

管網による吐出水量の阻害要因に関する研究

——ポリエチレンパイプを用いた野外実験——

生島芳雄・渡辺潔*・中島明・長崎屋俊一**

(土地改良学研究室)

昭和48年11月2日 受理

Studies on the Factors Interfering the Rate of Flow
through Pipe Network.

—— The field test using polyethylene pipe ——

Yoshio IKUSHIMA, Kiyoshi WATANABE, Akira NAKAJIMA,
and Toshikazu NAGASAKIYA.

(Laboratory of land melioration)

Received November 2, 1973

Summary

Model test was carried out to make clear the factors which affected the rate of flow through a pipeline network for irrigation.

The model of pipeline network was made of polyethylene pipes and the scale of model was one fifth of the practical size.

It was found out that the rate of flow through the irrigation pipeline network was affected by the location of feed tank, the number of opened hydrant, the interrelation between the unevenness of piping and the quantity of mixed air, and the interrelation between the location of feed tank and number of opened hydrant.

I 緒 言

有明海沿岸平地などのようにクリークが縦横にはしっている地帯では、圃場整備の促進や環境保全の見地から、その廃棄統合が強く要望されている。この廃棄されるクリークに代り埋設管路による圃場給水設備が推奨され、多く使用されている。

管路により給水を行なう場合、管網の方が単管路よりも均一配分が容易となるので、かんがい用水の配水方法として、重要視されてきた。しかし、管網において管路の組合せ、および施工状態などのいかによっては、その均一配分を欠くおそれがある。

本実験は、管路網によるかんがい用水の均一配分に影響する要因を究明するため、ポリエチレンパイプを使って管路網を野外に敷設し、吐出水量について実験を行なった。

* 干拓水工学研究室

** 日立化成工業株式会社

II 実験方法

実験用管水路： 現地圃場に敷設されている実物のポリエチレンパイプ管網の5分の1の相似模型を作製し、佐賀県東与賀町に敷設した。使用した管は、カーボンをふくまない透明なポリエチレンパイプで、径40mmおよび径50mmの2種類である。また、給水源としては、高さ1.5mの越流式定圧水槽を3基用いた。模型管網の平面配置図をFig. 1に示す。

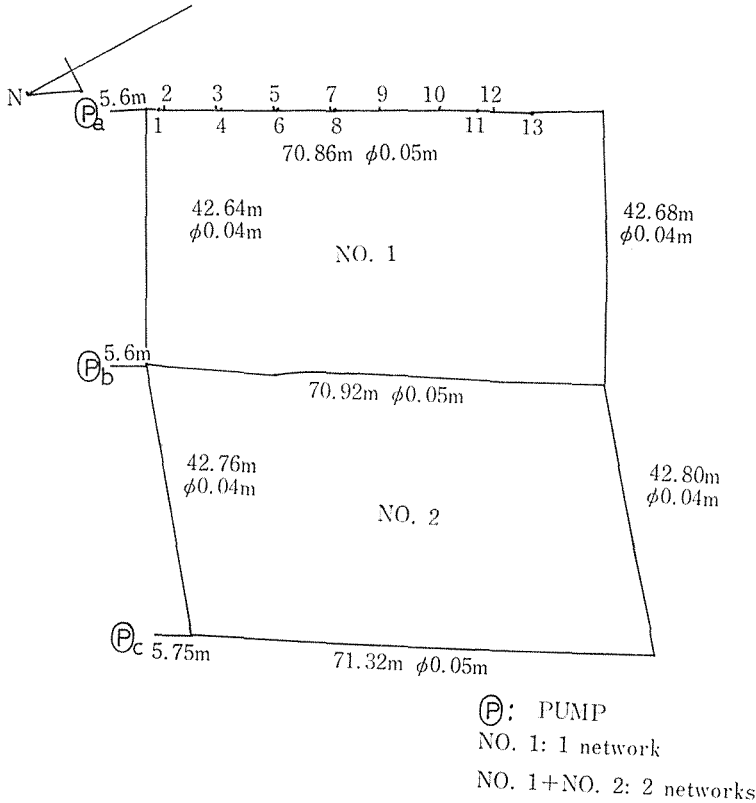


Fig. 1 Model of pipeline network.

実験条件の設定： 吐出水量の阻害要因を Table 1のように想定した。ここで配管状態が水平 (even) または凹凸 (uneven) とは、敷設したパイプの高低差が±1.5cm 以内であれば水平とし、それ以上の場合を、凸凹としてあつかった。なお、この凹凸の高低差は、管の直径をDとし、D、3D/2、および2Dの3種類を設けた。空気の混入は、混入空気量 0.27l/min を給水箇所近くでパイプに注入して行なった。

これらの因子間に交互作用があるものと考え、2因子交互作用は

- 管網数と吐出栓開放箇所 A × D
- 配管状態と吐出栓開放箇所 B × D
- 給水箇所と吐出栓開放箇所 C × D
- または C' × D
- 空気混入と吐出栓開放箇所 E × D

Table 1 Factors interfering the rate of flow.

Factor	Mark	Level		
		1	2	3
1st factor				
Number of pipeline network	A	1	2	
Unevenness of piping	B	even	uneven	
2nd factor				
Location of feed tank (1 network)	C	a	b	a and b
(2 networks)	C'	a	b	a and c
3rd factor				
Number of opened hydrant	D	13	3	
Air injection	E	without	with	

配管状態と空気混入 $B \times E$

となる。

ここで2水準の因子を点で表わし、2因子交互作用を線で表わす。Table 1 のCのように3水準の場合は、擬因子法を用いる。擬因子法とは、補助的な因子を使って水準を多くする方法で、この因子は、アソビと呼ばれている。この3水準Cと2水準Dの交互作用は、Fig. 2 のように表わすことができる。点2および線3にCをわりつけ、点1にアソビをわりつけた。点4は、2水準の因子Dをわりつける。線6および線7は、CとDの交互作用となる。アソビの交互作用は線5のアソビとなる。また、実験の順序として、水準の変更の難かしいものから因子を1次因子、

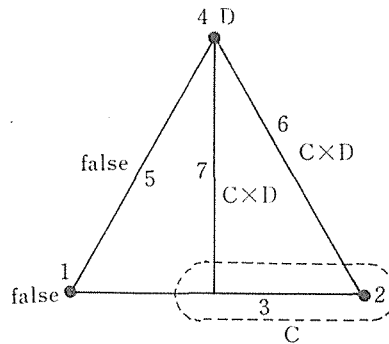


Fig. 2 Interaction between factor of three levels and factor of two levels.

2次因子および3次因子の3種に分け、1次因子を●印および◎印とし、2次および3次因子を◎印として区別した。これらの要因を直交配列 $L_{16} (2^{15})$ の線点図^{1),2)}の1にわりつけて表わすと Fig. 3 のようになる。

この線点図をもとに、各因子および交互作用をわりつけ表の列番にわりつけた。たとえば Fig. 3 によって列番2に因子Aを、列番1に交互作用 $D \times E$ をわりつけた。このわりつけ表を Table 2 とする。なお、各列番内の1、2という数字は1水準または2水準を意味する。3水準の因子については、Fig. 3 からわかるように点10アソビと点12Cからきまる。したがって Table 2 においては10列と12列になり、これらの組合せが3水準となる。この3水準組合せの表を Table 3 に示す。

これらを整理すると Table 4 のようになる。この実験条件により実験を行なった。

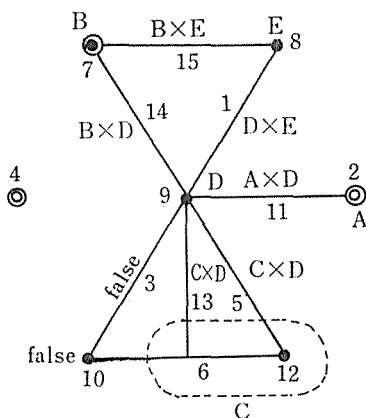


Fig. 3 Lineargraph of orthogonal arrangement.

Table 2 Out let of factors.

Column number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Experiment																
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	
Out let	D	A	False factor		C	C	B	E	D	False factor		A	C	C	B	B
	×				×							×		×	×	×
	E				D							D	D	D	D	E

Table 3 Combination of three levels.

Item	Column number			Level of location of feed tank
	2	10	12	
1 network	1	1	1	1
	1	1	2	2
	1	2	1	2
	1	2	2	3
2 networks	2	1	1	1'
	2	1	2	2'
	2	2	1	2'
	2	2	2	3'

Table 4 Establishment of conditions for experiments.

Experiment	Number of pipe network	Unevenness of piping	Location of feed tank	Number of opened hydrant	Air injection
1	1	even	a	13	without
2			ab	3	with
3		uneven	b	13	without
4			b	3	with
5	2	uneven	b	13	without
6			b	3	with
7		even	ac	13	without
8			a	3	with
9	1	uneven	a	3	without
10			ab	13	with
11		even	b	3	without
12			b	13	with
13	2	even	b	3	without
14			b	13	with
15		uneven	ac	3	without
16			a	13	with

実験内容：吐出水量，流向流速，圧力水頭および空気溜りの大きさの観測を行なった。吐出水量は，吐出栓での流出量をメスシリンダーにて測定し，流向および流速は，各管路において過マンガン酸カリウム溶液を注入して測定した。また圧力水頭の測定は，各管路の始端および末端にてマンメーターで行ない，空気溜りは，吐出栓配管路以外の管路に凹凸を数箇所設けて溜った空気溜りの長さを測定した。

III 実験結果の分散分析

実験計画法においては，実験の目的を具体的に表現するものを特性と呼び，特性について測定した値を特性値と呼んでいる。上記の実験条件で実験を行なってえられた特性値は，総吐出水量，吐出栓間の水量の最大と最小の差，および給水箇所の移動にともなう管網内の通水の合流箇所の3種となる。おのおのの特性値について分散分析の計算^{3),4)}を行なった。

吐出栓間の水量の最大と最小の差の特性値を例にとりて説明する。吐出栓間の最大吐出水量を q_{max} とし，その最小の吐出水量を q_{min} とすれば，この吐出水量の差 y は

$$y_i = q_{max\ i} - q_{min\ i}$$

で表わされる。実験数 n 個の特性値の平均は，

$$a = \sum_{i=1}^n y_i / n$$

になる。ある任意の乗数を c とし，各特性値を計算しやすいように変換する。

$$x_i = c(y_i - a)$$

この変換値の合計を T とすると，

$$T = \sum_{i=1}^n x_i$$

になる。これまでの計算を Table 5 に示す。Table 2 のわりつけ表の各列の中の水準1の特性

Table 5 The difference between the maximum and the minimum discharge among the opened hydrants.

Experiment	Maximum discharge (q_{max}) cc/sec	Minimum discharge (q_{min}) cc/sec	Difference (y_i) cc/sec	Transformed value (x_i)
1	418	183	235	126
2	583	546	37	-72
3	216	101	115	6
4	511	457	54	-55
5	193	61	132	23
6	444	412	32	-77
7	447	223	224	115
8	521	475	46	-63
9	491	458	33	-76
10	495	249	246	137
11	491	453	38	-71
12	202	66	136	27
13	471	439	32	-77
14	201	70	131	22
15	507	465	42	-67
16	402	193	209	100

a = 109 T = -2

a: average value of y_i . x_i : transformed value $\left\{ = \frac{1}{c} (y_i - a) \right\}$.

C: constant value (=1, in this case).

T: total value of x_i .

値の合計 X_{i1} から、各列の自乗和 S_i は、

$$S_i = \frac{1}{16} (T - 2X_{i1})^2 \cdot \frac{1}{c^2}$$

となる。この自乗和を自由度 ϕ で割った値を不偏分散 V という。

$$V_i = S_i / \phi$$

また、Table 2 のわりつけ表の中で因子がわりつけられなかった列には誤差が表われると考えられるので、この場合の分散は、誤差分散

$$V_c = \frac{S_c}{\phi_c}$$

とする。要因の水準間に差があるかどうかを調べるには、要因にたいする分散と誤差分散の比、

$$F_0 = V_i / V_c$$

をとり、F表の値と比較する。

F表の値は、分子の不偏分散の自由度 ϕ_1 と分母の不偏分散の自由度 ϕ_2 および危険率 α によって決まる。このFの値を $F(\phi_1, \phi_2; \alpha)$ で示し、このときつぎのように判断する。

$F_0 \geq F(\phi_1, \phi_2; 0.01)$ のとき 危険率1%で有意。 **印。

$F(\phi_1, \phi_2; 0.01) > F_0 \geq F(\phi_1, \phi_2; 0.05)$ のとき 危険率5%で有意。 *印。

$F(\phi_1, \phi_2; 0.05) > F_0$ のとき 有意差なし。

また、誤差分散と同程度以下の不偏分散の要因は、誤差と考える。すなわち、誤差分散と同程度以下の不偏分散における自乗和と誤差の自乗和を加えて S'_e とする。自由度も同じように加えて ϕ'_e とする。この S'_e と ϕ'_e の比を新しい誤差の不偏分散 V'_e とすると、

$$V'_e = S'_e / \phi'_e$$

である。この V'_e を使って各要因に対する分散と新しい誤差分散の比

$$F'_0 = V'_i / V'_e$$

をとり、F表の値と比較する。

以上のことを例によって計算結果を示すと Table 6 のようになる。

Table 6 Analysis of variance for difference between the maximum and minimum discharge.

Factor	Sum of squares (S)	For error e			For error e'		
		Degree of freedom (ϕ)	Unbiased estimate of population variance (V)	Variance ratio (F_0)	Degree of freedom (ϕ')	Unbiased estimate of population variance (V')	Variance ratio (F_0')
A	132	1	132	11.0	1	132	16.5
B	16	1	16	1.3	1	16	1.3
C	3496	1	3496	291.3*	1	3496	437.0*
C'	1913	1	1913	159.4	1	1913	239.1*
D	77562	1	77562	6463.5**	1	77562	9695.3**
E	100	1	100	8.3	1	100	12.5
A × D	42	1	42	3.5	1	42	5.3
B × D	64	1	64	5.3	1	64	8.0
C × D	4791	1	4791	399.3*	1	4791	598.9*
C' × D	1864	1	1864	155.3	1	1864	233.0*
E × D	4	1	4	0.3	—	—	—
B × E	10404	1	10404	867.0*	1	10404	1300.5*
e	12	1	12	—	—	—	—
e'	16	—	—	—	2	8	—

*: significant at one percent

** : significant at five percent

つぎに、有意と判定された要因について推定を行なう。その推定の方法を普通の因子の水準の母平均の推定と擬因子を作っている因子の母平均の推定、いいかえると、2水準の場合と3水準の場合の推定の2種類に分けて説明をする。

i) 普通の因子の水準の母平均の推定。

主効果について

$$\text{水準 1 での平均} : a + \frac{1}{c} \cdot \frac{X_{i1}}{8}$$

$$\text{水準 2 での平均} : a + \frac{1}{c} \cdot \frac{T - X_{i1}}{8}$$

これで計算された平均値は母平均と一致しないので、信頼度95%の信頼区間で母平均を推定するには、上記の平均値を \bar{x} としたとき、

$$d = \sqrt{F(1, \phi'_c: 0.05) \frac{V'_c}{8}}$$

を求め、 $\bar{x}-d$ と $\bar{x}+d$ の間に母平均があると考える。ただし、 $F(1, \phi'_c: 0.05)$ は、分子の分散の自由度が1で、分母の分散の自由度が ϕ'_c である F 分布の5%点の値である。

交互作用について

交互作用が有意になった場合には、因子のみの水準の平均値を求めないで、交互作用の関係にある因子の水準の組合わせの平均値を計算する。この例では、Table 2 より主効果Bは列7、主効果Eは列8から求めることにしている。

(1, 1) の組合わせの実験番号は、1, 7, 11, 13.

(1, 2) の組合わせの実験番号は、2, 8, 12, 14.

(2, 1) の組合わせの実験番号は、3, 5, 9, 15.

(2, 2) の組合わせの実験番号は、4, 6, 10, 16.

である。よって、平均値は、

$$B_1E_1 \text{の平均} : a + \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{4} (x_1 + x_7 + x_{11} + x_{13})$$

$$B_1E_2 \text{の平均} : a + \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{4} (x_2 + x_8 + x_{12} + x_{14})$$

$$B_2E_1 \text{の平均} : a + \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{4} (x_3 + x_5 + x_9 + x_{15})$$

$$B_2E_2 \text{の平均} : a + \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{4} (x_4 + x_6 + x_{10} + x_{16})$$

となる。この平均の母平均を信頼度95%の信頼区間で推定するには次のようにする。計算された平均値を \bar{x} とすると、

$$d = \sqrt{F(1, \phi'_c: 0.05) \frac{V'_c}{4}}$$

を求め、 $\bar{x}-d$ と $\bar{x}+d$ の間に母平均があると考える。

ii) 擬因子を作っている因子の母平均の推定。

この推定については、交互作用が有意でない場合と交互作用が有意の場合の2つに分け、ある因子の水準によりその中の因子の種類が異なる場合でもあるので、それにそって1管網のときと2管網のときに分けて説明する。

交互作用が有意でない場合について

3水準の因子は、Table 3 によってつくられた Table 4 の3水準の列にわりつけられている。このアソビが1のときの実験番号から、2つの水準の平均値を求め、アソビが2のときの実験番号から、2つの水準の平均値を求める。

1管網のとき

アソビが1のとき

$$C_1: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_1 + x_9}{2} \quad C_2: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_3 + x_{11}}{2}$$

アソビが2のとき

$$C_2: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_4 + x_{12}}{2} \quad C_3: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_2 + x_{10}}{2}$$

$$d = \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_4 + x_{12}}{2} \right) - \left(a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_3 + x_{11}}{2} \right) \right\}$$

$$\therefore C_1: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_1 + x_9}{2} + d$$

$$C_2: \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_3 + x_{11}}{2} \right) + \left(a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_4 + x_{12}}{2} \right) \right\}$$

$$C_3: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_2 + x_{10}}{2} - d$$

2管網のとき

アソビが1のとき

$$C'_1: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_8 + x_{16}}{2} \quad C'_2: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_6 + x_{14}}{2}$$

アソビが2のとき

$$C'_2: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_5 + x_{13}}{2} \quad C'_3: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_7 + x_{15}}{2}$$

$$d = \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_5 + x_{13}}{2} \right) - \left(a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_6 + x_{14}}{2} \right) \right\}$$

$$\therefore C'_1: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_8 + x_{16}}{2} + d$$

$$C'_2: \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_6 + x_{14}}{2} \right) + \left(a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_5 + x_{13}}{2} \right) \right\}$$

$$C'_3: a + \frac{1}{c} \cdot \frac{x_7 + x_{15}}{2} - d$$

この平均の母平均を信頼度95%の信頼区間で推定するには次のようにする。計算された平均値を \bar{x} とすると、

$$d = \sqrt{F(1, \phi'_c: 0.05) \frac{V'_c}{2}}$$

を求め、 $\bar{x} - d$ と $\bar{x} + d$ の間に母平均があると考える。

交互作用が有意の場合について

1管網のとき

アソビが1のとき

$$C_1 D_1: a + \frac{x_1}{c} \quad C_1 D_2: a + \frac{x_9}{c}$$

$$C_2D_1: a + \frac{x_3}{c} \quad C_2D_2: a + \frac{x_{11}}{c}$$

アソビが2のとき

$$C_2D_1: a + \frac{x_{12}}{c} \quad C_2D_2: a + \frac{x_4}{c}$$

$$C_3D_1: a + \frac{x_{10}}{c} \quad C_3D_2: a + \frac{x_2}{c}$$

$$d_1 = \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{x_{12}}{c} \right) - \left(a + \frac{x_3}{c} \right) \right\} \quad d_2 = \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{x_4}{c} \right) - \left(a + \frac{x_{11}}{c} \right) \right\}$$

$$\therefore C_1D_1: a + \frac{x_1}{c} + d_1$$

$$C_2D_1: \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{x_3}{c} \right) + \left(a + \frac{x_{12}}{c} \right) \right\}$$

$$C_3D_1: a + \frac{x_{10}}{c} - d_1$$

$$C_1D_2: a + \frac{x_9}{c} + d_2$$

$$C_2D_2: \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{x_{11}}{c} \right) + \left(a + \frac{x_4}{c} \right) \right\}$$

$$C_3D_2: a + \frac{x_2}{c} - d_2$$

2管網のとき

アソビが1のとき

$$C'_1D_1: a + \frac{x_{16}}{c} \quad C'_1D_2: a + \frac{x_8}{c}$$

$$C'_2D_1: a + \frac{x_{14}}{c} \quad C'_2D_2: a + \frac{x_6}{c}$$

アソビが2のとき

$$C'_2D_1: a + \frac{x_5}{c} \quad C'_2D_2: a + \frac{x_{13}}{c}$$

$$C'_3D_1: a + \frac{x_7}{c} \quad C'_3D_2: a + \frac{x_{15}}{c}$$

$$d'_1 = \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{x_5}{c} \right) - \left(a + \frac{x_{14}}{c} \right) \right\} \quad d'_2 = \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{x_{13}}{c} \right) - \left(a + \frac{x_6}{c} \right) \right\}$$

$$\therefore C'_1D_1: a + \frac{x_{16}}{c} + d_1$$

$$C_2D_1: \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{x_{14}}{c} \right) + \left(a + \frac{x_5}{c} \right) \right\}$$

$$C_3D_1: a + \frac{x_7}{c} - d_1$$

$$C_1D_2: a + \frac{x_8}{c} + d_2$$

$$C_2D_2: \frac{1}{2} \left\{ \left(a + \frac{x_{14}}{c} \right) + \left(a + \frac{x_{13}}{c} \right) \right\}$$

$$C_3D_2: a + \frac{x_{15}}{c} - d_2$$

この平均の母平均を信頼度95%の信頼区間で推定するには次のようにする。計算された平均値を \bar{x} とすると、

$$d = \sqrt{F(1, \phi'_c; 0.05) \frac{V'_c}{1}}$$

を求め、 $\bar{x} - d$ と $\bar{x} + d$ の間に母平均があると考え、この推定の計算結果の例をTable 7に示す。

Table 7 Estimation of interfering factors for difference between the maximum and minimum discharge.

Item		Mark	Calculated values cc/sec		Confidence limit
Population mean of level of normal factor	Main effect	D ₁	178.5		±4.3
		D ₂	39.3		
	Interaction	B ₁ E ₁	132.3		±6.1
		B ₁ E ₂	87.5		
		B ₂ E ₁ B ₂ E ₂	80.5 135.3		
Population mean of factor which used false factor	Main effect		1 network	2 networks	±8.6
		C ₁	143.3	127.8	
		C ₂	85.8	81.8	
	Interaction	C ₃	132.2	132.7	±12.2
		C ₁ D ₁	245.5	209.5	
		C ₂ D ₁	125.5	131.5	
		C ₃ D ₁	235.5	223.5	
		C ₁ D ₂	41.0	46.0	
		C ₂ D ₂	46.0	32.0	
		C ₃ D ₂	29.0	42.0	

以上のようにして分散分析を行ない、その結果をFig. 4, 5および6に示す。

これらから、空気混入と配管状態および給水箇所と吐出栓開放箇所の各因子が大きく問題になることがわかった。

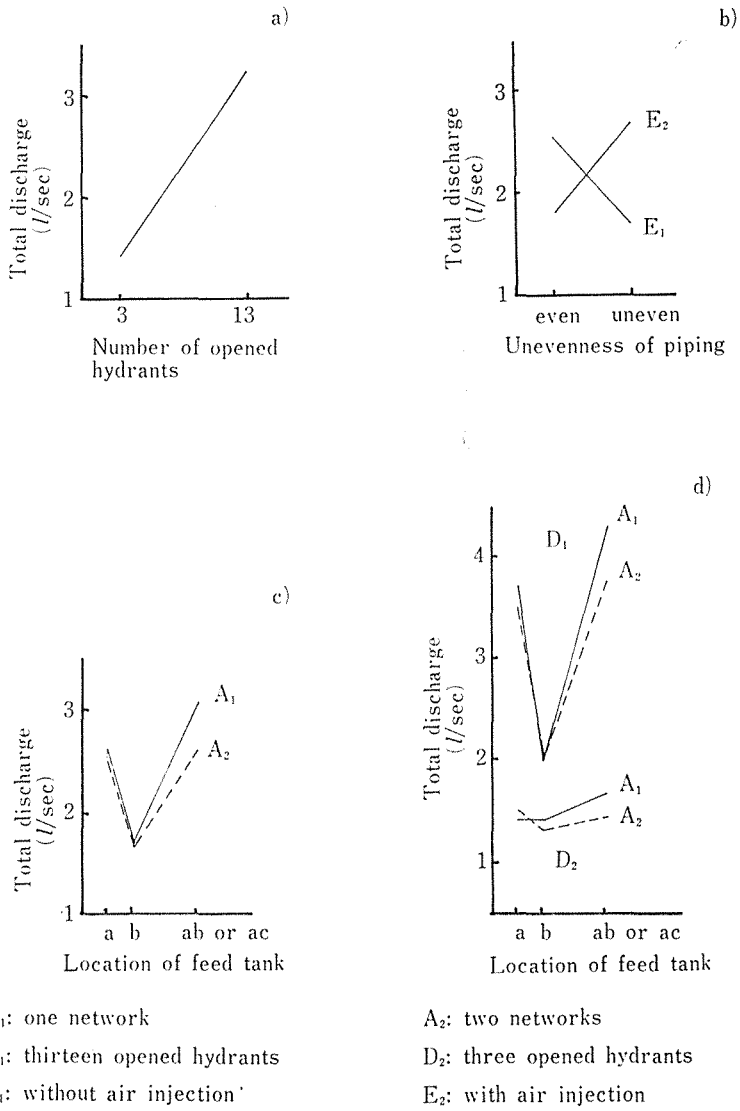


Fig. 4 Influence of factors on total discharge.

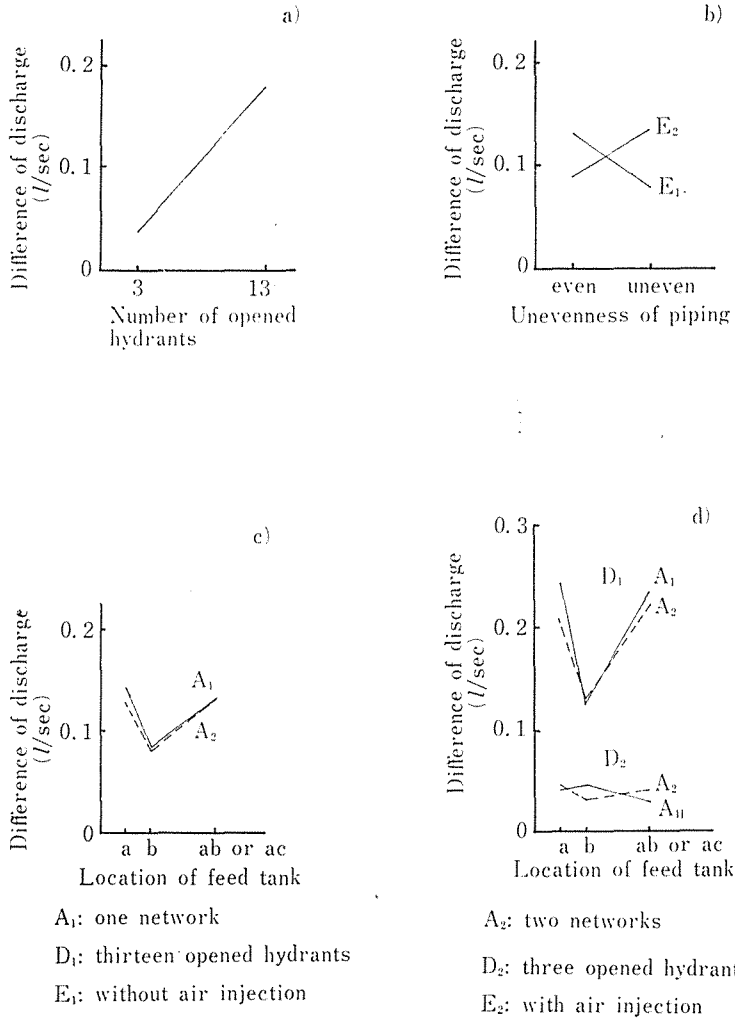


Fig. 5 Influence of factors on difference of the maximum and minimum discharge.

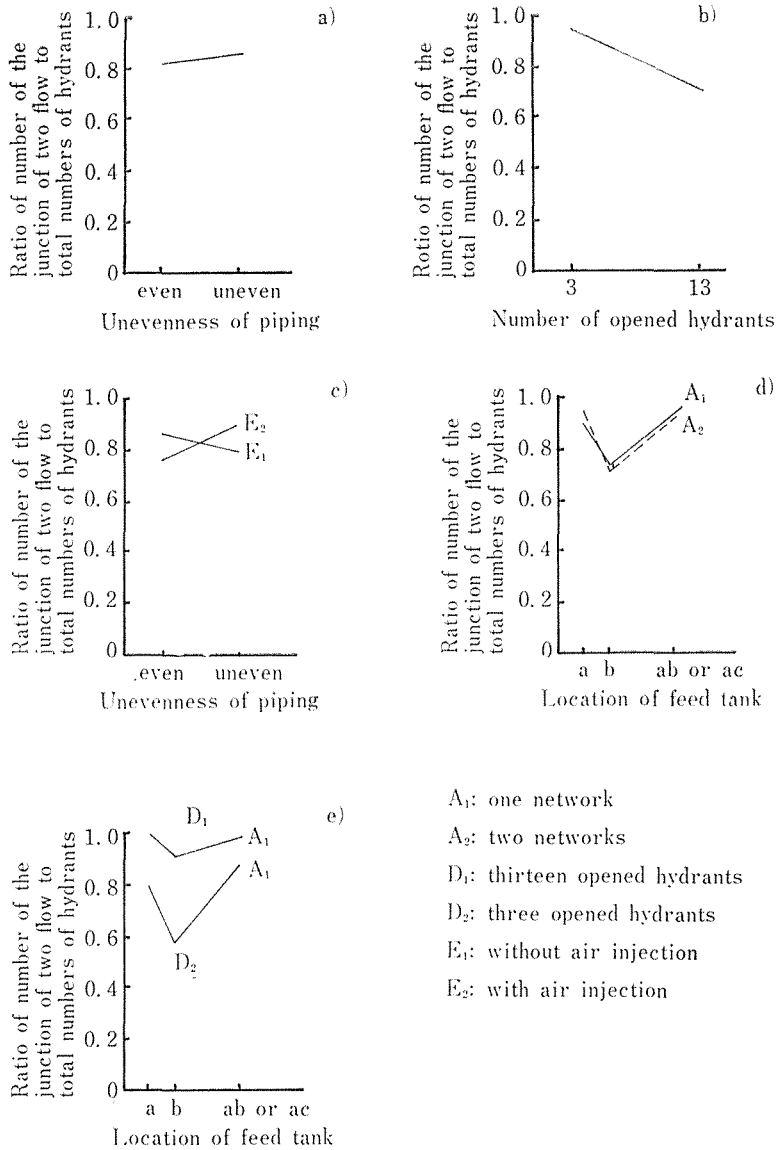


Fig. 6 Influence of factors on the ratio of the number of the junction of two flow to total numbers of hydrants.

IV 結 論

前述の実験資料の分散分析から、吐出水量の阻害要因として、主効果は吐出栓開放箇所および給水箇所の2因子であり、交互作用は、配管状態と空気混入の交互作用および給水箇所と吐出栓開放箇所の交互作用の2つであることがわかった。

効率の高い管網かんがい組織を設計し現場に適用するためには、これら諸因子それぞれの阻害機構を解明することが必要である。特に空気混入現象については、現在まで定性的な研究⁵⁾のみしか行なわれておらず、定量的な解明が早急に必要である。

V 摘 要

ポリエチレンパイプを用いて実物の5分の1のカンガイ用管網を作り、吐出水量の阻害要因に関する野外実験を行なった。

吐出水量の阻害因子を管網数、配管の起伏状態、給水箇所、吐出栓開放箇所、および空気混入と仮定して実験を行なった。

その実験資料について分散分析を行ない、吐出水量に対する阻害因子の有意差を検討した結果、主効果は給水箇所および吐出栓開放箇所であり、交互作用は配管状態と空気混入および給水箇所と吐出栓開放箇所であった。

謝 辞

この調査研究に協力いただいた本研究室の久保田敏氏および高祖幸晴氏に謝意を表す。また、設備関係に協力をして頂いた日立化成工業株式会社の関係各位に謝意を表す。

引 用 文 献

- 1) 磯部邦夫 (1971), 実験計画法入門, 条件の決め方, 日刊工業新聞社, 東京, 114-141.
- 2) 田口玄一 (1962), 実験計画法(上), 丸善, 東京, 147-192.
- 3) 磯部邦夫 (1967), 実験計画法入門, 解析の手順, 日刊工業新聞社, 東京, 159-182.
- 4) 田口玄一 (1962), 実験計画法(下), 丸善, 東京, 595-612.
- 5) Walter A. Mechler (1966), Factors influencing flow in large conduits, discussion, Proc. ASCE, 92, HY4, 203-218.