

(京大・工) 正員 内藤正明, 高松武一郎, 内藤美紀子
(シ) 学生員 森尾秀治, (三菱電機) 福田豊生

1. はじめに

広域下水道計画の一例として図-1に示すようなK川水系下水道システムを取りあげる。この水系に7ヶ所の下水処理場の建設候補地をあげて、各場所にとの程度の規模で、どの程度の処理能力を持ったプラントを建設すれば、システム全体の所要コストを最小にし、かつ水系水質を良好に保持するかの定量的に検討する。

2. コスト関数

ここで採用した処理場等に関するコスト関数は次のようなものである。

$$J_i = A_1 g_i^{a_1} + A_2 N g_i^{a_2} + A_3 N g_i + A_4 C_i g_i^{a_4}$$

〔処理場建設費〕〔処理場維持費〕〔処理場用地費〕

$$+ 600 m_i Y_i^{0.6} + (6.70 Y_i + 200) N m_i + 0.793 C_i Y_i^{0.5}$$

〔ポンプ場建設費〕〔ポンプ場維持費〕〔ポンプ場用地費〕

$$+ (A_5 P_i + A_6) l_i \quad \text{〔管渠建設費〕}$$

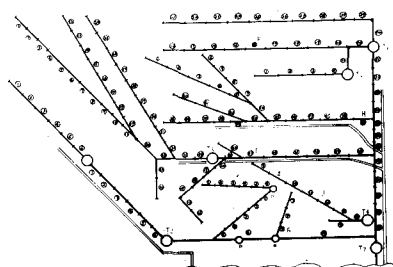


図-1 NETWORK OF MAIN SEWERS

ここに $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, a_1, a_2, a_4$: 係数, g_i : i 地区で処理する水量(1000 m³/日)
 N : 耐用年数(年), l_i : i 地区と($i+1$)地区間のパイプの長さ(100 m)
 P : 管径, C_i : i 地区の地価(万円/坪), m_i : i 地区と($i+1$)地区間のポンプ場数
 Y_i : i 地区から($i+1$)地区へ送り出す水量(1000 m³/日)

ここでは処理効率を60, 90, 97%の3段階BOD除去とする。この夫々に対するコスト係数の値は表-1のように仮定した。なお、 A_5, A_6 は P の範囲によって異なる係数である。計画変更によっても変らない枝線の建設コストは、一括して計算した結果412828.452万円となる。これは計画により変ることがないので、すべての場合に定数として加算する。

表-1.

3. 計算結果と考察

(1) 水系水質を考慮しない場合

この場合の計画は、⁽¹⁾⁽²⁾「組み合わせ案」の中から見出されるということには既に報告済みである。この例ではすべての計画案数は $\sum_{i=0}^6 C_i 3^{i+1} = 12288$ 通りある。この内から経済的な計画案3つを表-2に示すが、最も経済的な案は海に一番近い所で一括して60%の処理をするものである。

これは各計画案のコスト内訳比が、(プラント):(パイプ):(ポンプ) =

(50~10):(8):(1) からわかるように、プラント建設費が他に比べて大きな割合を占めるので、なるべく一ヶ所に集め、これを低効率で処理するのが最も経済的という当然の結果である。しかしこの場合は、特に湾への汚濁負荷が極めて大きく湾の水質悪化は著しいと考えられる。

係数	60%	90%	97%
A_1	5000.0	5900.0	12000.0
A_2	297.7	297.7	600.0
A_3	30.0	30.0	30.0
A_4	150.0	150.0	300.0
a_1	0.37	0.742	0.742
a_2	0.38	0.765	0.765
a_4	0.35	0.7	0.7

(2) 水質を評価に入れた場合

i) 湾への汚濁負荷を考慮した場合

水質基準を制約条件とした場合の最適性は(1)の場合と同様に与えられることが証明されるので(Appendix参照)。ここでも全計画案についての比較によって最適案を見出す。水質の評価をどのようにとるか、またこれをコストとどのように結び

つけるかは難しい問題なので、ここでは河川の水質基準を満足するという条件の下に各計画案毎にその「湾への流入汚濁量」と「建設費」を別個に計算する。計算結果は一般に湾への流入汚濁量の少ない場合建設費が高く、建設費が安価な場合は汚濁量が多いという当然の結果となる。但し、同一負荷でもプラント配置の方法によってコストは変り、その中から最も経済的なものを選ぶ。 (図-2)

ii) 湾への負荷、河川水質、建設コストを同時に考慮した場合

コストと同時に、湾への負荷、河川水質を何らかの形で評価に加え、一つの指標にして計算した一例を示す。評価関数として次の関数を用いる。

$$J = W_B \hat{J}_B + W_W \hat{J}_W + W_P \hat{J}_P$$

ここに $\hat{J}_B$ は湾への汚濁負荷値 J_B を全案の中央値で割って基準化したもので $\hat{J}_W$, $\hat{J}_P$ についても同様である。ここで J_B, J_W, J_P は各々湾への汚濁負荷、プラント・パイプ建設維持費、河川の水質評価を表わす。 W_B, W_W, W_P は各々の荷重係数で、とりあえず (W_B, W_W, W_P) = (0.5, 1.0, 0.5) とした場合の計算例を示す。このときの最適計画案は「最下流点に唯一標準活性汚泥プラントを建設し、集中処理する方式」であることがわかる。

4. おわりに

本研究は実際の対象を取り扱うことに主目的を置いたもので、計画手法等に特に目新らしさはない。更にこの種の計画で常に問題となる汚染とコストの相対的評価については、ここでも未解明である。なお、これは建設省による下水道システム分析研究会の作業の一部とまとめたものである。

(引用文献) 1) 高松・内藤他「広域下水道システムの最適計画」下水道協会誌 Vol. 8 No. 91 (1971), 2) 日本下水道協会「矢作川、境川、

域下水道計画調査報告書「建設省委託研究報告(1971) 3) 下水道整備計画システム分析のための基礎資料調査報告書(金剛水系) '72.

(Appendix) 放流先の水系水質を制約条件として加味した時、最適性が組み合わせ案に含まれるかを調べる。河川水質モデルには次式を用いる。 $X^i = \frac{F^i / F^i}{1 + K^i} X^{i-1} + \frac{1}{1 + K^i} \cdot \frac{1}{F^i} \cdot g^i (1 - u^i) X_a^i$ 。ここに制約条件 $0 \leq X^i \leq X^{i, \text{crit}}$ (水質基準) が加わる。以上2式より汚濁負荷についての制約条件が得られる。

$0 \leq g^i (1 - u^i) X_a^i \leq F^i [(1 + K^i) X^{\text{crit}} - X^{i-1}]$ 。Lagrangean L を次のように定義する。

$$L = \sum_{i=1}^M J_i + \sum_{i=1}^{M-1} \varphi_i (Y^i + g^i - W^i - Q^i) + \varphi_i (Y^i + g^i - W^i) + \varphi_M (g^M - W^M - Q^M) + \sum_{i=2}^M (\theta^i - Y^{i-1})$$

この Hessian Matrix を調べてみると右の形になる。評価関数から Y はその境界値即ち 0 が最大値を取るべきことがわかる。即ち、水質 constraint は処理場の位置の選定の基本方式に影響しないことがこのコスト関数の形式である限り明らかとなった。

表 - 2

計画案	1	2	3
CASE			
効率	$T_1 = 60\%$	$T_2 = 60\%$ $T_1 = 60\%$	$T_1 = 60\%$ $T_2 = 60\%$ $T_3 = 60\%$
COST	1,137,918 円	1,143,501 円	1,153,828 円

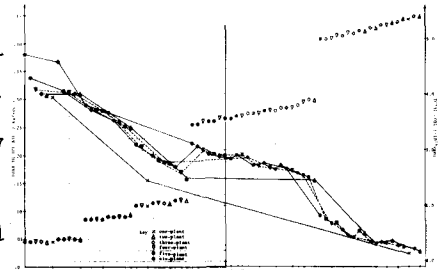


図-2 COST AND POLLUTION LOAD FOR ALTERNATIVES OF PLAN

$$\frac{\partial^2 J}{\partial H^2} = \begin{bmatrix} \lambda_{gu}^1 & 0 & \lambda_{gu}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{gu}^1 & 0 & \lambda_{gu}^2 & 0 \\ \lambda_{gu}^1 & 0 & \lambda_{gu}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{gu}^1 & 0 & \lambda_{gu}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{gu}^M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$