

■ 論 文 ■

改良型伏越しの土砂堆積とフラッシュによる清掃効果

橋本 翼* 深谷 渉** 松葉 秀樹*** 土手 一朗****
堀崎 正俊*****

要 旨：下水道管路を敷設する際、既設の水路や他企業埋設管を横断することがある。これらを回避するため、推進工法による下越しやマンホールポンプによるポンプアップを採用することがあるが、コスト面での負担が大きくなることが多い。そこで注目されるのが、推進工法やポンプアップに頼らない改良型伏越し(バンドサイフォン)の採用である。管きよの埋設深が浅くなることで開削工法による施工も可能となるほか、従来型の伏越しと異なり土砂等の堆積が少ない構造となっており、維持管理面でのコスト縮減も見込まれる。しかしながら、伏越し区間における堆積物の状況や流れへの影響、清掃の作業性など、まだまだ不明瞭な点が多い。

そこで本報では、愛知県半田市の伏越しでの実態調査及び流体解析シミュレーションより、改良型伏越しの伏越し区間における堆積物の性状や閉塞状況を明らかにする。また、簡易的な清掃方法として、貯留した下水を一度に下流に流下させること(フラッシュ)により堆積物を一掃する方法を提案し、その有効性を示す。
キーワード：改良型伏越し、土砂堆積、フラッシュ、清掃、コスト縮減

1. はじめに

下水管きよは自然流下を原則としているが、管きよが他埋設管や水路等を横断する場合、伏越しや推進工法での施工、マンホールポンプによるポンプアップを採用する場合がある。しかしながら、推進工法での施工では建設費が大きくなり、ポンプ等の設置にはメンテナンスや停電時の対応など維持管理面での負担が大きいとの意見が聞かれる。コスト縮減に向け、推進工法やポンプアップに頼らない方法として伏越しが挙げ

られる。その中でも、伏越し室を持たず土砂堆積が少ないとされる図-1に示す改良型伏越し(バンドサイフォン)が注目されている。

改良型伏越しに関する研究としては、成原¹⁾が岐阜県等での実績をもとにコスト縮減効果を明らかにしているほか、生越ら²⁾が実施した模型実験による伏越し内部における流下状況検証、酒井ら³⁾が実施した水理学的検討及び実施設での維持管理の実態調査等による有効性の検証がある。斉藤ら⁴⁾は供用開始後の改良型伏越しを対象に堆積物調査を実施し、改良型伏越し

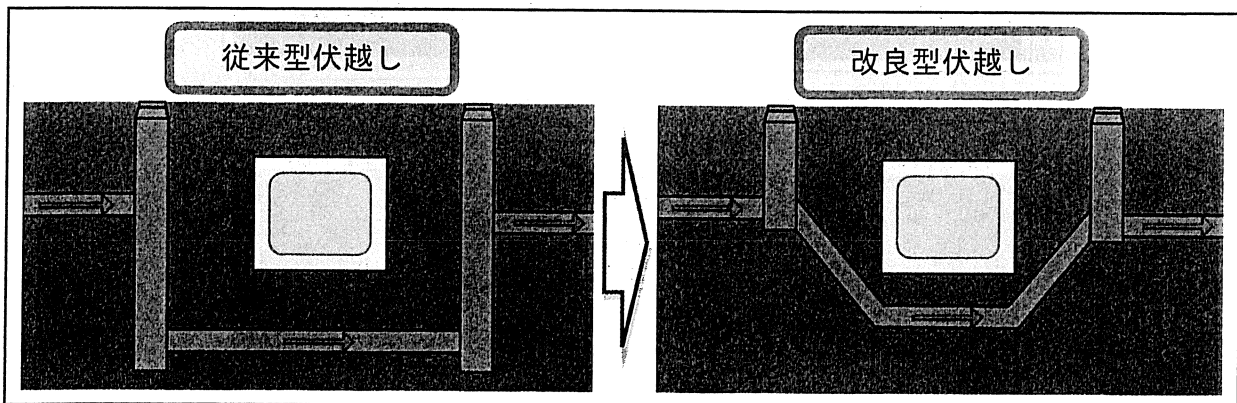


図-1 改良型伏越し

を採用する際の留意事項をまとめている。

また、国土交通省下水道部が主導する下水道クックプロジェクトにおいては、改良型伏越しを至近距離に連続的に採用した技術に関して、愛知県半田市及び熊本県益城町で社会実験を実施し、設計・施工上の留意点を技術利用ガイド⁵⁾として取りまとめている。

改良型伏越しは、大幅な建設コストの縮減が図れるとともに、伏越し室を持たない等のその構造的特徴から、理論上は土砂等の堆積が少ないとされている。しかしながら、計画論上の流量や流況が実態と必ずしも一致しないことや、生活様式の変化により下水に含まれる夾雑物も変化していることが考えられ、改良型伏越しの採用にあたっては、実際の水理現象を十分把握する必要がある。

本報では、愛知県半田市における現地調査及び流体解析シミュレーションの結果をもとに、小口径管を対象に伏越し区間の堆積状況を明らかにするとともに、簡易的な清掃方法としてフラッシュによる清掃を試験的に実施し、その効果を検証した結果を報告する。

2. 改良型伏越しの土砂堆積

2.1 伏越し区間の土砂等堆積状況実態調査

(1) 調査方法

伏越し内の堆積物の量及び性状を把握することを目

的とし、愛知県半田市内の改良型伏越し実施設において実態調査を行った。

実態調査は、平成20年2月に愛知県半田市平地地区と阿原地区、平成21年2月に同市横川地区の伏越しを対象に実施した。ここでは、平地地区と横川地区の結果を中心に論じる。調査箇所の概要を表-1に、伏越しの構造を図-2に示す。

また、調査においては、堆積量を把握するために下記の手順で堆積物の採取及び重量の測定を実施した。

- ①伏越し上下流を止水する。
- ②高圧洗浄しながら堆積物・汚水をバキューム車で吸引する。
- ③バキューム車内の堆積物から篩を用いて余分な水分を除去する。
- ④堆積物を採取して重量等を測定する。

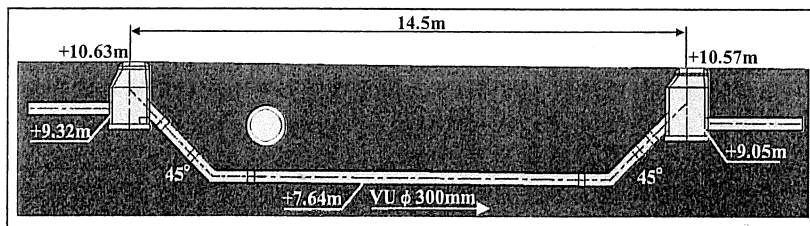
現地で採取した堆積物は、性状を把握するために浮遊物(生ゴミや油脂類)と沈降物(土砂等の無機物)に分離させ、粒度試験(沈降物のみ)及び化学試験を実施した。化学試験では、TS、VS、ノルマルヘキサン抽出物の測定を行った。

(2) 調査結果

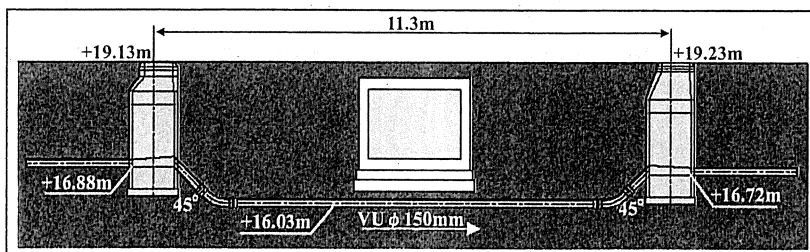
平地地区と横川地区で採取した堆積物の量・性状(表-2参照)及び粒度試験の結果(図-3参照)について、地区別にまとめる。

表-1 調査箇所の概要(各調査時現在)

	平地地区	横川地区
土地用途	住宅地	住宅地
接続家屋(接続率)	363軒接続(60%)	25軒接続(23%)
供用開始	平成15年3月31日	平成20年2月29日
調査日	平成20年2月	平成21年2月
清掃実績	調査1年前に清掃	なし(供用後約1年経過)
管渠種別	VUφ300(分流汚水)	VUφ150(分流汚水)
伏越し延長	L=14.5m	L=11.3m
伏越し落差	H=1.68m	H=0.85m
ベント角度	45°	45°



(a) 平地地区



(b) 横川地区

図-2 伏越しの構造

表-2 調査結果

	平地地区	横川地区
伏越し容積(直線部)	0.74 m ³	0.16 m ³
堆積物容積	238.7 L	16.4 L
内訳	水分 127.3 L 土砂 61.3 L 油脂分 50.1 L	浮遊物 16.2 L 沈降物 0.2 L
堆積物湿潤重量	309.1 kg	17.4 kg
内訳	水分 127.3 kg 土砂 159.3 kg 油脂分 22.5 kg	浮遊物 16.9 kg 沈降物 0.5 kg
堆積物乾燥重量	181.8 kg	2.3 kg
閉塞率	32 %	10 %
堆積物の色	褐色	褐色
主な成分	油脂塊、土砂	生ゴミ、 油脂塊、土砂
土砂の粒径	9割が2mm以下	7割が2mm以下
最大粒径	9.5 mm	6 cm
化学試験の対象	浮遊物・沈降物の混合	浮遊物のみ
TS(固形分(%))	99.3	11.6
VS(強熱減量(%))	11.1	95.5
n-ヘキサン抽出物質(乾泥中%)	12.4	12.0
動植物油(乾泥中%)	12.2	11.3
(全油分中%)	98.4	94.4
鉍物(乾泥中%)	0.01	0.58
油(全油分中%)	0.98	4.88

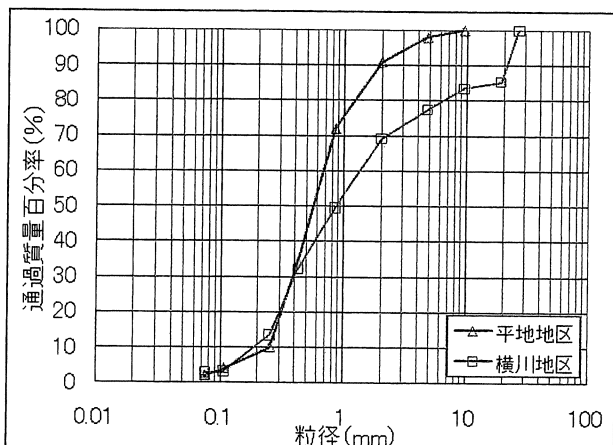


図-3 堆積物の粒径加積曲線

1) 平地地区

平地地区の伏越しは、清掃後1年を経過しているが、伏越し区間(上流ベント管と下流ベント管の間の直線

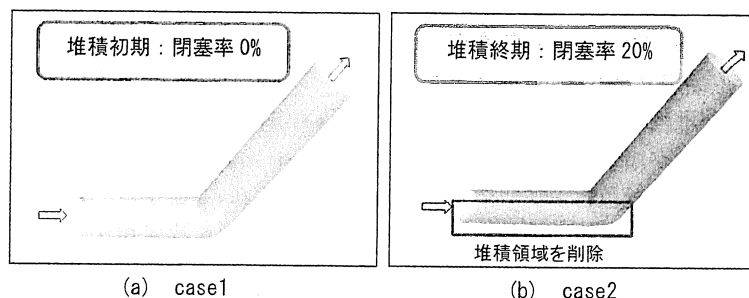


図-4 解析対象配管形状

部)において土砂等の堆積が認められ、閉塞率(土砂堆積量/伏越し区間容積)は約3割と考えられた。

採取した堆積物は臭気が強く、黒く変色しており、長期間伏越し内で停滞していたと推察される。性状を分析した結果、堆積物は油脂類と土砂で構成され、油脂類より土砂の方が多く確認された。また、土砂の内9割が粒径2mm以下の砂であり、堆積物に含まれる油脂の大半が動植物油であった。

2) 横川地区

横川地区の伏越しは、供用開始後1年経過で未清掃であるが、伏越し区間における閉塞率は約1割と考えられた。

採取した堆積物の大半は浮遊物(生ゴミ・油脂)であり、堆積物に含まれる油脂の大半が動植物油であった。また、土砂の内7割が粒径2mm以下の砂であった。

2.2 CFDによる土砂堆積状況の再現

先の実態調査において、改良型伏越し内における土砂等の堆積が確認されたことから、定期的な維持管理の必要性が示唆された。

しかしながら、伏越し内の土砂等の堆積状況は、伏越しの構造(管径、ベント角、伏越し延長、落差等)や清掃後の経過年数、家屋の接続状況により変化するとともに、改良型伏越しは通常の伏越しと異なり、伏越し管内の堆積状況を把握することが困難である。故に、維持管理の頻度等を検討する上では、様々なケースにおける堆積状況を把握することが望ましいが、現実的には困難である。

ここでは、土砂等の堆積状況を推定するために有効と考えられる、機器内部などの流れを可視化し、流れ現象を理解しやすくすることができるCFD(パソコンを用いた流体解析シミュレーション)を用いて、土砂の堆積状況を再現できるか検証を試みた。

(1) 解析条件

CFDではANSYS社製のFLUENT(Ver6.3)を用い、離散要素法による粒子解析と流体解析を連成させた解析を実施した。

解析対象の配管形状を図-4に示す。各ケースとも伏越し出口近傍を抜き出した形状で、case1は堆積初期(閉塞率0%)、case2は堆積終期からの土砂解析を行うための形状である。なお、case2の堆積終期での

閉塞率は、解析計算の効率化を図るために、閉塞率20%から開始した。その他の解析条件を表-3に示す。入口境界条件は、両ケースの流量を等しくするため、case 1は0.6m/s(計画上の流速)、case 2は閉塞率を考慮して0.75m/sとし、土砂供給量は平均体積分率で0.1%程度として土砂堆積が終息するまで計算を実施した。なお、計算上使用する土砂の粒径及び構成は、先の実態調査で得られた粒径分布を参考に設定した。

表-3 解析条件

各種特性値	数値
流体密度	1000 kg/m ³
流体粘度	10 ⁻³ kg/m/s
土砂密度	2700 kg/m ³
土砂ポアソン比	0.25
土砂ヤング率	10 ⁻⁸ Pa
粒子径	2mm(85%), 5mm(10%), 10mm(5%)

(2) 解析結果

解析の結果得られた伏越しの閉塞状況を図-5に示す。

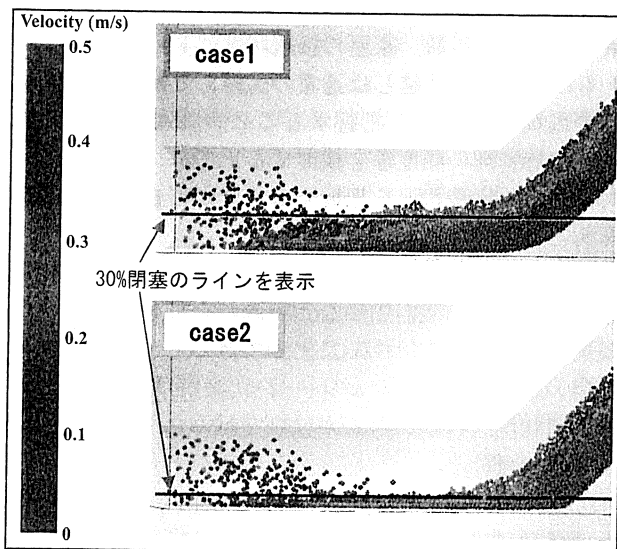


図-5 解析結果(伏越し下流側の閉塞状況)

case 1(堆積初期)では、計算開始直後より伏越し下流のベント部において土砂の堆積が進行し、閉塞率30%に達したところで堆積が終息することが確認された。

case 2(堆積終期)では、閉塞率20%より計算を開始したが、閉塞率30%まで土砂堆積が進行するとともに、閉塞30%以上には土砂が堆積しない傾向が見られた。これは閉塞に伴い下流断面が縮小して流速が増加し、掃流力が向上したためと考えられる。

以上のように、CFDによる解析結果は先の実態調査結果とほぼ同様の傾向であり、現地の伏越し区間における土砂の堆積状況をよく再現しているといえる。これより、CFDによる解析は様々なケースの堆積状

況の把握にも有用であると考えられる。

2.3 考察

半田市内の3箇所の伏越しについて堆積状況の実態調査を行った結果、平地地区及び阿原地区(清掃実績なし・供用後約3年経過)では閉塞率が約30%となり、CFDによる解析からも同様の閉塞率が得られたため、伏越し区間では閉塞率約30%が堆積限界点である可能性は高い。

横川地区では閉塞率が約10%となったが、これは平成20年10月(調査の半年前)に実施した流下能力実験で多量の流量が伏越し内を流れたため、さらに接続率が2割程度ということで常時の土砂流入が少ないためであり、調査時点では堆積途上にあったものと推察される。これは、堆積物性状の試験結果において、その大半が浮遊物であったことから明らかである。

いずれの伏越しにおいても土砂等の堆積が確認されたが、これは、調査対象エリアの下水道接続率が低く未だ計画上の流量に達していないことや、末端管きよに比較的近いことから流量ピーク時以外は間欠的な流れになっていることが要因と考えられる。よって、改良型伏越し採用時には、計画と実態の差違を考慮した適切な維持管理が必要であると考えられる。

また、今回の調査より、一般家庭からの流入土砂は2mm以下が大半であり、堆積油脂塊の大半は動植物油であることが確認された。堆積物の臭気は激しく、腐敗も進んでいることから、特に供用開始直後などの計画流量に達しない整備途上の段階では、定期的な清掃が必要であると考えられた。

3. フラッシュによる清掃効果

3.1 フラッシュ効果調査

(1) 調査方法

先述の堆積状況実態調査では、未清掃期間が1年でも閉塞率が30%に達しており、定期的な清掃の必要性が示唆された。定期的にも実施可能で、かつ、清掃コスト縮減が見込まれる簡易な清掃方法として、上流を止水することで下水を貯留し、貯留した下水を一度に下流に流下させることにより堆積物を一掃する方法(以下、「フラッシュ」という)が挙げられる。フラッシュによる清掃は止水プラグを用いるだけで実施可能なので、手間がかからない上、清掃コスト縮減にも効果的である。

ここでは、先の堆積状況実態調査で対象とした愛知県半田市の2つの伏越し(平地地区、横川地区)を対象に、平成22年9月に行ったフラッシュ効果の調査の結果について述べる。

調査手順を次に示す。

- ①止水プラグを用いて伏越し上流の下水を貯留する(図-6参照)。

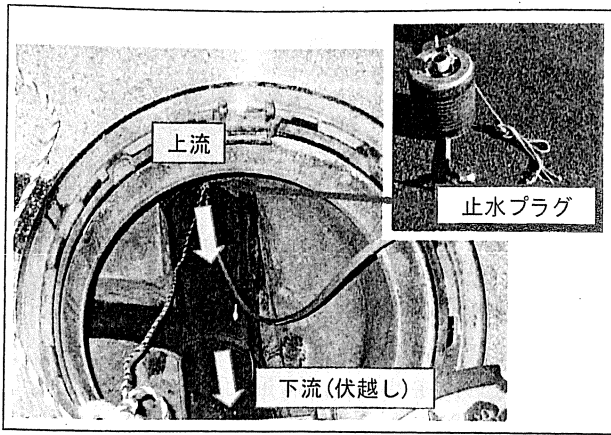


図-6 止水プラグ設置状況(上流側マンホール)

- ② 止水プラグを外し、貯留した下水を一気にフラッシュさせる。
- ③ フラッシュ終了後、高圧洗浄により伏越し区間の堆積物・汚水をバキューム車で吸引する。
- ④ バキューム車内の堆積物から篩を用いて余分な水分を除去する。
- ⑤ 堆積物を採取して重量等を測定する。
- ⑥ 堆積物の室内試験(粒度試験等)を行う。

(2) 調査結果

半田市内の2箇所でフラッシュ効果を確認するための調査を実施した結果を以下に述べる。

調査結果の整理にあたり、フラッシュを実施する直前の堆積物重量や性状を把握することは困難であることから、フラッシュ前の堆積量及び性状は先述(2.1 伏越し区間の土砂等堆積状況実態調査)の調査結果を代用する。なお、横川地区については堆積途上のデータしか得られていないが、1年7ヶ月未清掃であるため堆積限界点の閉塞率3割に達していると思われ、ここでは平地地区の実績をもとにフラッシュ前の堆積量を推定し、結果を整理することとする。

フラッシュ後の堆積量及び性状の調査結果を表-4

表-4 フラッシュ効果調査結果

	平地地区	横川地区
調査日	平成22年9月	平成22年9月
未清掃期間 (調査時現在)	約2年半	約1年半
フラッシュ前の 堆積物重量(湿潤)	309 kg	67 kg*
フラッシュ後の 堆積物重量(湿潤)	22 kg	10 kg
掃流重量	287 kg	57 kg
掃流率	93 %	85 %
貯留量	7.67 m ³	0.93 m ³
伏越し部 断面積	0.071 m ²	0.018 m ²
流下時間	約40 s	約60 s
平均流速	約2.7 m/s	約0.9 m/s

*平地地区の実績をもとに推定

に示す。表-4より、平地地区では約40秒間、横川地区では約1分のフラッシュによって、重量ベースで約9割の堆積物が掃流されたことが確認された。これにより、小口径(φ300以下)、伏越し延長15m程度の改良型伏越しであれば、1分程度のフラッシュ時間が確保できればよいものと推察された。

フラッシュ後の伏越し区間で採取された残留堆積物の性状を表-5に示す。浮遊物の大半がフラッシュによって掃流され、フラッシュ後の堆積物の大半が土砂であるという結果が得られた。

表-5 フラッシュ前後の堆積物性状

	平地地区		横川地区	
	フラッシュ前	フラッシュ後	フラッシュ前	フラッシュ後
堆積物の色	褐色	褐色	褐色	褐色
主な成分	油脂塊 土砂	土砂	生ゴミ 油脂塊 土砂	土砂
成分割合	土砂と 油脂塊 が混在	大半が 土砂	大半が 浮遊物	大半が 土砂

粒度試験の結果を図-7に示す。フラッシュによって小さな粒子が掃流され、礫など大きな粒子が残留していることが確認できる。平地地区において、フラッシュ前には存在しない大きな粒径の土砂の堆積がフラッシュ後に確認されたが、この要因としては、貯留した下水を一気に流下させたことで、常時は伏越しより上流で堆積している大きな粒子が流れ込んだ可能性が考えられる。

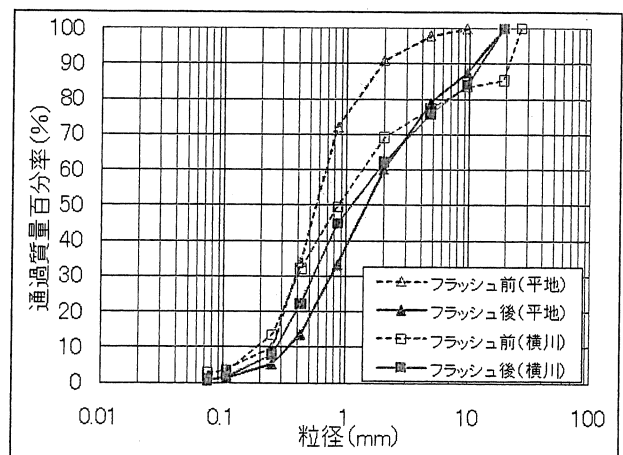


図-7 堆積物の粒径加積曲線

以上のように、上流から土砂の流れ込みが多少あるものの、全体的に見てフラッシュによる清掃効果は高いということが明らかである。特に、伏越し内の油脂等の浮遊物は、そのほとんどが掃流されており、伏越し内の環境改善に有効であることがわかった。

3.2 土砂掃流に必要な流速

フラッシュを清掃の一手法として有効に活用するには、土砂掃流に必要な流速とフラッシュ継続時間から必要な貯留量を設定する必要がある。ここでは、過去の知見を参考にし、土砂掃流に必要な流速について検討する。

吉本ら⁶⁾は圧送管における土砂堆積防止に必要な最小流速 V_c を算出する次式を導出している。

$$V_c = 0.248 \cdot C_H \cdot u_{*c}^{1.08} \cdot R^{0.09} \cdot \{\sin(\beta + \theta) / \sin\theta\}^{0.54} \quad (1)$$

ここに、 C_H : 流速係数 (=110), u_{*c} : 土砂の限界摩擦速度(本報では岩垣の式⁷⁾より算出), R : 径深, β : 勾配, θ : 土砂の静止摩擦角 (=45°) である。

フラッシュ時に伏越し部は満管状態であるため、圧送管と同等の扱いが可能と仮定し、フラッシュでの土砂掃流に必要な流速を算出する際に式(1)を適用する。

図-8は式(1)より作成した土砂粒径と土砂掃流に必要な流速の関係である。ここでは勾配0°とベント部の土砂掃流を考えるために上り勾配45°の計算結果を示す。

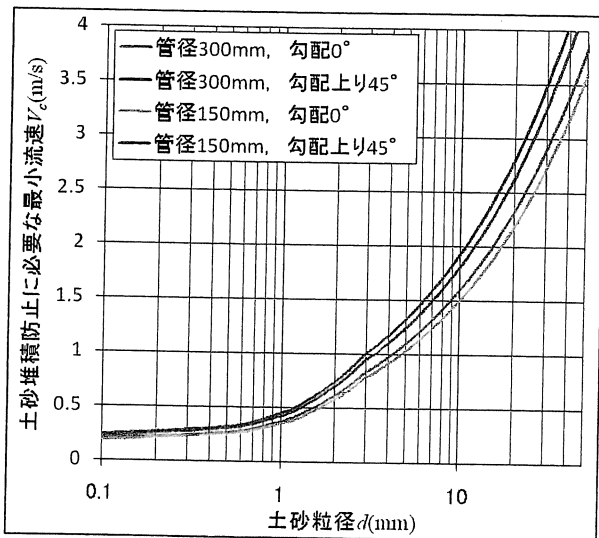


図-8 土砂掃流に必要な流速

現地におけるフラッシュ効果の調査では、横川地区は平地地区に比べて平均流速が小さかった(表-4参照)が、図-8より粒径2mm以下の土砂を掃流するには十分な流速であると考えられる。また、表-4で示した流速は平均流速であるため、実際はさらに大きな粒径の土砂も掃流していることとなる。一般家庭から流入する土砂の大半は2mm以下であるという調査結果からも、今回のフラッシュ時の流速において清掃効果は大いに期待される。

よって、フラッシュによる清掃をより効果的なものにするためには、式(1)や図-8等を参考に必要流速を求め、かつフラッシュ時間が1分以上確保で

きるような貯留量を設定すればよいと考えられる。ただし、伏越し延長が長距離な場合や中大口径の場合、土砂分の流入が多い場所などでは、フラッシュに要する時間を長めに確保する必要がある。

4. まとめ

本報では、愛知県半田市における現地調査及び流体解析シミュレーションより、改良型伏越しの伏越し区間の堆積状況及びフラッシュによる清掃効果を検証した。伏越し区間の堆積状況の検証では、一般家庭からの流入土砂の大半は2mm以下の砂であり、油脂塊の大半は動植物油であることを確認したほか、伏越し区間の堆積限界点は閉塞率約3割であることを明らかにした。フラッシュによる清掃の検証については、実施において重量ベースで約9割の堆積物掃流率を確認したほか、土砂掃流に必要な流速や時間を示すことで、その清掃効果の有用性を明らかにした。

なお、フラッシュによる清掃では、ある程度の流速(掃流力)を得るための汚水貯留が必要となるため、貯留の際は上流部での溢水の危険が生じる。この点に十分留意する必要があるものの、その作業の容易さに伴う清掃コスト縮減等の利点、さらに本報より得られた清掃効果の高さを考えると、フラッシュによる清掃は改良型伏越しにおいて有効的な手法であるといえる。

〈参考文献〉

- 1) 成原富士郎：下水道管渠 エレガントな設計でコスト縮減を，山海堂，pp.225～283，2005
- 2) 生越賢仁，久野誓友：ベンドサイフォンの採用によるコスト縮減について，第40回下水道研究発表会講演集，(社)日本下水道協会，pp.198～200，2003
- 3) 酒井憲司，森田幸弘，成原富士郎：ベンドサイフォンによる伏越しの有効性に関する考察，下水道協会誌，Vol.42，No.507，(社)日本下水道協会，pp.175～180，2005
- 4) 斉藤忠司・武山直樹：ベンドサイフォン供用開始後の追跡調査及び設計計画への反映について，第44回下水道研究発表会講演集，(社)日本下水道協会，pp.451～453，2007
- 5) 下水道クイックプロジェクト推進委員会事務局：下水道クイックプロジェクト技術利用ガイド(案)―改良型伏越しの連続的採用―，2010
- 6) 吉本国春，片岡春雄：圧送管における土砂の堆積防止に必要な最小流速について，下水道協会誌論文集，Vol.30，No.357，(社)日本下水道協会，pp.21～28，1993
- 7) 岩垣雄一：限界掃流力に関する基礎的研究，土木学会論文集，第41号，1956

(23.2.14 受付)



* (はしもと つばさ)
国土交通省国土技術政策総合研究所
下水道研究部下水道研究室 研究官
平成 22 年 4 月より現職



** (ふかたに わたる)
国土交通省国土技術政策総合研究所
下水道研究部下水道研究室 主任研究官
平成 3 年 4 月 建設省土木研究所入所,
日本下水道事業団東京支社, 近畿地方
整備局建設部都市整備課等を経て, 平
成 23 年 4 月より現職



*** (まつば ひでき)
(財)下水道新技術推進機構研究第一部
副部長
昭和 62 年 4 月 名古屋市下水道局入
庁, 下水道局下水道計画課等を経て,
平成 21 年 11 月より現職



**** (どて いちろう)
(財)下水道新技術推進機構研究第一部
研究員
平成 22 年 9 月より現職



***** (ほりさき まさとし)
前 半田市水道部下水道課 副主幹
(現 同市市民経済部クリーンセンター)

A b s t r a c t

Sediment Deposition and Effectiveness of its Cleaning by Flushing in Modified Inverted Siphon

Tsubasa HASHIMOTO, Wataru FUKATANI, Hideki MATSUBA, Ichiro DOTE, Masatoshi HORISAKI

A modified inverted siphon is now getting attention as a sewer pipe designing method that detours the barriers such as other buried objects. This method is obviously effective for cost reduction, because it doesn't depend on pipe jacking method and manhole type pumping station. However, there are some unclear points in pipes of the inverted siphon such as sediment deposition conditions and efficiency of sediment cleaning method.

In this paper, we clarified sediment deposition conditions in pipes of the inverted siphon by field investigations in Handa City, Aichi Prefecture, and by using fluid simulations. In addition, we proposed flushing method as a simple method for pipe cleaning, and showed its effectiveness.

keywords : cleaning, cost reduction, flushing, modified inverted siphon, sediment deposition