

II-331 内水排除計画への実験計画法の適用

建設省

正員 安川 歩

建設省

正員 中嶋章雅

建設技術研究所 正員 〇杉山 裕

1. はじめに

実験計画法は化学・薬学等の分野では従来から積極的に活用されているが、我々の関与する土木の分野では適用された事例が少ないように思われる。¹⁾ 本報告は、同一流域内に複数の排水機場が必要とされる内水排除計画の立案に、直交表による実験計画法を適用した事例を紹介するものである。本報告における適用事例では、各内水排除施設の主効果と各施設間の交互作用効果を考慮した超過便益(B-C)の応答関数を作成し、各計画施設の最適ポンプ容量を検討した結果、同手法の適用にほぼ満足しうる結果を得ることができた。

2. 対象内水地区と検討の目的

図-1 対象内水地区

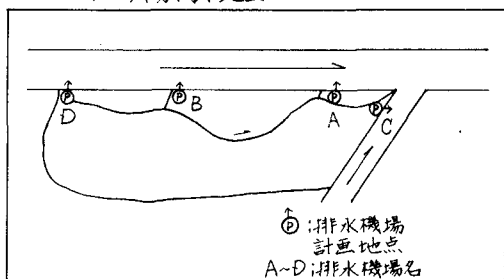


図-1に示すように、流域内に4箇所の排水機場計画が考えられている内水地区をケーススタディとしてとり上げた。本報告では、この内水地区における最適ポンプ計画の立案を目的として、図-2に示すフローに基づいて直交表を用いた実験計画法を適用した。すなわち内水排除施設の計画規模は内水河川の改修の進捗状況と密接な関係があり、図-1に示したA~Dの各ポンプの計画規模を河川の改修事業と整合性のとれた規模のものとして計画するには、膨大なケースの組合わせ計算が必要となる。また、想定しうる内水排除施設の効果を総合的に把握しようとしても、A~Dの4地点で計画されているポンプの効果は、それぞれの主効果と各ポンプの効果の相互に作用しあった交互作用効果があり、これらを総合的に検討するためには非常に多くの情報が必要とする。このような問題に対し、実験計画法が有力な手法となりうる。

3. 実験計画

実験計画の評価指標として、通常内水排除施設の規模決定の目安に用いられる超過便益(B-C)をとり、実験で検討する因子としてA~Dの各ポンプ場を、また、各因子の水準は、河川の疎通能力等を考慮して表-1に示す水準を選定した。各ポンプ場を建設することにより期待される超過便益(B-C)の構造模型を①式のように仮定し、これを図-3に示すように直交表 $L_{27}(3^4)$ に割り付けた。

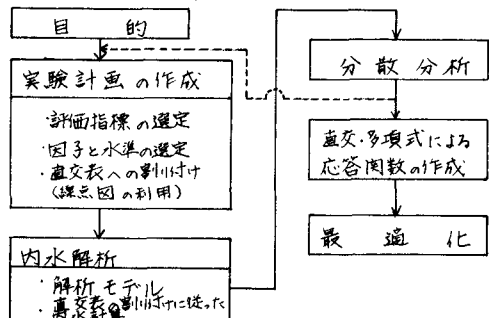
表-1 因子と水準

記号	因子	水 準		
A	A地点のポンプ	40%	80%	120%
B	B "	20	40	60
C	C "	40	80	120
D	D "	0	20	40
記号		1	2	3

図-3 直交表 $L_{27}(3^4)$ に割り付け

列番号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
13	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
19	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
21	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
22	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
23	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
27	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
要因		A	B	A×B	C	A×C	B×C	D	B×C																		

図-2 フロー



$$(b-C)_{ijkl} = \mu + a_i + b_j + C_k + d_l + a_i b_j + a_i C_k + b_j C_k + l_{ijkl} \quad \text{①}$$

ここに、 μ ：一般平均、 $a_i \sim d_l$ ：各因子の主効果、 $a_i b_j \sim b_j C_k$ ：交互作用効果、 l_{ijkl} ：誤差項、 i, j, k, l ：水準

4. 分散分析

計画対象降雨として近年の内水湛水被害を生じた実績4洪水を選定し、斜め湛水モデル²⁾を適用した内水計算を図-3に示した直交表の実験番号とそれに対応する割り付けに基づいて実施し、その結果得られた各ケースの超過便益 $(b-C)$ を用いて分散分析を行った。その結果、有意水準5%で有意となった各要因効果の分散比と寄与率を表-2に示した。

5. 応答関数と最適ポンプ容量

分散分析結果より 有意となった各因子について Chebyshev の直交多項式をあてはめ、ポンプ計画により期待される超過便益 $(b-C)$ の応答関数を求めた。本適用事例における応答関数は②式で表現される。

$$\begin{aligned} (b-C) = & 2417 - 234 \left(\frac{P_A - 80}{40} \right) \\ & + 69 \left(\frac{P_B - 40}{20} \right) - 66 \left\{ 3 \times \left(\frac{P_B - 40}{20} \right)^2 - 2 \right\} \\ & - 260 \left(\frac{P_C - 80}{40} \right) - 42 \left\{ 3 \times \left(\frac{P_C - 80}{40} \right)^2 - 2 \right\} \\ & + 730 \left(\frac{P_D - 20}{20} \right) - 75 \left\{ 3 \times \left(\frac{P_D - 20}{20} \right)^2 - 2 \right\} \\ & - 126 \left(\frac{P_A - 80}{40} \right) \left(\frac{P_C - 80}{40} \right) + 50 \left(\frac{P_A - 80}{40} \right) \left\{ 3 \times \left(\frac{P_C - 80}{40} \right)^2 - 2 \right\} \\ & + 50 \left\{ 3 \times \left(\frac{P_A - 80}{40} \right)^2 - 2 \right\} \left(\frac{P_C - 80}{40} \right) \quad \text{②} \end{aligned}$$

この②式を用いて、各因子の最適値が算定できる。各因子の最適値(超過便益が最大となるポンプ規模)の算定における制約条件は、 $A, B, C, D \geq 0$ のみであるが応答関数を求めるために行った水準以上の議論は無意味であり、また、河道の疎通能力等から判断して実現可能な値として計画する必要がある。本適用事例における各ポンプ計画地点の超過便益最大となる施設規模を表-3に示すが、交互作用効果が有意となったA, Cの両地点では、上記した観点から、 $0 \leq A < 200$ の範囲に限定してポンプ計画規模を検討した。

6. おわりに

本報告においては、内水排除計画の検討に「直交表」を用いた実験計画法の適用事例を示した。計算結果から作成した応答関数の本適用事例における説明力は98.6%であり、計画立案に十分適用できると思われる。しかしながら、計画対象洪水の選定とその確率評価手法、2次以上の高次の交互作用効果の評価法等の問題もあり、とくに、交互作用について言えば、有意となった交互作用の評価は煩雑となり、仮に3因子交互作用の存在が確かめられたとしても、その技術的評価は困難であると考えざるを得ない。我々の関与する土木の分野においては、一つの計画を立案するにしても、因子として選定する必要のある施設が多く、その交互作用も無視できない場合が多い。その場合、この交互作用の評価法が大きな問題として残るようになると思われる。

<文献> 1) 例えば、本田 小堀「実験計画法によるローゼン橋の振動軽減法評価」土木学会論文報告集 301 1980.9
佐藤 五ノ宮「空港 アフセスにおける交通機関別分担モデルの推定」" 274 1978.6
梅本 吉本「実験計画法によるダム放水路群の洪水調節効果の検討」33回建設省技術研学会報告

2) 中西 振井 藤本 33回建設省技術研学会報告

表-2 分散分析表

$F(1, 16; 0.01) = 8.53$ ** 1%有意
 $F(1, 16; 0.05) = 4.49$ * 5%有意

要 因	記 号	偏差平方和 S	自由度 f	分散比 F	寄与率の%
全 体	T	12,993.700	26	**	
Aの主効果	Al	987.481	1	34 **	7.5
Bの主効果	Bl	84.872	1	12 **	0.6
	Bq	234.696	1	32 **	1.8
Cの主効果	Cl	1,212.644	1	164 **	9.3
	Cq	95.424	1	13 **	0.7
Dの主効果	Dl	9,592.200	1	1,298 **	73.8
	Dq	302.252	1	41 **	2.3
AとCの交互作用	Al x Cl	188.501	1	26 **	1.4
	Aq x Cq	90.200	1	12 **	0.6
	Aq x Cl	57.222	1	12 **	0.6
誤差項	e	118.208	16		1.4 %

表-3 各ポンプ計画地点のポンプ容量

ポンプ計画地点		超過便益 $(b-C)$ が最大となるポンプ容量
D		52.5 %
B		43.5
A, C	C=Const	$0 \leq C < 63$ % $A = \frac{42.5 - 0.8C + 0.002 C^2}{2.4 - 0.005 C}$
		$63 \leq C < 137$ $A = 0$
		$137 \leq C < 200$ $A = 200$
	A+C=E = Const	$0 \leq E < 150$ $A = 0$
		$150 \leq E < 164$ $A = E$
		$164 \leq E < 200$ $A = \frac{0.005 E - 0.74}{0.005} - \frac{10.00002 E^2 - 0.077 E + 0.56}{0.005}$