

京大(正会員)高松武一郎, 内藤正明, (学生会員) 岡本雄治

§1. はじめに

近年下水道建設は次第に広域化し、一つの流域全体に亘る大規模な下水処理システムが計画されるようになってきた。単一下水処理場の計画に比べて大規模なシステムを合理的に設計しようとする場合には系全体をシステム的に取扱うことにより総合的な最適計画を立てる必要がある。ここではB湖周辺の広域下水道に対する最適建設計画の検討過程を示す。ここでのその考え方や手法は他の地域での流域下水道システムの計画策定にも適用しうるであろう。

§2 問題設定

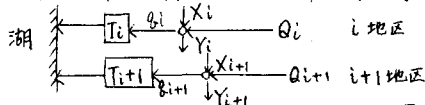
「ある対象広域地区での将来15年先までの廃水発生量が推定されている場合、これを処理するに足る下水処理場の位置、数、規模をどのように決定すればよい」という極めて一般的な設問をいくつかの仮定の下に具体化する。

- ①対象地区を考え得る最小規模区域(6処理区)に割る。(図-1)
- ②各処理区毎の排水量は計画年度(昭和45~昭和60年)に亘り推定されている。
- ③各処理区内の集水管網及び処理場建設候補地点は地形等の条件から最適に決定されている。
- ④各処理場予定地間を結ぶ幹線経路は地形等から最適に決定されている。
- ⑤処理方式は活性汚泥法を採用する。

以上の前提条件を下にして、ここで考える最適問題は「i地区での排出量 Q_i の内どれだけを当該処理し、どれだけを隣の(i+1)地区に送るか」という比率を各地区、各年度について算出する事である。

分岐点での収支: $Y_i = X_i + Q_i - g_i$ (1)

結合関係: $X_i = Y_i$ (2)



ここに、 X_i : (i-1)地区からi地区へ送られてくる水量、 Y_i : i地区から(i+1)地区へ送り出す水量、 g_i : i地区で処理する水量、 Q_i : i地区での発生量

この基礎関係式に対し、評価関数(コスト関数) (1), (2) は

$$J_i = 5900 g_i^{0.742} [\text{処理場建設費}] + 401.5 N_i g_i^{0.798} [\text{処理場維持費(汚泥処理除)}] + 2400 N S_i^{1.0} [\text{処理場維持費(汚泥処理)}] + 150.0 C_i g_i^{0.7} [\text{処理場用地費}] + \begin{cases} 0.55 l_i P_i^{1.0} & (P_i \leq 700 \text{ mm}) \\ 1.15 l_i (P_i^{1.0} - 700) & (P_i > 700 \text{ mm}) \end{cases} [\text{幹線管渠建設費}] + 600.0 m_i Y_i^{0.6} [\text{ポンプ場建設費}] + (6.70 Y_i + 200) N m_i [\text{ポンプ場維持費} + 0.793 C_i Y_i [\text{ポンプ場用地費}]] \quad (\text{万円}) \quad \text{..... (2)}$$

ここに、 N : 耐用年数(年)、 S_i : 処理前汚泥量、 C_i : i地区地価(円/坪)、 l_i : iと(i+1)地区間幹線距離(100m)、 m_i : iと(i+1)間のポンプ場数、 P_i : iと(i+1)地区を結ぶ管渠径(mm)で、これは

$$P_i = \left\{ \frac{(Y_i / 6.4 \times n \varphi_{\max})}{2.48 \times 10^{-2} \times I^{1/2} (1 - \frac{\sin \varphi_{\max}}{\varphi_{\max}} \cos \varphi_{\max})^{1/2}} \right\}^{3/8} \times 10^3 \quad \text{..... (3)}$$

$n \varphi_{\max} = 0.013$, $\varphi_{\max} = 2.883$ (radian), I : 勾配,

表-1 地域計画における地区組合

地区	第1地区	第2地区	第3地区	第4地区	第5地区	第6地区
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						
28						
29						
30						
31						
32						

なお流量 Q_i , Y_i , S_i はすべて $1000 \text{ m}^3/\text{日}$ 単位

所要の諸数値は、地面: $C_i = \begin{cases} 3.5 (\text{万円/坪}) & (\text{才5地区以外}) \\ 4.5 (\text{万円/坪}) & (\text{才5地区}) \end{cases}$

耐用年数: $N = 30$ 年又は 15 年, 勾配: $I = 0.6 \sim 0.7 \%$,

排出量: 時間最大 (t/sec) *印は日平均 (t/sec)

	才1地区	才2地区	才3地区	才4地区	才5地区	才6地区
昭和60年度	3,752 1,821*	7,247 3,700*	5,930 3,020*	13,270 6,740*	3,20 1685*	0.972 0.519*
才5才	昭和60年度に対す30.81とする					
才50才	昭和60年度に対す0.62とする					
距離 L_i	61.5	265.0	225.0	50.0	87.5	
ポンプ場数 n_i	0	3	1	1	4	

§3 最適計算

先の諸条件の下に各地区処理場(即ちパイナ)規模とその増設の最適計の場合目的関数は $\int_{t=0}^{t=N} \sum_{i=1}^6 J_i(t) dt \rightarrow \text{minimum}$ (4)の下で決定する。

ここで設置規模の決定を各時間について行う複雑な計算の代りに計算を簡単にするため問題を2つに分ける。

(1)最適地域計画(時間を固定した場合)

評価関数は $\sum_{i=1}^6 J_i \rightarrow \text{minimum}$ (5)

条件式は $Y_i = X_i + Q_i - g_i$ ($i=1, \dots, 6$), $X_1 = 0$, $Y_N = 0$, $X_i = Y_{i-1}$, ($i=2, \dots, 6$)(6) ラグランジュアン L を次式によって定義する。

$L = \sum_{i=1}^6 J_i + \varphi_1(Q_1 - g_1 - Y_1) + \sum_{i=2}^6 \varphi_i(X_i + Q_i - g_i - Y_i) + \varphi_6(X_6 + Q_6 - g_6)$

$+ \sum_{i=1}^6 \pi_i(X_{i-1} - Y_i)$ (7) ここに φ_i, π_i はラグランジュ 常数

ところで問題は L の極値が極大, 極小の何れであるかを知ることである。 $L(\bar{Y}_i + \Delta Y_i, \bar{g}_i + \Delta g_i, \bar{X}_i + \Delta X_i, \varphi_i, \pi_i) = L(\bar{Y}_i, \bar{g}_i, \bar{X}_i, \varphi_i, \pi_i) + \Delta L_1 \frac{\partial L}{\partial Y_i} + \Delta L_2 \frac{\partial L}{\partial g_i} \Delta g_i + O(\Delta L_1^2)$ (8) (極値近傍で)

(8)式は $\Delta L_1 \frac{\partial L}{\partial Y_i} - \Delta L_2 \frac{\partial L}{\partial g_i} > 0$ (9) でなければならない。 $\frac{\partial L}{\partial Y_i}$ の

component を計算し極小値とはならないことが知られる。従

てある処理区で発生する排水量は全量を当該区で処理するか、又は全量を隣接処理区へ送るかのいずれかが望ましい。ことが知られる。

以上から最適処理場数の決定は単純に隣接地区を互に結ぶか切断すかの選択を6地区について行えばよい。この組合せの数 $2^6=32$ 通りを表-1に示す。各場合についての計算結果を表-2に要約する。

(2)最適年次増設計画

従来の情報から処理場建設コストを $C_T = 75000T + 975T^4 + 525T^{0.4}$ とし、年次中5年単位で増設を検討したものを表-3に示す。そのうちわけを表-4に示す。

表-2 所要経費(億円)

地区	昭和59年度		昭和55年度		昭和60年度	
	15年	30年	15年	30年	15年	30年
1	2,86.76	455.94	228.79	373.37	1,80.40	315.82
2	6,20.50	1,020.71	528.79	864.91	420.81	692.19
3	8,57.84	1,408.84	704.83	1,146.62	563.28	920.21
4	2,16.94	351.08	173.17	284.32	139.28	232.26
5	6,11.28	1,021.28	519.20	849.80	414.10	673.55
6	6,91.65	1,119.20	569.48	920.71	450.25	728.83
7	6,46.82	1,067.77	525.80	868.77	415.87	678.87
8	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
9	6,25.17	1,015.97	518.00	841.46	416.57	670.86
10	6,87.97	1,123.53	528.79	870.48	420.78	680.81
11	6,77.77	1,108.85	516.49	840.65	410.42	664.32
12	6,11.77	1,019.85	520.25	840.39	410.41	664.32
13	6,25.78	1,024.86	520.25	840.39	410.41	664.32
14	6,25.78	1,024.86	520.25	840.39	410.41	664.32
15	6,46.82	1,067.77	525.80	868.77	415.87	678.87
16	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
17	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
18	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
19	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
20	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
21	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
22	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
23	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
24	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
25	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
26	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
27	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
28	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
29	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
30	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
31	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81
32	6,82.77	1,121.77	512.12	846.43	409.82	668.81

表-3 年次計画

地区	昭和59年度	昭和55年度	昭和60年度	昭和65年度	昭和70年度
1	5,4.18*	5,4.66	5,4.39	5,6.73	9,1.46
2	8,5.29*	8,6.73	8,6.67	9,1.46	1,3.71
3	2,4.30	2,4.14	2,3.81*	2,4.09*	2,4.09*
4	1,4.39	1,4.13	1,4.38	1,3.71	1,3.71
5	5,4.18*	5,4.66	5,4.39	5,6.73	9,1.46
6	8,5.29*	8,6.73	8,6.67	9,1.46	1,3.71
7	2,4.30	2,4.14	2,3.81*	2,4.09*	2,4.09*
8	1,4.39	1,4.13	1,4.38	1,3.71	1,3.71
9	5,4.18*	5,4.66	5,4.39	5,6.73	9,1.46
10	8,5.29*	8,6.73	8,6.67	9,1.46	1,3.71
11	2,4.30	2,4.14	2,3.81*	2,4.09*	2,4.09*
12	1,4.39	1,4.13	1,4.38	1,3.71	1,3.71
13	5,4.18*	5,4.66	5,4.39	5,6.73	9,1.46
14	8,5.29*	8,6.73	8,6.67	9,1.46	1,3.71
15	2,4.30	2,4.14	2,3.81*	2,4.09*	2,4.09*
16	1,4.39	1,4.13	1,4.38	1,3.71	1,3.71
17	5,4.18*	5,4.66	5,4.39	5,6.73	9,1.46
18	8,5.29*	8,6.73	8,6.67	9,1.46	1,3.71
19	2,4.30	2,4.14	2,3.81*	2,4.09*	2,4.09*
20	1,4.39	1,4.13	1,4.38	1,3.71	1,3.71
21	5,4.18*	5,4.66	5,4.39	5,6.73	9,1.46
22	8,5.29*	8,6.73	8,6.67	9,1.46	1,3.71
23	2,4.30	2,4.14	2,3.81*	2,4.09*	2,4.09*
24	1,4.39	1,4.13	1,4.38	1,3.71	1,3.71
25	5,4.18*	5,4.66	5,4.39	5,6.73	9,1.46
26	8,5.29*	8,6.73	8,6.67	9,1.46	1,3.71
27	2,4.30	2,4.14	2,3.81*	2,4.09*	2,4.09*
28	1,4.39	1,4.13	1,4.38	1,3.71	1,3.71
29	5,4.18*	5,4.66	5,4.39	5,6.73	9,1.46
30	8,5.29*	8,6.73	8,6.67	9,1.46	1,3.71
31	2,4.30	2,4.14	2,3.81*	2,4.09*	2,4.09*
32	1,4.39	1,4.13	1,4.38	1,3.71	1,3.71

表-4 プラン内訳

地区	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
2	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
3	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
4	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
5	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
6	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
7	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
8	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
9	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
10	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
11	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
12	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
13	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
14	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
15	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
16	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
17	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
18	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
19	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
20	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
21	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
22	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
23	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
24	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
25	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
26	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
27	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
28	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
29	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
30	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
31	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423
32	1,76.95	1,167.71	1,178.423	1,178.423	1,178.423