

# 土木研究所資料

## 下水道污水管における 堆積汚泥の性状と掃流に関する研究

昭和63年9月

建設省土木研究所  
河川部都市河川研究室



下水道污水管における堆積汚泥の性状と掃流に関する研究

都市河川研究室室長 北 川 明  
主任研究員 島 谷 幸 宏  
神 庭 治 司  
下水道研究室研究員 榑 原 隆

要旨

都市化の進展に伴い、住宅地などが軟弱地盤上に建設される例が多くみられるようになった。このような場所に敷設される下水管路は不同沈下を起こすおそれがあり、それに伴う流下機能の低下による堆積汚泥の発生も維持管理上、無視できない存在となってきた。本研究は、このような背景を踏まえ、下水管路の流下機能の低下による管内の堆積現象の把握と予測を試みたものである。対象としたのは、住宅地に敷設された分流式下水道の小口径污水管である。

研究は、污水管内の実態を調査することから始め、不同沈下箇所に堆積物を確認した。その堆積は、污水中に多量に含まれる尿尿、米つぶ等の有機的な物質が主であるが、污水中には少量しか含まれない砂、れき等の無機的な物質、黒色化した砂状の物質も堆積物中に含まれていることがわかった。また、それぞれの堆積物について、污水中の汚泥が堆積し始める流速（堆積開始流速）と、堆積汚泥が流量の増加に伴い再び掃流し始める流速（掃流開始流速）を求めた。

最後に、堆積物の堆積、掃流開始条件を用いて、堆積による断面変化を考慮した不等流計算モデルを作成し、下水管路が不同沈下した場合の堆積量の予測を可能とした。

キーワード：下水道污水管、不同沈下、堆積物、軟弱地盤



# 目 次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| はじめに .....                 | 1  |
| 1. 概要 .....                | 3  |
| 1.1 研究の対象 .....            | 3  |
| 1.2 研究の目的 .....            | 3  |
| 1.3 内容 .....               | 3  |
| 1.4 不同沈下と流下機能 .....        | 3  |
| 1.5 不同沈下の定義 .....          | 4  |
| 1.6 流下機能の定義 .....          | 4  |
| 2. 下水道計画論の整理 .....         | 9  |
| 2.1 既存の下水道計画の指針と施設設計 ..... | 9  |
| 2.2 管渠の計画 .....            | 10 |
| 2.3 管内の水理 .....            | 11 |
| 2.4 管内の堆積 .....            | 12 |
| 3. 下水管内堆積物の実態調査 .....      | 20 |
| 3.1 T市下水管内堆積物調査 .....      | 20 |
| 3.2 S市下水管内堆積物調査 .....      | 22 |
| 3.3 F市の調査 .....            | 22 |
| 3.4 まとめ .....              | 23 |
| 4. 実大模型実験その1 .....         | 37 |
| 4.1 実験の概要 .....            | 37 |
| 4.2 実験ケース .....            | 38 |
| 4.3 実験結果 .....             | 38 |
| 5. 下水管内堆積物の掃流実験 .....      | 62 |
| 5.1 実験の概要 .....            | 62 |
| 5.2 測定項目と手法 .....          | 62 |
| 5.3 予備実験結果 .....           | 64 |
| 5.4 本実験結果 .....            | 64 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 6. 実大模型実験その2 .....         | 82  |
| 6.1 実験の概要 .....            | 82  |
| 6.2 実験方法 .....             | 83  |
| 6.3 実験結果 .....             | 84  |
| 7. 流下機能に関する水理的検討 .....     | 108 |
| 7.1 水理的検討の方法 .....         | 108 |
| 7.2 堆積物の種類 .....           | 108 |
| 7.3 下水管内の堆積・掃流現象 .....     | 108 |
| 7.4 水理量と堆積・掃流現象 .....      | 109 |
| 7.5 堆積モデルと堆積・掃流条件の検証 ..... | 112 |
| 7.6 まとめ .....              | 113 |
| 8. 不同沈下に伴う堆積量の予測計算 .....   | 119 |
| 8.1 概要 .....               | 119 |
| 8.2 沈下量の設定 .....           | 119 |
| 8.3 予測計算 .....             | 119 |
| 8.4 計算結果 .....             | 121 |
| 9. まとめ .....               | 132 |
| お わ り に .....              | 133 |

## はじめに

下水管路には、汚水やそれに含まれるものが適正な流速で支障なく流下する機能、つまり流下機能を維持することが要求される。管路は適正な流速を保ち続け、流下機能を維持するように計画され、敷設される。しかしなんらかの原因でこの流下機能が低下した場合、污水管において汚泥などが堆積し、それが継続すれば管内の腐敗、悪臭の発生などの問題が考えられる。この場合、堆積した汚泥が流量の増加で速やかに掃流されるかどうか、予測される堆積物、堆積量などを把握することが重要となる。

近年、都市化が進むにつれて、かつて開発の対象からはずされていた埋め立て地、低湿地等の軟弱地盤上に市街地を立地する必要性が生じてきた。軟弱地盤は支持力がきわめて小さく、構造物の沈下を起こしやすい。特に下水管路などの地中構造物はその影響を強く受け、それは管路の不同沈下という形で現れる。不同沈下した下水管路は、逆勾配、管路の損害等の管路自体への影響のみならず、動水勾配の低下による流下機能への影響も大きい。また沈下部分に堆積した汚泥は掃流され難い状況となり、それが継続することによる悪臭等の問題の原因となる。

本研究は下水管路が不同沈下した場合の流下機能の低下による汚泥の堆積の問題に対して、合理的な下水道管の設計・施工指針を確立することを念頭におき、堆積汚泥の堆積・掃流条件および不同沈下と堆積量との関係を現地実験、現地調査などから明らかにするものである。対象としたのは、住宅地に敷設された分流式下水道の小口径污水管である。

なお本研究は、住宅都市整備公団が行った「軟弱地盤における下水管路の設計計画に関する調査検討」の中の下水管内の水理的検討の部分を、住宅都市整備公団から委託されて行ったものである。

昭和63年 9 月

都市河川研究室室長 北 川 明

主任研究員 島 谷 幸 宏

神 庭 治 司

下水道研究室研究員 榊 原 隆



## 1. 概要

### 1.1 研究の対象

本研究で対象とするのは、住宅地に敷設された分流式下水道の管径が 250～450mm 程度の小口径污水管である。

### 1.2 研究の目的

本研究は、次の事項を明らかにするためのものである。

- ① 管路内の堆積汚泥の実態
- ② 汚泥の堆積条件および掃流条件
- ③ 下水管内の流下機能とそれに伴う堆積汚泥量の関係

### 1.3 内容

本研究で実施した内容を表－1.1 に示す。表には、調査実施項目の目的、内容、および得られる成果を示してある。

### 1.4 不同沈下と流下機能

下水管路の不同沈下の程度による、下水管路自体の影響および流下機能、その他への影響を示すと表－1.2 のようになる。これをもとに不同沈下した下水管内の現象を追ってみると、次のようになる。

下水管路が不同沈下すると、勾配が設計勾配から変化し、管路がバラバラの勾配となり、たわんだり波打ったりするようになる。さらに不同沈下が進むと、逆勾配箇所が現われ、沈下箇所（主に逆勾配箇所の上流側）に堆積物が堆積するようになる。この堆積物が堆積し続けると悪臭、管の腐敗等の影響が現れてくる。さらに不同沈下が進めば、管路の継ぎ目部分にひずみが生じて開口したり、ひどくなると管が圧迫され亀裂が生じたり、破損したりする。この時壊れたところから漏水または土砂が大量に流入し、流下機能を全く失うことになる。ここまで不同沈下が進むと維持管理で対応すること、あるいは流下機能で対応することが難しくなる。

本研究では、維持管理または管路計画の時点に対応できる範囲内、つまり流下機能が低下するがそれを失わない範囲内の現象を扱うものとする。

## 1.5 不同沈下の定義

下水管路の沈下の実態を調査した結果をもとに、不同沈下を定義する。

### 1.5.1 不同沈下の現状

不同沈下は、地盤の圧密沈下によって生ずる。とりわけ、圧密沈下では、軟弱な地盤を形成する地盤で顕著に現れる。既往の文献による軟弱地盤の土質は粘性土との互層からなり、その層厚が10m以上となっている地域では不同沈下が著しいとされている。なお、軟弱地盤は表-1.3のように定義される

軟弱地盤の土質及び層厚と不同沈下の発生率を図-1.1、図-1.2に示す。軟弱地盤地域で地下水位が一般に浅く、GL-1.0~1.5mの範囲であることが多い。また、洪積台地上では沈下量が小さく、沖積谷部で沈下量が大い傾向が指摘されている。

このような軟弱な地盤を形成している地域に、近年新たに市街地を立地することが多くなっている。この市街地の新たな開発にともない、下水の排水・処理のための下水管路が埋設される。このような地域では、地盤沈下により下水管が不同沈下を生じ、計画時の管渠の機能を失うことが懸念され、またそのような事例の報告も多い。既往の調査資料をもとに、地盤の土質と下水管の沈下量の関係を示したのが図-1.3である。また、管径と沈下量との関係は、図-1.4のようになる。

粘性土の層厚が5m以上の場合は沈下量が10cm以上であることが多く、砂質土があると、沈下量は10cm以下である。この沈下量は、管径が大きい場合にはさほど下水管渠の機能に与える影響は問題にならないが、例えば管径200~250mmの場合は管径の40~50%の沈下となり、施設計画で定めた管渠勾配（水面勾配、動水勾配）は逆勾配となり、汚泥の堆積等の問題が生ずると考えられる。

### 1.5.2 不同沈下の定義

本研究では、「人孔間局部不同沈下量」のことを「不同沈下量」と呼ぶ。ここでは人孔間局部不同沈下を以下のように定義する。

人孔間局部不同沈下とは、圧密沈下後の上下流入孔（マンホール）の2点を結ぶ直線を基準線としたものに対する凹凸の差である。したがって人孔間局部不同沈下量は図-1.5中の $\Delta S$ の値となる。

## 1.6 流下機能の定義

### 1.6.1 下水管内の堆積物

分流式汚水管の管内に堆積する可能性のあるもの（堆積汚泥）は、性状の違いにより以下の2種類に大別されるものと考えられる。

①汚水中に多く含まれる汚物等で代表される、有機的な汚泥

②汚水中に少量しか含まれないが、①より比重が大きい砂等で代表される、無機的な汚泥

①の有機的な汚泥が問題となるのは、それが継続して堆積した場合、管内で嫌気化または腐敗し、管路が腐食したり、悪臭が発生したりすることにある。②の無機的な汚泥が問題となるのは比重が大きく掃流され難いため、多量に堆積すると、流下機能が低下することである。

#### 1.6.2 流下機能の定義

本研究では、1.6.1を踏まえて、流下機能を以下のように定義する。

流下機能とは、“水理上許容される一時的及び継続的な汚泥の堆積量を超えることなく汚水を流下させる能力”とする。

ただしこれは、

①水理上からみた流下機能の考え方である。

②一時的な汚泥の堆積を許容する。

③②について、1日の流量変動の中で、掃流される。

④無機的な汚泥の堆積について、管径に対する余裕の中で、水理上許容される範囲で継続堆積を許す。

というものである。

つまり、不同沈下した下水管路には、流下機能に支障がない程度に無機的な汚泥の堆積は許容するが、腐食などの問題の大きい有機的な汚泥は、継続して堆積させない程度の流下機能を有することが必要となる。

#### <参考文献>

- (1) 国土開発センター：軟弱地盤における下水道管路の設計指針に関する調査検討報告書、昭和59年度

表-1.1 調査実施内容および結果

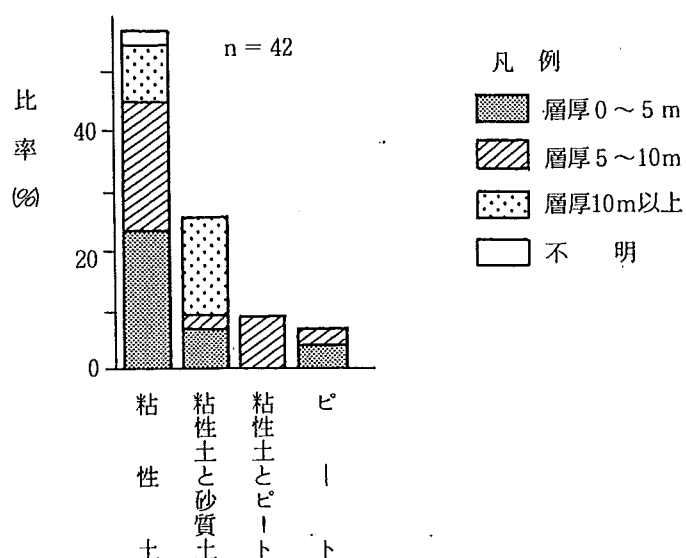
| 実施内容            | 目 的                                    | 内 容                                                                                                                                                                                                                                          | 結 果                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 下水道計画論の整理       | 現在の下水道施設設計計画における、下水管路の沈下と流下機能に関する諸元の整理 | 下水道施設設計指針、東京都および横浜市設計基準等の資料をもとに、管内の計画、管内の水理、管内の堆積に関する記述を整理した。                                                                                                                                                                                | 最小流速は汚泥が堆積しない流速を設定基準としており、汚水管では0.6m/sである。その根拠はCampの最小限界流速式で、最小流速決定の、対象は粒径2mmの砂である。                                                                                                                        |
| 下水管内堆積物の実態調査    | 実際の下水管内の堆積物の実態の把握                      | 下水管の維持管理用に使用されている自走式テレビカメラ、レベルセンサー等を用いて下水管内の実態調査を行った。調査対象としたのはS市、F市、T市である。管内に堆積物がある場合は、それを採取し、物理化学的性状を調査するとともに掃流実験の試料とした。                                                                                                                    | 下水管路の不同沈下しているところに堆積物を確認した。調査した3市とも、堆積物は黒色化した無機物が主であった。                                                                                                                                                    |
| 実大模型実験          | 下水管内の汚泥の堆積状況を実物大の模型を用いて把握する。           | 地上に再現した下水管路内に汚水を通水し、汚泥の堆積状況を観察した。<br>下水管路はφ 250mmのヒューム管で約40m間の一部を強制的に管径の25%と50%沈下させ、流下機能を低下させている。<br>61年度の実験は、同一流量で汚水を実験装置に通水する一定流量通水実験、下水処理場への汚水流入パターンを模して流量を日変動させた流量で長期間通水する長期通水実験を行った。62年度の実験は、装置の50%沈下区間にアクリルを用いて可視部を設け堆積物の堆積・掃流状況を観察した。 | 汚水中を流下する汚泥は、正常区間では堆積せず、沈下区間のみに堆積する。実験装置内の堆積物は、尿尿、米つぶなどの有機的な物質が主であるが、黒色化した砂状物質の堆積もみられた。<br>沈下区間では、通水を開始すると直ちに堆積が始まり、1日ではほぼ水平状態で定常になる。掃流される時もほぼ水平を保つ。                                                       |
| 下水管内堆積物掃流実験     | 堆積汚泥の掃流機構の解明                           | 延長 170cm、5×5 cmの矩形の掃流区間を持つ掃流実験装置を用いて、実際の下水管内と実大実験装置内の堆積物を対象として掃流実験を行った。実験では、流速、掃流力、汚泥の掃流状態等を測定した。                                                                                                                                            | 有機的な物質が掃流されるのは、掃流力が 0.3N/m <sup>2</sup> 程度からである。粒径2mm程度の砂が掃流されるのは、掃流力が 1.6N/m <sup>2</sup> 程度からである。                                                                                                       |
| 流下機能に関する水理的検討   | 下水管内水理量と堆積汚泥の関係の把握                     | 実験及び現地調査で得られた知見をもとに堆積物の種類ごとの堆積掃流条件を求め、水理量と堆積汚泥の関係を明らかにする。                                                                                                                                                                                    | 堆積物は、有機的な物質、無機的な物質および黒色の砂状物質に大別できる。有機的な物質が堆積を開始する流速は10～15cm/s程度である。砂状物質のそれは15～20cm/s程度である。沈下区間に堆積した有機的な物質が再び掃流され始める流速は、25cm/s程度である。この条件を用いて、堆積による断面変化を考慮した不等流計算モデルを作成し、実大模型実験で検証した結果、実用上有用な精度で再現することができた。 |
| 不同沈下に伴う堆積量の予測計算 | 下水管路の不同沈下と堆積汚泥の関係の把握                   | 下水管路が不同沈下し流下機能が低下した場合の堆積量を予測する。堆積量の予測計算は、流下機能に関する水理的検討で検証に用いたモデルを用いて行った。                                                                                                                                                                     | 下水管路の不同沈下量、沈下形状および流量を与えた場合の堆積量の予測が可能となった。                                                                                                                                                                 |

表－1.2 下水管路の不同沈下による影響

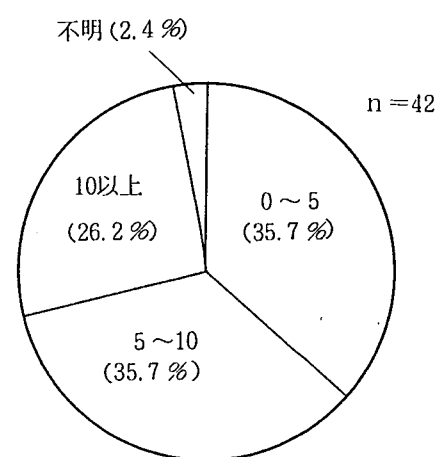
| 沈下程度        | 管路自体への影響       | 流下機能への影響      | その他の影響     |
|-------------|----------------|---------------|------------|
| 軽<br>↓<br>重 | 勾配の変化          | 動水勾配の減少、流水の乱れ |            |
|             | 逆勾配<br>管継ぎ目の開口 | 動水勾配の減少、漏水    |            |
|             | 汚水中に汚泥の堆積      | 流下断面の減少、粗度の増加 | 悪臭、腐敗      |
|             | 亀裂、破損          | 流下不能、漏水       | 地下水流入、土砂流入 |

表－1.3 軟弱地盤の定義

| 項 目                  | 粘 土 地 盤                      | 砂 地 盤              | 有 機 質 土   |
|----------------------|------------------------------|--------------------|-----------|
| N 値                  | 3 以下                         | ・ N 値が 10 以下の地盤    | ・ 有機質土の地盤 |
| オランダ式二重管<br>コーン貫入値   | 3 (kg/cm <sup>2</sup> 以下)    |                    |           |
| スウェーデン式<br>サウンディング試験 | 100 kg 以下で沈下                 | ・ 粒径のそろった<br>細砂の地盤 |           |
| 一軸区強さ                | 0.6 (kg/cm <sup>2</sup> ) 以下 |                    |           |
| 含 水 比                | 40%以上の沖積粘土                   |                    |           |



図－1.1 軟弱地盤の土質と不同沈下の発生率  
(出典：参考文献1)



図－1.2 軟弱地盤の厚層（単位：m）と不同沈下の発生率  
(出典：参考文献1)



## 2. 下水道計画論の整理

本章では、下水道管渠の流下機能と堆積汚泥の関係を検討する際の資料とするため、下水道計画にある下水管内の流下機能に関する基本的事項についてまとめる。水理計算等の計算条件を決定する場合に必要な検討である。

### 2.1 既存の下水道計画の指針と施設設計

主に参考にした下水道計画の指針は、日本下水道協会「下水道施設設計指針と解説」、下水道局「分流式下水道設計指針（案）」、東京都下水道局「管渠設計の手引き」、横浜市「横浜市下水道計画基準」と「横浜市下水道設計指針」である。下水道管渠は、下水道計画指針および施設の設計基準をもとに計画される。指針等に記述してあるものの中で、本研究の問題に関係のある事項として次のものが挙げられる。

- ① 管渠の計画（管径、余裕、勾配）
- ② 管内流速と水理の計画
- ③ 管渠堆積物についての計画と対応
- ④ 管渠の不同沈下についての考え方

これらの項目は、不同沈下に伴う管内勾配の低下、流速の低減、管内汚泥堆積の発生、下水管の流下機能の減少等、設計計画上きわめて重要な課題となるとの視点から選定したものである。

これをもとに以下の項目について検討する。

（管渠の計画について）

- ・管渠の最小管径
- ・管渠断面と余裕
- ・管渠勾配
- ・動水勾配
- ・人孔間隔

・管の曲げ角度

（管内の水理について）

- ・管内水理式
- ・下水管の粗度係数
- ・管内流速
- ・水位
- ・流量変動

（管内の堆積について）

- ・限界掃流流速
- ・下水に含まれるもの

- ・管内の堆積
- ・硫化物の影響

## 2.2 管渠の計画

### 1) 管渠の最小管径

下水道管渠の最小管径は、表－2.1 に示すような計画基準で設定されている。

### 2) 管断面（管径）と余裕

下水道計画では、最小管径の設定に加えて、計画下水量より求められた管径に対して余裕を持たせてある（表－2.2）。この余裕は最大汚水量あるいは計画下水量を基準として決定することとしているが、これは、誤接続による宅地内の雨水の流入、継ぎ目部などからの地下水の流入等の理由によるものと思われる。したがって管径の余裕については、下水管の接合部分からの不測の流入、あるいはひび割れ等による流入を考慮したものと推定できる。なお、この余裕部分に下水道管渠の沈下による影響分も含まれるか否かは不明である。

### 3) 管渠勾配

下水道管渠の勾配は表－2.3 に示す基準を設定しているが、表でわかるように必ずしも統一されない。これは計画地域の地形特性や、汚泥の堆積などそれぞれの地域性に合わせて決定する必要があると考えられるからである。なお、勾配設定に際しては次の方式が採用される。

- ・地表勾配と統一する。
- ・おおよその基準を管径ごとに定める。

これら勾配の設定は、次に示す動水勾配および管内流速を基に評価し決定している。すなわち、管渠内で汚泥の堆積を防止する流速を維持できる勾配である。

### 4) 動水勾配

管渠内の動水勾配は表－2.4 に示す指針がある。動水勾配については、一応、既往の設計計画では管渠勾配を基準としてこれと同等として評価するものと考えられる。

### 5) 人孔間隔

人孔（マンホール）は、管渠の起点および方向、勾配、管径などの変化する箇所、断差の生ずる箇所、維持管理の上で必要となる箇所等に設ける。人孔の最大間隔は管径で決まり、表－2.5 に定める範囲内の間隔で設ける。

### 6) 管の曲げ角度

下水管路は、人孔間だけをとっていても、数十本の管が連結した形となっている。正常な管路の場合、垂直方向には一定の勾配を持ち直線的であるため管の継ぎ手にかかる負担は小さい。しかし管路が不同沈下した場合、連結した管の勾配はそれぞれ異なるものとなる。その結果、隣接した管との継ぎ手部分に曲げによる隙間（開口部）が生じる。

下水管の構造上から許容できる曲げ角度を管径ごとにまとめたのが表－2.6 である。表には

B形の場合の最小曲率半径が示してある。表から、管径が小さいほど大きい曲げ角度まで許容できることがわかる。言い換えれば、小口径管の場合、不同沈下量が大きくても構造的には問題がなく、その分沈下量に応じて堆積量が多くなる可能性があることを示している。

## 2.3 管内の水利

### 1) 管内水利式（流量計算方法）

#### ① 流量計算式

下水管の管渠水利を記述する水利式は表-2.7に示す基本式を採用している。

下水管渠の計画に際しては、Manning 式、あるいはKutter式を用いる。ただしこの場合、下水は普通の水に比較して浮遊物が多く含まれているが、水利計算には支障のある程度ではないので普通の水と考えて計算を行う。以下にManning 式、Kutter式を示す。

〔Manning 式〕

$$Q = A \cdot V$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (2-1)$$

ここに

Q : 流量 (m<sup>3</sup>/s)

R : 径深 (m) (= A/P)

A : 流水の断面積 (m<sup>2</sup>)

P : 流水の潤辺長 (m)

V : 流速 (m/s)

I : 勾配 (分数または小数)

n : 粗度係数

〔Kutter (クッタ式)〕

$$Q = A \cdot V$$

$$V = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{1}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{I}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad \dots$$

$$= \frac{N \cdot R}{\sqrt{R + D}} \quad (2-2)$$

ここに、

$$N = (23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}) \sqrt{I}$$

$$D = (23 + \frac{0.00155}{I}) n$$

### 2) 下水管の粗度係数 (Manning 式の粗度係数)

管内水利式に用いるManning の粗度係数は表-2.8である。陶管および鉄筋コンクリート管で0.013 ~ 0.014 である。なお、ここに示した粗度係数は計画上の値であり、汚泥の堆積があ

る場合、堆積の状況によって変化する可能性がある。

### 3) 管内流速

管内流速は表-2.9に示す設計基準を設定している。管内流速の最小は0.6~0.8 m/s、最大は3.0 m/sである。ここでの管内流速は計画下水流量に対して、

- a. 汚泥が堆積しない流速（最小流速）
- b. 管渠の損傷を生じない流速（最大流速）

であるものとして基準化したものである。なお、最小流速について2.4で汚泥の堆積と合わせて示すが、250mm管の満流比；1~100%で、砂の平均粒径2.0mm、比重2.65に対し最小限界流速；0.44~0.575m/sを参考として設定したものである。

### 4) 水位

下水管が潮位の影響を受ける場合や、在来管をそのまま使用する場合など、管の流下能力が不足すると管渠が満流以上となって流れることがある。この場合動水勾配を求めて、地上に水が吹き出す恐れがあるかどうかを確かめる必要があるとしている。

東京都下水道局の例では動水勾配の標高を算出し、地盤高との差を求め、この地盤高と水位の差が一般に50~60cmとなった場合が危険限界とされている。

### 5) 流量変動

下水管路施設（污水管）の流量計画は、計画時間最大汚水量を基本量とするものである。つまり日変動のうちの、時間あたりの平均流量が最大である流量で計画する。この日変動あるいは時間変動は、今回の調査対象管路の敷設場所が宅地地域であり、管路が末端管であるため、計画流量の1.5~1.8倍、場合によっては2倍以上に達することが考えられる。排水人口に応じた1日最大汚水量から時間最大汚水量を求めるためのバビット公式を図-2.1に示す。例えば人口が1万人の場合は、 $M=3.2$ となり、日最大汚水量の3倍の時間変動量があることが予想される。

また分流式污水管では合流式下水管のような雨天時の雨水の流入によるフラッシュ効果は期待できない。家庭等から排出される汚水により、その効果を期待するのみである。

## 2.4 管内の堆積

### 1) 最小限界流速

管渠内に汚泥が堆積しないためには、実流速が最小限界流速以上となる必要がある。下水道計画では、Shieldsの限界掃流式から求めた勾配をManning式に代入して求められる「Campの最小限界流速式」を用いて管内流速を設計する。

[Campの限界掃流流速の式]

$$V_c = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \sqrt{\left( \frac{\sigma - \rho}{\rho} \right)} \phi d \dots\dots (2-3)$$

ここで $V_c$  ; 限界掃流流速(m/s)

$n$  ; 粗度係数

$R$  ; 径深 (m)

$\sigma$  ; 砂の密度 ( $t/m^3$ ) [砂(2.65)、有機物(1.20)]

$\rho$  ; 水の密度 ( $t/m^3$ )

$D$  ; 砂の平均粒径 (m)

$\phi$  ; 砂粒の摩擦角 (0.03~0.06 ; 平均0.05)

である。

なお、次の下水管渠の条件で砂の平均粒径が2 mmとした場合の限界流速 $V_c$ は、  
管渠条件

$n$  ; 0.014

$\sigma$  ; 2.65 ( $t/m^3$ )

$\rho$  ; 1.00 ( $t/m^3$ )

$d$  ;  $2.0 \times 10^{-3}$  (m)

管径 ; 250mm

$V_c = 0.1942 R^{1/6}$  となる。

今ここで、実流速 $V'$ と設計流速で満流時の流速 $V$ との関係は

$V' = \alpha \cdot V$  [ $\alpha$  ; 水理特性曲線より得る値 (例 ; 満流比40%で $\alpha = 0.95$ ) である。]

で表わされることから、限界掃流流速と設計流速において次の条件が成立する時、

$$V' = \alpha \cdot V > V_c \quad \therefore V > V_c / \alpha$$

この条件において対象とした懸濁物質は沈澱物として堆積することなく掃流される。粒径2 mmの砂に対する最小限界流速と設計流速との関係は表-2.10のようになる。

以上のことから、最小限界流速が0.4~0.6m/s以上であれば、粒径2 mm以下の懸濁物質は掃流される。従って、設計流速は少なくとも0.6m/s以上とする必要がある。

## 2) 下水に含まれるもの<sup>1)</sup>

下水中に含まれているものは大別すると有機系と無機系に分けられる。また物理・化学的な性質により浮遊性物質と溶解性物質とに分けることができる。

下水中の無機物の浮遊物質は砂・礫、シルトなどの珪酸質のものが主に合流式に含まれる。また溶解性物質としてはBODやCODの原因物質であるものもある。その他重金属イオンやシアン、ヒ素、有機塩素系化合物など、溶存ガスとして酸素・窒素・炭酸ガス・アンモニア・硫化水素などがある。

下水中の有機化合物としては、炭水化物(糖類など)、窒素系化合物(蛋白質・アミノ酸など)、脂肪酸、脂肪、有機塩類、硫化物がある。

以上をまとめた下水中に含まれるものの構成を図-2.2に示す。揮発性物質は600℃以上に

強熱することにより、ガス化するものである。従ってこれが強熱減量にあたる。また残った灰分は強熱残留物である。

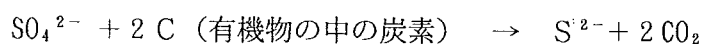
### 3) 管内の堆積

既存の下水道計画の指針および施設設計の基準では、管内の堆積現象およびこの機構とモデル式についての記述はない。また、計画上堆積は危惧されているものの、流速を維持する施設設計・計画であれば堆積を防止する、との考え方に立っている。

### 4) 硫化物の影響<sup>2)</sup>

硫化物は悪臭や管路の腐食の原因となる物質である。硫化物は、多くは排水または汚泥中の溶存酸素がなくなった時、硫酸還元菌の働きで、排水中の硫酸イオンが還元されたものである。

化学式は、



となる。

不同沈下した下水管路は、沈下区間に汚泥が堆積し、汚水がある程度の水深を保って、遅い流速で流れるために酸素が不足する環境にある。この環境は硫化物の発生にとって大変好都合となる。このため沈下区間では汚泥が堆積した場合、硫化物による管路の腐食、悪臭の発生の問題が起こりやすい状況にあると考えられる。

### <参考文献>

- (1) 合田健他：衛生工学，彰国社
- (2) 高橋正宏：排水中硫化物の処理方法の比較，土木技術資料30-5，1988

表－2.1 最小管径の設計基準（例）

| 項 目     | 下水道指針  | 東 京 都             | 横 浜 市  | 下水道局（横浜）<br>（分流式） |
|---------|--------|-------------------|--------|-------------------|
| 汚 水 管 渠 | 200 mm | ・ 起点管径は<br>250 mm | 250 mm | 250 mm            |
| 雨 水 管 渠 | 250 mm |                   |        |                   |
| 合 流 管 渠 | 250 mm |                   |        | ——                |

表－2.2 管径の余裕

| 項 目                      | 下水道指針                                                                                                                                                                        | 東 京 都                                                                                        | 横 浜 市                                                                              | 下水道局（横浜）<br>（分流式）                                     |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 汚 水 管 渠                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計画時間最大汚水量について<br/>200～600mm;<br/>約 100%</li> <li>700～1500mm;<br/>約 50～100%</li> <li>1650～3000mm;<br/>約 25～50%<br/>の余裕を取る</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最大汚水量に<br/>対して 100 %<br/>程度の余裕を<br/>持たせる</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計画下水量の<br/>100 % 以上の<br/>余裕を取る</li> </ul> | 同 左                                                   |
| 雨 水 管 渠                  |                                                                                                                                                                              |                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計画下水量の<br/>20%以上の余<br/>裕を取る</li> </ul>    | 同 左<br>（開渠の場合、<br>計画下水量の<br>水深に 15 %<br>以上の余裕を<br>取る） |
| 合 流 管 渠                  |                                                                                                                                                                              |                                                                                              | 同 上                                                                                | ——                                                    |
| その他<br>（残留汚水管渠、<br>送水管渠） |                                                                                                                                                                              | ——                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計画下水量か<br/>ら決定する</li> </ul>               | ——                                                    |

表－2.3 管渠勾配の基準

| 項 目     | 下水道指針                                                                                               | 東 京 都                                                                                         | 横 浜 市                                                               | 下水道局（横浜）<br>（分流式）                                                            |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 汚 水 管 渠 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 沈殿物の堆積<br/>や、管渠の維<br/>持等を考慮し<br/>て適当な勾配<br/>とする</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ おおよその基<br/>準を設定<br/>（例 250 mm ;<br/>8 ‰）</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 標準勾配を原<br/>則とする</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 平均的な地表<br/>勾配を原則と<br/>する</li> </ul> |
| 雨 水 管 渠 |                                                                                                     | ——                                                                                            |                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 標準勾配を原<br/>則とする</li> </ul>          |
| 合 流 管 渠 |                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ おおよその基<br/>準を設定<br/>（例 250 mm ;<br/>10 ‰）</li> </ul> |                                                                     | ——                                                                           |

表－2.4 動水勾配

| 項 目     | 下水道指針                     | 東 京 都                                                                         | 横 浜 市                     | 下水道局（横浜）<br>（分流式） |
|---------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| 下 水 管 渠 | ・特に動水勾配<br>についての記<br>述はない | ・計画管渠勾配<br>をもとに管渠<br>満流以上を想<br>定し、動水勾<br>配を算出して<br>下水の吹き出<br>しの危険性を<br>チェックする | ・特に動水勾配<br>についての記<br>述はない | 同 左               |

表－2.5 人孔の管径別最大間隔

|             | 下水道指針       | 東 京 都       | 横 浜 市      |
|-------------|-------------|-------------|------------|
| 管径<br>(mm)  | 300<br>以下   | 300<br>以下   | 200 ～300   |
| 最大間隔<br>(m) | 50          | 45          | 30         |
|             | 600<br>以下   | 600<br>以下   | 350 ～450   |
|             | 75          | 60          | 40         |
|             | 1,000<br>以下 | 900<br>以下   | 500 ～600   |
|             | 100         | 75          | 50         |
|             | 1,500<br>以下 | 1,200<br>以下 | 700 ～800   |
|             | 150         | 90          | 60         |
|             | 1,650<br>以上 | 1,350<br>以上 | 900 ～1,000 |
|             | 200         | 100         | 70         |

表－2.6 管の許容曲げ角度及び最小曲率半径

| 呼び径  | 許 容 曲 げ 角 度     |          |          | B 形 の 最 小<br>曲率半径 (m) |
|------|-----------------|----------|----------|-----------------------|
|      | B 形             | C 形      | N C 形    |                       |
| 150  | 3° 05' ～ 4° 25' | —        | —        | 38～26                 |
| 200  | 2° 05' ～ 3° 30' | —        | —        | 48～33                 |
| 250  | 2° 05' ～ 2° 55' | —        | —        | 55～40                 |
| 300  | 1° 35' ～ 2° 25' | —        | —        | 73～48                 |
| 350  | 1° 20' ～ 2° 05' | —        | —        | 87～55                 |
| 400  | 1° 20' ～ 2° 05' | —        | —        | 106～68                |
| 450  | 1° 10' ～ 1° 50' | —        | —        | 120～77                |
| 500  | 1° 05' ～ 1° 40' | —        | —        | 130～84                |
| 600  | 1° 05' ～ 1° 40' | —        | —        | 130～84                |
| 700  | 55' ～ 1° 15'    | —        | —        | 153～112               |
| 800  | 55' ～ 1° 20'    | —        | —        | 153～106               |
| 900  | 50' ～ 1° 15'    | —        | —        | 169～112               |
| 1000 | 55' ～ 1° 20'    | —        | —        | 153～106               |
| 1100 | 50' ～ 1° 15'    | —        | —        | 169～112               |
| 1200 | 50' ～ 1° 15'    | —        | —        | 169～112               |
| 1350 | 50' ～ 1° 15'    | —        | —        | 169～112               |
| 1500 | —               | 13' ～19' | 39' ～58' | —                     |
| 1650 | —               | 12' ～18' | 35' ～53' | —                     |
| 1800 | —               | 11' ～16' | 32' ～49' | —                     |
| 2000 | —               | 12' ～18' | 29' ～44' | —                     |
| 2200 | —               | 10' ～16' | 27' ～40' | —                     |
| 2400 | —               | 11' ～18' | 28' ～42' | —                     |
| 2600 | —               | 10' ～16' | 25' ～38' | —                     |
| 2800 | —               | 12' ～18' | 22' ～36' | —                     |
| 3000 | —               | 11' ～16' | 23' ～34' | —                     |

注：最小曲率半径は許容曲げ角度より算出したものである。

表－2.7 管内水理式

| 項 目          | 下水道指針                                                                                                                  | 東 京 都      | 横 浜 市       | 下水道局（横浜）<br>（分流式） |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------------|
| 管渠の流量<br>計算式 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Manning 式</li> <li>・ Kutter 式</li> </ul> 上記いずれかを用いることとなっているが、Manning 式を推奨している | ・ Kutter 式 | ・ Manning 式 | ・ Manning 式       |

表-2.8 Manningの粗度係数 (n)

| 項 目         | 下水道指針 | 東 京 都 | 横 浜 市 | 下水道局(横浜)<br>(分流式) |
|-------------|-------|-------|-------|-------------------|
| 陶 管         | 0.013 | 0.013 | 0.014 | 0.014             |
| 鉄筋コンクリート管   | 0.013 | 0.013 | 0.014 | 0.014             |
| 硬質ビニール管     | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010             |
| 強化プラスチック複合管 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010             |

表-2.9 管内流速

(単位: m/s)

| 項 目  | 下水道指針 |     | 東 京 都 |     | 横 浜 市 |                   | 下水道局(横浜)<br>(分流式) |                   |
|------|-------|-----|-------|-----|-------|-------------------|-------------------|-------------------|
|      | 最 小   | 最 大 | 最 小   | 最 大 | 最 小   | 最 大               | 最 小               | 最 大               |
| 汚水管渠 | 0.6   | 3.0 | 0.6   | 3.0 | 0.6   | 3.0<br>(主要幹線 2.5) | 0.6               | 3.0<br>(主要幹線 2.5) |
| 雨水管渠 | 0.8   | 3.0 | —     | —   | 0.8   | 3.0<br>(同上)       | 0.8               | 3.0<br>(同上)       |
| 合流管渠 | 0.8   | 3.0 | 0.8   | 3.0 | 0.8   | 3.0<br>(同上)       | —                 | —                 |

(備考) 下水道指針: 理想的な流速 [1.0~1.8(m/s)]

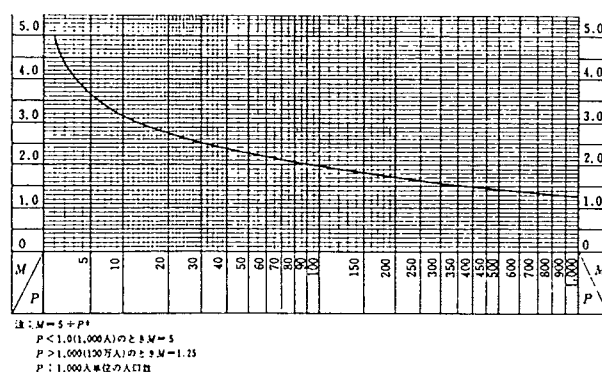


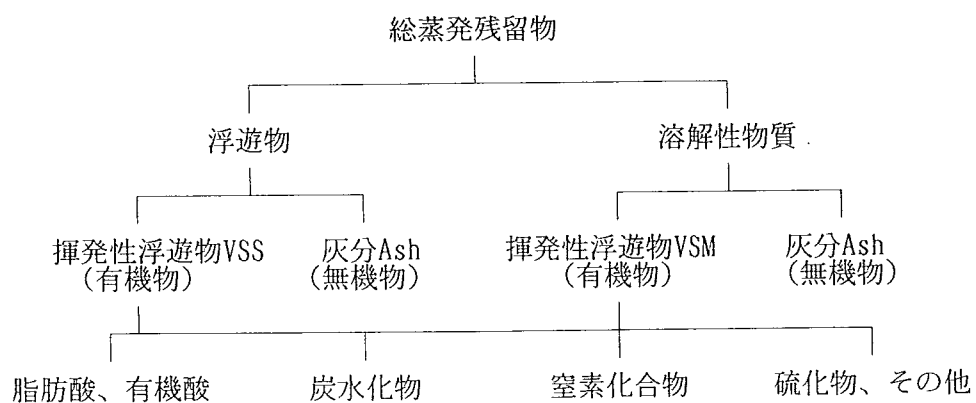
図-2.1 Babbitt M曲線

表－2.10 最少限界流速 $V_c$ と設計流速 $V$ の関係

(横浜市)

| 満流比 % | 実流速<br>$V' = \alpha V$ | 管径 250 mm       |             |
|-------|------------------------|-----------------|-------------|
|       |                        | 最小限界流速<br>$V_c$ | 設計流速<br>$V$ |
| 100   | 1.000 V                | 0.575           | 0.575       |
| 90    | 1.135 V                | 0.593           | 0.523       |
| 80    | 1.110 V                | 0.591           | 0.532       |
| 70    | 1.080 V                | 0.586           | 0.543       |
| 60    | 1.040 V                | 0.582           | 0.553       |
| 50    | 1.000 V                | 0.575           | 0.575       |
| 40    | 0.950 V                | 0.567           | 0.597       |
| 30    | 0.875 V                | 0.557           | 0.636       |
| 20    | 0.780 V                | 0.541           | 0.693       |
| 10    | 0.630 V                | 0.517           | 0.822       |
| 9     | 0.600 V                | 0.511           | 0.851       |
| 8     | 0.590 V                | 0.507           | 0.859       |
| 7     | 0.570 V                | 0.502           | 0.880       |
| 6     | 0.530 V                | 0.498           | 0.939       |
| 5     | 0.490 V                | 0.489           | 1.000       |
| 4     | 0.470 V                | 0.483           | 1.027       |
| 3     | 0.420 V                | 0.473           | 1.126       |
| 2     | 0.370 V                | 0.459           | 1.243       |
| 1     | 0.300 V                | 0.440           | 1.466       |

図－2.2 下水中不純物の構成



### 3. 下水管内堆積物の実態調査

現在のところ、下水管内の堆積に関しての既往資料はほとんどない。そこで本調査では、実際に流下機能が低下している下水管内堆積物の性状および下水管内での堆積状況を明らかにするため、現地における実態調査を実施した。

しかし、実際には不同沈下した下水管に、汚泥が堆積している場所を捜すことは容易ではないことなどから、十分に実態を把握したとは言い難い。ここでは、当所で行ったS市、T市における調査に加えて、F市が実施した類似の調査結果について述べ、最後にそれら三つを総合して得られた知見についてまとめる。

#### 3.1 T市下水管内堆積物調査

##### 3.1.1 調査方法

###### 1) 調査の概要

調査は昭和61年9月17～19日にT市のA地区で行った。ここは、団地を中心とした住宅地域である。調査は、対象下水管を設定するための予備調査と、汚泥の堆積状況、堆積汚泥の採取、および管内勾配を測定する本調査からなる。いずれも分流式の污水管を対象として行った。予備調査7ヶ所、本調査2ヶ所で実施した(図-3.1)。

###### 2) 調査実施方法

調査は人孔と人孔の間の1スパンの管路で行った。調査対象管路に污水が流れないように図-3.2に示すような止水用のエアプラグで流れをせきとめ、管路内を調査した。対象とする下水管内の状況を自走式のテレビカメラ(写真-3.1)を走らせ確認した。下水管内に堆積物があった場合はテレビカメラを取り除いた後、人孔の近くに堆積していた汚泥を人孔からスコップで届く範囲で人力により採取した。採取した汚泥は底質分析用、掃流実験用に分け、冷却し速やかに所定の場所へ送付した。さらに、汚泥の採取後、対象とする区間の下水管を洗浄し、レベルセンサー(写真-3.2)とテレビカメラと連結した測定機を上流から下流に向けて、ウインチでワイヤーを巻きながら進行させ、管ごとの勾配を測定した(図-3.3)。

###### 3) 分析項目と方法

汚泥の分析項目と方法は表-3.1の通りである。なお、TS、VTS、ILは

$$TS(\%) = 100 - \text{水分}(\%)$$

$$IL(\%) = VTS(\%) / TS(\%) \times 100$$

である。

##### 3.1.2 下水管内の堆積・勾配調査結果と考案

ここでは、本調査を行った調査区間Ⅰ(No. 188系統)、調査区間Ⅱ(No. 264系統)の2区間についての結果を示す。

###### 1) 下水管内の状況

調査対象下水管渠の状況を図-3.4、図-3.5に示した。

① 調査区間Ⅰ (No. 188系統) (図-3.4)

テレビカメラ調査では、左取付管に侵入水が見られたこと、本管部分では上流から10本目にクラックが生じていたことを確認した。また、部分的に地盤沈下による管渠の沈下があり、人孔No.5付近でのわずかな汚泥の堆積が見られた。堆積量は、堆積物を上から見て、堆積幅と管の大きさの関係から換算した量をもとに約 150cm<sup>3</sup>と推定した。

② 調査区間Ⅱ (No. 264系統) (図-3.5)

調査区間Ⅱは地盤沈下により、管のたるみ、管の破損が多く見られた。テレビカメラ調査した区間では管の破損がひどく、上流から4～6本目の管の間が調査不能であった。

本区間では、人孔No.11とその近くの下水管内に多量の汚泥の堆積が見られた。その量はスコップで採取できた範囲でも4ℓのバケツ3杯にのぼった。また、その下流の人孔No.12付近でも汚泥の堆積があり、バケツ1杯ほど採取した。

2) 沈下状況と堆積汚泥の関係

① 調査区間Ⅰ (図-3.6)

沈下形状は図-3.6に示すように3つのたるみからなっている。最上流部の沈下量は1.8cm、中央部は3.5cm、最下流部は2.4cmである。いずれも管径の10%以内におさまる比較的小さな沈下量である。この管路の流量を止水する前に測定したところ30ℓ/sであった。この値とレベルセンサーで測定した管路の勾配を用いて、不等流計算で管内の水理量を求めると図-3.7のようになる。沈下部分の最低流速はそれぞれ58、60、72cm/sである。この3ヶ所の堆積状況を見ると最も沈下した部分(流速58cm/s)にわずかにあるだけである。つまり沈下すれば堆積があるわけではなく、堆積の有無は沈下部分の水理量(流速あるいは掃流力)に応じて決まるものと考えられる。

堆積物の堆積量は150cm<sup>3</sup>程度ときわめて小量で、堆積深も1cm未満である。堆積量が小量でほとんど採取できず残念ながら性状の分析はできなかったが、堆積物は黒色の無機的な砂分であった。

② 調査区間Ⅱ

この区間は不同沈下が激しいため、全体的に逆勾配となっている。所々破損した管があり勾配測定は不可能であった、参考のためにこの区間の真上の道路(歩道)の沈下状況をみると、路面が10cm以上沈下しており、その分人孔が突出している様子がみられた(写真-3.3)。堆積汚泥は人孔から採取できる範囲でもバケツ3杯程度あり、人孔間にはかなりの堆積量があるものと考えられる。

人孔No.11と人孔No.12付近の下水管内に堆積していた汚泥を写真-3.4に、また汚泥を分析した結果を表-3.2に示す。人孔No.11付近の堆積汚泥は黒色で比重2.7、60%粒径4.6mmとれき分が多い無機的な汚泥であった。人孔No.12では、比重は2.7で人孔No.11付近の汚泥と同

様であるが、60%平均粒径は0.43mmとかなり小さい。これらは管内の状況が違えば、堆積物も異なるものが存在することを示している。しかし今回の調査では、管内の状況の違いが十分把握できなかったため、その原因は不明である。

### 3.2 S市下水管内堆積物調査

#### 3.2.1 調査の概要

S市でもT市同様に下水管内調査を行った。調査は4月17日、9月3日に行った。

#### 3.2.2 実施内容

4月17日の調査は、下水管内にテレビカメラを挿入し、管内の状況を把握した上で、テレビカメラで押し出した堆積汚泥を人孔で採取した。採取した汚泥を写真－3.5に示す。9月3日の調査では、調査区間の全体に堆積物（れきを多く含む）があるのが認められた。採取した堆積汚泥は人孔近くの管内に堆積していたものである。沈下形状等は測定しておらず不明であるが、止水した後、管内に残った水の静水面の状態から、下流側の人孔から4mの付近で5cm程度沈下しているものと推定した。

#### 3.2.3 堆積物の分析結果

4月17日に採取した下水管内堆積物の分析結果を表－3.3に示す。比重は2.12、砂分23%と他の下水管内に堆積していた汚泥と比較して有機的な汚泥である。その汚泥をみると生ゴミや排泄物が多く含まれていた。有機物量の指標の1つであるVTSは15%と比較的多くの有機物を含んだ汚泥である。

9月3日に採取した堆積物の分析結果を表－3.4に示す。比重は2.6、60%粒径は4.7mmとT市の人孔No.11で採取した汚泥と似た性状を示している。この汚泥のVTSは2%と4月17日採取汚泥の1割程度と小さい。

### 3.3 F市の調査

F市において、下水管内に堆積していた汚泥の調査を実施した報告がある。ここでは、その結果に基づき今回実施した現地調査と比較するために、その内容について検討する。

#### 3.3.1 調査方法

F市が行った方法は、人孔における堆積物調査である。したがって、採取した汚泥は人孔付近のものである。またここでの調査項目は、流速、流量、堆積深、粒度分布等である。流速は人孔間を浮子が到達する時間から求めたもので、流量はその流速に水深から求めた断面積を乗じたものである。対象としたのは、分流式污水管について7地点と合流式下水管について19地点である。

#### 3.3.2 調査結果

F市の調査では沈下形状が測定されていないので、沈下形状と堆積の関係については検討できない。しかし表－3.5に示す堆積物の性状等について調査しており、手持ち資料が少ない現在貴

重なデータである。

#### ① 管内流速と堆積深

表-3.5をもとに管内流速と堆積深の関係についてみたのが図-3.8である。必ずしも明確な相互関係は見られないものの、堆積深が5cmを越えるような多くの堆積が生じている場合は、流速が30cm/s以下の場合に限られる。分流式污水管と合流式下水管を比べると、分流式污水管の方が堆積深は小さい状況となっている。

#### ② 管内流速と堆積物の粒度分布特性

表-3.5をもとに、下水管渠の流速とその場所の堆積物の粒度分布との関係を見たのが表-3.6である。表から、管渠の流速区分で見ると流速0.5m/s以上の場合、堆積物は礫、細礫が50%以上を占め、60%粒径でも5mm以上である。これは分流式、合流式に関係のない傾向である。一方流速が0.4m/s以下では、粗砂・細砂が50%以上となり、60%粒径も2.3~2.6mmとなる。60%粒径でみると0.6m/s以上で6.0mm、0.5~0.6m/sで4.8mm、0.4~0.5m/sで2.6mm、0.3~0.4m/sで2.3mm、0.2~0.3m/sで1.7mmとある一定の関係が認められる。管内の流速と堆積物の粒径分布には正の相関関係があると考えられる。また比重を見るとほとんどが2.5以上である。

このように、F市においても堆積物は無機的なものが大半を占めた。また人孔周辺での測定時瞬時間の水理量に対する検討ではあるが、管渠の流速と堆積物との間に、ある関係が認められた。

### 3.4 まとめ

以上、三つの地域で行った不同沈下した下水管の実態をまとめると以下ようになる。

- ① 堆積汚泥には有機物（生ゴミ、汚物等）はほとんど含まれておらず、無機的なものが大部分であった。
- ② 污水管ではあるが、堆積物中には礫分が多く含まれている。
- ③ 堆積汚泥の量、質は水理量と明瞭な関係が認められる。すなわちF市の結果から、流速（あるいは掃流力）が大きい所では堆積量は少なく、流速が小さくなると堆積量が多くなる所が現れる。また、流速が大きいほど堆積物の粒径は大きくなる。
- ④ T市の調査結果から、 $\phi 350$  mm、設計勾配3パーミリの分流式污水管において、沈下量、勾配の違う3ヶ所の沈下区間をみると、最大3.5cmの沈下区間にのみ少量の堆積物があった。このことから沈下すれば堆積があるのではなく、堆積の有無は沈下部分の水理量に応じて決まるものと考えられる。このときの堆積物は無機物であった。



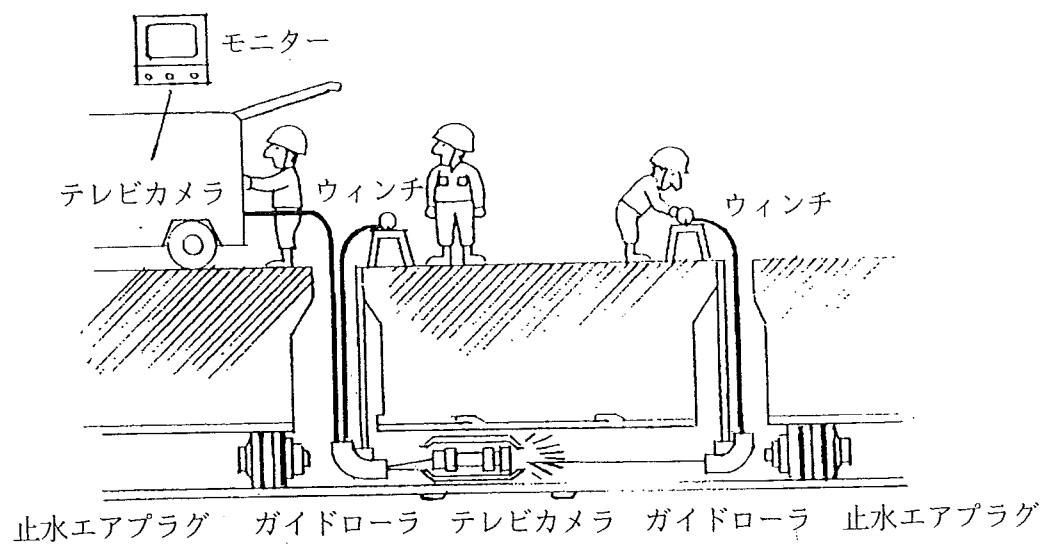


図-3.2 自走式テレビカメラの模式図

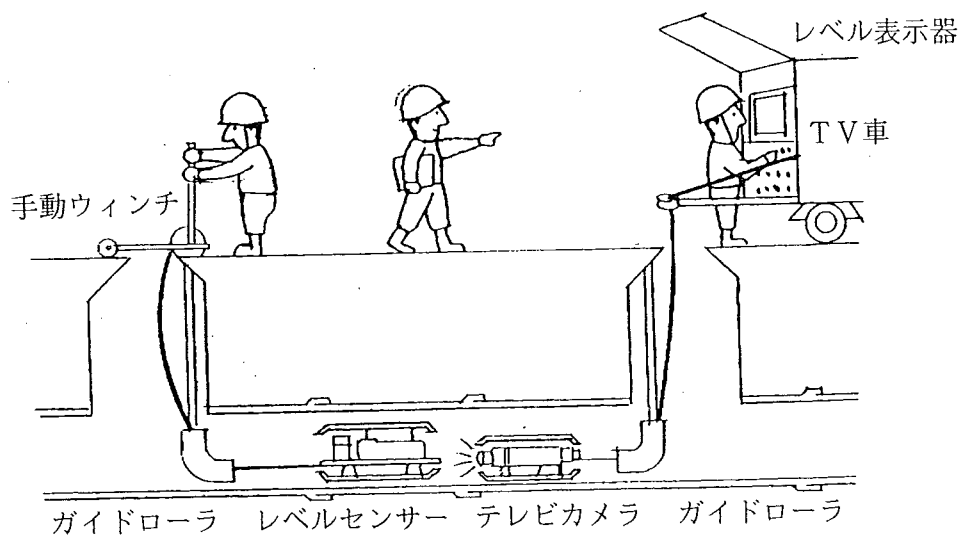


図-3.3 下水管の勾配測定の様式図

表－ 3. 1 分析項目と分析方法

| 項目               | 試料名 | 分 析 方 法                                   |
|------------------|-----|-------------------------------------------|
| 水 分 (%)<br>(含水比) |     | 下水試験法 (1984 年度版)<br>第 5 章 第 7 節           |
| TS (%)           |     | 下水試験法 (1984 年度版)<br>第 5 章 第 7 節           |
| VTS (%)          |     | 下水試験法 (1984 年度版)<br>第 5 章 第 9 節           |
| 砂 分 (%)          |     | 下水試験法 (1984 年度版)<br>第 5 章 第 12 節          |
| 比 重              |     | 下水試験法 (1984 年度版)<br>第 5 章 第 5 節           |
| 乾 比 重            |     | 下水試験法 (1984 年度版)<br>第 5 章 第 5 節 付 3       |
| IL (%)           |     | 下水試験法 (1984 年度版)<br>第 5 章第 9 節(乾燥試料中強熱減量) |
| TC (mg/g 乾泥)     |     | NC コードによる方法                               |
| 粒 度 分 布          |     | JIS A 1204                                |
| 堆 積 物 量          |     | 重量法                                       |

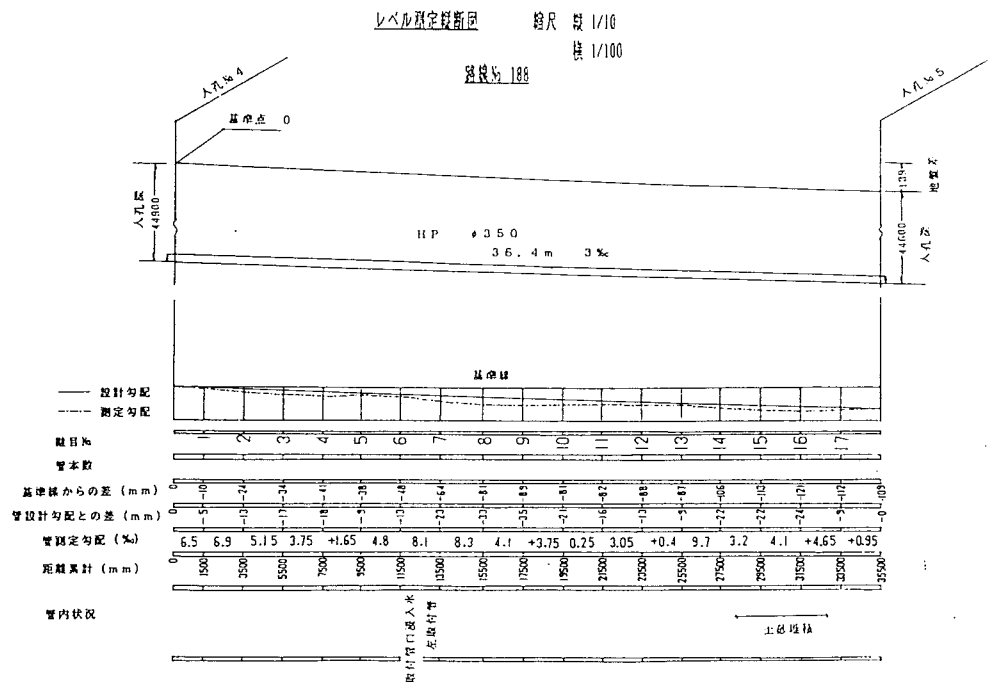


図-3.4 調査区間Ⅰ縦断面図

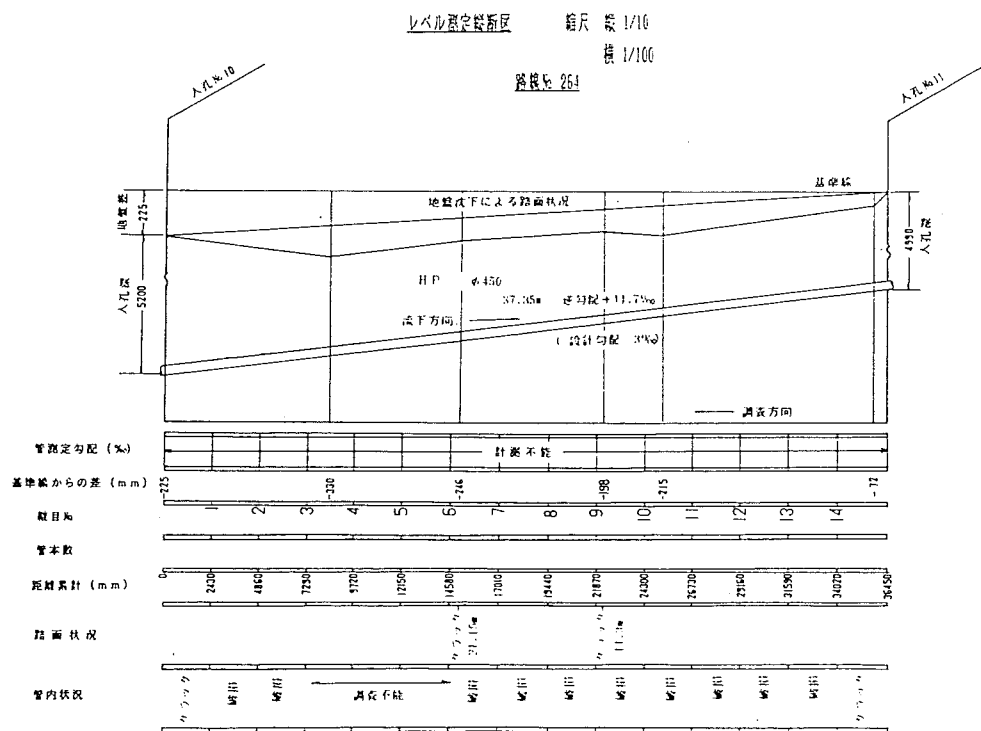


図-3.5 調査区間Ⅱ縦断面図

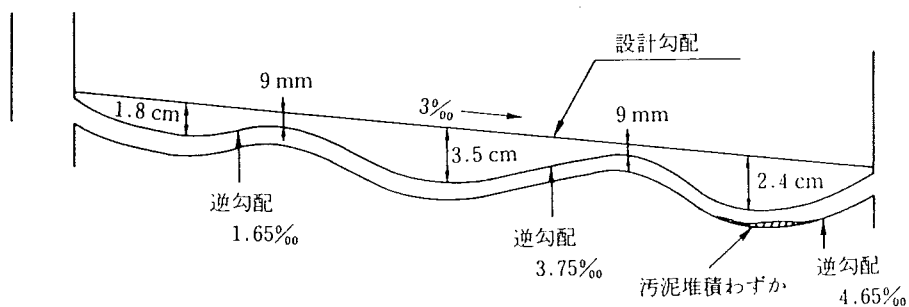


図-3.6 調査区間Ⅱの沈下と堆積状況

$D = .35\text{m}$     $Q = .03\text{m}^3/\text{s}$     $H_0 = .16\text{m}$     $I = 0$     $V_0 = .2\text{m/s}$

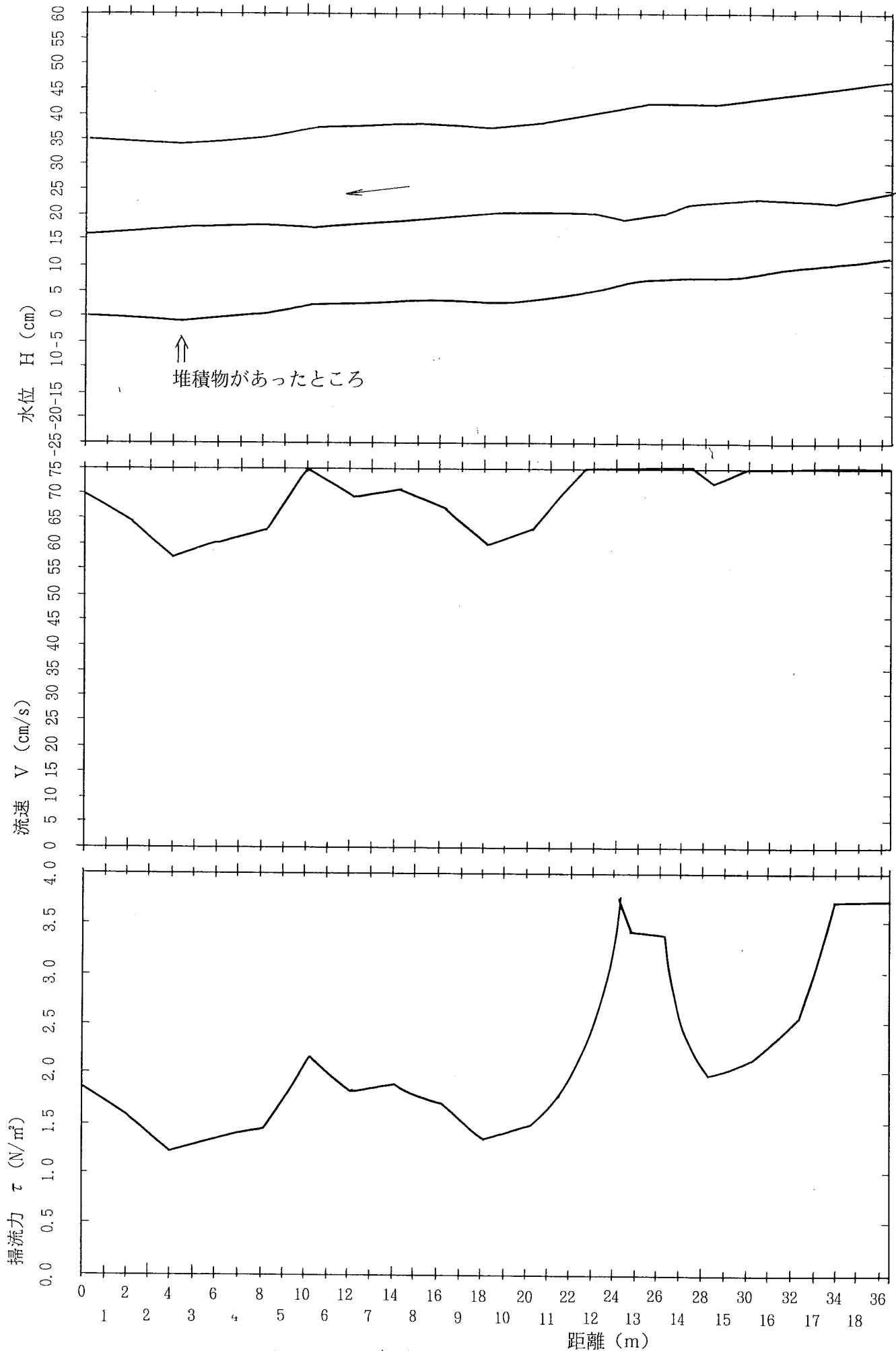


図-3.7 調査区間Ⅱの下水管内の水理量 (流量30 l/sとする)

表-3.2 T市堆積汚泥の分析結果

| 試料名<br>項 目      |      | 人孔 No. 11 付近   | 人孔 No. 12 付近   |
|-----------------|------|----------------|----------------|
| 水分 (%)<br>(含水比) |      | 25.2<br>(33.7) | 34.1<br>(51.7) |
| TS (%)          |      | 74.8           | 65.9           |
| VTS (%)         |      | 1.7            | 2.2            |
| 砂分 (%)          |      | 97.8           | 91.3           |
| 比 重             |      | 2.70           | 2.70           |
| 乾 比 重           |      | 0.71           | 0.62           |
| TC(mg/g 乾泥)     |      | 10.7           | 12.6           |
| 粒 径<br>(mm)     | 最 大  | 25.4           | 4.76           |
|                 | 60 % | 4.6            | 0.43           |
|                 | 30 % | 1.3            | 0.28           |
|                 | 10 % | 0.38           | 0.17           |
| 総重量 (kg)        |      | 約 3.8          | 約 8.5          |

表-3.3 S市汚泥分析結果

昭和 61 年 4 月 17 日採泥

| 試料名<br>項 目           | テレビカメラ<br>追い出し試料 |
|----------------------|------------------|
| 水 分 (%)<br>(含水比)     | 60.9<br>(156.0)  |
| TS (%)               | 39.1             |
| VTS (%)              | 15.1             |
| 砂 分 (%)<br>(乾燥試料中砂分) | 22.7<br>(58.1)   |
| 比 重                  | 2.12             |
| 乾 比 重                | 0.96             |
| TC (mg/g 乾泥)         | 161.9            |

表-3.4(1) S市汚泥分析結果

昭和 61 年 9 月 3 日採泥

| 試料名<br>項 目 |      | 下水管内<br>堆積汚泥      |
|------------|------|-------------------|
| 比 重        |      | 2.64              |
| T-S        | %    | 77.3              |
| VTS        | %    | 2.3               |
| T-C        | mg/g | 24.0              |
| 硫 化 物      | mg/g | 2.84              |
| 硫酸還元菌      | 個/g  | $2.3 \times 10^6$ |
| 硫酸イオン      | mg/g | 2.61              |

表-3.4(2) S市汚泥分析結果

昭和61年9月3日採泥

| 試料番号<br>深 さ                | Na下水管内堆積汚泥<br>( m ~ m ) |        | 試 料 番 号<br>深 さ                  | Na下水管内堆積汚泥<br>( m ~ m ) |    |
|----------------------------|-------------------------|--------|---------------------------------|-------------------------|----|
|                            | 粒 径 mm                  | 質量百分率% |                                 |                         |    |
| ふ<br>る<br>い<br>分<br>け      | 50.8                    |        | 4.76 mm以上の粒子%                   | 39                      | 65 |
|                            | 38.1                    |        | 細礎分(4.76~2 mm)%                 | 26                      |    |
|                            | 25.4                    |        | 粗砂分(2~0.42 mm)%                 | 31                      | 34 |
|                            | 19.1                    | 100.0  | 細砂分(0.42~0.074 mm)%             | 3                       |    |
|                            | 9.52                    | 80.0   | シルト分(0.074~0.005 mm)%           | } 1                     |    |
|                            | 4.76                    | 61.1   | 粘土分 <sup>a)</sup> (0.005 mm以下)% |                         |    |
|                            | 2.00                    | 34.6   | コロイド分(0.001 mm以下)%              | ———                     |    |
|                            | 0.84                    | 6.8    | 2000 $\mu$ m ふるい通過質量百分率%        | 35                      |    |
|                            | 0.42                    | 3.5    | 420 $\mu$ m ふるい通過質量百分率%         | 4                       |    |
|                            | 0.25                    | 1.8    | 74 $\mu$ m ふるい通過質量百分率%          | 1                       |    |
| 比<br>重<br>浮<br>ひ<br>ょ<br>う | 0.105                   | 0.9    | 最 大 粒 径 mm                      | 19.1                    |    |
|                            | 0.074                   | 0.5    | 60 % 粒 径 mm                     | 4.7                     |    |
|                            |                         |        | 30 % 粒 径 mm                     | 1.8                     |    |
|                            |                         |        | 10 % 粒 径 mm                     | 1.0                     |    |
|                            |                         |        | 均 等 係 数 $U_c$                   | 4.7                     |    |
|                            |                         |        | 曲 率 係 数 $U_c'$                  | 0.69                    |    |
|                            |                         |        | 土 粒 子 の 比 重 $G_s$               | 2.65                    |    |
|                            |                         |        | 使用した分散剤                         | 珪酸ナトリウム                 |    |
|                            |                         |        |                                 |                         |    |
|                            |                         |        |                                 |                         |    |

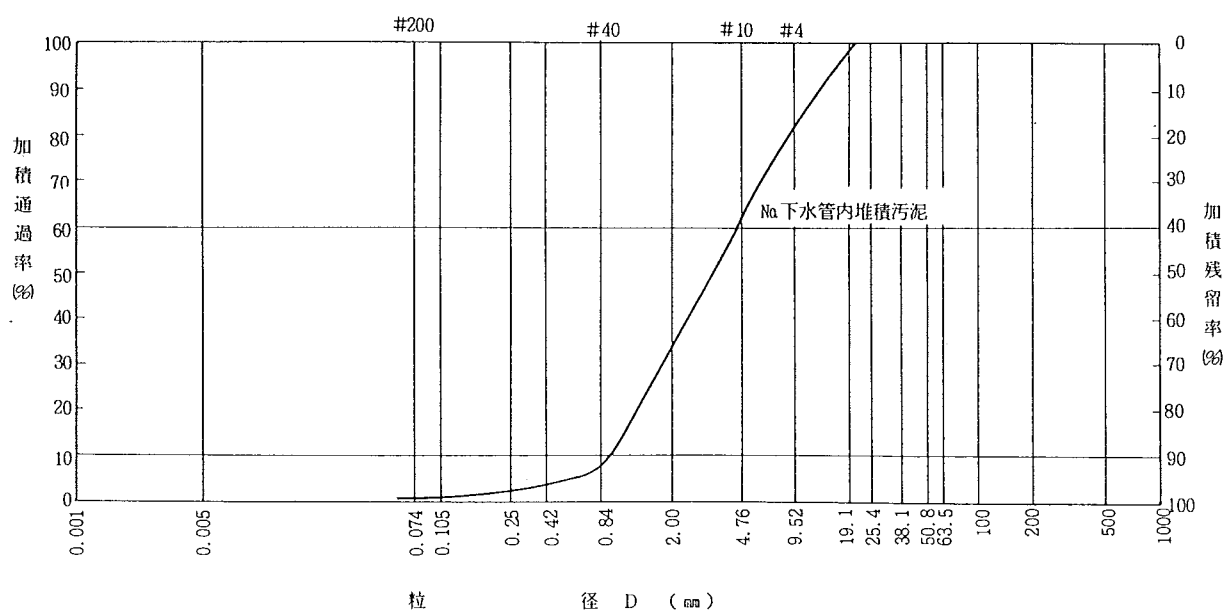


表-3.5 F市の調査結果-堆積物の物理的性質

|            | 対象区域 | 地点<br>No. | 集水面積<br>(ha) | 流 況           |               | 堆 積 深<br>(cm) | 堆積物の性状 | 物 理 的 性 質 試 験 |                        |                          |                       |                        |                       |            |              |                  |                   |                   |                   |          | 管 径<br>(mm) | 勾 配<br>(%) |          |
|------------|------|-----------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------|--------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|-------------|------------|----------|
|            |      |           |              | 流 速<br>(m/ 秒) | 流 量<br>(m³/秒) |               |        | 比重            | 粒 度 試 験                |                          |                       |                        |                       |            | 粒 度 試 験      |                  |                   |                   |                   |          |             |            |          |
|            |      |           |              |               |               |               |        |               | 礫 分<br>(4.76 mm<br>以上) | 細 礫 分<br>(4.76 ~<br>2mm) | 粗砂分<br>(2~<br>0.42mm) | 細砂分<br>(0.42 ~<br>74μ) | シルト<br>(74 μ~<br>5 μ) | 粘 土 分      |              | 最大<br>粒径<br>(mm) | 60%<br>粒径<br>(mm) | 30%<br>粒径<br>(mm) | 10%<br>粒径<br>(mm) | 均等<br>係数 |             |            | 曲率<br>係数 |
|            |      |           |              |               |               |               |        |               |                        |                          |                       |                        |                       | (5μ<br>以下) | (うち1<br>μ以下) |                  |                   |                   |                   |          |             |            |          |
| 分流式<br>污水管 | A    | ②         | 3.5          | 0.60          | 0.0011        | 不明            | 土砂     | 2.58          | 49.1                   | 23.3                     | 20.4                  | 7.1                    | 0.1                   | 0          | 0            | 19.1             | 6.5               | 2.2               | 0.55              | 11.8     | 1.35        | 450        | 5.7      |
|            |      | ④         | 18.5         | 0.60          | 0.0107        | 0             | 石      | 2.69          | 72.4                   | 10.3                     | 14.6                  | 2.68                   | 0.02                  | 0          | 0            | 25.4             | 10.6              | 5.7               | 1.0               | 10.6     | 3.07        | 300        | 4.7      |
|            |      | ⑦         | 4.5          | 0.67          | 0.0034        | 0             | 石灰     | 2.67          | 9.4                    | 15.1                     | 41.8                  | 32.5                   | 1.2                   | 0          | 0            | 9.52             | 1.0               | 0.38              | 0.18              | 5.56     | 0.80        | 250        | 4.4      |
|            | B    | ②         | 0.8          | 0.18          | 0.0016        | 1             | 土砂     | 2.63          | 46.6                   | 11.7                     | 35.9                  | 5.61                   | 0.19                  | 0          | 0            | 25.4             | 8.0               | 1.3               | 0.53              | 15.1     | 0.40        | 250        | 2.3      |
|            |      | ④         | 0.8          | (0.66         | 0.0067)       | 3             | 土砂     | 2.65          | 9.9                    | 22.2                     | 37.7                  | 29.2                   | 1.0                   | 0          | 0            | 9.52             | 1.6               | 0.41              | 0.22              | 7.27     | 0.48        | 250        | 22.9     |
|            |      | ⑤         | 1.4          | 0.48          | 0.0021        | 1             | 〃      | 2.58          | 23.7                   | 14.8                     | 50.3                  | 11.16                  | 0.04                  | 0          | 0            | 25.4             | 1.9               | 0.75              | 0.4               | 4.75     | 0.74        | 250        | 5.7      |
| 合 流 式      | C    | ②         | 1.9          | 0.36          | 0.0020        | 0             | 砂      | 2.59          | 1.7                    | 9.0                      | 55.8                  | 33.3                   | 0.2                   | 0          | 0            | 4.76             | 0.7               | 0.41              | 0.27              | 2.59     | 0.30        |            |          |
|            |      | ③         | 1.6          | 0.44          | 0.0030        | 0             | 〃      | 2.63          | 41.2                   | 25.4                     | 25.7                  | 7.3                    | 0.4                   | 0          | 0            | 9.52             | 4.9               | 1.8               | 0.5               | 9.8      | 1.32        |            |          |
|            |      | ④         | 17.8         | 0.35          | 0.0037        | 0             | 〃      | 2.66          | 42.1                   | 12.5                     | 30.2                  | 15.0                   | 0.2                   | 0          | 0            | 25.4             | 4.5               | 0.82              | 0.36              | 12.6     | 0.42        |            |          |
|            |      | ⑨         | 9.5          | 水址            | なし            | 1             | 〃      | 2.61          | 6.8                    | 10.4                     | 37.1                  | 41.0                   | 4.2                   | 0.5        | 0            | 19.1             | 0.63              | 0.22              | 0.142             | 4.44     | 0.54        |            |          |
|            |      | ①         | 22.3         | 0.35          | 0.0430        | 0             | 土砂     | 2.61          | 1.7                    | 18.1                     | 69.3                  | 9.2                    | 1.7                   | 0          | 0            | 4.76             | 1.41              | 0.84              | 0.39              | 3.62     | 1.28        |            |          |
|            | D    | ②         | 0.3          | 水址            | なし            | 5             | 〃      | 2.57          | 5.0                    | 12.6                     | 34.5                  | 36.9                   | 11.0                  | 0          | 0            | 9.52             | 0.87              | 0.17              | 0.07              | 12.43    | 0.47        |            |          |
|            |      | ③         | 15.1         | 0.31          | 0.0050        | 3             | 〃      | 2.65          | 29.2                   | 24.5                     | 32.0                  | 13.6                   | 0.7                   | 0          | 0            | 9.52             | 3.5               | 0.97              | 0.37              | 9.46     | 0.73        |            |          |
|            |      | ④         | 3.8          | 0.43          | 0.0012        | 0             | 〃      | 2.47          | 19.4                   | 15.2                     | 14.5                  | 15.0                   | 7.9                   | 28.0       | 22.0         | 9.52             | 1.0               | -                 | -                 | -        | -           |            |          |
|            |      | ⑤         | 8.4          | 0.39          | 0.0041        | 0.5           | 〃      | 2.56          | 0                      | 0                        | 7.5                   | 23.1                   | 17.0                  | 52.4       | 43.0         | 0.84             | 0.02              | -                 | -                 | -        | -           |            |          |
|            |      | ⑥         | 3.0          | 0.32          | 0.0033        | 3             | 〃      | 2.64          | 11.6                   | 14.4                     | 48.2                  | 25.2                   | 0.6                   | 0          | 0            | 9.52             | 1.24              | 0.54              | 0.28              | 4.43     | 0.84        |            |          |
|            |      | ⑧         | 0.7          | 0.23          | 0.0018        | 10            | 〃      | 2.46          | 9.1                    | 12.6                     | 25.4                  | 44.9                   | 8.0                   | 0          | 0            | 4.76             | 0.70              | 0.19              | 0.08              | 8.54     | 0.63        |            |          |
|            |      | ①         | 7.5          | 0.50          | 0.0074        | 0             | 砂      | 2.52          | 40.1                   | 11.5                     | 45.0                  | 3.4                    | 0                     | 0          | 0            | 25.4             | 4.8               | 1.25              | 0.67              | 7.16     | 0.49        |            |          |
|            | E    | ③         | 3.6          | 0.31          | 0.0049        | 0             | 土砂     | 2.49          | 33.8                   | 10.8                     | 42.6                  | 12.4                   | 0.4                   | 0          | 0            | 25.4             | 2.8               | 0.7               | 0.34              | 8.24     | 0.51        |            |          |
|            |      | ④         | 3.3          | 0.31          | 0.0051        | 4             | 〃      | 2.58          | 37.5                   | 15.1                     | 34.0                  | 13.2                   | 0.2                   | 0          | 0            | 25.4             | 4.2               | 0.78              | 0.35              | 12.0     | 0.41        |            |          |
|            |      | ⑤         | 0.4          | 0.26          | 0.0018        | 1             | 〃      | 2.54          | 2.2                    | 3.1                      | 43.4                  | 47.7                   | 3.6                   | 0          | 0            | 4.76             | 0.49              | 0.28              | 0.12              | 4.08     | 1.33        |            |          |
|            |      | ①         |              | 0.20          | 0.0057        | 19            | 〃      | 2.55          | 0.8                    | 4.4                      | 70.2                  | 24.5                   | 0.1                   | 0          | 0            | 4.76             | 0.73              | 0.45              | 0.29              | 2.52     | 0.96        |            |          |
|            | F    | ②         | 13.8         | 0.26          | 0.0233        | 15            | 〃      | 2.55          | 0.7                    | 2.6                      | 87.0                  | 9.65                   | 0.05                  | 0          | 0            | 4.76             | 4.77              | 0.54              | 0.43              | 1.79     | 0.88        |            |          |
|            |      | ③         | 2.8          | 不 明           |               | 5             | 〃      | 2.59          | 29.3                   | 10.4                     | 47.1                  | 13.1                   | 0.1                   | 0          | 0            | 25.4             | 1.9               | 0.65              | 0.36              | 5.28     | 0.62        |            |          |
|            |      | ④         | 2.4          | 0.27          | 0.0078        | 2             | 〃      | 2.50          | 76.4                   | 8.0                      | 13.5                  | 2.1                    | 0                     | 0          | 0            | 25.4             | 20.0              | 6.0               | 1.2               | 16.67    | 1.50        |            |          |
| 分汚         | G    | ⑤         | 1.2          | 不 明           | 0             | 〃             | 2.56   | 43.0          | 9.8                    | 27.2                     | 19.9                  | 0.1                    | 0                     | 0          | 19.0         | 5.0              | 0.65              | 0.29              | 17.24             | 0.29     |             |            |          |

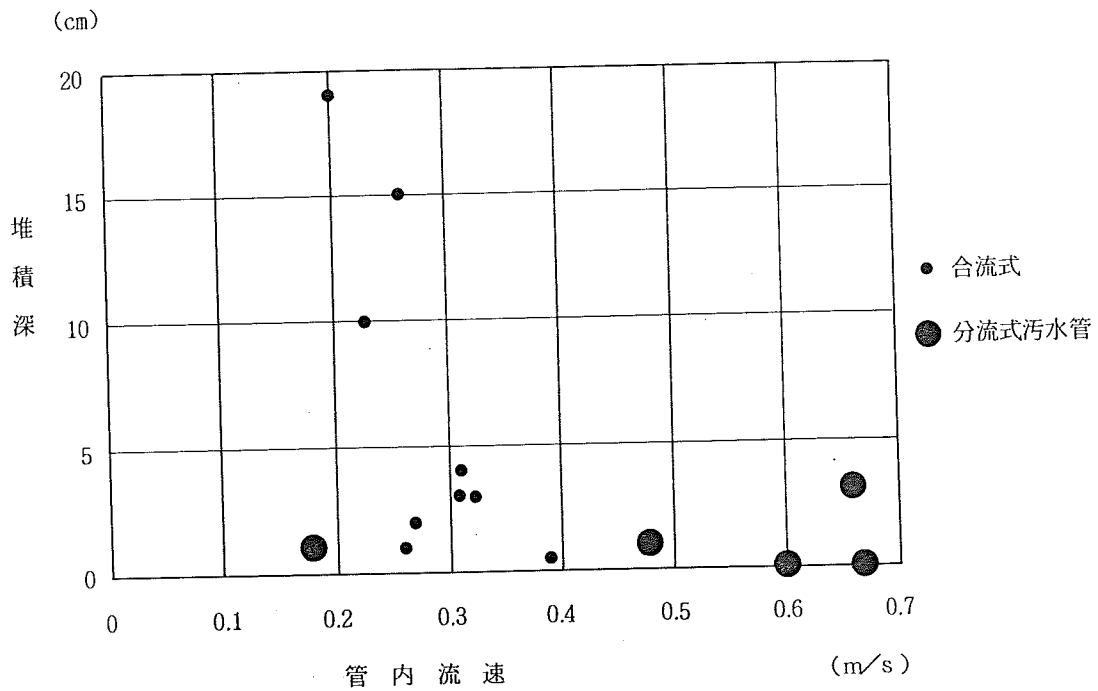


図-3.8 管内流速と堆積深 (F市)

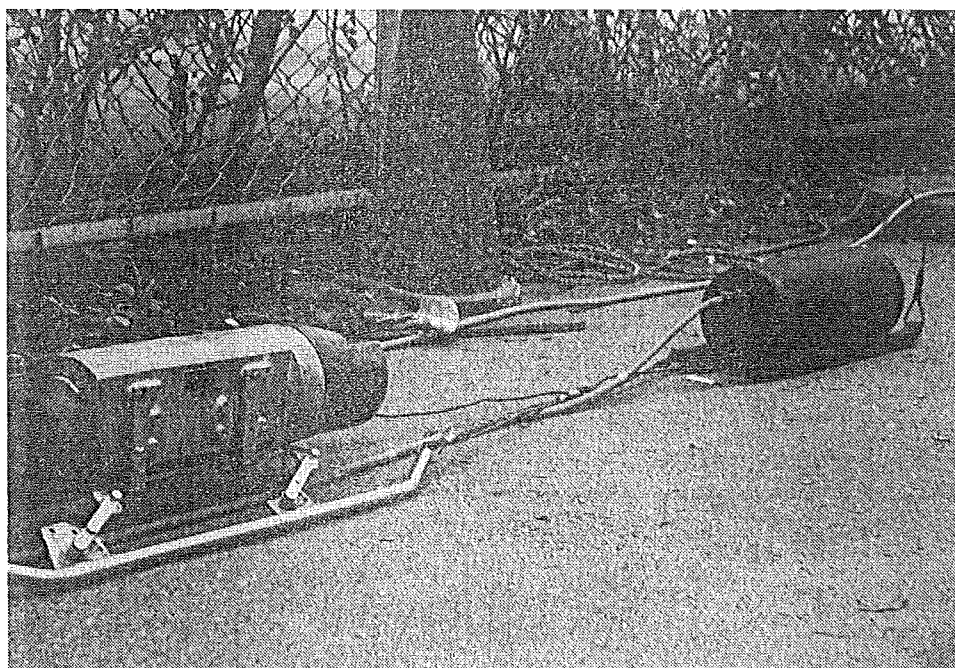
表-3.6 流速と堆積物の物理的性質

| 管きょの流速区分       | 平均流速<br>(m/s) | 粒 度 (%)        |                |                |                |                | 粒径 (mm)        |              | 比重             | 試料数      | 備 考               |
|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------|-------------------|
|                |               | 礫              | 細礫             | 粗砂             | 細砂             | シルト及<br>び粘土    | 最大             | 60%          |                |          |                   |
| 0.6 m/s 以上     | 0.62          | (43.6)         | (16.2)         | (25.6)         | (14.1)         | (0.5)          | (18.0)         | (6.0)        | (2.65)         | (3)      | 全て分流式污水管          |
| 0.5 以上~0.6 m/s | 0.50          | 40.1           | 11.5           | 45.0           | 3.4            | 0              | 25.4           | 4.8          | 2.52           | 1        | 合流式下水管            |
| 0.4 以上~0.5 m/s | 0.45          | 28.1<br>(23.7) | 18.5<br>(14.8) | 30.2<br>(50.3) | 11.2<br>(11.2) | 12.0<br>(0.04) | 14.8<br>(25.4) | 2.6<br>(1.9) | 2.56<br>(2.58) | 3<br>(1) | 合流式 2<br>分流式污水管 1 |
| 0.3 以上~0.4 m/s | 0.34          | 19.8           | 13.1           | 40.0           | 18.1           | 9.0            | 13.2           | 2.3          | 2.60           | 8        |                   |
| 0.2 以上~0.3 m/s | 0.24          | 3.2            | 5.6            | 56.5           | 31.7           | 3.0            | 4.8            | 1.7          | 2.53           | 4        |                   |
| 0.2 m/s 未満     | 0.18          | (46.6)         | (11.7)         | (35.9)         | (5.61)         | (0.19)         | (25.4)         | (8.0)        | (2.63)         | (1)      |                   |

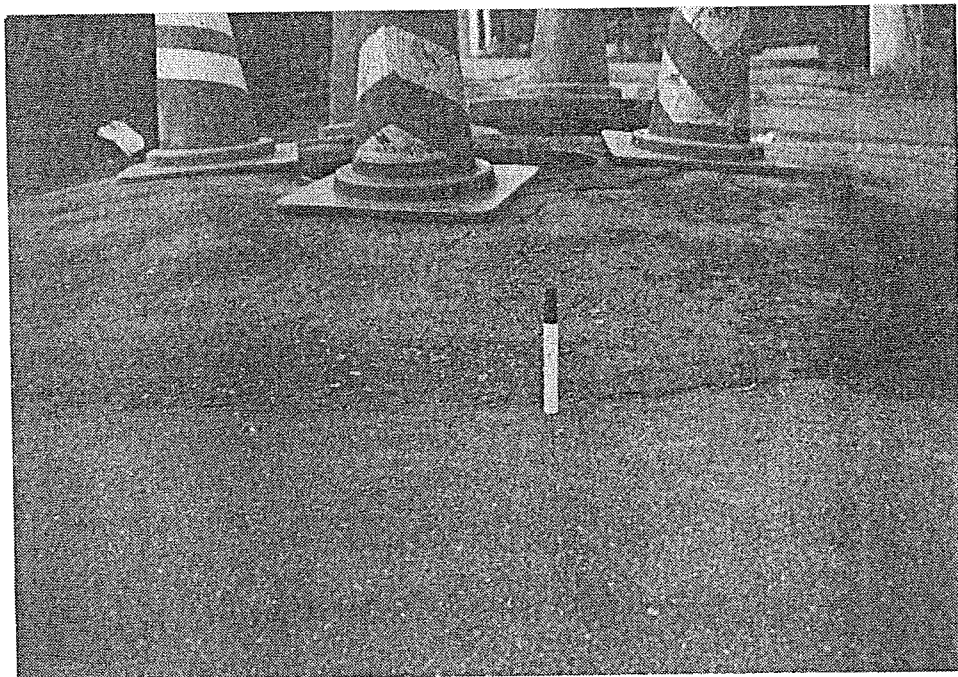
( )書きは分流式污水管



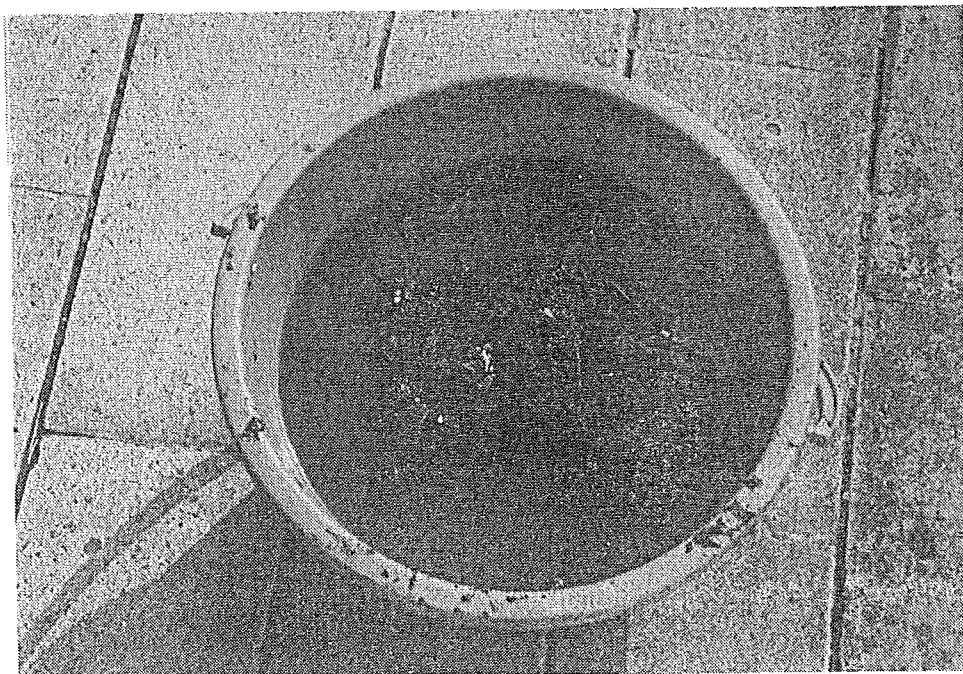
写真－3.1 自走式テレビカメラ



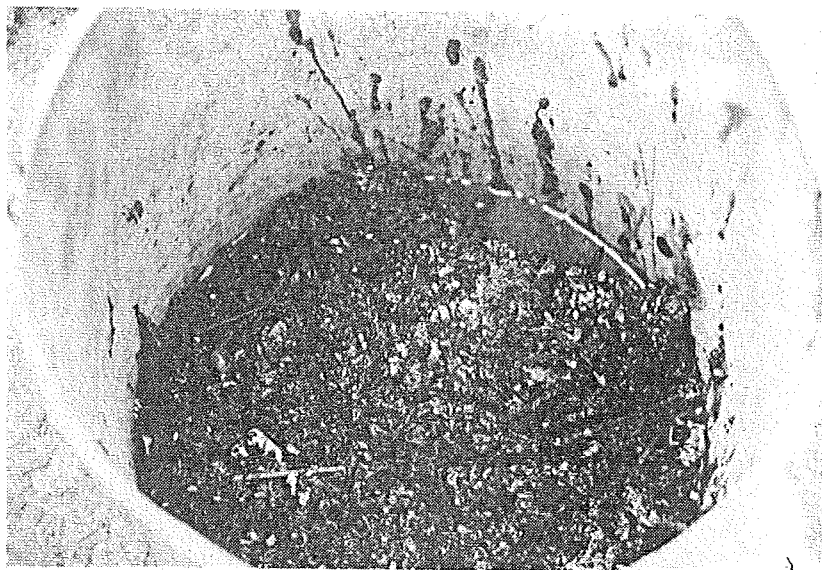
写真－3.2 自走式テレビカメラと  
レベルセンサー



写真－3.3 歩道の沈下とマンホールの突出状況



写真－3.4 T市調査区間Ⅱの下水管内堆積物



写真－3.5 S市下水管内堆積物

## 4. 実大模型実験その1

### 4.1 実験の概要

#### 4.1.1 実験の目的

本実験は、軟弱地盤に埋設された下水管路の流下機能の低下と堆積汚泥の関係を把握するため、下水管に使われているヒューム管を連結した下水管路を地上に設置し、これに生下水を通水して実際の下水管と同じ状況を再現するものである。

#### 4.1.2 実験施設の概要

下水管内の現象を把握するため、下水管路を地上に再現し実際の生下水を通水することができ、装置を作成した。装置（図-4.1、写真-4.1）はφ250 mm、2 mのヒューム管を19本連結した延長38mのもので、基本勾配を2.5パーミリとした。その一部の区間を強制的に2ヶ所、管径の25%と50%にあたる量を沈下させたものである。装置の上流には整流槽を設けて、最下流には量水槽を設けて流量を測定した。流量はポンプの台数により4段階に変動可能のものとした。

実験場所の埼玉県狭山市狭山台終末処理場（図-4.2）は、計画では2万2千人の処理能力を有する。処理区域は公団住宅が大部分を占める住宅地である。

#### 4.1.3 実験条件の設定

実験施設への通水流量は、基本的には計画流量とし以下のようにして定めた。

流量および管路の勾配は、管径に対する水深が50%のときの流速が0.6m/sになるように定めた。これは、下水道計画で定めてある50%の余裕をとって、汚濁物等の沈澱が生じない最小流速である0.6m/sに基づいたものである。流量、管路の設計勾配を求めるにあたってはManning 公式を用いた。

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (4-1)$$

ここに、管径：D = 250mm

粗度係数：n = 0.013（ヒューム管）

水深：H = 0.5D

流速：V = 0.6 m/s

また水深は0.5Dであるので、H = 0.125mから、

$$A = \pi r^2 / 2 = 0.025 \text{ m}^2$$

$$Q = A \cdot V = 0.025 \times 0.6 = 0.015 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = \pi D / 2 = 0.393 \text{ m}$$

$$R = A / S = 0.064 \text{ m}$$

これから

$$I^{1/2} = \frac{0.015 \times 0.013}{0.025 \times 0.064^{2/3}} = 0.05$$

$$\therefore I = 0.0025$$

よって、設計勾配：  $I = 2.5$  パーミリ（ $1/400$ ）

最大流量：  $Q = 0.015 \text{ m}^3/\text{s}$

に設定する。

次に、実験の流量変動パターンを、処理場への日常の流入水の流量変動パターンから決める。処理場への流入量の変動パターンを図－4.3に示す。この資料を参考にして、実験の最大流量をピーク流量として、流量波形を三段階に区分けした。図－4.3に実験の日流量変動パターンを示す。流量の変化は同じ性能を持つポンプを3つ組み合わせることで行う。

#### 4.1.4 測定方法および分析項目

##### ① 堆積深（堆積量）（図－4.4(a)）

鋼製の物差しを用いて管中心線上を1mの間隔で、管の天端を基準として堆積面と管底との距離の差を測り、堆積深とする。

##### ② 付着厚（図－4.4(b)）

付着厚は、通水を停止した後、管壁に付着した付着物の厚さと範囲（付着幅）を測定し換算した。

##### ③ 水深（図－4.4(c)）

管の天端を基準として水面と管底の距離を測り、その差を水深とした。測定には堆積深の測定と同様、鋼製物差しを使用した。

なお堆積深の測定は、堆積状況が通水したまま確認できる場合にはポンプを停止せずに行い、確認できない場合には停止して行った。

また流量が多い場合には、50%沈下区間で満管状態となるため、ポンプを停止して測定を行った。このとき問題となるのは、ポンプを停止したときに汚水中に含まれる固形物が、減水する間に堆積し堆積深が変化するおそれがあることである。しかし通水汚水の水質のSS濃度が低いこと、減水しても正常区間に堆積物がみられないことから、この心配はないものと考えられる。

#### 4.1.5 底質・水質分析

水質・底質分析は、表－4.1に示す項目を各実験ケースについて適宜行った。

#### 4.2 実験ケース

実験は、同一流量で汚水を実験装置に通水させて汚泥の堆積状況をみる一定流量通水実験と、図－4.3の下水処理場に流入してくる汚水のパターンと類似の波形で日変動させた流量で長期間通水し汚泥の堆積状況をみる長期間通水実験とからなる。表－4.2に各実験ケースの条件と目的を示す。

#### 4.3 実験結果

#### 4.3.1 下水管内の水量

模型実験で把握した沈下の程度と水位、流速との関係は表-4.3のようになる。正常区間での下水管内の流速は、33~46cm/sを維持しており、設計上定められた最小流速より、少し遅い程度である。一方25%沈下区間および50%沈下区間では流速が減少し、10~30cm/sとなっている。

#### 4.3.2 下水管流入水質の状況

実験水路を流れる流入水質を測定した結果が、表-4.4、表-4.5である。

流入水質は、BOD、SSともに日周期があり、これは図-4.3に示した処理水量の日周期とはば一致する。ピーク水質は、11時、14時、17時および21時にBOD、SSとも同時にみられる。日平均値はBODが264mg/l、SSが315mg/lである。

#### 4.3.3 模型実験での堆積状況と過程

下水管路での堆積とその進行過程は次のようである。

##### ① 長期間通水後の堆積量

流量変動を与えた実大実験装置に汚水を47日程度通水し、装置内の堆積状況をみたものが図-4.5である。装置の正常区間では、1ヶ月以上の通水期間にもかかわらず付着物が薄くある程度で堆積物はみられなかった(写真-4.2)。沈下区間には堆積物がみられ、25%沈下部ではNo.9から11の区間、50%沈下区間ではNo.2~4の区間で、堆積が認められる。このうち50%沈下区間の堆積状況を写真-4.3に示す。このことから、汚泥の堆積位置をみると、最大沈下部の前後2m間で堆積が発生する特徴がある。またその量は25%沈下区間よりも50%沈下区間で多いことがわかる。

##### ② 一定流量条件と堆積の進行

管渠内の堆積深の変化を一定流量通水実験(ケース2)でみると表-4.6のようになった。ここでは、長期間通水実験結果(前項①)から、25%沈下のNo.9~11の区間で、また50%沈下のNo.2~4の区間で最大堆積となることから、この区間での最大堆積深をもって示した。通水開始から2時間後では、25%沈下区間では堆積はみられず、50%沈下区間では0.2cmの堆積があった。通水4時間後では堆積厚は更に大きくなり、0.3~0.6cmに達した。しかし6時間後では堆積の発達はみられず、更に10時間後には堆積した汚泥がほとんど流出している。24時間後では50%沈下区間で8.7cmの堆積となっている。このようなことから、汚泥の堆積は流入している汚濁負荷量の多少によって時間変動しているものと考えられる。通水を停止した後の25%沈下区間の堆積状況を写真-4.4に、50%沈下区間の堆積状況を写真-4.5に示す。

#### 4.3.4 下水管内流量と堆積

一定流量通水実験から得られた、下水管内の流量と汚泥の堆積との関係を次に示す。表-4.7に示すように15~24時間の通水では明確な流量と汚泥の堆積深の関係は見出せない。しかしポンプ2、3台よりもポンプ1台(3.6l/s)で多くの堆積が認められた。また25%沈下部ではポンプ1台のとき24時間後に0.8cmの堆積がみられた程度で、24時間程度の通水時間ではほとんど堆積がないものと判断される。

#### 4.3.5 下水管の日流量変動パターンと堆積時刻及びその変化

日常の下水流入量をパターン化して下水管内に通水し、経時的・経日的な堆積状況を調査した。ここでは連続通水実験（ケース6）の結果をもとに流量変動と汚泥の堆積変化の特徴をとりまとめた。通水実験の結果は表-4.8であるが、約2日程度を実験の安定期間とすると各時刻での堆積深の経日変化は表-4.9のようにまとめられる。

表から特徴的な事項を挙げると次のようになる。

- ① 日流量変動には午前と夜間の2回に流量ピークがある。
- ② 午前の流量ピークから減水時の期間の堆積は、流量が少なくなるにつれて堆積深が多くなる傾向がある。
- ③ 堆積深の変化は認められるもののその変動量は小さい。
- ④ 25%沈下区間では3.6ℓ/sのときも含めてほとんど汚泥の堆積はない。
- ⑤ 50%沈下区間では、流量により堆積深の変動はあるものの平均1.8～6.0cmの堆積である。

#### 4.3.6 汚泥の堆積状況

模型実験の汚泥の堆積状況を目視により観察した結果を以下に述べる。

汚泥の堆積状況は50%沈下区間、25%沈下区間で異なる。これを1ヶ月間流量変動を与えて通水した実験（ケース1）でみる。25%沈下区間は図-4.6のように黒色の砂状物質が少量堆積し、有機的な汚泥はほとんどみられない。これに対し、50%沈下区間では図に示すように最下部に茶褐色の有機的な汚泥が8cm程度堆積し、その上に黒色の砂状物質が1cm程度の層で覆うように堆積していた。このような砂状物質が上部に乗り、比較的軽い有機的な汚泥が下部にたまった原因としては、掃流力が小さいときには流入汚濁負荷量のうち大きな割合を占める茶褐色の有機物が支配的にたまる。このとき砂分もたまるが有機的に比べてその絶対量は圧倒的に少ない。そしてある程度堆積すると掃流力が大きくなり、有機物はたまらず少量ずつではあるが黒色の砂状物質のみが堆積する、などの原因が考えられる。しかしここではその過程を確認するには至っていない。

#### 4.3.7 堆積物の物理的・化学的性状

実験ケース1における堆積物の物理的および化学的性状を表-4.10に示す。表は、まとまった堆積物を採取することができた25%沈下区間と50%沈下区間の堆積物について示す。50%沈下区間には性状が異なる2種類の堆積物（有機的な物質と黒色の砂状物質）がたまっていたが、採取時には両者を一括して採取したため、その性状の違いは明らかにできなかった。しかし25%沈下区間では砂状物質のみであり、50%沈下区間では有機的な物質がほとんどであるので、両者を比較することにより検討できる。

表-4.10から、有機物量を示すVTSでは25%沈下区間で6%、50%沈下区間で10%程度と小さい。また比重も2.34と2.37で有機物と無機物の中間的な値を示し、最大粒径は両者とも0.24mmで、砂より小さい物質である。25%と50%沈下区間の違いはVTS、比重がわずかに小さい程度

で、分析結果には見た目ほどの大きな違いがみられなかった。このことから50%沈下区間の堆積物内には砂状物質が多く含まれていることが考えられる。

#### 4.3.8 フラッシュ実験とその効果

フラッシュ実験では一定流量通水実験（ケース2）の流量  $3.6 \text{ l/s}$  で堆積した汚泥のフラッシュ効果を把握した。なおフラッシュは

フラッシュその1；ポンプ2台（ $7.2 \text{ l/s}$ ）でのフラッシュ（5分間通水）

フラッシュその2；フラッシュその1の後に残った堆積汚泥をポンプ3台（ $11.4 \text{ l/s}$ ）で再度フラッシュ（5分間通水）

させたものである。

##### ① 堆積状況の変化

フラッシュその1で、5分間通水した結果を図-4.7(1)、引き続いて行ったフラッシュその2の結果を図-4.7(2)に示した。フラッシュその1で、すでに25%沈下区間の堆積汚泥は掃流され、50%沈下区間においても硫化側のNo.1～4の堆積物はほとんど掃流された。なお50%沈下区間の上流側（No.4～5）では掃流されるものの、部分的に汚泥が残っている。フラッシュその2に行うことによって、50%沈下区間（No.4～5）の残った汚泥も掃流されたと考えられる。

##### ② 堆積汚泥の質の変化

50%沈下区間の堆積汚泥の質の変化を表-4.11に示す。なお汚泥の物理的性質を中心に比較すると表-4.12のようである。

50%沈下区間のNo.5は堆積域の上流端であり、管内全体の汚泥の状況を十分に示していないと考えられるが、フラッシュによって汚泥の質はかなり改善され、有機物から砂分に近づいていると思われる。なお粒径はフラッシュ前の粒径に類似している。

##### ③ フラッシュ水と水質

フラッシュ時の水質を調査したが、フラッシュ水の水量に比べて、フラッシュされる汚泥量が少ないこと、またフラッシュ時間とフラッシュ採水時期との関係が十分でなかったこともあり、フラッシュ前の水質とフラッシュ時の水質との明確な相違を把握するまで至らなかった。

#### 4.3.9 下水管内付着物の特徴

下水管内では、汚泥や下水中に含まれる有機物が、管壁に付着し、付着物質を形成する。長期間通水実験（ケース1）でみられた管内付着の状況をまとめ次に示す。

##### ① 付着の状況

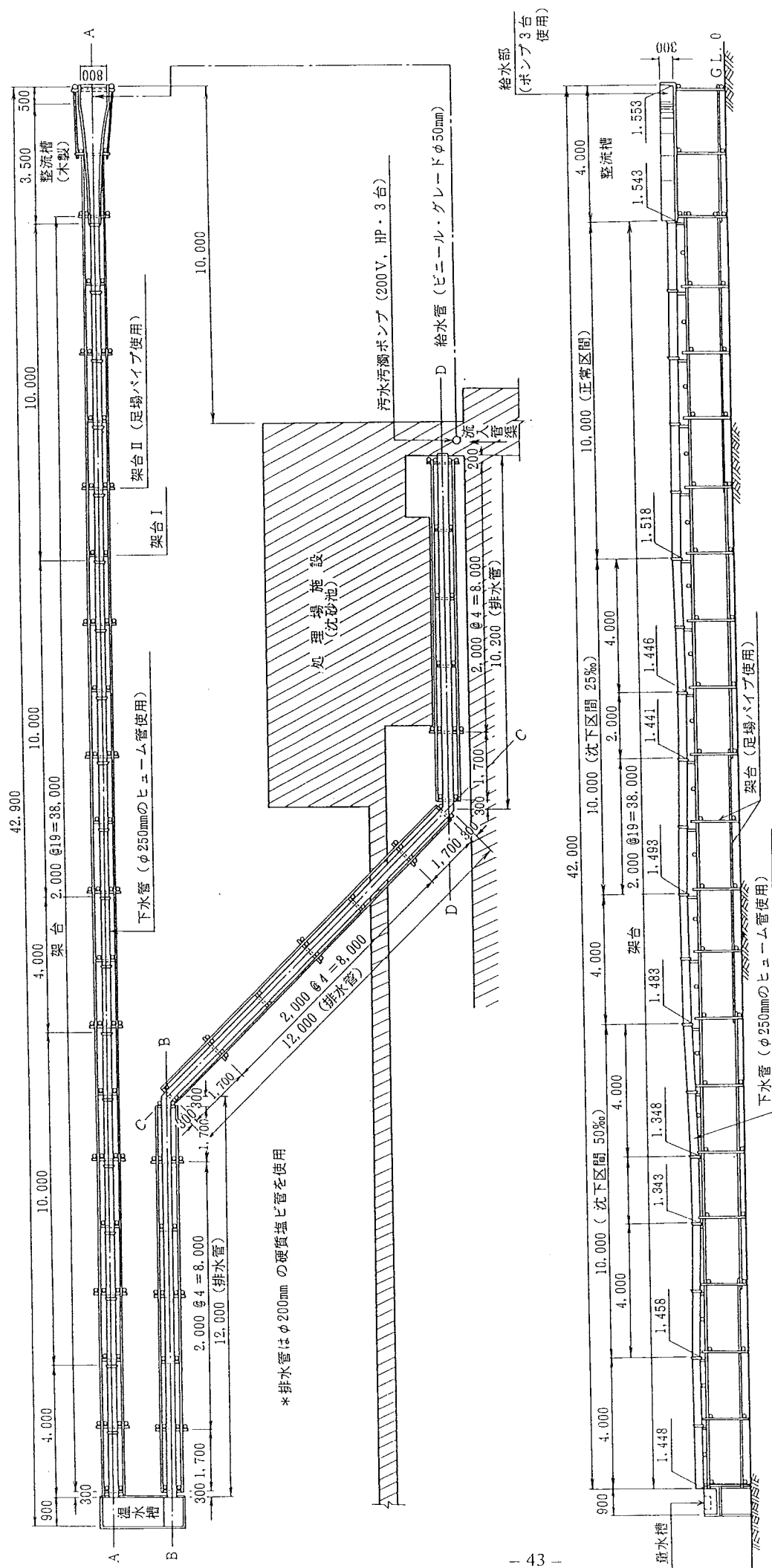
管内の付着の状況を模式的に図-4.8に示す。

付着は管内の水面から堆積物面までの管壁に生じている。また堆積の有無にかかわらず、全ての管の水面下にみられその幅と付着厚は表-4.13のようである。

##### ② 付着物の性質

付着物の性質を表－4.14に示す。

管内付着物の性質は、場所によりやや異なるものの表に示した程度の差であり、ほぼ平均値で代表できるものと考えられる。堆積汚泥の性質と比較するとTC、IL等で示される有機物含有量がきわめて高い。なお実験観察ではあるがTNの値が堆積物と比べて大きいことから紙などの溶解物、浮遊物が管壁に付着した中に生物性の付着物がかなり多く存在していると思われる。また硫酸還元菌数も堆積物と比べて多いこと、メタン生成菌数も多いことから、付着物のうち壁面と接触している部分は嫌気状態がかなり進行していると推測される。

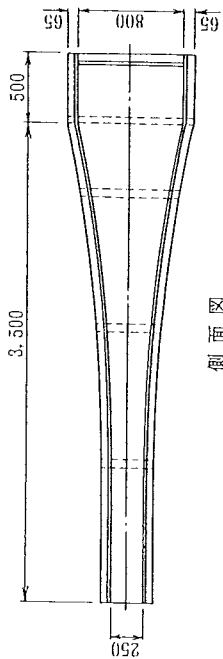


(a) 実験施設全体図

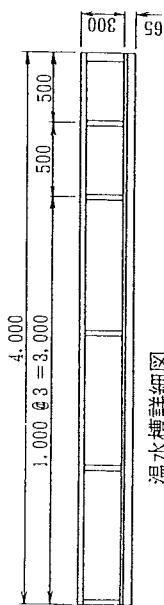
図-4.1 実験施設図

| No. | 名称        | 下水管の状況                | 区間距離(m) |
|-----|-----------|-----------------------|---------|
| I   | 整流槽       | ポンプアップした乱れた流れを整流させる区間 | 4.0     |
| II  | 正常管路区間    | 最初の区間は正常な流下管路         | 10.0    |
| III | 25%沈下管路区間 | 管径の25%沈下状態とした管路       | 10.0    |
| IV  | 整流区間      | 管径の25%沈下状態として設置した管路   | 4.0     |
| V   | 50%沈下管路区間 | 管径の50%沈下状態とした管路       | 10.0    |
| VI  | 整流区間      | 低下排水の影響を排除する区間とした管路   | 4.0     |

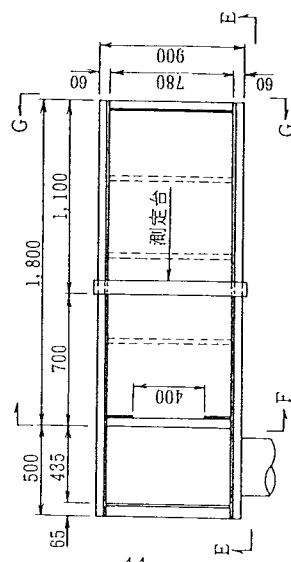
平面図



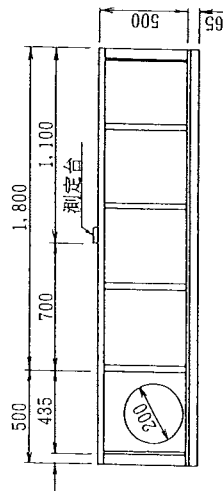
側面図



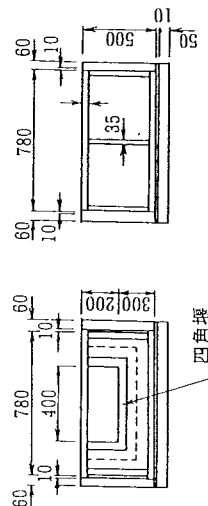
温水槽詳細図



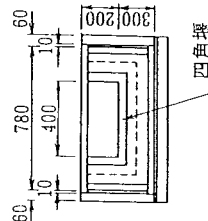
E-E断面



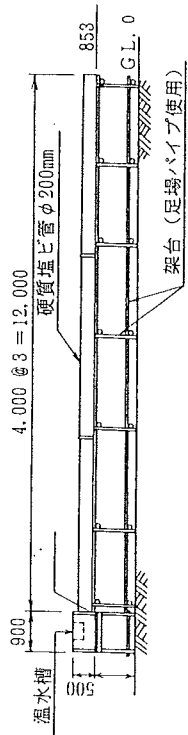
G-G断面



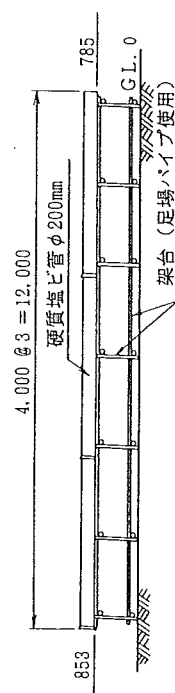
F-F断面



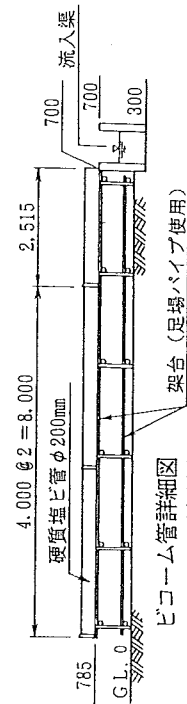
排水管縦断面図  
B-B断面



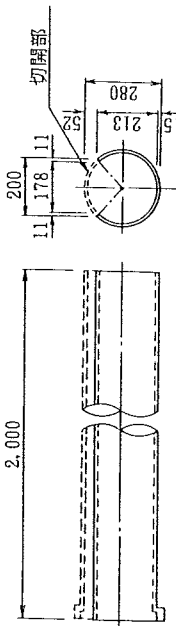
C-C断面



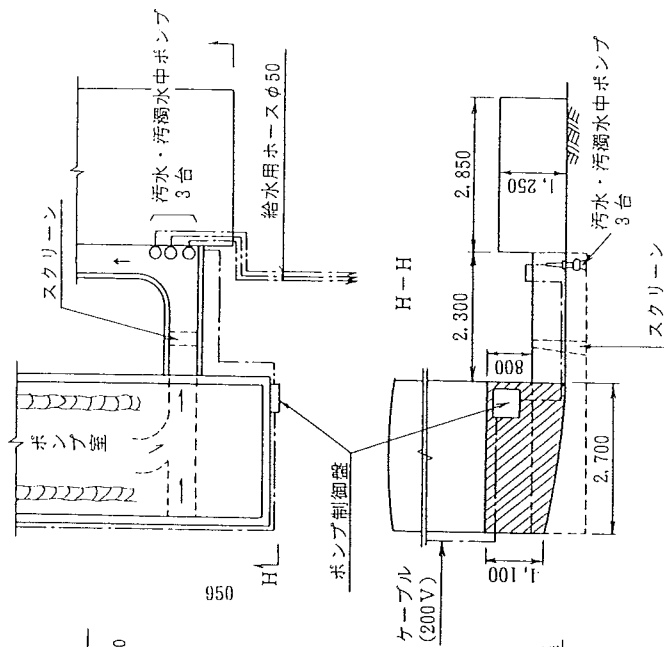
D-D断面



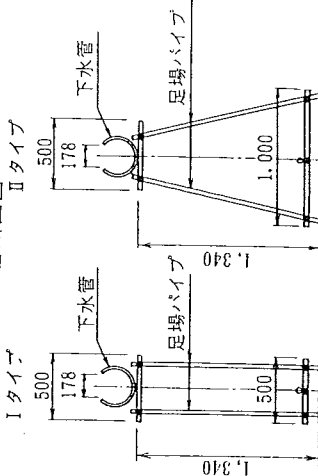
断面図



制御盤およびポンプ設置位置図  
平面図



架台断面図



但し、・は固定フランジ使用

(b) 施設詳細図

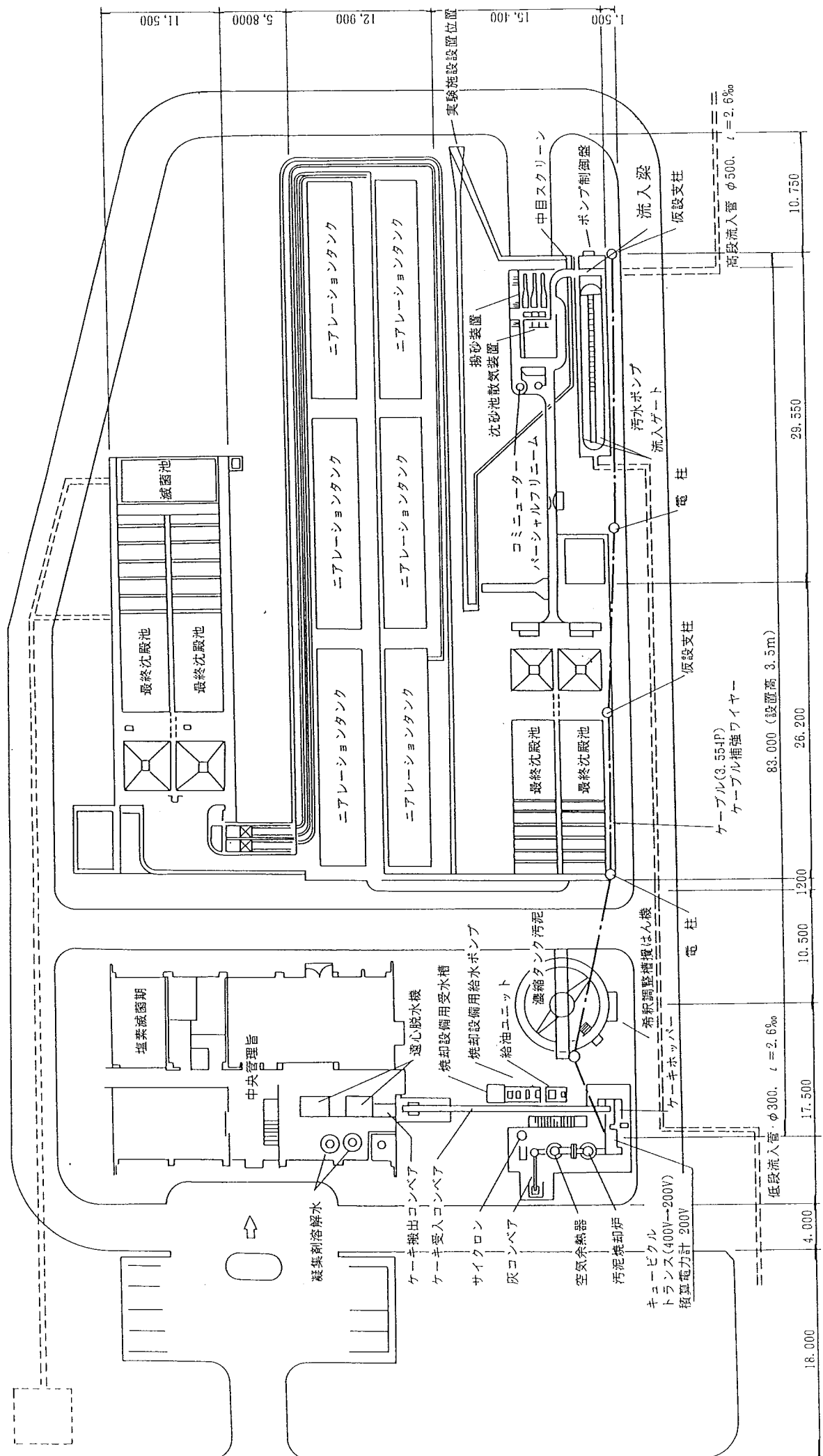


図-4.2 処理場の概要

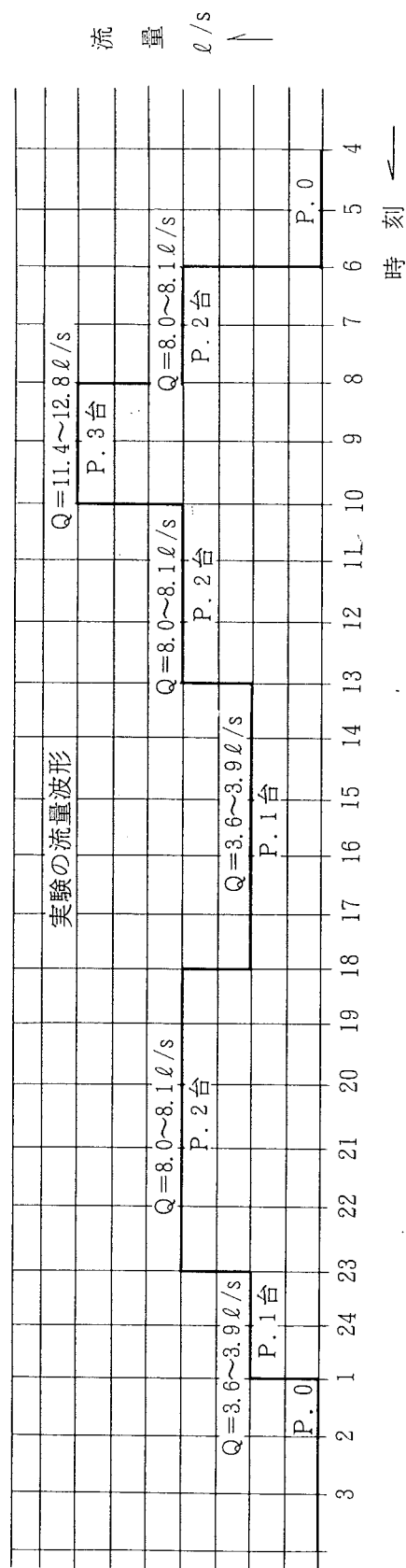
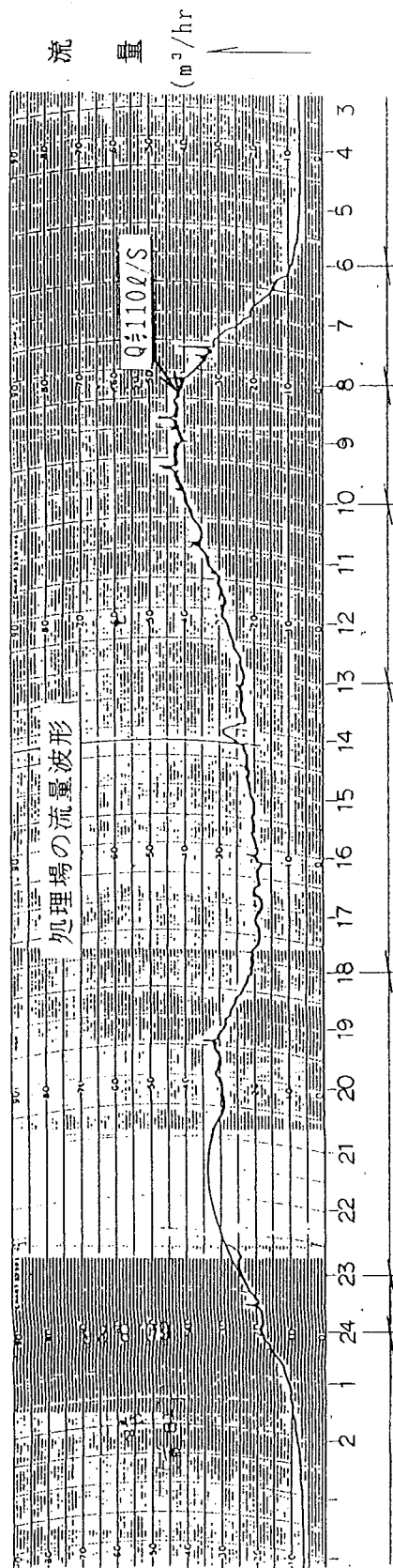
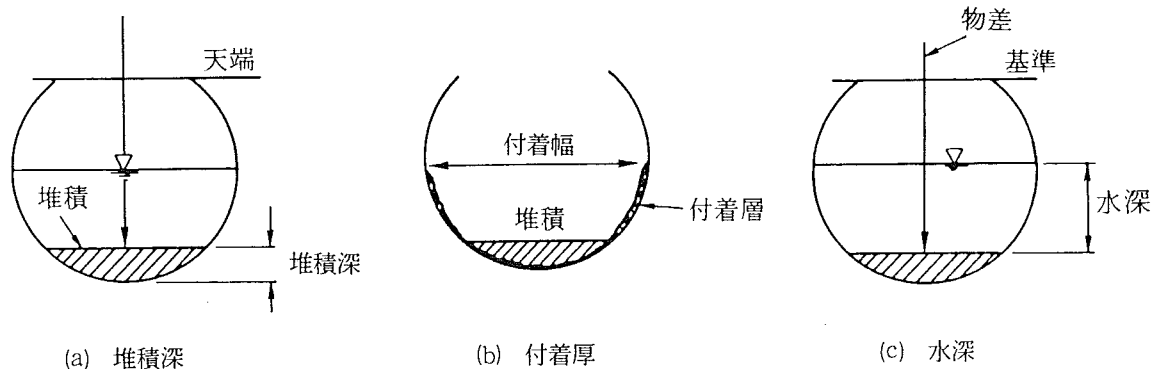


図-4.3 処理場の流量パターンとポンプ稼働状況

表－4.1 水質・底質分析項目

|            | 項 目    | 単位   | 分 析 方 法                          |
|------------|--------|------|----------------------------------|
| 水          | BOD    | mg/ℓ | JIS. K 0102 (1986) 21            |
|            | SS     | 〃    | JIS. K 0102 (1986) 14.1          |
|            | COD    | 〃    | JIS. K 0102 (1986) 17            |
|            | TS     | 〃    |                                  |
| 質          | 硫化物    | 〃    | 下水試験方法(1984年版)第1編, 第3章, 第33節     |
|            | 硫酸イオン  | 〃    | 斎藤ら, 地球化学 Vol. 16. 43-47 1982年準拠 |
| 底<br><br>質 | T-S    | %    | 下水試験方法(1984年版)第1編, 第5章, 第7節      |
|            | VTS    | 〃    | 下水試験方法(1984年版)第1編, 第5章, 第9節      |
|            | T-C    | mg/g | 下水試験方法(1984年版)第1編, 第5章, 第21節     |
|            | 硫化物    | 〃    | 下水試験方法(1984年版)第1編, 第3章, 第33節     |
|            | 硫酸還元菌  | 個/g  | 下水試験方法(1984年版)第2編, 第10章, 2       |
|            | 硫酸イオン  | mg/g | 斎藤ら, 地球化学 Vol. 16. 43-47 1982年準拠 |
|            | IL     | %    | 下水試験方法(1984年版)第1編, 第5章, 第9節      |
|            | 比重     |      | 土質試験法, 第2編, 第2章                  |
|            | TN     | mg/g | 下水試験方法(1984年版)第1編, 第5章, 第18節, 3  |
|            | メタン生成菌 |      | 土壌微生物実験法 11.5 による定性分析            |



図－4.4 堆積深等の測定方法

表-4.2 模型実験ケースの条件と目的

| ケース No.               | 1                                                                              | 2                                                       | 3                                                                   | 4                                                                   |                         | 5                                |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 実験名称                  | 長期間通水実験                                                                        | 一定流量通水実験<br>(1台通水)                                      | 下水管堆積物<br>フラッシュ実験                                                   | 一定流量通水実験<br>(2台通水)                                                  | 一定流量通水実験<br>(3台通水)      | 一定流量通水実験<br>(1台通水)               |
| 実験ケース<br>目的           | ① 長時間の通水実験により模型での堆積の可能性及び状況の把握<br>② 模型実験の施設条件の確認                               | ① 一定流量での堆積状況の把握<br>② 流量ケース: 1台通水                        | ① 短期間(1~2日)での堆積の可能性と堆積量の把握<br>② 下水管フラッシュ効果の把握                       | ① 一定流量での堆積状況の把握<br>② 流量3ケースでの一連の実験<br>③ 流量ケース: 2台通水<br>3台通水<br>1台通水 |                         | ① 実際の流量変動を考慮した堆積状況の把握            |
| 実施期間                  | 28日間(1139時間)                                                                   | 1日間(24時間連続)                                             | 1日間                                                                 | 1日間(20時間連続)                                                         | 1日間(15時間連続)             | 9日間(194時間連続)                     |
| ポンプ<br>台数             | 1~3台                                                                           | 1台                                                      | 2~3台                                                                | 2台                                                                  | 3台                      | 1~3台                             |
| 流量                    | 3.6~12.8 (ℓ/s)                                                                 | (3.6ℓ/s)                                                | No.1: 2台フラッシュ<br>(5分)(Q=7.2ℓ/s)<br>No.2: 3台フラッシュ<br>(5分)(Q=11.4ℓ/s) | (8.1ℓ/s)                                                            | (11.4ℓ/s)               | (3.6ℓ/s)                         |
| 流量基本<br>パターン<br>(図参照) | 処理場流量波形のパターン(図参照)                                                              | 一定流量                                                    | 5分間のフラッシュ                                                           | 一定流量                                                                | 一定流量                    | 一定流量                             |
| 水理測定                  | ・水深測定<br>・流量測定                                                                 | ・水深測定<br>・流量測定<br>・流速測定                                 | ・水深測定                                                               | ・水深測定<br>・流速測定                                                      | ・水深測定<br>・流速測定          | ・水深測定<br>・流速測定                   |
| 堆積及び付着<br>状況測定        | ・堆積深測定<br>・付着状況の測定                                                             | ・堆積深測定                                                  | ・堆積深測定                                                              | ・堆積深測定                                                              | ・堆積深測定                  | ・堆積深測定                           |
| 採泥と汚泥<br>分析           | ・汚泥分析<br>・付着物の分析<br>・粒度試験                                                      | ・採泥分析<br>・粒度試験                                          | ・フラッシュ前の採泥と汚泥分析<br>・フラッシュ後の採泥と汚泥分析                                  | ・圧密試験<br>・汚泥分析                                                      | ・汚泥分析<br>・粒度試験<br>・比重試験 | ・汚泥分析<br>・粒度試験<br>・比重試験          |
| 採水と水質<br>分析           | —                                                                              | —                                                       | ・水質分析(フラッシュ前, フラッシュ水)                                               | ・水質分析                                                               | ・水質分析                   | ・水質分析                            |
| 実験結果からの<br>知見         | ① 模型施設での堆積確認<br>② 施設条件の適性さの確認<br>③ 堆積物の種類と特徴の確認<br>④ 付着物の確認<br>⑤ 短期間での堆積の可能性確認 | ① 流量と堆積深変化の確認<br>② 流速の確認<br>③ 堆積汚泥の性状把握<br>④ フラッシュ効果の確認 |                                                                     |                                                                     |                         | ① 流量変動と汚泥堆積深の変化把握<br>② 堆積汚泥の性状確認 |

表－4.3 沈下量と水深及び流速

| 項 目   |        | 水 深 (cm)   |      |      | 平均流速 (cm/s) |      |      |
|-------|--------|------------|------|------|-------------|------|------|
|       |        | 流量状況 (ℓ/s) |      |      | 流量状況 (ℓ/s)  |      |      |
|       |        | 3.6        | 3.6  | 8.1  | 3.6         | 3.6  | 8.1  |
| 沈下なし  | 管No.15 | 6.9        | 6.9  | 9.7  | 32.6        | 32.6 | 46.0 |
| 沈下25% | 管No.10 | 12.0       | 12.2 | 14.8 | 15.4        | 15.1 | 26.8 |
| 沈下50% | 管No.5  | 10.0       | 8.2  | 13.1 | 19.6        | 25.7 | 31.3 |
|       | 管No.3  | 20.4       | 19.0 | —    | 8.4         | 90.  | —    |

注) 平均流速は、水位から計算により算出  
管No.は図－4.1を参照

表-4.4 下水管流入 BOD 水質

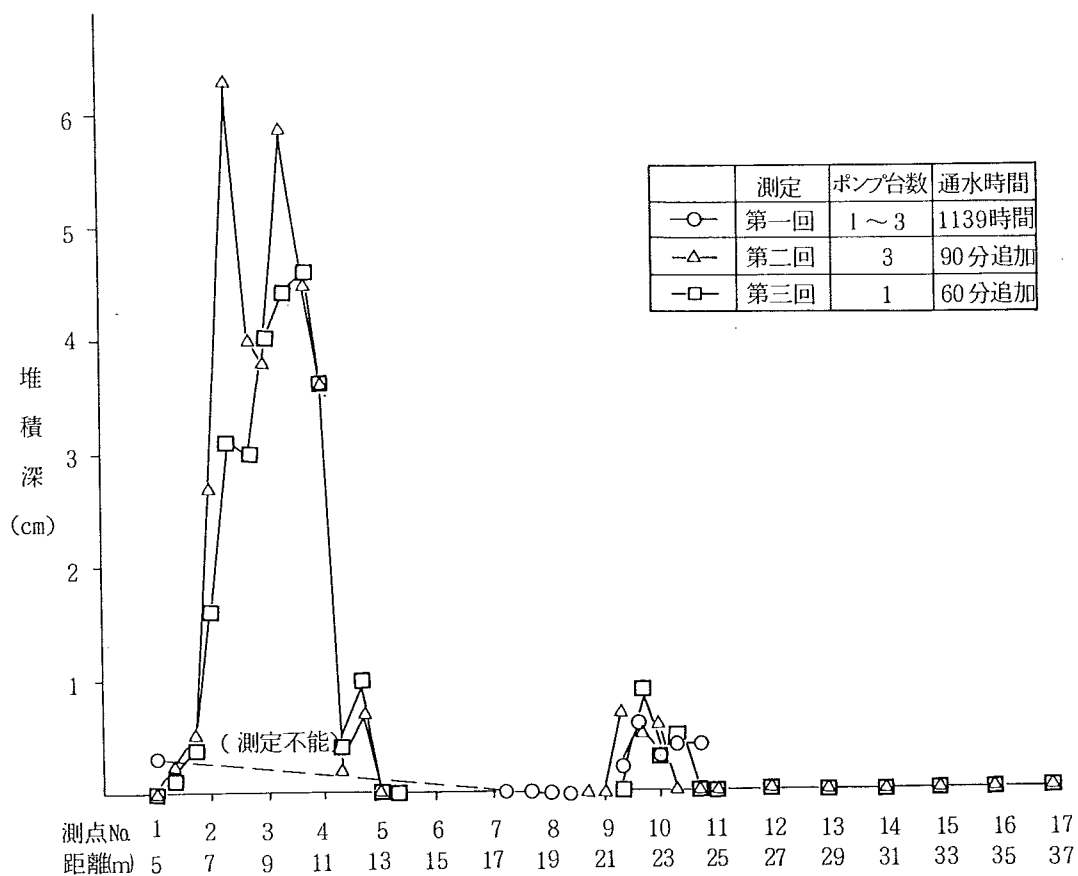
(単位: mg/ℓ)

| 時刻  |       | 調査日   |       |       |       |       |       |       | 平均値             |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
|     |       | 9/2   | 9/16  | 9/17  | 9/18  | 9/19  | 9/20  | 9/26  |                 |
| 10時 | 10:00 |       |       | 212.0 | 223.1 | 160.2 | 160.2 | 177.8 | 186.7           |
|     | 10:45 |       | 192.6 | 243.1 |       |       |       |       | 217.9           |
| 11時 | 11:45 |       | 434.0 |       |       |       |       |       | 434.0           |
| 12時 | 12:20 |       | 337.0 |       |       |       |       |       | 337.0           |
| 13時 | 13:25 |       | 316.3 |       |       |       |       |       | 316.3           |
| 14時 | 14:25 |       | 374.8 | 374.6 |       |       |       |       | 374.7           |
| 15時 | 15:40 |       | 174.8 |       |       |       |       |       | 174.8           |
| 16時 | 16:30 |       |       |       | 358.3 |       |       |       | 358.3           |
|     | 16:55 |       | 136.5 |       |       |       |       |       | 136.5           |
| 17時 | 17:00 |       |       |       | 366.8 | 358.3 |       |       | 362.6           |
|     | 17:50 |       | 127.3 |       |       |       |       |       | 127.3           |
| 18時 | 18:25 |       | 141.8 | 154.0 |       |       |       |       | 147.9           |
| 21時 | 21:00 | 259.5 |       |       |       |       |       |       | 259.5           |
|     |       |       |       |       |       |       |       |       | (日平均値)<br>264.1 |

表-4.5 下水管流入 SS 水質

(単位: mg/ℓ)

| 時刻  |       | 調査日 |      |      |      |      |      |      | 平均値           |
|-----|-------|-----|------|------|------|------|------|------|---------------|
|     |       | 9/2 | 9/16 | 9/17 | 9/18 | 9/19 | 9/20 | 9/26 |               |
| 10時 | 10:00 |     |      | 278  | 142  | 162  | 158  | 174  | 183           |
|     | 10:45 |     | 276  | 238  |      |      |      |      | 276           |
| 11時 | 11:45 |     | 827  |      |      |      |      |      | 533           |
| 12時 | 12:20 |     | 457  |      |      |      |      |      | 457           |
| 13時 | 13:25 |     | 453  |      |      |      |      |      | 453           |
| 14時 | 14:25 |     | 563  | 607  |      |      |      |      | 585           |
| 15時 | 15:40 |     | 192  |      |      |      |      |      | 192           |
| 16時 | 16:30 |     |      |      | 363  |      |      |      | 363           |
|     | 16:55 |     | 138  |      |      |      |      |      | 138           |
| 17時 | 17:00 |     |      |      | 407  | 403  |      |      | 405           |
|     | 17:50 |     | 151  |      |      |      |      |      | 151           |
| 18時 | 18:25 |     | 144  | 141  |      |      |      |      | 143           |
| 21時 | 21:00 | 214 |      |      |      |      |      |      | 214           |
|     |       |     |      |      |      |      |      |      | (日平均値)<br>315 |



注) 測定No.は図-4.1を参照。

図-4.5 実験装置内の汚泥の堆積深 (ケース1)

表-4.6 通水時間と堆積深の変化 (ケース2)

| 時 間    | 25%沈下部の<br>堆積厚(cm) | 50%沈下部の<br>堆積厚(cm) | 流 量<br>(ℓ/s) |
|--------|--------------------|--------------------|--------------|
| 0 時    | 0                  | 0                  | 3.6          |
| 2 時間後  | 0                  | 0.2                | 3.6          |
| 4 時間後  | 0                  | 0.6                | 3.6          |
| 6 時間後  | 0                  | 0.4                | 3.7          |
| 8 時間後  | 0                  | 0.5                | 3.7          |
| 10 時間後 | 0.1                | 0                  | 3.7          |
| 24 時間後 | 0.8                | 8.7                | 3.0          |

表－4.7 下水管流量と堆積深（ケース2、4）

〔50%沈下部〕

（単位；cm）

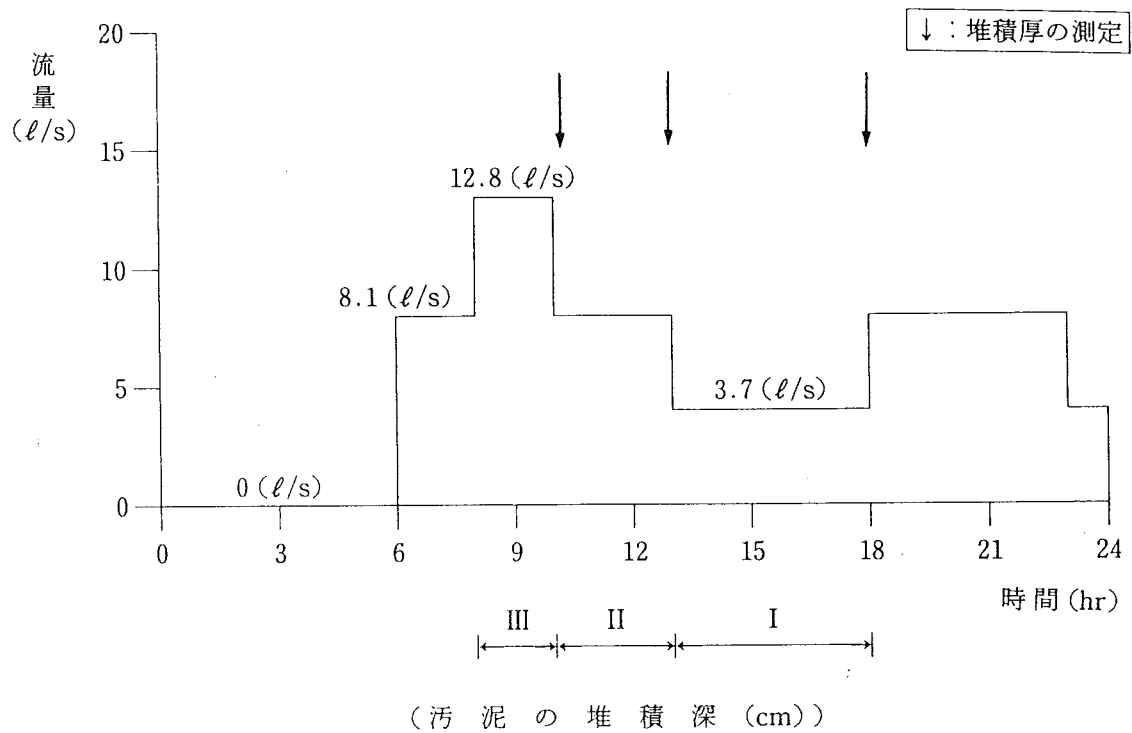
| 時間     | ポンプ1台       |           | 2台        | 3台         |
|--------|-------------|-----------|-----------|------------|
|        | 3.6 (ℓ/s)   | 3.6 (ℓ/s) | 8.1 (ℓ/s) | 11.6 (ℓ/s) |
| 5 時間後  | 0.4(6 hr 後) | —         | 0.4       | —          |
| 10 時間後 | 0.0         | —         | —         | —          |
| 15 時間後 | 0.0         | —         | —         | —          |
| 20 時間後 | —           | 8.2       | —         | 0.6        |
| 24 時間後 | 8.7         | —         | —         | —          |

表－4.8 連続通水実験（ケース6）の結果

| 実験経過<br>時刻(時) | 調査時の状況   |           | 注) 汚泥の堆積状況(cm) |        | 対応する日変動区間 |
|---------------|----------|-----------|----------------|--------|-----------|
|               | 流量 (ℓ/s) | 稼動ポンプ数(台) | 25%沈下部         | 50%沈下部 |           |
| 0             | 0.0      | 0         | 0              | 0      | —         |
| 0.5           | 3.7      | 1         | 0              | 0      | —         |
| 45            | 12.8     | 3         | 0              | 2.3    | Ⅲ         |
| 48            | 8.1      | 2         | 0              | 1.8    | Ⅱ         |
| 53            | 4.0      | 1         | 0.2            | 2.2    | Ⅰ         |
| 93            | 12.8     | 3         | 0              | 4.3    | Ⅲ         |
| 96            | (8.1)    | 2         | 0              | 3.7    | Ⅱ         |
| 101           | 3.9      | 1         | 0              | 6.0    | Ⅰ         |
| 117           | 12.7     | 3         | 0              | 2.9    | Ⅲ         |
| 120           | 8.1      | 2         | 0              | 2.9    | Ⅱ         |
| 125           | 3.8      | 3         | 0              | 3.4    | Ⅲ         |
| 192           | 8.0      | 2         | 0              | 2.9    | Ⅱ         |
| 194           | 3.9      | 1         | —              | —      | Ⅰ         |

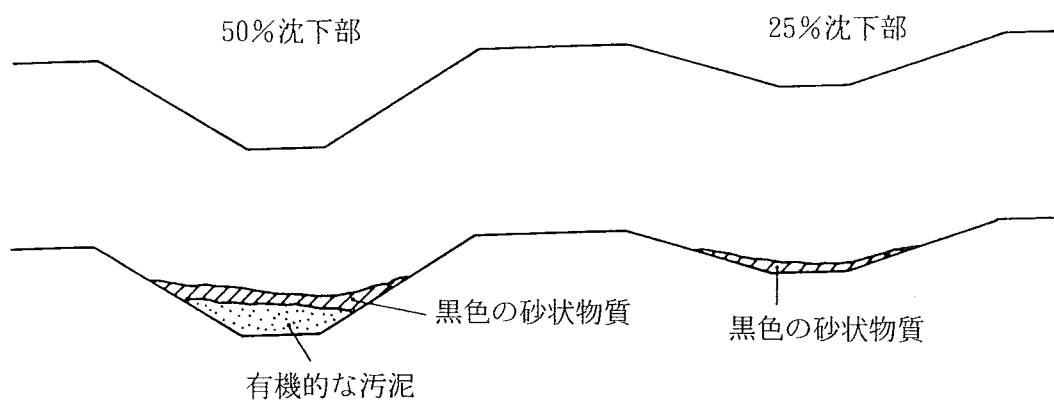
注) 堆積深は各区間での最大値で示した。

表-4.9 流量日変動パターンと堆積深の変化



(単位 cm)

| 場所     | 調査と経過時間<br>流量 (時刻) | 2日目(火)     |            |            | 3日目(水) | 4日目(木)     |            |             | 5日目(金)      |             |             | 6日目(土) | 7日目(日) | 8日目(月)      |             |             | 平均値 |
|--------|--------------------|------------|------------|------------|--------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|-----|
|        |                    | 45<br>(hr) | 48<br>(hr) | 53<br>(hr) | —      | 93<br>(hr) | 96<br>(hr) | 101<br>(hr) | 117<br>(hr) | 120<br>(hr) | 125<br>(hr) | —      | —      | 189<br>(hr) | 192<br>(hr) | 194<br>(hr) |     |
| 50%沈下部 | III (朝)            | 2.3        |            |            | 調査なし   | 4.3        |            |             | 2.9         |             |             | 調査なし   |        |             | 3.4         |             | 3.2 |
|        | II (昼)             |            | 1.8        |            |        |            | 3.7        |             |             | 2.9         |             |        |        |             |             | 2.9         | 2.8 |
|        | I (午後)             |            |            | 2.2        |        |            |            | 6.0         |             |             | 2.4         |        |        |             |             | —           | 3.5 |
| 25%沈下部 | III (朝)            | 0          |            |            | 調査なし   | 0          |            |             | 0           |             |             | 調査なし   |        |             | 0           |             | 0   |
|        | II (昼)             |            | 0          |            |        |            | 0          |             |             | 0           |             |        |        |             |             | 0           | 0   |
|        | I (午後)             |            |            | 0.2        |        |            |            | 0           |             |             | 0           |        |        |             |             | —           | 0.1 |



図－4.6 汚泥の堆積状況（ケース1）

表－4.10 不同沈下下水管内の堆積物性状（長期管通水実験（ケース1））

| 項 目       |             | 25%沈下部 | 50%沈下部 | 平 均    |        |
|-----------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| 化学的性質     | T S (%)     |        | 56.6   | 43.1   | 49.9   |
|           | V T S (%)   |        | 6.2    | 10.2   | 8.2    |
|           | T C (mg/l)  |        | 29.4   | 90.7   | 60.1   |
|           | T N (mg/l)  |        | 2.33   | 8.97   | 5.65   |
|           | 硫化物 (mg/g)  |        | 2.40   | 2.11   | 2.26   |
| 物理的<br>特性 | 比 重         |        | 2.34   | 2.37   | 2.36   |
|           | 粒子径<br>(mm) | 最 大    | 0.42   | 0.42   | 0.42   |
|           |             | 60 %   | 0.030  | 0.039  | 0.035  |
|           |             | 30 %   | 0.0085 | 0.018  | 0.013  |
|           |             | 10 %   | 0.0014 | 0.0033 | 0.0024 |
|           | 平均粒子径 (50%) |        | 0.0219 | 0.0321 | 0.0313 |
|           | 土質分類<br>(%) | 礫 分    | 0      | 0      | 0      |
|           |             | 砂 分    | 13     | 13     | 13     |
|           |             | シルト分   | 64     | 74     | 69     |
|           |             | 粘 土 分  | 23     | 13     | 18     |
| 備 考       |             |        |        |        |        |

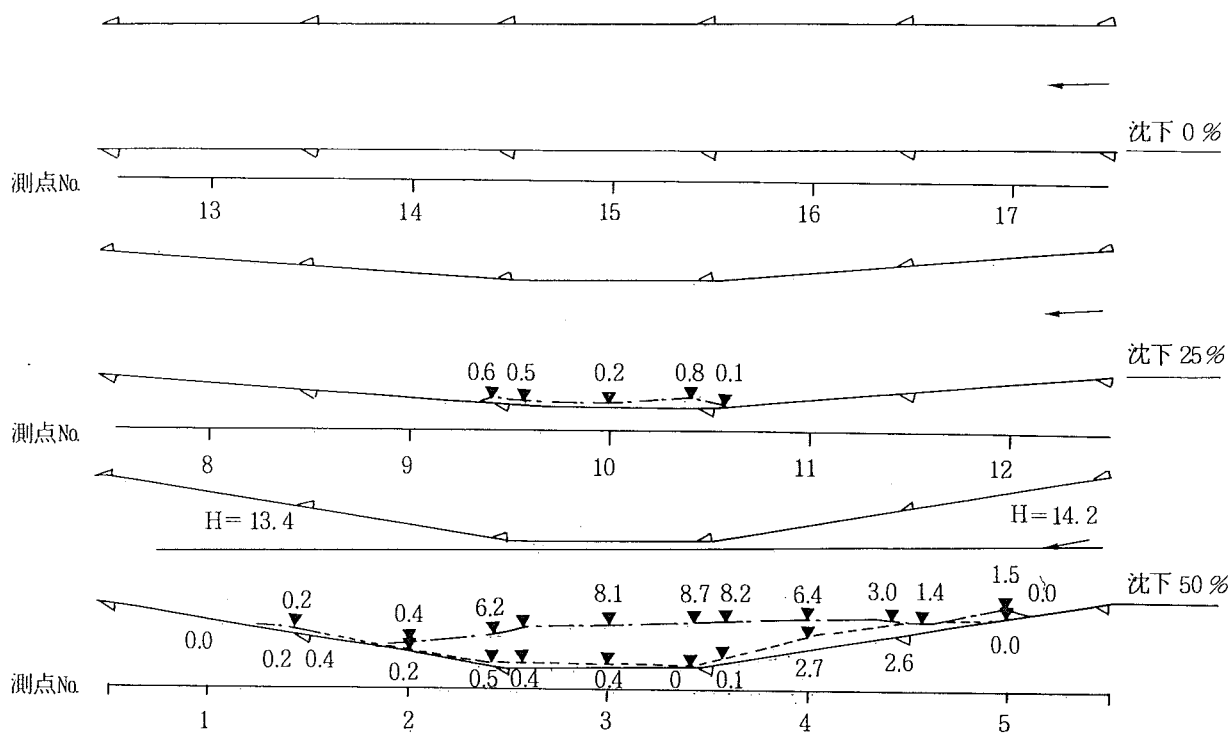


図-4.7(1) フラッシュ効果(1) 通水：5分  
流量：7.2  $\ell/s$

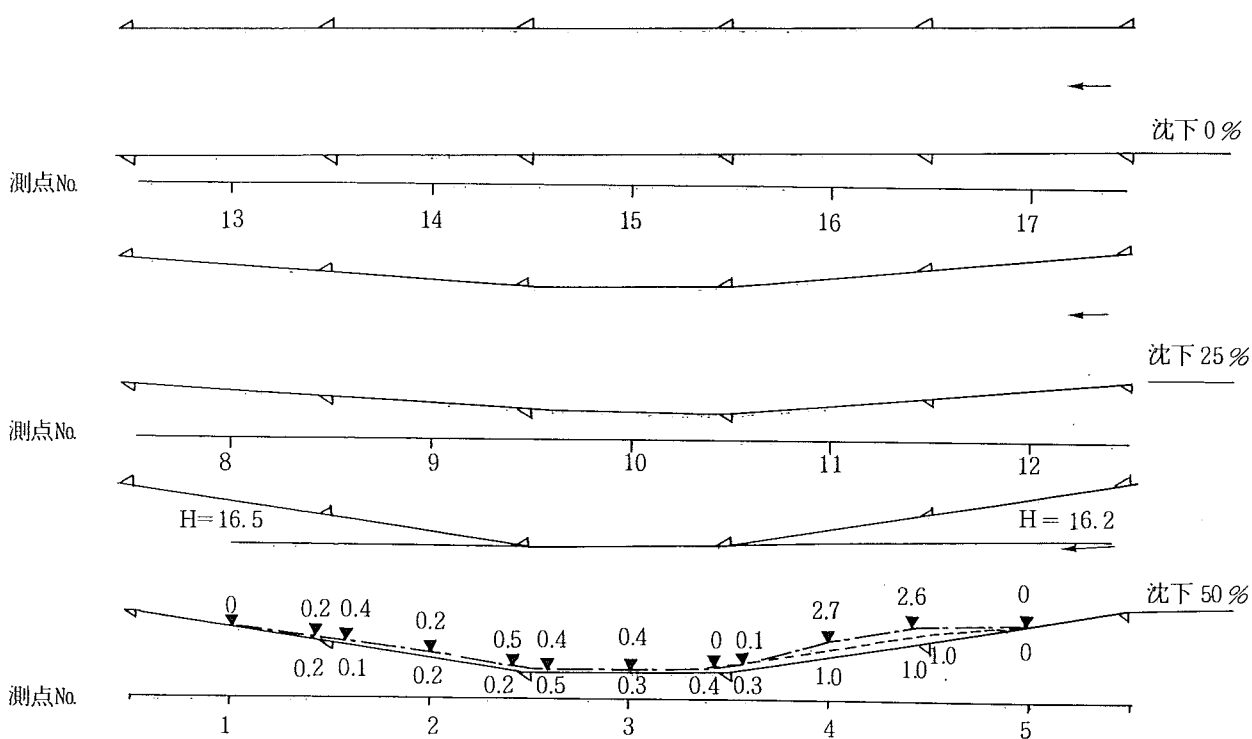


図-4.7(2) フラッシュ効果(2) 通水：5分  
流量：11.4  $\ell/s$

表-4.11 フラッシュ実験と汚泥の分析結果

| 試料名<br>項 目 |      | フラッシュ前<br>No.4    | フラッシュ前<br>No.5    | フラッシュ後<br>その1 No.5 | フラッシュ後<br>その2 No.4 | フラッシュ後<br>その2 No.5 |
|------------|------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 比 重        |      |                   | 2.635             | 2.633              |                    | 2.634              |
| T-S        | %    | 22.2              | 51.6              | 65.6               | 24.5               | 59.3               |
| VTS        | %    | 18.1              | 6.3               | 5.3                | 15.6               | 7.4                |
| T-C        | mg/g | 368.9             | 41.0              | 59.3               | 149.9              | 43.2               |
| 硫化物        | mg/g | 0.82              | 0.58              | 0.04               | 2.21               | 0.81               |
| 硫酸還元菌      | 個/g  | $2.3 \times 10^7$ | $9.3 \times 10^7$ | $2.3 \times 10^7$  | $7.4 \times 10^7$  | $2.3 \times 10^7$  |
| 硫酸イオン      | mg/g | 0.75              | 1.83              | 1.46               | 1.53               | 1.88               |

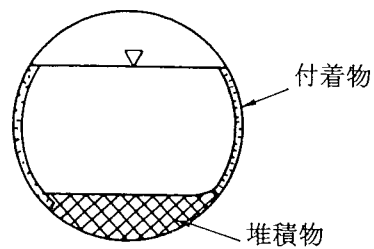
表-4.12 堆積汚泥の物理的性質

〔50%沈下部 No.4〕

| 項 目         |      | フラッシュ前 (A) | フラッシュ後 (B)<br>(フラッシュその2) | 汚泥の変化<br>(B/A) |
|-------------|------|------------|--------------------------|----------------|
| 比 重         |      | —          | —                        | —              |
| 粒 径<br>(mm) | 60 % | —          | —                        | —              |
|             | 30 % | —          | —                        | —              |
|             | 10 % | —          | —                        | —              |
| T-C (mg/g)  |      | 368.9      | 149.9                    | 0.41           |
| 堆 積 深 (cm)  |      | 6.4        | 2.7                      | 0.42           |

〔50%沈下部 No.4〕

| 項 目         |      | フラッシュ前<br>(A) | フ ラ シ ュ 後    |              | 汚泥の変化<br>(C/A) |
|-------------|------|---------------|--------------|--------------|----------------|
|             |      |               | (その1)<br>(B) | (その2)<br>(C) |                |
| 比 重         |      | 2.635         | 2.633        | —            | 0.89 (B/A)     |
| 粒 径<br>(mm) | 60 % | 0.89          | 0.90         | 0.83         | 0.93           |
|             | 30 % | 0.28          | 0.39         | 0.33         | 1.18           |
|             | 10 % | 0.14          | 0.20         | 0.105        | 0.75           |
| T-C (mg/g)  |      | 41.0          | 59.3         | 43.2         | 1.05           |
| 堆 積 深 (cm)  |      | 1.5           | 0.0          | 0.0          | —              |



図－4.8 下水管内付着状況

表－4.13 管内付着物の幅と付着厚

(単位 cm)

| 付 着 幅     |      | 付着物層厚    |      |
|-----------|------|----------|------|
| 範 囲       | 平均   | 範 囲      | 平均   |
| 13.1～14.7 | 14.3 | 0.15～0.4 | 0.25 |

注) ・管内の調査区間の水深は沈下量により異なるが  
12.5～17.6 cm 範囲である。  
・付着幅は、付着物上端の管幅で示してある。

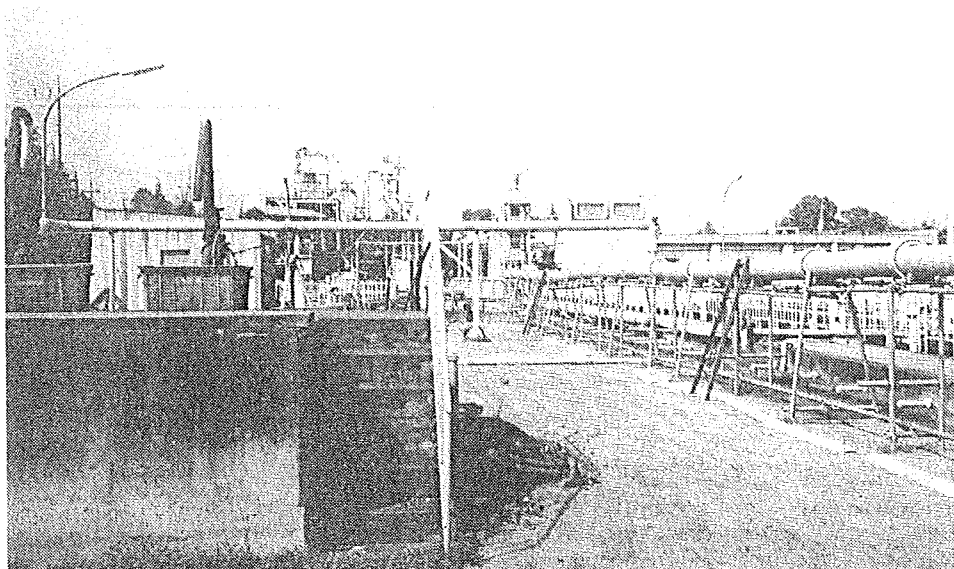
表－4.14 付着物の性質（下水管側壁部）

| 項 目         | 正常区間<br>(沈下量 0 %) | 50%沈下区間           | 平均値   |
|-------------|-------------------|-------------------|-------|
| T S (%)     | 9.0               | 13.5              | 11.3  |
| T C (mg/g)  | 356.5             | 475.4             | 416.0 |
| T N (mg/g)  | 60.91             | 43.13             | 52.02 |
| I L (%)     | 77.8              | 95.6              | 86.7  |
| 硫酸還元菌 (個/g) | $1.0 \times 10^9$ | $6.9 \times 10^8$ | —     |
| メタン生成菌 (定性) | ++                | ++                | —     |

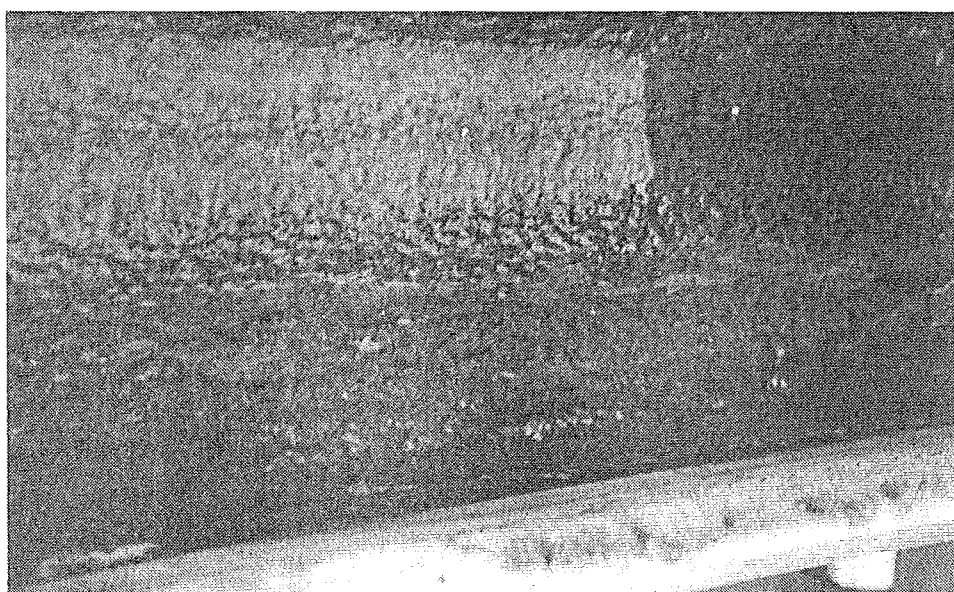
注) メタン生成菌は定性分析

++…やや多い

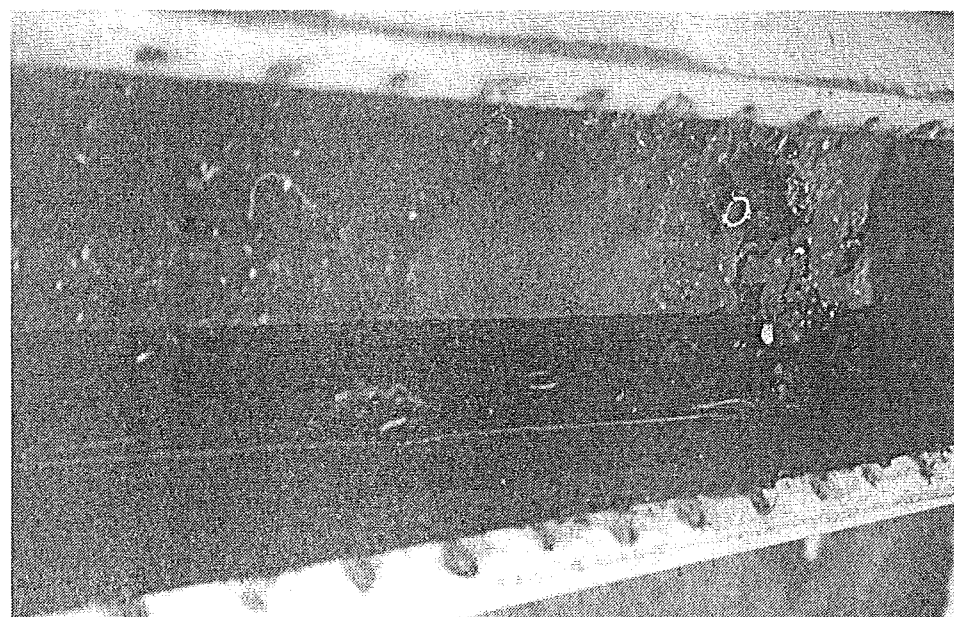
+…存在が認められる



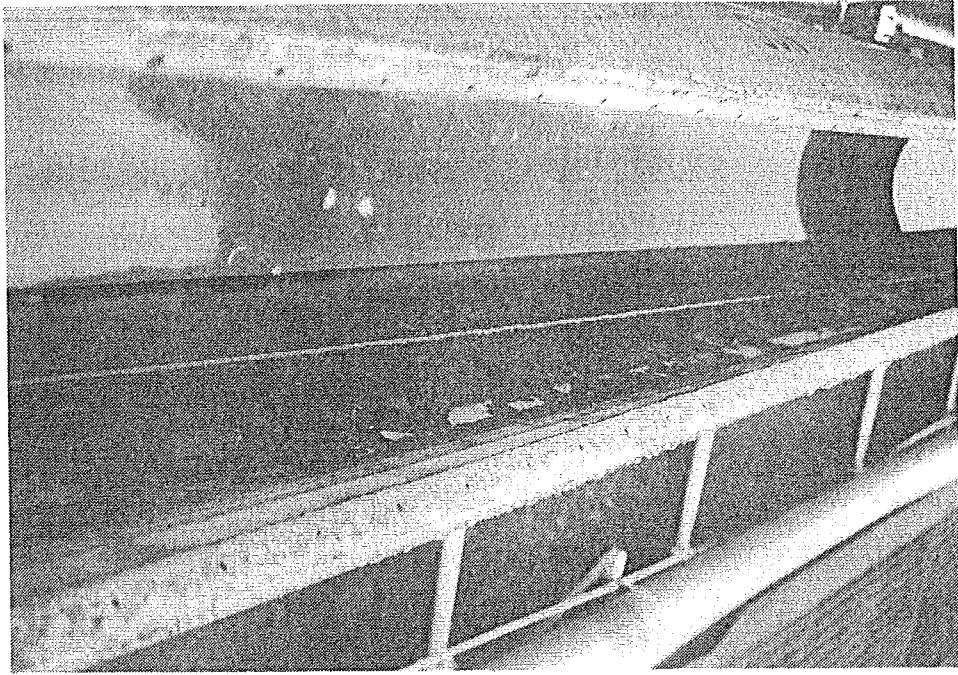
写真－4.1 実大模型実験装置の全景



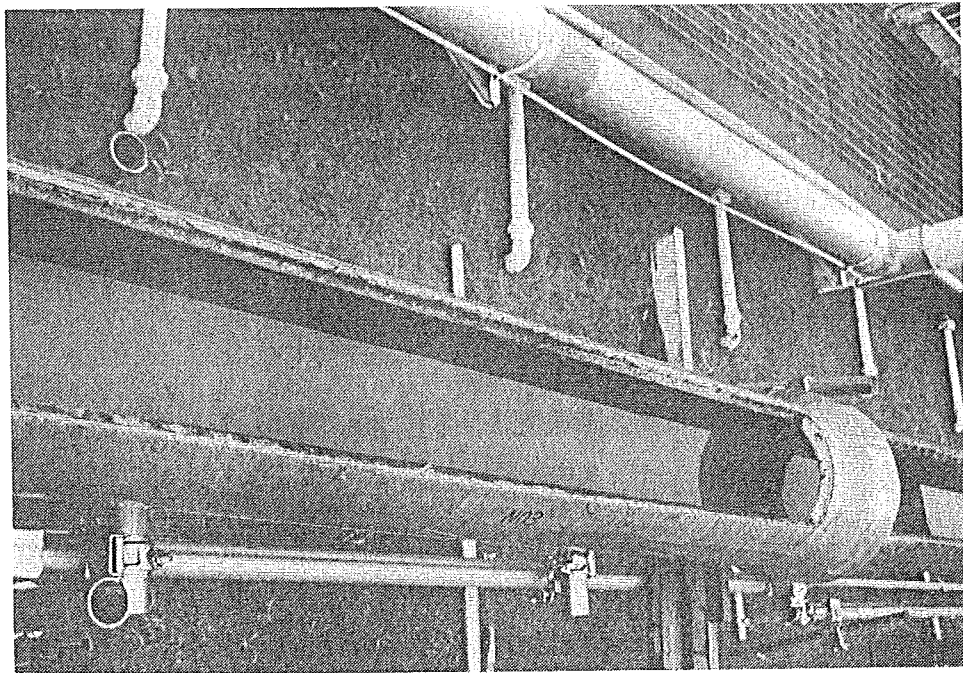
写真－4.2 正常区間の状況（長期通水実験）



写真－4.3 50%沈下区間の状況（長期通水実験）



写真－4.4 25%沈下区間の堆積状況（一定流量通水実験）



写真－4.5 50%沈下区間の堆積状況（一定流量通水実験）

## 5. 下水管内堆積物の掃流実験

### 5. 1 実験の概要

#### 5. 1. 1 実験の目的

3章の現地調査および4章の実大実験で、下水管内に堆積していた汚泥を対象として、実験装置を用いた掃流実験を行った。すなわち、実験の下水管で発生する掃流状況については調査そのものが困難であることから、実験から掃流現象を調べ、掃流力と堆積汚泥の移動の関係についての基礎資料を得るものである。

#### 5. 1. 2 実験内容と方法

実験は次に示す内容および手法で行った。

##### ① 実験の内容

実験は堆積汚泥の移動限界および掃流された堆積物の物理的性状について次の項目を調べた。

- ・ 掃流状況
- ・ 上・下流の圧力水頭
- ・ 掃流物の比重および粒度分布
- ・ 装置内流量
- ・ 掃流力の算定

##### ② 実験装置（図－5.1、写真－5.1）

実験装置は、一辺 5.0cmの正方形断面の管路（延長 230cm区間）と3個の水槽からなる。管路区間の中に 170cmの間隔でピエゾ管を設け、動水勾配を測定した。管路区間のうち中央部には長さ70cmの汚泥溜りを設けた。汚泥溜りは上下に移動できるようにしてある（写真－5.2）。今回の実験では試料の量が限られていることから、全てのケースについて堆積厚を 2 cmとした。量水槽の三角堰（ $\theta = 30^\circ$ ）および余水吐きを操作することにより、任意の流量（掃流力）の設定が可能である。

##### ③ 実験ケース

実験は、実際の下水管内と実大実験装置の沈下区間に堆積していた汚泥について、掃流力を 5 ～ 9 段階変化させて実施した。実験ケースを表－5.1 に示す。

### 5. 2 測定項目と手法

測定項目を以下に示す。測定は、管内の流れが定常状態に達した時点で行った。

#### 1) 流量

水槽に取り付けて三角堰（ $\theta = 30^\circ$ ）からの越流水深を1/10mm読みのポイントゲージで測り、「三角堰H～Q検定曲線図」により求めた。

#### 2) 圧力水頭

圧力水頭は、管路の壁面に埋設したピエゾ管と、これに連結するマノメータ板から基準をも

とにした水頭より測定した（図－5.2）。

### 3) 掃流流出物の粒径、比重の測定

掃流（浮遊も含む）された汚泥を掃流段階別に管路出口でプランクトンネット（網の目10ミクロン）を用いて採取し、粒度試験および比重試験を行った。

### 4) 汚泥掃流状況の観察

汚泥の流動状態は管路側面からのビデオ撮影および写真撮影で把握した。

### 5) 管内流速の算定

管内の流速が定常状態に達した時点での流速（V）とした。

$$V = Q / A \cdots \cdots (5-1)$$

ここに、

Q：流入量 (cm<sup>3</sup>/s)

A：管断面 (cm<sup>2</sup>) = 25cm<sup>2</sup>

V：管内平均流速 (cm<sup>3</sup>/s)

### 6) 動水勾配の算定（図－5.3）

動水勾配は汚泥溜り上・下流の圧力水頭より

$$I_e = (Z_u + P_u/W) - (Z_d + P_d/W) / \ell \cdots \cdots (5-2)$$

より求めた。

ここに、

(Z<sub>u</sub> + P<sub>u</sub>/W)：汚泥溜り上流部のある基準からの位置水頭と圧力水頭の和 (cm)

(Z<sub>d</sub> + P<sub>d</sub>/W)：汚泥溜り下流部のある基準からの位置水頭の圧力水頭の和 (cm)

ℓ：水平区間距離 (cm) = 170cm

I<sub>e</sub>：動水勾配

### 7) 平均的な掃流力

平均の掃流力は、

$$\gamma = W \cdot R \cdot I_e \cdots \cdots (5-3)$$

より算定した。

ここに、W：水の単位重量 (ρ・g)

ρ：水の密度 (=1000)

g：重力加速度 (=9.8)

R：径深 (m)

$$R = A / S = 0.05 \times 0.05 / 4 \times 0.05 = 0.0125m$$

I<sub>e</sub>：動水勾配

γ：掃流力 (N/m<sup>2</sup>)

### 5.3 予備実験結果

本実験に先立ち、以下の目的により予備実験を実施した。なお使用した材料はベンナイトと最大粒径2.00mm～最小粒径0.105 mmの混合砂とした。

- 1) 試験装置の最大流下能力および損失水頭の算出。
- 2) 汚濁溜りの中が空の場合の粗度係数および損失水頭の算出。
- 3) 汚泥溜りがない場合の管内流速と掃流力との関係。
- 4) ベンナイトおよび混合砂を用いて概略の移動限界を把握。

1)～4)までの検討結果を列記順に述べる。

- 1) 試験装置の最大流下能力は、約 3.4 ℓ/s、管内流速は約 1.4m/s となる。漏水は管路の一部で見られたが実験に支障を与える程の量ではなかった。また管路上面の一部にエアが残るため、なんらかの方法で除去することが望ましい。
- 2) 粗度係数は約  $n = 0.0099$  となる。
- 3) 管内流速が 0.1m/s 以下ではほとんど掃流力に差は見られない。管内流速の増加に伴い掃流力は下に凸の放物線で大きくなる。
- 4) ベントナイトおよび混合砂を使用した実験結果は次のようである。

ベントナイトは管内流速が約 1.2m/s (試験装置での最大) に達しても顕著な動きは見られなかった。これは、ベントナイトを水に浸すと反凝固化または粘性が大きくなることから粒子の動きが極端に鈍くなったものと思われる。一方、混合砂を使用した場合は、管内流速約 0.3 m/s で平均的粒子の移動が見られた。

以上1)～4)までの検討結果を参考にし、本実験へと進んだ。

### 5.4 本実験結果

#### 5.4.1 汚泥の流動状況

実験は管内掃流力を数段階に分け、表-5.1に示す場所で採取した汚泥の移動限界を調べたもので、その測定結果を一覧表として表-5.2にまとめている。

汚泥の流動状態について各ケースで目立った現象を以下に述べる。

##### 1) ケースA (S市下水管内堆積物)

このケースで使用した汚泥には、粒径20mmの礫も含まれており広範囲な粒度分布となっている。

2.0 mm以下の粒子は管内流速が0.40m/s 付近で移動を始める。礫の移動が見られたのは、 $V = 0.97\text{m/s}$  とした場合で礫は小粒子も含め一瞬にして流出した。なお、この段階では前段階から大幅に管内流速を増加させたため起きた現象であり、礫の移動としては $V = 0.97\text{m/s}$  より小さい領域で発生するものと思われる。(追加実験として次のケースBで実施)

##### 2) ケースB (S市下水管内堆積物)

この汚泥は、ケースAで使用したものと同種でありケースAの追加実験として実施した。礫の移動は $V=0.74\text{m/s}$  付近から見られ連続的に小粒子も含め流れる。

3) ケースC (T市下水管内堆積物人孔No.11地点)

このケースで使用した汚泥は、粒径 $25\text{mm}$ の礫を含む広範囲な粒度分布を示す。 $2\text{mm}$ 程度の粒子が連続的に掃流状態で流れるのは、 $V=0.58\text{m/s}$  付近からである。また管内流速が $V=0.71\text{m/s}$  付近に達すると、時々ではあるが礫の移動が始まり $V=0.82\text{m/s}$  付近から連続的な掃流状態が見られた。

4) ケースD (T市下水管内堆積物人孔No.12地点)

このケースで使用した汚泥は、平均比重 2.7、また最大粒径を $5\text{mm}$ とする粒度分布を示している。管内流速は、 $0.11\sim0.40\text{m/s}$  まで変化させた。汚泥の平均的粒子の移動は、 $V=0.32\text{m/s}$  付近で活発となり、それ以下では汚泥表面に薄く堆積していた微粒子が流れる程度で汚泥の流出はほとんどない。なお $V=0.23\text{m/s}$  に達した時、河床波が汚泥溜り上流部で見られた。

5) ケースE (T市下水管内堆積物人孔No.12地点)

このケースで使用した汚泥は、ケースDと同様である。2段階目で $V=0.34\text{m/s}$  としたが顕著な粒子の移動はなかった。なお、この時点でケースDでは顕著な動きを見せていた。

平均的粒子の移動は、第3段階目の $V=0.38\text{m/s}$  付近からである。このように同種の汚泥で流動状態が異なったのは以下の原因があげられる。

ケースDで用いた汚泥は、保存の際に水分が蒸発してしまったため粒子表面の有機物が除去された可能性があり、そのため粒子同士の粘着が弱くなり、したがって同種類の汚泥でも有機物を含んでいるケースEで使用した汚泥の方が鈍くなったと思われる。

6) ケースF (狭山台処理場内実験整流槽堆積物)

この汚泥の平均粒径は、 $0.6\text{mm}$ である。平均的粒子の動きがみられるのは、 $V=0.23\text{m/s}$  付近からであるが時間経過とともに鈍くなる。連続的に掃流状態で流れるのは、 $V=0.4\text{m/s}$  付近からで汚泥の堆積形状も刻々と変化する。

7) ケースG (狭山台処理場内実験50%沈下堆積物No.3)

このケースで使用した汚泥には生ゴミの固まり(直径 $5\text{mm}\sim10\text{mm}$ )やごはん粒、果物のたね等が多く含まれていた。平均的粒子の移動は、 $V=0.39\text{m/s}$  付近からでそれ以下では微粒子の浮遊(水路下半分が白く濁る)あるいは、生ゴミ等が底面を転動して流れる状況となっている。

8) ケースH (狭山台処理場内実験50%沈下部堆積No.4)

このケースで使用した汚泥は、ケースGで使用した汚泥と同様生ゴミおよび果物のたね等が多く含まれていた。生ゴミを含め平均的粒子が動くのは $V=0.36\text{m/s}$  付近からで、これ以下では生ゴミおよび微粒子のみが底面を転動あるいは浮遊して流れる。

#### 5.4.2 流速の変化と掃流物の種類

各ケースの各掃流段階ごとに掃流物の粒径と比重を分析した結果を表-5.3に示す。表には各

掃流段階で流出したものの総量（流出量）も示してある。比重は掃流段階で変化しないが、掃流物の粒径は、流速が速くなる程大きくなる傾向がある。粒径の変化が特に顕著なケースC（T市下水管内堆積物）の、掃流段階と粒径分布の変化を図-5.4に示す。ケースCの試料は、60%平均粒径が4.6mmで比重が2.7と無機物の砂分が多量に含まれる。中には25mm程度の礫分も含まれている。流速が増加するに従い、掃流されるものの粒径が大きくなっていることがわかる。

#### 5.4.3 汚泥にかかる掃流力

掃流力は管内に堆積した汚泥が、流速されるか否かを定める要素となる。掃流力が下水管内堆積物の限界掃流力を超えると堆積物は掃流されることになる。掃流実験より求めた、平均的な掃流力 $\tau$ と装置内平均流速 $V$ の関係を図-5.5に示す。また、汚泥を入れないアクリル部のみの掃流力と平均流速も示してある。

図-5.5をみると汚泥を敷いた場合の掃流力はアクリルのみの掃流力より大きくなる。これは汚泥をいれた場合、汚泥堆積部の抵抗が大きくなることを示している。汚泥の移動と掃流力の関係をみる場合、この汚泥にかかる掃流力が必要となる。本実験装置の汚泥にかかる掃流力は次式で表わされる。

$$\tau_o \times A_o = \tau \times A - \tau_a \times A_a \quad \cdots (5-4)$$

ここに、

$\tau_o$  : 汚泥部の掃流力 ( $N/m^2$ )

$\tau$  : 管内平均 "

$\tau_a$  : アクリルの "

$A_o$  : 汚泥部の面積 ( $m^2$ ) (=0.035)

$A$  : 管内の " (=0.34)

$A_a$  : アクリルの " (=0.305)

また(5-3)式は

$$\tau = \rho g R I = \rho g R n^2 v^2 / R^{4/3} = \rho g n^2 / R^{1/3} V^2$$

ここに、

$V$  : 装置内平均流速

と表わされる。

アクリルの掃流力 $\tau_a$ を実測値をもとに求めると

$$\tau_a = 3.1 V^2 \cdots \cdots (5-5)$$

となる。

また、汚泥を入れた管内平均掃流力 $\tau$ を同様に実測値をもとに求めると

$$\tau = 4.6 V^2 \cdots \cdots (5-6)$$

となる。

(5-5)、(5-6)式を(5-4)式に代入して汚泥部にかかる掃流力 $\tau_o$ を求めると

$$\tau_0 = 4.58 V^2 \times 0.34 - 3.08 V^2 \times 0.305 / 0.035 = 17.7 V^2 \dots\dots\dots (5-7)$$

となり、これが実際に汚泥にかかる掃流力と考えられる。ただしこれらは生ゴミ・有機等を多く含む汚泥と砂、礫等を多く含む汚泥を混同して考えているので実際には比較的なめらかな汚泥とゴツゴツした汚泥では違いがあるものと思われる。しかし、ここでは代表性の問題もあるので、下水管内堆積汚泥としてそれらを統一して考えることとする。

#### 5.4.4 掃流力と汚泥の掃流状況

汚泥掃流実験から得られた装置内平均流速と汚泥の掃流状態をまとめたものを表-5.4に示す。

表には試料の平均粒径(60%粒径)、最大粒径および(5-7)式で求めた汚泥部の掃流力 $\tau_0$ も示してある。表より掃流力 $\tau_0$ と掃流汚泥の関係を見出すことができる。つまり、

- ① 有機質な汚泥が掃流されるのは掃流力が $0.3\text{N/m}^2$ 程度からである。
- ② 無機質な汚泥(粒径 $2\text{mm}$ 程度の砂)が掃流されるのは掃流力が $1.6\text{N/m}^2$ 程度からである。

この掃流力を介して、掃流実験と実際の下水管内を結び付けることが可能となる。なお、ここで言う掃流とは対象とする汚泥が一様に動きだしはじめた状態である。

試料は実際の下水管内、実大模型実験装置内に堆積していたものであるため、いろいろなものが含まれており、このため多少バラツキがある結果となった。また、汚泥の掃流状態は実験中とその後ビデオテープの記録をもとに観察し記述したものである。今後、より多くの試料について観察を行うことにより、確かな見解が得られくものと考えている。

#### 5.4.5 粗度係数

汚泥掃流実験結果の汚泥部にかかる掃流力より、汚泥部の粗度係数を逆算する。

汚泥部分では

$$\tau_0 = 17.7 V^2$$

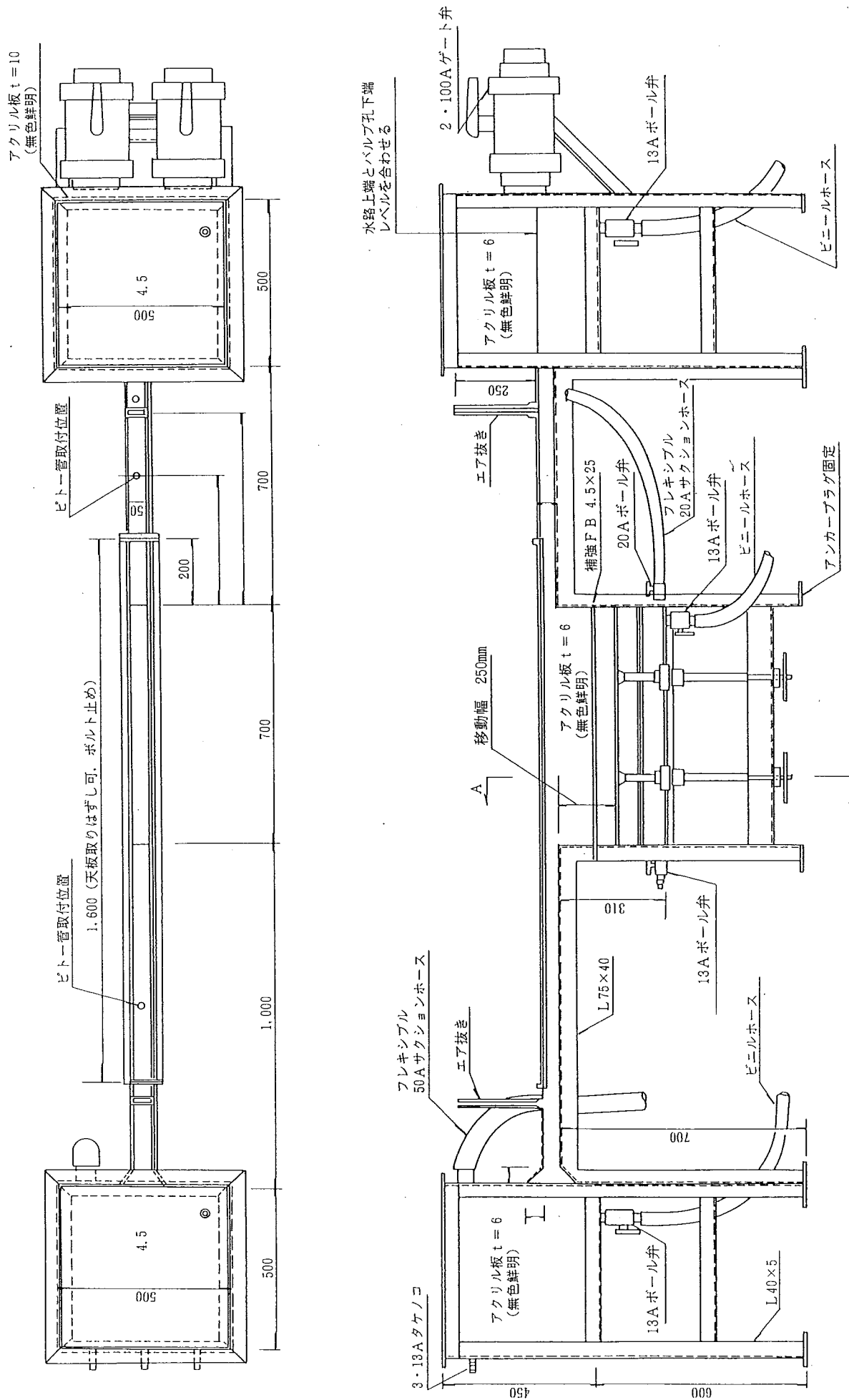
つまり

$$1000 \times 9.8 \times n_0^2 / (0.0125)^{1/3} = 17.7$$

$$n_0 = 0.020$$

よって、汚泥の粗度係数は約0.02である。

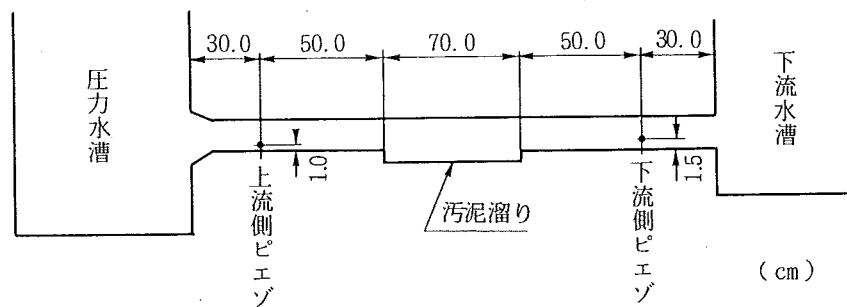
ただし、今回対象とした汚泥は種類も少ないため、今後更に検討する必要がある。



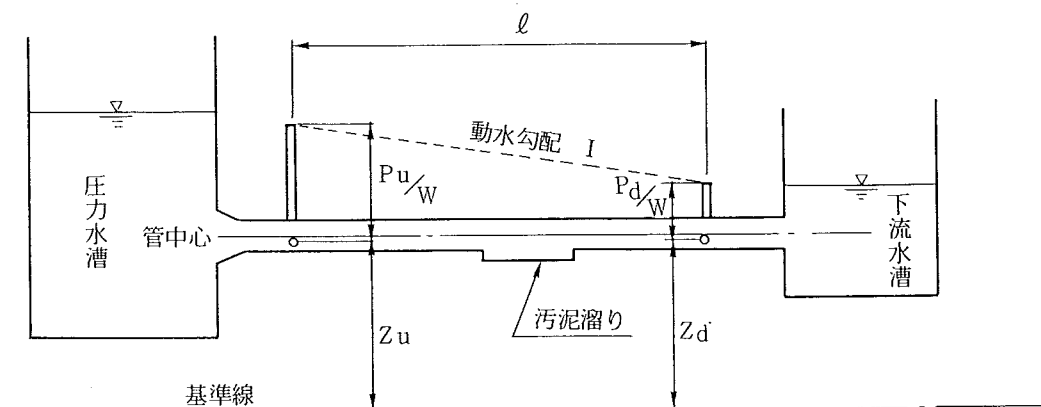
図一5.1 実験装置概要図

表－5.1 実験ケースと堆積物の性状

| 実験ケース | 採取場所                             | 掃流段階 | 堆積物の性状 | 60%粒径(mm) |
|-------|----------------------------------|------|--------|-----------|
| A, B  | S市下水管内堆積物                        | 7, 7 | 礫を含む   | —         |
| C     | T市下水管内堆積物<br>人孔No.11             | 9    | 礫を含む   | 4.6       |
| D, E  | T市下水管内堆積物<br>人孔No.12             | 5, 5 | 礫を含む   | 0.43      |
| F     | 狭山台処理場内実験整流<br>槽堆積物              | 5    | 砂分が多い  | 0.7~0.82  |
| G     | 狭山台処理場内実験50%<br>沈下部堆積物<br>管No. 3 | 5    | 有機物が多い | —         |
| H     | 狭山台処理場内実験50%<br>沈下部堆積物<br>管No. 4 | 5    | 有機物が多い | —         |



図－5.2 実験装置のピエゾ管の位置



図－5.3 実験装置での動水勾配

表-5.2 汚泥掃流実験の測定結果

| 実 験<br>ケース |   | 流 量<br>Q (ℓ/s) | 上流圧力水頭<br>P <sub>u</sub> (cm) | 下流圧力水頭<br>P <sub>d</sub> (cm) | 動水勾配<br>I <sub>e</sub> | 管内流速<br>V (cm/s) | 掃流力<br>τ (N／m <sup>2</sup> ) |
|------------|---|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|------------------------------|
| A          | 1 | 0.21           | 6.40                          | 6.35                          | 2.94E-04               | 8.4              | 0.04                         |
|            | 2 | 0.28           | 6.70                          | 6.55                          | 8.82E-04               | 11.2             | 0.11                         |
|            | 3 | 0.38           | 7.10                          | 6.80                          | 1.76E-03               | 15.2             | 0.22                         |
|            | 4 | 0.71           | 8.30                          | 7.60                          | 4.12E-03               | 28.4             | 0.50                         |
|            | 5 | 1.04           | 9.55                          | 8.25                          | 7.65E-03               | 41.6             | 0.94                         |
|            | 6 | 1.29           | 12.05                         | 10.20                         | 1.09E-02               | 51.6             | 1.33                         |
|            | 7 | 2.42           | 15.75                         | 8.90                          | 4.03E-02               | 96.8             | 4.94                         |
| B          | 1 | 0.53           | 6.55                          | 6.30                          | 1.47E-03               | 21.2             | 0.18                         |
|            | 2 | 0.78           | 7.90                          | 7.25                          | 3.82E-03               | 31.2             | 0.47                         |
|            | 3 | 0.93           | 9.15                          | 8.20                          | 5.59E-03               | 37.2             | 0.69                         |
|            | 4 | 1.04           | 9.88                          | 8.90                          | 5.76E-03               | 41.6             | 0.71                         |
|            | 5 | 1.60           | 12.80                         | 9.80                          | 1.76E-02               | 64.0             | 2.16                         |
|            | 6 | 1.84           | 14.10                         | 10.80                         | 1.94E-02               | 73.6             | 2.38                         |
|            | 7 | 2.02           | 14.80                         | 11.00                         | 2.24E-02               | 80.8             | 2.74                         |
| C          | 1 | 0.28           | 6.75                          | 6.70                          | 2.94E-04               | 11.2             | 0.04                         |
|            | 2 | 0.35           | 7.00                          | 6.80                          | 1.18E-03               | 14.0             | 0.14                         |
|            | 3 | 0.52           | 7.60                          | 7.20                          | 2.35E-03               | 20.8             | 0.29                         |
|            | 4 | 0.74           | 8.30                          | 7.70                          | 3.53E-03               | 29.6             | 0.43                         |
|            | 5 | 0.91           | 9.05                          | 8.10                          | 5.59E-03               | 36.4             | 0.69                         |
|            | 6 | 1.18           | 9.95                          | 8.40                          | 9.12E-03               | 47.2             | 1.12                         |
|            | 7 | 1.45           | 11.15                         | 9.00                          | 1.26E-02               | 58.0             | 1.55                         |
|            | 8 | 1.77           | 12.60                         | 9.50                          | 1.82E-02               | 70.8             | 2.23                         |
|            | 9 | 2.06           | 13.30                         | 9.30                          | 2.35E-02               | 82.4             | 2.88                         |
| D          | 1 | 0.28           | 7.30                          | 7.20                          | 5.88E-04               | 11.2             | 0.07                         |
|            | 2 | 0.41           | 8.10                          | 7.80                          | 1.76E-03               | 16.4             | 0.22                         |
|            | 3 | 0.58           | 8.90                          | 8.40                          | 2.94E-03               | 23.2             | 0.36                         |
|            | 4 | 0.80           | 9.70                          | 9.10                          | 3.53E-03               | 32.0             | 0.43                         |
|            | 5 | 1.00           | 10.30                         | 9.50                          | 4.71E-03               | 40.0             | 0.58                         |
| E          | 1 | 0.48           | 8.30                          | 7.90                          | 2.35E-03               | 19.2             | 0.29                         |
|            | 2 | 0.84           | 9.60                          | 8.90                          | 4.12E-03               | 33.6             | 0.50                         |
|            | 3 | 0.94           | 10.00                         | 9.20                          | 4.71E-03               | 37.6             | 0.58                         |
|            | 4 | 1.28           | 11.40                         | 10.30                         | 6.47E-03               | 51.2             | 0.79                         |
|            | 5 | 1.58           | 12.90                         | 11.20                         | 1.00E-02               | 63.2             | 1.23                         |
| F          | 1 | 0.27           | 6.65                          | 6.50                          | 8.28E-04               | 10.8             | 0.11                         |
|            | 2 | 0.36           | 7.05                          | 6.70                          | 2.06E-03               | 14.4             | 0.25                         |
|            | 3 | 0.58           | 7.95                          | 7.45                          | 2.94E-03               | 23.2             | 0.36                         |
|            | 4 | 1.00           | 9.10                          | 8.20                          | 5.29E-03               | 40.0             | 0.65                         |
|            | 5 | 1.15           | 9.60                          | 8.50                          | 6.47E-03               | 46.0             | 0.79                         |
| G          | 1 | 0.12           | 6.50                          | 6.45                          | 2.94E-04               | 4.8              | 0.04                         |
|            | 2 | 0.28           | 7.40                          | 7.20                          | 1.18E-03               | 11.2             | 0.14                         |
|            | 3 | 0.40           | 8.10                          | 7.80                          | 1.76E-03               | 16.0             | 0.22                         |
|            | 4 | 0.76           | 9.45                          | 9.00                          | 2.65E-03               | 30.4             | 0.32                         |
|            | 5 | 0.97           | 12.30                         | 11.60                         | 4.12E-03               | 38.8             | 0.50                         |
| H          | 1 | 0.29           | 6.80                          | 6.50                          | 1.76E-03               | 11.6             | 0.22                         |
|            | 2 | 0.51           | 7.60                          | 7.20                          | 2.35E-03               | 20.4             | 0.29                         |
|            | 3 | 0.89           | 8.75                          | 8.00                          | 4.41E-03               | 35.6             | 0.54                         |
|            | 4 | 0.99           | 9.00                          | 8.10                          | 5.29E-03               | 39.6             | 0.65                         |
|            | 5 | 1.28           | 9.90                          | 8.65                          | 7.35E-03               | 51.2             | 0.90                         |

表－5.3(a) 掃流段階ごとの流出物と流出量

| 実 験<br>ケース | 通 水 前                 |                      |     | 流 出 後                 |                      |       | 流出量<br>qs(g/s) |
|------------|-----------------------|----------------------|-----|-----------------------|----------------------|-------|----------------|
|            | 最大粒径                  | 平均粒径                 | 比 重 | 最大粒径                  | 平均粒径                 | 比 重   |                |
|            | d <sub>MAX</sub> (mm) | d <sub>50</sub> (mm) | G   | d <sub>MAX</sub> (mm) | d <sub>50</sub> (mm) | G     |                |
| A          | 1                     | 19.1                 | 4.7 | 2.65                  |                      |       |                |
|            | 2                     |                      |     |                       |                      |       |                |
|            | 3                     |                      |     |                       |                      |       |                |
|            | 4                     |                      |     |                       |                      |       | 0.002          |
|            | 5                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.52  | 0.010          |
|            | 6                     |                      |     |                       | 2.00                 | 1.30  | 2.629          |
|            | 7                     |                      |     |                       | 19.10                | 6.50  | 2.707          |
| B          | 1                     | 19.1                 | 4.7 | 2.65                  |                      |       |                |
|            | 2                     |                      |     |                       |                      |       |                |
|            | 3                     |                      |     |                       |                      |       | 0.002          |
|            | 4                     |                      |     |                       |                      |       | 0.001          |
|            | 5                     |                      |     |                       | 0.84                 | 0.41  | 2.646          |
|            | 6                     |                      |     |                       | 19.10                | 11.00 | 2.688          |
|            | 7                     |                      |     |                       | 25.40                | 9.50  | 2.672          |

表－5.3(b) 掃流段階ごとの流出物と流出量

| 実 験<br>ケース | 通 水 前                 |                      |     | 流 出 後                 |                      |      | 流出量<br>qs(g/s) |
|------------|-----------------------|----------------------|-----|-----------------------|----------------------|------|----------------|
|            | 最大粒径                  | 平均粒径                 | 比 重 | 最大粒径                  | 平均粒径                 | 比 重  |                |
|            | d <sub>MAX</sub> (mm) | d <sub>50</sub> (mm) | G   | d <sub>MAX</sub> (mm) | d <sub>50</sub> (mm) | G    |                |
| C          | 1                     | 25.4                 | 4.6 | 2.70                  |                      |      |                |
|            | 2                     |                      |     |                       |                      |      |                |
|            | 3                     |                      |     |                       |                      |      |                |
|            | 4                     |                      |     |                       |                      |      | 0.002          |
|            | 5                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.42 | 2.664          |
|            | 6                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.43 | 2.699          |
|            | 7                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.45 | 2.699          |
|            | 8                     |                      |     |                       | 9.52                 | 0.48 | 2.653          |
|            | 9                     |                      |     |                       | 19.10                | 4.50 | 2.670          |
| D          | 1                     | 4.8                  | 0.4 | 2.70                  |                      |      |                |
|            | 2                     |                      |     |                       | 0.84                 |      |                |
|            | 3                     |                      |     |                       | 0.84                 |      |                |
|            | 4                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.40 | 0.04           |
|            | 5                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.40 | 2.699          |

表－5.3(c) 掃流段階ごとの流出物と流出量

| 実 験<br>ケース | 通 水 前                 |                      |     | 流 出 後                 |                      |      | 流出量<br>qs(g/s) |
|------------|-----------------------|----------------------|-----|-----------------------|----------------------|------|----------------|
|            | 最大粒径                  | 平均粒径                 | 比 重 | 最大粒径                  | 平均粒径                 | 比 重  |                |
|            | d <sub>MAX</sub> (mm) | d <sub>50</sub> (mm) | G   | d <sub>MAX</sub> (mm) | d <sub>50</sub> (mm) | G    |                |
| E          | 1                     | 4.8                  | 0.4 | 2.70                  | 2.00                 |      |                |
|            | 2                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.38 | 0.01           |
|            | 3                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.40 | 0.08           |
|            | 4                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.42 | 1.05           |
|            | 5                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.42 | 2.673          |
| F          | 1                     |                      |     |                       |                      |      |                |
|            | 2                     |                      |     |                       |                      |      |                |
|            | 3                     |                      |     |                       | 0.84                 | 0.50 | 0.003          |
|            | 4                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.57 | 2.686          |
|            | 5                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.57 | 2.728          |
| G          | 1                     | 9.5                  | 0.9 | 2.65                  |                      |      |                |
|            | 2                     |                      |     |                       |                      |      |                |
|            | 3                     |                      |     |                       |                      |      |                |
|            | 4                     |                      |     |                       |                      |      |                |
|            | 5                     |                      |     |                       | 0.84                 | 0.42 | 2.456          |

表－5.3(d) 掃流段階ごとの流出物と流出量

| 実 験<br>ケース | 通 水 前                 |                      |     | 流 出 後                 |                      |      | 流出量<br>qs(g/s) |
|------------|-----------------------|----------------------|-----|-----------------------|----------------------|------|----------------|
|            | 最大粒径                  | 平均粒径                 | 比 重 | 最大粒径                  | 平均粒径                 | 比 重  |                |
|            | d <sub>MAX</sub> (mm) | d <sub>50</sub> (mm) | G   | d <sub>MAX</sub> (mm) | d <sub>50</sub> (mm) | G    |                |
| H          | 1                     | 9.5                  | 0.9 | 2.64                  |                      |      |                |
|            | 2                     |                      |     |                       |                      |      | 0.004          |
|            | 3                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.60 | 2.238          |
|            | 4                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.60 | 2.404          |
|            | 5                     |                      |     |                       | 2.00                 | 0.68 | 2.391          |

※ただし通水前の分析事項に記入してある数値は現地調査、実大実験により分析した結果がのせてある。

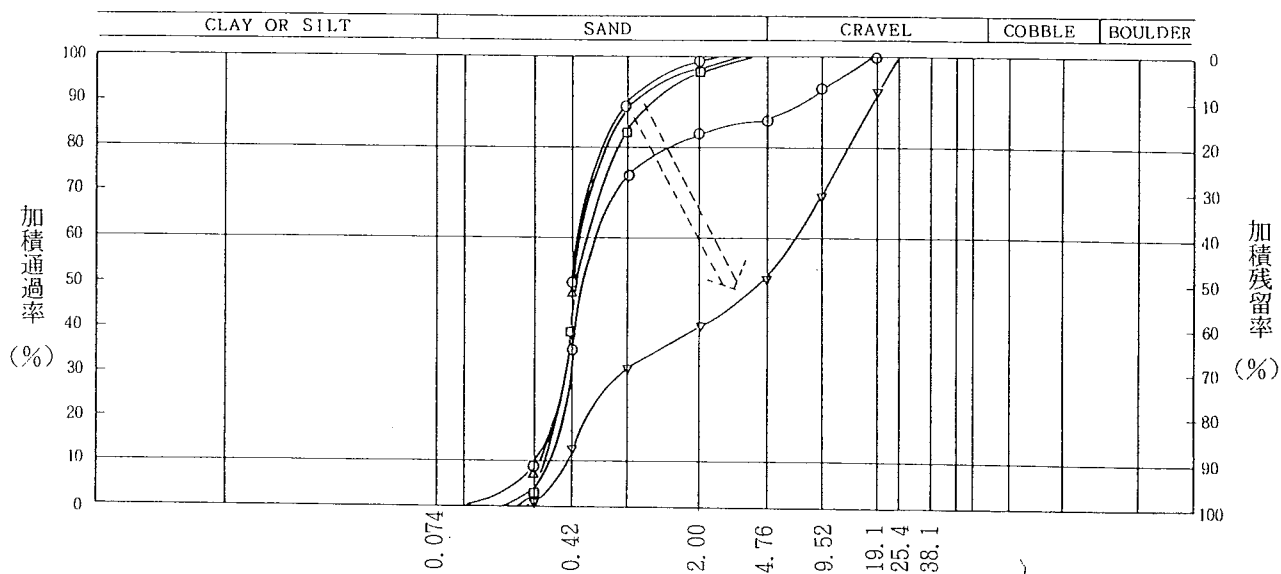


図-5.4 掃流条件と粒径分布の変化 (ケースC)

| 凡 例 |   |   | 管内流速 (cm/s) |
|-----|---|---|-------------|
| C   | 5 | ○ | 36.4        |
|     | 6 | △ | 47.2        |
|     | 7 | □ | 58.0        |
|     | 8 | ◇ | 70.8        |
|     | 9 | ▽ | 82.4        |

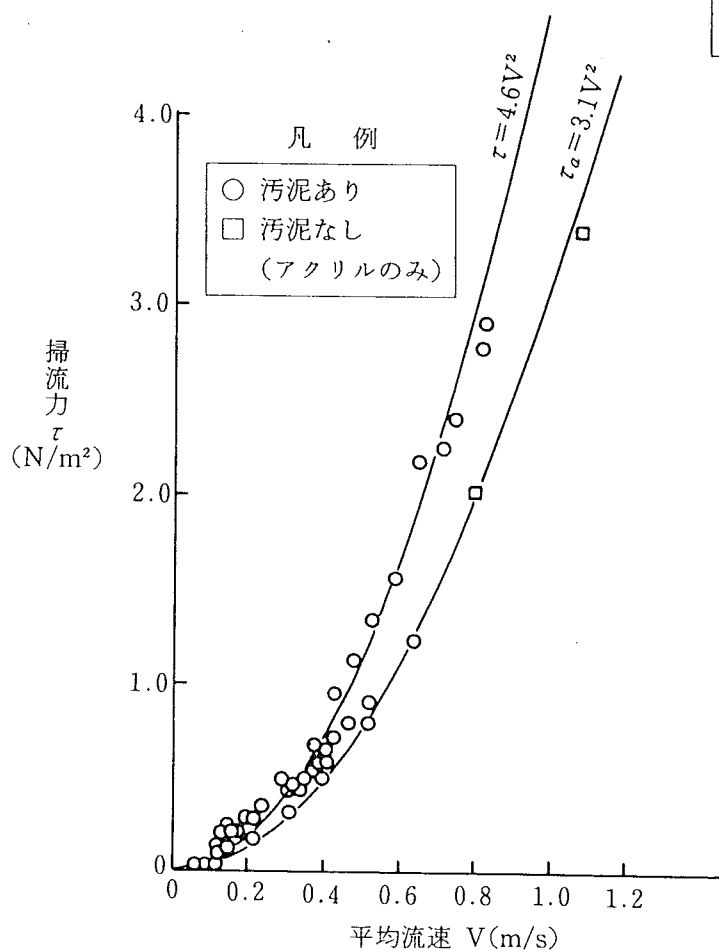
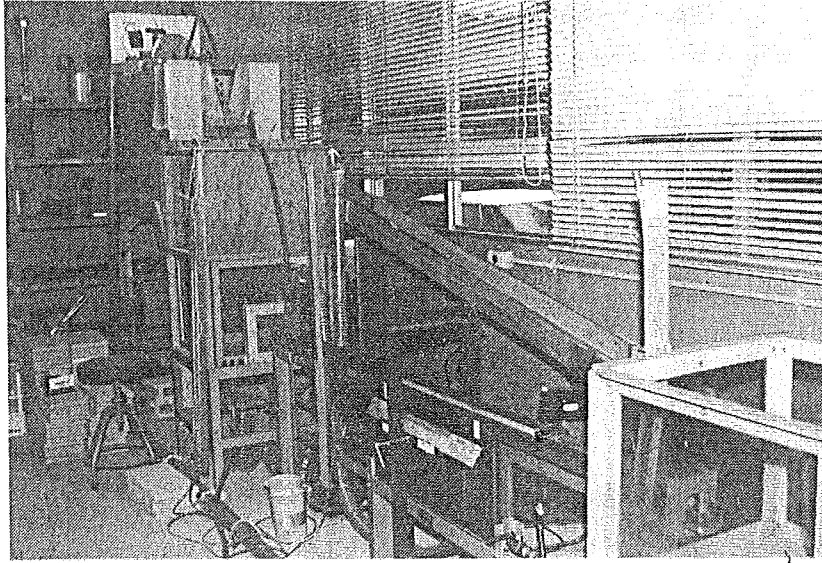


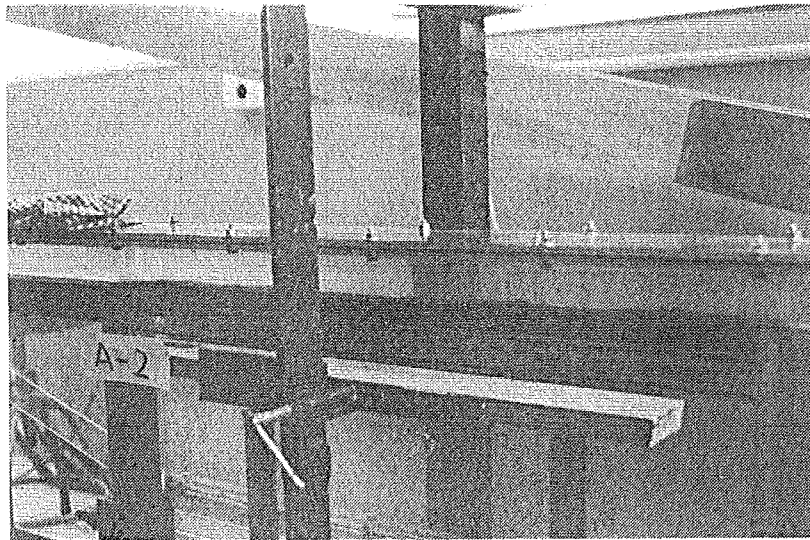
図-5.5 掃流力と平均流速の関係

表-5.4 装置内平均流速、汚泥部の掃流力と汚泥の掃流状態関係図

| 実験ケース     |                                                                                                  |                 |                                                     | A         | B                      | C                                   | D                   | E                    | F                                  | G                        | H                        |  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------|-----------|------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| 試料名       |                                                                                                  |                 |                                                     | S市下水管内堆積物 | S市下水管内堆積物              | T市下水管内堆積物人孔 No. 11                  | T市下水管内堆積物人孔 No. 12  | T市下水管内堆積物人孔 No. 12   | 狭山台処理場内実験整備溜堆積物                    | 狭山台処理場内実験50%沈下部堆積物 No. 3 | 狭山台処理場内実験50%沈下部堆積物 No. 4 |  |
| 平均粒径 (mm) |                                                                                                  |                 |                                                     | 4.7       | 4.7                    | 4.6                                 | 0.4                 | 0.4                  | —                                  | 0.9                      | 0.9                      |  |
| 最大粒径 (mm) |                                                                                                  |                 |                                                     | 19.1      | 19.1                   | 25.4                                | 4.8                 | 4.8                  | —                                  | 9.5                      | 9.5                      |  |
| 比重        |                                                                                                  |                 |                                                     | 2.65      | 2.65                   | 2.70                                | 2.70                | 2.70                 | —                                  | 2.64                     | 2.64                     |  |
| 汚泥部の掃流力   | 0.1<br>0.2<br>0.3<br>0.4<br>0.5<br>1.0<br>1.5<br>2.0<br>2.5<br>3.0<br>4.0<br>5.0<br>10.0<br>15.0 | 装置内平均流速 V (m/s) | $\tau_0$ (N/m <sup>2</sup> )<br>$\tau_0 = 17.7 V^2$ | 0.1       | 付着物剥離され流送              | 有機分浮遊                               | 有機分浮遊               | 有機分剥離 (0.84)         | 浮遊物移動                              | 浮遊物が移動                   | 浮遊物が移動                   |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     | 0.2       |                        | 砂粒単位で移動                             |                     | 除々に砂移動 (2)           | 砂単位で移動                             | 生ゴミ転動                    | 生ゴミ転動                    |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     | 0.3       |                        | 砂粒が連続して移動                           | (2)                 | 河床波形成<br>砂浮遊して移動 (2) | 砂全体的に移動                            | 生ゴミ浮遊砂移動                 | 生ゴミ移動量大                  |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     | 0.4       | アーマコート形成 (2)           | アーマコート形成                            | 砂粒が連続して移動           | 平坦河床となる              | 砂が連続的に掃流<br>堆積形状変化                 | 砂全体的に移動 (0.84)           | 生ゴミ剥離して移動 (2)            |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     | 0.5       |                        | 礫の後ろが掘れる<br>不安定                     | 堆積形状が大きく変化          | 砂連続して移動              | 砂掃流状態で移動                           |                          | 砂全体的に移動                  |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     | 0.6       | 数センチの礫移動<br>↓<br>砂粒の掃流 | 1mm程度の砂移動 (0.8)                     | 2mm程度の砂移動           |                      | ほとんど掃流                             |                          |                          |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     | 0.7       |                        |                                     | (9.5)<br>1センチ程度の礫移動 |                      |                                    |                          |                          |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     | 0.8       |                        | 数センチの礫移動 (19.1)<br>それに伴う巻き上げ (25.4) | 2センチの礫移動 (19.1)     |                      |                                    |                          |                          |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     | 0.9       | すべて掃流 (20)             |                                     |                     |                      |                                    |                          |                          |  |
|           |                                                                                                  |                 |                                                     |           |                        |                                     |                     |                      | ※表中 ( ) 内はその流速で掃流された最大粒径を示す 単位: mm |                          |                          |  |



写真－5.1 掃流実験装置

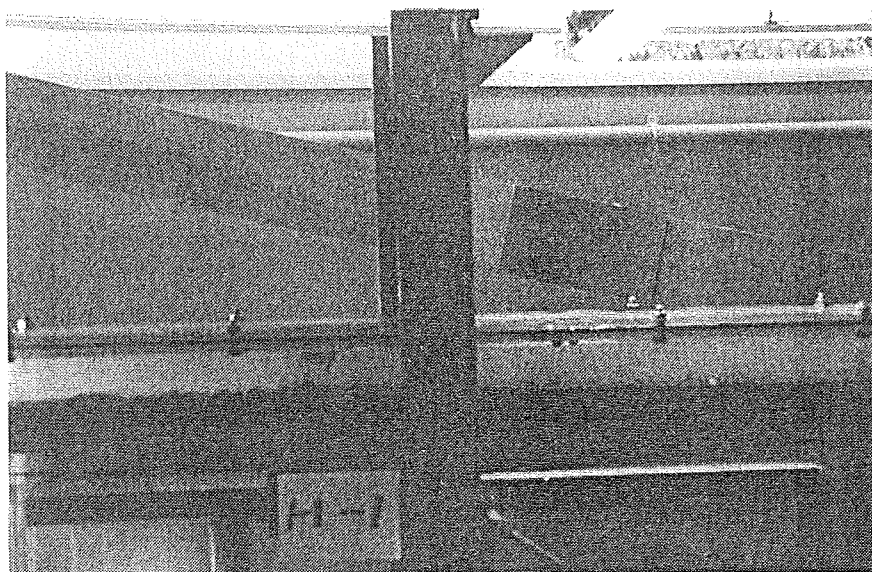


写真－5.2 実験装置の汚泥だまり

# 写真集

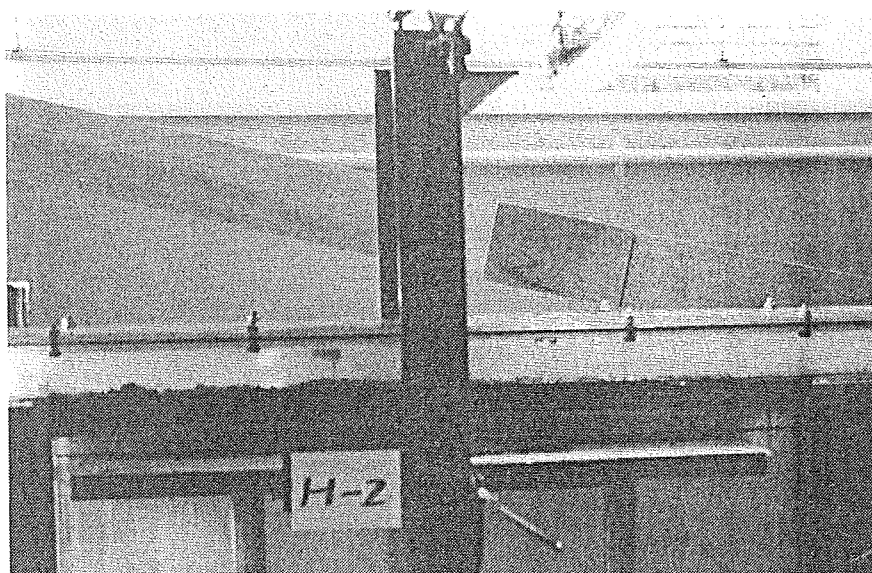


汚泥名：狭山台処理場内堆積物50%沈下部No. 4 (Ⅱ)



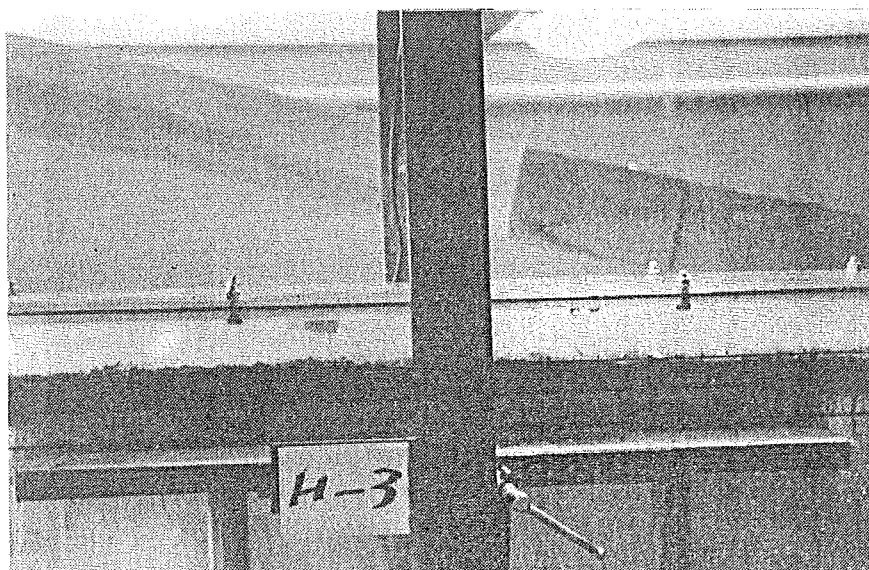
管内流速  
 $V(\text{cm/s})$

11.6



管内流速  
 $V(\text{cm/s})$

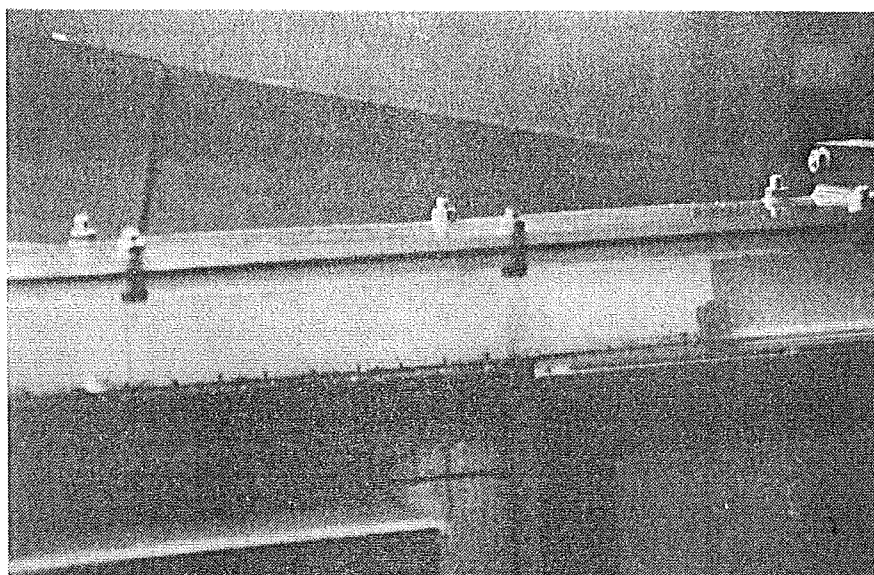
20.4



管内流速  
 $V(\text{cm/s})$

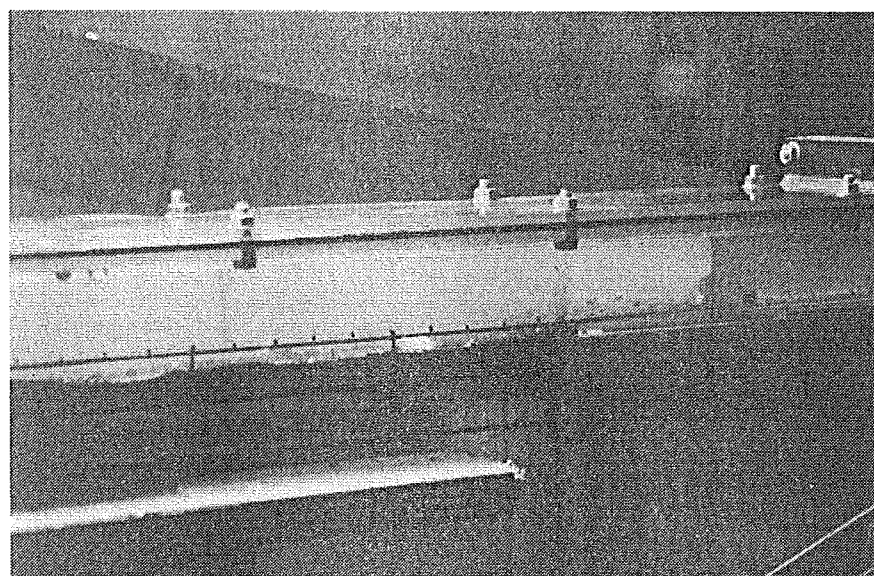
35.6

汚泥名：狭山台処理場内堆積物50%沈下部No. 4 (Ⅱ)



管内流速  
 $V(\text{cm/s})$

39.6



管内流速  
 $V(\text{cm/s})$

51.2

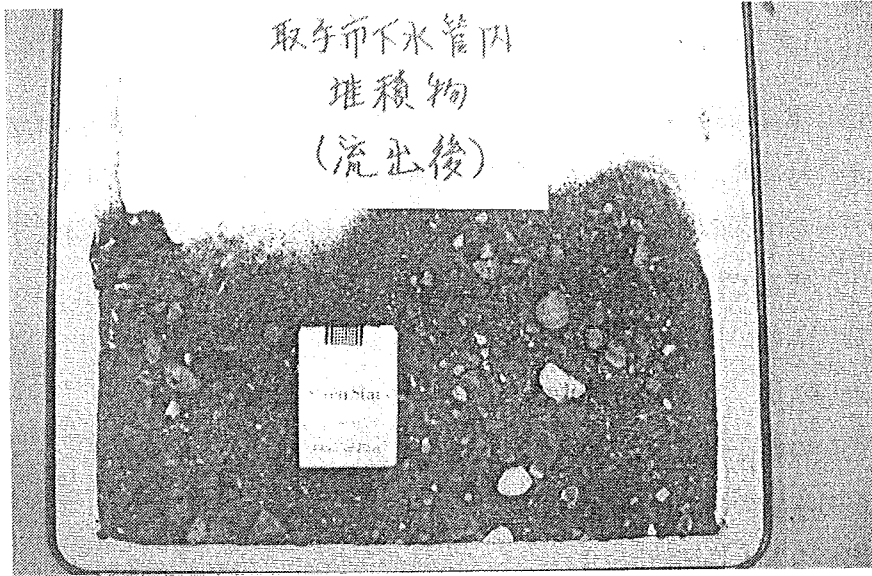


管内流速  
 $V(\text{cm/s})$

51.2

流出後汚泥物

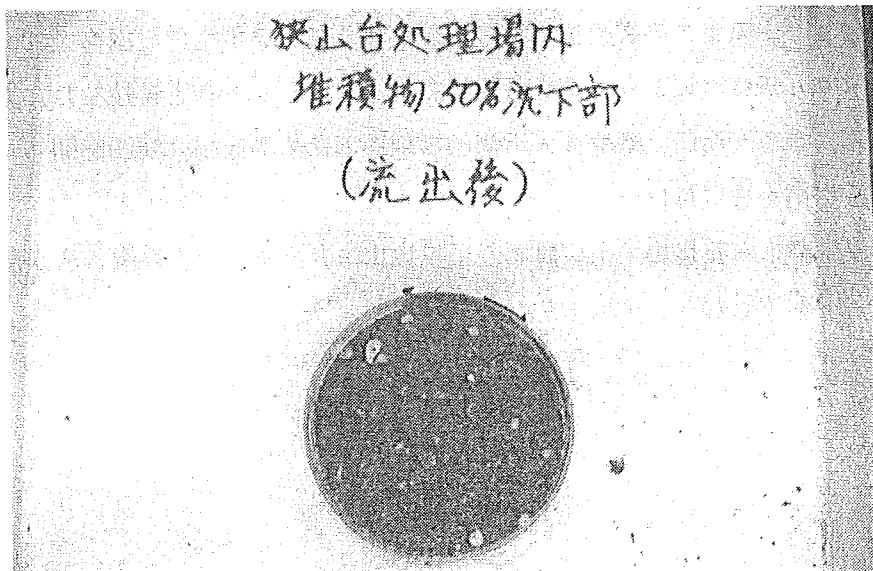
取手市下水管内  
堆積物  
(流出後)



狭山市下水管内  
堆積物  
(流出後)



狭山台処理場内  
堆積物 50% 沈下部  
(流出後)



## 6. 実大模型実験その2

### 6.1 実験の概要

#### 6.1.1 実験の目的

本実験は、61年度に行った実大模型実験その1をもとに、新たな知見を得るため、またその1を補足するために行った。61年度の実験装置の50%沈下区間に透明アクリル管を使用し、管内の状況が観察できるようにした。これにより以下のことが明かになると考えられる。

- ① 実際の下水管内での堆積・掃流現象の把握
- ② 堆積・掃流過程の把握
- ③ 汚泥の堆積状況

またその他、次の資料を得ることを目的とした。

- ④ 堆積がある場合の粗度係数の変化
- ⑤ 流入汚水の水質と堆積汚泥の質

④については、ヒューム管の管底と汚水の水位を正確に測定することが必要となる。

#### 6.1.2 実験施設の概要

実験施設は、茨城県筑波研究学園都市の汚水処理する下横場ポンプ場内に設置した。ポンプ場の位置図を図-6.1に示す。図-6.2に実験装置の概要を示す。ポンプ場内の設置箇所を図-6.3に示す。装置は $\phi 250$  mmのヒューム管とアクリル管を19本連結したもので、管路の一部に管径の25%沈下区間、50%沈下区間を設けている。設計勾配は2.5パーミリとした。通水した汚水は、処理場の流入口内にポンプを設置して取水した生下水である。その他、整流槽、量水槽、汚水を汲み上げるポンプ施設、送水管、実験装置を通過した後の汚水をもとに帰す帰還水路からなる。

以下にアクリル管の詳細を示す。写真-6.1のように実験装置の50%沈下区間の3本を汚泥の流送状態を観察できるように透明無色のアクリル管とした。アクリル管の形状を図-6.4に示す。アクリル管はヒューム管との継ぎ目部分で条件が変化しないように、内径を250mmとし、漏水しないようにアクリル管にゴムリングを数枚重ねて巻き、ヒューム管と接続した。またアクリル管の頂部を1本につき4ヶ所、計器挿入と汚泥の採取のため横5cm×縦20cm開切し、そこから汚水が溢れないように蓋を取り付けた。

管路はパイプで作った足場の上に設置し、足場はアスファルト上に置き、人が測定などのために乗り降りしても沈下しないようにした。

## 6.2 実験方法

### 6.2.1 測定項目

#### ① 流量

流量は下流側の量水槽に刃形堰を設け、ポイントゲージで水位を測定した。

#### ② 水位・河床高

水位・河床高の測定位置を図-6.5に示す。水位は通水汚水の水面をものさしであたりレベルで読み取った。水位は各流量段階で読み取り、粗度係数算定などの資料とした。河床高はものさしで管底をあたり、それをレベルで読み取った。河床高は足場上に設置した管が沈下する可能性があるので、定期的に読み取り、管勾配算定などの資料とした。

#### ③ 堆積深

50%沈下区間は、透明アクリル管であるため、堆積物は外側から目視することができる。50%沈下区間での堆積深の測定は、直接読む代わりに、写真-6.2の様にアクリル管に目盛り付きのテープを巻き付けて、その値を読むことで行った。測定位置を図-6.5に示す。テープでの測定は、堆積深をものさしで直接測るよりも、堆積深の変動に迅速に対応することができる。テープの目盛りは、管頂で50.0cm、管底が90.5cmになるように巻き、次に示す計算式を用いて堆積深に換算した(図-6.6)。

$$S = \pi r$$

$$S_T = \phi r$$

$$\phi = \frac{S_T}{r} = \frac{90.5 - S_{YT}}{12.9} \quad (\text{rad})$$

$$\begin{aligned} \text{堆積深 } H_T &= r (1 - \cos \phi) \\ &= 12.9 (1 - \cos \phi) - 0.4 \text{ (cm)} \\ &\quad \text{(アクリル厚)} \end{aligned}$$

その他のヒューム管の区間に堆積がある場合には、水位・河床高と同様の位置でものさしを用いて測定した。

### 6.2.2 計算項目

計算項目を次に示す。

#### ④ 流速

流速は流量と河床高から求めた管の勾配を用いて不算流計算により求めた。ただし、下流端水深は実験と同様に限界水深とした。

### 6.2.3 分析項目

流入水質の分析項目はMLSS、MLVSS、DH、BOD、D-BOD、水温および粒径分布である。

### 6.2.4 実験ケース

実験は3回行い、それぞれ以下に示す事項を実施した。

実験ケース1 2/2～2/2 通水 2/4 観察、採泥

実験ケース2 2/14～2/15通水 2/15観察、採泥

実験ケース3 2/23～2/3 通水 2/3 観察、採泥、3/4 水位測定

## 6.3 実験結果

### 6.3.1 流入水質

ポンプ場の流入口からポンプアップした後の汚水、つまり実験装置に流入する汚水の粒度分布を6時から23時まで2時間おきに測定した。水質分析の結果を表-6.1に示す。表から流入水は、時間的にはほとんど変化がない。平均粒径(60%粒径)は $1\sim 2\mu\text{m}$ のものがほとんどで、 $2\mu\text{m}$ 以上の比較的大きな粒径のものは10%程度である。

またSSが $20\sim 136\text{mg}/\ell$ (平均 $72\text{mg}/\ell$ )で、そのうちVSが74～88%(平均83%)であるので有機的なものが多く含まれていることになる。

### 6.3.2 堆積過程の観察

#### ① 堆積流速

堆積は沈下区間だけであり、正常な区間は堆積物が全くみられない。また沈下区間では通水を開始すると、汚水中に含まれる固形物等が速やかに堆積を始めた。50%沈下区間における、通水直後からの堆積深の変化を図-6.7に示す。また管No.5における堆積物の変化を写真-6.2(a)～(c)に示す。通水開始から45分程度経過した後くらいから本格的な堆積が始まる。このときの流量は $2.5\ell/\text{s}$ (計画流量の17%)程度であり、流速は $7\sim 10\text{cm}/\text{s}$ である。このとき以降、流量が $2.5\ell/\text{s}$ より大きくなり常に堆積傾向にあることから、流速 $10\text{cm}/\text{s}$ 程度が汚水中に固形物が堆積を開始する流速であると考えられる。

#### ② 堆積速度

図-6.8は、50%沈下区間にもともと $3.1\text{cm}$ の堆積があったところを管No.5付近の $20\text{cm}$ の区間を掃流させて、堆積過程をみたものである。図から堆積は通水直後から徐々に始まり30分程度でもとの状態にもどり、定常状態となる。その間の堆積速度は1分間に約 $2\text{mm}$ 程度である。

堆積物は、汚水中に含まれる固形物(汚物)が主で、同じく多く含まれていた黒色の有機物が混じった状態である。流入水に含まれるこれらの固形物等の量にもよるが、沈下しているところでは通水があればただちに堆積が始まるものと推定される。

### 6.3.3 下水管内の堆積・掃流現象

実大模型実験装置に汚水を通水し、堆積・掃流現象を観察したのが実験ケース1である。このときポンプアップした汚水には有機的なものが多く含まれていた。また流量はバルブで調節することにより任意に変動することができる。ここでは目視により堆積・掃流状況がはっきり観察できる50%沈下区間（下流側管No.4～上流側管No.6の3本）の現象について述べる。

沈下区間では、通水を開始すると直ちに上流側から堆積が始まり、徐々に下流側に移っていった。堆積は、初期段階では管No.5と6の間を中心とした2m程度の区間であったが、1日後には全沈下区間の6mのうちの4.5m区間にはほぼ水平に堆積し、定常状態となった（写真－6.3）。それ以降は堆積深に大きな変化はみられなかった。堆積物の様子をみると、汚水中を転動あるいは浮遊しながら流下してきた物質が沈下区間にさしかかると、まず汚水の下部を転動あるいは浮遊していた有機的な物質のうちの比較的大きいあるいは重い物質が堆積し、沈下区間を流れていくうちにその上部を浮遊していた物質が順次堆積していった（図－6.9）。

実験終了後に管毎に堆積物の一部を採取、分析した結果を表－6.2に示す。上流側の管No.6の60%粒径が0.65mmであるのに対し、管No.4は0.024 mmで、上流側では比較的粒径の大きなものがたまり、下流にいく程小さくなっており観察の結果と一致している。またこの時の堆積物はいずれも比重が1.7程度で有機的な堆積物である。

次にこの堆積物を流量を増大することにより掃流し、その状況を観察した（図－6.10）。堆積物には汚物等が多く含まれその上を黒色を呈した有機物の破片のようなものが覆い、全体としてほぼ水平に堆積していた。装置内の流量を増すと、堆積物は水平な状態を保ったまま徐々に掃流された。この時堆積物質により掃流状況に大きな違いはみられなかった。最終的には、最も沈下量が多い管No.4と5の間付近にわずかに残っただけである。

このことから堆積・掃流現象は次のように説明できる。

下水管内を流れる流水中に含まれる物質はさまざまであり、その割合も場所、時間により異なる。堆積物と水理量の関係を考える上で全ての物質を考えることはできないため、代表する物質を選び出すか、許容できる範囲内で包括して考える必要がある。

また沈下区間における最終的な堆積形状はほぼ水平になる。それが掃流される時も水平状態を保ち続ける。この現象は沈下区間の水位が変化せず水平であることから考えると、流水断面積が一定になる、つまり沈下区間の流速を一定にするように堆積・掃流現象が起こるものと考えられる。したがって堆積・掃流現象は水理量と関係付けて考えることができる。

### 6.3.4 粗度係数の算定

実測した流量と管の勾配を用いて不等流計算を行い水位を求め、その結果と実測の水位とを比較することにより、粗度係数を求める。ただし流量は流入口に設置したポンプと流入口の水位の関係で、水位を測定している間に流量が若干変動するため、流量としてはその変動の平均値を与える。

不等流計算では、下流端水深を実験と同様に限界水深とした。また水深が限界水深以下になった時は、射流計算は行わず限界水深で一定であるとした。よってその部分（管No. 7～8と管No. 14～15）の実測水位と計算水位との差は無視した。

計算では、粗度係数のみを変化させることで水位を変化させ、実測水位に合わせていく。粗度係数は、0.010～0.020まで変化させ、その中で実測水位に一番適合する粗度係数を求めた。ここでは主に沈下区間（管No. 4～6）と上流の正常区間（管No. 16～18）をあわせるようにした。粗度係数は堆積がある場合と堆積がない場合について求めた。

図－6.11(a)～(c)に検証結果を示す。このときの実測水位は、50%沈下区間に堆積がある場合の水位である。ヒューム管部では粗度係数0.013をアクリル管部では0.010を与えた場合、実測値と計算値はほぼ適合しているものと考えられる。このことから、堆積の有無にかかわらず、粗度係数は変化しないものと推定できる。

#### 6.3.5 掃流過程と掃流状況の観察

汚泥が堆積する条件の流速で数日間通水し、沈下区間に堆積させた。その堆積物を流量を増大させることで掃流し、50%沈下区間において掃流時の堆積深の変化と、堆積状況の観察を行った。

図－6.12に代表的な地点の流量と堆積深の時間変化を示す。図示した堆積深の測定位置は、管No. 4の上流側（堆積深の測点No. 4）、管No. 5の中心部（測点No. 7）および管No. 6の下流側（測点No. 9）である。図から堆積深の変化をみると、流量はほとんど変化しないが堆積深はいずれも減少する傾向があることから、この付近の流速が掃流限界にあたるものと考えられる。この流量は10.3ℓ/sであり、不等流計算で測点No. 7における流速を求めると、堆積深を考慮して、22～24cm/sの範囲にある。よって20cm/s程度の流速が堆積物が掃流れる流速、つまり掃流開始流速付近であると考えられる。

ところで本実験での堆積物は、有機物がほとんどであり、無機物は少ない。このことから上記の流速は有機物の掃流開始流速であると考えられる。

このときの掃流速度は場所により異なるが0.2～0.5mm/分であり、沈下区間に3cmの堆積があるとすると、1～2.5時間あれば堆積物はほとんど掃流されるものと考えられる。

#### 6.3.6 堆積物の性状

数日間通水した後、堆積物を採取した（写真－6.4）。堆積物を分析した結果を次に示す、分析項目は以下に通りである。

物理的特性

- ・ 流度分布
- ・ 比重

土質学的特性

- ・ 液性限界
- ・ 塑性限界

## 化学的特性

- ・ T S
- ・ V T S
- ・ T C

注) 液性限界 加水された土のせん断抵抗に関する尺度で土粒子の真の粘着抵抗を表わす。粒子が細かく扁平になる程、粒子間の接触面積の和が大きくなり、液性限界が高くなる。

## 比重

粘土鉱物の比重 2.6 ～ 3

有機物の比重 1.2 ～ 1.7

### ① 沈下量による性状の相違

50%沈下区間、25%沈下区間および整流槽内に堆積していた汚泥の分析結果を表-6.3に示す。粒度分布をみると最大粒径は50%沈下区間で9mm程度と大きい。平均粒径は50%沈下区間、25%沈下区間とも0.05mm、0.06mm、30%粒径も同様である。このことから両沈下区間にはほぼ同様のものが堆積しているものと考えられる。次に比重をみると三者とも1.8～2程度で、これは有機物の比重に近い。また50%沈下区間と25%沈下区間の堆積物は、VTSが80%以上あり、有機物が多いことがうかがえる。堆積物の大部分は有機物である。

### ② 堆積場所による性状の相違

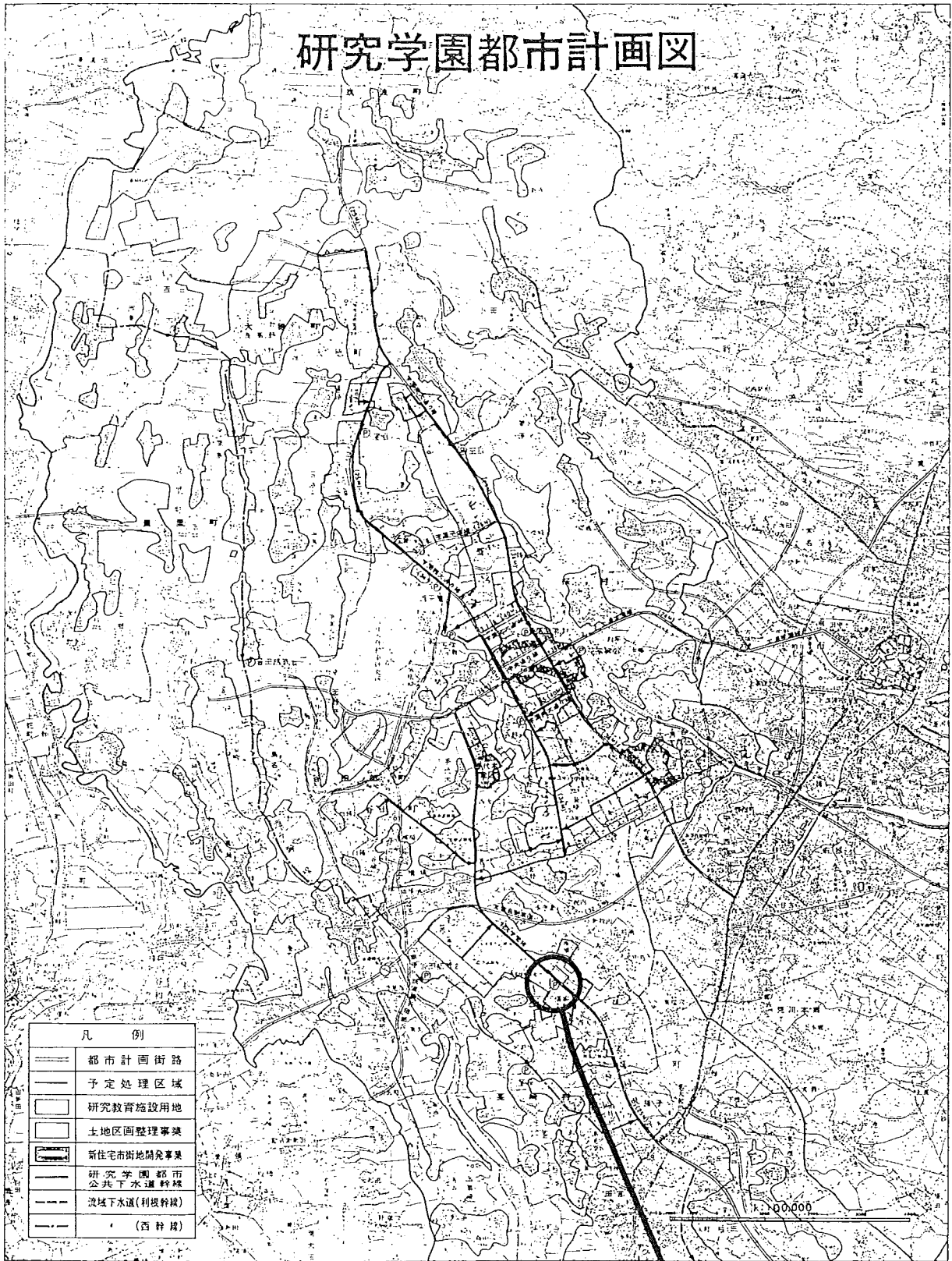
50%沈下区間のアクリル管部における場所的な性状の違いを表-6.2でみる。管は下流がNo.4、中間がNo.5、上流側がNo.6となっている。三つの管の堆積物の違いをみると、固形物の量を表すTSはNo.4が2%で一番小さく、No.5が7%、No.6が14%と上流側にいくほど大きくなる傾向がある。ところが有機物量を表わすVTSは3者とも85%程度でほとんど変わらないこと、比重も1.7～1.8で有機物に近いものであることから、TSの場所的な違いは、有機的な固形物の大きさが違うことによると考えられる。つまり管No.4にはふわふわしたものが堆積し、上流側の管No.6になるに従い、大きな固形物になることを表している。実際に堆積物を観察した結果からも、汚水中に含まれる大きな固形物が堆積するのは管No.6か5であり管No.4にはその残りの小さな固形物が堆積する傾向があることが確認された。

この地図は、建設省国土地理院長の承認を得て、同院発行の5万分の1  
地形図を複製したものである。(承認番号)昭56.開地 第283号

昭和五十六年

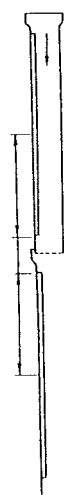
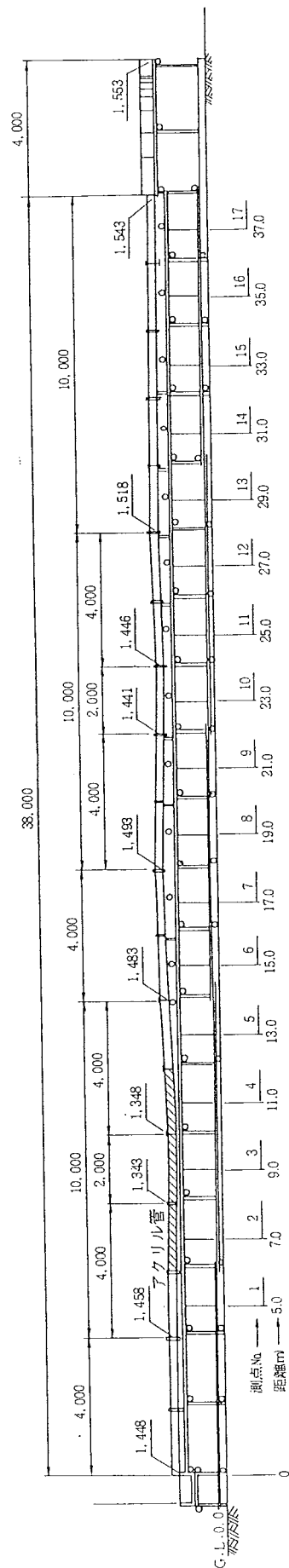
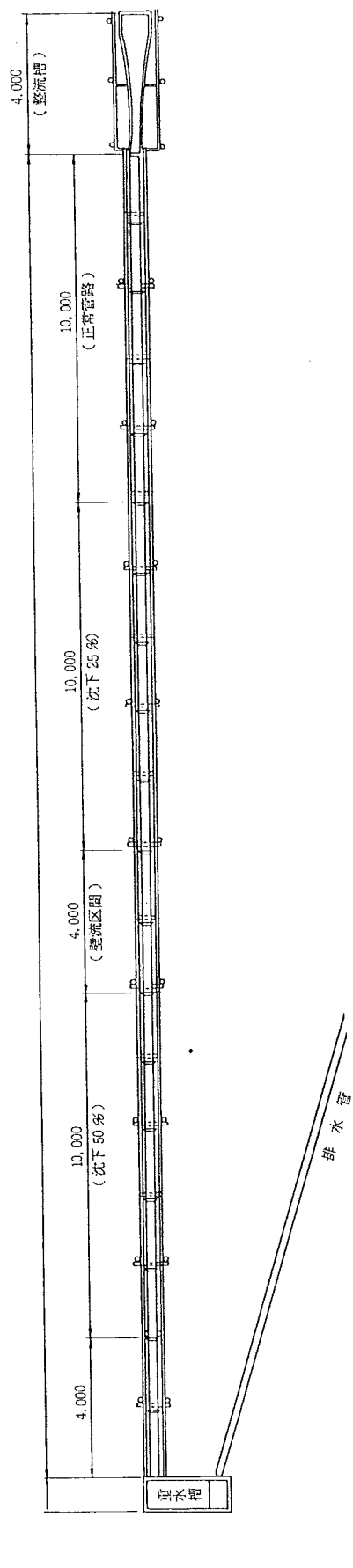
# 研究学園都市計画図

利根浄化センター



設置場所

図-6.1 実験施設の設置場所



測定位置説明図

図-6.2 実験施設図

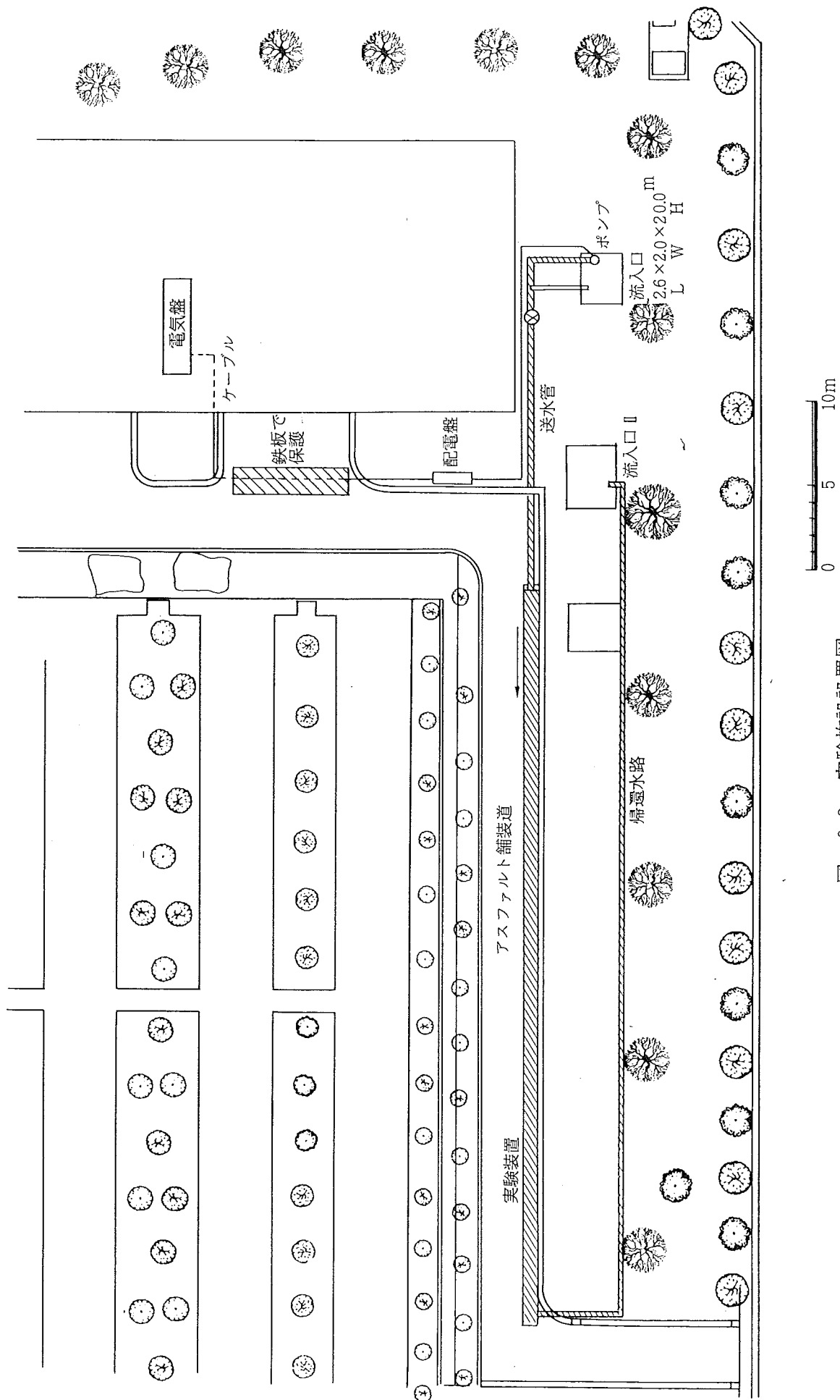


図-6.3 実験施設設置図

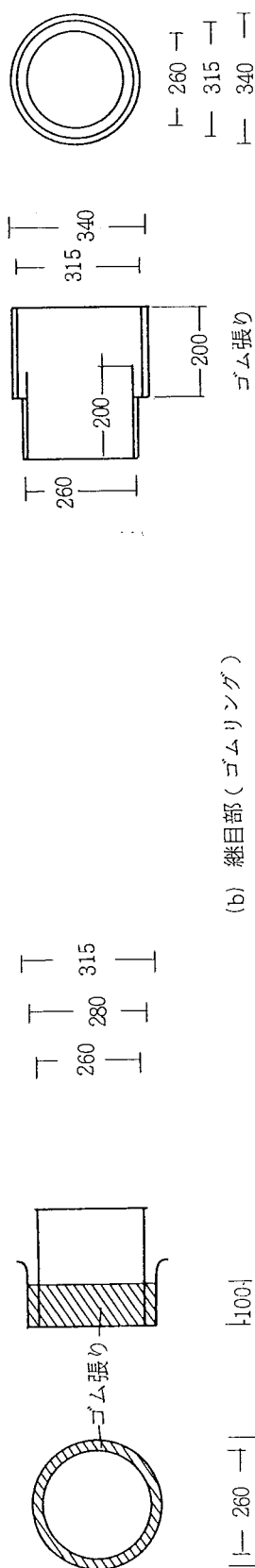
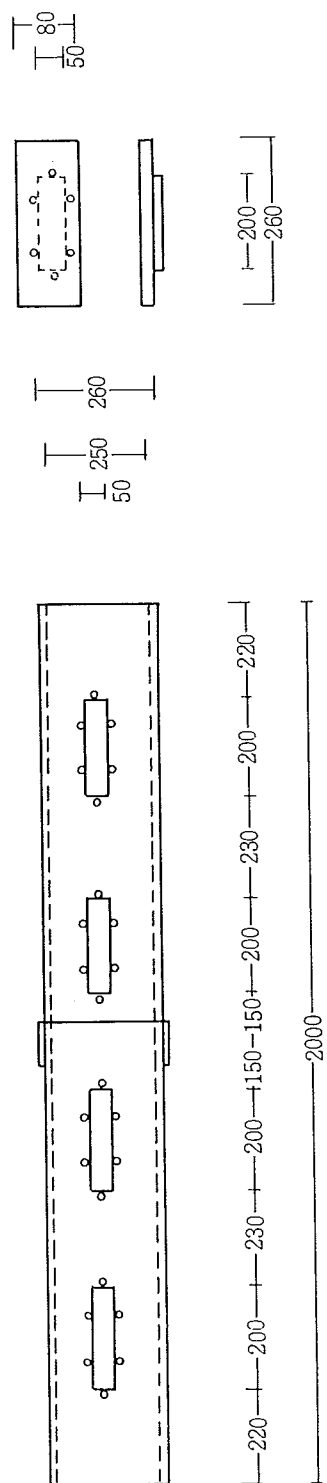
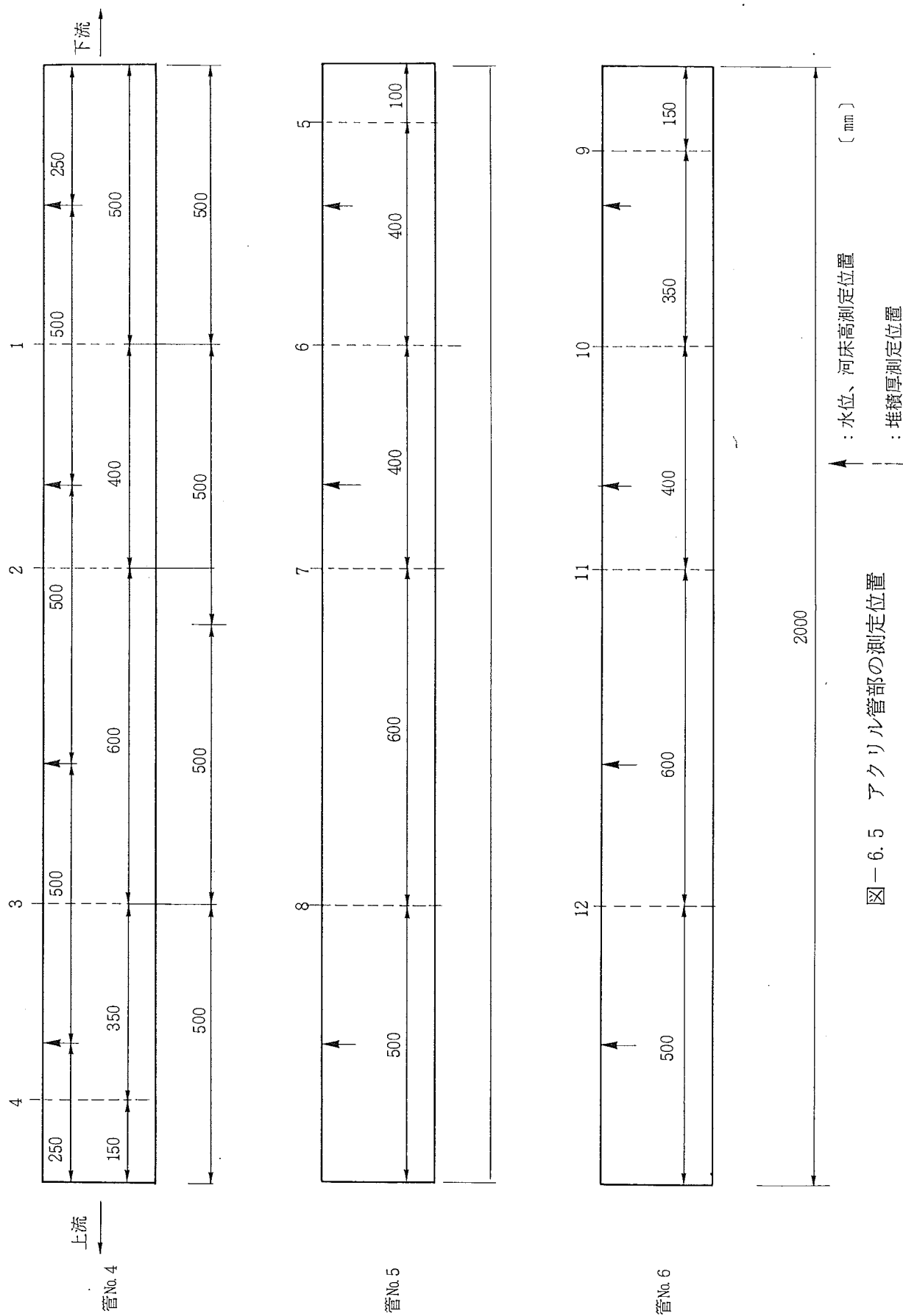


図-6.4 アクリル管形状 (mm)



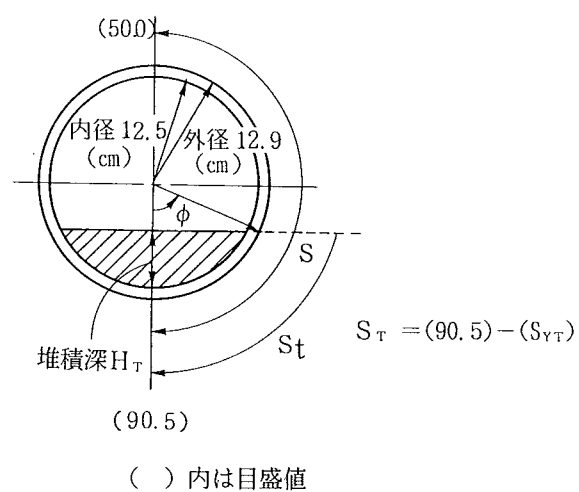


図-6.6 アクリル管部における堆積深の測定

表－6.1 流入汚水の水質調査結果

(2 / 2 : 実験ケース1)

| 時間      | MLSS  | MLVSS     | pH   | BOD<br>(mg/ℓ) | D-BOD<br>(mg/ℓ) | 水 温  | 平均粒径<br>D <sub>50</sub> (mm) |
|---------|-------|-----------|------|---------------|-----------------|------|------------------------------|
| 6 : 00  | 101.7 | 89.9(88)  | 7.05 | 147           | 52              | 16.0 | 0.00117                      |
| 9 : 00  | 20.3  | 17.2(85)  | 7.48 | 66            | 34              | 15.6 | 0.00112                      |
| 11 : 00 | 42.8  | 36.4(85)  | 7.46 | 83            | 38              | 15.5 | 0.00113                      |
| 13 : 00 | 57.4  | 44.4(77)  | 7.49 | 99            | 41              | 15.5 | 0.00122                      |
| 15 : 00 | 72.5  | 53.3(74)  | 7.42 | 173           | 31              | 15.5 | 0.00150                      |
| 17 : 00 | 38.7  | 33.3(86)  | 7.03 | 72            | 32              | 15.0 | 0.00120                      |
| 19 : 00 | 134   | 110.2(82) | 7.05 | 172           | 31              | 14.3 | 0.00100                      |
| 21 : 00 | 44.8  | 39.6(88)  | 7.29 | 98            | 37              |      | 0.00110                      |
| 23 : 00 | 136   | 112.4(83) | 7.12 | 207           | 37              |      | 0.00120                      |

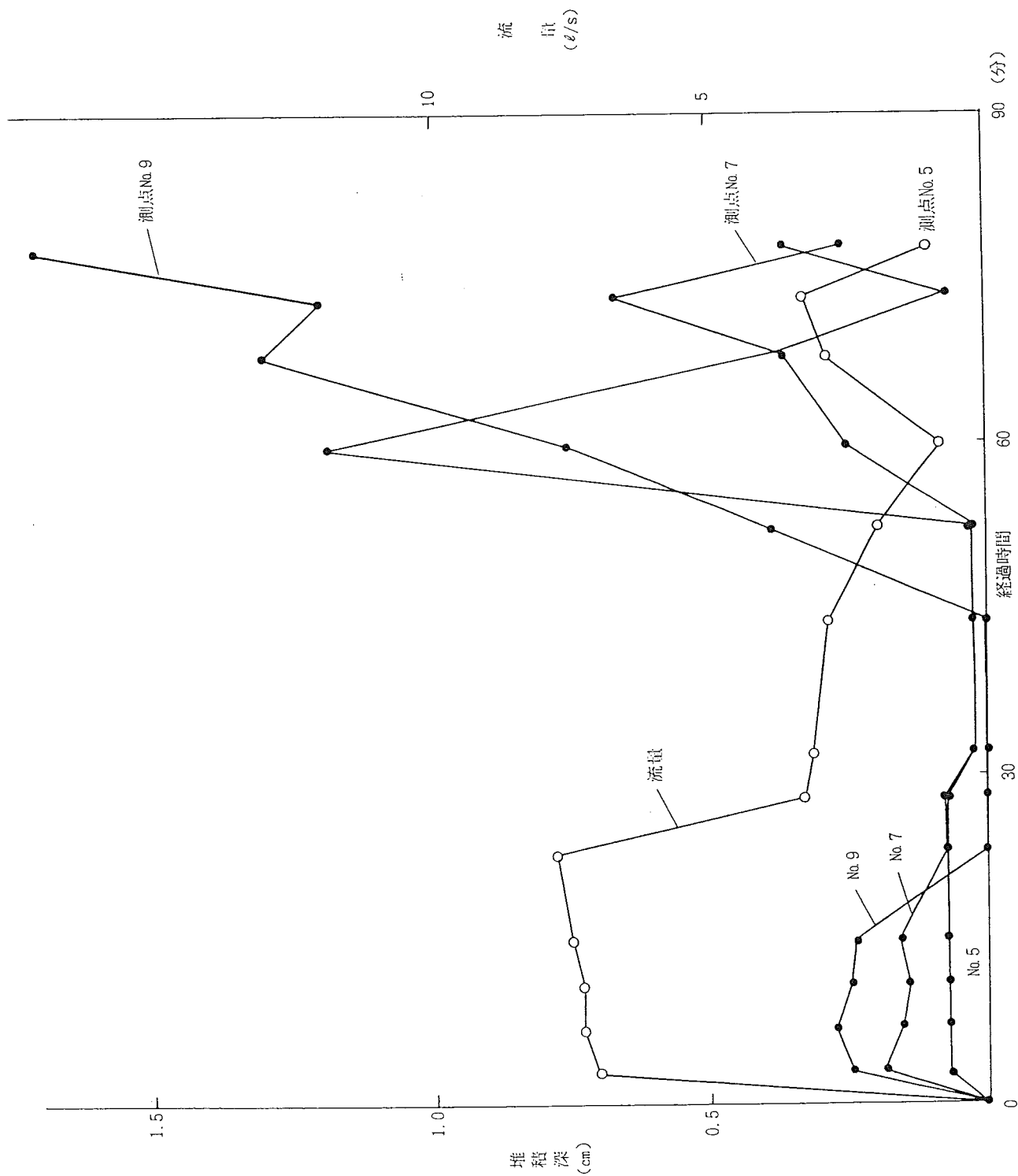


図-6.7 通水直後からの堆積深変化 (2/14: 実験ケース2)

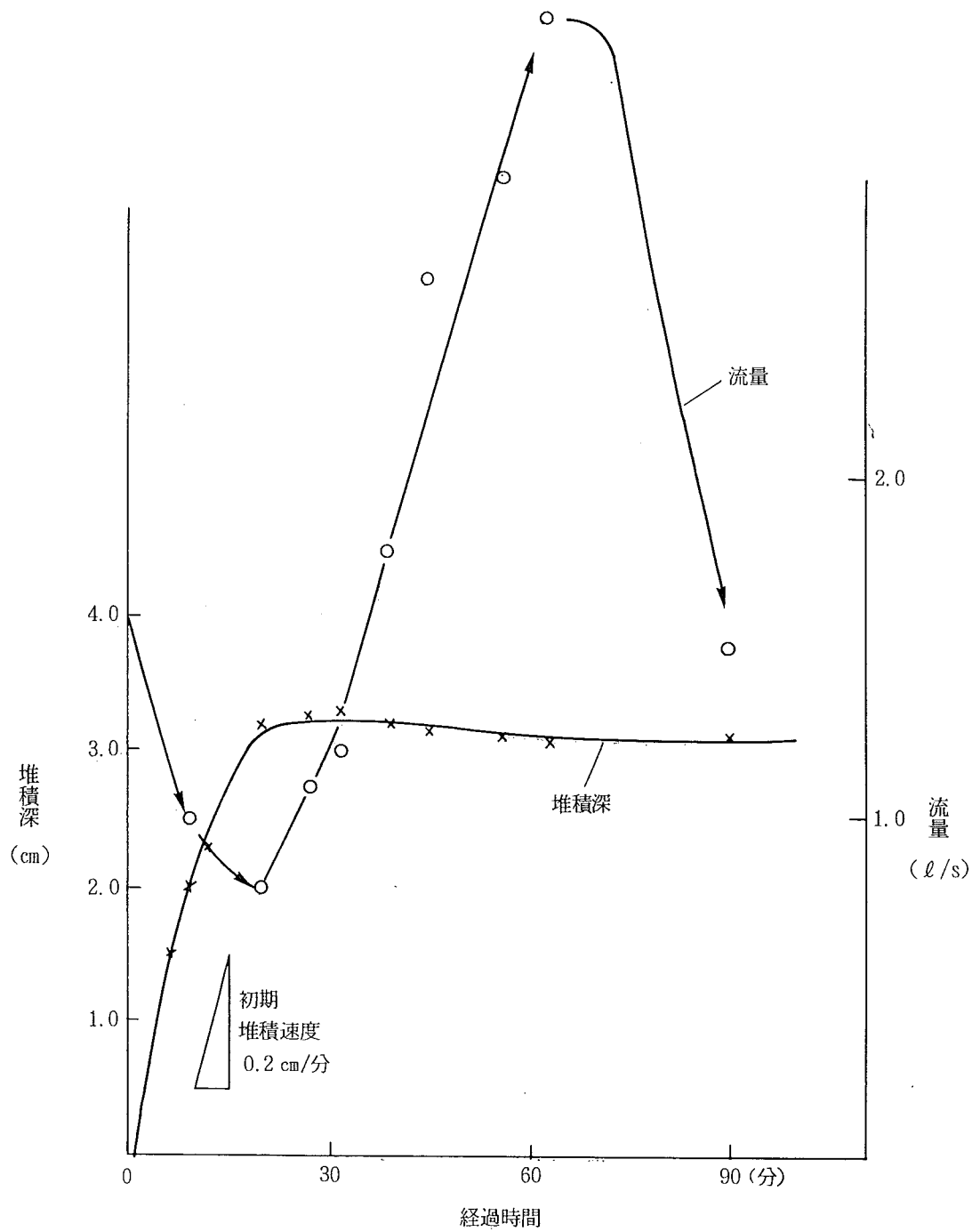


図-6.8 アクリル管部の堆積深の経時変化 (管No. 5)

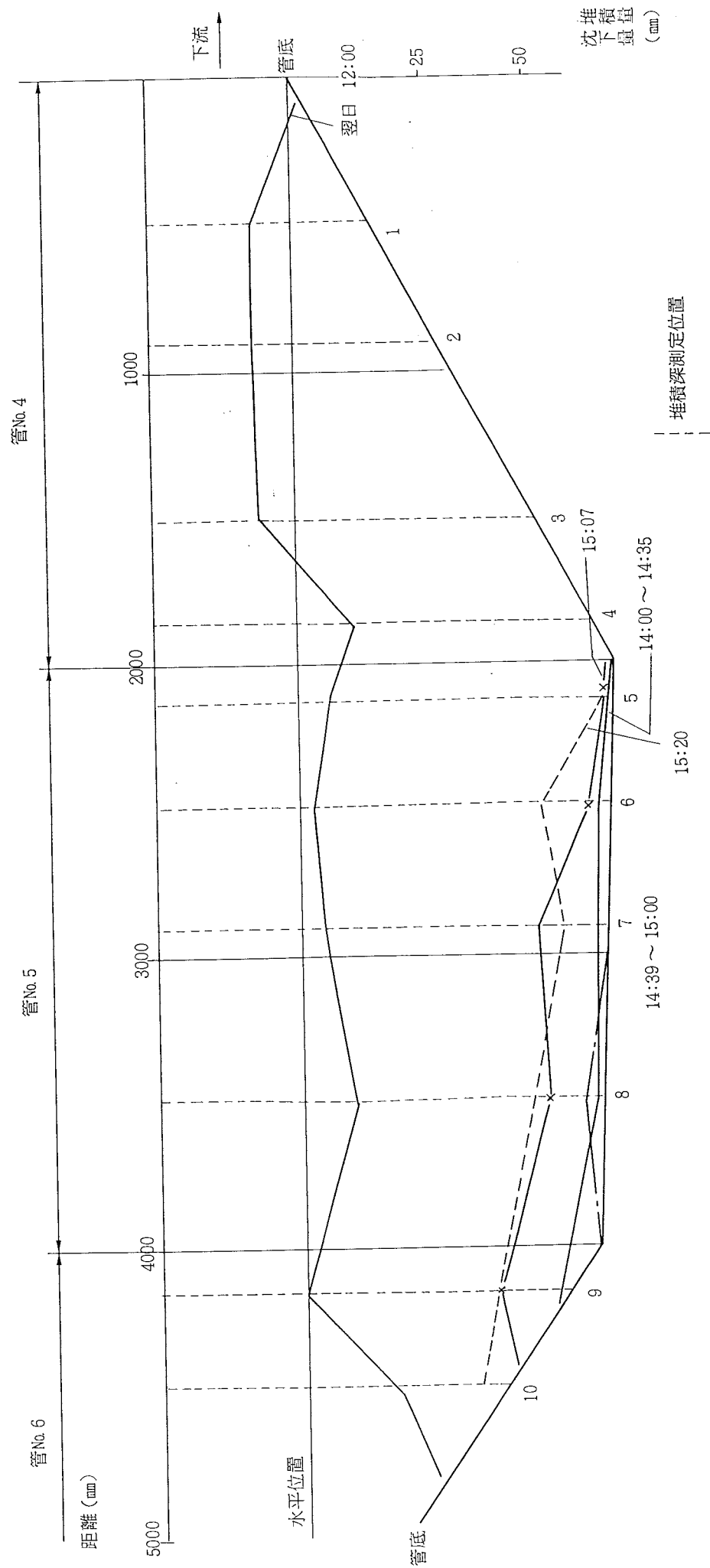


図-6.9 アクリル管部の堆積状況図

表-6.2 汚泥試験結果 (実験ケース1)

| 項目 \ 管No.               | 4     | 5      | 6     |
|-------------------------|-------|--------|-------|
| 最大粒径                    | 2.00  | 4.76   | 9.52  |
| 60% 粒径                  | 0.024 | 0.50   | 0.65  |
| 30% 粒径                  | 0.007 | 0.0065 | —     |
| 比重 (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.806 | 1.736  | 1.748 |
| 液性限界                    | 試験不能  | 試験不能   | 試験不能  |
| 塑性限界                    | 試験不能  | 試験不能   | 試験不能  |
| T S (%)                 | 2.24  | 6.96   | 13.7  |
| V-T S (%)               | 83.9  | 85.9   | 87.7  |
| T C (%)                 | 40.4  | 50.0   | 50.4  |
| 堆積物 (kg/ℓ)              | 18    | 22     | 196   |

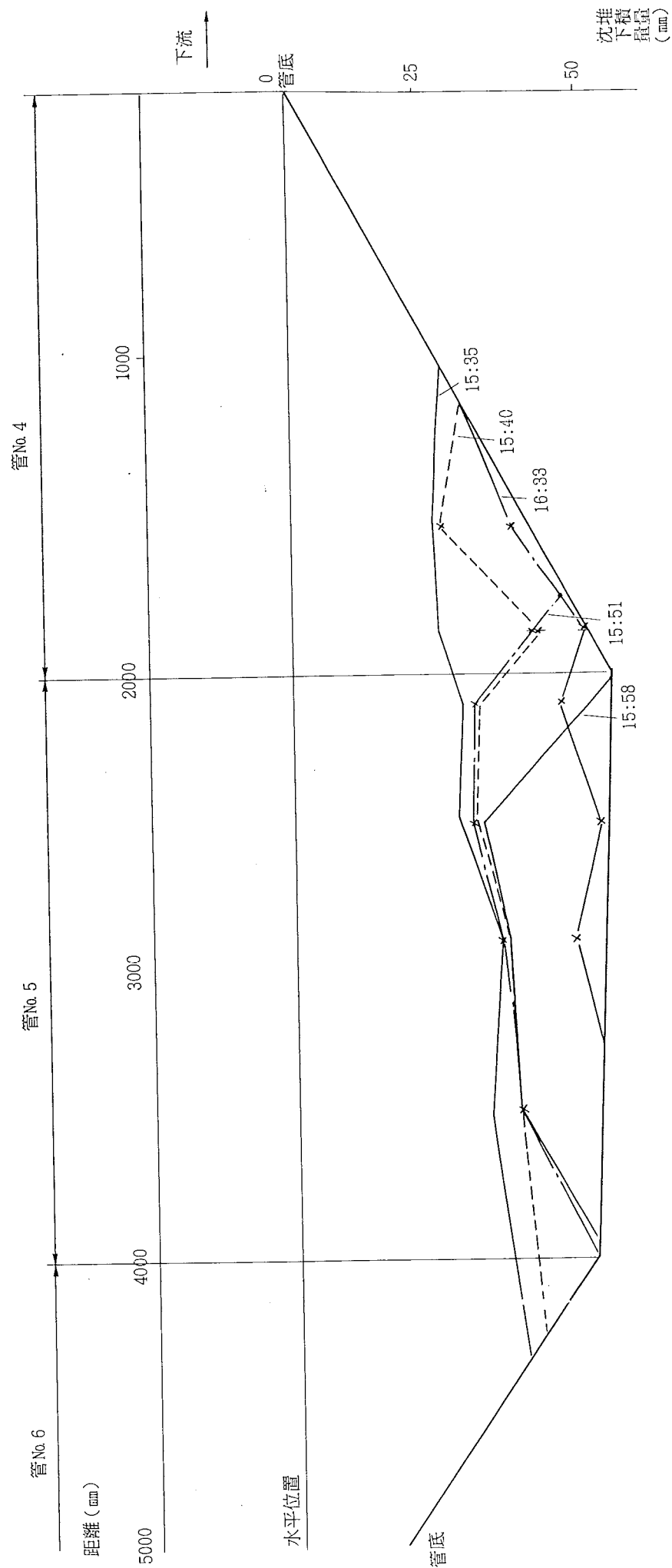


図-6.10 沈下部堆積物の掘削状況

$Q = 0.0103(\text{m}^3/\text{s})$      $D = 0.25(\text{m})$      $L = 38(\text{m})$      $l_0 = 0.0025$

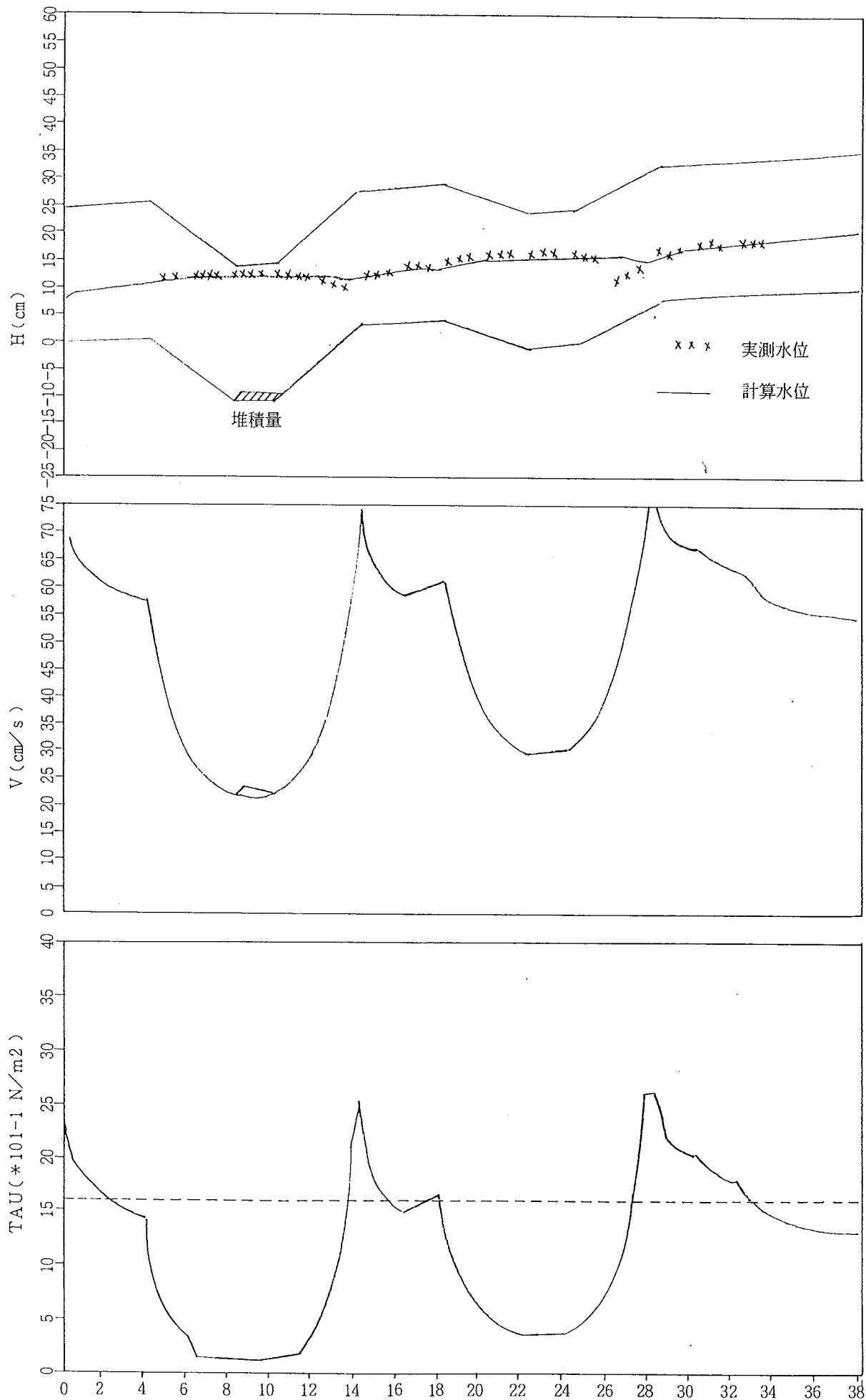


図-6.11(a) 粗度係数の検討計算

$Q = 0.0103(\text{m}^3/\text{s})$      $D = 0.25(\text{m})$      $L = 38(\text{m})$      $I_0 = 0.0025$

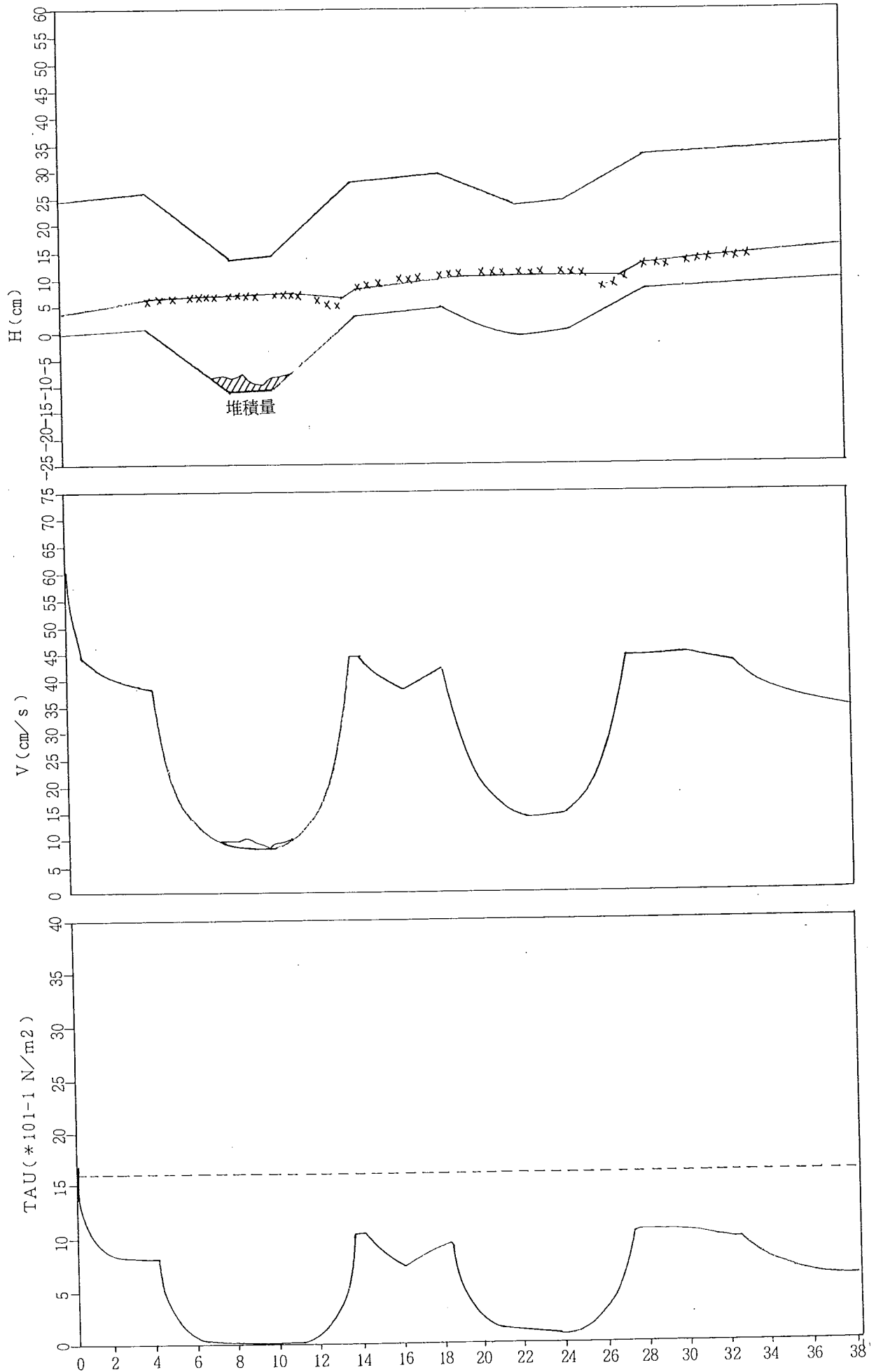


图-6.11(b)

$Q = 0.0103(\text{m}^3/\text{s})$      $D = 0.25(\text{m})$      $L = 38(\text{m})$      $I_0 = 0.0025$

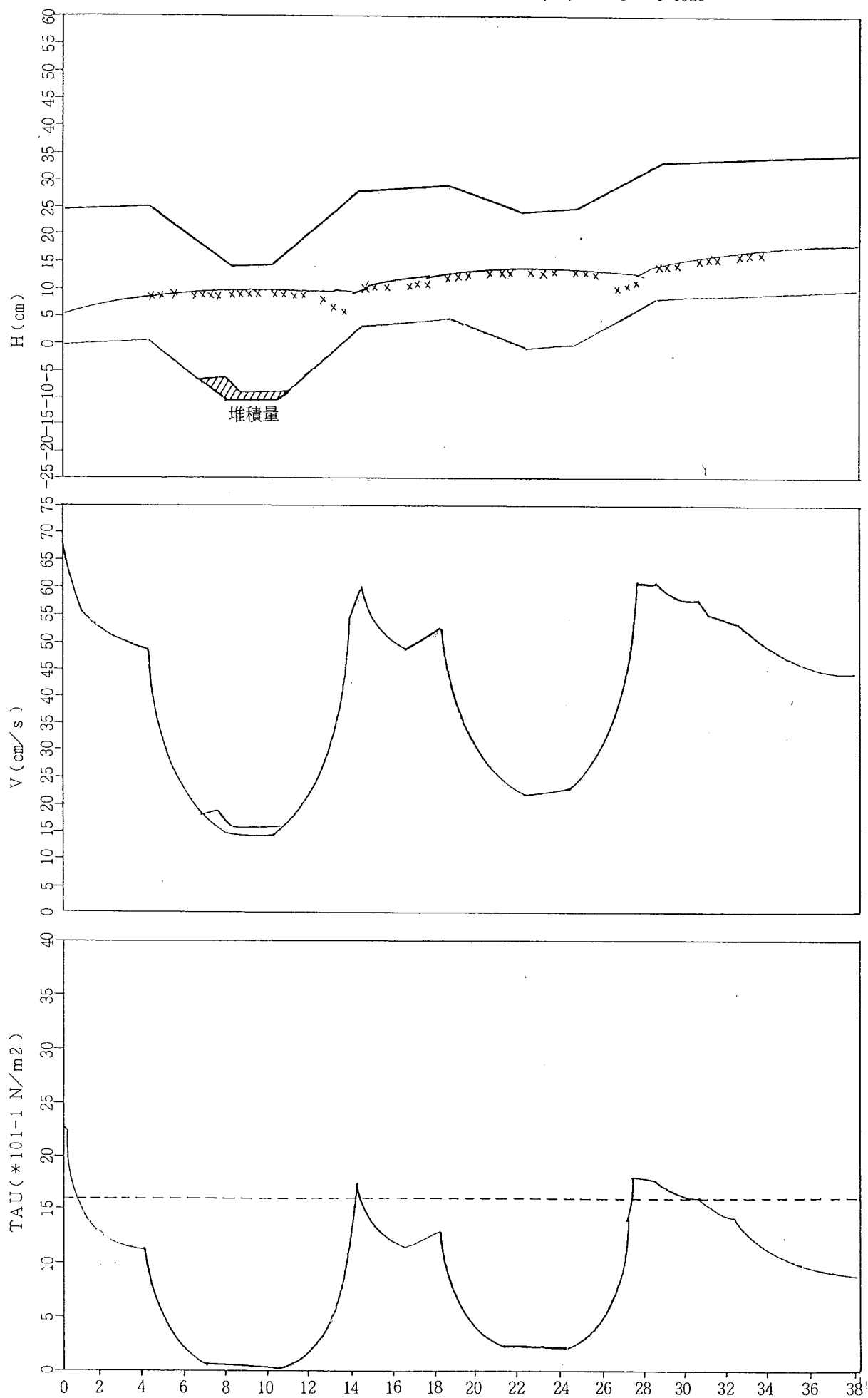


图- 6.11(c)

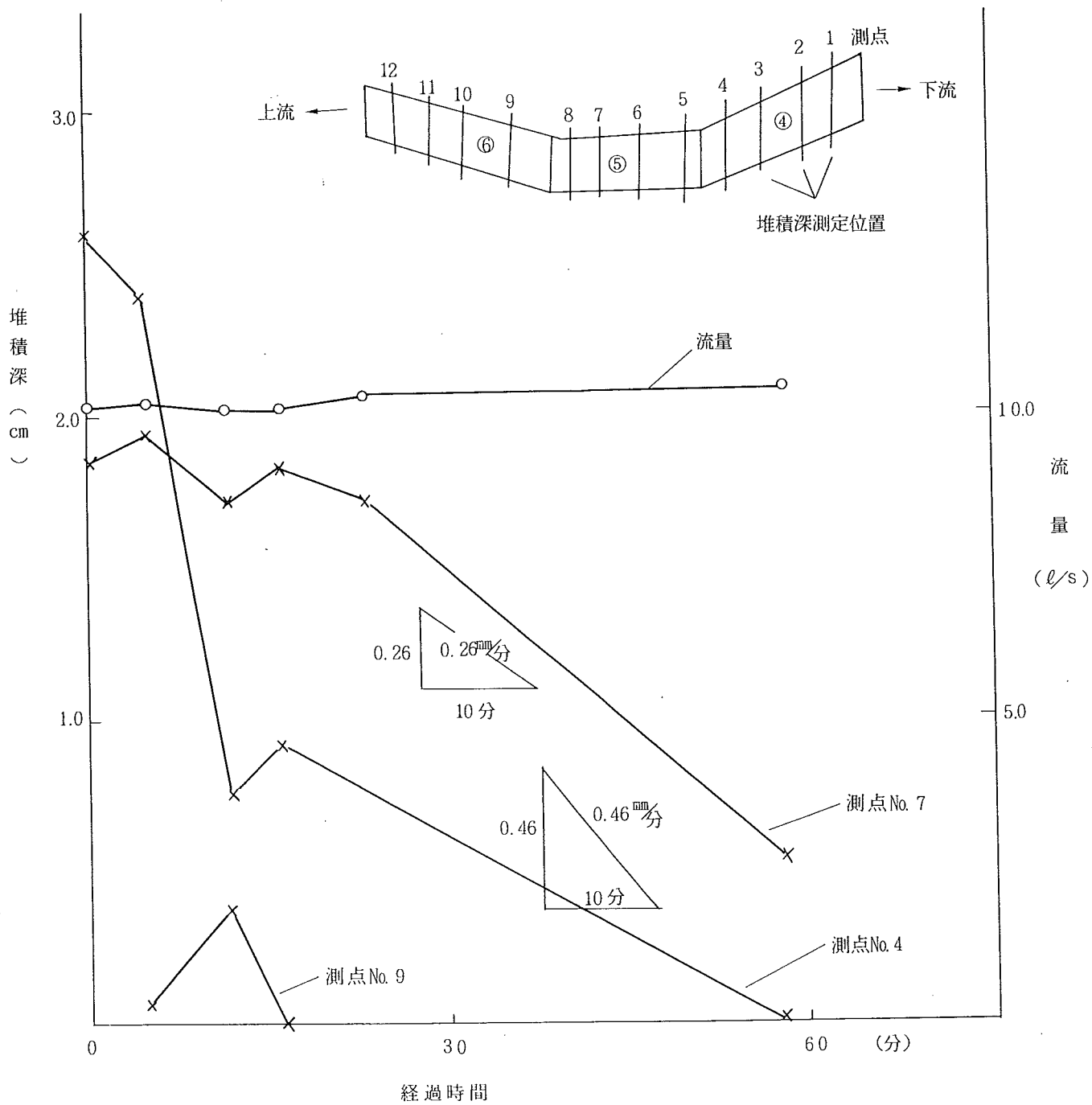
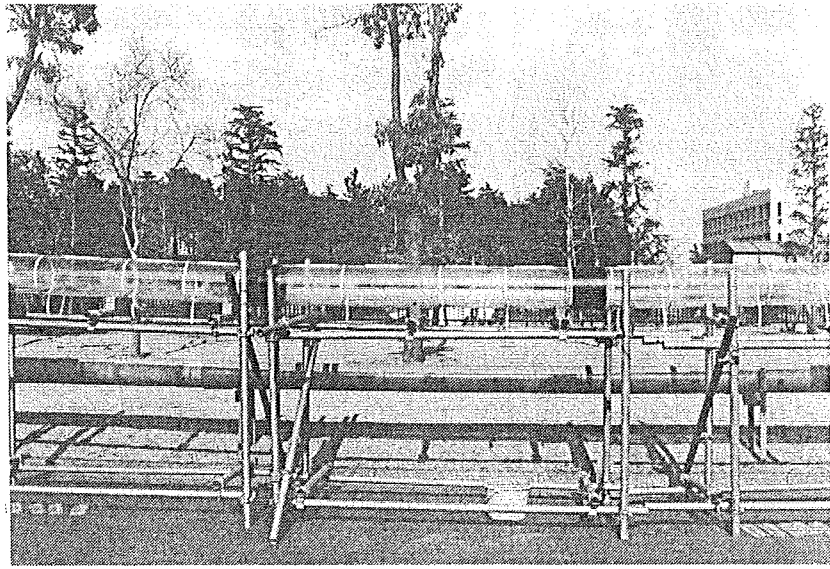


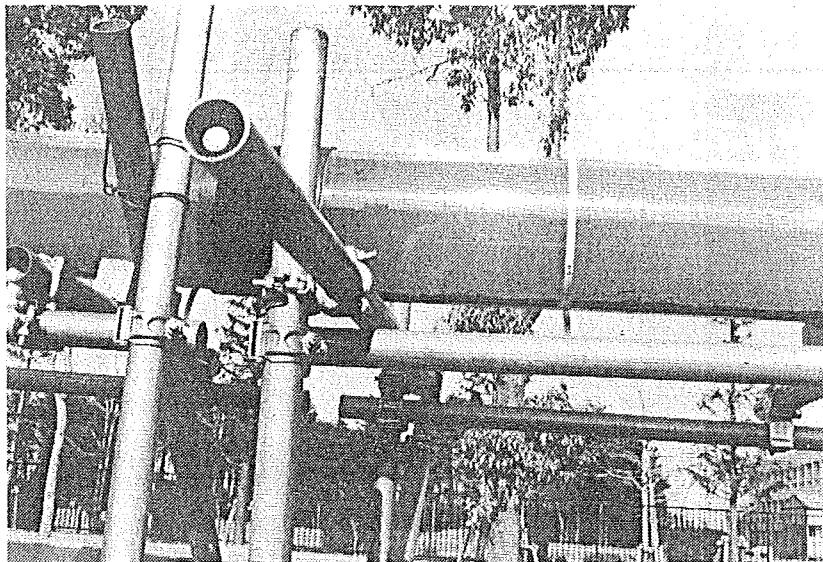
図-6.12 堆積物の掃流状況図

表－6.3 沈下区間ごとの堆積物の性状

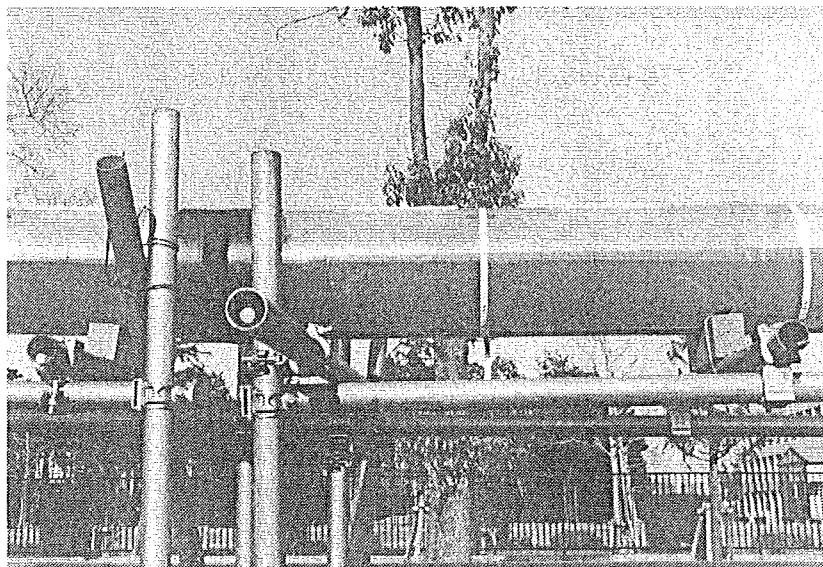
| 試料名<br>項 目               |           | 初回堆積物<br>50% | 50%   | 25%   | 整 流 槽<br>そ の 他 | 整 流 槽 |
|--------------------------|-----------|--------------|-------|-------|----------------|-------|
| 粒度<br>分布<br>(mm)         | 最 大 粒 径   | 4.76         | 9.52  | 2.0   | 2.0            | 4.76  |
|                          | 6 0 % 粒 径 | 0.24         | 0.05  | 0.06  | 0.24           | 0.18  |
|                          | 3 0 % 粒 径 | 0.028        | 0.004 | 0.004 | 0.009          | 0.21  |
|                          | 1 0 % 粒 径 | 0.002        | —     | 0.001 | 0.001          | 0.002 |
| 比 重 (g/cm <sup>3</sup> ) |           | 1.784        | 1.803 | 1.819 | 1.984          | 2.032 |
| 液 性 限 界 (%)              |           | 78.5         | 205   | 186   | 120            | 98.5  |
| 塑 性 限 界 (%)              |           | 試験不能         | 試験不能  | 試験不能  | 試験不能           | 試験不能  |
| T S (%)                  |           | 43.0         | 6.39  | 9.33  | 16.1           | 19.5  |
| V T S (%)                |           | 33.2         | 87.9  | 85.7  | 68.1           | 48.1  |
| I L (%)                  |           | 77.2         | 1380  | 919   | 423            | 247   |
| T C (%)                  |           | 11.7         | 50.6  | 46.4  | 31.6           | 16.4  |



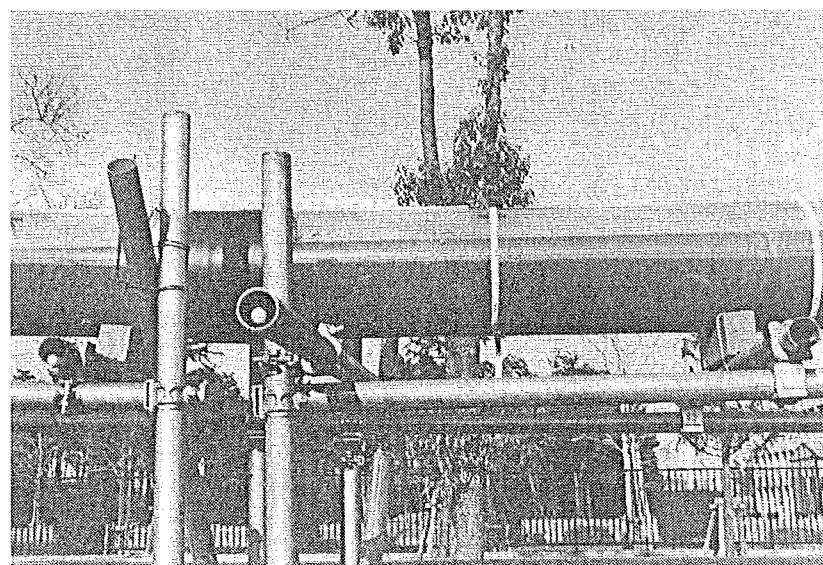
写真－6.1 実験装置のアクリル管部分



(a) 通水開始 7 分後

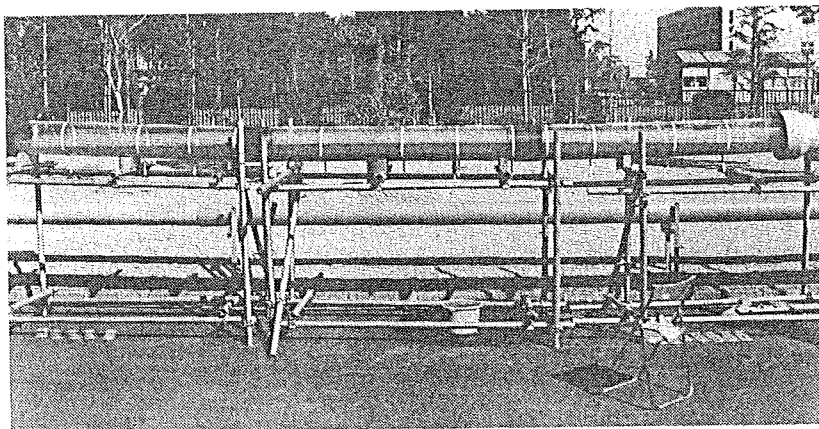


(b) 通水開始40分後



(c) 通水開始 1 時間後

写真 - 6. 2 堆積物の变化状況 (管No. 5 の下流側)



写真－6.3 通水1日後の堆積状況



写真－6.4 50%沈下区間（管No.6の下流側）の堆積物

## 7. 流下機能に関する水理的検討

ここでは3章の実態調査、4章、6章の実大模型実験、5章の下水管内堆積物の掃流実験で得られた結果をもとに下水管内の流下機能と堆積汚泥との関係の水理的検討を行う。

### 7.1 水理的検討の方法

水理的検討は次の方法で行う。

- ① 実態調査等で得られた下水管内の堆積物の性状から堆積物の種類を明らかにする。
- ② この堆積物の発生源は、管内を流れる汚水中に含まれるものである。これらの堆積の有無は水理量と関係があると考えられる。実大実験から水理量と堆積との関係を明らかにする。
- ③ また、堆積物は流量変動により巻き上げられ再び汚水中を流送する。このような堆積物の掃流現象も水理量と関係があると考えられる。掃流実験から水理量と堆積物の掃流との関係を明らかにする。
- ④ ②、③で得られた水理量と堆積・掃流の関係を整理し、堆積による断面変化を考慮した不等流計算式により下水管内の水理量を求め、実際の下水管路への適応性を検証する。

### 7.2 堆積物の種類

調査した下水管内の堆積物を採取、分析した結果を表-7.1に示す。堆積物はS市の2ヶ所、T市の1ヶ所で採取したものである。S市地点1では、有機物量を示す指標であるVTSまたはTCが大きく、有機物を多く含んでいることがわかる。また比重が砂の比重(2.65程度)と有機物の比重(1.1程度)の中間の値であり、有機分と無機分が混在した堆積物といえる。

それに対し、S市地点2とT市地点2はVTS、TCが小さく、有機分はほとんど含まれていない。比重は2.6~2.7で砂と同様であり、砂分が99%以上とほとんど砂で占められている。またS市地点2では、粒径が2cm程度の礫分も含まれていた。両地点は、堆積物の採取箇所が分流式の污水管であるにもかかわらず、汚水中に当然多く含まれる有機分はほとんど堆積せず、少量しか含まれていない砂等の無機分が堆積していたことになる。

以上のことから下水管内の堆積物は有機的な堆積物と無機的な堆積物の2種類に大別される。採取した堆積物を観察した結果、その中に含まれていた物質の主なものを挙げると表-7.2のようになる。有機的な堆積物は汚水中に含まれる生し尿、トイレトペーパー、台所排水などに含まれる固形物が主であり、無機的な堆積物は主に砂分であった。またこの他、実大模型実験の堆積物には黒色を呈した砂状の物質が多く見られた。

### 7.3 下水管内の堆積・掃流現象

実大模型実験の中から表-7.3に示す3ケースを水理的検討に用いた。実大模型実験その1の長期間通水実験がケース2、一定流量通水実験がケース3、そして実大模型実験その2がケース

1にあたる。

実大模型実験装置に汚水を通水し、堆積・掃流現象を観察したのが実験ケース1である。通水汚水の水質を調査した結果、SSが10～136mg/ℓ（平均72mg/ℓ）でそのうちVSが74～88%（平均83%）であり有機的なものが多く含まれている。また流量はバルブで調節することにより0～10ℓ/s程度の間で変化させることができる。ここでは目視により堆積・掃流状況がはっきり観察できる50%沈下区間（下流側管No.4～上流側管No.6の3本）の現象について述べる。

沈下区間では、流量を3ℓ/s程度に設定し通水を開始すると直ちに上流側から堆積が始まり、徐々に下流側に移っていった。汚水中の汚泥の動きを観察すると、正常区間を転動あるいは浮遊しながら流下してきたものが沈下区間にさしかかると管No.6（上流側）とNo.5には比較的大きいあるいは重い物質が堆積し、管No.4付近には主に浮遊していた物質が堆積していった。堆積は、初期段階では管No.5と6の間を中心とした2m程度の区間であったが、1日後には全沈下区間の6mの内の4.5m区間にほぼ水平に堆積し、定常状態となった。それ以降は堆積深に大きな変化はみられなかった。

実験終了後、管毎に堆積物の一部を採取、分析した結果を表-7.4に示す。上流側と中間の管No.6、5では比較的粒径の大きな物質がたまり、下流側の管No.4は小さな物質であり観察の結果と一致していた。またこのときの堆積物はいずれも比重が1.7程度で有機的な堆積物が主であった。

次にこの堆積物を流量を増大することにより掃流し、その状況を観察した。堆積物には汚物等が多く含まれその上を黒色を呈した有機物の破片のようなものが覆い、全体としてほぼ水平に堆積していた。装置内の流量が約10ℓ/sとなった時、堆積物は水平な状態を保ったまま徐々に掃流された。この時堆積物質の差による掃流状況に大きな違いはみられなかった。最終的には、最も沈下量が大きい管No.4と5の間付近にわずかに残っただけである。

このことから堆積・掃流現象は次のように説明できる。

下水管内を流れる流水中に含まれる物質はさまざまであり、その割合も場所、時間により異なる。堆積物と水理量の関係を考える上で全ての物質を考えることはできないため、代表する物質を選び出すか、許容できる範囲内で包括して考える必要がある。本研究では、堆積・掃流現象が沈下区間ではほぼ同時に短時間のうちに起こること、堆積形状および掃流形状も水平に保たれることから後者を選んだ。よって水理的な現象の説明も表-7.2に示す有機的、無機的な物質および実大実験のケース2、3に出てくる黒色の砂状の物質の3種類について行う。

#### 7.4 水理量と堆積・掃流現象

ここでは下水管内の水理量とそれにとまなう堆積・掃流現象の定量的な関係を把握し、現象が起こるときの条件を検討する。

#### 7.4.1 沈下量と堆積物

図－7.1 (b)に示す流量変動パターンは、実験装置を設置した処理場に流入してくる流水の流量変動パターンを模して作成したものである。実験ケース2は、この流量変動を与え実大実験装置（図－7.1 (a)）に汚水を通水し装置内の堆積状況をみたものである。1139時間（47日程度）通水後の堆積状況が図7.1 (c)である。装置の正常区間では、2ヶ月以上の通水期間にもかかわらず付着物が薄くある程度で堆積物はみられなかった。沈下区間には堆積物がみられ、その量は25%沈下区間よりも50%沈下区間で多い。このことは沈下量、つまり流下機能の低下の程度で堆積量に差が生じることを示している。

#### 7.4.2 水理量と堆積現象

次に堆積物と水理量との関係を見る。水理量との関係を見るため、図－7.1 (b)の3種類の一定流量で24時間通水した。50%および25%沈下区間の堆積量をみた結果が表－7.5である。堆積物は流量が小さいときに多い。また堆積物の性状については、25%沈下区間の堆積物は黒色の砂状物質である。一方50%沈下区間では流量により堆積物が異なり、流量3.6 ℓ/sでは底部には砂状物質を含む有機的な堆積物が8 cm程度、上部には黒色の砂状物質のみが1 cm程度堆積した。8.1 ℓ/s、11.6 ℓ/sの流量では後者（0.4～0.8 mm程度の砂状物質）のみが堆積した。

このように堆積物の量・質は流量あるいは沈下区間で異なる。この結果は水理量と堆積の関係から次のように説明できる。

有機的な堆積物は流量3.6 ℓ/sの50%沈下部のみに堆積しその他の場所では堆積はみられなかったことから、有機的な物質の堆積開始は3.6 ℓ/sの時の50%沈下区間の水理量（流速）より大きく、その他の場所あるいはケースより小さい水理量（流速）である。流量が3.6 ℓ/sの場合の流速を不等流計算で求めたのが図－7.2である。堆積状況をもとに有機的な堆積物が堆積する時の流速を推定すると10～15cm/sとなる。また黒色の砂状の堆積物は8.1 ℓ/s通水した時の50%沈下区間および3.6 ℓ/s通水した時の25%沈下区間でわずかに堆積したことから、その付近の水理量が堆積する時の流速で、その値は10～15cm/s程度と推定できる。

#### 7.4.3 水理量と掃流現象

S市地点2、T市地点2および実大模型実験の実験ケース2の50%沈下区間で採取した下水管内堆積物を対象として掃流実験装置を用いた掃流実験を行った。実験では、装置内に堆積物を敷き装置内の流速を徐々に増加させながら、堆積物の掃流状況を観察するとともに掃流物を採取、分析した。

装置内の流速と堆積物の掃流状況についてまとめたものを図－7.3に示す。表には試料全体の平均粒径・最大粒径、および堆積物を敷いた部分にかかると思われる掃流力も示してある。なおこの時の掃流力は次式で求めた。

$$\tau_0 \times A_0 = \tau \times A - \tau_a \times A_a$$

ここに、 $\tau_0$  : 汚泥部にかかる掃流力

$A_0$  : 汚泥部の面積

$\tau$  : 掃流区間の平均掃流力

$A$  : 掃流区間の面積

$\tau_a$  : アクリルのみの掃流力

$A_a$  : アクリルの面積

この時堆積物の粗度係数は0.02となる。また( )内の数字はその流速で掃流されたものの最大粒径を表している。

図-7.3から、装置内の堆積物を敷いた部分にかかる掃流力と実験状況を撮影したビデオ観察で得られた掃流状況についてまとめると次のようになる。

①有機的な堆積物は大きさはまちまちであるが、比重が1.7~2.1程度、VTSが30~90%程度の物質である。これが掃流を開始するのは掃流力が0.3 N/m<sup>2</sup>程度からである。

②無機的な堆積物は粒径が0.4~2 mm程度、比重が2.6程度、VTSが10%以下の物質である。下水道污水管の計画で掃流の対象とされている粒径2 mmの物質について検討すると、それが掃流を開始するのは掃流力が1.6 N/m<sup>2</sup>程度からである。

残念ながら実大実験で堆積した黒色の砂状物質は量が少なく明確にできなかった。実大模型実験での堆積状況からすると、0.4~0.8 mm程度の砂状の物質の掃流力は①と②の中間的な性質を示すものと考えられる。

#### 7.4.4 堆積物の堆積・掃流条件

堆積・掃流現象は流速と関係があることが明らかとなった。また堆積現象は污水中を転動しているか浮遊しているものが堆積するが堆積物の主なものは管の底部を転動している比較的大きな物質である。また堆積物が掃流される時も飛び出すことはなく、はがれたものが転動していく状況となる。このことから堆積・掃流現象は沈降速度によるよりもむしろ掃流力に関係しているものと考えられる。

さてここで掃流力と流速および管径と掃流力の関係について検討してみる。

一般に掃流力 $\tau$ は次式で示される。

$$\begin{aligned}\tau &= \rho g R I = g R I n^2 V^2 / R^{(4/3)} \\ &= g R I n^2 V^2 / R^{(1/3)}\end{aligned}$$

今、掃流実験装置と $\phi$  250mmのヒューム管(水深比 $H/D = 0.5$ )の掃流力 $\tau$ は、径深 $R$ の違いによることから、

$$\text{掃流実験装置} : \tau = 4.31 \rho g n_a^2 V_a^2$$

$$\phi \text{ 250mmヒューム管} : \tau_r = 4.31 \rho g n_r^2 V_r^2$$

となる。すなわち $\tau$ が等しくなるためには、

$$V_r = 1.3 (n_a / n_r) \times V_a$$

一般的にヒューム管とアクリル管の粗度係数はほぼ等しいので、 $\phi$  250mmで水深が管径の1/2のとき流速がアクリル管の流速の1.3倍であれば掃流力がほぼ等しいことになる。堆積物が同一であれば、粗度は両者で同一となるので、この考えは堆積がある場合も適用が可能となる。この関係を用いて有機物の掃流されるとき流速を $\phi$  250mmのヒューム管に適用してみると、図-7.

3 から  $V_c = 13 \text{ cm/s}$  程度であるから、 $V_c = 1.3 \times 1 \times 1.3 \approx 17 \text{ cm/s}$  程度となる。同様に砂状の物質が掃流される流速は有機的な堆積物と無機的な堆積物の中間値をとるものと推定されるので図-7.3 から  $V_c = 20 \text{ cm/s}$  程度であると考えられる。すると  $V_c = 26 \text{ cm/s}$  程度となる。

また管径の差による流速と掃流力の関係を図-7.4 に示す。掃流力は  $V$  の 2 乗に比例し  $R$  の  $1/3$  乗に比例するから、径深の変化による差異は大きくない。このように掃流力と流速はある一定の関係が成り立つので流速を用いて堆積・掃流現象はほぼ説明できる。すなわち汚水中を掃流されてくる物質は一定の流速以下になった時に堆積し始め、堆積した物質は一定の流速以上になった時に掃流し始める。この一連の堆積・掃流現象の始まりとなる条件を、前者を堆積開始流速、後者を掃流開始流速とここでは呼ぶ。

有機的な堆積物は流速が  $10 \sim 15 \text{ cm/s}$  で堆積し、 $20 \text{ cm/s}$  程度で掃流される。黒色の砂状の堆積物は、流速が  $15 \sim 25 \text{ cm/s}$  で堆積し、 $30 \text{ cm/s}$  程度であれば掃流される。2 種類の堆積物の堆積開始流速と掃流開始流速とは異なり、一度堆積した物質が直ちに掃流されることはない。この値をみると、2 種類の堆積物の堆積流速はほぼ同じであるのに対して、掃流流速には比較的大きな違いがある。これは有機物の粘着力がともに影響を与えていること示唆している。すなわち有機物な堆積物は小さな流量変動でも堆積・掃流を繰り返し、堆積物は絶えず置換されるが、砂乗の堆積物が堆積した場合、それを掃流させるには有機物に比べて大きな流量が必要であることを示している。また無機物は污水管であることから流入してくる量は多くないと考えられるが、 $2 \text{ mm}$  の砂の限界掃流力およそ  $1.6 \text{ N/m}^2$  程度と考えられるため、現在の管路計画の最小流速  $60 \text{ cm/s}$  をなんらかの原因で低下した場合、無機的な堆積物が継続して堆積する可能性がある。実態調査においても沈下部のみに無機的なものが多く堆積していた。

#### 7.4.5 汚水中の汚泥の量と堆積現象

污水管の堆積現象を考える場合、管内に流入してくる汚水中に含まれる汚泥の相対的な量と流量が常に変動していることを念頭におかなければならない。たとえば堆積開始流速（砂の場合は限界掃流力とほぼ同じ）は、(a)  $2 \text{ mm}$  の砂が  $V_c = 50 \sim 55 \text{ cm/s}$  程度、(b) 黒色の砂状物質が  $V_c = 15 \sim 20 \text{ cm/s}$  程度、(c) 有機物が  $V_c = 10 \sim 15 \text{ cm/s}$  程度であるから砂の堆積開始流速より低い流速が継続している場合、流入汚泥量が同じならば 3 者がほぼ同じ割合で堆積するはずである。しかし現実の汚水に含まれる量は (c)  $\gg$  (b)  $\gg$  (a) であるから、低流速時には見かけ上 (c) のみが堆積するように見える。これが実大実験で (c) の上に (b) が堆積していた原因と考えられる。また現地の実態調査で (a) のみが堆積していた理由は、そこでは流速  $V$  が  $V_c < V < V_c$  の範囲であることを示していると考えられる。

#### 7.5 堆積モデルと堆積・掃流条件の検証

7.4.4 で得た堆積物の堆積・掃流条件が実際の下水管で適応できるかモデルを作成して検証する。水理計算には不等流計算式を用い、堆積量が一定になるまで計算を繰り返し、その結果と一

定流量での通水実験の結果と比較した。通水実験では流水汚泥は有機的なものがほとんどだったので有機的な堆積物のみを対象とした。また堆積・掃流の計算を行うに当たり次のような仮定を行った。

- ① 堆積・掃流現象は流速によって決まるとした。ここでは有機的な堆積物の堆積開始流速は10 cm/s、掃流開始流速は20 cm/sとした。
- ② 堆積物は沈下区間の上流側から1 m区間に堆積し、計算一回当たりの堆積深は2 mmとした。堆積のさせ方は流速が堆積開始流速より遅い沈下区間全域に同時に一様にたまる、沈下区間の上流からあるいは下流からたまるなどについて検討した。また1回あたりの堆積深も0.5 mmのものについて計算した。これらの結果は全てほぼ同一となったので、計算時間より1回当たりの堆積深は2 mmに、実大実験の堆積状況に最も近い上流側から堆積させることにした。
- ③ 粗度係数は実大実験の測定結果に基づき、一様に0.013とした。

計算のフローを図-7.5に示す。不等流計算を用いて水理計算を行ったが、堆積物の影響は堆積による流水断面積の減少で表すものとした。計算は①～③の仮定に基づき全ての断面で流速が堆積開始流速を越えるまで繰り返し計算を行った。計算区間長 $\Delta X$ は50 cmである。検証に用いた実大実験のケース1は流量3.1 l/sである。検証計算結果を図-7.6に示す。図をみると、局所的な堆積形状は再現し得ないが、全体的な堆積深の再現は良好である。水理量と堆積物の量的な関係について実用上有用な精度で良好に再現されたと考えられ、ここでの仮定の妥当性が検証され、今後の予測計算が可能となった。

## 7.6 まとめ

以上のことから、分流式污水管の堆積汚泥と水理量について以下の結論をえた。

- ① 実態調査で採取した、沈下した下水管内の堆積物は無機物を多く含む。
- ② 実大模型実験の50%沈下区間では、汚水を通水すると直ちに堆積が始まり、一日ではほぼ水平状態で定常となる。また掃流される時もほぼ水平を保つ。
- ③ 実大模型実験の沈下区間の堆積物は有機的な物質、黒色の砂状物質および無機的な物質に大別される。
- ④ 堆積・掃流現象の開始は一定の水理量できまる。有機的な物質の堆積開始流速は10～15 cm/s、掃流開始流速は25 cm/s程度である。また無機的な物質のうち粒径2 mmの砂の掃流は、掃流力が1.6 N/m<sup>2</sup>程度から始まる。
- ⑤ ④の条件を用いて検証した結果、実際の堆積量を実用上有用な精度で再現することができた。

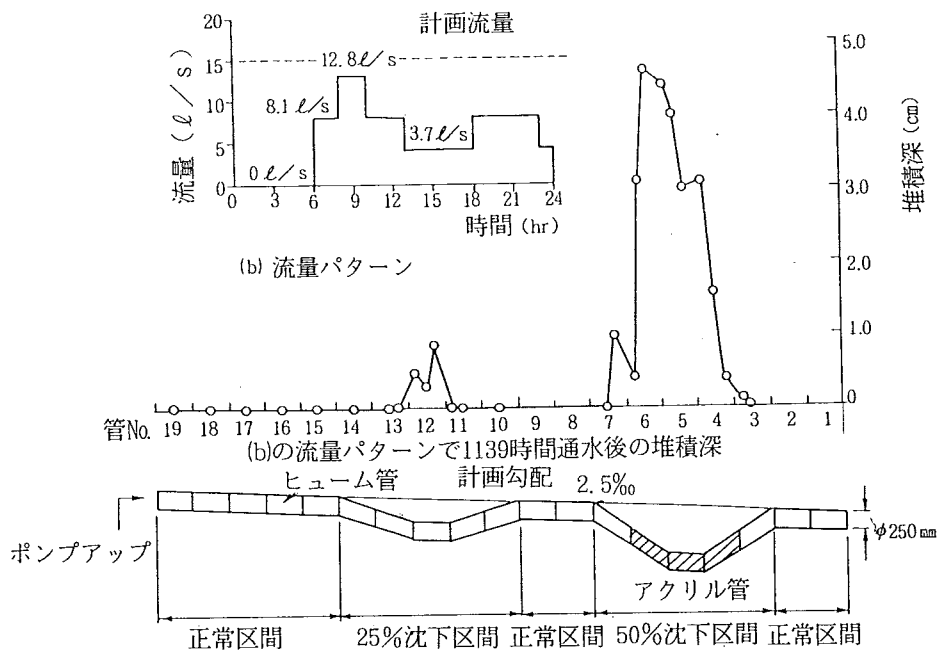


図-7.1 実大模型実験の概要

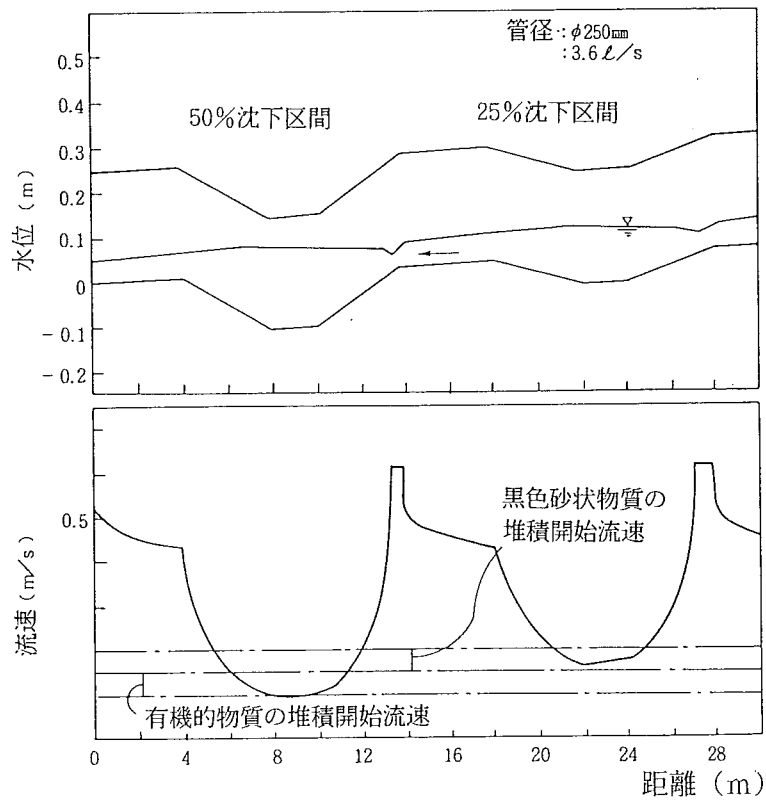


図-7.2 汚泥の堆積開始流速

表－7.1 堆積物の性状

| 採取地点<br>分析項目   |     | S市管路<br>地点1 | S市管路<br>地点2 | T市管路<br>地点2 |
|----------------|-----|-------------|-------------|-------------|
| T S (%)        |     | 39          | 77          | 70          |
| V T S (%)      |     | 15          | 2.3         | 2.0         |
| T C (mg/g)     |     | 162         | 24          | 13          |
| 硫化物 (mg/g)     |     | —           | 2.8         | —           |
| 比 重            |     | 2.12        | 2.64        | 2.70        |
| 粒<br>径<br>(mm) | 最大  | —           | 19.1        | 4.8         |
|                | 60% | —           | 4.7         | 0.43        |
|                | 30% | —           | 1.8         | 0.28        |
|                | 10% | —           | 1.0         | 0.17        |
| 砂 分 (%)        |     | 23          | 99          | 95          |

表－7.2 堆積物の種類

| 種 類     | 含 ま れ る 物 質                       |
|---------|-----------------------------------|
| 有機的な堆積物 | し尿、トイレットペーパー等のトイレ排水、果物の種、米粒等の台所排水 |
| 黒色の砂状物質 |                                   |
| 無機的な堆積物 | 砂分、ときに礫も含む                        |

表－7.3 実大模型実験の実験ケース

| ケース | 流 量               | 通水期間   | 把 握 事 項                  |
|-----|-------------------|--------|--------------------------|
| 1   | 0～11ℓ/sの間を変動させる   | 1日程度   | 50%沈下区間での目視による堆積・掃流現象の把握 |
| 2   | 実際の変動を模した流量変動を与える | 47日間連続 | 沈下量による堆積状況の把握            |
| 3   | 一定流量で3ケースの値を与える   | 1日     | 水理量による堆積状況の把握            |

表－7.4 50％沈下区間の堆積物の性状（ケース1）

| 項目 \ 管No.    |       | 4<br>(下流側) | 5      | 6<br>(上流側) |
|--------------|-------|------------|--------|------------|
| 粒度分布<br>(mm) | 最大粒径  | 2.00       | 4.76   | 9.52       |
|              | 60％粒径 | 0.024      | 0.50   | 0.65       |
|              | 30％粒径 | 0.009      | 0.0065 | —          |
| 比重           |       | 1.81       | 1.74   | 1.79       |
| T S (%)      |       | 2.24       | 6.96   | 13.7       |
| V T S (%)    |       | 83.9       | 85.9   | 87.7       |
| 硫化物 (mg/g)   |       | 18         | 22     | 196        |

表－7.5 一定流量通水時の堆積量

| 流 量<br>(ℓ/s) | 最大堆積深 (cm)   |              |      |
|--------------|--------------|--------------|------|
|              | 50％沈下<br>区 間 | 25％沈下<br>区 間 | 正常区間 |
| 3.6          | 8.7          | 0.8          | 0    |
| 8.1          | 0.8          | 0            | 0    |
| 11.6         | 0.6          | 0            | 0    |

| 実 験 ケ ー ス                          |                              |                  |       | A         | B            | C                      | D                  | E                  | F              | G                        | H                        |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
|------------------------------------|------------------------------|------------------|-------|-----------|--------------|------------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|--------|--|-------------|---------|----------|-----------------|---------------|---------|--|--|--|
| 試 料 名                              |                              |                  |       | S市下水管内堆積物 | S市下水管内堆積物    | T市下水管内堆積物人孔 No. 11     | T市下水管内堆積物人孔 No. 12 | T市下水管内堆積物人孔 No. 12 | 狭山台処理場内実験壁底堆積物 | 狭山台処理場内実験50%沈下部堆積物 No. 3 | 狭山台処理場内実験50%沈下部堆積物 No. 4 |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| 平均 粒 径 (mm)                        |                              |                  |       | 4.7       | 4.7          | 4.6                    | 0.4                | 0.4                | —              | 0.9                      | 0.9                      |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| 最 大 粒 径 (mm)                       |                              |                  |       | 19.1      | 19.1         | 25.4                   | 4.8                | 4.8                | —              | 9.5                      | 9.5                      |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| 比 重                                |                              |                  |       | 2.65      | 2.65         | 2.70                   | 2.70               | 2.70               | —              | 2.64                     | 2.64                     |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| 汚泥部の掃流力                            | $r_0$<br>(N/m <sup>2</sup> ) | $r_0 = 17.7 V^2$ | (m/s) | 0.1       | 付着物剥離され流送    | 有機分浮遊                  | 有機分浮遊              | 有機分剥離 (0.84)       | 砂単位で移動 (2)     | 浮遊物移動                    | 浮遊物が移動                   | 浮遊物が移動 |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 0.2       | アーマコート形成 (2) | 砂粒単位で移動                | (2)                | 除々に砂移動             |                | 砂全体的に移動                  | 生ゴミ転動                    | 生ゴミ転動  |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 0.3       |              | 砂粒が連続して移動              |                    | 河床波形成              |                |                          |                          |        |  | 生ゴミ浮遊砂移動    | 生ゴミ移動量大 |          |                 |               |         |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 0.4       |              | アーマコート形成               |                    | 砂粒が連続して移動          |                |                          |                          |        |  | 砂浮遊して移動 (2) |         | 砂が連続的に移動 | 砂が連続的に移動 (0.84) | 生ゴミ剥離して移動 (2) |         |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 0.5       |              | 礫の後ろが掘れる<br>↓<br>不安定   |                    | 堆積形状が大きく変化         |                |                          |                          |        |  | 平坦河床となる     |         | 砂連続して移動  |                 |               | 砂全体的に移動 |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 1.0       |              | 数センチの礫移動<br>↓<br>砂粒の掃流 |                    | 1mm程度の砂移動 (0.8)    |                |                          |                          |        |  | 2mm程度の砂移動   |         | ほとんど掃流   |                 |               |         |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 1.5       |              | すべて掃流 (20)             |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 2.0       |              |                        |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 2.5       |              |                        |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
|                                    |                              |                  |       | 3.0       |              |                        |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| 4.0                                |                              |                  |       |           |              |                        |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| 5.0                                |                              |                  |       |           |              |                        |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| 10.0                               |                              |                  |       |           |              |                        |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| 15.0                               |                              |                  |       |           |              |                        |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |
| ※表中 ( ) 内はその流速で掃流された最大粒径を示す 単位: mm |                              |                  |       |           |              |                        |                    |                    |                |                          |                          |        |  |             |         |          |                 |               |         |  |  |  |

図-7.3 汚泥の掃流状態

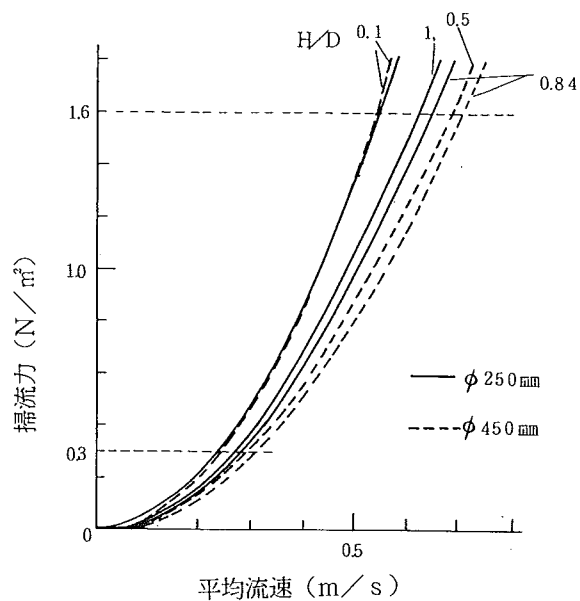


図-7.4 管内の平均流速と掃流力の関係

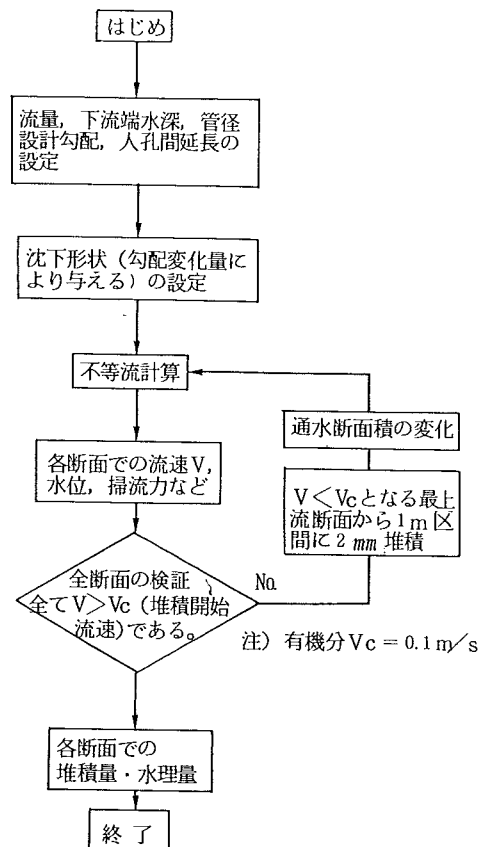


図-7.5 予測計算のフロー

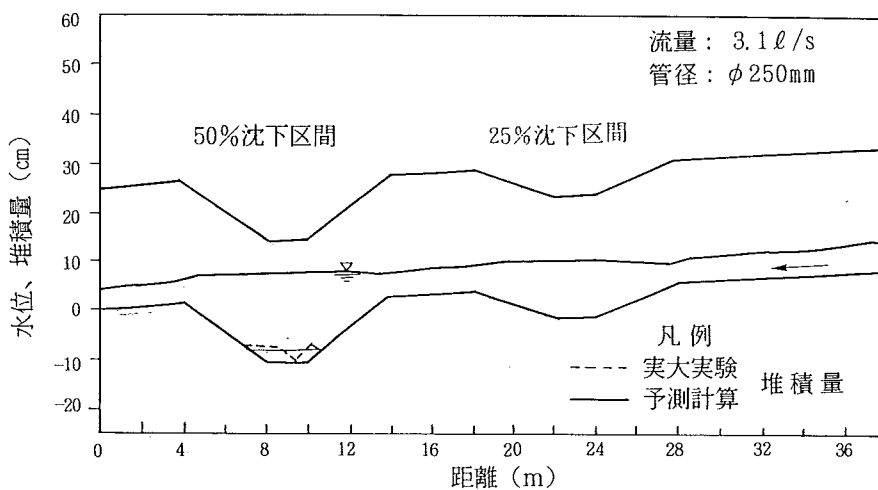


図-7.6 堆積量の予測計算

## 8. 不同沈下に伴う堆積量の予測計算

### 8.1 概要

7章で求めた污水管内における汚泥の堆積開始流速をもとに、下水管が不同沈下した場合の流下機能の低下に伴う堆積量を推定するものである。不同沈下量、沈下形状は実際に敷設されている下水管におけるそれをもとに設定し、堆積による断面変化を考慮した不等流計算を行い、沈下量と堆積量の関係を求めた。

### 8.2 沈下量の設定

沈下形状は不同沈下した下水管の実態調査結果から、不同沈下点を頂点として弧を描く形状、あるいは最大沈下点が2、3地点ある段階状、波状形状等さまざまである。しかし沈下形状は、下水管の継ぎ目の部分の最大曲げ角度でおのずと決まってくる。例えばφ 250mmの下水管の最大曲げ角度は $2^{\circ} 55'$ である。管路の継ぎ目の角度がこの値を越える不同沈下があれば管路が破損することが考えられる。

不同沈下した下水管の沈下量は管渠の埋設地盤等によってさまざまな沈下量となる。既往調査結果によれば、沈下量は5～15cmが一番頻度が高い。沈下量が15cm未満のものが大半であるという結果から、その上限を20cmとして考えてよい。また流量との関係にもよるが満管にならない量を設定するものとする。

### 8.3 予測計算

ここでは、不同沈下した下水管の水理量とそれに伴う堆積の有無、堆積量を求めるために次の検討を行うものである。

- ① 堆積を予測するモデルを作成する。
- ② 有機物の堆積量を沈下量、管径、勾配ごとに計算する。
- ③ 無機物の堆積量を沈下量、管径、勾配ごとに計算する。

#### 8.3.1 モデルの構成

本研究で対象としているのは、分流式污水管の小口径管である。また不同沈下の定義から、マンホールは沈下しないものと考えるので、境界条件として人孔間（1スパン）をとる。不同沈下に伴う堆積場所と堆積量は、7章で検証計算に用いた、断面変化を考慮した1次元の不等流計算で下水管内の水理量を求め、各断面に流速に対応して汚泥を堆積させていく堆積モデルにより求めた。

#### 8.3.2 計算式

計算式には不等流計算を用いる。実際の下水管は流入汚水量が変化するため、日単位でみると時間的に変動していると考えられるが、数分から数時間程度の単位で考えれば流量の大きな変動はないものとみなせる。よってここでは、流量が時間的に変動しないものとして、水理量を求め

る。

不等流計算式を以下に示す。

$$\text{エネルギー式} \quad \left\{ H_2 + \frac{1}{2g} \left( \frac{Q_2}{A_2} \right)^2 \right\} - \left\{ H_1 + \frac{Q_1}{2g} \left( \frac{Q_1}{A_1} \right)^2 \right\} = h_e \quad (8-1)$$

$$\text{エネルギー損失} \quad h_e = \frac{1}{2} \left( \frac{n_1^2 Q_1^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{n_2^2 Q_2^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right) \Delta X \quad (8-2)$$

$$\begin{aligned} h &= r - r \cos \phi \\ &= r (1 - \cos \phi) \dots\dots\dots (8-3) \end{aligned}$$

ここに  $h$  : 水深 (m)

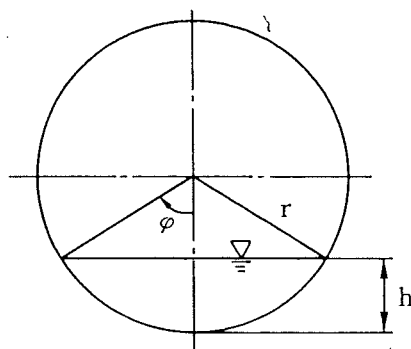
$r$  : 半径 (m)

(8-3) 式より

$$\phi = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{h}{r} \right)$$

断面積  $A$

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{2} r^2 \cdot \frac{2\phi}{\pi} - \frac{1}{2} r \cos \phi \cdot 2r \sin \phi \\ &= r^2 \phi - r^2 \frac{\sin 2\phi}{2} \\ &= \frac{r^2 (2\phi - \sin 2\phi)}{2} \quad (\text{m}^2) \dots\dots\dots (8-4) \end{aligned}$$



潤辺  $S$

$$S = 2 r \phi \quad (\text{m}) \dots\dots\dots (8-5)$$

径深  $R$

$$R = \frac{A}{S} \quad (\text{m}) \dots\dots\dots (8-6)$$

次に不等流計算より得られた水深(水位)から流速、掃流力を計算する。以下に流速、掃流力の計算式を示す。なお満管になった場合や水深が限界水深以下になった場合には特別な操作を行った。

流速  $V$

$$R = \frac{Q}{A} \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots (8-7)$$

ここに

$Q$  : 流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  : 断面積 ( $\text{m}^2$ )

掃流力  $\tau$

$$\tau = \rho g R I e \quad (\text{N/m}^2) \dots\dots\dots (8-8)$$

ここに

$$\rho = 1000$$

$$g = 9.8$$

R : 径深

$$Ie : \text{エネルギー勾配} \left( = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} \right)$$

n : 粗度係数 (=0.013)

### 8.3.3 計算に用いた仮定

予測計算を行うにあたり、次の仮定を行う。

- 1) 堆積は堆積開始流速より遅くなった時に生じ、掃流開始流速より早くなった時にはがれる。  
すなわち流速によって堆積、掃流現象はきまる。
- 2) 堆積は堆積開始流速より遅くなった部分の上流側から起こり、1 m 区間に少しずつ（ここでは1回あたり2 mm たまるものとした）堆積してしまう。
- 3) 掃流は堆積している区間の掃流開始流速を越える部分で同時に少しずつ（ここでは1回あたりの計算について2 mm とした）起こる。
- 4) 計算では下流端水深をあたえるが、これは下流側の管路の始まりの部分、つまりマンホール  
の水深を与えることになる。ここでは、下流端水深は不明であるため、限界水深または等流水  
深であたえる。限界水深で与える場合は、例えば流水がマンホール部で段落ちしていると考え  
たものである。
- 5) 計算の簡略化のために、実際の現象に比べてかけ離れない程度にモデル計算を簡略化する。  
沈下量に比較して流量が多い場合、沈下区間で汚水は満管となって流れる。水位が満管以上と  
なった場合、満管が始まった水位にもどるまで満管が継続するものとする。また流量が小さい  
場合、管勾配が急勾配に変化するところで限界水深より小さくなると、流れは射流になる。射  
流の区間は、限界水深で流れるものとする。

## 8.4 計算結果

### 8.4.1 計算の範囲

計算の対象としたのは、管径が 250mm と 350mm の管路である。また流量は、管径 250mm、設計勾配 2.5 パーミルのときの設計流量 (15 l/s) を基準とし、これの 75% 流量 (10 l/s)、50% 流量 (7.5 l/s)、25% 流量 (3.75 l/s) について求めた。

沈下量は、沈下する可能性ある最大量が 20cm<sup>1)</sup> であるから、0 ~ 20cm 程度までを求めた。設計勾配は、流下機能を考える上で最も厳しい条件となる 2.5 パーミルを中心として、1.0 ~ 4.0 パ

ーミルの範囲について考える。

#### 8.4.2 計算結果

下水管路の不同沈下に伴う、有機物の堆積量と無機物の堆積量を流量、沈下量、管径、設計勾配を変化させることにより求める。沈下条件として、図-8.1に示すような1ヵ所で一連の沈下を用いた。

実際の下水管路はさまざまな不同沈下形状となるが、その沈下形状を一般化するのは不可能である。よって、ここでは沈下形状を最大沈下量で代表させる。また堆積量は沈下形状により変化するので、ここでは最大堆積深でそれを代表させる。

計算結果を出力した例が図-8.2である。図には管路の沈下形状と流量を与えた場合の水位、平均流速、平均掃流力の縦断的な変化を示す。計算は一次元計算であるため、この値は管断面の中心線でのものである。

#### 8.4.3 堆積量の推定

8.4.2の結果をもとに管径、流量ごとにまとめたものを図-8.3(a)~(f)に示す。図は縦軸に最大沈下量(cm)をとり、横軸は設計勾配(パーミル)であり、最大沈下量と設計勾配を変化させたときの最大堆積深の変化を示したものである。図からわかるように、設計勾配が変化しても堆積量はそれほど変化がない。それに比べて沈下量が1cm増すと、堆積深が1cm近く増加するものもあることから、堆積深はむしろ沈下量の大ききで決まるものと推定される。

##### ① 有機物的物質の堆積量の推定

流量は3.75ℓ/s、7.5ℓ/s、10ℓ/sを用いた。これは設計勾配2.5パーミルの計画流量に対する流量の25%、50%および75%の流量にあたる。管径はφ250mm、φ350mmとした。

予測計算の結果の二、三の例を次に示す。

7章の堆積条件から、その流量が継続した時の堆積深を予測するものとして堆積開始流速 $V_c = 10\text{cm/s}$ を設定すると図-8.3(a)、図-8.3(b)のようになる。3.75ℓ/s、φ250mmでは、10cm程度の沈下であれば2.5パーミルの勾配で堆積しない(図-8.3(a))。3.75ℓ/s、φ350mmでは、10cm程度の沈下であれば3.5パーミル以上の勾配で堆積しない(図-8.3(b))。

次にその流量が流れた時に、堆積物がけずれてもなお残る堆積深を予測するものとして、 $V_c = 20\text{cm/s}$ を設定すると図-8.3(c)~図-8.3(e)のようになる。7.5ℓ/s、φ250mmでは、9cm程度の沈下であれば2.5パーミル以上の勾配では堆積しない(図-8.3(c))。φ350mmでは、6cm程度の沈下であれば2.5パーミル以上の勾配では堆積しない(図-8.3(d))。10.0ℓ/s、φ350mm、9cm程度の沈下であれば2.5パーミル以上の勾配では堆積しない(図-8.3(e))。

##### ② 無機物的物質および砂状物質の堆積量の推定

汚水の中に2mm以上の砂または礫が多量に含まれる場合は、最小流速を60cm/s程度で設計したならば、沈下した量だけ堆積することになる。

また7章から0.4~0.8mmの砂状物質の堆積開始流速は20cm/s程度と推定されるので、堆積

予測量の予測結果は有機物の  $V_c = 20\text{cm}$  の結果と同様となる。掃流開始流速については  $V_c = 40\text{cm/s}$  と推定されるため、例えば  $7.5\text{ l/s}$ 、 $\phi 250\text{mm}$  で、 $10\text{cm}$  程度の沈下であれば  $2.5$  パーミルで堆積深は  $5 \sim 6\text{ cm}$  となる（図－8.3(f)）。この量は、下水管の全断面の  $14 \sim 18\%$  にあたるものである。

#### <参考>

本検討に用いた、不等流計算に堆積計算を組み込んだプログラムを以下に示す。プログラムはパソコン用の BASIC で作成し、出力機器はプロッターである。

#### <参考文献>

- 1) (財) 国土開発技術研究センター：昭和59年度軟弱地盤における下水道管路の設計指針に関する調査検討報告書，昭和60年3月

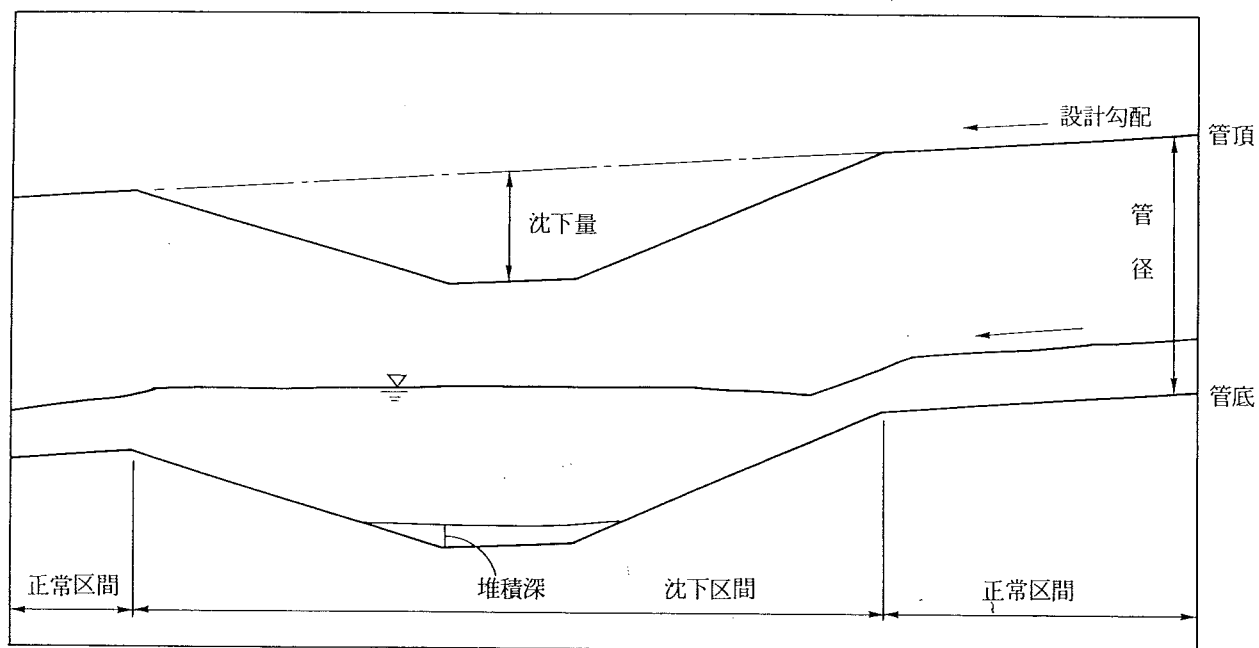


図-8.1 計算に用いた沈下形状

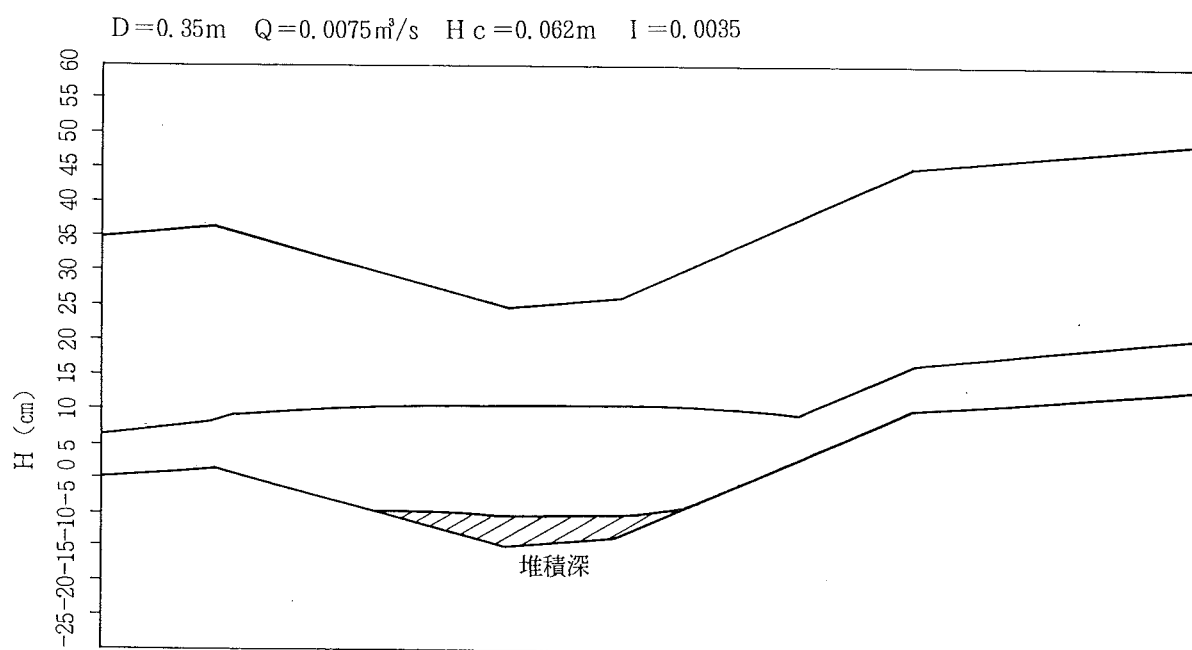


図-8.2 計算出力例

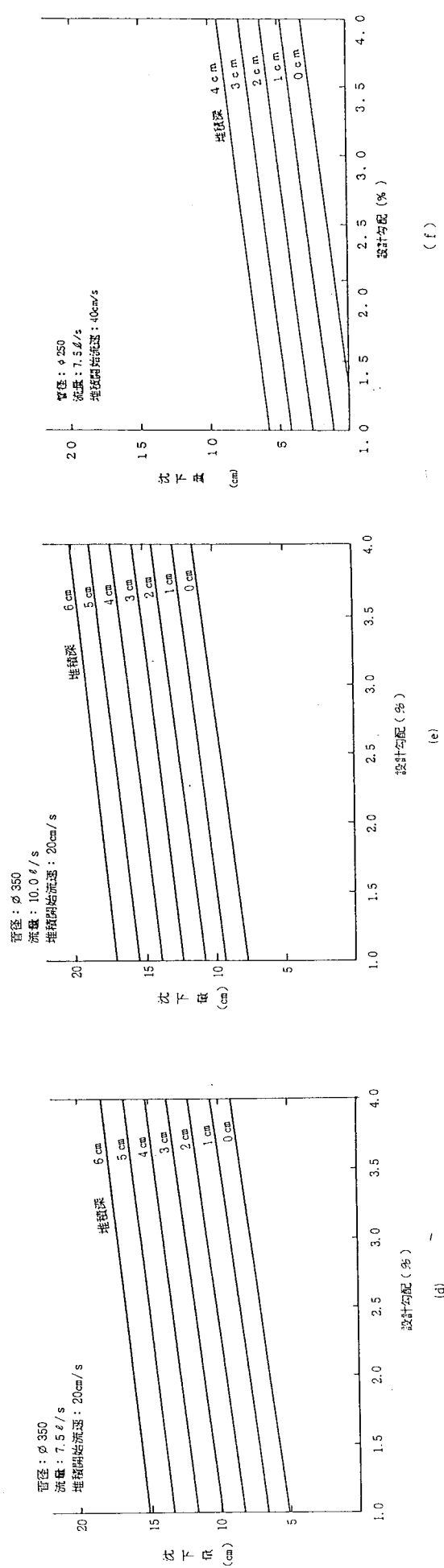
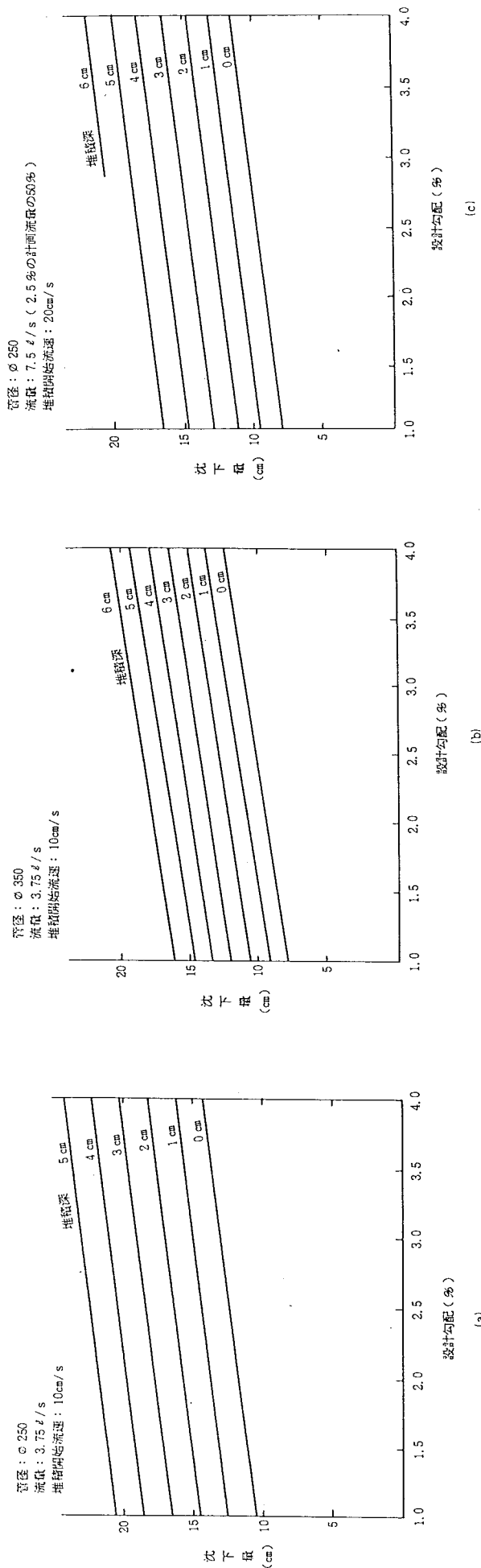


図-8.3 管路内堆積深の予測

下水道の不同沈下による汚泥の堆積厚を求めるプログラム

```

1000 ' フトリユウ ケイリン (エンケイタイマン)
1050 ' オデ-イツリユウ モデル
1100 ' "SOURYU." ,A
1150 '
1200 '      スイイ(m)      ケイリン(m)      タンメンセキ(m2)      シュンベン(m)      スイメンハハ      コウハ-イ
1250 DIM I(2000) ,R(2000) ,A(2000) ,S(2000) ,U(2000) ,KO(2000)
1300 '
1350 '      リュウツク(m/s)      フルト-スウ      ソリユウリョク(N/m2)      チンカリヤウ(+m)      ソト-ケイスク      SOD(2000)
1400 DIM V(2000) ,FR(2000) ,TAU(2000) ,SS(500) ,SOD(2000)
1450 '
1500 '      タイセキアツ(m)      タイセキケイリン      タイセキダンメン      タイセキシュンベン      タイセキハハ      シツサイジュンベン
1550 DIM TAI(2000) ,FR(2000) ,TA(2000) ,TS(2000) ,TU(2000) ,SSS(2000)
1600 '
1650 '      シ-ハンダンカ(m)      スイイ(m)
1700 DIM CL(2000) ,IG(2000)
1750 '
1800 '
1850 ' オデ-イスク / ヲタイ
1900 '      リュウリヤウ(m3/s)      カンケイ(m)      シュンケイハ-イ      ケイリンチヤウ      ケンカイリユウツク(m/s)
1950 READ Q ,DB ,KO1 ,DX ,VC
2000 DATA .012 ,0.25 ,0.0025 ,0.5 ,0.2
2050 '
2100 '      カンボンズ      カンノナカ-ヤ(m)      ハ-イ      スウケイスク(4/3)      シ-ワリヤウツク(m)      タイセキツクト- (m)
2150 READ KAN ,KAL ,PAI ,C ,G ,TAIII
2200 DATA 15 ,2.0 ,3.14159 ,1.33333 ,9.8 ,0.001
2250 '
2300 '      ケンカイソリユウリョク(N/m2)
2350 '      オデ-イ      スナブ-ン
2400 READ TAUO ,TAUS
2450 DATA 0.3 ,1.6
2500 '
2550 READ ESP1 ,ESP2 ,ESP3
2600 DATA 0.00001 ,0.001 ,0.00001
2650 '
2700 '      ソト-ケイスク
2750 '      ヒョ-ムカンツ-      オデ-イツ-
2800 READ SOD1 ,SOD2
2850 DATA 0.013 ,0.019
2900 '
2950 ' チンカリヤウ(m)      チンカ : -** トリシュツ : +**
3000 FOR K=1 TO KAN :READ SS(K) :NEXT K
3050 '      1      2      3      4      5
3100 DATA 0.0 ,0.0 ,-.063 ,-.125 ,-.125
3150 '
3200 '      6      7      8      9      10
3250 DATA -.063 ,0.0 ,0.0 ,-.031 ,-.063
3300 '
3350 '      11      12      13      14      15
3400 DATA -.063 ,-.031 ,0.0 ,0.0 ,0.0
3450 '
3500 '      16      17      18      19      20
3550 DATA 0.0 ,0.0 ,0.0 ,0.0 ,0.0
3600 '

```

```

3650 ' 21 22 23 24 25
3700 DATA 0.0 ,0.0 ,0 ,0 ,0
3750 '
3800 ' 26 27 28 29 30
3850 DATA 0.0 ,0.0 ,0 ,0 ,0
3900 '
3950 'タイヌノケイゲン
4000 '
4050 LL=KAN*KAL, : 'セ-ンチユウ(m)
4100 RK=DD/2 : 'ハンケイ(m)
4150 KANN=KAL/DX : 'カンイッホ-ンノリフ-ンスウ
4200 NN=KAN*KANN : 'ケイゲンセ-ンチンズウ
4250 '
4300 GOSUB *TOURVU, : 'トウリユウスイシンノケイゲン
4350 GOSUB *GENKAI, : 'ゲ-ンカイスイシンノケイゲン
4400 GOSUB *KOUHA, : 'コウハ-イノケイゲン
4450 GOSUB *FUTOU, : 'フツウエウケイゲン
4500 'GOSUB *PRI, : 'ワ-リントワ-ト(セ-イヌマ-レイ)
4550 GOSUB *PILOT, : 'ワ-ウツタニヨル' ヲツ
4600 END
4650 '
4700 '77 Pro.
4750 '
4800 '
4850 *TOURVU.
4900 '
4950 H1=DD*2/3
5000 C5=(SDB1*Q/SQR(KO1))^-.375
5050 *G3, : C3=SQR(2*HK*H1-H1*H1)
5100 IF H1<=RK THEN GOTO *G1.
5150 IF H1>RK THEN GOTO *G2.
5200 '
5250 *G1.
5300 TH=ATN(C3/(HK-H1))
5350 D1=C5*(2*TH)^.25/(TH-.5*SIN(2*TH))^-.625
5400 H0=D1*(1-COS(TH))
5450 GOSUB *CHECK1.
5500 IF XXX<>1 THEN GOTO *G3. ELSE GOTO *G5.
5550 '
5600 *G2.
5650 TH=ATN(C3/(H1-RK))
5700 D1=C5*(2*TH)^.25/(TH-.5*SIN(TH))^-.625
5750 H0=D1*(1+COS(TH))
5800 GOSUB *CHECK1.
5850 IF XXX<>1 THEN GOTO *G3. ELSE GOTO *G5.
5900 '
5950 *G5.
6000 PRINT "H0=" ;H0;" m"
6050 RETURN
6100 '
6150 *CHECK1.
6200 X=0
6250 RP=H0-H1

```

```

6300 IF ADS(ER)<ESP3 THEN XXX=1
6350 IF XXX=1 THEN RETURN ELSE H1=H0 : RETURN
6400 ,
6450 ,
6500 , GENKAI.
6550 ,
6600 H1=DD/3 : 'シユキ+
6650 C2=2*Q/Q/G
6700 C3=SQR(2*RK*H1-H1*H1)
6750 IF H1<RK THEN *E1.
6800 IF H1> RK THEN *E2.
6850 ,
6900 *E1.
6950 TH=ATN(C3/(RK-H1))
7000 D1=(C2*SIN(TH))/(TH-.5*SIN(2*TH))^3^.2
7050 HC=D1*(1-COS(TH))
7100 COSUB *CHECK2.
7150 IF XXX<>1 THEN GOTO *E1. ELSE GOTO *E3.
7200 ,
7250 *E2.
7300 TH=ATN(C3/(H1-RK))
7350 D1=(C2*SIN(TH))/(PAI-TH+.5*SIN(2*TH))^3^.2
7400 HC=D1*(1+D1*COS(TH))
7450 COSUB *CHECK2.
7500 IF XXX<>1 THEN GOTO *E2. ELSE GOTO *E3.
7550 ,
7600 *E3.
7650 PRINT "HC= " ; HC ; " m"
7700 RETURN
7750 ,
7800 ,
7850 *CHECK2.
7900 X=0
7950 ER=HC-H1
8000 IF ADS(ER)<ESP3 THEN XXX=1
8050 IF XXX=1 THEN RETURN ELSE H1=HC : RETURN
8100 ,
8150 ,
8200 *KOURA.
8250 ,
8300 I=1 : K=1
8350 *H1.
8400 IF K > KAN OR I > NN THEN GOTO *B4.
8450 IF I > K*KANN THEN GOTO *D2. ,
8500 ,
8550 KO(I)=KO1+(SS(K)-SS(K-1))/KAL.
8600 ,
8650 I=I+1 : GOTO *B1.
8700 ,
8750 *D2. : K=K+1 : GOTO *D1.
8800 *B4.
8850 RETURN
8900 ,

```

```

8950 ,
9000 ,
9050 ,
9100 FUTOU.
9150 TAI=0
9200 ,
9250 INPUT "カワダツクシイシヤ (m) ";H0
9300 ,
9350 FOR I=0 TO NN
9400 ,
9450 IF I=0 THEN H(I)=H(I-1)
9500 ,
9550 *A1.
9600 ,
9650 IF I=0 THEN COSUB *TABANN. :COSUB *SUDANN. :COSUB *FUSODO. :COSUB *JIDANN. :GOTO *A2.
9700 COSUB *TABANN. :COSUB *SUDANN. :COSUB *FUSODO. :COSUB *JIDANN.
9750 ,
9800 SS1=(SOD(I-1)*Q/A(I-1))^2/(R(I-1)^C)
9850 SS2=(SOD(I)*Q/A(I))^2/(R(I)^C)
9900 TT1=(Q/A(I-1))^2/(2*C)
9950 TT2=(Q/A(I))^2/(2*C)
10000 H2=H(I-1)*(SS1+SS2)*DX/2+TT1-TT2-DX*KO(I)
10050 IF H2>0 THEN H(I)=H2 :COSUB *TABANN. :COSUB *SUDANN. :COSUB *FUSODO. :COSUB *JIDANN. :GOTO *A2.
10100 IF H2<0 THEN H(I)=H2 :COSUB *TABANN. :COSUB *SUDANN. :COSUB *FUSODO. :COSUB *JIDANN. :GOTO *A2.
10150 H1=H(I)-H2
10200 IF ABS(H1) < EPS1 THEN GOTO *A2.
10250 H(I)=H1
10300 GOTO *A1.
10350 *A2.
10400 ,
10450 'カワダツクシイシヤ'
10500 V(I)=Q/A(I)
10550 IF V(I) > VC THEN GOTO *A5.
10600 TAI(I)=TAI(I)+TAI1
10650 GOTO *A1.
10700 ,
10750 *A5.
10800 'カワダツクシイシヤ' / 'カワダツクシイシヤ'
10850 ,
10900 IF I<0 THEN GL(I)=GL(I-1)+DX*KO(I) ELSE GL(I)=0
10950 HG(I)=GL(I)+H(I)
11000 ,
11050 FR(I)=V(I)/SQR(G*A(I)/U(I))
11100 TAU(I)=1000*9.8*SOD(I)*V(I)+SOD(I)*V(I)/(R(I)^(1/3))
11150 ,
11200 PRINT USING "###: ###.###(m) V###.###(m/s) FR(###.###) TAU###.###(m) n(###.###) l(###.###)";I,H(I);V(I);FR(I);TAU(I);SOD(I);KO(I)
11250 INPUT " ";VV$
11300 ,
11350 NEXT I
11400 ,
11450 RETURN
11500 ,
11550 ,

```

```

11600 *TADANN. : 'タテキ タンタ / タイヤ
11650 ,
11700 IF TAI(1)<=0 THEN GOTO *D1.
11750 HHI=TAI(1)
11800 AS=1-HHI/RK
11850 PO=(-ATN(AS/SQR(-AS*AS+1))+PAI/2)
11900 TA(1)=RK*RK*(2*PO-SIN(2*PO))/2 : TS(1)=2*RK*PO
11950 TR(1)=TA(1)/TS(1)
12000 TU(1)=2*RK*SIN(PO)
12050 ,
12100 *D1.
12150 RETURN
12200 ,
12250 ,
12300 *SUDANN. : 'タラン タンタ / タイヤ
12350 ,
12400 IF H(1) <= 0 THEN GOTO *D2.
12450 HHI2=H(1)
12500 AS=1-HHI2/RK
12550 PO=(-ATN(AS/SQR(-AS*AS+1))+PAI/2)
12600 A(1)=RK*RK*(2*PO-SIN(2*PO))/2 : S(1)=2*RK*PO
12650 R(1)=A(1)/S(1)
12700 H(1)=2*RK*SIN(PO)
12750 ,
12800 *D2.
12850 RETURN
12900 ,
12950 ,
13000 *FUSONO. : 'フジ タンタ / タイヤ
13050 ,
13100 SSS1=S(1)-TS(1)
13150 SSS2=TH(1)
13200 SSS(1)=SSS1+SSS2
13250 SOD(1)=(SSS1*(SOD1^(1.5))+SSS2*(SOD2^(1.5)))/SSS(1))^(2/3)
13300 ,
13350 RETURN
13400 ,
13450 ,
13500 *JIDANN. : 'ジ タンタ / タイヤ
13550 ,
13600 A(1)=A(1)-TA(1) : S(1)=SSS(1)
13650 R(1)=A(1)/S(1)
13700 ,
13750 RETURN
13800 ,
13850 ,
13900 *PRI.
13950 ,
14000 FOR J=0 TO NN
14050 PRINT USING "###: H##.###(m) V##.###(m/s) Fr(##.###) TH##.### I(##.###) " ; H(I);V(I);FR(I);TAI(I);SOD(I);KO(I)
14100 INPUT " ";VV$
14150 ,
14200 NEXT I

```

ディメンション変数

H : 水深 (m)                      S S ; 沈下量 ( $\pm$ m)  
R : 径深 (m)  
A : 断面積 ( $\text{m}^2$ )  
S : 潤辺 (m)  
B : 水面幅 (m)  
K O : 勾配  
V : 流速 (m/s)  
F R : フルード数  
T A U : 掃流力 ( $\text{N}/\text{m}^2$ )  
S O D : 粗度係数  
T A I : 堆積深 (m)  
T R : 堆積径深 (m)  
T A : 堆積断面積 ( $\text{m}^2$ )  
T S : 堆積潤辺 (m)  
T B : 堆積幅 (m)  
S S S : 実際の潤辺 (m)  
G L : 地盤高 (m)  
H G : 水位 (m)  
G L T : 堆積地盤高 (m)  
C O U : カウント  
Y O K O : 与える勾配  
Y O S O D : 与える粗度

計算定数

L L : 全長 (m)                      K A N  $\times$  K A L  
R K : 半径 (m)                      D D  $\div$  2  
K A N N : 管 1 本当たりの計算区分数 K A L  $\div$  D K  
N N : 計算断面数    K A N  $\times$  K A N N

## 9. まとめ

本研究では、分流式下水道污水管における堆積汚泥（堆積物）について以下の結論を得た。

① 下水道施設計画における、管路の沈下と流下機能に関する諸元を整理した結果、最小流速は汚泥が堆積しない流速を設定基準としていることが明らかとなった。その値は、污水管では  $0.6 \text{ m/s}$  となっており、この根拠となるCampの最小限界流速式では、堆積物として粒径  $2 \text{ mm}$ 、比重  $2.65$  の砂を基準にしている。

② 住宅地に敷設された下水管路（小口径污水管）の実態を調査した結果、下水管路の不同沈下箇所には堆積物を確認した。堆積物は、污水管には少量しか含まれない無機質な物質が主であった。

③ 不同沈下した下水管路を地上に再現し、実際の污水を通水して行った実大模型実験の結果、次のことが明らかになった。

汚水中を流下する汚泥は、正常区間では堆積せず、沈下区間のみに堆積する。実験装置内の堆積物は、汚水中に多量に含まれる尿尿、米つぶなどの有機的な物質が主であるが、粒径  $0.4 \sim 0.8 \text{ mm}$  程度の黒色化した砂状物質の堆積もみられた。また沈下区間では、通水を開始すると直ちに堆積が始まり、1日ではほぼ水平状態で定常になる、またそれが掃流される時もほぼ水平を保つ現象が観察された。

④ 実態調査と実大模型実験の堆積物を用いて掃流実験を行った結果、有機的な物質が掃流されるのは、掃流力が  $0.3 \text{ N/m}^2$  程度からであること、粒径  $2 \text{ mm}$  程度の砂が掃流されるのは、掃流力が  $1.6 \text{ N/m}^2$  程度からであることが明らかとなった。

⑤ 実態調査、実大模型実験から、堆積汚泥は有機的な物質、無機質な物質、黒色の砂状物質に大別できる。また実大模型実験と掃流実験で得られた知見をもとに下水管内の水理と堆積物との関係をまとめると、有機的な物質が堆積を開始する流速は  $10 \sim 15 \text{ cm/s}$  程度である。砂状物質のそれは  $15 \sim 20 \text{ cm/s}$  程度である。沈下区間に堆積した有機的な物質が再び掃流され始める流速は、 $25 \text{ cm/s}$  程度である。この条件を用いて、堆積による断面変化を考慮した不等流計算モデルを作成し、実大模型実験で検証した結果、実用上有用な精度で再現することができた。

⑥ 下水管路の不同沈下に伴う堆積汚泥量の予測計算を行った。堆積による断面変化を考慮した不等流計算モデル計算を用いて、下水管路の不同沈下量、沈下形状および流量を与えた場合の堆積量の予測が可能となった。

## おわりに

都市化の進展に伴い住宅地などが軟弱地盤上に建設される例が多く見られるようになった。このような場所に敷設される下水管路は、不同沈下を起こす可能性があり、これに伴う堆積物も維持管理上、無視できない存在になってきた。本研究は、このような背景を踏まえ、下水管路の流下機能の低下に伴う、管内の堆積現象の把握と予測を試み、多くの知見を得た。例えば、有機的な汚泥の継続的な堆積は、管内での嫌気化または腐敗による管路の腐食、悪臭の発生が問題となる。しかし、1日の流量変動の中で掃流開始流速を越える流速が数時間あれば、継続して堆積することはないと考えられる。また無機的な堆積物の場合は、そのような問題は少ないのである程度の堆積を許容することができる。その際の堆積量を堆積開始流速あるいは限界掃流力で推定することが本研究で可能となった。

最後に、本研究を遂行するにあたり住宅都市整備公団をはじめ、狭山市、取手市、取手地方広域下水道組合、茨城県利根浄化センターの方々の御協力をいただいたこと、並びに松浦元都市河川研究室長、大島汚泥研究室長に御教示していただいたことを付記し謝意を表します。





