

講 演

第25巻第12號 昭和14年12月

緩速式砂濾過法の濾過速度に就て

(昭和14年10月20日 土木學會創立25周年記念講演會に於て)

會員 廣瀬孝六郎*

要旨 濾過速度を現行の3m/日よりも増大した場合、緩速式砂濾過法に對して及ぼす種々の影響を實驗的に比較考察し、果して濾過速度を或程度迄増大しても支障なきか否かを、一般的に解決せんとするのが本文の目的である。併し不幸にして實驗は完結に至らなかつた爲に、此所には講演要旨に多少説明を加へる程度の大綱を記述し、圖と表の一部を掲げるに止め、他日完成の日を期して、機會が與へられるならば、全文を本誌上に登載し度い考へである。

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、3~13m/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。次いで20世紀に入つてはアメリカに於て、Fuller, W. B. 氏, Hardy, E. D. 氏、本邦に於ては、仲田聰治郎氏、岩崎富久博士の研究があるが、何れも其の結論は、濾池の構造や運轉方法を多少考慮すれば、濾過速度は或程度迄増大しても、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、水道研究會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。本研究は濾過速度の影響を考察せんが爲に、東京市水道局院橋淨水場内試験濾池を用ひて、比較實驗を試みたものである。此處に市當局並に淨水場員各位に對して、衷心から感謝の意を表するものである。

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、從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運轉し細菌除去の状態を比較する。從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。尙附加して、濁度と微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細管數多を挿入し、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の時間的變化の状態、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。

* 工學士

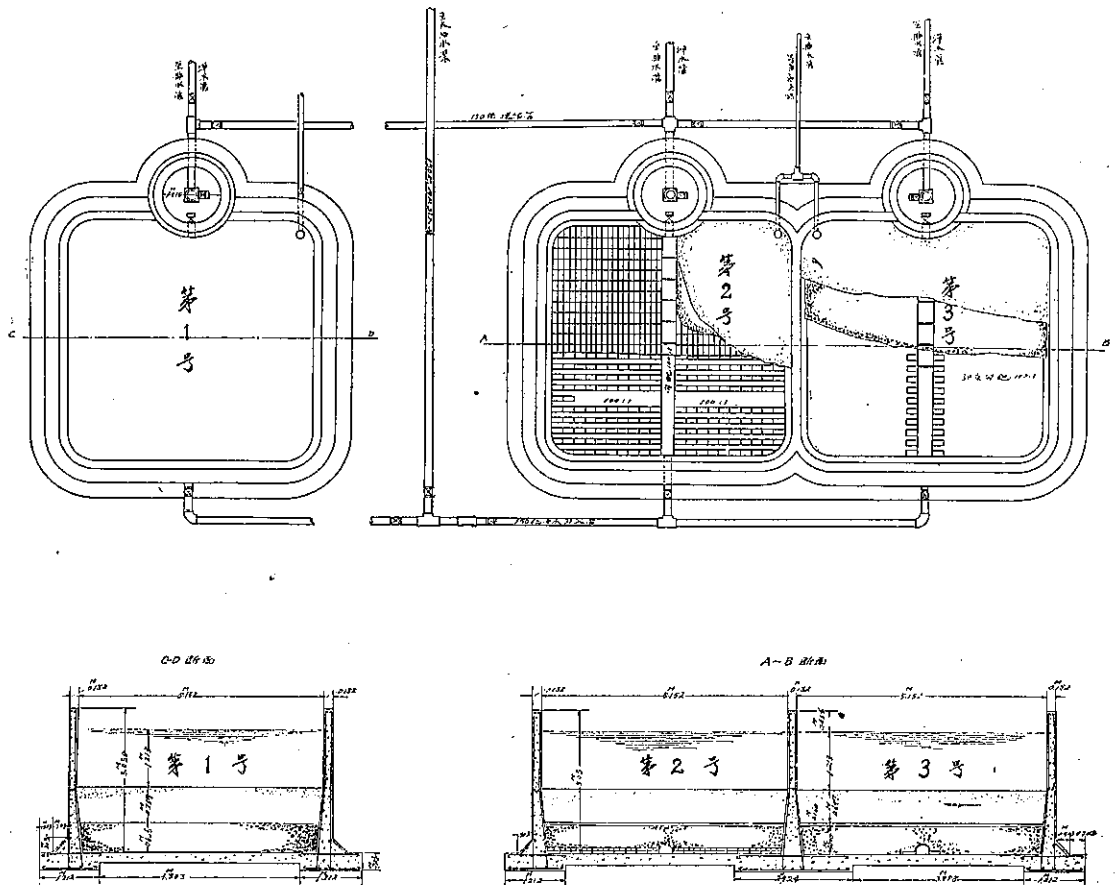
醫學士 東京帝國大學助教授兼厚生省公衆衛生院教授

2. 試験濾池

I. 実験設備

1) 濾池 前記試験濾池 3 ケの内、全く同構造である所の第一號と第三號を、比較實驗用として使用した。面積各約 5m 平方である。3 池は 圖-1 に示す通りである。

圖-1.



2) 濾過速度調節 第一號濾池に於ては、圖-2 に示す如く、矩形缺口を有する栗本式調節機によつた。第三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. 豫備實驗で詳述する。

3) 原水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、其の儘分譲を乞ふて用ひた。従つて濁濁基だしい場合は、硫酸礬土が混入してある。

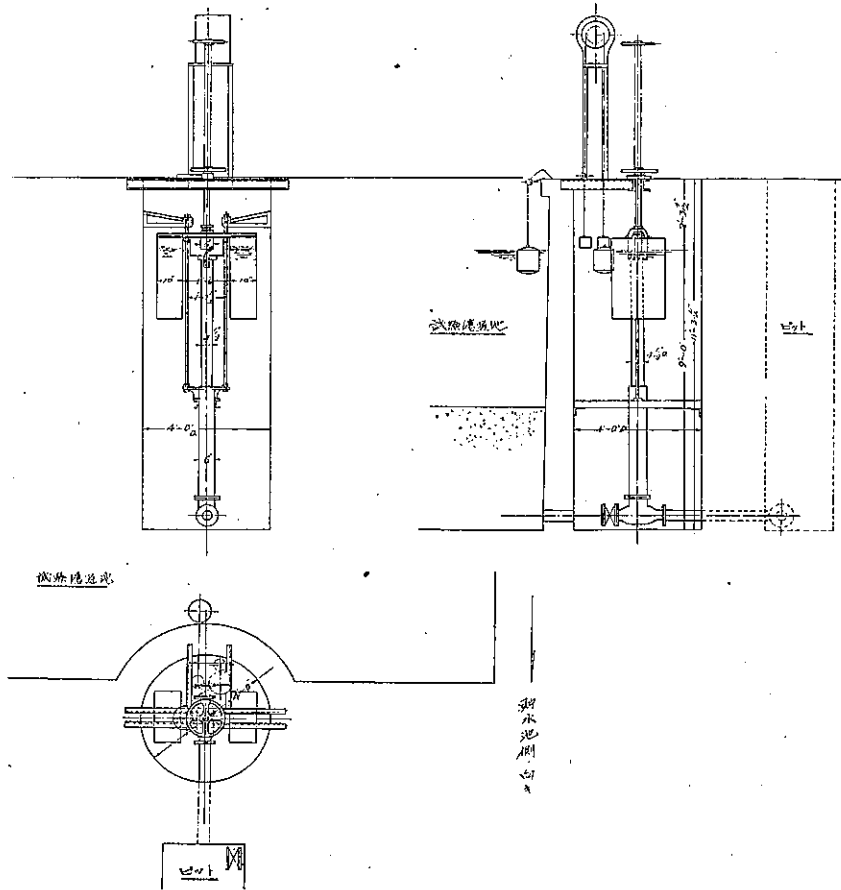
II. 豫備實驗

目的は濾過速度調節の正確度を檢するにある。

1) 第一號濾池 本池の栗本式調節機では、缺口上溢流水量のみならず、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

溢流水を第二號濾水溜に導き、其の中の水位上昇の高さと時間を計測して、溢流水量を出す。但し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、其の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、缺口と水面との相対的高低差を自記させた。結果は第一號濾池に於ては、1~2mmの差を示すに過ぎないが、第三號では濾過水頭の増加と共に溢流

圖-2.



水深を増し、甚だしきは 10mm 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、各種水頭下に上記と同様漏水を第二號濾水溜に導いて、測定した結果の平均値を採用する。

2) 第三號濾池 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、其の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、希望の濾過速度に対してどの位の誤差を生ずるかを検するに、表-1 に示す通り、假りに 3m/日 の濾過速度に調節した場合に、第一號濾池では約 11%、第三號濾池では約 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、従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、等しければ、濾過は均等なりと考へる。其の爲には實際濾過速度を略、正確に知らねばならぬ。

1. 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、流速が断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、見かけの比重と真比重とから、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、已述の電解質を用ひる電氣的方法によつて、各種の濾

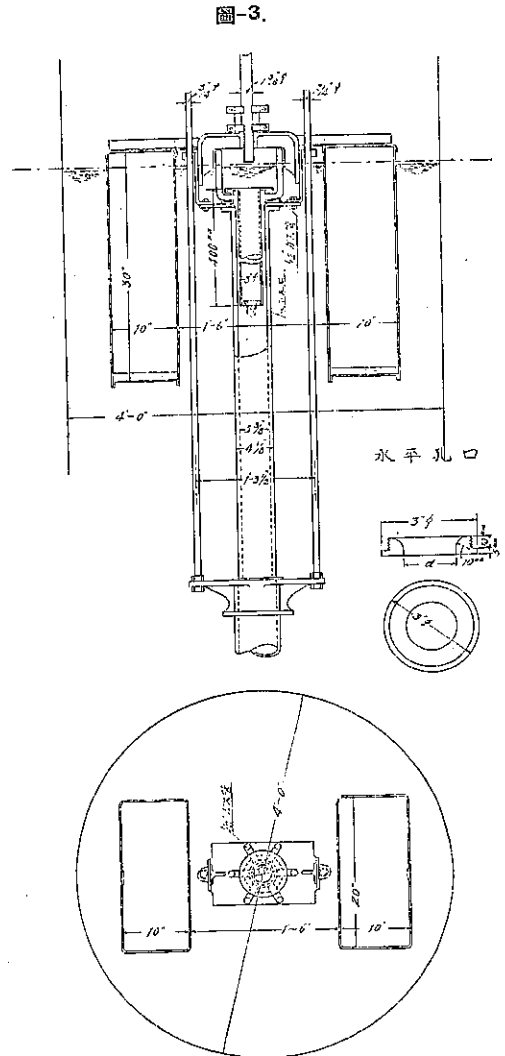


表-1.

過池番號	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 %
第一號	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
第三號	3	49.5	14.0	1.3	8.5	9.8
	6	49.5	14.0	1.3	4.3	5.6
	9	49.5	14.0	1.3	2.8	4.1

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 3.23~3.71 の間にある。中央に於けるよりも、側壁に沿う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に値する所である。
- 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。

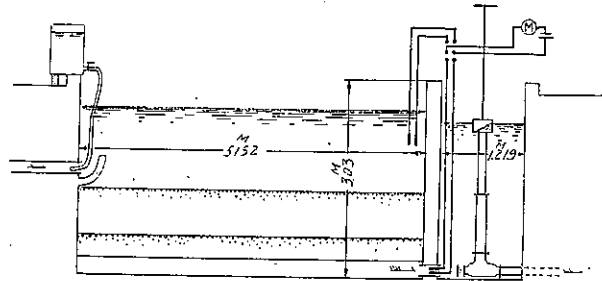
4. 實際濾過速度の値

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。前記試驗濾池第一號又は第三號を用ひ、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、兩時間が略々等しければ、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.



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 10 cm 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-5~7	表-2	6 m/日	圖-8~9	表-3
9 m/日	圖-10~11	表-4	其他	圖-12~15	表-5

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比から分る様に、濾過速度 15 m/日 以下に於いて

圖-5.

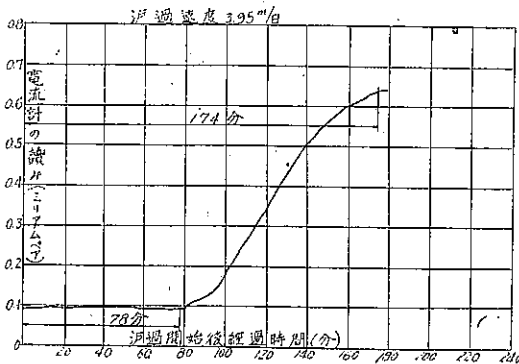


圖-6.

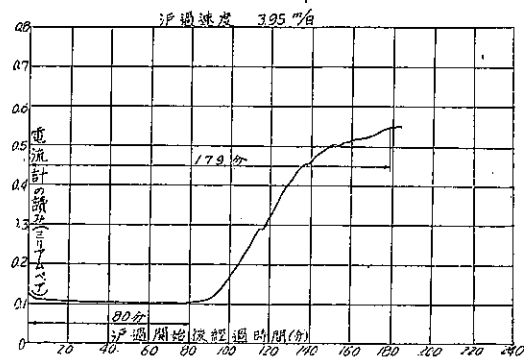


圖-7.

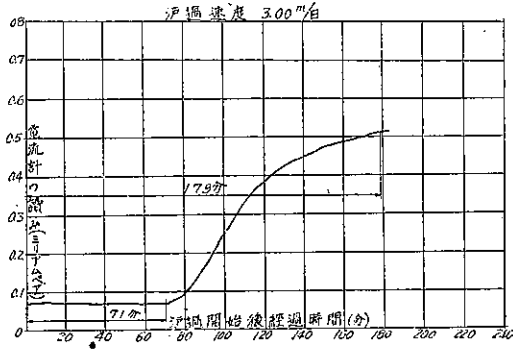


圖-8.

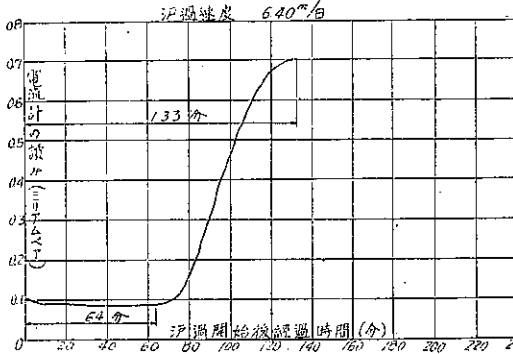


圖-9.

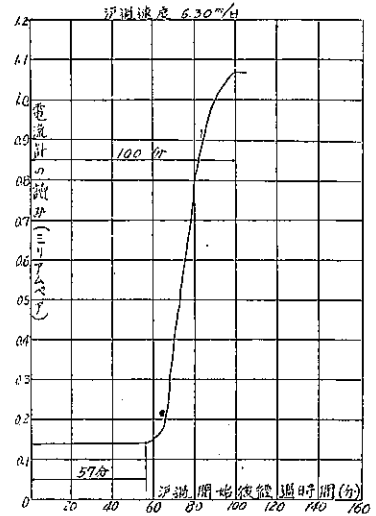


表-2.

圖	濾池番號	濾過速度 m/日	平均水溫 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 mm/分	
						最短	最長	最短	最長	最大	最小		最大	最小
5	1	3.95	14.5	599	394	78	174	38	85	15.8	7.1	8.2	1.93	0.86
6	1	3.95	17.4	583	173	80	170	39	86	14.9	6.8	8.2	1.82	0.83
7	3	3.00	10.9	418	601	71	179	28	71	14.9	5.9	6.3	2.37	0.94

表-3.

圖	濾池番號	濾過速度 m/日	平均水溫 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 mm/分	
						最短	最長	最短	最長	最大	最小		最大	最小
8	1	6.40	9.3	650	509	64	133	32	68	20.3	9.6	13.3	1.53	0.72
9	1	6.30	10.5	617	190	57	100	28	50	22.0	12.3	13.1	1.68	0.94

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) 從來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。

圖-10.

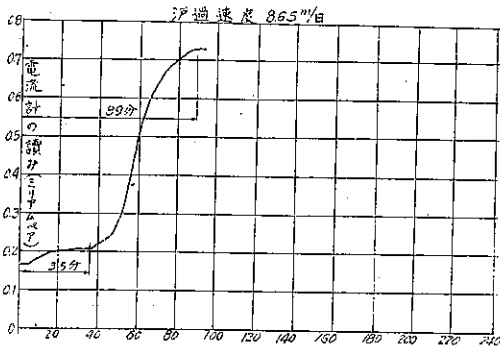


圖-11.

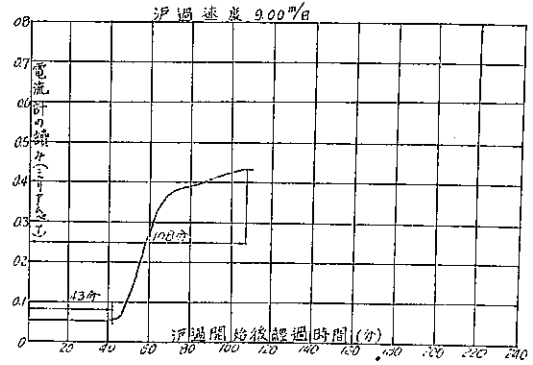


表-4.

圖	濾過池番號	濾過速度 m/日	平均水溫 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
10	1	8.65	22.0	554	660	35	89	16	42	34.6	13.2	18.0	1.92	0.73
11	1	9.00	17.7	697	174	43	108	23	57	30.3	12.2	18.7	16.2	0.65

圖-12.

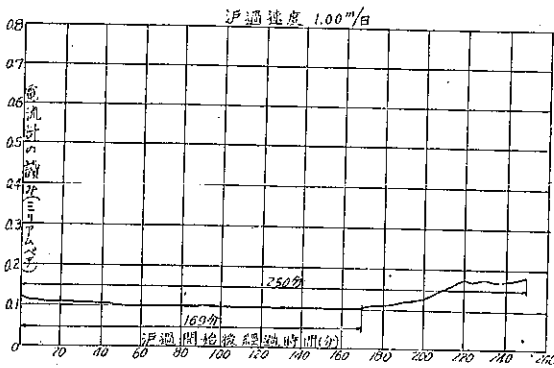


圖-13.

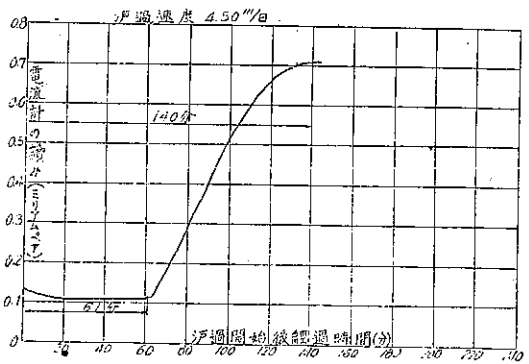


圖-14.

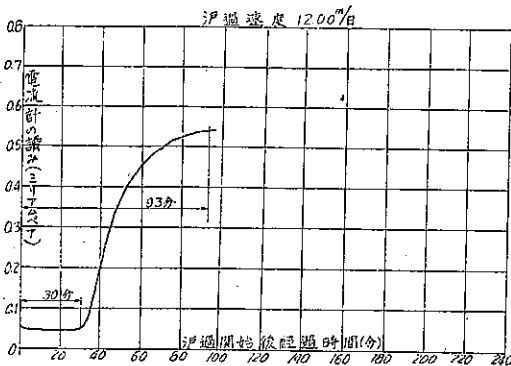


圖-15.

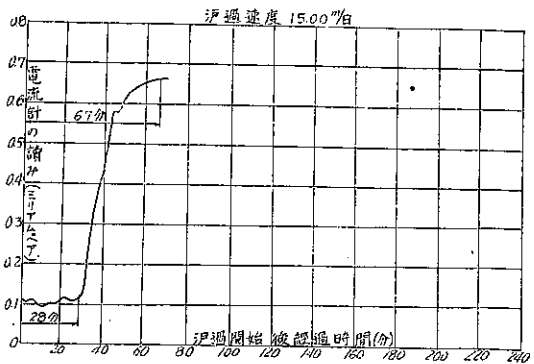


表-5.

圖	濾池番號	濾過速度 m/日	平均水溫 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
12	1	1.00	20.1	567	53	169	250	80	118	7.1	4.8	2.08	3.41	2.31
13	3	4.50	21.7	544	295	61	140	28	65	19.4	8.4	9.4	2.06	0.89
14	3	12.00	22.0	616	390	30	93	15	46	41.0	13.4	26.6	1.54	0.51
15	1	15.00	21.9	675	222	28	67	14	35	48.2	18.2	33.3	1.45	0.55

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

v) 濾過水頭との關係を見るに、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. 細菌除去能率の表はし方

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 點には適合しない。

3) 著者の新方法——細菌數の常用對數に從來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. 中の細菌數。

x = 原水 1 c.c. 中の細菌數。

c = 細菌除去能率

(但し百分率で表す)

4) 二方法の比較。在來の能率 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-16, 表-6)。

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 の増加即濾水々質の悪

圖-16.

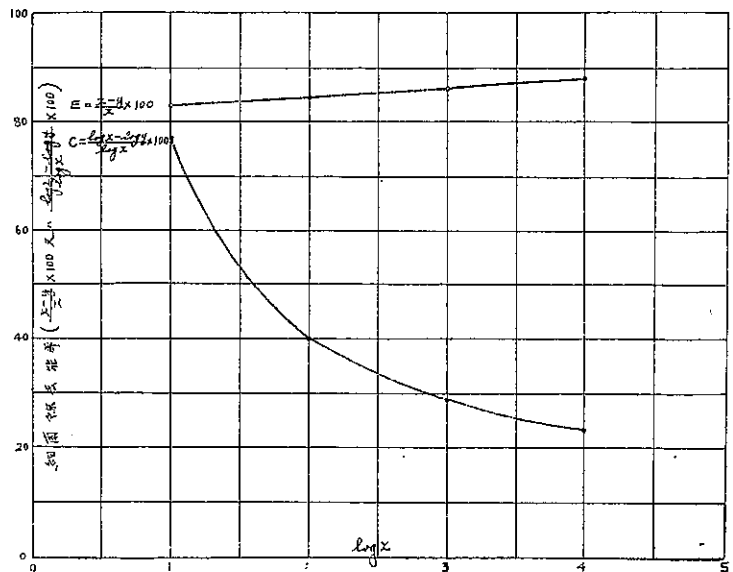


表-6.

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
1 000	140.0	860.0	86.0	3	2.1461	0.8539	28.46
10 000	1 210.0	8 790.0	87.9	4	3.0828	0.9172	22.93

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-17, 表-7)。

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-18, 表-8)。

E は速かに増大して, 100% に近づく。

即ち c は大體上記 3 條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。第一號及第三號濾池を同時に異なる濾過速度を以て

圖-17.

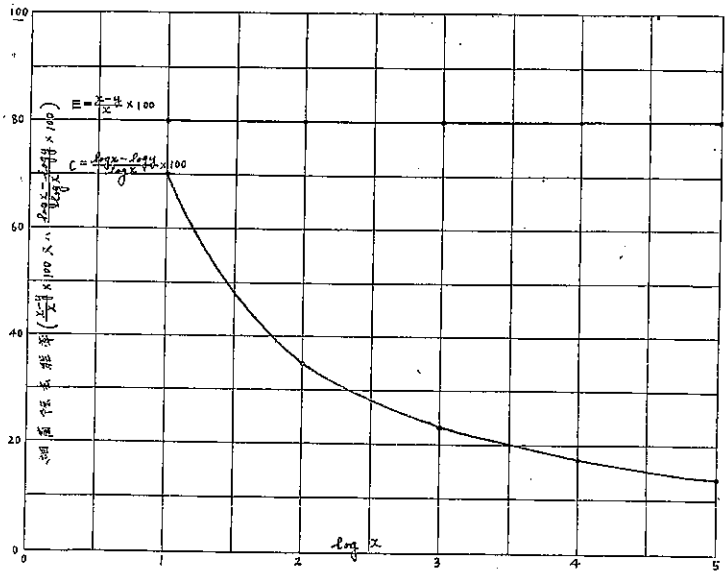


表-7.

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
1 000	200	800	80	3	2.3010	0.6990	23.30
10 000	2 000	8 000	80	4	3.3010	0.6990	17.47
100 000	20 000	80 000	80	5	4.3010	0.6990	13.98

運轉し, 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 3 m/日 を以て, 約 2 ヶ月間繼續濾過運轉を行つた際, 其の間の日々の細菌除去能率を平均して比較すると, 表-9 に示す如く略、同能率を示すが, 強ひて區別すれば第一號が第三號に勝る事が分る。

3) 主實驗 1-3 之は次の如く行つた (表-9)。

i) 第一號 3 m/日 第三號 9 m/日

ii) " 6 " " 3 "

iii) " 6 " " 9 "

結果は、9 m/日、3 m/日、6 m/日の順で、能率が下るのではないかと思はれる。但し判断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

IV. 微生物

V. 砂層内の状態

以上 3 項は何れも目下実験中である。

圖-18.

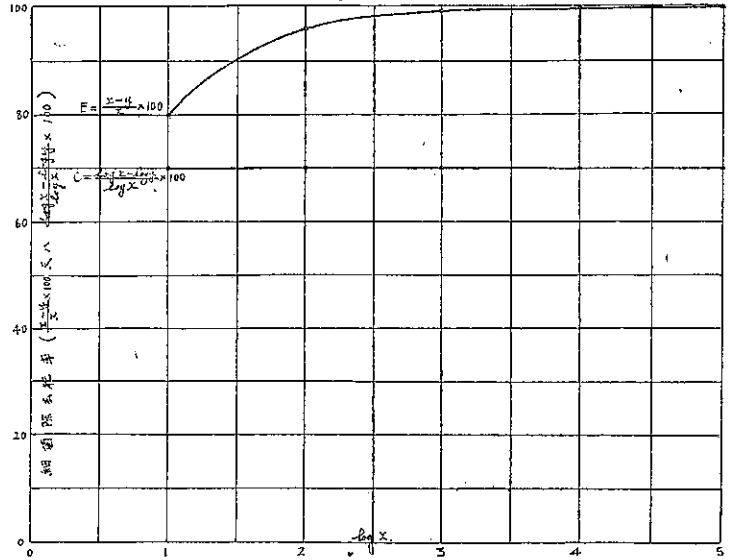


表-8.

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	0.6030	8	992	99.2
10000	0.3010	4	1.2040	16	9984	99.8
100000	0.3010	5	1.5050	32	99968	99.9

表-9.

実験種類	濾池番號	濾過速度 m/日	細菌除去能率平均値 %	能率の差 %	結果判断	判断の 確實性
豫備実験	1	3	58.6±2.26	2.6±2.86	第一號と第三號 は略々同能率	確實
	3	3	56.0±1.75			
主実験1.	1	3	57.9±0.95	9.2±1.28	9 m/日は3 m/日 に勝る	確實
	3	9	67.1±0.91			
主実験2.	1	6	78.2±1.28	0.9±1.73	3 m/日は6 m/日 に勝る	不確實
	3	3	79.1±1.16			
主実験3.	1	6	77.4±1.10	1.9±1.59	9 m/日は6 m/日 に勝る	不確實
	3	9	79.3±1.15			