

(15) 汚水管内の堆積・掃流現象に関する実証的研究

THE PROCESS OF ACCUMULATION AND TRANSPORTATION OF DEPOSITS IN SEPARATE SEWER PIPES

島谷 幸宏*・神庭 治司*・榊原 隆*
Yukihiko SHIMATANI, Harushi KANBA, Takashi SAKAKIBARA

ABSTRACT; Deposits in sewer pipes, come from decrease of flow ability caused by differential settlement, may bring maintenance problem such as generation of odor and corrosion.

To find the realstate of deposits, separate sewer pipes (diameter 250mm~400mm), constructed in residential area about 10 years ago, were surveyed and deposits from pipes were analyzed.

Moving characteristics of deposits were observed using fullscale model and found that deposits were divided into inorganic matter, black sandy matter, and organic matter. Amounts of deposits depended on flow rate. The critical velocities of accumulation and transportation were calculated.

KEYWORDS; Sewer pipes, Deposits, Load accumulation, Load transportation

1. 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、汚水管においては汚泥などが堆積し、それが継続すれば管路の腐敗・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、堆積量はどうかなどを把握することが重要となる。

このような、下水管路内の流下機能の低下にもなう汚泥の堆積等の問題についての調査は、ほとんど行なわれていないのが実情である。例えば、現在の下水道管路計画では、汚水管の最小流速は0.6m/s以上に保つこととなっている。この根拠となるのは、Shieldsの限界掃流力の式から求めた動水勾配をManning式に代入して求めたCampの式である¹⁾。ここで対象としているのは粒径2mm、比重2.65の砂である。しかし実際の汚水管を流れる汚水には主に有機物が含まれるため、当然それについての検討も必要となる。

そこで本研究は、敷設されてからある程度年月が経過した実際の下水管内を調査し、その実態を把握することから始めた。対象としたのは住宅地内にある分流式下水道のφ250~450mm程度の小口径汚水管である。それによると軟弱地盤に設置され、不同沈下を起こしている管路内の流下機能が低下しているところに堆積物があることを確認した²⁾。本研究はこの事実に基づき、住宅地に敷設された小口径の汚水管を対象として、下水管路内の堆積物と水理量との関係に着目し、堆積物の堆積・掃流現象の実証的な検討を試みたものである。

2. 方 法

2.1 研究の流れ

* 建設省土木研究所 Public Works Research Institute, Ministry of Construction

- ① 実態調査した下水管内の堆積物を採取し、その性状を分析する。
- 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。これが溜るか溜らないかは水理量と関係があると考えられる。実物大の下水管路を作成し、汚水を通水しながら下水管内での現象を観察し、水理量と堆積との関係をみたのが実大模型実験である。
- 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。水理量と堆積物の掃流との関係をみたのが掃流実験である。
- 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討した。

2.2 実験方法

本研究で行なった実態調査、実大模型実験、掃流実験の方法と用いた実験施設の概要を示す。

2.2.1 実態調査

実際の下水管内の実態を把握するため、現地調査を行なった。調査した管路は不同沈下しており、流下機能の低下がみられたものであった。いずれも住宅地内に敷設された $\phi 250 \sim \phi 450 \text{ mm}$ の小口径の分流式污水管で、S市の2ヶ所とT市の2ヶ所であった。

調査では、下水管の維持管理に使用されている自走式のテレビカメラ（写真-1）を用い沈下状況を観察した。管内に堆積物が確認された場合はそれをマンホールで採取し、粒度分布、比重等の物理的性状および硫化物等の化学的性状を分析し、一部は掃流実験の試料とした。

2.2.2 実大模型実験

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る装置を作成した。装置（図-1(a)）は $\phi 250 \text{ mm}$ 、2 mのヒューム管を19本連結した延長38 mのもので、基本勾配を2.5パーミリとし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、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やバルブの調整により変動可能とした。

実施した実験ケースを表-1に示す。

実験ケース1は筑波研究学園都市を集水区域とする下横場ポンプ場内に、実験ケース2、3は住宅公団の団地を集水区域とする狭山

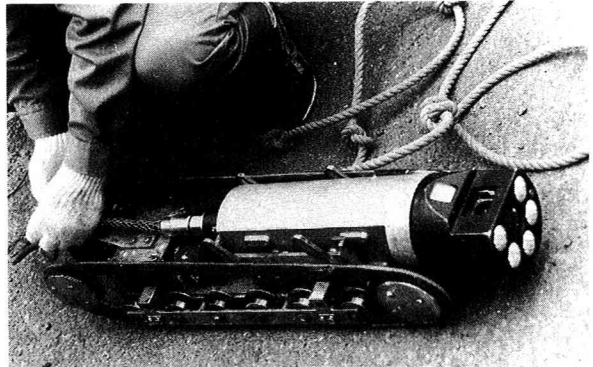


Photo. 1. TV sewer inspection

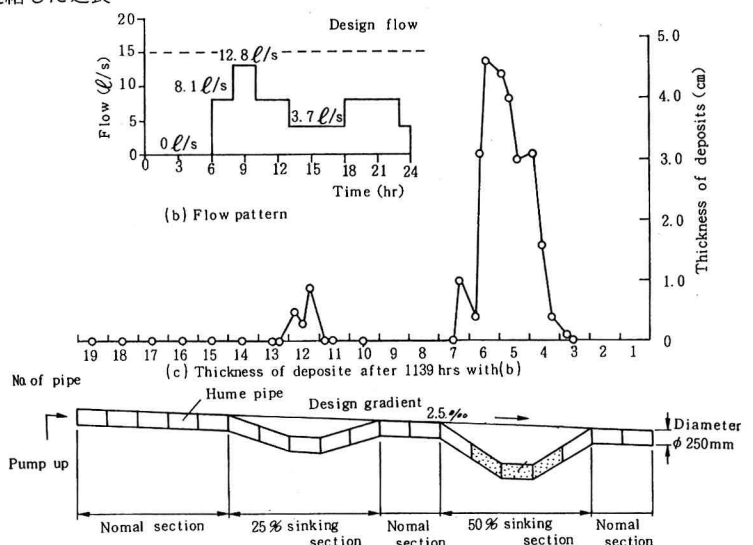


Fig. 1. Outline of the full scale model

市狭山台終末処理場内に模型を設置して実施した。このうち実験ケース 1 は、50% 沈下区間の 3 本を透明アクリル管を用いて管内が目視できるようにしたものである。

2.2.3 堆積物の掃流実験

掃流現象を把握するために、実際の下水管と実大模型実験の堆積物を用いた掃流実験を、図-2 に示す掃流実験装置を用いて行なった。

装置は上・下水水槽と 5 cm×5 cm の透明アクリル矩形管路の掃流区間からなり、掃流区間の 170 cm 間で動水勾配を測定した。実験は、写真-2 のように汚泥溜りに堆積物を厚さ 2 cm 程度に敷き、上・下水水槽の水位差で流速を徐々に増大することで行なった。測定項目は流量、動水勾配、掃流状況および掃流物の比重・粒径である。掃流された物質はプランクトンネットで捕捉した。

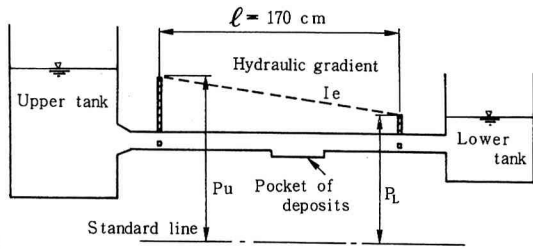


Fig. 2. Outline of the transportation model

Table 1. Cases of the full scale model experiments

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

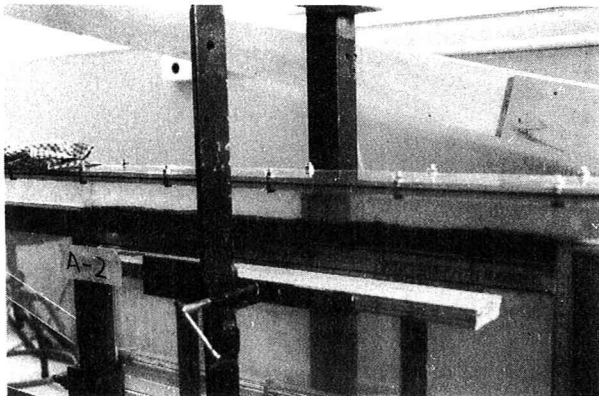
3. 結 果

3.1 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-2 に示す。分析方法は下水試験方法、土質試験法によった。堆積物は 3 ケ所で採取した。S 市地点 1 では、有機物量を示す指標である V T S または T C 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 V T S、T C 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 90 % 以上とほとんど砂でしめられている。また S 市地点 2 では、粒径が 2 cm 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-3 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、トイレットペーパー、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。



Phot 2. Transportation model

Table 2. Characteristics of deposits

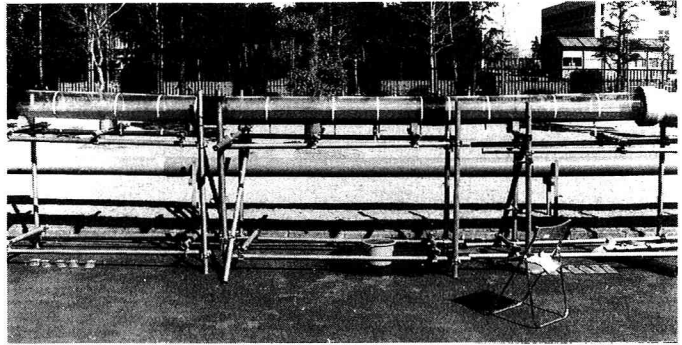
採取地点	S 市管路 地点 1	S 市管路 地点 2	T 市管路 地点 2
分析項目			
T S (％)	39	77	70
V T S (％)	15	2.3	2.0
T C (mg/g)	162	24	13
硫化物 (mg/g)	—	2.8	—
比 重	2.12	2.64	2.70
粒 径 (mm)			
最大	—	19.1	4.8
60%	—	4.7	0.43
30%	—	1.8	0.28
10%	—	1.0	0.17
砂 分 (％)	23	99	95

Table 3. Contents of deposits

種 類	含 ま れ る 物 質
有機的な堆積物	し尿, トイレ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 も含む

3.2 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。通水汚水の水質を調査した結果、SSが20～136mg/ℓ（平均72mg/ℓ）でそのうちV S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た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。



Phot. 3. Accumulation in the 50% sinking section

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-3）。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-

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させ、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、全体としてはほぼ水平に堆積していた。装置内の流量が10ℓ/s（流速25cm/s程度）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った。

このことから堆積・掃流現象は次のように説明できる。

Table 4. Analysis of deposits in the 50% sinking section (Case 1)

管No		4 (下流側)	5	6 (上流側)
項目	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

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-3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種類について行なう。

3.3 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りもなう堆積・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。

3.3.1 沈下量と堆積物

図-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-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-1(c)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。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%沈下区間で多かった。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。

3.3.2 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-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-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3.6ℓ/sでは底部には砂状物質を含む有機的な堆積物が8cm程度、上部には黒色の砂状物質(0.4~0.8mm程度の砂状物質)のみが1cm程度堆積した。8.1ℓ/s、11.6ℓ/sの流量では後者のみが堆積した。

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3.6ℓ/sの50%沈下区間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3.6ℓ/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流量より小さい水理量(流速)である。流量が3.6ℓ/sの場合の流速を不等流計算で求めたのが図-3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。また黒色の砂状物質は8.1ℓ/s通水した時の50%沈下区間および3.6ℓ/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

Table 5. Relation between flow and thickness of deposits at the sinking sections

流量 (ℓ/s)	最大堆積深 (cm)		
	50%沈下区 間	25%沈下区 間	正常区間
3.6	8.7	0.8	0
8.1	0.8	0	0
11.6	0.6	0	0

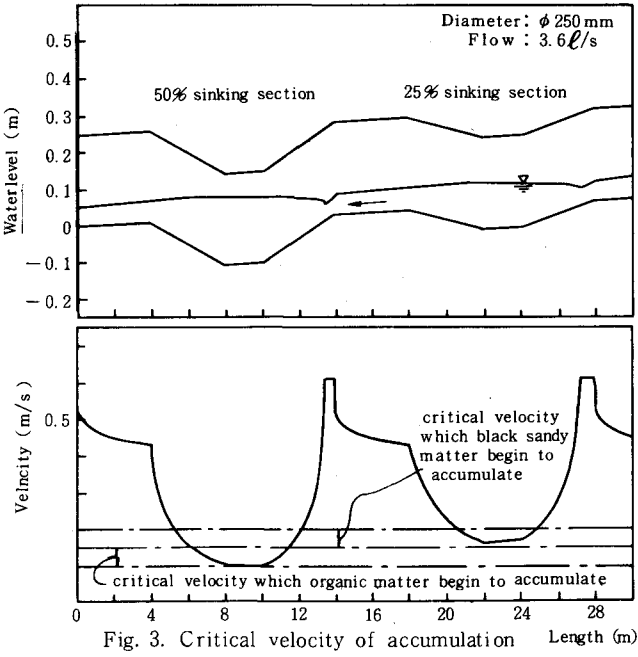


Fig. 3. Critical velocity of accumulation

3.3.3 水理量と掃流現象

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-4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。なおこの掃流力は次式で求めた。

$$\tau_o \times A_o = \tau \times A - \tau_a \times A_a$$

A_0 : 汚泥部の面積

A : 掃流区間の面積

A_a : アクリルの面積

実験ケース				A	B	C	D	E	F	G	H
試料名				S市 地点2①	S市 地点2②	T市 地点2①	T市 地点2②	T市 地点2③	実験 整流槽	実験50% 沈下部①	実験50% 沈下部②
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
汚泥にかか る掃流力 τ_0 (N/m^2)	0.1 0.2 0.3 0.4 0.5	装 置 内 平 均 流 速 V (m/s)	0.1	付着物剥離 され流送	有機分浮遊 砂粒単位で 移動	有機分浮遊 (2)	有機分剥離 (0.84) 徐々に砂移 動 河床波形成 砂浮遊して 移動 (2) 平坦河床と なる 砂連続して 移動	砂単位で移 動 (2) 砂全体的に 移動 砂が連続的 に掃流 堆積形状変 化	浮遊物移動	浮遊物が移 動 生ゴミ転動 生ゴミ浮遊 砂移動 砂全体的に 移動(0.84)	浮遊物が移 動 生ゴミ転動 生ゴミ移動 量大 生ゴミ剥離 して移動(2) 砂全体的に 移動
	1.0										
	1.5										
	2.0										
	2.5										
	3.0										
	4.0										
	5.0										
	6.0										
	7.0										
$\tau_0 = 17.7 \times V^2$	10.0	0.5	0.2	アーマコート形成 (2)	礫の後ろが 掘れる↓ 不安定	堆積形状が 大きく変化	砂が連続 して移動	砂掃流状態 で移動 ほとんど掃 流	砂が連続的 に掃流 堆積形状変 化	砂が連続的 に移動(0.84)	砂が連続的 に移動(0.84)
	15.0										
	20.0										
すべて掃流 (20)											

Fig 4. Outline of deposits transportation

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

図-4 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、V T S 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/m² 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、V T S 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/m² 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。

3.3.4 堆積物の堆積・掃流条件

3.2 から堆積・掃流現象は流速と関係があることが明らかとなった。また堆積現象は汚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い物質である。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。

一般に掃流力は次式で示される。

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

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

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

$$\phi 250 \text{ mm ヒューム管} \quad : \quad \tau_h = 2.52 \rho g n_h^2 V_h^2$$

となる。すなわち τ が等しくなるためには、

$$V_h \div 1.3 (n_a / n_h) \times V_a$$

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、 ϕ 250 mm 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 3.3.3 で得られた有機物の掃流される時の流速を ϕ 250 mm のヒューム管に適用してみると、図-4 から $V_a = 13$ cm/s 程度であるから、 $V_h = 1.3 \times 1 \times 13 \div 17$ 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-4 から $V_a = 20$ cm/s 程度であると考えられる。すると $V_h = 26$ 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-5 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との間に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

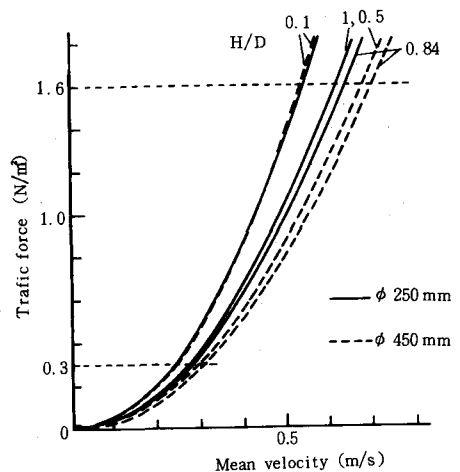


Fig. 5. Relation between tractive force and velocity in sewer pipes

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 ～ 15 cm/s で堆積し、20 cm/s 程度で掃流される。黒色の砂状の堆積物は、流速が 15 ～ 20 cm/s で堆積し、30 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開始流速はほぼ同じであるのに対して、掃流開始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を示唆している。すなわち有機的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、砂状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 mm の砂の限界掃流力はおおよそ 1.6 N/㎡程度と考えられるため、現在の管路計画の最小流速 60 cm/s をなんらかの原因で低下した場合、無機物の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に無機的なものが多く堆積していた。

3.3.5 污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污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 mm の砂が $V_a = 50 \sim 55$ cm/s 程度、(b) 黒色の砂状物質が $V_b = 15 \sim 20$ cm/s 程度、(c) 有機物が $V_c = 10 \sim 15$ 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。しかし現実の污水に含まれる量は $(c) \gg (b) \gg (a)$ 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。また管内流速 V が $V_c < V < V_b$ の範囲では (b) 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、そこでは流速が $V_b < V < V_a$ の範囲であることを示していると考えられる。

3.4 堆積モデルと堆積・掃流条件の検証

3.3 で得た堆積物の堆積・掃流条件が実際の下水管で適用できるか、モデルを作成して検証する。水力計算には不等流計算式を用いて、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。通水実験では流入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・掃流の計算を行なうにあ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 回当たりの堆積深も 0.5 mm のものについても計算した。これらの結果は全てはほぼ同一となったが、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 実大実験の測定結果に基づき、粗度係数は一様に 0.013 とした。計算のフローを図 - 6 に示す。不等流計算を用いて水力計算を

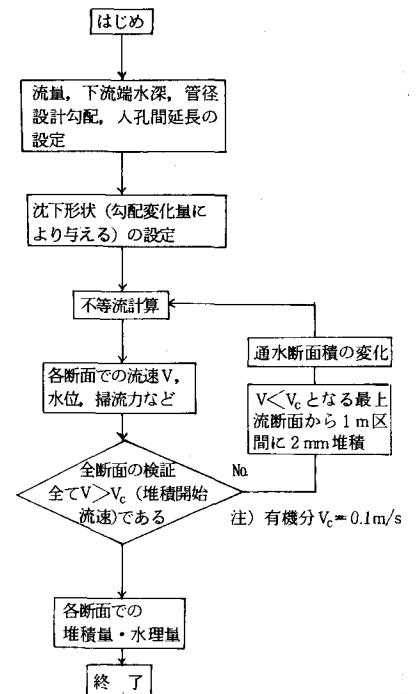


Fig 6. Accumulation model flow

行なったが、堆積物の影響は堆積による流水断面積の減少で表わすものとした。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なった。計算区間長 ΔX は50 cmである。検証に用いた実大実験ケース1は、流量3.1 ℓ/s である。検証計算結果を図-7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。

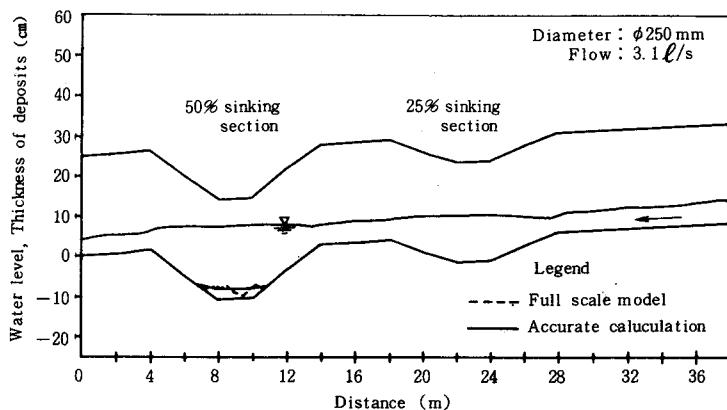


Fig. 7. Calculation of thickness of deposits

4. まとめ

以上のことから、分流式污水管内の堆積物について以下の結論を得た。

- 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、污水を通水すると直ちに堆積が始まり、1日以内に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決まる。有機的な物質の堆積流速は10～15 cm/s、掃流開始流速は20 cm/s程度である。黒色の砂状物質の堆積開始流速は15～20 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/m²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。

5. おわりに

都市化の進展に伴な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。例えば有機的な物質の継続的堆積は管内での嫌気化または腐敗による管路の腐蝕、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、ならびに土木研究所松浦元都市河川研究室長、大島汚泥研究室長、北川都市河川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。

＜参考文献＞

- 1) 土木学会, 昭和60年版 水理公式集, p 403
- 2) 神庭治司ら, 下水管路の不同沈下にもなう管内堆積物の実態, 第43回年次講演会, 昭和63年
- 3) (社) 日本下水道協会, 下水道維持管理指針 1979 年版
- 4) 大坪国順, 底泥の物性及び流送特性に関する実験的研究, 国立公害研研究報告第 42 号, 1983
- 5) (社) 日本下水道協会, 下水道施設設計指針と解説 1984 年版