

京都大学工学部 正員 末石 密太郎 山田 淳 ○学生員 橋本 透

本研究は、従来、経験的にしか評価されていなかった下水道管きょ計画に対して、最適化モデルを開発し、これを用いて計画方式や設計因子の評価を行なおうとしたものである。

### 1. 最適化モデル

縦断面 (x-z 平面) 互いに連なった2本の管に着目し、上流側をI、下流側をJとすると、次のような制約をもった、D.P.の多段決定問題に帰着する。(1部第8回下水研究会発表資料)

$$V_{min} \leq V_I \leq V_J \leq V_{max} \quad (1)$$

$$d_{min} \leq d_I \leq d_J \leq d_{max} \quad (2)$$

$$f_J(h_J, S_J) = g_J(h_J, S_J) + \min_{\substack{h_I \leq h_J \\ S_I \leq S_J}} [f_I(h_I, S_I)] \quad (3)$$

V: 流速, d: 管径, h: 土被り, S: 勾配, f: 積算最適コスト  
g: 当該管に属するコスト, h:  $h_J$ ,  $S_I$  による制約値, S': (1)式よりの制約値, S'': (2)式よりの制約値

計算は、(3)式第2項の存在しない最上流管から開始し、下流管へと順次行なう。J区画の設定( $h_J, S_J$ )に対して、I区画の方策が決まるので、この方策を条件付方策( $h_I^*, S_I^* | h_J, S_J$ )とする。最下流点Nに至ったとき、( $h_N^*, S_N^*$ )を与えると、すべての区画の方策列( $h_1^*, S_1^*$ ), ..., ( $h_N^*, S_N^*$ )が確定する。合流点やポンプ場のある場合についても、ほぼ同じ方法で求めることができる。

平面 (x-y 平面) 一方、平面における管きょルートの設定は、簡単な最適化モデルにはなさないで、クリアシ法を用いることにした。いま node i の流出先 node を  $\alpha_i$  とすると、全 node の流出先の集合 M は

$$M = M(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_N) \quad (4)$$

となる。次に  $\alpha_i$  を  $\beta_i$  と変えたときの集合を M' とすると

$$M' = M(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \beta_i, \dots, \alpha_N) \quad (5)$$

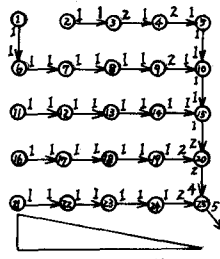
となる。M と M' に対する x-y 最適化計算を行ない、コストがかわれば安い方にルートを変更する。すべての可能なルートについて計算を終ったとき3次元空間の最適解は確定する。

### 2. 最適化計算例

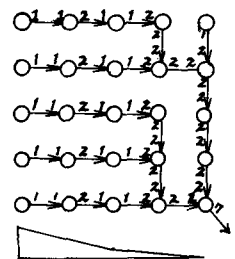
次に示すような6種類の典型的な地形について最適化

計算を行なった結果を下图に示す。ここで縦方向の勾配は一定とした。

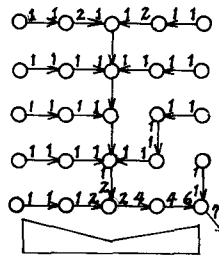
|              |              |
|--------------|--------------|
| No.1 急勾配-急勾配 | No.2 急勾配-緩勾配 |
| No.3 急勾配-急勾配 | No.4 緩勾配-急勾配 |
| No.5 緩勾配-緩勾配 | No.6 緩勾配-急勾配 |



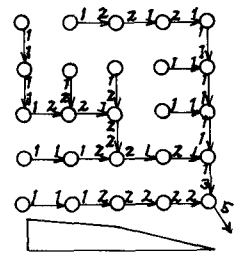
COST = 240.5  
NO. 1



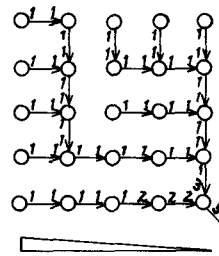
COST = 267.53  
NO. 2



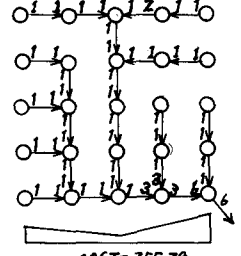
COST = 309.30  
NO. 3



COST = 232.17  
NO. 4



COST = 258.60  
NO. 5



COST = 255.39  
NO. 6

矢印の上の数字は、土被りのランクを表わす。

### 最適解の特徴

i) 6例とも比較的単純な地形であったので、管は地表勾配に沿って配置されている。

ii) 急勾配の部分では、上流部を段落ちにすることによって、下流部への影響を少なくしている。

iii) 上流部が緩勾配の地形の場合、相対的に費用が安い。

iv) 急勾配地形では、最大傾斜方向に流れるが、緩勾配地形の時は、流量を分散させるような集水配置になる。

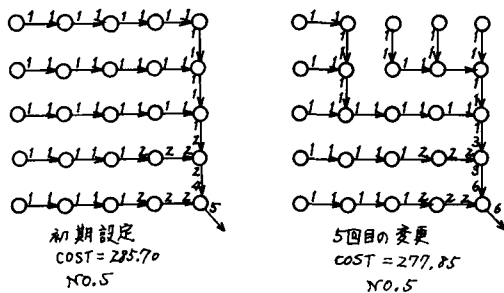
### 3. 計画方式の再検討

現在の下水道管の計画は、最初に処理場を決め、そこへ汚水を流集するための幹線ルートを決め、それから、幹線の縦断計画を行ない、最後に枝線計画を行なうといった方式をとってきた。しかし、本来、平面と縦断を結合し、幹線と枝線とを同時に考慮しながら、かつ実用上適当な密度で計画されるべきことを考えると、現行の下水道計画方式を再検討する必要がでてくる。今回は、現行の計画方式で行なった場合と最適解との比較として、費用、土被り、ルート等を評価指標として検討を加えた。

#### 3-1. 縦断計画と平面計画

##### 縦断計画

平面を固定し、縦断のみの最適計画を行った時の影響は、最適解に近づく過程をみることによって、評価できる。これを、No.5 について図示したのが、下図である。



これを見ると、中流部のルート変更が、下流の土被りを減少させ、大幅な費用減少につながっている。最適費用に対する、初期設定（一応妥当と考えられるルート）費用の増加率は、次表のようになる。

| 地形   | 増加率(%) | 変更管数n | %(n) | 地形   | 増加率(%) | 変更管数n | %(n) |
|------|--------|-------|------|------|--------|-------|------|
| No.1 | 2.7    | 1     | 2.7  | No.4 | 14.7   | 5     | 2.9  |
| No.2 | 4.1    | 3     | 1.4  | No.5 | 10.5   | 4     | 2.6  |
| No.3 | 3.5    | 2     | 1.8  | No.6 | 24.0   | 7     | 3.4  |

ルートは、費用に大きな影響を与え、このケースでは、一応

妥当と考えられるルートでも、最適費用を、2.7%~24%も上まわっている。また、最適解のルートを1本達えることによって、費用は、約2%高くなる。

##### 平面計画

制約条件を満たすもののうち、土被りが地表に最も近い管配置をとる場合（一般にはこの方法が多い）の検討を行なった。ルートは、No.4を除いて、最適解とほぼ一致し、費用増加率は、No.4を除いて、8%以下であった。これは、従来の縦断計画の方法では、最適解を得られないが、地形が単純な場合には、最適解にほぼ近いものが得られ、その方法が全く間違っているものではないことを、示している。

#### 3-2. 計画密度

平面の計画密度を、粗くする（ノード数25→9）と、の全体的な集水方向は、No.1を除いてほぼ一致した。ii) 費用は、管の総延長の減少分（5km）を枝線として補正すると、4ケースは前より安くなり、2ケースは高くなった。平面の計画密度が管の計画の重要な要素になることは、上の結果よりわかるが、どの程度の計画密度が適当かは、いろいろなケースをやって、検討する必要がある。

#### 4. 直交表による設計因子の影響度分析

10個の因子を同時に考慮し、直交表によって組み合わせの確率化に基づいて最適計算を行った結果を次表に示す。

表 直交表による設計因子の主効果

| 設計因子      | 水準1  | 水準2    | F       |
|-----------|------|--------|---------|
| 1. よこ上流勾配 | 0.5% | 2.0%   | 0.12    |
| 2. よこ下流勾配 | 0.5% | 2.0%   | 7.55*   |
| 3. たて上流勾配 | 0.5% | 2.0%   | 0.08    |
| 4. たて下流勾配 | 0.5% | 2.0%   | 6.13*   |
| 5. 流量増加   | 1.0  | 1.2    | 0.98    |
| 6. コスト増加  | 1.0  | 1.2    | 0.41    |
| 7. 流量乱数   | なし   | 5=平均値  | 0.00    |
| 8. 地盤乱数   | なし   | 5=1.0" | 25.67** |
| 9. コスト乱数  | なし   | 5=平均値  | 0.21    |
| 10. 流出土被り | 1.5" | 3.5"   | 0.15    |

\* 5%有意 \*\* 1%有意

水準間の差は、2で90（黒田）、5で32（黒田）、8で166（黒田）であった。平均コストは338（黒田）。

おわりに 今後は、水質を評価に組み込んで、水質と集水システムや分合流併用システムなどの計画方式の検討を行ないたいと考えている。