

東北大学工学部 正員 松本順一郎  
 東北学院大学工学部 正員 長谷川信夫  
 東北大学工学部 正員 ○ 本田 善則

### §1. はじめに

3床内での汚水の浄化機構を知る上で、流下水の水理学的特性を調べる必要があり、特に流下水が3床内をどのように分布・流下してゆくかを調べることに重要である。

ここでは、3床内を流下する汚水のほとんどすべては、3材と3材との接触した部分で分流を起し、流下してゆくと考えて実験、研究を行なった。すなわち、3床中心に一点散水した場合、3床（ピンポン球）の径を高さとした同心円環の積み重ねと考え（図-1）、この仮想的円環の仮想的接触線上での3材と3材との実際の接触（水が分流を起している）部分の占める割合を分流比（ $\epsilon$ ）としてその値を求めた。また、求めた $\epsilon$ から単位面積当り流量比を求め、一点散水した場合の分布について検討を起った。

### §2. 理論式

理論式を導き出すために

(1). 水は3材をつつむようにして流れる。(2). 3材と3材との接触部（分流点）では、1:1の比で分流を起す。(3). 分流点の占める割合を $\epsilon$ とする。(4)  $\epsilon$ は同心円環上すべて一定とする。(5). それぞれの円環（ $R$ ）の水が次の段の $R$ に分流する場合、 $R$ 内全部の水が分流点に達する。と考えると、図1の同心円環上では、分流点で1:1、他では分流が起らないから全体的に $1-\frac{\epsilon}{2}:\frac{\epsilon}{2}$ なる比で分流を起す。いま、中心に1なる流量を散水すると、 $n$ 段目の $R_n$ での流量比は $\left\{\frac{\epsilon}{4} + (1-\frac{\epsilon}{2}) + \frac{\epsilon}{4}\right\}^n$ の展開式の項で表わすことができ、 $n$ 段目、 $m$ 列目の $R_{nm}$ での流量比 $Q_{nm}$ は、

$$Q_{nm} = \left. \begin{aligned} &= \sum_{i=0}^{\frac{l-(m-1)}{2}} 2l C_i, \quad 2l-i C_{2l-2-i} \left(\frac{\epsilon}{4}\right)^{2i} \left(1-\frac{\epsilon}{2}\right)^{2l-2-i} \quad (n=2l, m=1) \\ &= 2 \sum_{i=0}^{\frac{l-(m-1)}{2}} 2l C_i, \quad 2l-i C_{2(l-R-i)+1} \left(\frac{\epsilon}{4}\right)^{2(l-R-i)+1} \left(1-\frac{\epsilon}{2}\right)^{2(l-R-i)+1} \quad (n=2l, m=2R) \\ &= 2 \sum_{i=0}^{\frac{l-(m-1)}{2}} 2l C_i, \quad 2l-i C_{2(l-R-i)} \left(\frac{\epsilon}{4}\right)^{2(l-R-i)} \left(1-\frac{\epsilon}{2}\right)^{2(l-R-i)} \quad (n=2l, m=2R+1) \\ &= \sum_{i=0}^{\frac{l-(m-1)}{2}} 2l+1 C_i, \quad 2l+1-i C_{2l+1-2-i} \left(\frac{\epsilon}{4}\right)^{2i} \left(1-\frac{\epsilon}{2}\right)^{2l+1-i} \quad (n=2l+1, m=1) \\ &= 2 \sum_{i=0}^{\frac{l-(m-1)}{2}} 2l+1 C_i, \quad 2l+1-i C_{2(l-R-i)+1} \left(\frac{\epsilon}{4}\right)^{2(l-R-i)+1} \left(1-\frac{\epsilon}{2}\right)^{2(l-R-i)+1} \quad (n=2l+1, m=2R) \\ &= 2 \sum_{i=0}^{\frac{l-(m-1)}{2}} 2l+1 C_i, \quad 2l+1-i C_{2(l-R-i)} \left(\frac{\epsilon}{4}\right)^{2(l-R-i)} \left(1-\frac{\epsilon}{2}\right)^{2(l-R-i)} \quad (n=2l+1, m=2R+1) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$l=1, 2, 3, \dots, \quad R=1, 2, 3, \dots$

### §3. 実験装置及び方法

実験装置を図2に示す。集水皿を中心よりI, II, ... Vとし、それぞれ水の流量比を $Q_I \sim Q_V$ とする。集水皿の間隔は5cm、3材の径は3.8cmであるから $n$ 段目での理論 $Q_I \sim Q_V$ は図3より、

$$\left. \begin{aligned} Q_{nI} &= Q_{n1} + Q_{n2} \times \frac{3.1}{3.8}, \quad Q_{nII} = Q_{n2} \times \frac{0.7}{3.8} + Q_{n3} + Q_{n4} \times \frac{0.5}{3.8} \\ Q_{nIII} &= Q_{n4} \times \frac{3.3}{3.8} + Q_{n5} \times \frac{1.7}{3.8}, \quad Q_{nIV} = Q_{n5} \times \frac{2.1}{3.8} + Q_{n6} \times \frac{2.9}{3.8} \\ Q_{nV} &= Q_{n6} \times \frac{0.9}{3.8} + Q_{n7} + \dots + Q_{nm} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

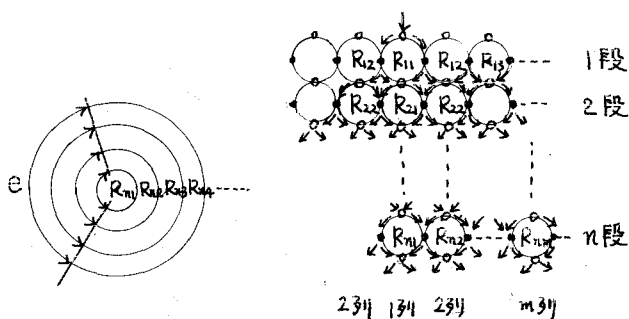


図-1. 仮想的円環

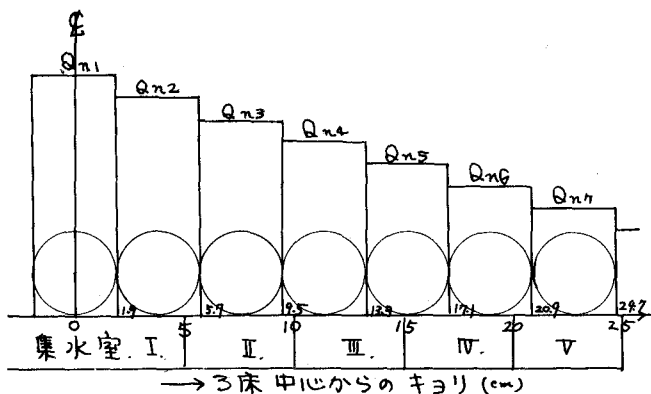


図-3. 各集水室に入る集水比

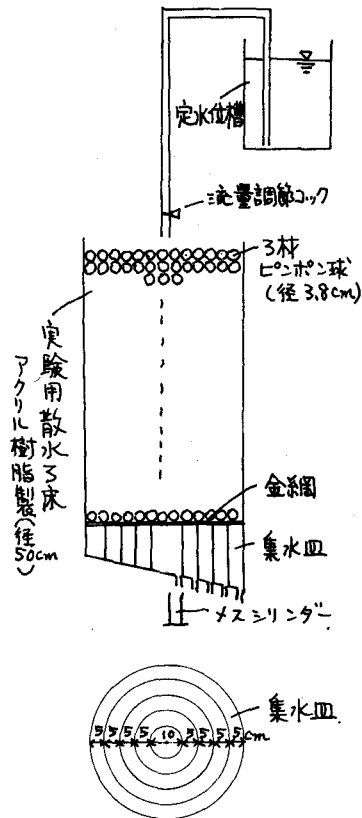


図-2. 実験装置

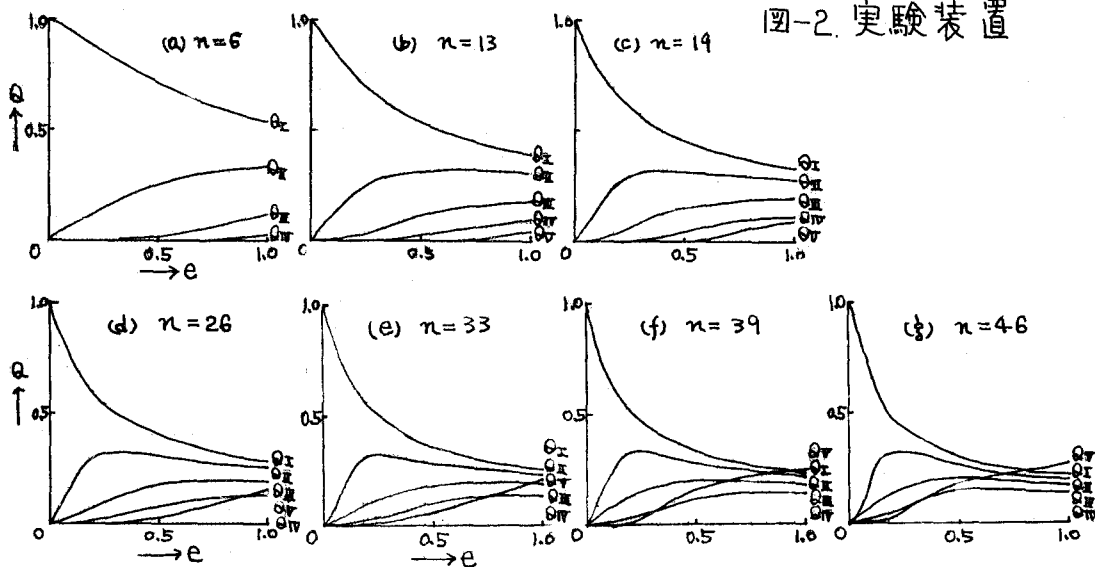


図-4.  $Q_1 \sim Q_7$  の計算値

また、3床高さを25, 75, 100, 125, 150, 175cmとしたから、 $n$ として、 $n=6$  ( $h=22.8\text{cm}$ ),  $n=13$  ( $49.4\text{cm}$ ),  $n=19$  ( $72.2\text{cm}$ ),  $n=26$  ( $98.8\text{cm}$ ),  $n=33$  ( $125.4\text{cm}$ ),  $n=39$  ( $148.2\text{cm}$ ),  $n=46$  ( $174.8\text{cm}$ ) をとり、それぞれの $n$ に対して(1), (2)式より $e$ を0から1.0まで変化させた場合の $Q_I \sim Q_V$ は図4(a)~(g)となる。

#### §4. 実験結果及び考察

##### 4-1. $e$ の決定

3床中心に100, 200, 300, 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 7500, 10000 $\%$ in (散水負荷は100 $\%$ inで0.735 $\text{m}^3/\text{h}$ )の散水量で行なった実験結果を表1に示す。3床高さが一定であれば、散水量が100 $\sim$ 10000 $\%$ inと変化しても集水比 $Q_I \sim Q_V$ はほぼ一定だったので、それぞれの散水量における集水比の算術平均値をとった。実験値と図4の計算値から得た $e$ を表2に示す。表2で、一印は図4のグラフから求めることが出来なかったものである。 $e$ の平均値を求める際、 $Q_V$ での $e$ と一印のものは除いた。その結果 $e$ は0.52であった。

##### 4-2. 単位面積当り流量比分布の比較

3床中心からの同心円環 $R$ における流量比を面積 $A_n$  ( $A_n = \{(2n-1)^2(3.8/2)^2 - (2n-3)^2(3.8/2)^2\}\pi$ ) で除して、単位面積当り流量比 $q_{nm} = Q_{nm}/A_{nm}$ を計算より求めた結果及び実験値 $q_I \sim q_V$  (同心円状集水皿の各室に入る集水比 $Q_I \sim Q_V$ を、各室の面積 $A_I \sim A_V$ で除したもの)を図6(a)~(g)に示す。ここで、 $q_{nm}$ 及び $q_I \sim q_V$ の中心からの位置は図5のようにとる。また、 $e$ としては0.52をとった。図6(a)~(g)では、曲線は計算値、○印は一回目の実験値、×印は二回目の実験値である。

図6(a)~(g)において、計算値と実験値とはかなり近似していることが認められる。計算値と実験値とでは、一般に中心と周辺では計算値の方が幾分大きく、中間では逆に計算値の方が幾分小さくなったが、これは中心付近、換言すると流下水が比較的多い部分では、3枚全体を水がつつんで流れるの

表1-(イ) 実験値(1回目)

| $n$ | 集 水 比  |          |           |          |        |
|-----|--------|----------|-----------|----------|--------|
|     | $Q_I$  | $Q_{II}$ | $Q_{III}$ | $Q_{IV}$ | $Q_V$  |
| 6   | 0.6370 | 0.3341   | 0.0289    | 0.0000   | 0.0000 |
| 13  | 0.5214 | 0.4451   | 0.0317    | 0.0018   | 0.0000 |
| 19  | 0.3667 | 0.5128   | 0.0931    | 0.0018   | 0.0002 |
| 26  | 0.3730 | 0.3007   | 0.2312    | 0.0941   | 0.0013 |
| 33  | 0.3182 | 0.3140   | 0.2538    | 0.1131   | 0.0009 |
| 39  | 0.3401 | 0.2593   | 0.2694    | 0.1305   | 0.0007 |
| 46  | 0.2715 | 0.2376   | 0.2566    | 0.1947   | 0.0061 |

表1-(ロ) 実験値(2回目)

| $n$ | 集 水 比  |          |           |          |        |
|-----|--------|----------|-----------|----------|--------|
|     | $Q_I$  | $Q_{II}$ | $Q_{III}$ | $Q_{IV}$ | $Q_V$  |
| 6   | 0.6617 | 0.3156   | 0.0205    | 0.0002   | 0.0000 |
| 13  | 0.4752 | 0.4518   | 0.0693    | 0.0037   | 0.0000 |
| 19  | 0.4287 | 0.4895   | 0.0707    | 0.0111   | 0.0000 |
| 26  | 0.2900 | 0.3725   | 0.2351    | 0.1013   | 0.0011 |
| 33  | 0.2687 | 0.3591   | 0.2547    | 0.1165   | 0.0008 |
| 39  | 0.2362 | 0.3040   | 0.3015    | 0.1563   | 0.0020 |
| 46  | 0.2128 | 0.3037   | 0.3087    | 0.1628   | 0.0060 |

表2-(イ) 実験1回目  $e$  値

| $Q/n$     | $e$  |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | 6    | 13   | 19   | 26   | 33   | 39   | 46   |
| $Q_I$     | 0.68 | 0.53 | 0.81 | 0.56 | 0.63 | 0.46 | 0.60 |
| $Q_{II}$  | 1.00 | —    | —    | 0.56 | —    | 0.64 | 0.68 |
| $Q_{III}$ | 0.50 | 0.25 | 0.41 | —    | —    | —    | —    |
| $Q_{IV}$  | 0.03 | 0.19 | 0.15 | 0.56 | 0.59 | —    | —    |
| $Q_V$     | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 平均        |      |      |      |      |      |      | 0.52 |

表2-(ロ) 実験2回目  $e$  値

| $Q/n$     | $e$  |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | 6    | 13   | 19   | 26   | 33   | 39   | 46   |
| $Q_I$     | 0.60 | 0.66 | 0.57 | 0.46 | 0.85 | 0.96 | 0.96 |
| $Q_{II}$  | 0.80 | —    | —    | —    | —    | 0.38 | 0.35 |
| $Q_{III}$ | 0.40 | 0.35 | 0.26 | —    | —    | —    | —    |
| $Q_{IV}$  | 0.30 | 0.30 | 0.25 | 0.66 | 0.60 | —    | —    |
| $Q_V$     | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 平均        |      |      |      |      |      |      | 0.52 |

で分流が良く、中心から外側に向うに従って流下水は3材の一部しか流れないので分流が悪く、集水比は理論値よりも低くなるものと考えられる。しかし、流量分布を理論的に求める際、3材間の接触部分において、分流ということも考慮して計算すると、実験値と大差のない値が得られることがわかった。

### §5. 総括及び結論

(1). 理論式(1)から求められる値は、実験値とほぼ一致していると考えられるので、この理論式は3床に一定散水した場合の流量分布を十分説明するものと推察される。

(2). 実験値と理論値とを比較して $\epsilon$ の値を求めたところ、実験の範囲では、 $\epsilon$ は $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{3}{4}$ 程度であり、平均値は0.52であった。

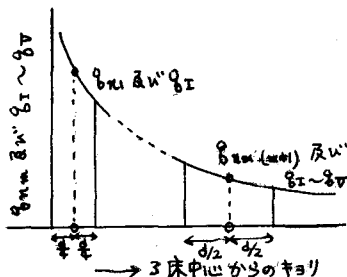
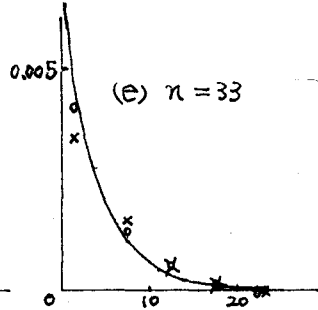
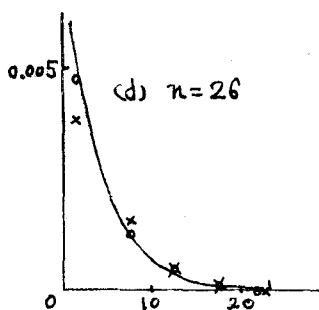
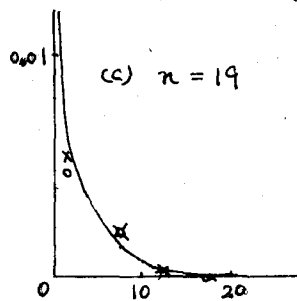
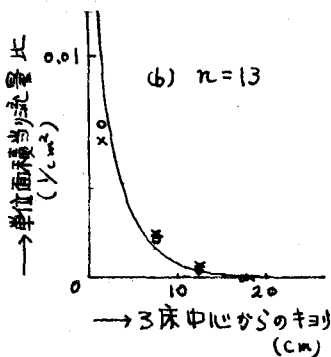
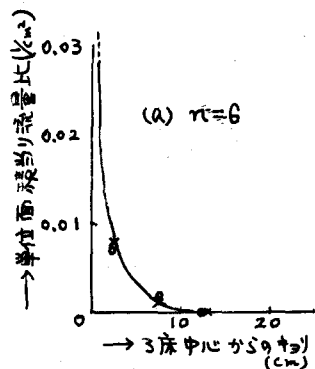


図5.  $q_{m1}$  及  $q_{m2}$  及  $q_{m3}$  の位置



{ 曲線: 理論値  
○: 第1回実験値  
x: 第2回実験値

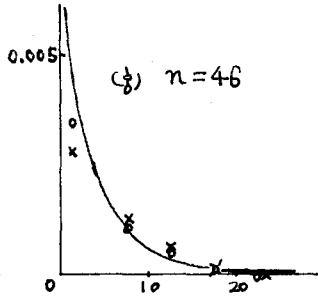
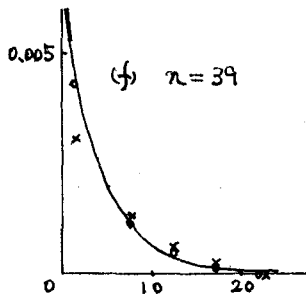


図-6. 単位面積当り流量比の比較