

# 論 說 報 告

第 24 卷 第 2 號 昭和 13 年 2 月

## 細菌濾過の阻止率 (大腸菌の濾過試験)

會員 岩 崎 富 久\*

**要旨** 本稿は緩速濾過室實驗に依る濾砂層の細菌(大腸菌)阻止状況に關する研究で、曩に著者の提唱せる「阻止率」<sup>1)</sup>に關する諸式が果して増殖力大なる細菌に適用され得るや否やを檢討するを以て目的とする。

### 第 1 章 實 驗 方 法

#### 第 1 節 概 説

吾等の水道では「濾砂による微生物の除去或は濾過」と「鹽素滅菌」との 2 方法が使はれて居る。砂による細菌の濾過に就ては色々に説かれるが、こゝでは砂粒による吸着とか阻止とか一々のことを考へずに濾過の現象を總括的に觀察して見た。即ち本稿は濾過試験の一部なる大腸菌試験の結果を記述し、且つ濾過効率及著者が提唱せる阻止率に關する數値を具体的に示したものである。東京市の水道では昨年夏季には毎日 100 萬 m<sup>3</sup> 以上の水を濾過し且つ晝夜連続的に鹽素滅菌を行つた。即ち昨年 8 月以來各水系では鹽素を連続注入し且つ市内に於けるその残留量を測定して居るから、やがては鹽素滅菌に關する實用上の操作規程を見出して行けることゝ信じて居る。砂による濾過と鹽素滅菌とは市民の水道衛生上の生命線である。

嘗つて東京市其他で引受けた濾過速度補正の仕事は數年前一応その仕事を終へ一通りの報告を了したが、當時の申合はせもあつたので、引続き實驗を行ふこと爾來數年となり著者の手元でもその間出来る丈實驗を繼續して來て、茲にその結果を發表し得ることは非常に欣幸とする次第である。今迄知り得た處では、著者が嘗つて提唱した濾過の阻止率と云ふ事柄は、濾過の色々な問題を解決して行くのに極く大切な役目を演ずるものと云つてよい。蓋し濾過の機能は主として濾砂の表面に出来る濾過膜に依ると説明されて居るが、之を詳しく云ふと主として表面に近く原水中の微生物や汚泥が蓄積して一つの緻密な濾層を作り、それが別に濾過の目的たる別種の微生物譬へば細菌を阻止して、所謂濾過水を得んとするものである。

茲では便宜上細菌以外の硅藻・綠藻其他を微生物と呼ぶことにした。原水中の微生物や汚泥は勿論だが細菌も亦次第に蓄積して行く譯である。此の報告は新しい砂層の中で夫等のものが如何に阻止(抑留、蓄積)せられて行くかと云ふ處までを述べたに過ぎない。砂層の中に微生物や汚泥や細菌等が阻止せられて一つの濾層を作つた場合にその上に来る原水中の微生物や汚泥と相交つて來た細菌が此の濾層に依つて如何に阻止せられるかと云ふ實驗には未だ前途遑速のものがある。

尙ほ新しい砂層の阻止に關しても甚だ不十分な域を脱せぬが、之によつて濾過の現象を幾分分解して得られることも確かと思ふ。

\* 工学士 東京市水道局給水課長

1) 岩崎富久：“東京市淀橋淨水場に於ける濾過速度の試験に就て”土木學會誌 第 20 卷 第 12 號 1565 頁  
岩崎富久：“濾過に關する考察”水道協會雜誌 第 34 號 8 頁

今多数の篩を層状に重ねたとしてその上方からある粉体を落下せしめた場合に、一部は篩の網目にかゝり一部は下方に落下することが想像出来るが、此の場合下方まで通り抜ける量とか途中で阻止せられる量とかは、粉体の大きさ、篩の孔の面積、篩の實質部の面積等によつて自然定まつて來ると思ふ、砂層で微粒子が濾過される状態も亦一応砂粒間の目の大きさと微粒子の大きさ等によると考へ、更に吸引力とか附着力とか或は細菌自身の運動其の他の働きを見ねばなるまいが、茲では一応は機械的に關係式を作り色々の條件は關係式中の係数の取扱によつて取纏めて行く考へである。

第 2 節 濾過に関する諸式

(1) 濾過の基本式 濾過の事象を較々數理的に取扱ふ目的を以て次の諸式を得た。

- 今  $n_0$ : 原水  $1 \text{ cm}^3$  中の微粒子數 (個/ $\text{cm}^3$  又  $\text{mu}/\text{cm}^3$ )
  - $n$ : 濾水  $1 \text{ cm}^3$  中の微粒子數
  - $v$ : 濾過速度 ( $\text{cm}/\text{day}$  又  $\text{m}/\text{day}$ ),  $y$ : 濾過継続時間 ( $\text{day}$ ),  $z$ : 濾層の表面よりの深 ( $\text{cm}$ )
  - $I_0$ : 濾層表面の單位面積に單位時間に到達する原水中の微粒子數 (個/ $\text{cm}^2 \text{ day}$  又  $\text{mu}/\text{cm}^2 \text{ day}$ )
  - $I$ : 或濾層の單位面積に單位時間に到達する原水中の微粒子數 (個/ $\text{cm}^2 \text{ day}$  又  $\text{mu}/\text{cm}^2 \text{ day}$ )
  - $N$ : 濾層の單位面積、單位深の單位体積内に單位時間内に蓄積 (阻止, 抑留) せられたる微粒子數 (個/ $\text{cm}^3 \text{ day}$  又  $\text{mu}/\text{cm}^3 \text{ day}$ )
  - $S$ : 濾層の單位深なる單位体積内にある時間内に蓄積せられたる微粒子數 (個/ $\text{cm}^3$  又  $\text{mu}/\text{cm}^3$ )
- 且つ  $\rho = e^{-\lambda_0 z}$ ,  $\delta = cI_0 y$

と置くときは、爰に出した

$$\frac{\partial I}{\partial z} = -\lambda I \dots\dots\dots(1)$$

なる基本式の中で  $\lambda$  が一定値の  $\lambda_0$  に等しいならば

$$\left. \begin{aligned} I &= I_0 e^{-\lambda_0 z} \\ N &= I_0 \lambda_0 e^{-\lambda_0 z} \\ S &= S_0 e^{-\lambda_0 z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$S_0$  は濾層表面部の  $S$  の値である。そして式の中の  $\lambda_0$  を特に阻止率と稱する。此の  $\lambda_0$  は濾過の持続に伴つて増して行くものである。茲では上記  $S$  に比例して増すと考へた。即  $\lambda_0$  は初期阻止率或は  $S=0$  の時の阻止率であつて、 $\lambda$  はある時間經過後の阻止率と考へると、

$$\lambda = \lambda_0 + cS$$

此の關係は著者が實驗した結果から見て割合に妥當なる關係式であると思へる。尙ほ  $c$  は極く小さな數値であるから普通は

$$cI_0 y \text{ 或は } \delta < 1$$

となる。そして  $\lambda$  が上式のやうに  $S$  に伴つて変化する場合には近似的には次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \lambda_0 + \lambda_0 \rho \\ I &= I_0 \rho \{1 - \delta(1 - \rho)\} \\ N &= I_0 \lambda_0 \{1 - (1 - 2\rho)\} \rho \\ S &= I_0 \lambda_0 y \left\{1 - (1 - 2\rho) \frac{\delta}{2}\right\} \rho \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)_1$$

之等の諸式の検討は他に譲り、茲には上式にある  $\lambda$  或は  $\lambda_0$  等所謂濾過の阻止率に對する検討を記述する考である。

(2) 阻止率算出の法 上記  $\lambda = \lambda_0 + cS$  中の  $\lambda, \lambda_0, c$  等を算出する一つの簡易な方法は、先づ表面に近いある層の阻止率をば一応

$$\lambda = \lambda_0 + cS_0$$

と假定して

$$\frac{\partial I}{\partial z} = -\lambda I$$

より

$$I = I_0 e^{-\lambda z}$$

$$N = I_0 \lambda e^{-\lambda z}$$

然れば

$$S = \int_0^y N dy = I_0 \lambda y e^{-\lambda z}$$

ここに  $I_0 \lambda y = S_0$  なる故

$$S = S_0 e^{-\lambda z} \dots\dots\dots (3)$$

或は

$$\log S = \log S_0 - \lambda z \log e \dots\dots\dots (4)$$

實驗に依つて砂層の表面に近い  $z_1, z_2$  兩層に於ける測定値  $S_1, S_2$  が得られたならば

$$\log S_1 = \log S_0 - \lambda z_1 \log e$$

$$\log S_2 = \log S_0 - \lambda z_2 \log e$$

によつて

$$\lambda = \frac{\log S_1 - \log S_2}{(z_2 - z_1) \log e} \dots\dots\dots (5)_1$$

此の  $\lambda$  を使つて  $S_0$  を求め得る。

$$\log S_0 = \log S_1 + \lambda z_1 \log e \dots\dots\dots (5)_2$$

今

$$\lambda = \lambda_0 + cS_0$$

なる關係式に於て濾過時間のみを変へて他の諸條件を等しくして求めたる2種の値 ( $S_{01}, \lambda_1$  及  $S_{02}, \lambda_2$ ) を代入して

$$\lambda_1 = \lambda_0 + cS_{01}, \quad \lambda_2 = \lambda_0 + cS_{02}$$

此の兩式から  $c$  を消去することによつて

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_2 S_{01} - \lambda_1 S_{02}}{S_{01} - S_{02}} \dots\dots\dots (7)$$

又  $\lambda_0$  を消去することによつて

$$c = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{S_{01} - S_{02}} \dots\dots\dots (8)$$

若し ( $S_{01}, \lambda_1$ ), ( $S_{02}, \lambda_2$ ) .....等の時には

$$\lambda_0 = \frac{[S_{01}^2][\lambda] - [S_0][S_0 \lambda]}{n[S_{01}^2] - [S_0]^2} \dots\dots\dots (7)_2$$

$$c = \frac{[S_{01}^2][\lambda] - [S_0][S_0 \lambda]}{n[S_{01}^2] - [S_0]^2} \dots\dots\dots (8)_2$$

公式中

$\lambda$ : 阻止率 ( $\text{cm}^{-1}$ ),  $\lambda_0$ :  $S=0$  の時の阻止率或は初期阻止率 ( $\text{cm}^{-1}$ )

$c$ : 阻止率増加係数 ( $\frac{\text{cm}^2}{\text{個}}$  又  $\frac{\text{cm}^3}{\text{mu}}$ )

數種の微粒子の濾過の實驗の結果を此等の式に入れて夫々の阻止率を求めた。茲には夫等の計算の詳細は省略

するが略々妥當な結果が得られたので、水道で云ふ濾過と云ふ事柄の本來の目的である細菌濾過の實驗を試みたのであるが、緩速の場合ならば普通に云ふ細菌を細砂で濾過する場合にも略々妥當と思はれる結果が得られた。依つて茲には其の詳細を記して些か濾過の現象の検討に資し度いと思ふ。

### 第3節 細菌濾過の實驗

著者は試驗濾池 3 面を使つて室外の實驗を約 100 回も施行したが、更に生じた疑問を解くべく室内實驗を數十回施行して、小規模だが精確と思はれる結果を得るに努めた。此の室内實驗に當つても濾過すべき微粒子の算定とか試験装置とか觀測事項等とかに相當工夫を凝したものであつたが、色々の都合で潤澤な實驗も行へなかつたから、夫等限りある實驗の結果を基礎として一般を律する數式を得ようとするのは不都合であつて、茲に出した結果は阻止率の輪廓或は大体の傾向を提示する程度に過ぎまいと思ふ。併し將來更に多數の實驗を重ねて阻止率の内容を一層究めたいと考へて居る。

尙後述の様に細菌以外のものに就ては較々妥當な結果が得られたとしても、細菌の如く増殖の速かなるものに對しては長時間の實驗は相當に不確實な結果を齎すことになる譯で、之等は詮方なきこととしてその他目に見えぬ誤謬が入込まぬ様に實驗に對しては出来るだけ注意を拂つたものである。

(1) 濾過装置 本實驗に於ける濾過装置は實驗室内に設けた小型濾器及其の附屬器で、濾器は高さ約 40 cm、切口面積 30 cm<sup>2</sup> の硝子円筒で、上端近く側面には原水タンクに通ずる引入管を付し、下端近く側面には濾水引出管を設けた。濾器内には厚さ 15 cm の濾砂層を作つたが、その使用濾砂は TYLER 篩による篩分砂で平均径は 417 $\mu$  (TYLER No. 28~48), 227 $\mu$  (No. 48~80), 160 $\mu$  (No. 80~100) 及 104 $\mu$  (No. 100~200) の 4 種である。濾砂層の下部には 3 層の細砂利層を設け下層程平均径大なるものを用ひた。即上層より TYLER No. 18~28 (使用量 50 g), No. 14~28 (50 g) 及 4~8 (150 g) の 3 種である。かゝる装置を前記阻止率算定の必要上 2 個併用した。其の他の條件は表-1 の通りである。

(2) 供試細菌 實驗前豫め多摩川原水より分離培養した普通大腸菌 (幅 0.4~0.7 $\mu$ , 長 1.0~5.0 $\mu$ ) を用ひた。この寒天平板混合培養による聚落は圖-1 の如くで、圖-2 は別に實驗を行つた球菌 (径 1.5~2.0 $\mu$ ) の聚落を示す。

圖-1. 37°C, 24 時間寒天平板混合培養による大腸菌聚落 (1 目盛 140 $\mu$ )

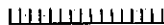
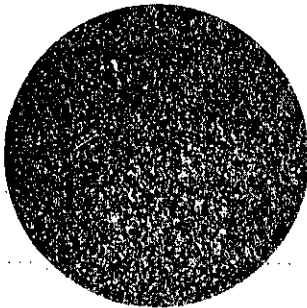
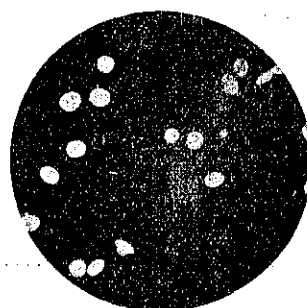


圖-2. 同じく球菌 1 種の聚落 (1 目盛 300 $\mu$ )



### (3) 上水の細菌聚落數判定標準規格

- 寒天培養基を用ひ 37°C, 24 時間培養にて上水 1 cm<sup>3</sup> につき一般細菌數は 50 個以下なること。
- 或は 20~22°C, 48 時間培養にて上水 1 cm<sup>3</sup> につき一般細菌數は 100 個以下なること。

c. 37°C, 24 時間培養にて上水 1 cm<sup>3</sup> につき遠藤赤化菌を認めざること。

以上 3 項は水道協會協定にかゝる昭和 11 年度改正水質試験法中細菌に関する條項で、本実験では總て規格 a に従ひ培養を行つた。

#### 第 4 節 準備 操作

(1) 濾砂の滅菌 使用濾砂(及細砂利)は濾床作製前に 1 日 1~2 時間づゝ 3 日間 150~180°C にて乾熱滅菌器(図-3)で滅菌を行つた。

(2) 原水の調製 供試細菌の 24 時間 37°C 寒天培養 10 斜面を 0.85% 滅菌生理的食鹽水 4 立に溶かし、1 cm<sup>3</sup> 中約 1 500 000 個前後の菌浮游原水を作り、之を前記原水タンクに注入した。

#### (3) 濾床の作製

前記の如くにして可及的無菌の操作の下に作製した濾床は、KOCCH 氏蒸氣釜(図-4)で 1 日 1 時間づゝ 3 日間間歇蒸氣滅菌を行ひ、更に實驗直前に滅菌水逆送により洗滌し次で豫め煮沸滅菌して置いた引入管、引出管等の附屬器具を滅菌ピンセットで取付けた。

(4) 濾速の調整 原水注水量の加減により大体所期濾速に調整し、更に實驗中實際流量測定により正確な値を算出した。

(5) 寒天培養基の製造 供試細菌の分離培養及聚落測定用寒天培養基製法は次の如くである。

食鹽 5 g. 照内ペプトン 10 g. LIEBIG 肉エキス 10 g. 上水 1 000 cm<sup>3</sup>

図-3. 乾熱滅菌器

濾砂、ピンセット、シャーレ等の滅菌用

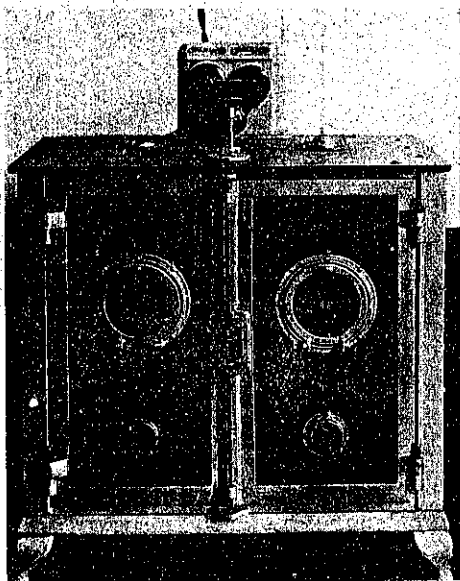


図-4. KOCH 氏蒸氣釜

培養基、生理的食鹽水、試験管、濾器等の滅菌用



以上を混和煮沸溶解し、 $Pn=7.0$  内外とし、細菌聚落數判定用には寒天 20 g, 斜面培養基用には寒天 30 g を加へ、KOCCH 氏釜で充分滅菌した後 60°C 以下に冷却後、豫め用意せる卵白 2 個分を加へ良く振盪攪拌し、更に蒸

氣釜で加熱し卵白が完全に凝固し浮び上つた時それを濾紙で速かに漉し去り、聚落數判定用には滅菌中試験管に約 10 cc 宛分注し、更に 1 日 30 分 3 日間蒸氣滅菌し、斜面用には濾過滅菌後分注した。

### 第 5 節 實驗操作

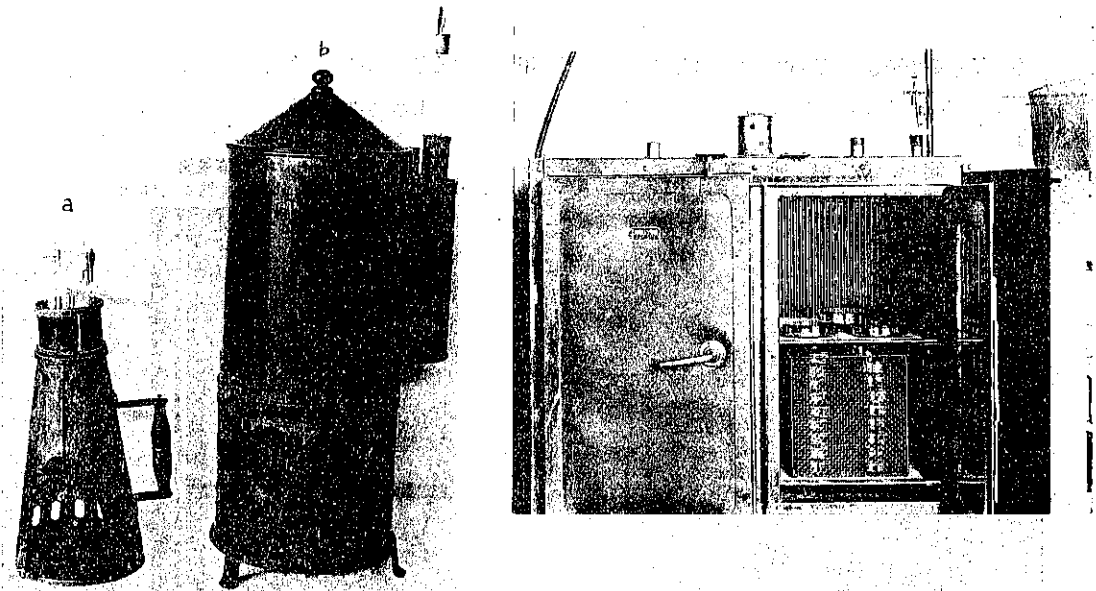
(1) 原水中細菌數の測定 濾器内原水 1 cm<sup>3</sup> を滅菌ピペットで採り滅菌生理的食鹽水で 10 倍に稀めその 1 cm<sup>3</sup> につき寒天平板混合培養を行つた。即ち分注高層寒天を寒天溶解器(圖-5 a)で溶解し恒溫水浴(圖-5 b)に注ぎ、之に前記稀釋原水を注いでよく混和し冷却凝固後孵卵器(圖-6)で 37°C, 24 時間培養を行つた。かくて培養されたものは顯微鏡下でその一定体積培養基内の細菌聚落數が數へられ、夫れは原水 1 cm<sup>3</sup> 中の値に換算された。尙ほ原水採酌は一定時間を置き 2, 3 回施行した。

(2) 濾水中細菌數の測定 濾水は滅菌試験管で採酌し原水の場合と同様培養及計數を行つた。濾水採酌に當り濾過經過時間を考慮に入れるのは既記の如くである。

圖-5. 寒天溶解器及瓦斯恒溫水浴

a: 高層寒天溶解用寒天溶解器  
b: 寒天を溶解状態に保つ爲の瓦斯恒溫水浴

圖-6 細菌培養用孵卵器



(3) 砂層内細菌數の測定 濾過終了干水後砂層に滅菌した濾層採砂器を垂直に挿入して採砂し、それから試験砂採取器により砂表層より種々の深さ(0.1; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 各 cm 等)に相當する場所の砂 0.1 cm<sup>3</sup> 宛を採り各滅菌生理的食鹽水で 1000 倍に稀めその 1 cm<sup>3</sup> につき寒天平板混合培養を行つた。尙ほ濾層採砂器及試験砂採取器は使用後毎に煮沸滅菌を行つた。又聚落數算出に當つては 1 平板の總聚落數を 1000 倍して砂層 1 cm<sup>3</sup> 中の細菌數( $S$ )を求めた(表-1)。

## 第 2 章 實驗結果

第 1 節 砂層内細菌分布測定數( $S$ )と、其の推定數( $S_1, S_2$ )に依る阻止率( $\lambda$ )及砂表層細菌分布數( $S_0$ )の算定

濾過後砂層の種々の深さ ( $z=0.1; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5; 7$  cm 等) に於ける細菌分布数 ( $S/cm^3$ ) を計測した結果、濾砂の径の甚しく大ならざる場合には深部に至るに従ひ  $S$  は顯著に減少した (表-2, 図-7)。かかる現象は濾過效力發現に關する砂層説の實驗的證據と云ふことが出來、同様の結果は本邦に於ても服部氏 (1917), 近藤氏 (1937) 等<sup>1)</sup> に依つても得られ、著者 (1936) は細菌のみならず濾過汚泥、硅藻其の他の微生物に就て行つた多數の實驗によつても認め得た所である。

表-1. 大腸菌濾過實驗に關する諸條件

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日期	濾別	濾別	濾別	濾別	濾別	濾別	濾別	濾別	濾別	濾別	濾別
11.10.9	I	15	160	-	10.4	309	0.118	5.449	-	-	-
11.10.20	I	"	227	0.180	"	300	0.118	6.114	52.72	18.4	-
11.10.20	II	"	104	0.067	"	521	0.118	3.725	58.20	20.5	-
12.1.21	I	"	150	0.089	"	697	0.099	3.025	52.19	12.9	-
11.11.20	I	"	227	0.191	"	707	0.132	4.688	51.66	-	-
11.11.27	I	"	227	0.190	"	497	0.103	6.045	47.08	12.2	-
11.12.4	I	"	160	0.155	"	487	0.103	5.338	52.72	18.4	-
11.12.10	I	"	104	0.076	"	483	0.103	5.425	57.84	16.3	-
11.12.17	I	12	104	0.072	"	625	0.099	3.660	59.24	17.2	-

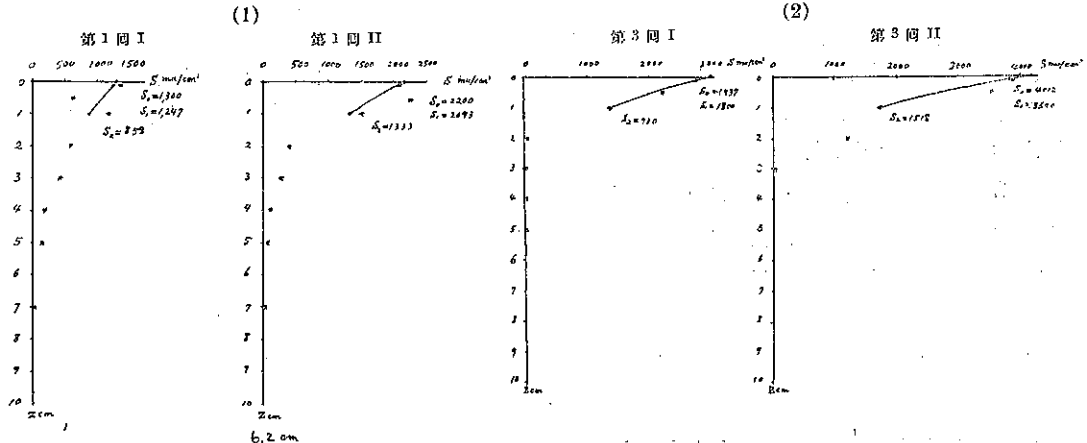
表-2. 砂層内細菌分布測定数 ( $mu/cm^3$ )<sup>2)</sup>

試料	層別	0.1	0.5	1	2	3	4	5	7	8	9
1	I	1349	6179	1150.9	920.0	430.6	192.4	125.0	2.6	-	-
	II	2100.0	2256.3	511.3	422.8	280.0	102.5	73.0	2.2	-	-
2	I	721.8	4753	578.5	575.9	451.0	574.8	580.0	145.0	-	-
	II	885.4	723.2	608.2	515.0	416.5	524.5	534.3	231.0	-	-
3	I	2762.6	2704.9	1763.5	33.2	3.0	2.0	2.0	0.2	-	-
	II	3244.7	3556.3	1756.5	1232.6	32.5	7.3	2.2	0.2	-	-
4	I	1786.0	-	1548.0	1014.0	1191.0	71.0	4.3	2.1	-	2.1
	II	1155.0	-	1474.0	1149.0	338.0	113.0	7.0	0.5	-	2.5
5	I	500.0	285.0	208.0	262.0	283.0	420.0	476.0	307.0	-	-
	II	502.0	337.0	350.0	287.0	452.0	626.0	661.0	-	-	-
6	I	1170.0	1430.0	833.0	597.0	514.0	634.0	772.0	568.0	-	-
	II	1282.0	1361.0	177.0	479.0	625.0	210.0	676.0	922.0	-	-
7	I	2160.0	2685.0	1422.0	1000.0	304.0	312.0	200.0	8.0	-	-
	II	2053.0	2346.0	3009.0	1428.0	1791.0	554.0	26.0	56.0	-	-
8	I	1884.0	-	1006.0	64.0	0.9	0.03	0.01	0	-	0
	II	5581.0	4724.0	1422.0	336.0	387.0	380.0	275.0	24.0	-	2.0
9	I	2426.0	-	1710.0	151.0	103.7	12.2	6.2	0.07	0.08	0.13
	II	2720.0	-	2523.0	153.0	67.0	24.0	6.0	0.1	0.07	0.0

砂層の深さ ( $z$ ) に依り細菌数 ( $S$ ) の変化する状態を見るに概して表層程分布数多く且つ深さによる減少の割合大きく、前記濾過の公式が適合することを示した (図-7)。

図-7. 砂層内細菌分布測定数及表層附近の分布推定数

\* 細菌分布数測定値 ● 同推定値



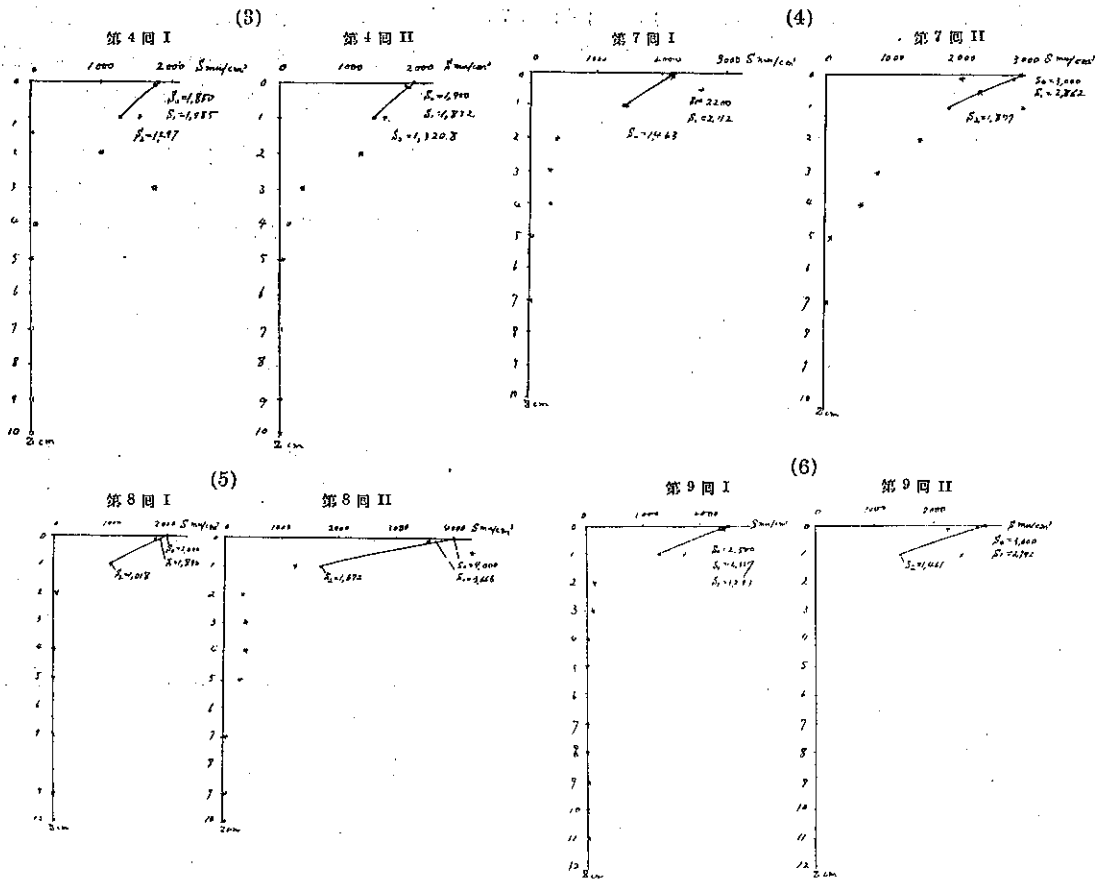
1) HATORI, H 1917, Microbiologische Untersuchungen über einige japanische Wasserleitungen; Journ. Col. Sci. Imp. Univ. Tokyo, 40, 4.

近藤 1937, 濾層の細菌除去率, 濾過機能; 水道協會雜誌 No. 45.

岩崎 1936 濾層の汚染に就て; 水道協會雜誌 No. 41.

岩崎 1936 濾過膜と濾過効率; 水道協會雜誌 No. 43.

2)  $mu/cm^3$  は 100 萬個單位/cm<sup>3</sup> の略



かくして得た分布測定数をグラフに書き、 $z_1=0.1\text{ cm}$ ,  $z_2=1\text{ cm}$  兩層の分布数 ( $S_1$  を  $S_2$ ) を各實驗回次に於ける一對の實驗結果を比較し適當に更正推定した。次で其等を用ひ公式 (5<sub>1</sub>) 及 (5<sub>2</sub>) により砂表層細菌分布数 ( $S_0$ ) 及阻止率 ( $\lambda$ ) を算定した (表-3, 図-7)。

第 2 節 砂表層細菌分布数 ( $S_0$ ) と阻止率 ( $\lambda$ ) との関係

以上により得た  $S_0$  と  $\lambda$  とを比較するに、 $\lambda$  は  $S_0$  の大なるに従ひ高率となり表-4, 図-8 の如き正比例的關係を示した。但し濾速や濾砂の径等を考慮しなかつたし又後述の如く  $S_0=0$  の時  $\lambda (= \lambda_0)=0$  とはならないから、 $\lambda = 0.228 \times 10^{-3} S_0$  なる關係は餘り嚴密なものではなく單に  $\lambda$  と  $S_0$  との大体の關係を示すものに過ぎない。

$S_0$  は濾過經過と共に増加すべきが故に  $\lambda$  も亦従つて高率となるわけであるが、かかる關係は測定結果に於ても明示された。

第 3 節 濾過經過時間 ( $y$ ) と阻止率との關係

各實驗回次に於て濾過時間 ( $y$ ) を異にする 2 種宛の實驗を行つたが、 $y$  は共に極めて短時間であつたにも拘らず兩者を比較すると常に  $y$  は長い程  $\lambda$  は高率を示した (表-3)。これは第 2 節で述べた如く  $y$  の増加と共に  $S_0$  の増加した結果に外ならない。

第 4 節 初期阻止率及其の増加係数の算定

第 2 節で得た  $\lambda$  及  $S_0$  の一對宛の値 ( $\lambda_1, \lambda_2$  及  $S_{01}, S_{02}$ ) を公式 (7) 及 (8) に代入し初期阻止率 ( $\lambda_0$ ) 及其の増



図-8. 砂表層細菌分布数(S<sub>0</sub>)と阻止率(λ)との関係

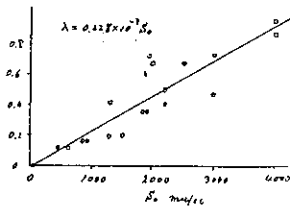


表-4. 砂表層細菌分布数(S<sub>0</sub>)と阻止率(λ)との関係

濾過層深さ (cm)	濾過回数	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		
		S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	
300	I	1400	0.168	1300	0.415	1250	0.734	1362	0.438													
	II	900	0.172	2200	0.501	4012	0.972	2371	0.548													
500	I	1300	0.183	2200	0.408	2000	0.676	1833	0.422													
	II	1500	0.197	3000	0.469	4000	0.872	2833	0.479													
700	I	450	0.105	1850	0.355	2500	0.675	1600	0.378													
	II	600	0.114	1200	0.358	3000	0.720	1833	0.398													

表-3. 阻止率(λ)及砂表層細菌分布数(S<sub>0</sub>)の計算値

$$\lambda = \frac{\log S_1 - \log S_2}{(z_2 - z_1) \log e} \dots \dots \dots (51)$$

$$\log S_0 = \log S_1 + \lambda \log e \dots \dots \dots (52)$$

濾過層深さ (cm)	濾過回数	1		2		3		4		5		6	
		S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ	S <sub>0</sub>	λ
1	I	0.118	0.1	0.1	0.168	0.1	0.150	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
	II	0.201	0.1	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
2	I	0.118	0.1	0.1	0.168	0.1	0.150	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
	II	0.201	0.1	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
3	I	0.118	0.1	0.1	0.168	0.1	0.150	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
	II	0.201	0.1	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
4	I	0.118	0.1	0.1	0.168	0.1	0.150	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
	II	0.201	0.1	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
5	I	0.118	0.1	0.1	0.168	0.1	0.150	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
	II	0.201	0.1	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
6	I	0.118	0.1	0.1	0.168	0.1	0.150	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
	II	0.201	0.1	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
7	I	0.118	0.1	0.1	0.168	0.1	0.150	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
	II	0.201	0.1	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
8	I	0.118	0.1	0.1	0.168	0.1	0.150	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172
	II	0.201	0.1	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172	0.1	0.172

加係数を算出した結果は表-5の如くである。こゝに用ひたλは表層近くの細菌分布状態から算定した値である。尚ほSは深層程減少しλも亦深層程低下する。深さによるλの変化を假に

$$\lambda_{calc} = \lambda_0 + cS$$

より出すと表-6, 図-9. の如くなる。尚ほ細菌聚落数に就ては WELLS 等の説く如く對数を用ひるものとせば上式は

$$\lambda = \lambda_0 + c \log S$$

となるが、本實驗は比較的細菌數測定方法が嚴格であつたから對数を用ひず實數を採つた。

第5節 未濾水及濾水中細菌數より見た阻止率(λ')

未濾水及濾水中細菌分布数(n<sub>0</sub>及n)の比較より見た阻止率(λ')は公式(51)の応用である次式により算出した。

$$\lambda' = \frac{\log n_0 - \log n}{z \log e}$$

λ'は濾過開始後時間経過と共に減少する傾向を示した。これは濾過時間が短かつた爲に砂表層通過細菌が未だ濾水に定常的出現を示すに至らなかつた結果であらう。故に濾過時間を更に長くすれば濾過後砂層内分布より見た場合と同様に阻止率は次第に増加する見込である。

第6節 未濾水及濾水中細菌數より見た阻止率(λ')と濾砂の径(D), 濾速(v)との関係

λ'と濾砂の径(D), 濾速(v)との關係は別記λの場合と同様で、D一定の時hはv大なる程、又v一定なる時はDの大なる程λ'は低下した。

第7節 砂層内細菌分布測定數と計算數との比較及假定増殖程度

砂層内細菌分布より上述の如くにして算出したλ<sub>0</sub>及cの測定値を用ひて、下記數式により砂層内各深さに於ける分布數(S<sub>calc</sub>)を計算し、それと測定値(S)との比較を試みた所、表-6, 図-9. の如く兩者は大体相一致した。

$$S_{calc} = S_0 e^{-\lambda z} = S_0 \rho'$$

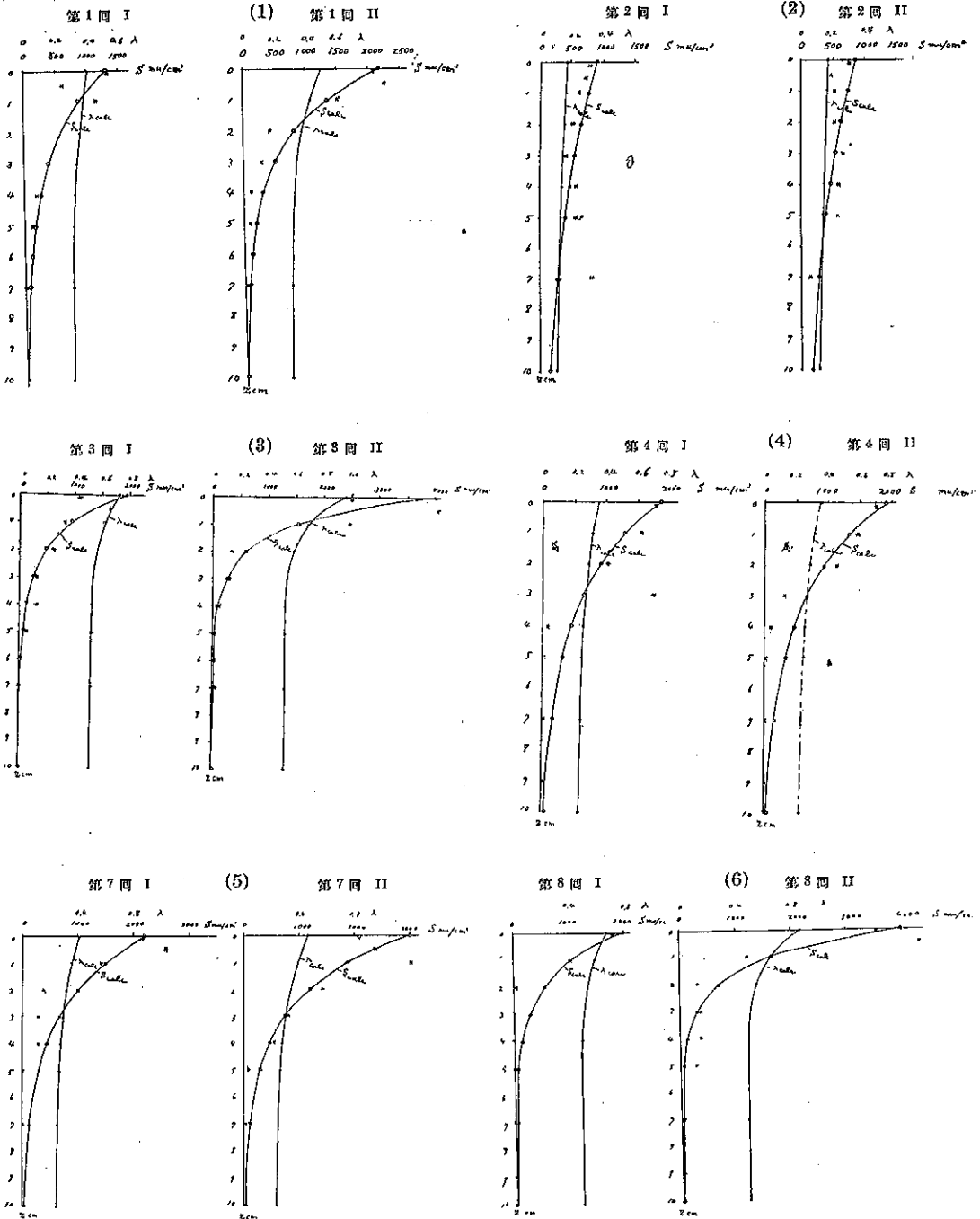
茲に  $\rho' = e^{-\lambda z}$ ,  $\lambda = \lambda_0 + cS_0$  と假定

若し得たるλ<sub>0</sub>及cを公式(2)<sub>2</sub>の

$$S = I_0 \lambda_0 v \left\{ 1 - (1 - 2\rho) \frac{\delta}{2} \right\} \rho$$

図9. 砂層内細菌分布数測定値(S)と計算値(S calc)との比較及阻止率計算値(λ calc)の深さによる変化

\* 細菌分布数測定値 S, ○ 同計算値 S calc, ● 阻止率計算値 λ calc





$$t = \frac{24y}{\alpha} = \frac{24y \cdot \log 2}{\log S_0 - \log S_0'} \quad (\text{時})$$

**第 8 節 初期阻止率 ( $\lambda_0$ ) 及其の増加係数 ( $c$ ) と濾速 ( $v$ ) との関係**

濾砂の径 ( $D$ ) を一定にし濾速 ( $v$ ) を 3, 5, 7 m に各変化せしめた結果,  $\lambda_0$  は  $v$  の大なるに従ひ減少を示し各種  $D$  の場合の平均値として

$$\lambda_0 = \frac{1.713}{v^{0.99}}$$

なる関係式を得た。又  $c$  と  $v$  との間にも同様に

$$c = \frac{0.782 \times 10^{-9}}{v^{1.365}}$$

なる関係式が成立した。

**第 9 節 初期阻止率 ( $\lambda_0$ ) 及其の増加係数 ( $c$ ) と濾砂の径 ( $D$ ) との関係**

濾速 ( $v$ ) を一定にし濾砂の径 ( $D$ ) を 227, 160, 104  $\mu$  に各変化せしめた結果,  $\lambda_0$  は  $D$  の大なるに従ひ減少し, 各種  $v$  の場合の平均値として

$$\lambda_0 = 1 - \frac{341}{D}$$

なる関係式を得た。又  $c$  と  $D$  との間にも同様に

$$c = 1 + \frac{92.3}{D}$$

なる関係式が成立した。

(附) 篩分砂の平均径 ( $D$ ) と有効径 ( $D'$ ) との比較

上述の濾砂の径は篩分砂の平均径 ( $D$ ) 即使用篩の size を  $D_1, D_2$  とし  $D = \sqrt{D_1 D_2}$  として求めた値を意味するのであるが, 少くも此の篩分砂に対しては有効径 ( $D'$ ) を用ひても前記諸関係が成立するであらう。蓋し篩分砂の時には上記の  $D$  と  $D'$  との間には明かに

$$D' = 0.784 D$$

なる正比例的関係が認められたからである (図-10, 表-1)。

**第 10 節 初期阻止率 ( $\lambda_0$ ) 及其の増加係数 ( $c$ ) と濾速 ( $v$ ) 及濾砂の径 ( $D$ ) との相互関係**

前 2 節に示した  $\lambda_0$  及  $c$  と  $v$  及  $D$  との関係式を組合せ, 最小自乗法により各常数を定めた結果は次の諸式を得た (計算内譯省略)。

$$\lambda_0 = \frac{1.297}{v^{0.99}} \left( \frac{341}{D} - 1 \right), \quad c = \frac{0.475 \times 10^{-9}}{v^{1.365}} \left( \frac{92.3}{D} + 1 \right)$$

上式に種々の  $v$  及  $D$  を與へた場合の  $\lambda_0$  及  $c$  の計算値 ( $\lambda_{0 \text{ calc}}, c_{\text{calc}}$ ) を次の如くにして求めた。

$$\log \lambda_{0 \text{ calc}} = \log 1.297 - 0.299 \log v + \log \left( \frac{341}{D} - 1 \right)$$

$$\log c_{\text{calc}} = \log(0.475 \times 10^{-9}) - 0.365 \log v + \log \left( \frac{92.3}{D} + 1 \right)$$

かくして得た計算値と測定値との比較を試みた結果は表-8, 9, 図-11~14 の如くで両者は略よく一致した。上式は少くとも平均径  $D$  が 300  $\mu$  以下の濾砂で濾速 300~450 cm/day の場合に適用され得るものである。

図-10. 使用濾砂の平均径 ( $D$ ) と有効径 ( $D'$ ) との関係

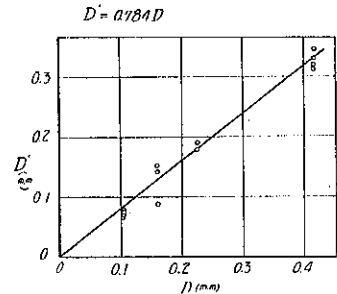




表-10. 濾過微粒子の大きさ (d) と初期阻止率 (λ₀) 及其の増加係数 (c) との関係

項	目	1	2	3	4	5	6	7	8
	濾過微粒子				Fragilaria	Scenedesmus	白陶土	球菌	大腸菌
	Δ (μ³)				7.1 × 10²	1.3 × 10³	4.2 × 10¹	2.8 × 10¹	0.7 × 10¹
λ₀	v (cm/d)		300	227	5.10	1.99	0.74	0.38	0.10
			700	"	3.95	1.40	0.55	0.25	0.08
c	v (cm/d)		300	"	90 000 × 10⁻⁹	70 000 × 10⁻⁹	2.9 × 10⁻⁹	0.12 × 10⁻⁹	0.08 × 10⁻⁹
			700	"	70 000 × 10⁻⁹	30 000 × 10⁻⁹	2.2 × 10⁻⁹	0.08 × 10⁻⁹	0.06 × 10⁻⁹

第 11 節 二、三の濾過微粒子の初期阻止率及其の増加係数と夫等微粒子の大きさとの関係

著者は曩に本実験と同様の諸条件下に I 種の球菌, 白陶土, 緑藻 (Scenedesmus), 珪藻 (Fragilaria) 等について多くの濾過実験を重ねた結果, 本実験と略々同様の諸傾向を認め, 各につき初期阻止率及其の増加係数と濾速及濾砂の径との一応の関係を求めた。その一部は表-11, 12 の如くであつた。但

図-15. 濾過微粒子の大きさ (d) と初期阻止率 (λ₀) との関係

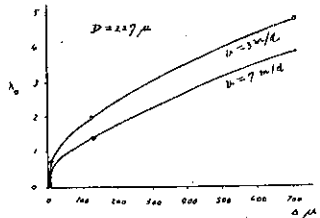
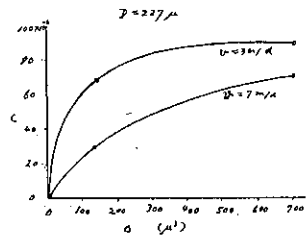


図-16. 濾過微粒子の大きさ (d) と阻止率増加係数 (c) との関係 (大約)



しその詳細は別報に譲ることとし, こゝでは濾速及濾砂の径の 2 種の組合せ (v=300 cm/day, D=227 μ 及 v=700 cm/day, D=227 μ) を選び, 此等微粒子の大きさ d と初期阻止率及其の増加係数との関係を考察した所, 表-10, 図-15, 16 の如く λ₀ 及 c は d の小なるもの程小さく, 従つて砂層通過の容易なるを示した。併し微粒子の種類を異にするに従ひ形状性状等に種々差異を生ずるから, d, λ, c 間の関係を數式に表すことは困難と思ひ, こゝでは單に上記傾向を指摘するに止めて置く。又生物特に細菌の場合には増殖現象の存在が實驗上の支障となり, 濾過時間短縮の止むなきに至り, 従つて観測も不充分なるを免れ得なかつた。白陶土の如き無生物の場合にはそんな心配は無いが, 一方砂中既存の汚泥粒子と檢識別が相當に困難であつたから, 砂を殆ど完全に近く洗滌して汚泥を取除き且つ 2 人の観測者が別々に之を檢鏡して分布數を測定し以て結果の公正に努めた。

第 3 章 摘要及結語

(1) 著者は曩に濾過微粒子の濾砂層内各深さに於ける透過數 (I) は深部程減少し, その減少の割合は其の深さ (z) に於ける透過數に比例すると考へたが, 本実験は上記考察に大腸菌による實驗的證明を與へて居る。

即ち 
$$\frac{dI}{dz} = -\lambda I$$

茲に λ を阻止率と名付けた (第 2 章, 第 1 節)。

(2) 未濾水及濾水中細菌分布數 (n₀ 及 n) より見た阻止率 (λ') は, 砂層内分布より見た阻止率 (λ) と種々の點でよく一致した。其等の計算式は次の如くである。

$$\lambda = \frac{\log S_1 - \log S_2}{(z_2 - z_1) \log e} \quad (1, 2 \text{ は深さの差を示す符號})$$

$$\lambda' = \frac{\log n_0 - \log n}{z \log e} \quad (\text{同第 1, 5, 6 節})$$

(3) 阻止率は砂層内細菌分布数 ( $S$ ) の大なる程高率になった。

即ち  $\lambda = \lambda_0 + cS$

茲に  $\lambda_0$  を初期阻止率,  $c$  を阻止率増加係数と名付けた。 $\lambda_0$  及  $c$  の計算式は次の如くである。

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_2 S_{01} - \lambda_1 S_{02}}{S_{01} - S_{02}}, \quad c = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{S_{01} - S_{02}} \quad (\text{同第 2-4 節})$$

(4) 濾砂の平均径  $D$  ( $\mu$ ) 大なる程, 又濾速  $v$  (cm/day) 大なる程初期阻止率  $\lambda_0$  及阻止率増加係数  $c$  は小となった。其等の関係は一応次の如く表はされた。

$$\lambda_0 = \frac{1.297}{v^{0.99}} \left( \frac{341}{D} - 1 \right) \quad (\text{但 } 100 \mu < D < 300 \mu)$$

$$c = \frac{0.475 \times 10^{-9}}{v^{0.365}} \left( \frac{92.3}{D} + 1 \right) \quad (\text{同第 8-10})$$

(5) 本実験と別に施行した 1 種の球菌, 白陶土, 緑藻 (Scenedesmus), 珪藻 (Fragilaria) 等の実験との結果とから,  $\lambda_0$  は大体此等濾過微粒子の大きさ ( $d$ ) の大なるもの程高率となることを知り得た (同第 11 節)。

本実験には種々更に考へねばならぬ點があり, 特に細菌の如く微小なる上時々刻々増殖するものに對しては, 実験上技術を要する點多くそれ従つて実験の結果も大いに異なるに至り, 又それに伴つて幾多不可解の事實に遭遇するであらう。併し砂粒が細かく濾速も 300~450 cm/day の場合は普通細菌に對して本提言は正しいと思ふ。若しかゝる解法を認めて貰つて各種微生物の濾過に對する解決の一段階となる事になれば幸である。