央に於ては 2.41~3.01、側壁に於ては 3.23~

圖-3: 水平孔による調節機



3.71 の間にある。中央に於けるよりも、側壁に沿ふて水が幾分速かに濾過されるものゝ様である事は、副結果ではあるが注目し得る所である。

iii) 濾過速度の大小による影響は、中央も側壁も何れも濾過速度を増大すると共に、ii) に述べた比も大となる傾向が見える。但し試みた濾過速度は、何れも 50 m/日 以下である。

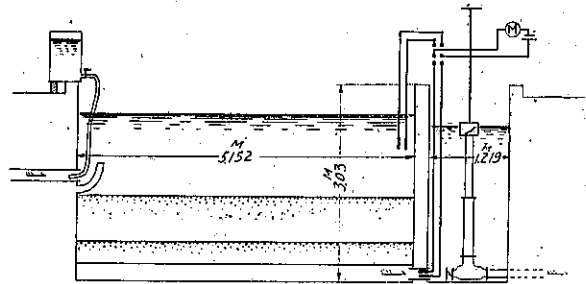
4) 實際濾過速度の値

本豫備實驗の目的たる實際濾過速度の値としては、大略所謂濾過速度の 3 倍前後と見做して、大過ないものと信ずる。

II. 試驗濾池實驗

1) 實驗設備と方法：前記試驗濾池第 1 號又は第 3 號を用ひ、電解質を用ふる電氣的方法により、原水が濾水として表はれる迄の濾過時間を測定して、推定實際濾過速度を算出し、之が前記實際濾過速度より大なれば、濾過は不均等なりとし、兩時間が略、等しければ、濾過は均等なりと考ふ。其の實驗設備を圖示すれば、圖-4 の様である。

圖-4. 電氣的方法による實驗設備



2) 豫備實驗——擴散の影響：之は原水に食鹽を約 0.3% の割合に溶解して、1 晝夜放置するも僅かに約 10cm 前後の擴散に過ぎない

事が分つた。従つて擴散による影響は、此の實驗に於ては無視して宜しい。

3) 主實驗

i) 濾過速度は次の通り行ひ、結果は各圖表に示す通りである。

3 m/日 圖-5. (イ)~(ハ) 表-2. (イ) 6 m/日 圖-5. (ニ), (ホ) 表-2. (ロ)

9 m/日 圖-5. (ヘ), (ト) 表-2. (ハ) 其他 圖-5. (チ)~(ル) 表-2. (ニ)

ii) 之等の表によると、推定實際濾過速度と實際濾過速度との最大比から分る様に、濾過速度 15 m/日 以下に於いては、餘りに速度の小なる時に、却つて均等性が破れ易い傾向が見える。

iii) 尙最小比は、最長砂厚通過時間から算出したもので、之は濾水の食鹽濃度が略、一定した時、即ち濾過が

圖-5. 電氣的方法による實驗結果

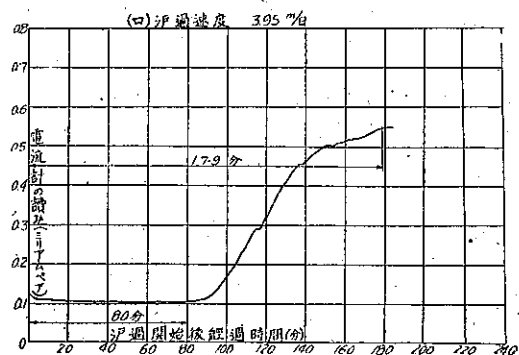
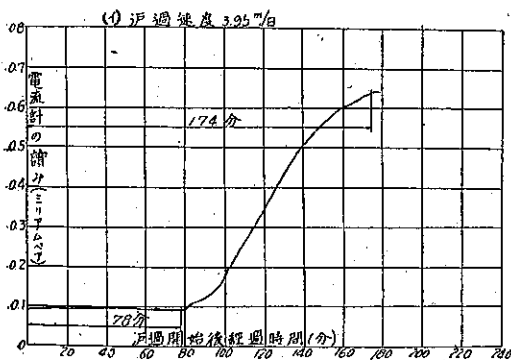


圖-5 續 き

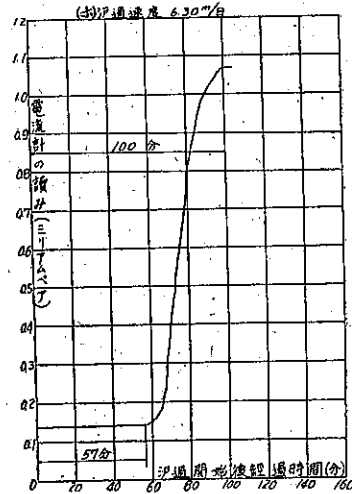
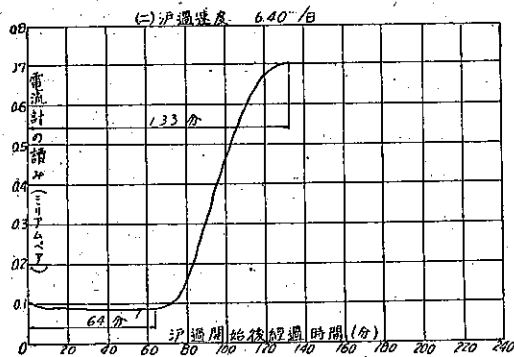
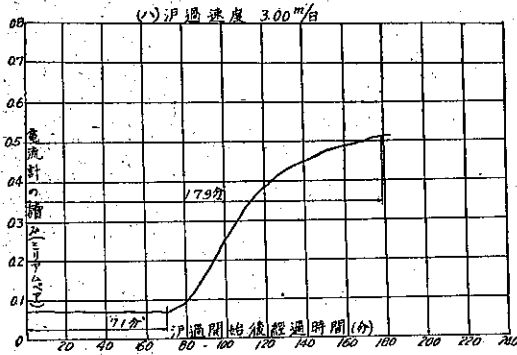


表-2. 推定實際濾速 の値
實際濾速

イ) 濾過速度 3 m/日 前後の場合

圖	濾池番號	濾過速度 (m/日)	平均水温 (c)	砂厚 (mm)	濾過水頭 (mm)	測定時間 (分)		砂厚通過時間 (分)		推定實際濾過速度 (mm/分)		實際濾過速度 (mm/分)	推定實際濾速 實際濾速	
						最短	最長	最短	最長	最大	最小		最大	最小
5(イ)	1	3.95	14.5	599	394	78	174	38	86	15.8	7.1	8.2	1.93	0.86
5(ロ)	1	3.95	17.4	583	173	80	179	39	86	14.9	6.8	8.2	1.82	0.83
5(ハ)	3	3.00	10.9	418	601	71	179	28	71	14.9	5.9	6.3	2.37	0.94

ロ) 濾過速度 6 m/日 前後の場合

圖	濾池番號	濾過速度 (m/日)	平均水温 (c)	砂厚 (mm)	濾過水頭 (mm)	測定時間 (分)		砂厚通過時間 (分)		推定實際濾過速度 (mm/分)		實際濾過速度 (mm/分)	推定實際濾速 實際濾速	
						最短	最長	最短	最長	最大	最小		最大	最小
5(ニ)	1	6.40	9.3	650	509	64	133	32	68	20.3	9.6	13.3	1.53	0.72
5(ホ)	1	6.30	10.5	617	190	57	100	28	50	22.0	12.3	13.1	1.68	0.94

略平衡状態に達した時ではあるが、之を以て直ちに濾過が均等に行はれ始めたとも斷ずる事は出来ないから、此比には格別の意義は認められない。又測定時間の最長最短の差が小なる時、濾過の均等を示すと考へるのは、例へば砂層に抵抗の甚だ小なる部があれば、當然此差が零なるべき事より見て、妥當な説ではない事明かである。

圖-5 續

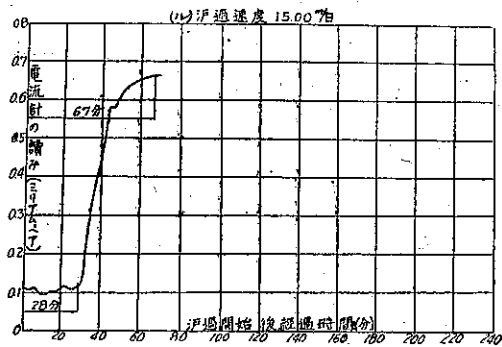
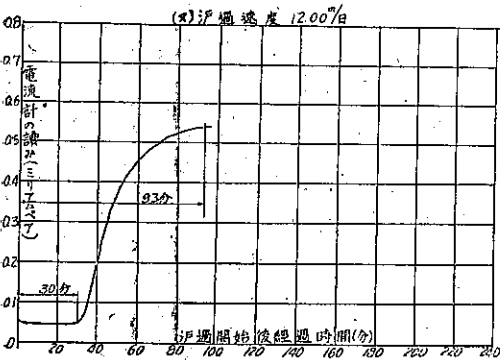
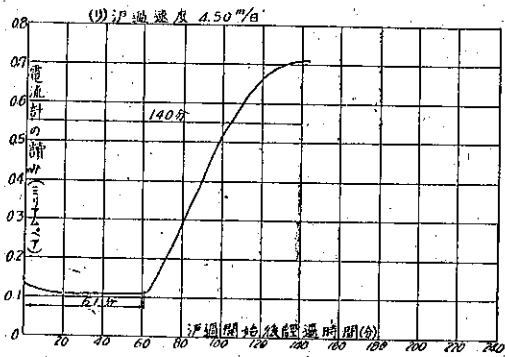
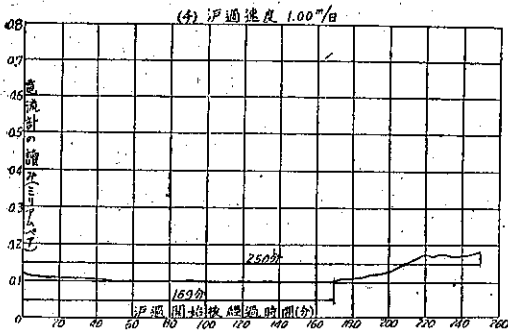
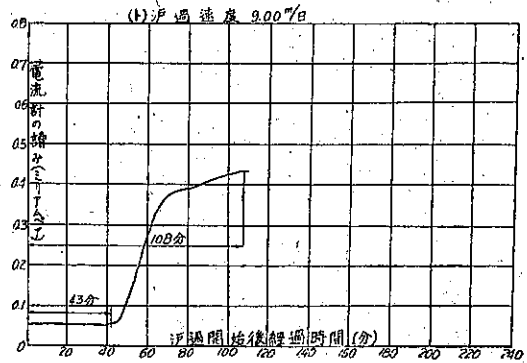
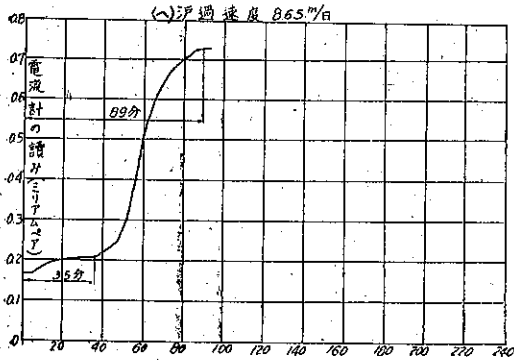


表-2 續

ハ) 濾過速度 9 m/日 前後の場合

圖	濾池番號	濾過速度 (m/日)	平均水温 (c)	砂厚 (mm)	濾過水頭 (mm)	測定時間 (分)		砂厚通過時間 (分)		推定實際濾過速度 (mm/分)		實際濾過速度 (mm/分)	推定實際濾過速度	
						最短	最長	最短	最長	最大	最小		最大	最小
5(ア)	1	8.65	22.0	554	660	35	89	16	42	34.6	13.2	18.0	1.92	0.73
5(イ)	1	9.00	17.7	697	174	43	108	23	57	30.3	12.2	18.7	1.62	0.65

=) 其他の濾過速度の場合

圖	濾池番號	濾過速度 (m/日)	平均水温 (c)	砂厚 (mm)	濾過水頭 (mm)	測定時間 (分)		砂厚通過時間 (分)		推定實際濾過速度 (mm/分)		實際濾過速度 (mm/分)	推定實際濾速實際濾速	
						最短	最長	最短	最長	最大	最小		最大	最小
5(チ)	1	1.00	20.1	567	53	169	250	80	118	7.1	4.8	2.08	3.41	2.31
5(リ)	3	4.50	21.7	544	295	61	140	28	65	19.4	8.4	9.4	2.06	0.89
5(ヌ)	3	12.00	22.0	616	390	30	93	15	46	41.0	13.4	26.6	1.54	0.51
5(ル)	1	15.00	21.9	675	222	28	67	14	35	48.2	18.2	33.3	1.45	0.55

iii) 従来最も普通とされて居る 3 m/日、並にそれ以下の濾過速度に於ては、推定實際濾過速度と實際濾過速度との最大比は、2.0 前後から 3.0 以上に及び、特に 1 m/日 の場合は極めて不良である。

iv) 之に反して、6 m/日、9 m/日 より 15 m/日 に至る範囲内に於ては、前記兩速度の比は、1.5~2.0 位である。

v) 濾過水頭との関係を見るに、其の特に大なる時、濾過の均等性は一層破れ易いかに見える。

4. 濾水々質

I. 細菌除去能率の表し方

1) 濾過の能率：之を細菌除去の割合を以て表はす事は、一般機械學上の能率の定義に従へば、單に細菌除去が消極的仕事なる點に於て、機械の積極の仕事と異なるのみであつて毫も支障ないが、濾過には次の 2 點の特殊性がある。それは 1 には濾水々質の良否に應ずべき事、2 には濾過作業の難易を考慮すべき事である。

2) 従來の方法-百分率による細菌除去能率：之は能率の一般的定義には従ふが、濾過の特殊性の 2 點には適

圖-6. E が ω の増加と共に増す場合

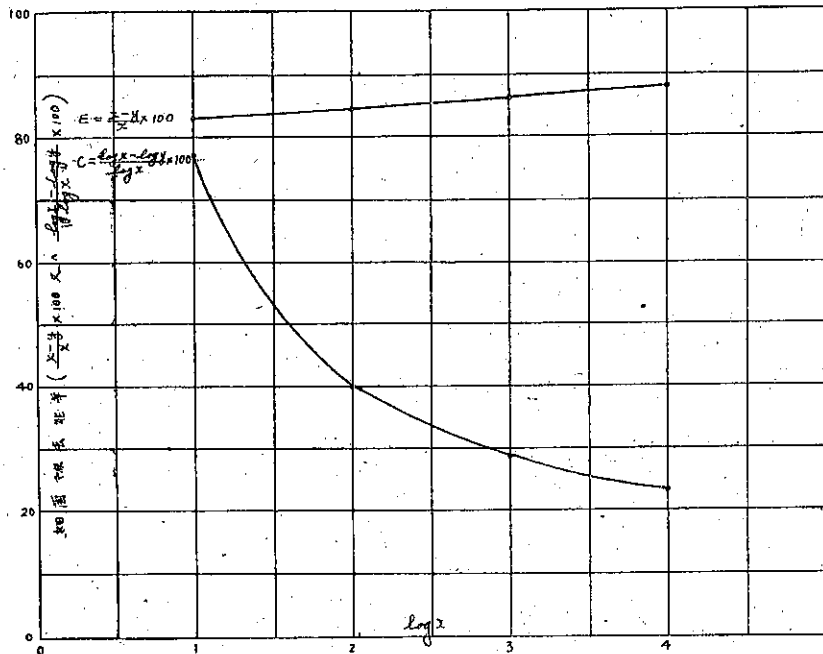


表-3. E が x の増加と共に増す場合

x	y	x-y	$\frac{x-y}{x} \times 100$	log x	log y	log x - log y	$\frac{\log x - \log y}{\log x} \times 100$
10	1.7	8.3	83.0	1	0.2304	0.7696	76.96
100	15.8	84.2	84.2	2	1.1987	0.8013	40.07
1000	140.0	860.0	86.0	3	2.1461	0.8539	28.46
10000	1210.0	8790.0	87.9	4	3.0828	0.9172	22.93

合しない。

3) 著者の新方法——細菌数の常用対数に従来の方法を適用したるもの：之は次式に示す通りである。

$$y = x^{1-c} \text{ 又は } C = \frac{\log x - \log y}{\log x}$$

但し y = 濾水 1 c. c. 中の細菌数, x = 原水 1 c. c. 中の細菌数, c = 細菌除去能率 (但し百分率で表す)

4) 2 方法の比較: 在来の能率 E と著者の能率 C との比較を次に示す。

i) $E = \frac{x-y}{x} (\%)$ が x の増加と共に増す場合 (圖-6, 表-3)。

但し $y = x \left(1 - \frac{x^{0.009}}{1.236} \right)$ より計算す。E は僅かに増大するに拘らず C は急速に減少し, y の増加即ち濾水々質の悪化に應ずるのではないかと思はれる。

ii) $E = \frac{x-y}{x} (\%)$ が一定なる場合 (80%) (圖-7, 表-4)。

C は著しく減少し, 濾過作業の難易に對應する。

iii) $c = \frac{\log x - \log y}{\log x} (\%)$ が一定なる場合 (69.90%) (圖-8, 表-5)。

圖-7. E が一定なる場合

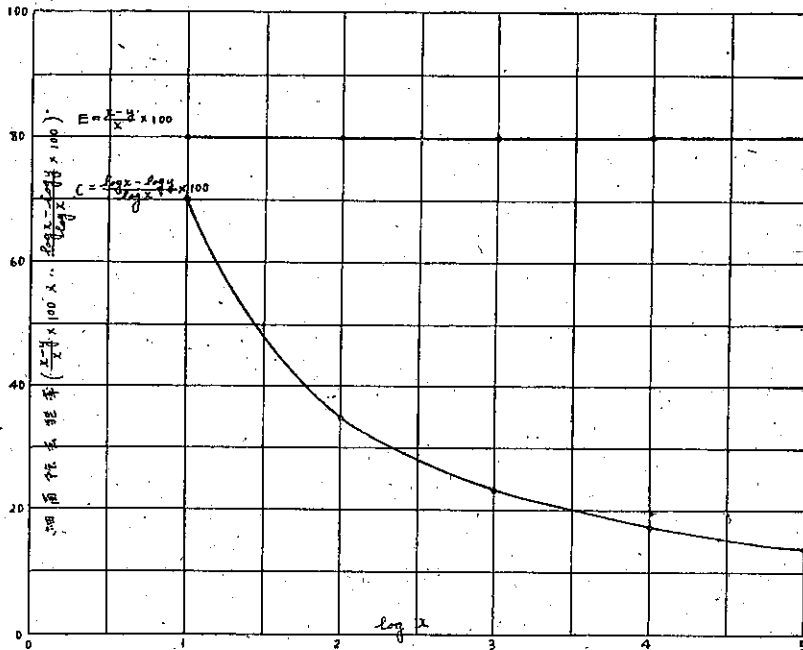


表-4. E が一定なる場合

x	y	$x-y$	$\frac{x-y}{x} \times 100$	$\log x$	$\log y$	$\log x - \log y$	$\frac{\log x - \log y}{\log x} \times 100$
10	2	8	80	1	0.3010	0.6990	69.90
100	20	80	80	2	1.3010	0.6990	34.95
1000	200	800	80	3	2.3010	0.6990	23.30
10000	2000	8000	80	4	3.3010	0.6990	17.47
100000	20000	80000	80	5	4.3010	0.6990	13.98

圖-8. C が一定なる場合

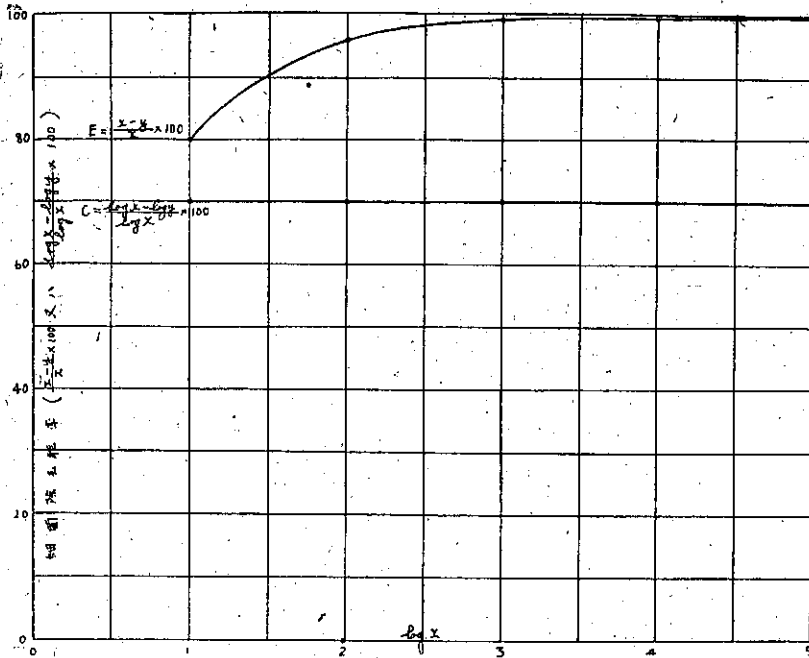


表-5. C が一定なる場合

x	$1-c$	$\log x$	$\log y = (1-c) \log x$	y	$x-y$	$\frac{x-y}{x} \times 100$
10	0.3010	1	0.3010	2	8	80.0
100	0.3010	2	0.6020	4	96	96.0
1000	0.3010	3	0.9030	8	992	99.2
10000	0.3010	4	1.2040	16	9984	99.8
100000	0.3010	5	1.5050	32	99968	99.9

E は速かに増大して、100% に近づく。即ち C は大體上記 3 条件すべてを満足するものゝ様である。

II. 細菌除去能率比較

1) 比較方法: 第1號及第3號濾池を同時に異なる濾過速度を以て作業し、著者の新表現法による細菌除去能

率により統計的に比較する。

2) 豫備實驗: 兩濾池を濾過速度 3m/日 を以て、約 2 ヶ月間繼續濾過作業を行つた際、其の間の日々の細菌除去能率を平均して比較すると、表-6 に示す如く略、同能率を示すが、強ひて區別すれば第 1 號が第 3 號に勝る事が分る。

3) 主實驗 1~3 之は次の如く行つた (表-6)。

表-6. 細菌除去能率比較

實驗種類	濾池番號	濾過速度 (m/日)	細菌除去能率平均値 (%)	能率の差 (%)	結果判斷	判斷の確實性
豫備實驗	1	3	58.6±2.26	2.6±2.86	第 1 號と第 3 號 とは略々同能率	確實
	3	3	56.0±1.75			
主實驗 1.	1	3	57.9±0.95	9.2±1.28	9m/日は 3m/日 に勝る	確實
	3	9	67.1±0.91			
主實驗 2.	1	6	78.2±1.28	0.9±1.73	3m/日は 6m/日 に勝る	不確實
	3	3	79.1±1.16			
主實驗 3.	1	6	77.4±1.10	1.9±1.59	9m/日は 6m/日 に勝る	不確實
	3	9	79.3±1.15			

i) 第 1 號 3m/日 第 3 號 9m/日

ii) " 6 " " 3 "

iii) " 6 " " 9 "

結果は、9m/日、3m/日、6m/日 の順で、能率が下るのではないかと思はれる。但し判斷の確實性に就ては同表記載の通りで、必ずしもすべて判然たるわけではない。

III. 濁度比較

1) 方法: 從來から濾水の濁度は、濾過速度を或程度増大しても、常に零であるといはれて居るが、之を更に精細に比較する爲に次の方法によつた。Pulfrich 光度計 (Photometer) を濁度計として用ひ、濁度標準液としては、こまかく粉碎した白陶土を以て 1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0.0 度の液を作り、濾水の濁度を之と比較して 1.0 以下の度数迄測定する。

2) 結果: 各濾過速度毎にまとめて、濾水の濁度を圖示すれば、圖-9 (イ),(ロ),(ハ),(ニ) の通りである。原水の濁度は示していないが、(イ),(ロ) に於ては 4~12 度位、(ハ),(ニ) に於ては 4~8 度位の所にあり、餘り大なる變化を示して居ない。濾水の濁度も濾過速度の變更により大なる變化を來さないが、6, 3, 9m/日 の順に、幾分惡化するものゝ様である。次に濾過の経過を通じて觀察するに、砂削取後濾過開始當初は濁度最も大に、中程一旦減退するが更に終頃濾池の充塞と共に再び幾分濁度の増す關係は、表面濾過膜の完成から遂に肥厚汚染に至る経路を表して居るものと考へられる。

IV. 生物比較

1) 方法: 原水は 1 立, 濾水は 20 立を何れも浮游生物網を通過させ, 其内に含まれた生物を下端の硝子圓筒約 50cc 内に集め, 之を 1500 回轉/分 で約 30 分間遠心沈澱させて 5cc に濃縮し, 其 0.05 cc 宛 3 回計 0.15 cc を鏡檢する。

2) 結果: 原水は 1 立に濾水は 10 立に換算して, 生物數と種類とを求めたものは, 表-7 の通りである。又其總數に就いて圖示すれば, 圖-10 の如くである。之に依ると原水の生物數に多少の動搖はあるが, 濾過速度の増大と共に, 濾水に出現する生物の全數は増加するらしい事が分る。次に生物の種類を見ると, 珪藻類 (Diatomaceae) の如き極微細のものと, 動物性生物の如き比較的大なるものとの 2 種類がある。之は前者が機械的に砂の間隙を通過し來り, 後者が自動的に砂中を移行すると考ふれば説明し得られる。

5. 砂層内の状態

I. 實驗方法

既述第 3 號濾池を用ひ, 第 2 號の濾過を中止して砂を擱上げ, 兩濾池の境の壁を通して, 第 3 號の砂及砂利層内に, 外徑約 1cm の眞鍮細管 14 本を挿入した。其配置は圖-11 (イ), (ロ) に示す。尙他に 1 本は砂上の未濾水中に挿入し, 砂及砂利層内の 14 本は鉛直方向約 5cm の間隔にある。細管の内端は壁内面より 18~27cm の距離で同一鉛直面内に終り, 外端には鉛直硝子管を横丁字形に連絡し, 上方は附屬度器を讀んで水頭測定用と

圖-9. 濾水濁度

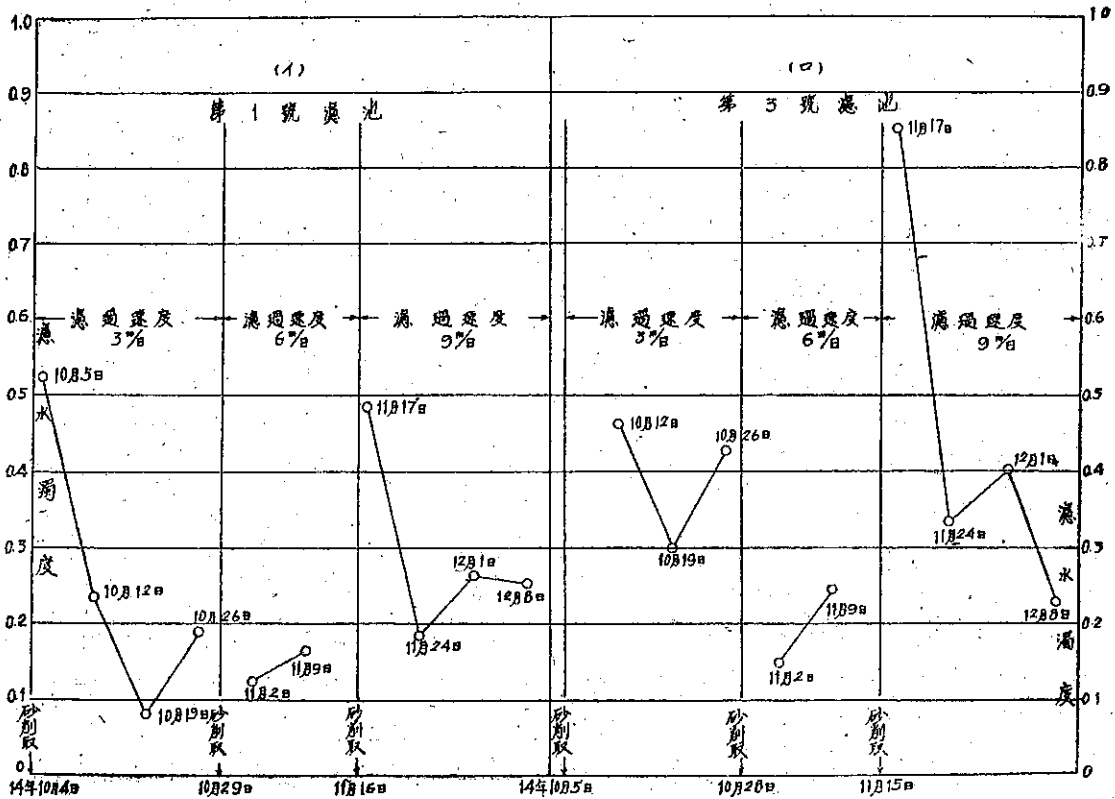
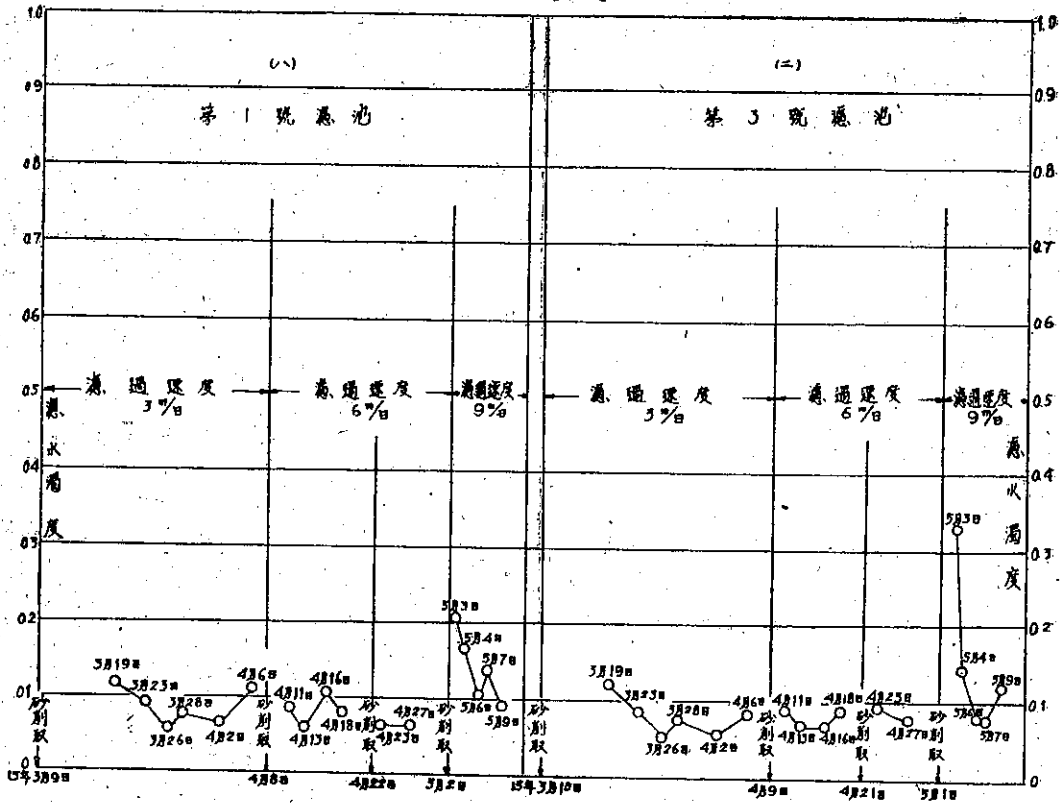


圖-9 續き



し、下方は活栓を経て僅かに水を放流し、之をうけて水質検査を行ふ。

II. 水 頭

濾過速度毎にまとめて結果の一部を示すと、圖-12 (イ), (ロ), (ハ) の如くである。之によれば濾過の進行と共に表面濾過膜の部で大部分の水頭損失の起る事、砂層内部の水頭分布の状態は、瞬間的にも亦時間の経過につれて極めて規則的で、従つて水流の状態も恐らく規則正しいものであらうといふ事が分る。但 9 m/日 の場合は 3 m/日 及 6 m/日 の場合に比較して、砂層内部に於ける水頭損失が大であるが、之を以て直に汚物の下層迄の侵入と考へるのは、些か早計であらう。何となれば流速の増大と共に、たとひ 斷面積は不變でも、水頭損失の増大する事は、當然水理學上豫期されるからである。

III. 水 質 検 査

結果の一部を表-8 (イ), (ロ), (ハ) に示す。通覽するに濁度は砂面以下數 cm で既に零となるに拘らず、細菌數は砂層内部に於て、甚だ不規則な分布を示して居る。之から考察すると、從來から濁度と細菌數とは割合に平行するといはれた事に對しては、緩速式に關する限一應疑念を抱かざるを得ない。尙 (イ) に限り砂層内細菌數が特に 1000 を越える事さへあるのは、3 m/日 があながち不良な成績を示すわけではなく、原水の細菌數が偶然多かつた爲ではないかと思はれる。

6. 總 括 及 結 論

濾過の均等性に就いて考慮すると、其結果は 16 m/日 位の範圍内では、濾過速度の餘りに小なる時に、却つて

圖-10. 生物總數

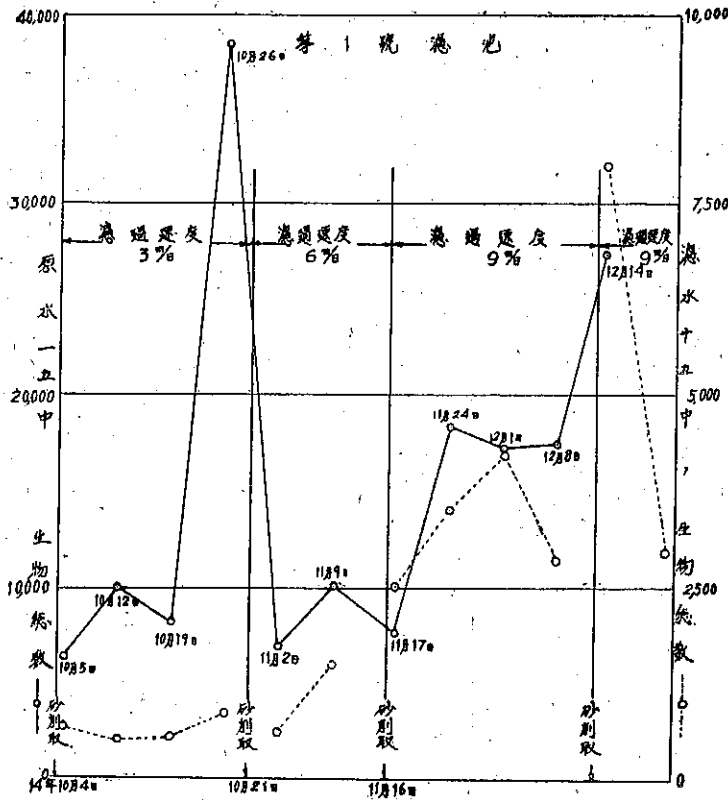


表-7. 生物數と種類

回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
年月日	14.10.4	14.10.12	14.10.19	14.10.26	14.11.2	14.11.9	14.11.17	14.11.24	14.12.1	14.12.8	14.12.14	14.12.22
濾過速度	3%			6%			9%			9%		
原水種類 及昇水量	原水 12	原水 12	原水 12	原水 102	原水 12	原水 102	原水 12	原水 102	原水 12	原水 102	原水 12	原水 102
植物												
Schizophyceae	100	3125	258	200	600	367	233	530	200	250	300	1100
Chlorophyceae	6260	1630	9250	124	8200	242	3720	351	6800	550	2200	150
Striatozoa												
Rhizopoda			16	75	84						17	50
Ciliata						17						
Flagellata	1000	17	17	33	34	100	100	50	200	1000	4682	400
Dinoflagellata	625	67	25	50	200	200	100	725	33	17		725
Batactaria	250	17										50
Ctenophora												50
Nematoda	125											25
動物												
全數	6560	6731	2250	422	8200	559	3810	835	7000	634	10200	1325

濾過が不均等になる傾向が見える。特に濾過水頭の大なる時に然りである。

次に濾水々質特に細菌と濁度と生物との3者の除去に就いて實驗を試みると、各除去の目的の異なるに従つて、至適濾過速度は幾分異なるものゝ様である。即ち目的が生物濁度細菌であるに従つて、此順序に濾過速度を増大しても差支ない。何故かゝる差が生ずるかは、浄水作用に要する接觸時間の問題と、各除去機能が別箇の作用であるとの假定の下に一應の説明がつくのであるが、之は第4章に譲る。

砂層内の状態は、水理學的には水頭分布も規則正しく、水質も濁度は濾過膜を含む表面數 cm を経て既に零と

圖-11. 眞鍮細管配置

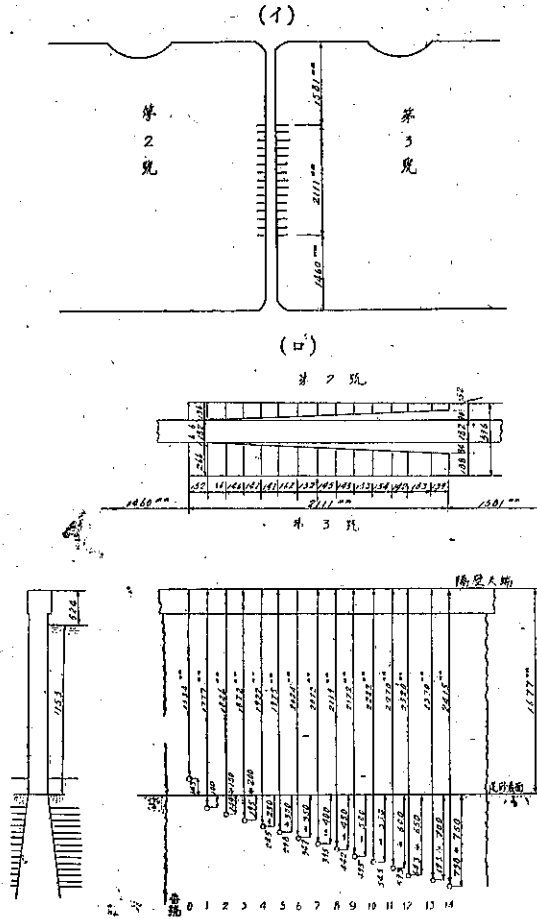
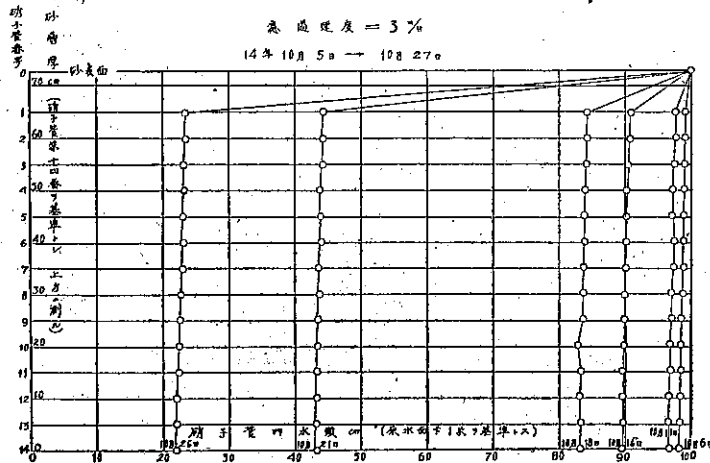


圖-12. 水頭分布

(イ) 第3號濾池



なるに拘らず、細菌の分布は極めて不規則である事が分つた。之は細菌が生物であつて、増殖による二次的出現も可能なる結果かも知れない。従つて砂層厚を減ずる事の可否は残された問題で次章に於て取扱ふ。

第3章 砂層厚に就て

1. 砂層厚の影響

I. 緒言

濾過機能の行はれる部分が、砂層表面に生ずる濾過膜が主であるとの説は、上記の通り古くから唱へられて居る。之は濾過開始後相當の時日を経て表面濾過膜の完成後、初めて完全なる濾過機能を表す事、濾過を停止して砂を各層から採取して調査すると、表面の細菌による汚染甚しく下方は拋物線型に急速に減退する事、水理學的には上述実験の通り水頭の殆んど全部が表面で費される事等に基いた説である。然るに一旦砂削取後の濾過再開に際しては、濾過機能發生に至る時間が極めて短い事は、下層濾砂も亦濾過作用に與かる事大なりとの説を生ずる所以であるが、更に上述実験によれば、砂層内より直接採取した水が必ずしも上より下に規則正しく浄化されず、其細菌分布の状態が極めて不規則なる事が分つた。此點は急速式の規則正しきに比して、著しい相違をなして居る¹⁶。之が生物の第二次出現を意味するものならば、寧ろ上層のみとして下層は除いた方がよいかも知れぬが、亦一方から考へると、第二次出現には少くとも其源たる生物がある筈であるから、一概に砂層厚を減ずる事も危険であらう。かくの如く砂層厚に關しては、種々考慮すべき點があり、砂削取後足し砂を要する迄の最小厚は、大體原厚の半分 350~450 mm 位を限度とする實情の如くであるが、之も確然たる根據はない様である。

本章は前章と同じ試験濾池を用ひ、其内 2 池の砂層厚を變へて比較實驗を試みたものである。

II. 比較考察方法

次の 2 方面から實驗の上、比較考察を進める。

1) 濾水々質：上記の同構造で同能率を示す 2 池に於て、1 は普通の砂層厚とし、他は之を遙かに薄くして、同時に同濾過速度を以て作業し、新細菌除去能率を用ひ統計的考察を加へる。尙濁度と生物との濾水出現を比較する。濾過速度を變更して此實驗を繰返す。

2) 砂層内の状態：之は砂層厚を小とした濾池に於て、第 2 章と同様の方法により、砂層内に挿入した眞鍮細管によつて水理と水質兩方面から觀察する。

2. 試験濾池

之は第 2 章に於けると全く同濾池を用ひたが、唯第 3 號の砂層を遙に薄くし、之に壁を通じて細管が挿入してある。各濾過速度別に實驗を 3 分し、其際の砂層厚は表-9 表の一部として表示した。

濾過速度調節裝置、原水等もすべて第 2 章に於けると同様である。

3. 濾水々質

I. 細菌除去能率比較

1) 比較方法：第 1 號及第 3 號濾池を同時に同濾過速度を以て作業し、著者の新表現法による細菌除去能率により統計的に比較する。

2) 實驗結果：實驗 1, 2, 3 に分ち、各濾過速度毎に表示すれば表-9 の通りである。此際注意すべき點は第 2 章に示した通り、強ひて區別すれば、元來第 1 號が第 3 號に比して幾分能率が優るものではないかといふ事である。

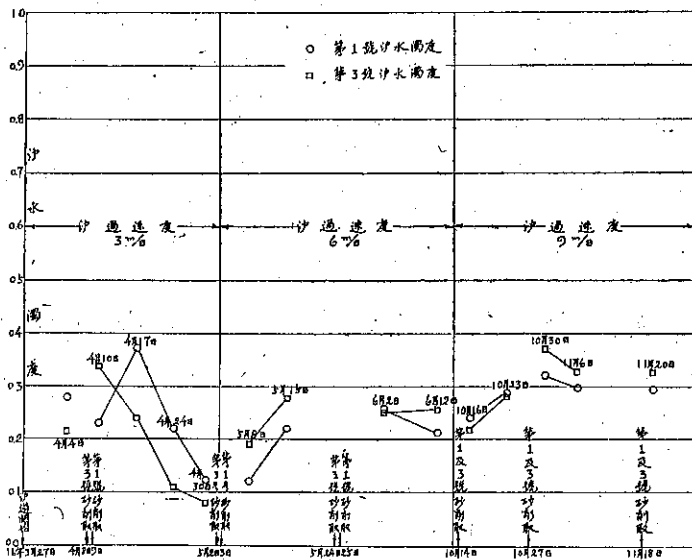
表-9. 菌除去能率比較

実験番号	濾過速度 (m/日)	濾池番号	砂層厚 (mm)	細菌除去能率平均値 (%)	能率の差 (%)	結果の判断
1	3	1	682→632	65.2±2.40	3.9±3.35	第1號と第3號とは略々同能率
		3	451→393	61.3±2.31		
2	6	1	606→535	84.2±1.63	4.0±2.16	同上
		3	373→304	80.2±1.41		
3	9	1	664→605	65.2±2.17	9.6±3.29	第1號は第3號に勝るか?
		3	366→307	55.6±2.48		

II. 濁度比較

1) 方法: 第2章4. III. 濁度比較に於けると全く同様の方法を用ひた。

圖-13. 濾水濁度



2) 結果: 各濾過速度毎に、第1號及第3號濾水の濁度をまとめて圖示すれば、圖-13の通りである。原水の濁度は4~10度位の間にあり、餘り大なる變化はない。兩濾水の濁度は大差ないものゝ様であるが、強ひて區別すれば濾過速度の増大と共に、砂層厚の小なる第3號濾池の濾水が幾分劣るものゝ様である。

III. 生物比較

1) 方法: 第2章4. IV 生物比較に於けると全く同様の方法によつた。但兩濾水を比較するのが目的であるから、原水の検査は之を省略した。

2) 結果: 濾水10立に換算して、生物數と種類とを求めると表-10の如くである。又其全數を圖示すると、圖-14の如くである。之等によると大體砂層厚の小なる第3號濾池濾水の方が、生物全數は大なるものゝ様で

圖-14. 生物總數

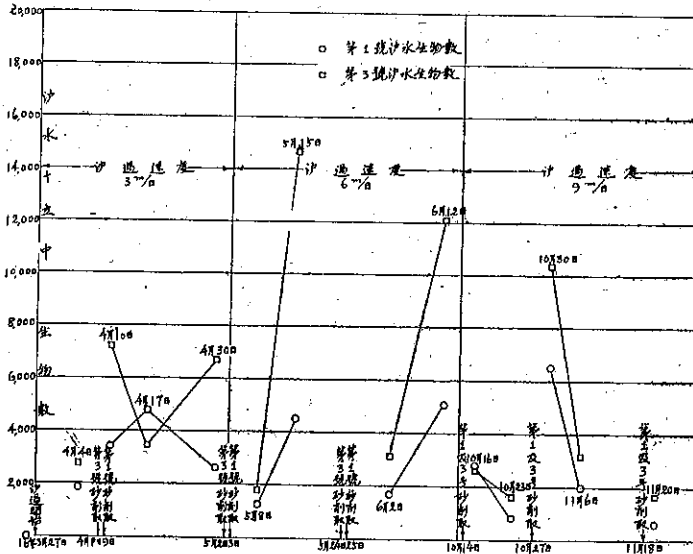


表-10. 生物數と種類

回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
年月日	16.4.4	16.4.10	16.4.17	16.4.30	16.5.8	16.5.15	16.6.2	16.6.12	16.10.16	16.10.23	16.10.30	16.11.6	16.11.20
沙透過率	3%			6%			9%						
沙層厚	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
濾水水量	1650	1650	1650	3250	3100	3100	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Chlamydomonadales	225	1650	1650	3250	3100	3100	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Protozoa	500	500	925	1375	2400	4375	8000	4500	9000	2000	4500	2000	3500
Rhizopoda	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Ciliata	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Flagellata	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Rotatoria	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Crustacea	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
全數	1175	2775	3400	7200	14700	12800	17000	43000	46000	21000	26000	16000	16000

ある。

4. 砂層内の状態

I. 實驗方法

第2章 5. I. 實驗方法と全く同様であるが、唯第3號濾池は砂層厚を減少して居るから、細管の内上部の數本は砂層上に現れ、砂及砂利層内に入るものは10本位に過ぎない。

II. 水頭

各濾過速度毎に結果の一部を示すと圖-15 (イ), (ロ), (ハ) の如くである。何れも整然たる水頭分布状態を示して、砂層厚の正常なる場合と何等の變化を認めない。

III. 水質検査

結果の一部を表-11 (イ), (ロ), (ハ) に示すが、何れも砂層の正常なる場合と變りはないと思はれる。

5. 總括及結論

砂層厚の大小と濾水々質との關係に就き實驗を試みるに、一般に砂層厚の減少と共に濾水水質は幾分劣るが、各濾過速度により又細菌濁度生物の3者により考察すると、濾過速度の増大と共に水質低下も幾分著明に現れるも

的吸着作用により、濁度は物理化學的吸着作用により除去され、生物は機械的作用による除去に自動的移行のものが追加されると假定すれば、此順序に接觸時間の増大、即ち濾過速度の低下が要求される事は、一應説明し得るのではないかと思ふ。

次に砂層厚の大小の問題は、矢張り砂層厚の減少と共に濾水々質が劣り、濾過速度の増大と共に其程度を増し、細菌濁度生物何れにも共通に認められる事から、たとひ微小なりとはいへ、砂層下部の濾過作用が、特に濾過速度の大なる時に見逃し得ない事が分る。此點は前にも記した通り、實は最初の濾過開始時に長時間を要する濾過機能の發現が、砂削取後の濾過再開に當つては、極めて短時間で濾過効果を表す事からも、當然豫想し得る所である。

要するに濾過速度の大小と、砂層厚の大小とは、當然關聯して論ぜられねばならない。先づ濾過速度は各種の異なる影響を濾水々質に及ぼすから、原水の性質及濾過の目的に従つて考慮すべきであらう。例へば細菌の含量大なる原水であれば、濾過速度を餘りに増大する事は出来ない。濁度大なるは其次に、生物の多量なるは更に、濾過速度を減少せねばならない。要求せんとする濾水々質に應じて、之に準ずる考へを適用すべきである。併し原水其もの性質が已に清澄で、單に萬全を期する意味に於て濾過を採用するものならば、或る程度迄濾過速度を増大しても差支ないものであらう。少くとも濾過速度を現在の標準の 3 m/日 に規定して、凡ゆる場合に之を無條件に墨守する理由は存在しない。傾向としては之を幾分増大すべきであらう。然し此際考慮すべきは砂層厚で、濾過速度の増大と共に、砂層厚を餘りに減少する事は注意を要する。即ち砂削取による足し砂直前の砂層厚の如きは、從來は略々原厚の半分位迄認められて居るが、此最小厚の限度を幾分大にする必要がありはしないか、或は又進んで原砂層厚をも幾分増大した方がよくはないか、濾過速度と關聯して検討を要する點である。

以上は勿論試驗濾池による實驗の結果であり、且原水は東京市水道局淀橋淨水所に於ける、既に沈澱池を通過せる比較的清澄なる水であるから、之を直ちに一般化する事には相當の危険が伴ふ。従つて將來更に調査研究を續けて、他日の完成を期し度いと思ふ。

擧筆に臨み終始御懇篤なる御指導を恭うした、恩師前東京帝國大學教授工學博士草間 偉先生の御鴻恩に滿腔の感謝を捧げる。

(附記) 本實驗の前半は日本學術振興會、後半は服部報公會の援助の下に行はれたものであるが、尙併せて試驗濾池の使用を長年月許可された東京市水道局當局、熱誠なる助力を受けた淀橋淨水所々員各位、生物検査に就き特に協力された厚生科學研究所講師洞澤 勇君、前後滿 5 年に互り獻身的努力を煩した東京帝國大學工學部助手、北村友一君、部分的に協力された滿鐵副參事鳴打秀利君、厚生科學研究所助手原田利一君、同志村武雄君、同技術員稻垣正秋君其他の諸君に、衷心から感謝の意を表する。

文 献

- 1) Lueger-Weyrauch: Der Städtische Tiefbau: Bd. II, b., Die Wasserversorgung der Städte, II, 1916, S. 40.
- 2) Fuller, W. B.: High Relative Rates of Filtration with Slow Sand Filters. Eng. News, Vol. 59, No. 11, 1908, p. 287.
- 3) Hardy, E. D.: Water Purification Plant, Washington, D. C., Results of Operation. Transaction of American Society of Civil Engineers, Vol. LXXII, 1911, p. 301.
- 4) 仲田聰治郎: 緩速砂濾池に於ける濾過速度の研究, 土木學會誌, 昭和 6 年, 第 17 卷, 1107 頁.
- 5) 岩崎富久: 東京市淀橋淨水所に於ける濾過速度の試験に就いて, 土木學會誌, 昭和 9 年, 第 20 卷, 1565 頁.
- 6) 廣瀬孝六郎: 砂濾過法の基本問題に關する實驗的考察, 水道協會雜誌, 第 89 號, 18 頁.