

## システム工学の手法を用いた集配水管理

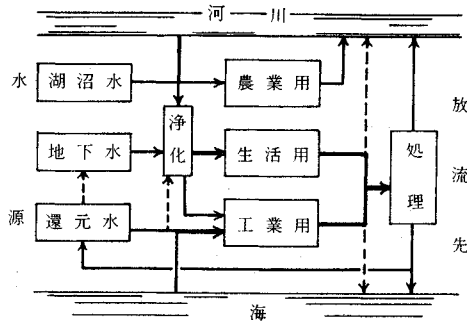
末 石 富 太 郎\*

### 1. はし が き

表題には、“システム”、“システム工学”、“手法”、“管理”のように多くの述語が含まれているが、それぞれとの密接な関連において、“集配水”という新しい意義づけが行なわれるはずである。集配水とは文字通り水を集めたり配ったりすることであるが、これに 図-1、2、3 の三つの段階がある。

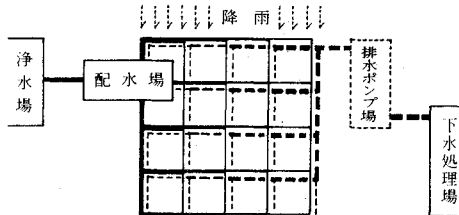
図-1 では、水利用を中心として水源から放流先まで、種々の施設が設置・運用されるが、力学的関係より経営的管理に重点がおかれる。また 図-1 をシステムと

図-1 水量水質経営としての集配水



みても、その目的が水利用にあるのか、放流先の汚濁防止にあるのかあいまいなことも多い。幸か不幸か、現段階では、図-1 のような計画の前提となる水需要予測の

図-2 都市水利用における集配水



原単位方式の欠陥<sup>1)</sup>によって、図-2 のように、上水道の配水と、下水道の排水とに分けて扱うのが好都合である。しかし、筆者の集配水についての考え方は、水利用を中心として、一貫した計画の評価を行なうことによ

\*正会員 工博 京都大学教授 工学部衛生工学科

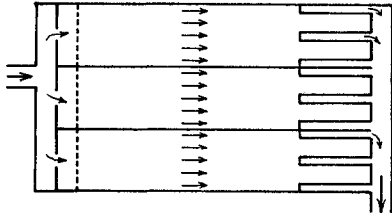
同じレベルで扱おうとしているわけである。もちろん、後に述べるように集配水が同じ力学的原理によって説明される点も重要なのであるが、最も明瞭な特徴は、単一の管路や水路による水の輸送と異なって、水量・水圧・水質ネットワークの複雑な挙動を伴うことである。さらに、水利用の中心となる人間をも含めて集配水の複雑さを考えると、全体が共通の目的を果たすべき統合体としてシステム化を進める必要性は、鉄道、道路、港湾、河川などに十分比肩しうるものである。

しかしながら、たとえば急速な過方式や配水管網設計計算手法の一応の完成によって、上水道の研究は終わったかのごとく誤解されている面もある。また集配水の研究は、新しい浄水方法や汚水処理法研究など衛生工学の他の部門の進歩に比し逆に遅れをとっているとも思えるのに、計画化やシステム化などに関し、あまりむつかしくしてほしくないという意見もある。これらに対する最も明瞭な反論の根拠は、浄水と配水が綿密化に裏打ちされた合理的なシステムとなっていないままに、単に規模だけが大きい、グロテスクなシステムをつくってしまうと、全体としては末端の機能まひが見えやすくなってきたことである。すなわち、新しい工学の研究の一方向として、水量・水圧・水質などの効用を総合化し、新しい技術価値の創造をはからねばならない。

しかしながら、システム工学の内容はむしろ“hazy”であるから、システムという用語のみの適用を急いでではない。システム工学として最も重要な点は、対象がどのようなになっているのか、という要素とその構造と、そこで何が起きているかという素過程 (elementary process) の把握、そしてそれらがどのように表現されるかを区別することにある<sup>2)</sup>。それ以後は、いわゆるシステム工学手法によって解析は数学的に進行するであろう。いま一つ注意を要する点は、システム工学と Operations Research の混同である。システム工学で用いる手法と OR の手法は、最適化理論、ゲームの理論、決定理論など共通したものが多いが、OR は新しい構造をつくり出してゆくよりも、実際の operation をモデル化するほうに目的があるので、システム工学としては、OR の解を求めることがシステム構造を解析してゆくための重要な機能であると解すべきであろう。そこで本文で

は、具体的な手法がいかに応用されるかという解説を行なうよりも、システム工学の手法をより広い意味にとらえ、それによって集配水の実体解析上の今後の重点を見出すことをはかりたい。

図-3 水処理装置内の集配水（沈殿池平面の例）



なお、図-3 のような集配水のシステム化もまだ不十分で、現象論的關係により重点をおくべきであるが、本文では省略する。

## 2. 集配水管理のシステム化の段階

“管理”を広義に解すると、“management”すなわち計画・設計・建設・管理という一連のシステム（場合によっては予報や予測も含められる）として表現でき、計画と管理は相互に分野を包括しあうとみてよい（図-5）。したがって、集配水管理のシステム化は、集配水目的性をいかにして評価するかという、計画の計量化と密接な関係にある。筆者は前に、上下水道計画に関し計量化の段階を論じたが<sup>3)</sup>、これをアナロジーすると、集配水のシステム化の段階は次のように設定できる。

第Ⅰ段階：計測（measurement）を徹底的に行なう、システム化の第一歩である。対象とするシステムの構造を把握するためには、綿密な測定ないしは監視が必要である。

第Ⅱ段階：システム構造の定量的な表現をはかる。OR のモデル化の段階と考えるとよいから、計量数学の積極的な利用をはかることも必要であるが、入力や出力、管理（計画）パラメータ、構造パラメータなどを明瞭に類別する。入出力だけがわかって現象解析が不十分であると、定式化が black box となってしまう。

第Ⅲ段階：従来想定していなかったまたは条件として固定していた要素を計画目標として計量し、それを実現し得るような新しい構造の結合（シミュレーション手法の利用など）をはかる。

第Ⅳ段階：第Ⅱ、Ⅲ段階を総合し最適化をはかるが、経済性だけでなく、弾力化、安全化などを有用性、信頼性に総合し、さらに将来のシステム改革への配慮もはかる。第Ⅲ段階とあわせて、今後の研究にまつところが多い。

第Ⅴ段階：5. に述べるように、集配水システムを流れるものが水だけでなく、人間も含めた情報の流れをも

取り扱い、計画・設計システムとしても相当の価値を配分しようという高度なものである。

さて集配水管理を進めてゆくには、まず、集配水の種々の分類と、上記のようなシステム化段階を二元配置して、実状を十分に考察する必要がある（図-5 はその一例）。案外、第Ⅰ段階を無視して第Ⅱ段階に集中していたりすることがわかる。

全体として集配水管理が水量面に偏っていることも容易にわかるであろう。図-1 のような集配水経営のシステム化も、ようやく第Ⅲ段階の研究に着手された<sup>4)5)</sup>にすぎない。本文の主題とする狭義の集配水管理においても、必ずしも均衡のとれたシステム化が行なわれているとはいえないが、現在第Ⅱ段階にあると思えるので、第Ⅲ段階以下に重点をおいて述べたい。

## 3. 浄配水システムの動的設計と配水コントロール

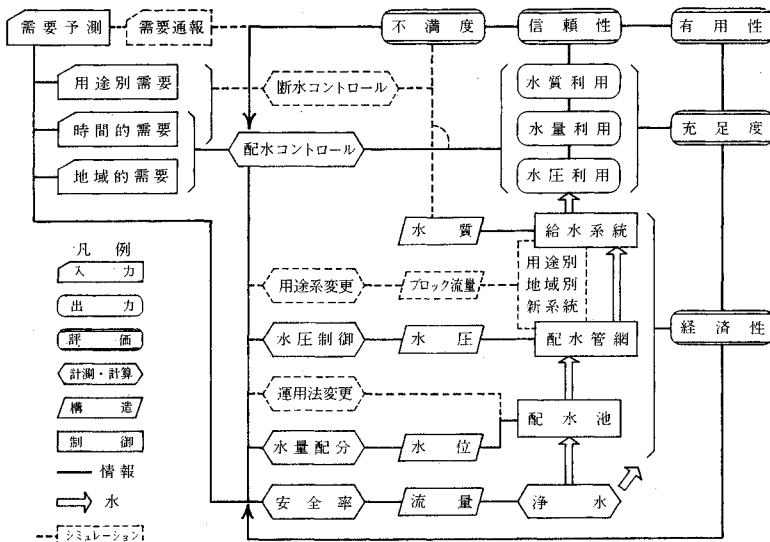
従来の配水施設の設計は、需要の時間変動を十分に吸収できるような配水池の規模を条件とし、時間最大給水量を用いて管網流量計算を行ない、管路口径を設計することによって、できるだけ人為的なコントロールをしないことをむねとしてきた。そこで、多くの研究者が配水管網の流量計算法について成果をあげたが、適当に理論的で適当に反復計算を含む方法が実際には好んで用いられている。しかし、ネットワークの理論とか、需要量負荷分布の合理的な取扱いなどについては不十分であった。

次いで管網の研究は、計画・設計の合理化・経済化の方向に進み、わが国では扇田、松田、青木らの貢献が大きい。これらはシステム工学的には第Ⅱ段階にあるが、管網構成の實際上、入力・出力とも固定した状態で、しかも構造パラメータ（各管路要素の口径）がきわめて多い状態のまま扱うので、OR 手法の応用としてもレベルは高くない。筆者もその欠点を克服するため、制約条件化されていた要素を制御パラメータとし、管径と対比できるような、別の構造パラメータの導入の必要性を論じた<sup>7)</sup>。

しかし、需要は静的でなく、かつ目標（予測）値に対してずれの起こることもさげられない。そこで、いつ配水池を増設し、どの管路を増強するかという問題のほうが、新設管網を論ずるより重要であるといえる。すなわち、やや長期的な時間の流れにおける制御の問題がより実際のとなる。これについては、現実に存在し長期間運用されてきた既設管の評価の方法が不十分なので、以下のような配水コントロールの研究を経たうえでないと、実用的な方法が展開できないのかもしれない。

筆者らは、浄水システムと配水システムとを合わせた浄・配水システムの動的設計の研究の一端として、図-4 のような配

図4 配水コントロールの理念と方法



水コントロールを理念としている。すなわち、給配水のシステムの把握によって必要な新しいシステムの開発と都市水利用の需要の評価<sup>9)</sup>の方向の研究を経て、フィードバックをもった配水コントロールシステムを確立すべきであろう。

この間、実際都市においては、それぞれ独特の事情に応じて、現実段階として可能な配水コントロールが画期的に導入されはじめた。この代表的な例として、神戸市の村尾の研究<sup>9)</sup>と川崎市における坂根らの研究<sup>9)</sup>を取り上げることができる。これらの研究の主要な特徴は、両都市の地理的条件や保有する水源の状況に関係していると思われるが、ほぼ表-1のようにまとめることができる。神戸市では、表のように想定している評価関数を用いるためには、今後電子計算機の導入が必要であろう。一方、川崎市では、試験的な評価関数としての配水状態指数を推定するのに管網計算法を用いている。この方式は配水区域の総合的な水圧が管理対象となっているので、管網計算としては、従来の流量を未知数とするものより

表-1 配水コントロールの比較

	神戸市	川崎市
需要予測	日・時間単位	(あるていど長期)
需要抑制	なるべくしない	必要ならやむをえない
配水池数	きわめて多い	比較的少ない
制御対象	配水池相互の水量配分	配水区域相互(区域内のみも可能)
主要計測因子	配水池水位	基準点水圧
制御目標	予測値に対する給水誤差を最小にし、かつ配水池容量を活用する	給水水圧の均分化
評価関数	一定時間の需要に対する保有および流入水量の和の倍数	基準水圧に対する水圧比(≤1とする)の区域内平均値
主要技術	テレメータ・テレコントロール	電子計算機
基礎理論	貯留方程式(連続式の典型)	管網計算法(運動式の典型)

も、節点エネルギー法がより適当している<sup>10)11)</sup>であろう。あるいは、水圧測定点をふやしてテレメータ・コントロールの性格をますことも必要となる。

村尾や筆者らの研究にも管網の水理的特性はまだ入っていないので、以上の研究は相互に補完しあうべきものと考えられる。さらに現在の管網設備においては、制水弁を制御用として完全に利用することができない、増圧ポンプが多くはない。そして末端の給水は細部の管網の水理学的弾力性のみに依存しているというように、固定化されている面が多い。結局、現存の配水管網による限り多少とも水圧

の不均等は避けるべくもない。むしろ、配水のシステムコントロールのためには、前述のように、いったんは第II段階にもどることになるかもしれないが、需要と配水プロセスのあり方に関する新しい拘束関数のモデル化<sup>12)</sup>が重要なものではあるまいか。このような方法によって、配水池、増圧ポンプ、制水弁などの地域的配置と、それらの適切な制御方法に必要な計測入力の取り方などの検討が可能となるはずである。

なお、漏水量は配水コントロールの一つの盲点であって、これが現在では需要量の中に含め取り扱われている。筆者らの調査では、常時漏水量が水圧の平方根に比例しないことがわかったので、管網計画ならびに配水コントロールにおいて、明らかに無視できなくなる。このような研究<sup>13)</sup>も、制御の問題に組み入れなければならない。

最後に忘れてはならないのが水質の問題である。現在では、通報なり検査によって悪い水質が検出されたならば、その部分の水を捨てればよいと考えられているが、もしそのような水質悪化の原因が管網設計にあるとすれば大きな問題である。浄水と配水システムのシステム化は、配水コントロールにおいて水質を水量などと同等に取り扱うことからをはじめられよう。事実、これまで設計時に考慮されなかった時間最小流量時に、水の管網内滞留時間が非常に長いこと塩素消費が進み、末端で残留塩素不足の恐れのあること<sup>14)</sup>や、赤い水の一因となる管網末端における流向の頻繁な変化は、管網設計時の節点集中需要負荷方式に問題があること<sup>15)</sup>も指摘されている。

#### 4. 市街地集水管理のシステム化

最初に述べたように、汚水や雨水を排水と考えず、広

域的に都市化した地域で高流出率をもって集められる雨水をローカルな水源として利用すべきであるという発想<sup>16)</sup>が、そのまま市街地集水のシステム管理の必要性につながる。しかしながら、このための研究は、河川流出管理のシステム化と比べても遅れがはなはだしい。

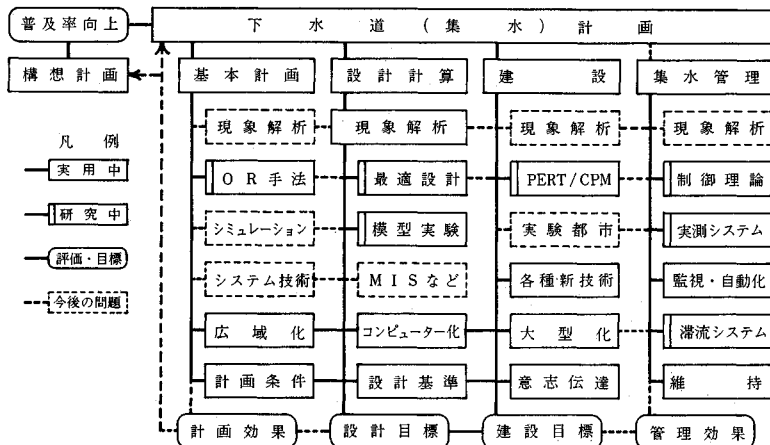
従来から多くの雨水流出算定公式に関する研究が行なわれてきたが、出力のみを表示する実験式を経て、市街地排水システムの入力と出力の関係を単に一次結合モデルで表示した合理式の利用がようやく一般的となった。より詳しい解析モデルについては、設計上不便であるというような批判しかされない。もし、設計用の式と管理のために必要な解析用の式の見分けをつけないと、合理式を用いて設計をして被害などの現象が起こった場合に、設計の正当性のチェックをするのにふたたび同じ式を用いることは全く意味なくなる。それは、設計式の通りに現象が起こらないからである。したがって、設計式の不十分ながゆえに管理が必要という、特別の理由にも注目しなければならない。

現在合流式下水道では、管理的な要因として雨水吐きにおける放流倍率コントロールがある。筆者もこの種の研究をアプローチとして、配水でとったのと同様に、下水道管きょ系の経済設計というOR段階<sup>17)</sup>を通じて、集水のシステム化を意図してきた。しかし、要するに水を遅滞なく排出する立場だけでは、高度のシステム化は行ない得ないという結論になる。

まず第I段階として、下水道集水系における計測を充実することである。入力についてももちろん、流量や水質についてはさらに不十分であり、コンピュータの利用による学習制御的な計測監視の方法<sup>18)</sup>も導入すべきであろう。汚水の水質と水量は下水処理場流入点で適宜計測されているが、すでに、断面代表水質の取扱いに対する非厳密さが指摘され<sup>19)</sup>、また流量自身の変動<sup>20)</sup>を無視した定常的取扱いでは、集水区の水質負荷量算定にも誤まりをきたす<sup>21)</sup>。

次に、土砂の堆積など、現実に下水管きょで起こっている複雑な現象の把握ができると、下流へ汚水を運ぶという機能だけに固定せず、逆にもっと重要な機能を果たしているという前提にたつことが可能となる。当面、管きょの中での排水および水質構成物質の貯留・調節機能が考えられ、さらに汚泥の長距離輸送方式や水量水質制御用の滞水池の積極的導入などが行なわれよう。設計上

図-5 下水道集水計画のシステム化



は浸水を想定することはできないが、計算機内でのシミュレーションは可能である。滞水池の運用については、雨水流出過程における遅滞・滞流・貯留・浸水というメカニズムを一貫して取り扱う必要がある<sup>22)</sup>、滞水池の種々のパターンと雨天時放流水質の関係のモデル化<sup>23)</sup>のためには、水質流出の機構について、いっそうの現象解析がなされねばならない。

このように、市街地集水管理にシステム工学が直接適用される段階にはほど遠いようであるが、これは現在の下水道が、全く建設に追われていることにも原因がある。そこで2.に述べたように、計画→設計→建設→管理の流れを重視し、図-5に示すように、従来用いられていなかった手法を取り上げてその積極的な評価をすることによって、まずシステム化の基本的態度とすることも必要である。図だけでは完全な表現はできないが、特にシステム解析にも重点をおいてあり、十分に吟味されたい。

## 5. 都市における集配水のフローシステムの解析

筆者は集配水工学を次のように定義する。

「都市の給配水を自然→都市→自然のサイクル上で集配水という新たな力学的過程としてとらえ、工学的には水の流れのシステム化をはかる。」

そして、基礎となる原理は、水理学、水質学であり、より具体的には水量・水質の負荷を基礎方程式でどのように扱うかということである。

まず連続の式について考えてみる。

$$\text{水量連続式: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = q \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{水質連続式: } \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(uc)}{\partial x} = \frac{q c q}{h} \dots\dots\dots(2)^a)$$

a) 式(1)との対比のため、拡散項、生物学的・化学的要因や光合成作用による寄与率など<sup>19)</sup>をいっさい省略した。

$u, h, c, t, x$  は流速, 水深, 水質, 時間, 距離をあらわし,  $q$  が単位長さと幅当りの水量負荷で,  $c_g$  がその水質である。実設計においては, 式(2)はもちろん, 式(1)すら十分に使いこなされていないが, このような水の流れの原理が集配水システム全体に対して適用されねばならない。すなわち, 水源から都市を経て放流水域に至る過程では, ある場所では水が流れ, あるところでは滞留している。滞留している状態は式(1), (2)の第1項に表わされ, 流れの変化の様相を第2項が示す。結局, 集配水システムの管理は,  $q$  を第1項と第2項にどのように配分するかということである。

現在の都市水道でこの問題を最も端的にあらわすのが配水池容量の決定法であろう。3. で述べたような配水コントロールが積極的に進んでも, 最終計画決定においては, 管理者の意志一つできわめて大容量の配水池の建設が決つたりすると, コントロールの効用が達成されない場合もある。これは, 都市が水を何時間分(何日分)もつべきかという評価がされていないからである。逆に現在の都市がどのくらいの浄水を保有しているかをみると, 配水池・配水管の容積と, さらに浄水場の池の容積を加えても, 半日分ていど<sup>b)</sup>しかないのが普通であろう。ここに, 都市給水のより高次元の安全性の評価の要点がある。もし配水管が空中配管できるとか, あるいは沈殿池やろ過池のきわめて動的な運用をはかれば, ちょうどオーダー的に配水池は不用となる。現在筆者らは, 無配水池方式<sup>c)</sup>の研究によって, 都市浄・配水系の評価の方向を模索している。市街地集水においても, 滞水池を含めて同じ考え方が成立し得ることを示唆できる。

上述のような集配水負荷の配分を制御したり拘束する原理を記述するのが運動方程式である。沈殿・ばっ気・塩素消費の反応などは, 当面制約条件によってチェックできたとしても, より基礎的な運動式の取扱いがあまりにも粗雑である。現在集配水設計には, 定常状態の抵抗法則である平均流速公式 (Hazen-Williams, Manning, Kutter 公式など) が用いられている。はなはだしい場合には, 流速を一定とした取扱いに終っていることすら指摘できる<sup>24)</sup>ので, ことにシステムが大規模化し, あるいは新しい機能の評価しようとする場合に, 運動方程式の不十分な取扱いが, 全体に対してどのような影響をおよぼしているかは, はかりしれないものがある。たとえば, Hazen-Williams 公式の適用限界を下回った管網において, 同じ公式を使って配水コントロールをした場合, その意義は全く疑わしい。

このように, 集配水のフローシステムの解析は, 単に OR の適用や既存のシステムのモデル化よりも重要なこ

とが理解できるが, さらに各要素のミクロな効用の分析も忘れてはならない。システム工学の一分野に情報理論があるように, 人間を含む集配水システムでは, 水の流れだけでなく, 今後は, システムにおける設計者の意志や利用者の評価などの情報の流れをどのように取り扱うかということも重要となる<sup>25)</sup>のではあるまいか。

## 6. あとがき

本文で期待されたのは, 集配水設計・管理への OR 手法の適用の段階であったかもしれない。しかし, 土木技術の中でも古くから営為されてきた上下水道が, 技術的にも比較的遅れていることと, さらに衛生工学との関連において複雑化をましているのので, 新しいシステムとして体質改善することに重点をおきたかった。そのような意図で, 筆者が最近, 大学で行なっている講義を中心に説明を試みたけれども, 述べたいことが多いためにかえって散漫になったことを憂える。なおそのうえ, 管理のために必要な種々の計測技術の現況や, 土木技術として焦点となる配管工学上の問題などについても, ふれることができなかった。

従来ともすれば孤立的であった都市給配水の分野が, 上記のようにシステム工学の導入によって, 都市・社会系における境界分野としての発展が期待される。その場合, やはり基礎学理の応用が最も重要であるが, 特にシステム工学の現実の問題は, 電子計算技術の大幅な導入であることも疑う余地はない。しかし, 現実面のみを取り上げてそれをコンピュータにおきかえるだけで技術者は満足すべきでないことを強調しておきたい。

なお本文の内容は, 都市水道の技術者を交えて行なった共同討議の成果<sup>25)</sup>にも依存していることを付記する。

## 参 考 文 献 など

- 1) 末石富太郎: 需要予測からみた都市水道論, 水道協会雑誌, 第 424 号, 昭和 45 年 1 月
- 2) 猪瀬 博: システム工学Ⅲ, 岩波講座基礎工学 21
- 3) 末石富太郎: 上下水道計画における計量化とその問題点, 第 3 回土木計画学シンポジウム論文集, 昭和 44 年 1 月
- 4) 合田・末石・住友: 工業用水計画における水量・水質配分について, 土木学会論文集, 第 134 号, 昭和 41 年 10 月
- 5) 末石・南本: 流域都市の汚濁負荷配分について, 第 4 回衛生工学研究討論会講演論文集, 昭和 42 年 9 月
- 6) Nemerow・Sueishi・Sumitomo・Yamada: Simulation Techniques for Stream Pollution Control, 13th Congress of IAHR, A-60, Sept. 1969
- 7) 末石富太郎: 配水管網計画最適化の理念と最大傾斜法の応用, 水道協会雑誌, 第 379 号, 昭和 41 年 4 月
- 8) 村尾正信: 送配水施設の集中管理計画の概要, 水道協会雑誌, 第 383 号, 昭和 41 年 8 月
- 9) 坂根・甲田・村川: 配水コントロールにおける配水状態推定法, 水道協会雑誌, 第 410 号, 昭和 43 年 11 月
- 10) 高桑哲男: 配水管網流量計算法に関する研究 (Ⅲ)一節点エネルギー位を未知数とした計算法一, 水道協会雑誌, 第

b) この計算根拠は京都市の場合。

c) 配水池を不要にすることを目的にするのではない。

- 423号, 昭和44年12月
- 11) 南・福森・柴田: ガス事業における設備計画, 第10回数学計画シンポジウム報文(日科技連), 昭和42年5月
  - 12) 末石・雄倉・亀岡: 平板間の二次元流の実験による集配水機構の特性, 第20回全国水道研究発表会講演集, 昭和44年5月
  - 13) 雄倉幸昭: 漏水を考慮した管路の設計, 第3回衛生工学研究討論会講演論文集, 昭和41年11月
  - 14) 中西 弘: 水道施設の塩素処理に関する研究, 水道協会雑誌, 第386号, 昭和41年11月
  - 15) 保野健治郎: 電子計算機の利用よりみた管網設計に関する二, 三の考察, 水道協会雑誌, 第402号, 昭和43年3月
  - 16) 末石富太郎: 都市排水対策の革新と将来一計画的立場からの未来学へのアプローチ, 用水と廃水, 11-1, 昭和44年1月
  - 17) 末石富太郎: 水質汚濁防止と下水道計画の最適化に関する研究, 第2回衛生工学研究討論会講演論文集, 昭和40年11月
  - 18) 末石富太郎: 下水道系統における水量・水質監視の試案, 公害と対策, 5-3, 昭和44年3月
  - 19) 合田 健: 上水管理に関する問題の提起と分析(I)一原水水質の予知・予報について一, 水道協会雑誌, 第421号, 昭和44年10月
  - 20) 末石・山田: 排水の集水過程における水量, 水質変動について, 下水道協会誌, 6-60, 昭和44年5月
  - 21) 末石・山田・松井: 下水道系統の水量・水質制御に関する研究(II)一汚水発生機構と流出について一, 第23回土木学会年次学術講演会講演概要, II, 昭和43年10月
  - 22) Sueishi・Katsuya: Experimental Estimation of Detention in Storm Sewer System, Trans. of JSCE, No. 151, March 1968
  - 23) 稲場・横尾: 雨天時下水排除の合理化へのアプローチ, 第5回衛生工学研究討論会講演論文集, 昭和44年2月
  - 24) Tomitaro Sueishi: Run-Off Estimation in Storm Sewer System Using Equivalent Roughness, Trans. of JSCE, No. 91, March 1963
  - 25) 末石・合田・中西・住友・山田・菱田・伴野・村尾・武田・甲田・雄倉・保野: 浄・配水系統の動的設計法の研究(昭42・43年度文部省科学試験研究)

## 第16回 海岸工学講演会講演集頒布

第16回海岸工学講演会は昨年12月11~12日の両日大阪市において行なわれます。今回の講演発表数は56編を数えこれらを収録した講演集は380ページを越えるものとなりました。本講演集ご希望の方は土木学会へお申込み下さい。

体 裁: B5判 8ポ2段活版印刷 384 ページ  
定 価: 3000 円 送 料: 150 円

## マトリックス有限要素法

ツイエンキーヴィッツ・チューン共著 / 吉識雅夫監訳

本書は有限要素法に関する初めての成書で、【主要目次】構造剛性解析 連続体の有限要素 平面応力および平面ひずみ 軸対称応力解析 2次元問題における要素の改良 3次元元応力解析 板の曲げ 平面要素の集合としてのシェル 軸対称シェル 場の問題一熱伝導、滲透流など 固有値問題一振動および弾性安定 非線形問題一塑性、クリープ、大変形 複合問題 有限要素法の最近の進歩と展望 計算法と計算機プログラム 付録 索引

R.K. リブスレイ著 山田嘉昭・川井忠彦共訳 **マトリックス構造解析入門** ¥1300

H.C. マーチン著 吉識雅夫監訳 **マトリックス法による構造力学の解法** ¥1500

## 計算機のための 線形計算の基礎

= 連立1次方程式のプログラミング  
フォーサイス 他著 / 渋谷政昭・田辺国士訳 ¥780  
本書は、ガウス消去法及び解の反復改良法を中心に説明し、数値例によって方程式解法のプログラムをALGOL60, FORTRAN, PL/I で示す。

<数理科学シリーズ1>  
電子計算機のための **数値計算法 I**  
山内二郎・森口繁一・一松信共編 ¥1500

<数理科学シリーズ3>  
電子計算機のための **数値計算法 II**  
山内二郎・森口繁一・一松信共編 ¥1800

**培風館**

(102) 東京都千代田区九段南4-3-12  
振替東京44725 電話(262)5256