

下水道管路施設管理の専門誌

JASCOMA

平成22年8月30日発行

JASCOMA

Vol.17
No.

33

管路管理の計画を聞く

長寿命化基本計画に沿って調査・診断業務を着実に推進

山形市

特集 下水道管路内調査

最新鋭・管内調査用TVカメラの実力

スペシャルレポート 流量計測装置のトレンドを追う

特別寄稿

生物の脈動原理を活用した管内乱流摩擦抵抗の低減技術

岩本 薫

管渠内流量調査の最新技術の動向とそこから見えてくるもの

井藤 元暢

ドイツにおける下水道管路管理の実態調査報告

後藤 幹雄

下水道から見た雨水ますにおける蚊の発生対策

篠田 康弘



公益社団法人

日本下水道管路管理業協会

JAPAN SEWER COLLECTION SYSTEM MAINTENANCE ASSOCIATION

目次

contents

■フォトドキュメント

- ・沈黙の迷宮 漆黒の静寂白汚 零 1
- ・下水管の中はどうなっているの? 写真で見る驚きの管路内状況 4

■管路管理の計画を聞く

- ・長寿命化基本計画に沿って調査・診断業務を着実に推進（山形市） 6

■特集 下水道管路内調査

- ・最新鋭・管内調査用TVカメラの実力 11
- ・スペシャルレポート
流量計測装置のトレンドを追う 26

■特別寄稿

- ・生物の脈動原理を活用した管内乱流摩擦抵抗の低減技術岩本 薫 31
- ・管渠内流量調査の最新技術の動向とそこから見えてくるもの
.....井藤 元暢 36
- ・ドイツにおける下水道管路管理の実態調査報告後藤 幹雄 42
- ・下水道から見た雨水ますにおける蚊の発生対策篠田 康弘 50

■報告

- ・下水道管路管理技士とその活用状況について試験・研修部 55

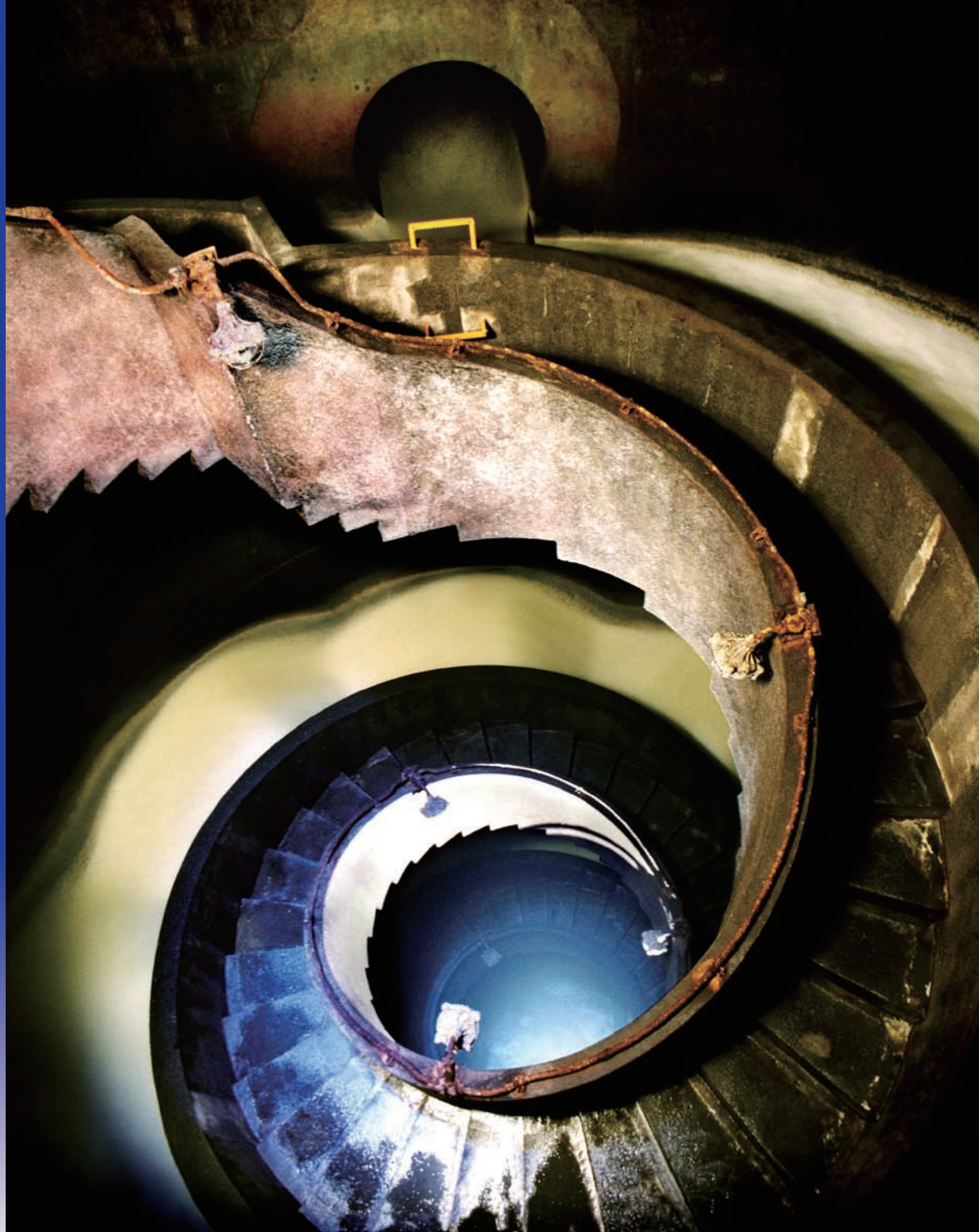
- 会務報告 57
- 支部活動ニュース 60
- 役員名簿 61
- 常設委員会委員一覧 62
- 新入会員・名称変更 63
- 会員名簿 64
- 発行図書一覧 75
- 編集後記 76
- 広告索引 77



表紙の写真
撮影：白汚 零

神田下水は1885年前後に建造された。関東大震災や世界大戦をくぐり抜けて、今もまだ現役で下水を流し続けている。その写真は、大きく口と目を開いた巨人のようにも見える。

沈黙の迷宮



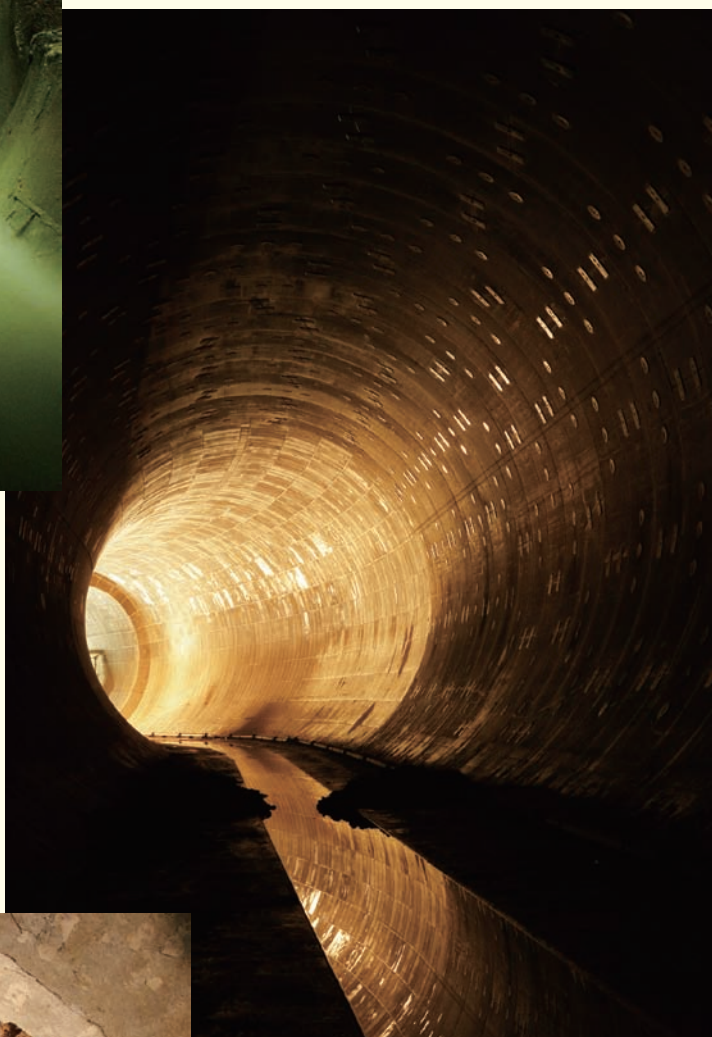
漆黒の静寂

東村山市の柳瀬幹線。
高低差約 40 m、直径約 10 m にもなる巨大ならせん式特殊人孔

普段はなかなか意識することはありませんが、私たちが暮らす都市の地下には、網の目のように下水道管が広がっています。

果てしない不思議な空間は、静寂を保ちながらまるで物言わぬ静脈のように、都市を守るという責務を全うしています。その幻想的な光景をほんの少し、覗いてみましょう。

(写真提供=白汚零)



- (左上) 本流に塩化ビニル管の副管が合流する。これは落差がある場所で管底の摩耗を防ぐために設けられているもの
- (中) 豪雨時の水害を軽減する和田弥生幹線雨水貯留管：直径 8.5m、延長 2.2km の巨大な幹線だ
- (左) 三河島水再生センター旧ポンプ場施設。下水道施設として唯一の重要文化財に指定されている



マンホールの蓋を少しだけずらして撮影。
日食のダイヤモンドリングを彷彿とさせる光景だ



下水道写真家

しら お れい
白 汚 零

下水道は洞窟とは違って人が作り出すものですが、管内のカーブや分岐、そしてその闇の先がどうなっているのかは潜ってみなければ分かりません。その先にはどんな素晴らしい光景が待っているのだろうかという興味は尽きません。うねる下水の流れ、汚水の雫が垂れて鍾乳石のようになったもの、地上から差し込む一条の光…われわれが普段意識をしない地下に広がる世界は、時として神々しくもあります。

初めてマンホールに入ったときは激しい水流と戦いながら懸命に、それでいて和気藹々と仕事をされている作業員の姿に感銘を受けました。写真を撮り始めた頃は眉をひそめられたこともありましたが、そういった作業員の方の真摯な態度、いい現場の雰囲気があったからこそ今のような協力関係を構築できたのではないかと思います。

下水道はきれいでカッコいい仕事です。その維持管理に携わっている方には、誇りを持って仕事をしていただきたいと思います。



草思社から発刊された白汚零氏の初の写真集「地下水道～Undercurrent～」が好評だ。

同写真集は、モノクローム作品とカラー作品70数点で構成。明治期の職人技の煉瓦積みアーチや螺旋状の水路を駆け下りる水、闇の底で波打つ水面など、地下に果てしなく広がる下水道の世界を時間と手間をかけて表現した異色の写真作品となっている。A4判変型、96頁。定価2940円。

下水管の中は どうなっているの？

一般の人たちが普段なかなか目にすることのない下水道の管路の中はいったいどうなっているのでしょうか。当協会の会員のみなさまには、おなじみの光景ですが、管路内調査の際にTVカメラが映し出した、驚くような管路内の状況を紹介します。



① 土砂が堆積したボックスカルバートの雨水管路。取り除くのは大変な労力を必要とします。



④ 亀裂部分から木の根が侵入し、管路をほとんど塞ぐようになっています。



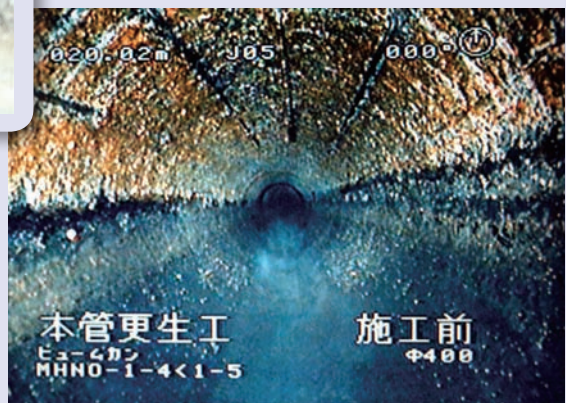
② 通管路内を流れる堆積物が溜まってほとんど閉塞しかかっています。



⑤ 左上から取付管が突き出して、管路を塞いでいる状況です。画面には「カメラ進行不可能」の文字が。



③ 老朽化によって管内がボロボロに。左上からは木の根の侵入も見られます。



⑥ 管路内面が腐食し、中の鉄筋が表面に浮き出るようになったコンクリート管。

池方式による発電設備を供用開始しました。特に、燃料電池式発電は下水道事業では全国で2例目、さらにコジェネレーションシステムとして熱も利用するシステムとしては全国初の設備です。同システムにより電気と熱を回収し、そのうち熱エネルギーは、消化槽の加温、場内建屋の暖房に利用しています。また、電気エネルギーは電力会社からの買電電力との並列使用を行い、当センター内で消費しています。当センターで消費する電力の約50%は消化ガスによる発電でまかなっていることになり、これは、標準的な一般家庭の消費電力量の約750世帯分に相当します。

発生する消化ガスを電力、熱といったエネルギーとして全量有効利用することで、電力会社からの買電の節約や、ガスボイラー焚きによる加温に比べて二酸化炭素の発生を抑制し、地球温暖化の防止に寄与することができます。なお、これらの設備による二酸化炭素削減効果は、電力利用分として1,378t-CO₂/年、熱利用分として669t-CO₂/年、合計すると2,047t-CO₂/年（H20年度）に相当します。

一方、市街地の発展により雨水排出量の増加をきたし、市街地中央商業地区の浸水の解消を図るた

年度別の污水管渠延長

年度	合計	累計	年度	合計	累計
S36	1.7	1.7	S61	13.6	204.2
S37	1.3	3.0	S62	25.9	230.1
S38	3.0	6.0	S63	29.8	259.9
S39	5.6	11.6	H1	32.7	292.6
S40	11.6	23.2	H2	59.5	352.1
S41	8.3	31.5	H3	38.1	390.2
S42	9.0	40.5	H4	44.2	434.4
S43	6.1	46.6	H5	54.4	488.8
S44	5.0	51.6	H6	50.9	539.7
S45	1.0	52.6	H7	53.5	593.2
S46	12.4	65.0	H8	53.1	646.3
S47	17.8	82.8	H9	60.7	707.0
S48	16.0	98.8	H10	57.8	764.8
S49	6.4	105.2	H11	67.1	831.9
S50	7.4	112.6	H12	53.3	885.2
S51	5.7	118.3	H13	51.2	936.4
S52	8.9	127.2	H14	49.1	985.5
S53	7.8	135.0	H15	41.9	1027.4
S54	14.7	149.7	H16	48.5	1075.9
S55	8.7	158.4	H17	54.6	1130.5
S56	5.4	163.8	H18	44.8	1175.3
S57	6.9	170.7	H19	47.6	1222.9
S58	4.4	175.1	H20	33.1	1256.0
S59	4.9	180.0	H21	8.2	1264.2
S60	10.6	190.6	合計	1264.2	

(km)

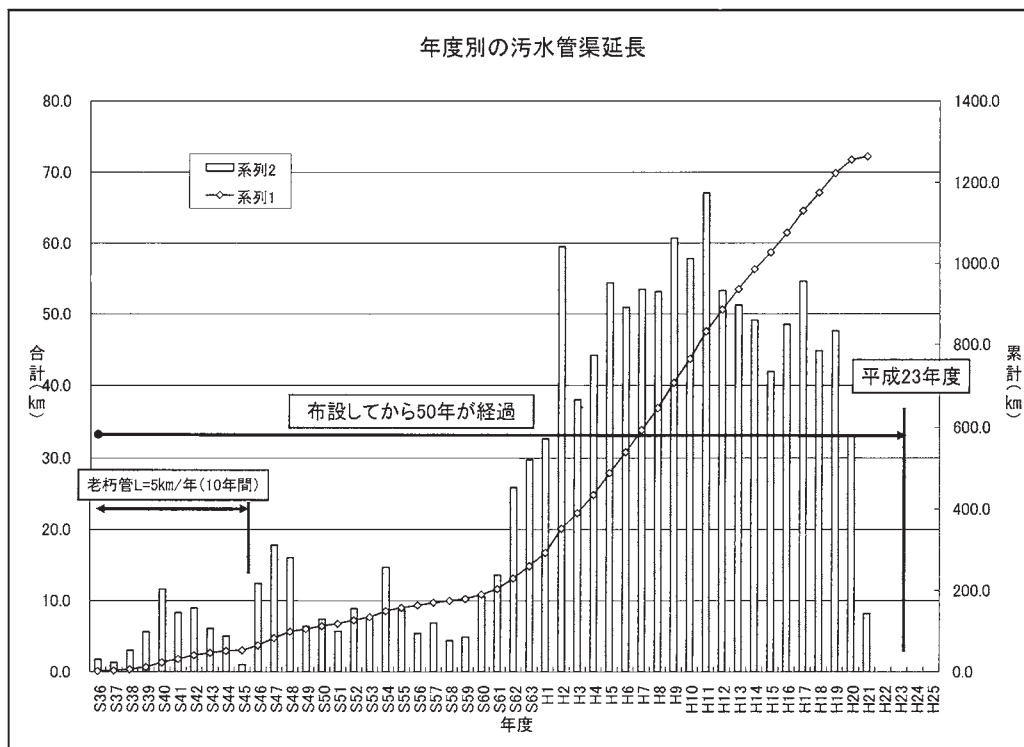


図-2

め、昭和45年度から雨水排水事業にも着手しています。雨水の整備状況については、平成21年度末現在で事業認可面積5,056haに対して整備率は28.1%です。雨水事業に関しては平成9年度に「大坊川新世代下水道支援事業」の採択を受け、雨水の再生水モデルとして親水空間・緑地公園・散策道としての整備を行いました。最近では、土地区画整理事業と一体となり親水空間を創出した「嶋堰せせらぎ緑道整備事業」を実施しました。

——現在の下水道事業における課題としてはどのようなものがあるのでしょうか。

まずは未整備箇所への対応です。いまだ整備されずに残っている箇所が市内に点在していますが、公営企業としての下水道事業を考慮した場合、当然費用対効果が問われます。このため、これまで事業認可内として整備予定してきた地域などの見直しを図っていく必要があります。これについては平成2年度に排水処理方法（公共下水道・農業集落排水・合併浄化槽）のすみ分けをし、幾度か見直しをしながら今日まで各々実施してきたところです。

また、国道・県道沿いなど市街地内においても、地下埋設の関係などにより未整備箇所が残っており、関係機関とのより一層の協議を必要としています。

これまで浸水箇所の解消を重点的に実施してきましたが、雨水管整備については大断面であるため多額の事業費を要すること、市街地の大規模な工事となること、支障物件の移設の問題、放流先となる河川改修が進まないことなどにより、平成21年度末の整備率は、まだ28.1%に留まっています。

山形にはお堀への水と生活や農業に使う水を引くため、五堰（笹堰、御殿堰、八ヶ郷堰、宮町堰、双月堰）の五つの水路が設けられています。これは山形藩主鳥居忠政公が作ったもので、市街地を網の目のように流れる堰は全国的に珍しく山形市の景観の特徴となっています。しかし現在、この五堰上の計画区間等においては、現実的に雨水整備が困難な箇所も出てきており、今後は貯留・浸透を考慮した整備計画の見直しを行い、雨水事業に積極的な取り組みが必要となってきております。

効率的投資へ長寿命化計画を策定

——管路の維持管理の問題と合わせ、長寿命化計画策定についてお願いします。

近年、全国的に下水道管きょ施設の老朽化に起因した道路陥没事故が増加傾向にあります。本市でも昭和36年度から管きょを埋設しており、まもなく耐用年数50年を迎えることから、老朽管の調査を行い計画的な改築更新工事を実施する必要があります。また、地震により下水道施設が被災した場合、トイレが使用できなくなるなどの公衆衛生の問題や、マンホール浮上等による交通障害が発生し、市民の健康や社会活動に重大な影響を及ぼす恐れがあることから、減災の観点からも下水道施設の耐震化を推進していく必要があります。

このような状況から当市では、より効率的で効果的な建設投資を行うためにライフサイクルコストの最小化について検討、管路の重要性に基づく方針を定めた「長寿命化計画」を策定することにしました。基本計画の策定に当たっては、平成21年に国土交通省が定めた「下水道長寿命化支援制度に関する手引き（案）」を参考にし、既存の資料を有効に活用しながら耐震化など下水道に求められる施策の付加を考慮しました。基本計画では、「山形市公共下水道計画」および「耐震指針」「下水道総合地震対策事業」「山形市地域防災計画」に示された防災拠点や避難所の情報をもとに管路施設の重要度を設定しています。

長寿命化対象区域は第1期～第4期に分け、第1期は今回の計画策定に先駆けて平成18～20年度にTVカメラ調査を行っており、今後平成23年度まで年平均約15kmの調査を行う予定です。平成21年度のTVカメラによる管路改築診断調査は市内3地区で実施しました。

また、管路の耐震化については、阪神・淡路大震災を契機に新設管きょについては可とう継手管など耐震対策を行いながら整備しておりますが、耐震化になっていない地区をこれから早急に対策する必要があると考えております。

調査はTVカメラの進歩で飛躍的に向上

——調査ではどのようなことが分かったのでしょうか。

山形市の地形は扇状地で、市域内にはポンプ場がなく、下水はほとんど自然流下で流れています。管種としてはヒューム管21%、VU管50%、陶管23%の割合となっています。TVカメラ調査は、国県道やJR、浄化センターに通じる基幹幹線など重要なところから開始しました。管内調査に当たっては死亡事故に繋がることもあることから、必ず酸素濃度や硫化水素濃度を測定してから管内作業を行うよう指導しております。

土砂や木の根などがあるとTVカメラ調査に支障をきたすため、事前に管内を清掃することが必要となります。今回の調査箇所はこれまでも定期的に清掃を実施していた訳ですが、実際の作業時には想定以上の土砂等が発生し清掃費が必要となりました。

平成21年度は17kmの区間について調査し緊急度判定を行ったところ、緊急度Ⅰは無かったものの全体延長の1割程度の約1.5kmが緊急度Ⅱの判定となり、管路の状態は比較的良好だったと言えます。

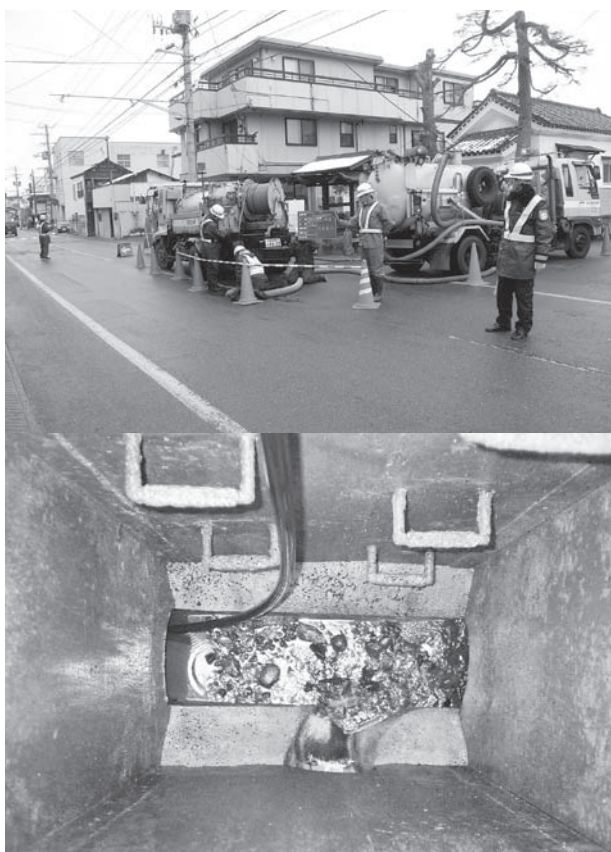
これらの調査結果を踏まえ、次年度以降に改築計画を策定することとなりますが、旧市街地であること、交通量や埋設物が錯綜していることから更生工法を中心とした改築になるのではないかと想定されます。

計画的な管渠清掃など先人の方の適切な維持管理により、管路の状態は予想に反し比較的良好的な状態が確認されました。これからも、施設の機能を損なわず健全な下水道経営を維持するためにはこのような管内調査によるデータ収集が必要で、次世代にも繋がっていく取り組みだと思えます。また、現在の管渠の健全度を維持するには、さらにこまめな管理が必要だと感じました。

TVカメラは管渠内に突出している夾雑物の排除や更生工法での取付管の削穴作業にはなくてはならないものです。以前は手探り状態で行っていた作業がTVカメラの普及で格段に技術が飛躍しました。これもひとえに業界やメーカーの方々の積極的な設備投資によるものです。維持管理に携わるものとし



④⑤ TVカメラによる調査状況



④⑥ 清掃作業状況

て、この場をお借りして感謝申し上げます。

——国・関係機関に対して今後に期待することなどを。

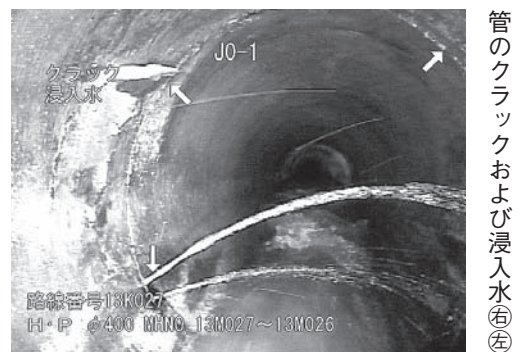
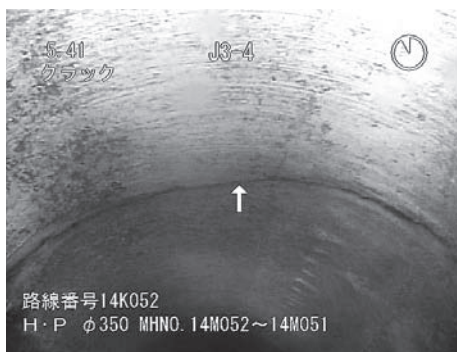
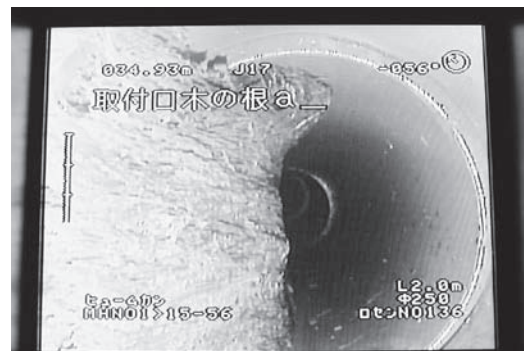
中長期の事業計画に沿って管路の長寿命化を行うのは重要なことですが、昨今の厳しい財政状況の中、維持管理費を増額することは非常に困難な状況です。健全な下水道管渠施設を維持するには、日頃からの点検や清掃、部分的な修繕をすることが施設の長寿命化を図ることから、ぜひ、日頃からの維持管理費についても長寿命化制度に取り入れてもらいたいと思っています。

——どうもありがとうございました。

長寿命化の基本計画の前段で行ったTVカメラ調

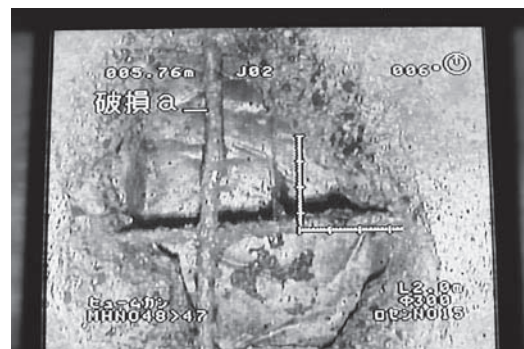
査で管路の状態が比較的良好だったことが分かり、山形市の礎を築いた先人たちの努力に敬意を表するとともに、管路のデータ収集ができたことは次代への資産になったのでは、と振り返っておられました。今後、改築計画を策定し、更生工事を行うこととなりますが、例えば部分補修を行うことで管路の長寿命化をはかることができるので、その補助があれば…というのも印象的でした。下水道普及率も96%を超え、本格的な管路や施設の維持管理時代に入った山形市。当協会では今後とも管路の適切な維持管理に関わる諸計画や調査について、引き続き関連の内容についてご報告したいと思います。

取付管の突出しおよび樹木根侵入(左)



管のクラックおよび浸入水(左)

管の破損・腐食(左)



特集：下水道管路内調査

最新鋭・管内調査用TVカメラの実力

毎年4,000件以上の道路陥没

社会資本である下水道管路施設は、一般家庭から排出される生活雑排水のほか、工場や食品加工施設などから排出される工場排水、飲食店や病院などの施設から排出される都市排水など様々な汚水とともに、都市部に降る膨大な量の雨水をも受け入れている。

昭和40年代から急激に整備されてきたこれらの下水道管路の総延長は、平成20年度末で約41万kmにも及び、地球10周分をはるかに超える長さとなっている。しかしながら、古くから下水道整備が行われた地域においては、長期使用による管路施設の老朽化が顕在化してきた。老朽管路の破損等による道路陥没事故は、昭和63年から毎年4,000件以上も発生しており、多い年には6,000件を超えるなど深刻な問題となっている。

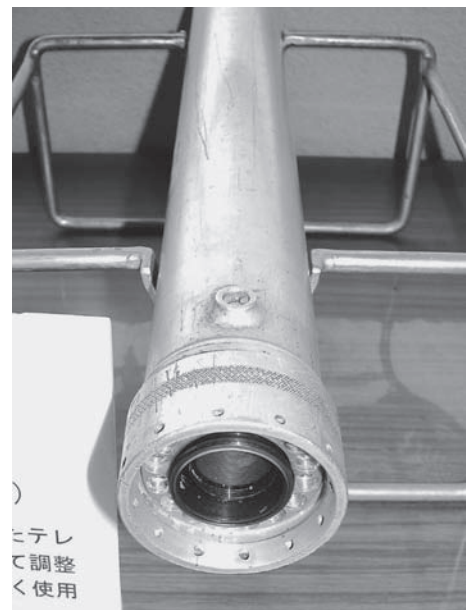
国土交通省では、このような事態を受け、平成20年に下水道長寿命化支援制度を創設、ストックマネジメントの手法を導入した管路施設の適切な維持管理に向けた様々な施策を展開してきている。そこでクローズアップされてきたのが、下水道管路の中を高性能カメラで撮影し、ひび割れや腐食、ジョイントの隙間などの異常を見つけ出す「管内調査業務」である。管路の状態を的確に把握し、それらを活用可能なデータとして蓄積することからストックマネジメントは始まる。

いかに効率よく、早く、正確に管内の状態を把握し、データ化していくのか。今回のスペシャルリポートは近年著しい進化を見せる「管内調査用TVカメラ」の動向についてまとめた。

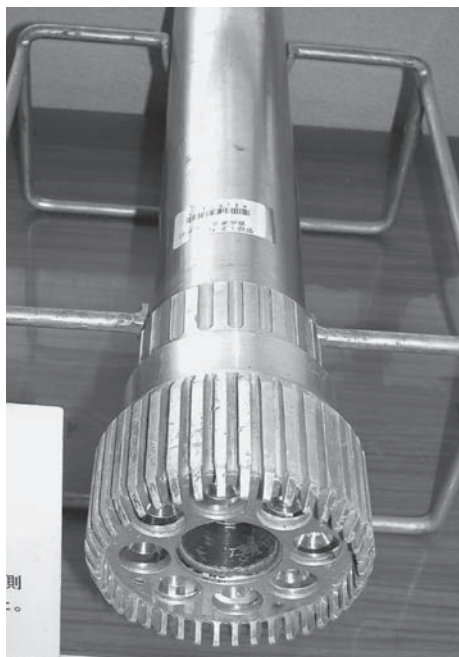
初期のカメラはモノクロの直視のみ

TVカメラを使った管路内調査は、1960年代にはヨーロッパやアメリカなどではすでに導入されており、ドイツのIBAK社のシステムやアメリカのFLOW MAX社製のJAKIと呼ばれるカメラが広く使用されていた。日本で最初に製作されたのは1973年の日本ビデオ企業（株）のものであったが、当時のカメラは、大型の懐中電灯を思わせるような筒状のもので、レンズの周囲に小さなライトがついており、それをそり型の台車に乗せてマンホールから挿入し、ワイヤーでもう一方のマンホールから引っ張りながら管内を撮影していた。

撮影できる映像は、管を正面からとらえる直視のみで、映像もモノクロであり、管径の大きさによ



国内初のTVカメラ調査で使用されたJAKI・GC-220



日本ビデオ企業(株)のNB-100

て台車を取り替えなければならないという煩わしさもあったが、当時としては映像によって管内を見ることができるだけでも画期的なことだったという。

国内初の下水道管路内TVカメラ調査業務は、1975年6月に埼玉県企業局団地開発事務所が、管清工業(株)に委託した菖蒲町(現・久喜市)の宅地開発現場に敷設した新管の浸入水調査であった。使用されたカメラは、日米産業(株)(現・(株)カンツール)が輸入したJAKIのGC-220で、モノクロの直視のみの映像であったが、ジョイント部分から多量の浸入水があることを発見した。しかしながら、当時は管更生工法などなく、開削してモルタルを巻きたてる補修が行われたが、完全な止水はできなかった。

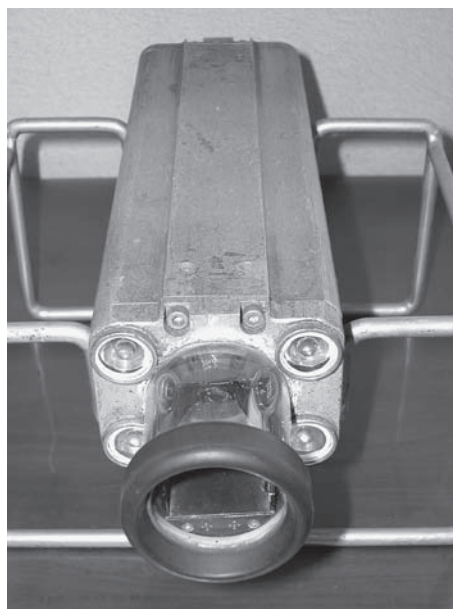
この頃は、管口からカメラがどの距離にあるかを計測するエンコーダはあったものの、映像のみを撮影する単純なシステムだった。そのため、オペレーターはTV画面を見ながらカメラの位置や管内の状況を自分の声でテープレコーダーに録音し、あとでテープを再生しながら報告書をまとめた。

1977年には、静岡県振興社谷津団地の浸入水防止工事や福井県清水町の管路調査・補修工事で止水のためにパッカー工法が採用され、以降TVカメラ調査とともに非開削の管更生工法が本格的に普及し始

めることになる。

名古屋市から始まった 本格的なカメラ調査

1980年代に入ると、東京電子工業(株)(現・東芝テリー(株))が直視に加え管内面を垂直方向から見ることのできる側視が可能なTVカメラVCH-122Aを開発した。これは、レンズの正面にミラーを取り付け、スイッチ操作によって直視と側視の切り替えができるもので、このカメラの開発で異常箇所の正確な状況判断が可能となった。



直側視を可能にした東京電子工業(株)のVCH-122A

ちょうどこの頃に、名古屋市内で大雨の影響により幹線管渠の周辺土砂が流されて交差点内の道路が大きく陥没し、停車中の車両が数台穴の中に転落するという事故が発生した。これを契機に、TVカメラ調査の有効性が注目されるようになり、名古屋市では第1次下水管調査・改築計画を策定してTVカメラによる本格的な調査・改築事業に着手。以降平成17年度までに5期にわたる調査・改築事業を実施している。

当時の調査データは、紙ベースの報告書とビデオテープ、異常箇所の写真帳で提出されていたが、これらのデータが膨大な量になってきたことから調査報告書の電子データ化が検討されるようになった。

しばらくすると、自治体の下水道部署では下水道台帳を電子化したマッピングシステムの導入が進んできたため、近年ではそのシステムに管路の維持管理データを組み込めるようなソフトも開発されている。

阪神・淡路大震災を契機に急激に普及

1983年には東京電子工業（株）が初のカラー映像で直視・側視ができるVC-561を開発、また、（株）キュー・アイによってカメラヘッドが自在に回転する機種なども開発され、この頃からカラー映像による本管調査が主流となった。さらに、ワイヤーによる牽引式から自走式に変わっていったのもこの時期からである。防水型の電動モータでゴム製の車輪を駆動させて前進・後進ができ、同時にケーブルを送り出したり巻き上げたりする機械も開発された。そして、これ以降受光素子を用いたCCDカメラが登場することとなる。



初のカラー映像となった東京電子工業（株）VC-561

1990年代が近づくと、TVカメラはさらなる進化を見せる。（株）キュー・アイが1988年に開発したTKC-7000は、自走式のロボットにエンドレス回転が可能なカメラヘッドを装備したもので、管路内の全方位をカバーし、直視から側視に切り替える際も映像に切れ目のないスムーズな動きを実現した。また、最近ではズーム機能のほか、センサによってカメラ自体が水平を保持する機構など様々な機能が盛



当時はこうしたケースに入れて持ち運ばれた



当時としては珍しい自動巻のカメラで静止画像を撮影していた（株）カンツールのテレフォート

り込まれている。

1995年1月に発生した阪神・淡路大震災では、被災した管路施設の応急復旧や災害査定を行うために全国からTVカメラが被災地に集結し、昼夜を徹しての調査が大規模に行われた。これを契機にしてTVカメラによる管路内調査の有効性・確実性が全国の自治体関係者に認知されるようになり、「下水道管路の調査はTVカメラにより行う」という意識が全国に広がっていった。

その同じ年に東芝テリー（株）が発表したミラーカメラは、レンズと広角鏡を用いて管の全面を側視できるもので、管内面を展開画像としてデータ処理するという新たな発想から生まれた展開画像ソフトに対応するため開発された。また、（株）カンツールは、画角190度という超広角レンズを使用し、管内の

全方位を単体のレンズで撮影するワンビュー・カメラ・システムを2008年に発表、リアルタイムでの展開画像の作成を可能にしている。

大口径管も目視からカメラ調査に

TVカメラによる調査がある程度普及してきた頃も、800mmを超える大口径管は人が管内に入って目視での調査が行われていた。しかし、下水の水量の多い場所や危険なガスの発生が予測される箇所を機械によって調査したいとのニーズが高まり、大口径管用のTVカメラの開発が始まった。

そこで登場したのが、管清工業（株）とキュー・アイ（株）が共同開発したビークルである。1985年に開発されたこのTVカメラは、照明の明るさやカメラの感度などに問題はあったものの、神奈川県下水道公社の幹線管渠調査に採用されて成果をあげた。その後改良を重ね、1991年には船体型のビーバー、メトロビーバー（東京都下水道局との共同開発）として登場し、現在でも活躍している。大口径用としては、2005年に管清工業（株）がイギリスから導入したレディオディテクション社製のビーバーキャディがあるが、2008年には同社によってさらに

大口径用のグラントビーバーも開発されている。

レーザー光で管路の状況を精密に再現

最近では映像以外の方法による管路内の調査システムの研究開発も進んでいる。（株）カンツールによって開発されたプロファイラは、赤色レーザー光を放射状に照射し、管内面に投影された光の輪を連続映像として取り込みデータ解析することで、内径・断面積などを精密に解析するシステムである。大林道路（株）と宮崎大学などが共同で開発した管内面形状計測ロボットも管内から管軸に対して垂直方向にレーザー光を投光し、その軌跡をコンピュータで解析して腐食具合を算出することができる。

このように、構造物としての下水道管の異常や劣化度を把握し、それらのデータを蓄積する技術は日々進化を遂げている。今後は、これらの最新機器を駆使した管内調査が行われることで、下水道管路管理という業務そのものが大きな変革を遂げていくことになるだろう。以下に、近年開発されたTVカメラシステムなどの管内調査技術のうち、主だったものをご紹介します。

■ミラーカメラVCM562MR —画像処理に最適化した究極の広角カメラ—

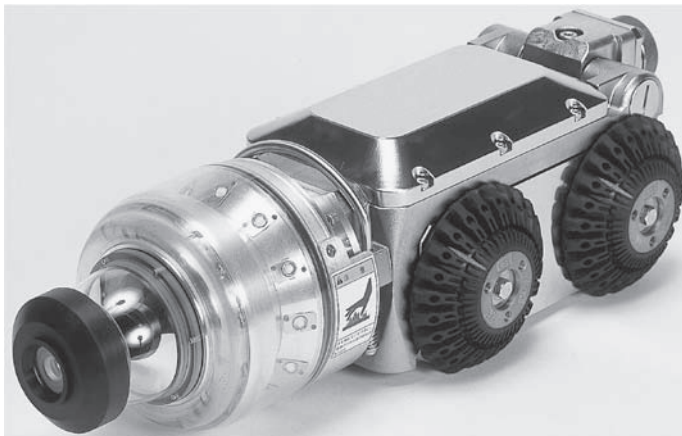
東芝テリー(株)

近年、画像処理技術を積極的に活用した管路内画像の展開図化によるデータベース管理が注目されている。東芝テリー(株)が開発した「ミラーカメラ VCM562MR」は、この展開図をいかに高品位に作成するかを究極まで追及した、全く新しいタイプの管内検査カメラである。

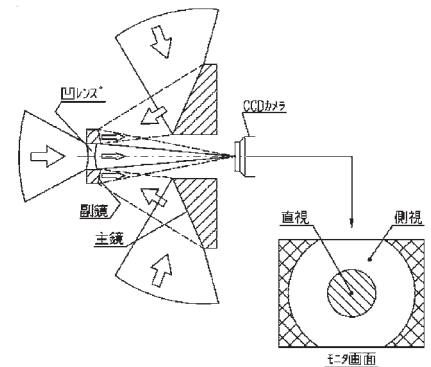
ミラーカメラの最大の特徴は、ミラー方式工学系による画像投影で、図のように2枚の特殊な形状の鏡を組合せて側面全周の映像を捉え、前方の映像は別レンズを用いて中央部に表示するという一般の魚眼レンズとは全く違った方式を採用していることで

ある。これにより、展開図に使用するエリアの解像度が高く、情報量が多いため、非常に鮮明な展開図を得ることが可能となった。

また、ミラーを撮影するレンズ、カメラの設定、照明の配置についても徹底的な最適化が図られており、非常に高精細な展開図が得られる。このほか、カメラヘッドは小型かつ軽量で、小径人孔や特殊インバートからも楽に挿入することができ、システム本体は、カメラヘッドの交換により従来型の管内検査も可能で、カメラ車1台で2通りの検査仕様に適用することが可能となっている。

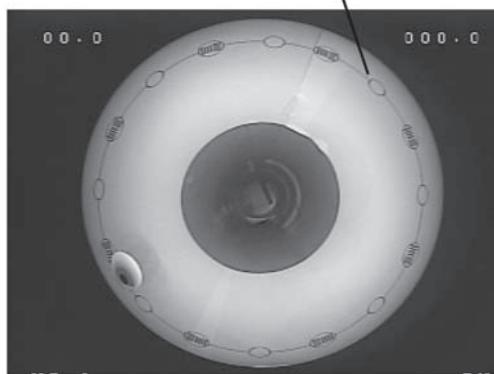


ミラーカメラ VCM562MR



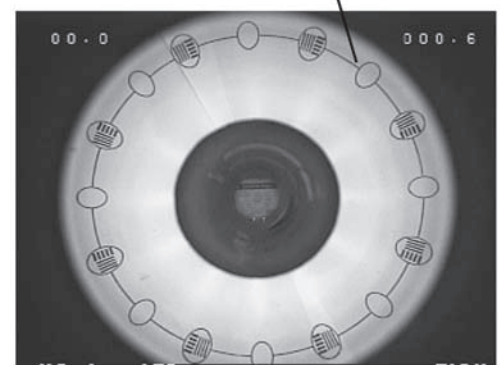
ミラー方式光学系のイメージ

展開図エリアが管軸方向に歪んで、情報量が少ない



魚眼カメラ

展開図エリアの情報量が多く展開図が鮮明になる



ミラーカメラ

■ワンビュー・カメラ・システム —直視のみで展開図を作成—

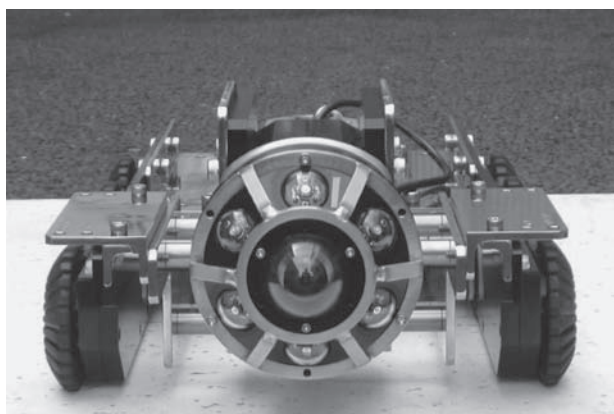
(株)カンツール

(株)カンツールが開発した「ワンビュー・カメラ・システム」は、管内を正面から捉える直視のみの撮影で、管壁面の詳細な展開画像を作成し、調査量の大幅な向上を目指そうというアイデアから生まれた最新鋭のTVカメラシステムである。

画角190°の超広角レンズと高輝度白色LED 6灯を装備したカメラヘッドを用いることで、側視による異常箇所の詳細な確認を実施しなくても、管内状況を正確に把握することが可能である。また、異常個所で停止する必要がないため、これまでのカメラ調査と比較して日進量が大幅に増加させられるという特徴がある。

報告書の作成も、シグナルインサータと呼ばれる機械で映像信号に距離データを組み込むことにより、管内画像からリアルタイムで全く繋ぎ目のない鮮明な画像を再現する。また、補完や抜けのない実映像であるため、画像全体の寸法補正のみでほぼ正確に異常箇所の規模を定量的に測定でき、技術者による分析のバラツキを最小限に抑えられる。

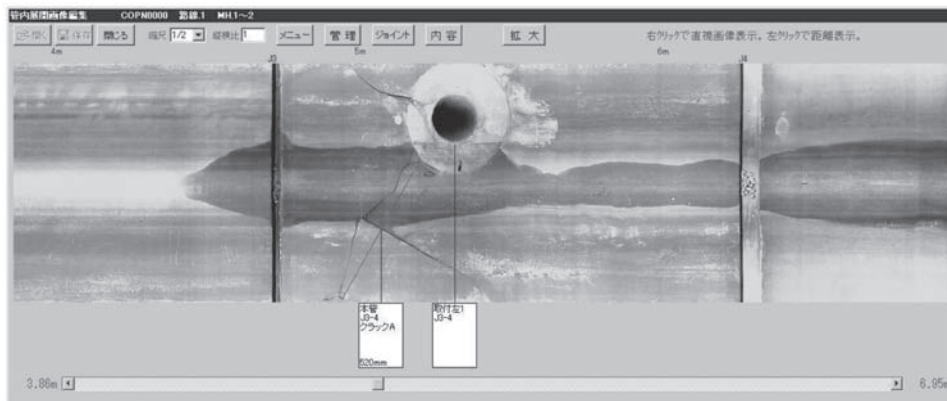
特別なソフトは必要なく、提出用のCDをパソコンに挿入するだけで展開画像や直視画像を見ることができ、画像上の2点をクリックすることで異常箇所の寸法の計測や水深の計測を行うことも可能である。



ワンビュー・カメラ本体



シグナルインサータ内蔵のコントロールパネル



展開図の2点をクリックして寸法を計測

TKC-7800・PV-2300・TKC-3100S —機能満載のカメラ群— (株)キュー・アイ

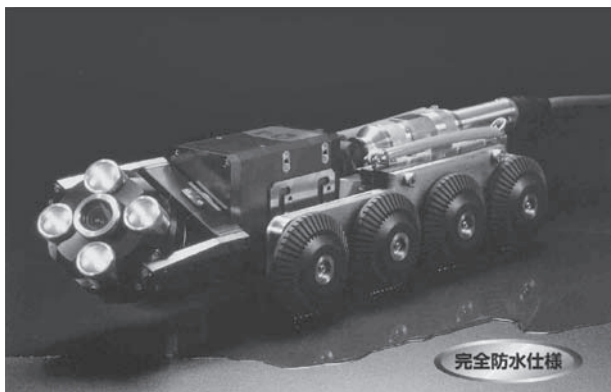
株式会社 キュー・アイは、「人間の目では見ることの出来ないものを正確に見る技術」を追求し、水深1万m級の深海カメラから上下水道・電気・ガス等の配管内部を調査する管内検査ロボット、原子力発電所で使用される耐放射線TVカメラロボット等を独自開発し続けてきた。中でも、「TKC-7800テレビカメラシステム」は、同社が長年培ってきた高度な映像・制御・防水等の技術を結集した、本管調査専用のカメラロボットである。

照明と一体構造となったカメラヘッドは、上下各110°、360°エンドレス回転が行え、取付管の奥まで鮮明な映像を写し出すことができる。内径150mmから600mmまでの管に対応し、オプションアタッチメント装着により内径1000mmクラスの大口径や卵形管の走行も可能である。カメラ本体は全長が550mm

と非常に短いため、500mm人孔や直角インバートでも使用できるという特徴を有する。メインケーブルはオプションで最長300mまで延長可能。スーパービデオインポーザーの機能により、レンズの焦点・絞り、ライト調光が自動化できるため、オペレーター作業の簡素化と検査のスピードアップが図れる。

また、「PV-2300テレビカメラシステム」は、500mまでの長距離走行に対応した管内調査専用のカメラロボットで、小口径用自走車により内径200mm以上の管に対応している。自走車は左右独立駆動方式で、パワフルな牽引と左右旋回動作が行え、多彩なオプションにより作業用途を拡張することができる。

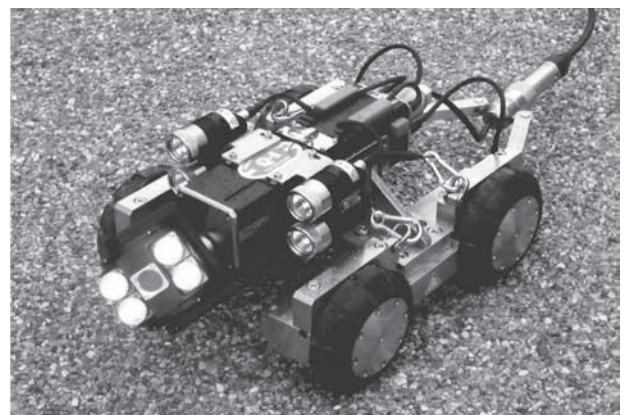
「TKC-3100S」は、上下水道管およびプラント管など、小口径・曲管の中にカメラを挿入し、管内の状況を検査するシステム。コネクタ分離方式のため、オプションのカメラヘッドとの交換が可能で、多目的に使用できるのが特徴である。



本管検査用カラーTV装置 TKC-7800



押し込み式管内検査TV装置 TKC-3100S



長距離走行型TVカメラ装置 PV-2300

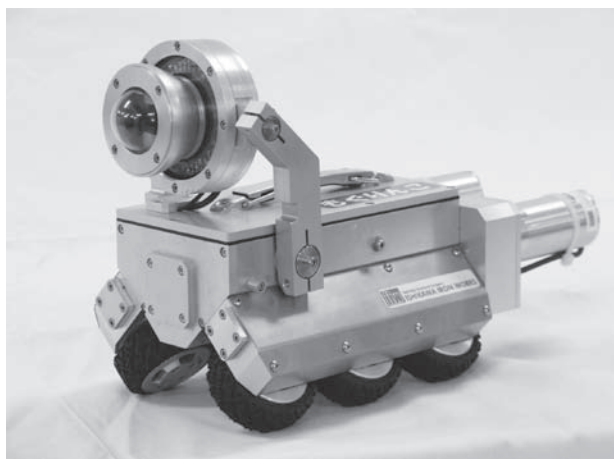
■ハイパーもぐりんこ —管内調査をシンプルに超低コストで—

(株)石川鉄工所

(株)石川鉄工所の管内調査用TVカメラ「もぐりんこ」シリーズは、「管内調査をシンプルに超低コストで」を最大の開発テーマとしている。最新型の「ハイパーもぐりんこ」は、車両が入れない狭い場所でも人力で運搬して調査が行えるよう、システム総重量26.5kgという超軽量化を図った。最大の特徴は、「ハ」の字配置の6輪駆動スキッドステアリング。高・低2速のスピードで平地・傾斜走行から左右旋回、超信地旋回（その場旋回）を可能としたほか、ダートや瓦礫などの障害物を乗り越える機動力と完全防水構造で、洗浄していない管内や水流の多い管

内でも調査することができる。

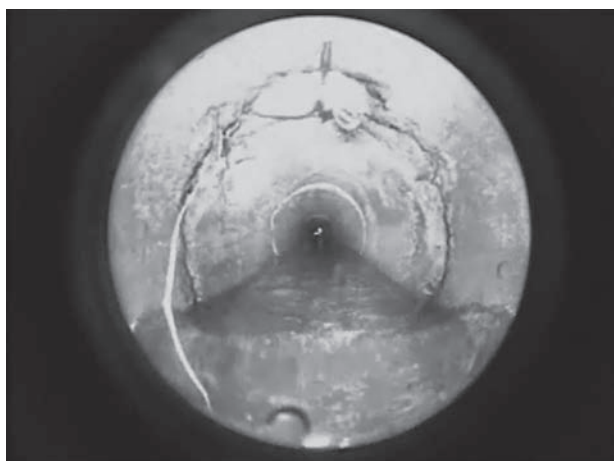
カメラは、190°広角レンズを採用。上下仰角位置可変構造で内径200mmから350mmの管に対応し、照度を32段階に調整できる照明によって管内の映像を鮮明に捉える。カメラの操作は5.6インチ高輝度モニターが付いた小型のコントローラーで行い、映像を確認しながら音声レポートの入力もできる。報告書は、独自のソフト（標準装備）を使用して、記録された映像・音声を元に作成する。カメラはフルシステムで1セット220万円という低価格を実現している。



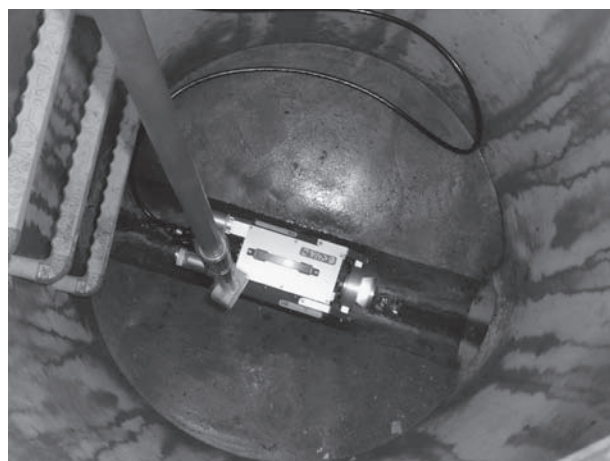
350mm管用にカメラ位置を高くしたハイパーもぐりんこ



ケーブルドラムを含むシステムの構成



上部破損と木の根侵入を捉えた映像



吊り下げ用ポールでマンホール内に入ることなくカメラをセットできる

■ビーバーシステム —大口径管用船体型TVカメラシステム—

管清工業(株)

大口径管の調査は、調査延長が比較的長く、有毒ガスの発生や酸素欠乏などの危険性ととも、急激な水位上昇が見込まれる場所や流速の速い場所なども多く、調査員の潜行目視調査が難しいと言われてきた。このような条件下で調査員に代わり、管内を調査・記録するシステムの開発が望まれ、管清工業(株)が開発したのが「ビーバーシステム」である。

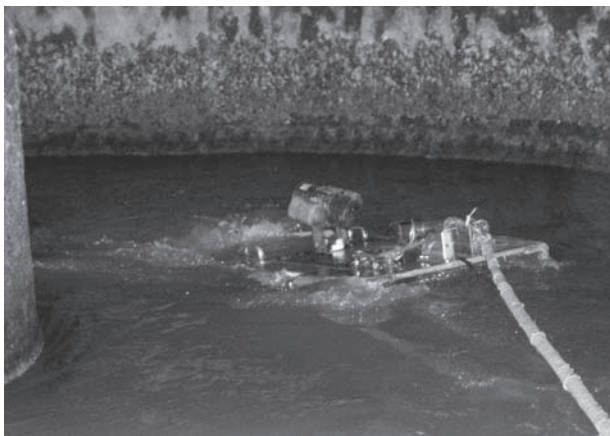
ビーバーシステムは、広角ズームレンズと高輝度の大型ライトを強化プラスチック製の船体に装着し、水の流れにより管内を移動しながら状況をくまなく撮影するシステムで、内径1,200mm以上の大口

径管に対応している。船体には方向舵・スタビライザーが装備され、これらにより管内の変異点をくまなく調査することが可能となる。

カメラヘッドには、クラック等の幅や長さなど異常箇所の詳細な寸法計測ができる4点レーザー光の測距システムを装備しており、本システムによるデジタル画像の処理により、ミリ単位の高精度計測を実現した。カメラケーブル長が最大で1000mあり、上・下流から調査することにより約2000mの調査が可能となる。



ビーバーシステムのカメラ本体



水量の多い管内を進むビーバー



激流の中でも方向を誤ることはない

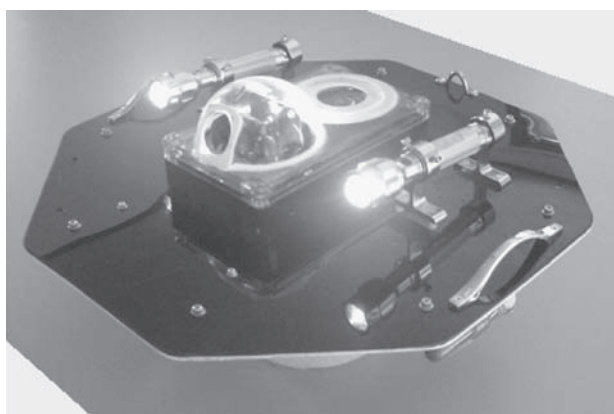
■ ストリーム・カメラ — 水流を利用して管内を撮影 —

エスジーシー下水道センター(株)

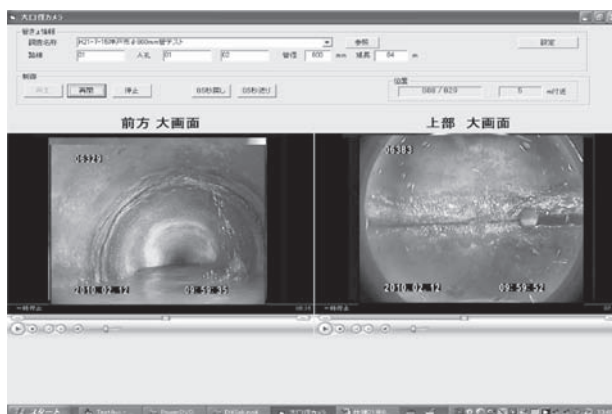
「ストリーム・カメラ」は、二つのCCDカメラと録画機材を内蔵したフロートを、水流を利用して管路内を流しながら撮影する幹線管きよの概要テレビカメラ調査システムである。管内映像を取得するシステム前方確認用カメラと上部確認用カメラを搭載しており、上部確認用には魚眼レンズを採用し、広範囲が確認できる。この方法により、従来の詳細カメラ調査の数倍の作業量が見込める。また、バッテリーにより駆動するため、マンホール周辺の占有帯を小さくできるという特徴がある。

管径600mm以上の管きよに対応するが、フロート式のため、管中心部の水深が10cm以上必要。また、映像の確認は、機材回収後となる。

報告書は、記録表・写真帳等の提出となるが、動画の確認は、Windows Media Player等の一般的なソフトを使用して行うことができる。その場合、直視・側視が同時に閲覧できないため、同時に閲覧できるソフトも用意しており、この場合はUSBメモリー等での提出となる。



ストリーム・カメラ本体



直視・側視を同時に閲覧できるソフトも



直視映像



側視映像

■ ビーバーキャディシステム —中・大口径管用TVカメラシステム—

管清工業(株)

大口径管の調査は、調査延長が比較的長く、また酸欠や有毒ガスの発生により、潜行目視による調査が困難な場合が多く見受けられる。これらの問題を解消するため、大口径管調査の機械化が望まれていた。

管清工業(株)がこれらの問題を解決するため国内で初めて導入したのが、管径500mm以上の中・大口径管に対応した自走式TVカメラ調査システム

「ビーバーキャディシステム」である。ビーバーキャディシステムは、ズームアップ機能やエンドレス360°回転機能を備えた高感度カメラと高光度ライト4基をパワフルな自走車に装備。対象物のズームアップや死角のないエンドレスの撮影が可能である。

自走車には四輪独立駆動の大型タイヤを装備し、管路内でも自由に転回が可能で、曲がり管にも対応できる。また、600mのケーブルを搭載し、スパンの長い長距離管路の調査を行えるほか、タイヤを現場状況によって選択できるため、土砂の堆積等の障害にも柔軟に対応できる。



アームを伸ばしてカメラヘッドを持ち上げたビーバーキャディ



マンホールから発進



水量の多い管内を進むビーバーキャディ



管内の撮影画像

■ グランドビーバー — 抜群の運動性能を誇る大口径管用のTVカメラ —

管清工業(株)

「グランドビーバーシステム」は、内径1,200mm～4,000mmの大口径管専用として管清工業(株)が独自開発した自走式TVカメラシステムである。船体型のビーバーシステムを自走式にした発展型で、強力な電動モーターと八輪独立駆動のタイヤを装備し、曲がり管や土砂の堆積等に対しても抜群の運動性能を発揮する。調査する管の口径に応じて小型・中型・大型の自走車にカメラヘッドを装着し、急激な水流の中でも安定した走行が可能で、延長2,000m

(上下流で4,000m)までの長距離管路にも対応が可能である。

カメラヘッドには、光学10倍ズームアップ機能が付いた高性能カメラとともに、クラックなどの損傷部の幅や長さを計測するための4点レーザー照射装置を搭載。さらに、管内の酸素濃度や硫化水素濃度なども測定できるセンサーを装備してリアルタイムで管路内の状況が把握でき、安全性の向上にも寄与する。



小型の自走車の場合のグランドビーバー



大型の自走車を装備したシステム



中型自走車で管内を進むグランドビーバー



急な流れの中での撮影映像

■ プロファイラ — 管路の内径形状の精密測定・解析システム —

(株) カンツール

(株) カンツールが導入した管路の内径形状精密測定・解析システム「プロファイラ」は、レーザー発信用ハードと数値解析ソフトで構成されており、管内径を0.1mm単位の精度で精密に解析することができるシステムである。

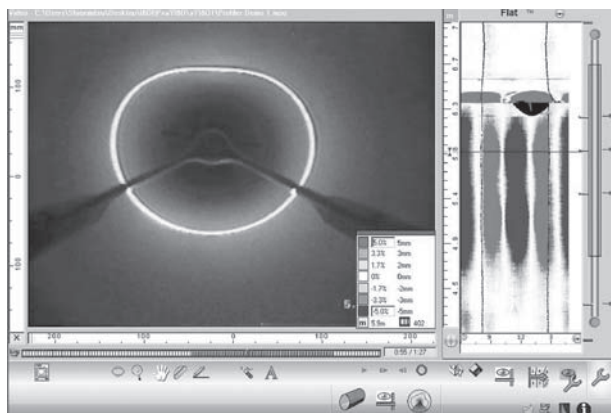
スナップオンと呼ばれる赤色レーザー光発信装置をヘッドに取り付けたTVカメラで、管内面に照射された赤い光のリングを連続して撮影し、そのデータをデジタル処理して詳細な断面図や展開図として表示するだけでなく、管内面を3D画像にして再現

できることが最大の特徴である。これにより、管の腐食劣化度や扁平率、変形・破損状況などが3Dの形状によって認識できるほか、異常箇所の状況を色分けや色調の変化によって把握することが可能である。

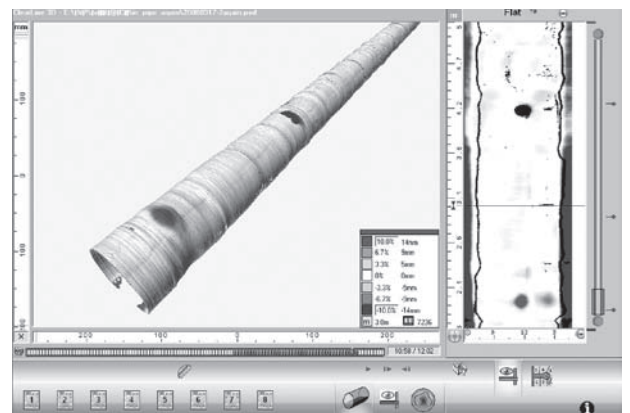
また、これら様々な情報のデータをいろいろなグラフに表示できるとともに、展開図に示されたそれぞれの異常箇所のカメラ画像を表示し、突起物の大きさなどを直接測定することもできるなど、目視による状況観察にも優れた機能を発揮する。



レーザー発信用ハード「スナップオン」



管路内に照射されたレーザー光



管内面の状態を3Dで表示

管内面形状計測ロボット —管内面形状を正確に計測—

大林道路(株)、宮崎大学

大林道路(株)と宮崎大学が共同で開発した「管内面形状計測ロボット」は、レーザー発光器とCCDカメラを搭載した自走式のロボットによって管の内面形状を自動で計測し、管内の腐食や変形などの異常を発見するものである。昨年末に実用化された。

内径200mm~700mmの管に対応しており、管内を自走しながらレーザー光を照射して管内面の形状をなぞり、CCDカメラで撮影したレーザー光の軌跡をデータ化することで0.5mmの精度で管内面を計測

する。また、130mm間隔で2本のレーザー光を照射し、二つのリング中心のズレから管軸と計測軸のズレを調整し、正確に管軸直交面の形状を計測することができる。

取得したデータは独自のソフトを使ったコンピュータ処理によって三次元のグラフィックデータに変換され、パソコンの画面上に表示される。また、異常箇所を目視でも点検できるように静止画像や動画をCCDカメラで撮影することもできる。



管内面形状計測ロボット



管内面計測状況



計測データをモニター画面に表示

■パイプハンターⅢ —マンホールの管口から管内を撮影—

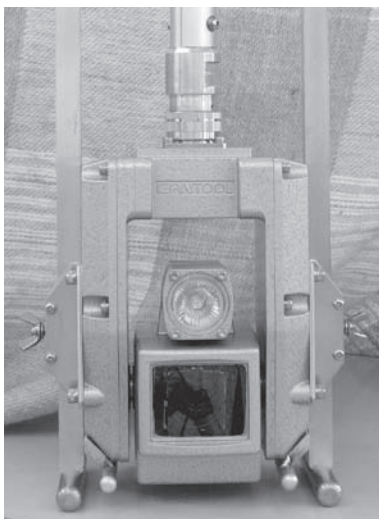
(株)カンツール

TVカメラによる管内調査は、管内の詳細な状況が把握できるが、その作業には長い時間と費用がかかる。また、カメラをスタンバイさせる際にも、作業員がマンホール内に入る必要があり、突発的な酸素欠乏などの危険性も伴う。そこで、マンホール内に入ることなく管内の状況を簡易に調査するカメラはないかとの発想から(株)カンツールが開発したのが「パイプハンターⅢ」である。

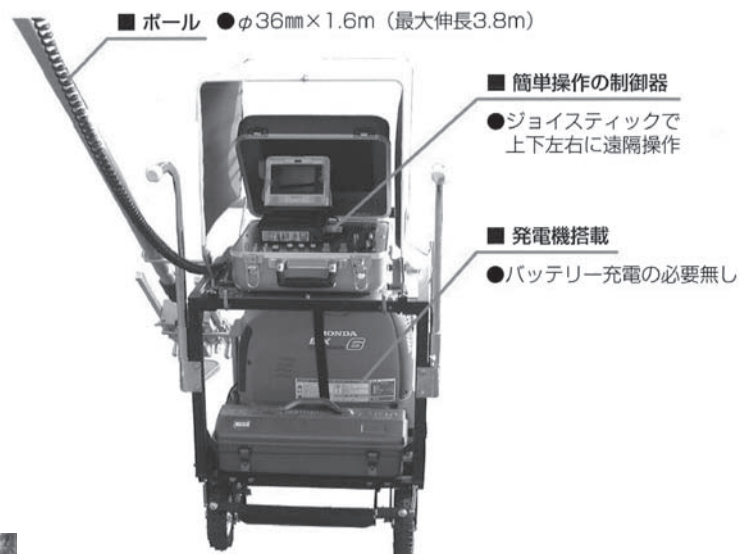
パイプハンターⅢは、長さ1.6m(最大伸長3.8m)

のポールの先端に40倍ズーム機能付きのカメラヘッドとハロゲンランプを装着した「管口カメラ」と呼ばれるもので、マンホールの上からカメラヘッドをインバートに設置し、管口から管の内部を撮影する。カメラの方向やズームは地上のコントローラーで遠隔操作でき、管口から約10mまでの管内の状況確認が可能である。

撮影映像はデジタルビデオで記録し、異常箇所の地点や状況を録音することもできる。これにより、異常が見受けられない路線についてはTVカメラを使った二次調査から除外できるなど、業務の効率化につながる技術である。



パイプハンターⅢのカメラヘッド



コントローラーを含むシステム全体



使用状況



パイプハンターⅢで撮影した管内

流量計測装置のトレンドを追う

下水道分野における流量計測装置（以下、流量計）は、長らく下水処理場の運転管理を中心に採用されてきた。しかし近年、経営の健全化が強く問われるようになり、不明水対策が進められるようになったことなどを背景に、調査や監視のためのツールとして管路へも採用が拡大しつつある。今回は東京計器、ペンタフ、JFEアドバンテック、日科機バイオスの4社取材し、流量計測の基本的な考え方や最新技術、今後の開発動向などをまとめた。

3種3様の計測原理

流量計は、人間でいえば脳に信号を送る神経のようなもので、下水処理のコントロールに欠かせない重要な役どころを担っている。特に、昭和43年の流域下水道事業制度の創設は、それまで例のなかった下水道管路施設内への流量計の設置を後押しする一つのきっかけをつくった。というのも、関連市町村で案分する維持管理負担金の算定を行うため、幹線への流入汚水量を正確に把握する必要性が生じたからである。また、近年は管路施設の多くが耐用年数を迎え、老朽化等に伴って不明水の存在が顕在化するなど、下水道の経営安定化を図るうえでも流量計は活躍の場を拡大しようとしている。また、浸水対策の一環として、例えば処理場で緊急貯留を行うような場合、上流側の増水チェック等の必要性から、豪雨時の流量監視などにも使われ始めている。

下水管路施設に設置される流量計には、大きく分類して堰式、フリューム式、開渠・管渠式（流速水位演算式）の三つが挙げられる。流量（ Q ）は「流積（ A ）×平均流速（ V_m ）」の計算式で求められるように、流水の断面積と流速の二つを把握するのが

ポイントである。

歴史的に最も古いとされるのが堰式。この方式は、図-1のように堰を乗り越えて流れる流水の性質を応用したものである。具体的には、堰を乗り越える際、水位は流量が多いほど高くなり、かつ、その水位と平均流量はほぼ一義的な関係を有することが分かっている。つまり、堰を設けることにより、流速を測定しなくても水位を見るだけで流量が特定できるのが堰式の基本的な考え方だ。ただし、一定の精度を確保するためには、水頭損失（水と管との間の摩擦抵抗）や側壁面および切り欠き深さの影響など、各種パラメータを適切に設定する必要がある。このため、技術者の力量に測定結果が左右されるうえ、構造的な課題として、堰上げによる上流側への影響や夾雑物のたい積などが懸念され、同方式を採用する際には設置環境や管理条件を厳正にチェックしなければならない。また、後に述べる二つの方式にも共通することだが、水位に関しては基本的にセンサで計測するため、変換器の設置スペースが必要とされる。

フリューム式は、堰式の考え方をベースに、設置

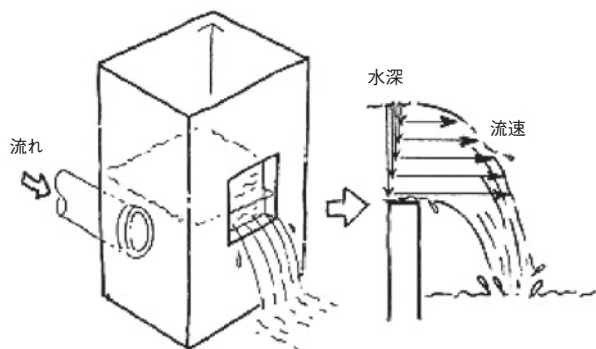


図-1 堰式

作業の簡素化を図るとともに、維持管理上の改良を加えた技術であるといえる。構造物の形状から、パーシャルフリュームとパーマーボウラスフリュームの二つに分類されるが、もっぱら下水道管路施設に使われるのはパーマーボウラスフリュームのほうである。

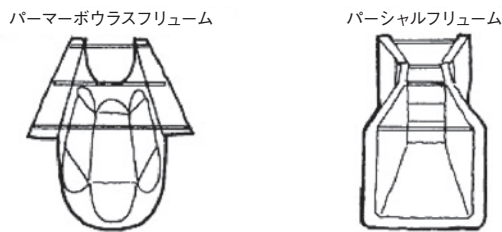


図-2 フリューム式

同方式は図-2からも分かるように、管に絞りを加え、流速を増大させることで限界流という特殊な流れを形成する仕組み。水流にはいくつかの状態があり、平均流速が水面を伝わる波の速度より遅い流れを“常流”、逆に水面を伝わる波の速度より速い流れを“射流”といい、限界流はいわばその境目、つまり臨界点といえる。そして、限界流が発生する状況下においては、流体の断面積さえ分かればそこから一義的に流量が導き出せるので、つまりは水位を測定すれば必然的に流量が得られることになる。これは、堰式と同じ原理であるが、構造物の設計には大きな違いが見て取れる。

堰式が水を溜めることによって下流の影響を切り、水深に対応する重力の加速度を利用して平均流速を計算するのに対し、フリュームは水路の途中を絞ることで下流の影響を少なくし、越流水深から流量を測定しようというもの。また、管と水の摩擦抵抗を最小限に抑えるよう設計されているのがポイントで、絞り部で流速が上がるため、堰式で懸念されたい積はほとんど心配がないのだという。

前述したようにフリューム式は管の口径に応じた構造物が必要であるため、どちらかという小口径管に採用される傾向が強い。逆に、大口径で使用されているのが開渠・管渠式である。

この方式は、水位だけでなく、流速もセンサで計測し、この二つのデータから流量を割り出すという

もの(図-3)。計測ファクターが水位と流速の二つになるため、精度が劣るといわれた時代もあったが、近年は一度に複数の反射体を計測する技術が開発されるなど、センサ技術の向上とともに精度のブラッシュアップが図られている。また、前述した二つの方法とは異なり、構造物が不要であるため、管径が大きくなってもコストを増大させることなく対応できるのが特長である。

ちなみに、水位は流水と非接触で測定可能だが、流速センサは原則、管底に取り付けられる。測定は透過法を用いる河川や上水と違い、濁度の高い下水では流水中の夾雑物を捉え、その動きに注目する。つまり、夾雑物(反射体)の移動速度を測って流速とする考え方で、具体的には、反射体に当たった超音波のはね返りを受信し、その周波数の変化から動きを割り出す仕組みとなっている。この場合、センサ部分に多少の汚れの付着があったとしても、精度にはほとんど影響がないという。なぜなら、音波が弱まっても反射さえ受信できれば計測可能だからである。また、水位は静電容量式、フロート式、圧力式、超音波式などのレベル計で計測し、そこから流水断面を導き、流速との掛け算によって流量を求めるのが原理である。



図-3 開渠・管渠式

不明水対策の二一ズが拡大

近年の下水道管路施設における流量計の採用は、「小口径向けにフリューム式、大口径管に開渠・管渠式が採用される傾向が強い」(東京計器)という。

流量計を管路施設内に取り付けることについては当初、「維持管理性の低下が懸念され、採用に前向きな自治体は少なかった」(JFEアドバンテック)。特に、内径200mm程度の小口径管は構造物を設置する

ことへの抵抗感が強かったという。そこで、各メーカーは管路に構造物を取り付けるのではなく、マンホール内に設置するタイプの製品開発に力を注ぎ、様々なフィールド試験を通じてその実用性を実証してみせた。また、定置型だけでなく自由に持ち運んで使えるポータブルタイプの開発を進め、現場の特性や用途に応じてより扱いやすい技術を提供することで認知を図ってきた経緯がある。

特に、不明水対策にあたっては、「調査会社などを中心に、ポータブル流量計の引き合いがこのところ増えている」(日科機バイオス)とのこと。不明水調査は、測定した流量が区間流量ではなく測点流量(測ったポイントでの流量)となるように同時並行的に多測点を計測し、問題箇所を絞り込んでいくのがオーソドックスなやり方。そのため、設置と取り外しが容易で、電源のないところでもバッテリーで長時間稼働できるポータブル流量計が向いているのである。

ちなみに、流量計を用いた不明水調査のポイントは概ね以下の通りである。

- ①調査時期をバラつかせず、全箇所ほぼ同時に計測する
- ②図-4のように、測点はなるべく区間にならないようにする
- ③比較評価を有効にするため、測定規模を揃える
- ④雨量、水位、水質など、流量以外の計測データ

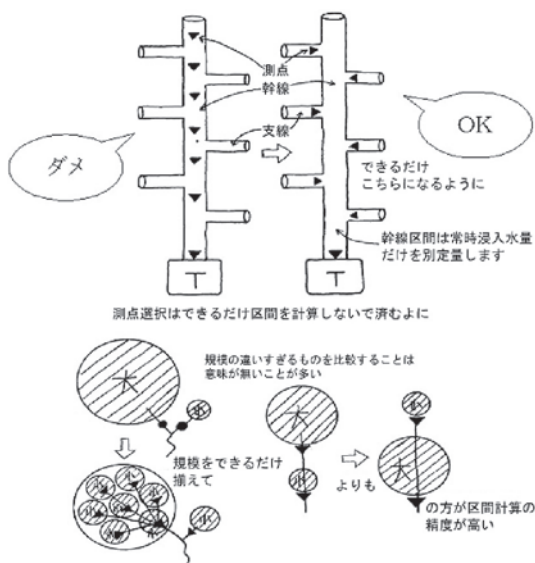


図-4 不明水調査のポイント

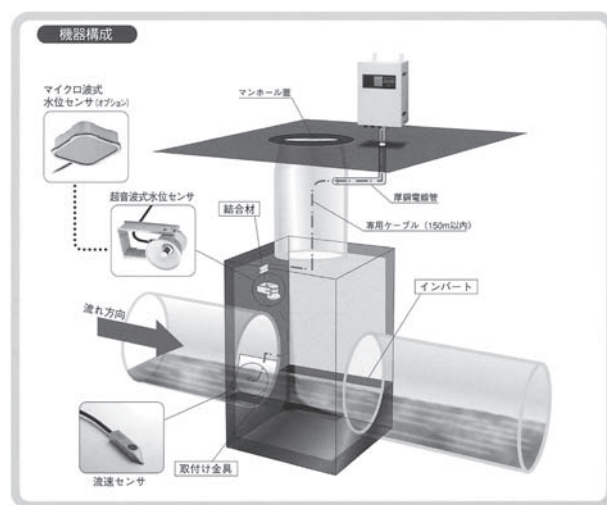
を計測するときには、できるだけ時系列単位を揃えて測定する

測定精度の向上は今後も課題に

ここで、各社の流量計のラインナップと今後の開発の方向性を見ていこう。

東京計器の最新モデルは、超音波管渠流量計「UVH-2000」。同製品はいわゆる開渠・管渠式で、最大の特長は、流速の測定にパルスドップラ方式を採用した点。先述した通り、流速センサは下水中のごみや気泡(反射体)に超音波を当ててそのはね返りの周波数変化から速度を読み取るが、パルスドップラ方式では超音波ビーム上に複数の反射体を捉え、それらの動きを同時に追うことができる。つまり、一つのセンサで多点測定が可能で、例えばごみが下水中で不規則に暴れながら流れる(流速分布が乱れているケース)ようなケースでも、複数のデータの平均値から流速を求めるので、高い測定精度が実現できるのだという。

同社は今後の方針として、具体的な技術内容は明かせないとしながらも、完全非接触の流量計の開発に意欲をのぞかせている。また、深夜など流量が激減する時間帯にも対応するため、電波を使った河川流量計をモデルに、流速5cm以下でも高精度を発揮する測定技術の開発に努めたいとしている。



東京計器「UVH-2000」

ペンタフは、フィールド調査会社の経験と実績を活かした、実用性能の高い商品開発を得意としてい

る。「タフフロー・ワン (フリーム式)」は、汚損に強く、構造物はマンホールへの取り付けが容易にできるよう設計されているうえ、監視盤を屋外自立、壁掛けのいずれかから選択できるようにした。また、オプションでパソコンによる流量監視も可能とするなど、多様な用途への対応力を強めている。

一方、開渠・管渠式として開発された「タフフロー・メインストリーム・ポータブル」は、合流下水放流渠のモニタリングや幹線下水など、中・大口径管の流量測定に適した製品となっている。現場での記録データの収集は、シリアルケーブル経由でノートパソコンにより行うことが可能で、流速分布を測る方式のため、感潮・滞留・逆流・合流・満管になる水路にも適応可能とのこと。

今後は、溢水管理用の下水道幹線水位流量計や、各種水質センサと組み合わせた負荷量計算型流量計など、環境事業の側面を意識した多様な用途を視野に、マルチな機能を有する流量計の開発に取り組む方針だという。



ペンタフ「タフフロー・ワン」
「タフフロー・メインストリーム・ポータブル」

JFEアドバンテックは、堰式流量計や各種水位計のほか、ロングレンジで流速分布を計測する開渠・管渠式の超音波流量計「OCM-Pro」をラインナップしている。同製品は、底面から水面に沿って最大16層（自動分割）の流速分布の測定結果から流量を算出するため、流況変化が著しい場合でも高精度を維持できるという。

流速センサと水位センサが一体型で、管路施設内の取り付けをシンプルにできるほか、LR型はセンサ発振能力が強化されており、従来1mが限界だった

流速分布測定深さを最大5mにまで向上させている。また、反射超音波を受信できる状態ならば堆積物の精度影響がなく、同社のテスト結果から、エアレーション入り側水路で一年間清掃をしない場合でも安定した指示が継続可能だという。

オプションも豊富に揃っており、その一つが、複数センサを幅方向に併設し幅方向の流速分布ムラを平滑化する機能。現在は上下方向の流向変動を平滑化する機能も開発中とのこと。標準装備で通信機能を有し、LANやFOMA網等を利用して変換器と同じ画面をパソコンに表示し、監視や操作ができる点も特長である。

同社は水位計や汚泥濃度計でも実績を有し、流量計と合わせて広く下水道事業に取り組んでいる。



JFEアドバンテック「OCM-Pro CF型 (標準型)」



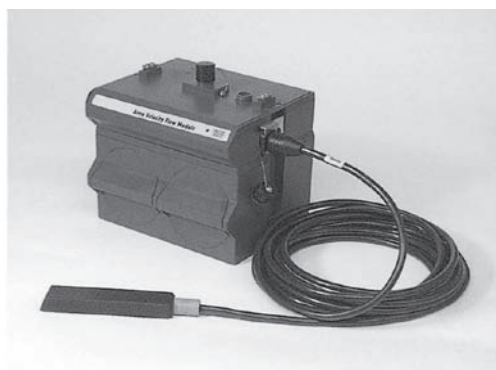
「OCM-Pro LR型」

一方、日科機バイオスは30年ほど前からアメリカ・ISCO社製の流量計を輸入し、販売している。

当初はフリームやマニング式を利用して水位で流量を算出する製品を主力としていたが、パラメータの設定にノウハウが必要で、使用者が限られてしまうため、誰でも容易に扱える技術を普及させたいとの思いから、開渠・管渠式のポータブル流量計「2100シリーズ」を取り扱うようになった。

同製品は、用途に応じて各種モジュールを本体に取り付ける機構で、例えば複数のセンサモジュールをつなげて一つのバッテリーで稼働させることも可能。また、小口径管に取り付ける場合、マルチセクションポールと呼ばれる特殊な器具を使ってマンホール内に入らずにセンサを設置固定できるほか、大口径管にはシザースリングという固定ジグの付いたリングを用い、作業員二名、作業時間10分程度という簡単な作業での取り付けを可能としている。さらに、流速センサはドップラテクノロジーを採用して低水位時の測定に対応し、小口径管での計測を実現しているほか、水位センサはあらかじめ11パターンの温度による水位誤差を内蔵することによって高精度の補正機能を実現している。

今後の展開としては、大口径管路用定置型で流速分布プロファイルを計測できる高精度流量計ADFM-Pro20の取り扱いを開始すること。これは、角度を変えて4方向に信号を発信し、最大25層ずつ計測することができる。これにより管路内で最大100点の流速を測定し、天気図のような流速分布プロファイルを作成して流速を求めることが可能となる。「流速分布プロファイルから計測する、唯一のプロファイル流量計」(同社)として、高精度の流量測定が期待されている。



日科機バイオス「断面流速流量モジュール」

管路内作業の安全確保と情報公開

流量計の今後の可能性としては、管路内作業の安全管理への活用が考えられる。

既知の通り、管路管理の現場では急激な増水に伴う流され事故が後を絶たず、自治体の指導によって降雨時は即座に工事を中止するなどの対応が図られてはいるものの、近年、予測のつかない局所集中的なゲリラ豪雨が頻繁に見られ、緊急時の避難や対応を難しくしている。

そうしたことから、例えば、測定器に内蔵されているテレメータを現場のコンピュータに連動させ、上流域の水位情報などをリアルタイムに送信することが考えられる。この場合、光ファイバーが管路内に敷設されていれば、情報を直接、管路内作業員に届けることもでき、また、警報機で危険を知らせることも可能である。

ただ、上流域に複数の計測器が必要なため、一台あたり100万円程度というポータブル流量計を用いるとしても、新たに調達する場合には相当のコストを要する。下水道事業単独でこうした設備投資をするのは大変だが、インターネットを活用したテレメータの万能性を活かし、行政全体で利用していくのなら可能性は開けてきそう。

インターネットを活用したテレメータシステムは小さなウェブサーバのようなもので、取得した様々な情報(風向きや気温、大気汚染状況などの測定値)を発信すると同時に、逐次、メモリーに保存できる。そこで、こうした情報を役所内の使用に留めるのではなく、可能な限り市民に公開することにより、管路管理の向上のみならず、事業の必要性の周知等にも効果が期待できる。ペンタフは、「ストックマネジメントを構成する下水道管理の寿命管理と危機管理に、不明水量情報や管渠内の硫化水素濃度、遮集渠の挙動、処理場やポンプ場排水の負荷量等が、ネット環境のもと開かれた情報として活用されることが望ましいのではないかと話している。

生物の脈動原理を活用した 管内乱流摩擦抵抗の低減技術



国立大学法人 東京農工大学

特任准教授 岩本 薫

1. はじめに

21世紀における持続可能な社会の構築のためには、有限であるエネルギーをより一層有効利用することが肝要である。「安心、安全のための環境制約を克服するための投入エネルギー最小化プロセスに係る技術」の一つとして、国内で重要な地域冷暖房における冷媒輸送や、石油や天然ガスの国外での主要な輸送手段であるパイプライン輸送において、エネルギー消費量のほとんどを占めている乱流摩擦抵抗によるエネルギー損失を抑制し、省エネルギーに寄与する基礎技術が挙げられる。

現在、IT機器の国内電力消費量は電力消費全体の5%であるが、処理量の増加で2025年には全消費量の15~20%に急増する見通しである。その内訳として、電力消費の約4割を機器の冷却のための空調設備が占めている。地域冷暖房地区において、空調機器のCOPを向上させても、熱供給のための冷媒搬送の動力を低減しないと、システム全体としての効率向上が達成できない。他方、国外においては、中東地域に原油輸送のためのパイプラインがあるが、輸送効率の更なる向上のため中東・ロシアなどで長距離のパイプラインが計画されている。そこでは原油輸送時の輸送エネルギーロスが大きな問題となっている。

また、本誌で対象となる下水道管路においても、配管内を流れる流体に適用できる新しい抵抗低減技術の開発が急務であり、輸送エネルギーを削減する必要がある。本稿では、著者が世界で初めて発見した「流れを脈動させ再層流化することによる乱流摩

擦抵抗の低減技術」を解説する。本技術は従来技術と全く異なる新規のアイデアでこの問題に対応しようとするものである。

2. 脈動流の実験

2-1. 数値計算による理想的な系における事前調査

従来、配管内の流体輸送エネルギーを低減させるためには、抵抗低減剤を添加し、なるべく脈動を減らして一定の流速で輸送する方法が一般的であった。著者は、血管内を流れる血流が脈動しており、生物の進化による最適化が血液輸送にも適用されているのではないかと考え、脈動性が流体に与える影響を詳細に調査した。

実験方法として、まず第一に数値的誤差が無く、得られる数値解が完全に正しい超並列大規模直接数値計算を用いた（モデルを一切用いず、流れの支配方程式をそのまま解く手法）。その結果、脈動流における壁面摩擦の平均値が定常流の値より大幅に減少することが世界で初めて分かった⁽¹⁾。これは壁面摩擦を増大させる渦構造が弱小化したことによる（図-1参照）。なお、熱と運動量の相似性より、配管への熱損失も大きく減少し、熱輸送における断熱効果を大幅に向上させることも期待できる。

本数値計算の対象は、平行平板間の完全発達乱流場である。流れ方向・スパン方向には周期境界条件を適用している。ポンプなどによる外乱は無視した理想的な流動場であり、脈動流の効果のみを評価している。この理想的な脈動流における重要なパラメータは以下の通りである（図-2参照、以下において、上付き*は摩擦速度と平行平板間距離の半値

で無次元化していることを表す)。

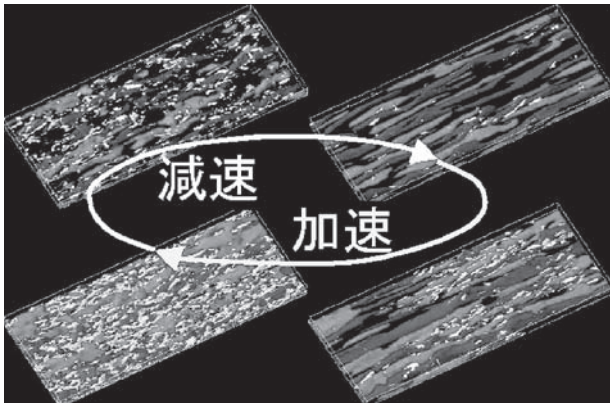


図-1 脈動乱流の大規模数値計算による結果 (赤: 高速流体部分、青: 低速流体部分、白: 渦構造)。減速後期と加速初期において摩擦抵抗増大の主要因である渦構造が減少している。

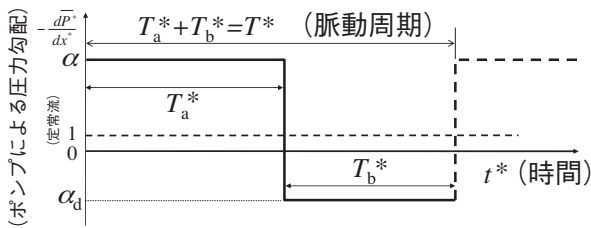


図-2 脈動流における重要なパラメータ

- 摩擦レイノルズ数 (摩擦速度、平行平板間距離の半値、動粘度で定義): 固定とした (=110)。
- ポンプによる圧力勾配の波形パターン: 無数のパターンが考えられるが、単純なsin波形では動力削減効果が無いことが分かっているため⁽²⁾、本数値計算では矩形波で固定とした。
- 脈動周期 T^*
- 加速期間と減速期間の比 T_a^*/T_b^* : 事前調査した結果⁽³⁾、 $T_a^*/T_b^*=1$ が最も動力削減効果が大きかったため、固定とした。
- 加速期間におけるポンプによる圧力勾配の大きさ a

- 減速期間におけるポンプによる圧力勾配の大きさ a_d : 摩擦レイノルズ数を固定、及び $T_a^*/T_b^*=1$ の条件より、 $a_d = 2 - a$ と従属的に決まる (一周平均した脈動流の圧力勾配が、定常流の値である1になる必要があるため)。

以上より、脈動周期 T^* と加速期間におけるポンプによる圧力勾配の大きさ a をパラメータとして振り、動力削減効果を調べた。図-3左にその結果を示すが、 $T^*=11$ 、 $a=5$ において最大70%の削減効果を確認した (ただし、減速期での流体の運動エネルギーを効率100%で回収し、さらにそのエネル

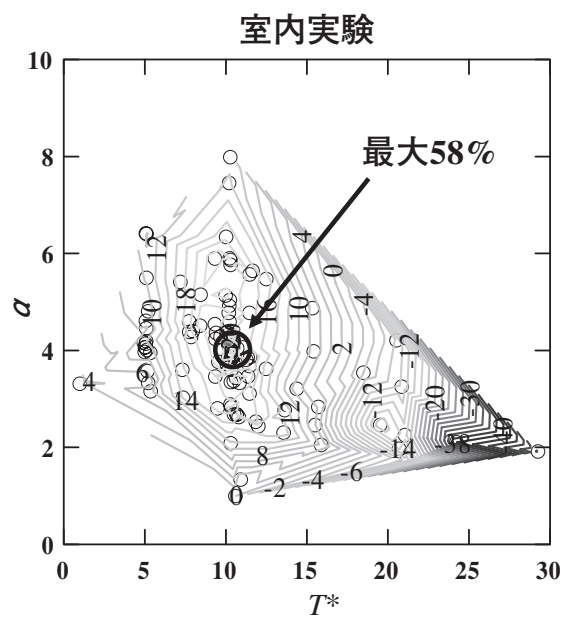
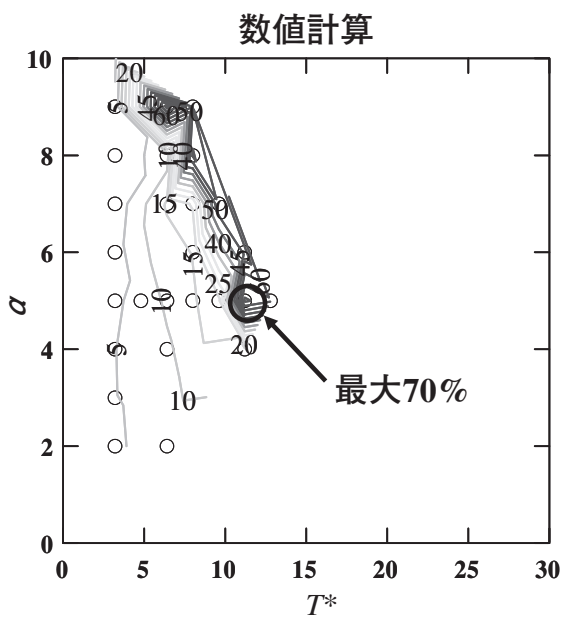


図-3 動力削減率 [%] の脈動周期 T^* と加速期間におけるポンプによる圧力勾配の大きさ a による依存性 (図中の○印が実験データ点である)

ギーを加速期において全て投入できると仮定した、詳しくは後述)。これらの無次元量を、例えばガスパイプライン(新潟～仙台間、総距離251km、パイプ半径0.5m、平均流速2.3m/s)の場合で有次元化すると、 $T=37\text{s}$ 、 $a=0.2\text{atm/km}$ (定常流の場合とほぼ同値)となり、緩やかな流速・圧力変化を有するため、既存の配管などへの悪影響が少ないという特徴を有する。また、流速が小さい(レイノルズ数が小さい)場合であるが、乱流状態から乱れが全く無い層流状態へと遷移した。

2-2. 室内実験による実証試験

上記の数値計算ではポンプなどによる外乱を無視した理想的な流動場を対象としていた。実用的な設計指針を得るために、脈動流を再現する室内実験装置(配管直径20mm)を作成した⁽⁴⁾(図-4参照)。脈動流が周期的に定常となるために必要な距離は、脈動1周期に進む流体の距離の10~20倍であるため、本実験条件では10~80mの距離が必要である。実験室面積の制約のため、実験装置を回流型流路とし、流路全体で脈動流の周期的定常状態を得ることとした。

なお、本実験装置の回路一周は約10mである。作動流体には水を用いた。流路内に遠心ポンプを設け、ポンプの回転数をインバーターで制御し、周期的に変化させて脈動流を作成した。テストセクション断面で平均をしたバルク流速 u_b [m/s] はテストセクション下流に設置した電磁型流速計で計測した。差圧 ΔP [Pa] は精密微差圧計で測定した。導

圧口は流れ場に影響を与えないように内径0.5mmとし、テストセクションの両端に間隔 $l=2\text{m}$ となるように設けた。流量計、圧力計からのアナログ出力をサンプリングレート50msecで記録し、一周あたりデータの数は10点以上となるようにした。30周期以上のデータを取り、位相平均を施した。

脈動周期 T^* と加速期間におけるポンプによる圧力勾配の大きさ a をパラメータとして振り、総計230パターンを測定した。ここで、数値計算と同様に摩擦レイノルズ数=110、加速期間と減速期間の比 $Ta^*/Tb^*=1$ としているが、ポンプによる圧力勾配の波形パターンはポンプ性能に依存するため一定ではない。主な動力削減効果の結果を図-3右に示すが、数値計算の結果とほぼ同様の $T^*=10$ 、 $a=4.1$ において、最大58%の削減効果を室内実験で確認した⁽⁵⁾(前述の直接数値計算の仮定と同様にエネルギー回収率は100%とした)。数値計算と室内実験の結果の差異について、以下の原因が考えられる。

- 室内実験では、ポンプによる外乱、接続部での流路に段差、実験室面積の制約のために急な曲がり部が存在し、理想的な数値計算より動力削減効果が減少した。
- 脈動流における重要なパラメータの一つに、ポンプによる圧力勾配の波形パターンがある。図-5に示す通り、数値計算では理想的な矩形波であり、他方、室内実験ではポンプ性能に依存した波形となる。この差が動力削減効果に影響を及ぼした可能性がある。

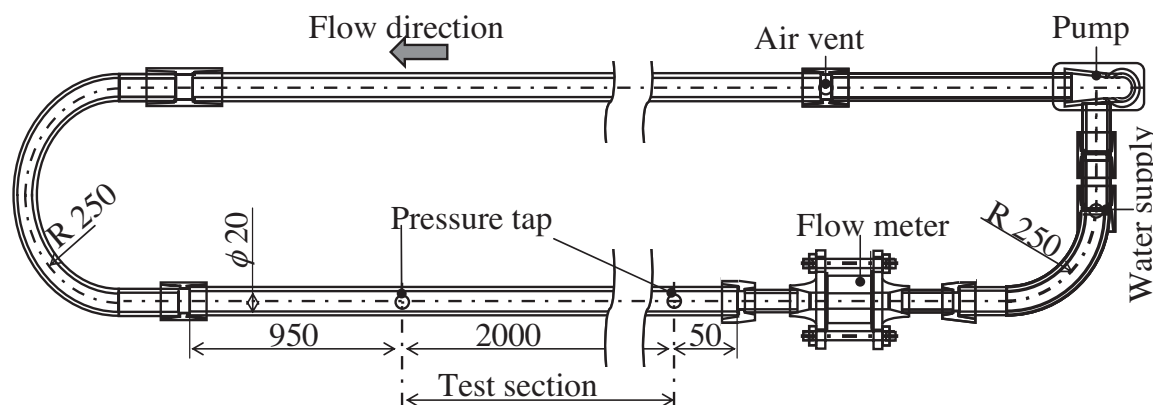


図-4 室内実験装置の概略図(単位mm)

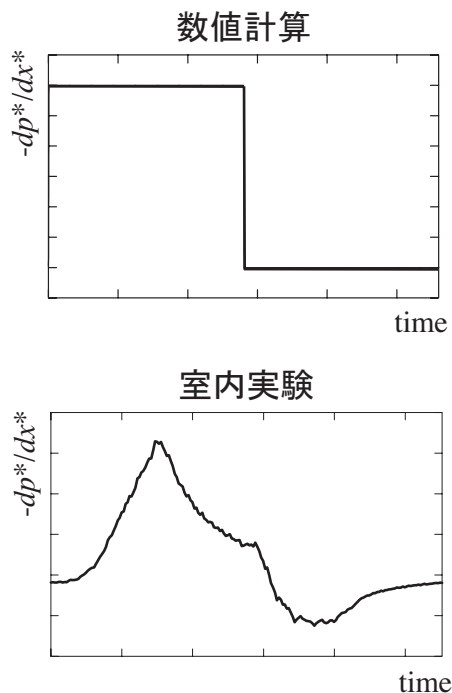


図-5 ポンプによる圧力勾配の波形パターン

今後、これらの原因を解明し、より高い削減効果を有する脈動方法を調査する必要がある。

2-3. エネルギー回収

上述の実証試験における動力削減効果58%の内訳は下記の通りである。

- 加速時のポンプ動力の削減率：29%
- 減速時では流体により回転させられたポンプ（水車の役割）からモータを発電機として使用し、流体の運動エネルギーを回収率100%で再利用（エンジンと蓄電池を併用するハイブリッド自動車と同じ原理により、回収したエネルギーは再利用する）：29%

追加の設備投資が困難なアプリケーションの場合、既存のポンプ設備のみで脈動流を作成することになる。この場合、減速時でのエネルギー回収ができず、減速時での動力削減効果は0%となるが、計29%の動力削減効果を得ることができる。また、エネルギー回収率として100%は理想値であり、現実的な値としては既存製品から類推し、約50%となる。動力削減効果のエネルギー回収率依存性を図-6に示す。現実的なエネルギー回収率50%においても約44%の動力削減効果を見込めることが分かる。

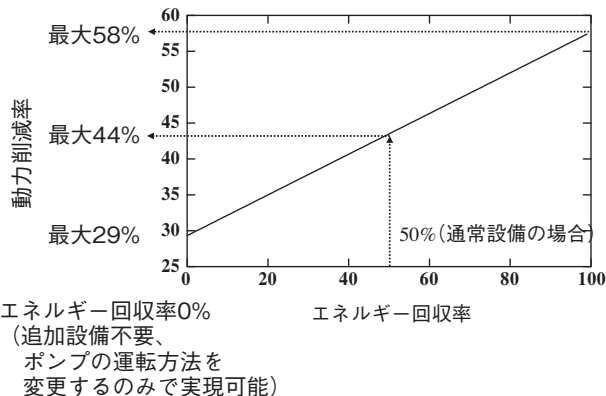


図-6 動力削減効果のエネルギー回収率依存性

3. 競合技術への強み

一般的に、管内流体輸送におけるエネルギー消費量のほとんどは乱流摩擦抵抗が占めており（9割以上）、ポリマーや界面活性剤などを添加する方法や、リブレットと呼ばれる微小な突起をパイプ表面に一樣に取り付ける手法があるが、添加手法では液体への添加にしか使えない（気体輸送には適用できない）、輸送後の添加剤の除去が難しい、熱交換器へのコンタミの可能性があり、リブレット手法ではゴミが突起に詰まる、配管内の内壁面全面に設置する必要があるため初期コストが高い、などの課題があった（表-1参照）。

それに対し、本技術には次のような強みがある。

- 乱流摩擦抵抗を大幅低減：ポンプ、曲がり部、段差から構成された室内実証試験では、最大約58%の動力削減効果を達成している。
- 気体輸送にも適用可能：管路におけるほぼすべての流体輸送に応用が可能であり、幅広い応用分野が期待される。ポリマーや界面活性剤などを添加する手法では難しかった天然ガス、水素、二酸化炭素などの気体輸送にも適用が可能である。
- 導入コストが小さい：流体を駆動するポンプの制御方法を変更するのみで、輸送動力削減が実現する。配管への熱損失も大きく減少することから、断熱効果も同時に向上させることができる。

表-1 本技術と従来手法との比較表

	脈動性を用いた手法 【今回の技術】	ポリマー、界面活性剤などを添加する従来手法	リブレットを管内内壁面に 一様に貼り付ける従来手法
動力削減率	◎ 約60%	◎ 約60%	× 約8%
輸送可能対象	◎ 流体、気体を問わない	△ 流体のみ	◎ 流体、気体を問わない
不純物の影響 (コンタミ)	◎ 全く影響なし	△ 熱交換器へ添加剤が混入する可能性がある	◎ 全く影響なし
輸送対象物への影響	◎ 全く影響なし	△ 添加剤を、輸送後に除去する必要がある	◎ 全く影響なし
導入コスト	△ 各所に設置されたポンプの変更のみ	◎ 初めて導入するときに、添加剤混入装置を導入する必要がある	× 配管内の内壁面全面にリブレットを設置する必要がある
ランニングコスト	◎ ポンプの制御費がかかるのみ	△ 添加剤を随時投入する必要がある	× リブレット内に溜まったゴミの除去
熱交換器への影響	◎ 熱交換器前に置いて、リザーブタンクを通して脈動を無くすことで影響を回避できる	× 基本的に熱交換器の性能が低下する。影響を少なくするには専用の再設計が必要	◎ 特段の影響はない

4. おわりに

本稿では、血流の脈動に手掛かりを得て構築した「流れを脈動させ再層流化することによる乱流摩擦抵抗の低減技術」を解説した。本技術の実証試験に成功し、最大約58%の動力削減効果を達成した。管路におけるほぼすべての流体を輸送できるほか、天然ガスや水素、二酸化炭素などの気体の輸送にも適用可能で、流体を駆動するポンプの制御方法を変更するのみで簡便にシステムを構築できる。熱と運動量の相似性により、配管への熱損失も大きく減少し、断熱効果も向上する。この新しいシステムが石油、天然ガスのパイプライン輸送や地域冷暖房における冷媒輸送などに導入・普及されれば、管路内のエネルギー消費量のほとんどを占めている乱流摩擦抵抗によるエネルギー損失の大幅な抑制が実現される。

今後、この脈動性を用いた乱流摩擦抵抗の低減技術の実用化に向けて、特に

- 曲がり管や分岐管といった継手類の影響
- 流量センサへ与える影響の調査
- 長距離輸送時の検討

について開発を進めていく。また同時に、地域冷暖房やパイプライン技術、下水道配管などを既に保有している、もしくは長距離の流体輸送の技術開発・商品開発に知見や実績を有する（もしくは関心のある）企業・組織などとの意見交換や技術相談、共同開発を推進していく予定である。

最後に、本技術の研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の平成21年度産業技術研究助成事業の支援を受けており、ここに謝意を表したい。

参考文献

- 1) 佐々布ら、第21回数値流体力学シンポジウム講演論文集、CD-ROM、2007年
- 2) Scotti and Piomelli, Phys. Fluids, 13, p.1367-1384, 2001
- 3) 佐々布ら、第20回数値流体力学シンポジウム講演論文集、CD-ROM、2006年
- 4) 相馬ら、流体力学会年会2008講演論文集、CD-ROM、2008年
- 5) Souma et al., Sixth Int. Symp. on Turbulence and Shear Flow Phenomena, p.761-765, 2009



管渠内流量調査の最新技術の動向と そこから見えてくるもの

(財)下水道新技術推進機構

研究第二部 主任研究員 井藤 元暢

1. はじめに

下水道施設において流量を常時計測している箇所は、処理場やポンプ場等の根幹施設に限られている。また、流域下水道では、流域関連公共下水道からの接続点に流量を計測している場合もあるが、これらは維持管理データとして計測されている。

一方、管渠内流量調査は、上述のような維持管理目的の常時計測ではなく、雨天時浸入水対策等の明確な目的をもった一定期間の調査として実施する機会が多い。調査の目的には、さまざまなものがあるが、次の二つが主要なものである。

- ①雨天時浸入水対策
- ②計画・設計への活用

本稿では、流量調査に関する技術を概観したうえで、流量調査から得られる情報の活用という観点から、①雨天時浸入水対策、②計画・設計への活用のそれぞれについて整理する。また、今後の方向性についても管路施設の維持管理の観点を踏まえ述べることとする。

2. 流量調査の技術概要

2.1 流量調査の流れ

流量調査は、次のような流れで実施される。①調査計画の策定、②計測機器の設置、③点検（機器への付着物除去を含む）・データ回収、④計測機器の撤去、⑤解析・報告書作成。

調査計画の策定にあたっては、その調査の目的をよく理解し、その趣旨にあった計画とすることが重要である。まず、調査箇所の特長、測定方法、測定

期間等を定める必要がある。例えば、雨天時浸入水対策で、降雨量と浸入水量との相関を得る必要がある場合、複数の降雨を含む必要があるため、測定期間は比較的長くなるが、他の地域（ブロック）との相対的な評価が主目的であれば、同時多点測定が有利となる。

計画策定段階では、資料調査を十分に行うことが必要である。例えば、処理場等の実績水量データから当該計測地点の流量を想定（計画流量比や排水面積比による按分等）することで、適切な測定機器の選定と結果のチェックが可能となる。

2.2 測定機器

流量調査で使用する測定機器は、水位計と流速計があり、測定方法に応じて適宜組合せて利用する。測定対象箇所の水位等の状況を予め把握しておくことが重要で、最低および最大水位によって利用可能な測定機器が決定される。

表-1 代表的な測定機器の種類

測定項目	測定方式	測定原理	計測最小水位
水位	超音波式	水面に超音波を発信させ、反射する時間で水位を算出する。	なし
	圧力式（差圧式）	検出器にかかる水圧により水位を測定する。	あり
流速	電磁式	導電性流体が磁界内を通過する際に発生する起電力の変化で流速を算定する。	あり
	超音波式（ドップラ式）	液体浮遊物に超音波を反射させ、周波数の変化で流速を求める。	あり

※水位と流速計を一体型とした製品もある。
ex) 水位（圧力式）・流速（超音波式）等

2.3 流量測定の方法

流量測定の方法は、堰やフリューム等を利用する方法と、水位と流速の2項目を測定し、流積×流速として算定する方法の二つに大別される。表-3に代表的な流量計測方法を示す。

(1) 堰やPBフリューム等を利用する方法

堰やPBフリューム（パーマボウラスフリューム）等を利用した場合には、水位の計測データから公式を用いて流量を直接算出することが可能である。PBフリュームは、人孔内のインバート部に設置し、上流部の水位を測定する。測定した水位からクレスト部（PBフリュームの台形堰の部分）の高さを差引いた水深を求め、表-2に示す流量公式を用いて流量を算定する。

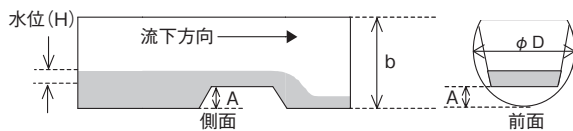


図-1 PBフリュームの模式図

表-2 堰、フリュームの流量公式

三角堰	四角堰	フリューム
$Q=Ch^{5/2}$	$Q=Cbh^{3/2}$	$Q=KH^n$
C: 流量係数 h: 越流水深	b: 切欠幅	K: 定数、n: 定数 H: 水位

*定数の値は、測定器の形状寸法によって異なる

(2) 流積×流速として算定する方法

流量は、流積（流水断面積）×流速で表すことができる。下水道では自由水面を持った開水路流れが基本となり、水位から断面積を算定する必要がある。流量は、次式により算定する。

$$Q=A \times V$$

- ・水位データ (h) → 流水断面積 (A) を算定
- ・流速データ (v) → 管内の平均流速 (V)

なお、計測水位からマンニング式等の平均流速公式を用いて管内の流速を求める方法もあるが、この場合、計算により求めた流速と機器設置ないしは点検時等に流速を実測して検証することが望ましい。

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

v: 平均流速
n: 粗度係数
R: 径深 (A/P)

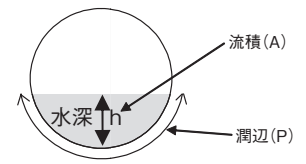


図-2 平均流速公式（マンニング式）

表-3 代表的な流量計測方法

方式	PBフリューム式	水位-流速式
適用	小・中口径管が主 大半がφ150~φ300	中・大口径管が主 様々な形状の開水路
測定原理	水路の一部を絞って限界流を発生させ、絞り部分上流側の水位が流量の関数になることを利用した方式	水路形状と水位から流積、流速分布から平均流速を測定し、乗算して流量を計算する方式
装置構成	①PBフリューム ②超音波式水位センサ ③水位-流量演算型流量計	①圧力式水位センサ ②超音波ドップラ式流速センサ ③水位-流速乗算型流量計
長所	①流速を測る必要がなく、再現精度に優れ信頼度が高い ②汚水に非接触な超音波センサ使用で汚損がほとんどない ③特に小、中口径管流量を精度良く計測できることが知られている ④流量分布調査用に短時間で仮設できるタイプが開発されている	①射流、滞留、逆流、一時的な満管流の計測が可能 ②変形水路等、様々な水路形状に対応 ③設置手間が水路規模によってあまり変わらないので大規模水路ほどフリューム式より有利 ④流量分布調査用に短時間で仮設できるタイプが開発されている
短所	①原理的に射流、滞留、逆流、一時的な満管流の計測は不可 ②大規模になるほどフリュームの設置が困難で、フリューム本体費用や設置費用が高む ③通常、合流や曲がり、段差のないマンホールのインバート部分に設置するため、フリュームの設置が困難なケースがある	①水中型の2センサ組み合わせなので、フリューム式より汚損によるメンテナンス機会が多い ②流積に比しセンサ断面が大きくなる低水位や小口径管では精度が低下することがある ③流速分布が乱れる合流点や段差、曲がり点等では精度が低下することがある
計測参考図		

*分流式下水道における雨天時浸入水対策計画策定マニュアル（2009年3月、財団法人下水道新技術推進機構）p43（図4-12）より抜粋・一部修正

3. 雨天時浸入水対策

3.1 雨天時浸入水対策の必要性

分流式下水道の汚水施設では、雨天時に下水量が急激に増大する状況が多く確認されている。雨天時に増大した下水量が現有汚水施設の能力を超える場合には、汚水管路からの溢水、処理場における処理機能の低下、処理費用の増大、さらには浸入水に伴い管渠周辺の土砂を引き込み道路陥没を誘発する等の懸念があるため、対策が必要である。雨天時浸入水対策については、本機構の「分流式下水道における雨天時浸入水対策計画マニュアル」(2009年3月)に示されている。

3.2 雨天時浸入水の原因と特徴

(1) 雨天時浸入水の原因

雨天時浸入水の原因は、主として直接浸入水と間接浸入水の二つに大別できる。なお、間接浸入水は、地下水の高い地域等では晴天時においても常時浸入する可能性があり、これにその他不明水を合わせたものを「不明水」と呼んでいる。

①直接浸入水

雨水管の誤接合による流入、枿・人孔蓋穴など地表面に近い箇所からの流入等で、雨水が直接流入する現象である。降雨のピークと同時に流量増加のピークが発生し、降雨が終了すると元の流量に戻る特徴がある。

②間接浸入水

降雨の浸透で地下水が上昇し管渠の水密性不良箇所から地下水が流入する。降雨開始後すぐには降雨影響が現れず、地下水の上昇と共に影響が現れる。降雨が終了してもすぐに晴天平均流量に戻らず、降雨後も影響がしばらく続く特徴がある。

(2) 降雨影響の把握

雨天時浸入水(直接浸入水と間接浸入水)の解析は、晴天日流量と雨天日流量を比較により評価する。

①1日の総量：1日単位で比較することで、晴天時の平均流量に対して、どの程度雨水が流入しているか、その影響量を把握できる。

②降雨時間：降雨時間のみ集計では、降雨が始まると直ぐに影響がでる直接浸入水を把握できる。但し、降雨時間が長ければ、間接浸入水も含まれるこ

とになる。

③降雨終了後晴天平均に戻るまで：降雨終了後に流入する雨水は、降雨影響で地下水が上昇して流入しているものと考えられる。

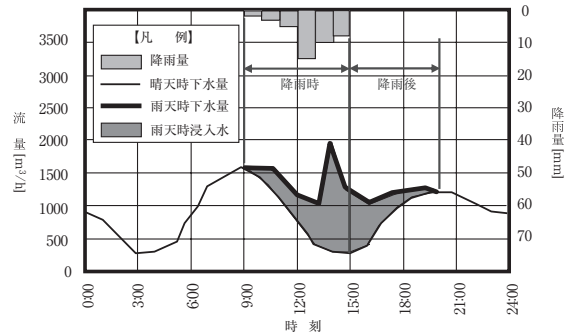


図-3 雨天時浸入水のイメージ

3.3 原因把握に向けた調査手順

雨天時浸入水の原因を把握するための調査では、流域あるいは処理区全体から大・中・小ブロックへと浸入水が多い地域を段階的に絞り込み、その後絞り込まれた対象ブロックで詳細調査を実施し、問題箇所と原因を把握する。ブロックの絞り込みは、図-4に示すように、それぞれの段階において複数の手法が存在するため、調査目的や期間、費用等を勘案し、適切な手法を選択する必要がある。

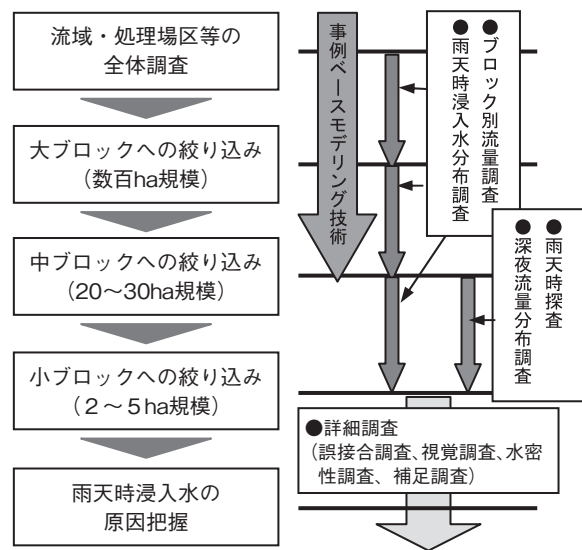


図-4 原因把握に向けた調査手順

3.4 流量調査による絞り込み作業

流量調査による絞り込み作業では、表-4に示す二通りの調査方法がある。当該地区での調査目的や期間、費用等を勘案して選択する必要がある。「雨天時浸入水分布調査」は、主に絞り込みだけを目的とし、1降雨および1晴天日以上を含んだ短期間に、広域の対象区域において、多数の流量計を設置し、同じ降雨で同時に対象区域の流量調査を行うことにより、どの測点で雨天時浸入水が多いかどうかの関係を検証することで、対象地域の絞り込みを行うものである。

短期間での調査のため雨天時浸入水の定量化や解析には不向きであるが、流量計の設置期間が短くなるため、調査費用が比較的安価となるメリットがある。

表-4 流量調査方法の比較

調査方法	ブロック（系統）別流量調査	雨天時浸入水分布調査
概要	対象ブロックごとに流量計を設置し、比較的長期に渡って流量を計測する	雨天時浸入水の絞り込みを行う対象区域において、多数の流量計を設置し、同降雨で同時に流量を計測する
調査目的	絞り込み浸入水を定量・解析するためのデータ取得	絞り込み相対比較による順位評価
流量計設置数	比較的少ない（計測対象ブロックに応じて設置）	比較的多い（絞り込みたい対象区域によって異なる）
対象降雨	定量解析に必要な降雨量と降雨回数を必要とする	評価に有効な1降雨が必要であるが、状況により複数降雨を対象とする
調査期間	長期	短期
調査費用	比較的成本高	比較的成本小

3.5 事例ベースモデリング技術

雨天時浸入水対策として500haを超える処理区を対象とする場合には、事例ベースモデリング技術の活用も可能である。これは、流量調査によらない絞り込み作業であるが、ここでは代替技術として参考提示した。本技術は、流入下水量データと気象庁等の雨量データを用い、解析によって、流域全体から一気に25ha程度に絞り込むことができる技術である。

なお、技術の詳細については、本機構の「事例

ベースモデリング技術を用いた雨天時浸入水発生領域の絞り込みに関する技術マニュアル」（2007年3月）に掲載している。

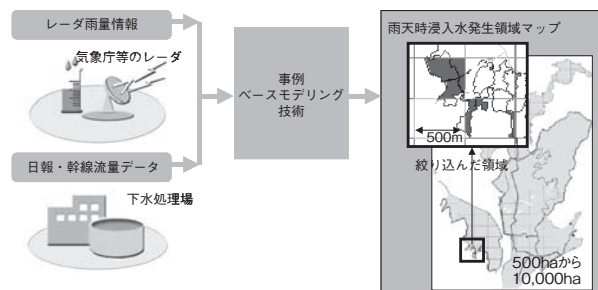


図-5 事例ベースモデリング技術の概要

3.6 小ブロックへの絞り込み調査

中ブロック（20～30ha）から小ブロック（2～5ha程度）への絞り込み調査では、前項3.3に示した2つの流量調査手法に加えて、「降雨後の深夜流量分布調査」も活用可能であるため、それぞれの特徴を踏まえて選択する。

深夜流量分布調査とは、浸透浸入水が多い小ブロックを対象に、降雨後の深夜流量（地下水+浸透浸入水）の調査を行い、深夜流量の多い地域を特定するための調査である。

調査方法としては、深夜流量の多い管きょ下流から遡り、管渠の合流点（マンホール）で深夜流量の多量ルートと少量ルートを判定し、徐々に上流に向かって絞り込みながら、詳細調査の対象とするスパンもしくはルートを選定する。また、この調査は流量の多少を判定することが目的で、厳密な流量計測は必要としないため、流量計測としては簡易設置型のPBフリーム等の活用等が可能である。

深夜流量分布調査は、深夜流量を地下水と浸透浸入水の総計とみなしており、浸透浸入水のみを対象とした絞り込みの手法ではないが、不明水量全体の絞り込み手法として有効な方法である。

また得られたデータには、少なからず汚水量が含まれており、その量が無視できない範囲である時は、BOD等の汚濁負荷量や電気伝導度等から補正を行う必要がある。

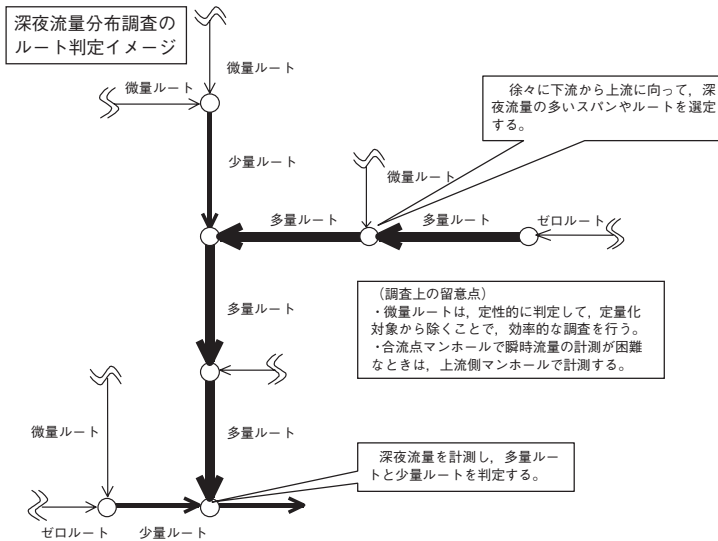


図-6 深夜流量分布調査のルート判定イメージ

4. 計画・設計への活用

4.1 現有施設的能力評価

管渠の断面は、污水管渠では計画時間最大汚水量に管の余裕率を考慮して決定される。各路線毎の汚水量の算定は、路線毎の集水面積に処理分区毎等で設定される単位汚水量 (m³/sec・ha) を乗じて算定される。

通常、常時流量を計測している箇所は処理場やポンプ場等の施設に限られるため、その全体での流量は把握できるものの各幹線系統や路線毎の流量の算定を行う場合は、処理区全体での実績量を元に計画流量の比率でもって按分する方法がとられている。この方法は単位汚水量の精度に依存するが、現有施設的能力評価として求められる精度により、実際の流量調査を行うべきか判断する必要がある。例えば、他流域の編入や幹線系統の変更等で既設幹線的能力を有効活用する場合や既設管の再構築による流下能力の減少等 (不陸整正による断面減少ほか) で

は、詳細な調査が必要となる。また、雨水管や合流管等で分水を伴う場合や流下貯留管等の後述するシミュレーションや実測で把握するほかない。

晴天時の流量パターンは、平日と休日で異なる場合が多いため、データは平日と休日に分けて整理する必要がある。また、能力評価のためには、年間で最も流量の多い日のデータを取得する必要があるが、理想とする時期での調査が実施できない場合は、年間の水量実績から調査月と水量が最大となる月の補正値を求める等の工夫が必要となる。

4.2 浸水対策の検討

浸水対策の検討では、現況の能力を正確に把握し、浸水の原因を解明することが必要不可欠である。特に浸水原因の解明には、浸水発生箇所より下流区間での管の流下能力に加え、接続する幹線等 (河川水位の影響を含む) からの背水の影響を受けているか否かが重要となる。この場合、降雨時に水位の測定データをもとに判断することが必要である。

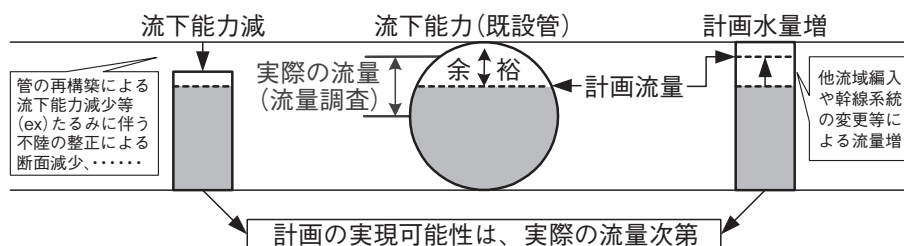


図-7 流量調査が設計検討に必要な場合の一例

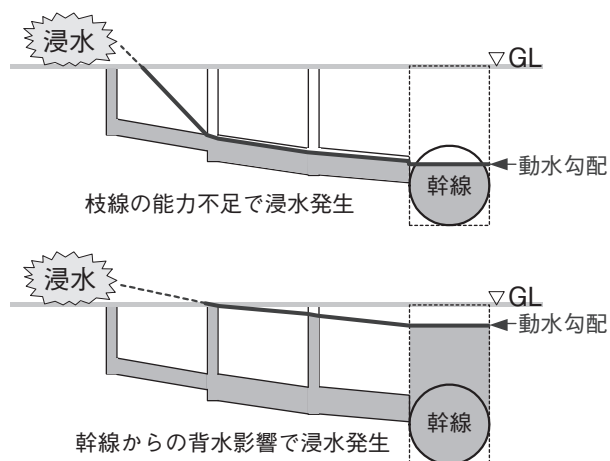


図-8 浸水原因の例（検討イメージ）

4.3 流出解析モデル等のキャリブレーション

浸水対策や合流改善対策の目的で流出解析モデルを用いた検討が行われている。なお、この利活用方法は、本機構の「流出解析モデル利活用マニュアル」（2006年3月）に示されている。

流出解析モデルによる解析では、施設の諸元を元にモデルを構築した後、水位・流量等の計測データを元にキャリブレーションを行い、モデルの再現性を高めることが必要不可欠である。キャリブレーションでは、浸水対策と合流改善対策の検討では、検証すべき地点が異なることを考慮した上で流域の特性に配慮して適切な地点を設定する必要がある。

4.4 施工性の判断（工法検討）

老朽管の更生工法等を検討する際、管内水位によって、採用可能となる工法が異なることから、実測による検証が必要である。

4.5 その他

管渠の設計に利用する各種設計諸元値は、計画段階では一定の想定のもとに算定している。例えば、

雨水流出量の算定において、流出係数Cは極めて重要であるが、土地利用形態の変化が今後見込まれない地域にあっては、流量の実測データを元に、検証することが可能となる。

5. おわりに～今後の方向性～

管渠内流量調査から得られる情報は極めて多い。今後も積極的な調査が実施され、雨天時浸入水対策の推進や施設の計画や設計への活用が望まれる。

現在の下水道施設では、管渠の流量を常時計測している場所はなく、処理場やポンプ場等の拠点施設に限られる。一方、流量調査は、雨天時浸入水対策等の明確な目的をもって実施され、一定期間のデータ取得に限られている。今後は、管路の常時計測点を処理区内に設置し、下水道施設の運転支援に活用することが期待される。

下水道機構では、浸水対策や合流改善における施設の効果的な運用、住民の効率的な自助を導くための情報提供を目的とした「リアルタイム雨水情報ネットワーク」の実用化を目指し、平成21年度より研究を行っている。

これは、降雨計や流量計を含む観測機器、運転データ収集システム、データ収集管理システム、解析および情報配信システムからなるネットワークである。

上述のシステムのような予測システムまでを含まずとも、管路ネットワークにおける常時観測点が設置され、水位や流量等のデータが蓄積されることで、施設の運転支援のみでなく、管路施設の維持管理に有用なデータが得られると考えられる。これにより、流量調査を行う際の精度向上も可能となり、管路施設の維持管理レベルの向上に寄与するものと考えられる。

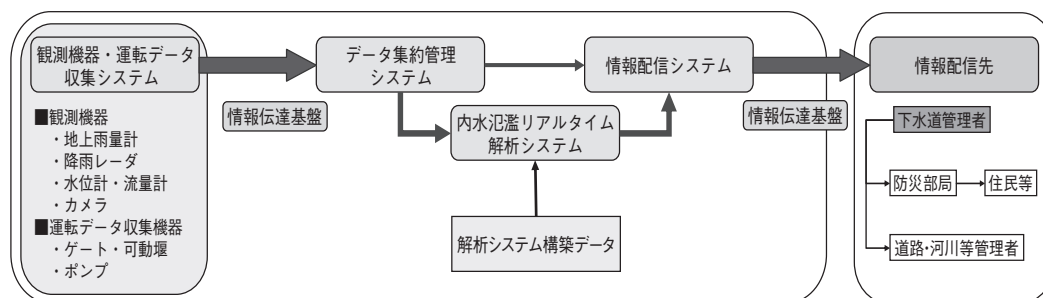


図-9 リアルタイム雨水情報ネットワーク



ドイツにおける 下水道管路管理の実態調査報告

株式会社カンツール

商品部長 後藤 幹雄

1. はじめに

弊社は、下水道維持管理の先駆者であるドイツで開催された「エントゾルガ・エンテコ2009」展示会の調査に合わせて、さらに「ドイツの下水道維持管理の現状と現在抱えている課題」を調査して今後の日本での将来予測、対策、対応などに反映したい、との目的をもって調査を行いました。

ドイツは、水管理法の改正により国全域で本管・取付け管・工場内排水管の定期点検が義務付けられました。2015年までに宅地内排水設備の水密検査も義務付けられており、下水道の維持管理と土壤汚染への影響・対策について厳格に対処しています。

2. 主な訪問先

ドイツ下水道事情を調査する目的で下記の団体と展示会などを訪問しました。

- ①ドイツ水協会 (DWA)
- ②管路敷設と維持に関する品質管理協会 (KB)
- ③ゾーリンゲン市廃棄物処理事業体 (EBS)
- ④下水道コンサルタント、ヴァインクラー氏訪問 (Mr. U. Winkler)
- ⑤国際廃棄物処理・環境技術メッセ (エントゾルガ・エンテコ2009)

3. ドイツ水協会 (DWA) を訪問

3.1 ドイツ水協会 (DWA) について

ヨハネス・ロハウス理事長よりお話を伺うことができました。1948年ATVとして設立、その後1978年に設立されたDVWK (ドイツ水理経済農地協会) と

2000年に合併してATV-DVWKとなり、2004年には改称され現在のDWAとなっています。



写真-1 ドイツ水協会、ロハウス理事長 (左から三人目)

個人会員 (エンジニア、大学教授、職人等) 8,500名、団体会員5,700団体 (自治体2,000、大学、省庁、水組合600等) から構成されています。

主な業務は次のとおりです。

- ・CEN欧州規格の作成、EUへの強制発動
- ・TVカメラ検査の規格「EN13508 part.2」報告書作成規定
- ・国際(間)プロジェクト、IWA、EWA
- ・コンサルタント事業

3.2 ドイツの下水道事情

ドイツの下水道は、1850年ハンブルク市でコレラが大量発生したことをきっかけに下水道の整備が始まり、約160年の歴史があります。第二次世界大戦で多くの資料が喪失しましたが、その後の調査で90%までその実態が判明しました。

管路延長は55万km、そのうち10%は資料が喪失しています。

下水管築造開始以来、1980年代から下水道の影響による道路陥没がきっかけになって、維持管理が重要視されてきました。DWA、国、技術科学省がプロジェクトを組織して「管路の改修」をテーマに活動を開始しました。

DWAによってTVカメラ調査規定が制定され、1984年にTVカメラ調査が始まりました。2004年の調査結果では、全体の95%の自治体がカメラ調査を実施しています。

ベルリン市での調査結果を教えてくださいました。いずれも興味深いデータばかりです。

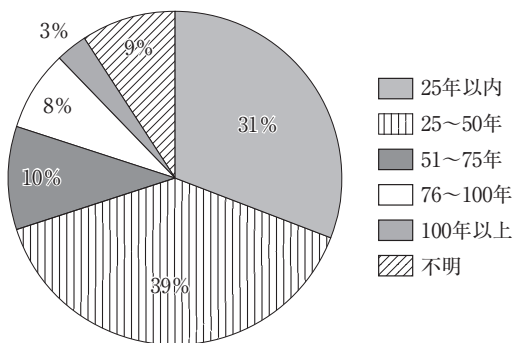


図-1 下水管の経過年数

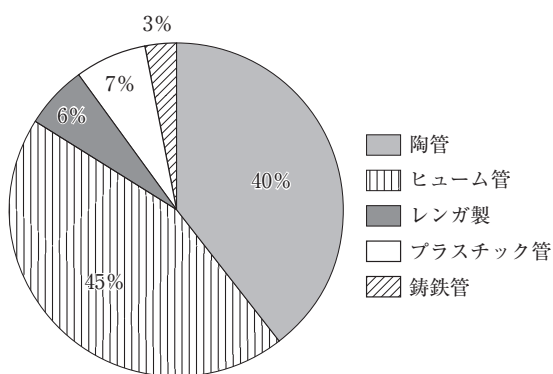


図-2 下水管の管種

表-1 下水管の調査結果(1) (スパン単位)

ZK0 即改修	ZK0+1	8.8%
ZK1 数年以内に改修要		
ZK2 15年以内に	ZK2	10.8%
ZK3 それ以上で	ZK3	21.5%
ZK4 異常なし	ZK4	59.0%

(%の数値は四捨五入してあります)

異常箇所はZK0～ZK4の5段階に分けられ(表-1)、即改修から異常なしと分類判定されていました。但し、ZK0+ZK1の中でも取付管のみの物も勘定に入っているため、20%全てが改修が必要というわけではありません。

これまで、管更生は開削が基本と思われていましたが、先進国ドイツでもライニング施工が広く展開されるようになってきています。

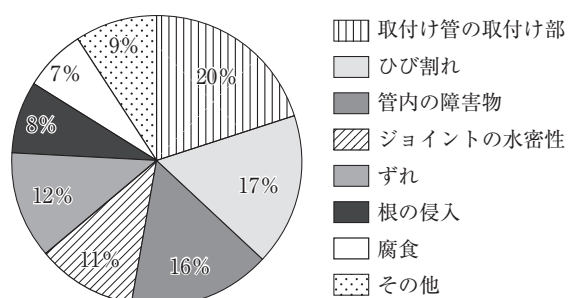


図-3 下水管の調査結果(2) 異常の内容

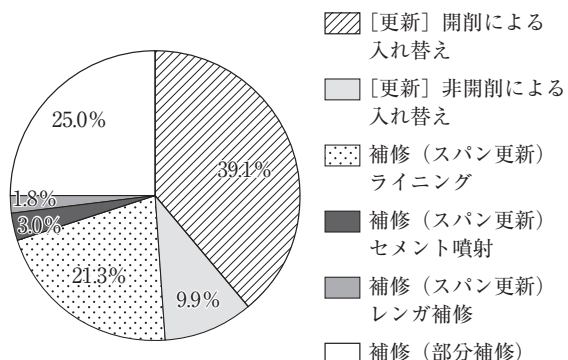


図-4 改修の方法

4. 管路敷設と維持に関する品質管理協会 (KB) を訪問 (Guteschutz Kanalbau)

(以下、カナルバウKBと表記します)

4.1 カナルバウKBについて

マルコ・キュンスター博士 (業務受託者部門主任) に面談してカナルバウKBに関するいろいろな話をお聞きしました。



写真-2 カナルバウKB、キュンスター博士 (中央)

ドイツではDIN (ドイツ工業規格) によって製品品質は確保されていましたが、下水道について言えば、施工の品質を確保する規格等がありませんでした。1926年発行の「建設工事委託規定」の中に「建設工事を専門分野とし、必要な機材を所有し、かつ、信頼できる業者に委託すべき」と書かれていたものの、当時は信頼できる業者を選択する術がありませんでした。

管内検査用テレビカメラ機器の開発と普及によって管路の状態が把握されるようになりましたが、その状態のひどさに関係者は大きなショックを受け、こうした状態を今後なくすために品質を管理するシステムの構築にまい進することになります。

1989年ドイツで下水道施設の建設と維持管理に関して永年懸案になっていた様々な問題について、統一的な基準をつくらうとする動きがこの「カナルバウKB」発足につながりました。協会設立に際しては、多くの学識経験者、官公庁、大手企業、GSTT (ドイツ非開削協会)、DWA (ドイツ水協会)、RAL (ドイツ品質保証表示協会) 等から大きな協力を得

ました。

会員数は1989年の56から、現在約3,500に達し、まだまだ増加傾向にあります。

会員 1 業者 2,500

会員 2 自治体、エンジニア事務所 500

会員 3 500

4.2 カナルバウKB品質マーク

ドイツ国内のほとんどの自治体がKB品質マーク取得者を入札要件に入れています。品質マークの対象となるのは、以下の8分野に及ぶ項目です。

「開削工法による敷設」AK 3、AK 2、AK 1

「非開削工法による敷設」VP、VM、VMD、VO、VOD

「改修」S

「管内調査」I

「管路清掃」R

「水密性検査」D

「宅地内排水設備の管内調査、管清掃、水密性検査」G

「非開削工法による改修作業の監督」ABS



4.3 カナルバウKB資格取得

- ①各法人、団体は、本会入会申請時に通常、品質マーク取得申請を行います。
- ②申請後は、→過去3年の実績を示す書類を含む必要書類をカナルバウKBに提出→検査官が書類審査、報告書作成し品質委員会に提出→品質委員会はその報告書を吟味し品質マーク付与の決定
- ③カナルバウKBは、資格を取得した後の業者の品質維持のため、現場と会社 (最低2回/年) の抜き打ち検査を実施しています。検査内容は、現場で

は適切な機材を使用しているか、工法はどうか、作業員や作業水準はどうかなどがチェックされ、会社では、自主監査書類、保有機材、人員教育のチェックが行われます。財務検査はありません。

- ④検査の結果、要件を満たしていないことが判明した場合は、検査官が報告書を作成、それが品質委員会に提出されます。品質委員会はその報告書をもとに制裁措置を決定します。制裁措置には「自主監査の内容拡大」「立入監査の強化」「戒告」「期限付き、あるいは、無期限の品質マーク剥奪」があります。

4.4 カナルバウKBの組織と活動

①運営組織

技術部門品質（マーク取得要件作成・改正）4人、会員サービス部門 自治体訪問、コンサルティング活動（検査官）25人、事務局10人で活動しています。検査官は国から派遣され国家資格を有するものではなく、カナルバウKBが採用した人員で、カナルバウKBのしかるべき試験に合格した人です。検査官は25人が在籍しており、一人約100社を担当しています。

②品質委員会

品質委員会の構成は、自治体代表者1名、エンジニア事務所の代表者1名、業者から選出された代表者5名、併せて7名の専門家で構成されており、年5回の委員会が開催されます。

③セミナー活動

業者向けに年間250～300回、自治体向けに年間60回を開催しています。品質マーク保有者には人員の技能維持・向上が義務付けられています。そのため、業者に対して低料金でセミナーを提供しています。会費の一部を使って安価な参加費で開催しており、セミナーを必ず受講するよう促していこうという方針に基づいています。

④技術の進歩に伴う検査官のレベルの向上

検査官に対して、協会内で技能向上講習が実施されています。検査官はこれに参加し、技能水準を証明しなくてはなりません。一方、検査官は頻繁に現場に赴き、現場作業をチェックしていることや、専門業者から受ける多くの質問に答えなく

てはならないことから、自ずと自身の技能を研鑽することになり、その結果、検査官の水準は常に高く維持されています。

4.5 諸問題に対するカナルバウKBの役割

①道路陥没の問題について

『日本では道路陥没が大きな問題になっていますが、これはまず第一に技術的な問題に因るところが大きいのではないかと考えます。適切な製品を使って正しく施工されていれば、道路陥没は起こらないはず。ドイツでは、施工時の工事品質、施工時の管の周りの状況は、カナルバウKB資格取得によって、業者の工事品質が向上して解決されることとなります。さらに、管路の水密性テストが義務付けられており、これらの結果は、役所の下水道台帳に記録されています。つまり、管路管理者がしかるべきカナルバウKB資格を有する業者に施工させ、資格取得業者による現場監査、施工品質の管理を行う、というシステムを導入すれば、問題は解決される方向に進むのではないのでしょうか。』

②カナルバウKB品質資格取得者を入札要件に入れているか。そうであるなら、どのようにPRしたのか。

『入札の要件に入れている自治体が殆どですが、数までは掴んでいません。啓蒙活動はカナルバウKBの検査官が直接自治体へ行って説明を行いました。また、自治体向け講習会を開いたときにアピールを重ねた結果です。』

③2015年までに実施されるドイツ国内排水設備総点検について

『この条例が施行されてから、カナルバウKBの役割と業務は非常に増加してきています。今までの排水設備の水密性は疑わしい点も少なくないでしょう。例えば、自宅の排水設備を工事するために、一般の人がホームセンターに来て塩ビ管を買って帰るケースがよくありますが、その際に必要なジョイントパッキンを7割の人が購入しない。この現状をみると水密性が保たれているとは思えませんね。2015年以降からは、排水設備の漏水、浸入水の問題も減るでしょう。』

4.6 成功かつ継続できるシステム「カナルバウKB」

『カナルバウKBの特長は、とりわけ、敷設時点から維持までを一貫する品質管理システムになっていることです。維持管理で品質管理をしても、敷設時点にされなければ、維持管理に大きなコストが発生してしまうでしょう。このことは、下水管路網の維持管理を公共管路だけでなく、宅地内排水設備も含めた、全体的維持管理をしないと無意味であるのと同じです。「カナルバウKBは（設立以来）20年間成功し続けているシステム」です。日本でも同様なシステムの導入を期待します。』

5. ゴーリンゲン市廃棄物処理事業体（EBS）を訪問

（以下、ゴーリンゲンEBSと表記します）

5.1 ゴーリンゲンEBSについて

ジークフリート・シュルツ局長に会見し、意見を交換しました。

ゴーリンゲン市の人口は16万5,000人、面積は90km²、下水管路延長600km、接続率（普及率）は97%で、全体の94%が合流式下水道です。

ゴーリンゲンEBSは1995年に設立され、17名が管理職で250名の職員で構成されます。4の事業体に分かれており、①一般廃棄物の収集（収集量45,000t/年）②市内清掃（路面清掃車も所有しており今の時期は枯葉掃除に忙しい。60名が従事している。）③下水道事業、管路建設部門、設計部門、維持管理部門④廃棄物処理とそれによる発電事業、があります。

電気は一般には供給せず、公共施設での利用に限られます。焼却場能力は年間12万t。廃棄の方法は投棄、焼却、リサイクルですが、投棄は1968年以降行っていません。2005年には投棄された廃棄物の処理が終了しました。個人から持ち込まれる廃棄物処理は無料ですが、企業からの廃棄は有料です。

5.2 ドイツの法制度

ドイツは16の州からなる連邦州（各州が政府をもつ）で、同市があるのはNRW（ノルトライン・ヴェストファーレン）州、1,800万の人口をもつ国内最大の州です。



写真-3 ゴーリンゲンEBSでのプレゼン風景
（シュルツ局長、左から三人目）

水と下水に関するルールを定める国レベルの法律として水管理法（WHG）があります。

WHGは自然、水域を守るための枠組みを定めており、その中で、各州が具体的なルールを定めることを義務付けています。

州レベルでその具体的なルールを定めているのが州水法。その中で各自治体が「下水排除コンセプト」を作ることが義務付けられています。

下水排除コンセプトとは：

- ・下水道施設をどのように運転するか
- ・適切な下水道サービスが提供できるためにさらに必要な下水道施設は何か
- ・そのコスト
- ・建設時期等々

このコンセプトを州と自治体の中間に位置する行政管区庁に6年ごとに提出することになります。金がないからできなかった、というのは理由にならず、自治体は下水料金の引き上げを実施して、コンセプトを具体化しなくてはなりません。

- ・自治体は二年ごとに下水料金が適正かどうかを吟味しなければなりません。

- ・自主監査令

維持管理のための定期的検査について、いつ、なにを、どのように検査するのが定められています。

- ・下水条例

市が下水道管路網を適切に運営できるように、市民が何をすべきか、何をしてはならないのかを定めています。

5.3 財源

下水道料金によって費用のほぼ100%を賄っています。料金は水道使用量に反映されており、下水道料金の方が高く設定されています。雨水に関しては、雨水の浸透しない土地の面積によって決められています。1m²あたり汚水は€2.56（346円）、雨水は€0.979（132円）徴収されます。

財源の使用配分は、図-5、6のとおりで、改修は（その他経費）の中に€100万（1億3,500万円）予算計上しています。州への課徴金は4%で放流水の水質によって定められています。これらの結果から、人件費が占める6%という割合は全体から見れば低いものであることがわかります。

特殊なケースでは州からの補助が75%の場合がありますが、これは稀で、下水道施設に関して州が特別な関心をもっている措置の場合に上記の補助金が適用されます。

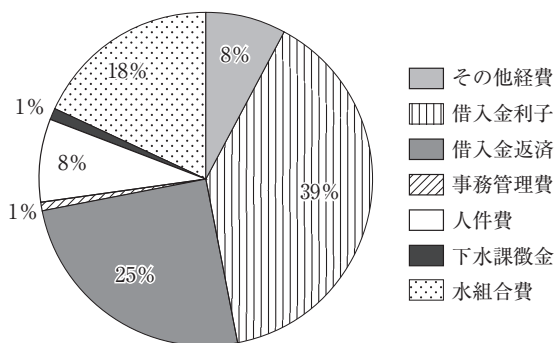


図-5 下水道事業の財源と使用配分【雨水料金 0.979 €/m²】(2009)

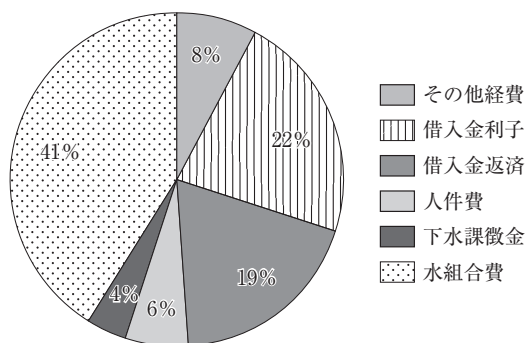


図-6 下水道事業の財源と使用配分【汚水料金 2.569 €/m²】(2009)

5.4 下水管の種類

敷設年度別の使用管材の変遷は、図-7のとおりです。経年数と管種に応じた最適なメンテナンスが重要です。

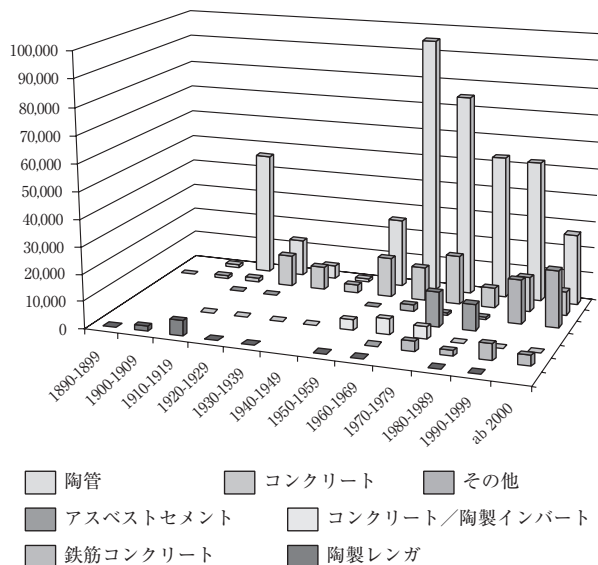


図-7 下水道管の種類

5.5 管路の保証期間

ドイツでは、管路に対する保証期間は5年です。

保証期間中は建設業者が責任を持つことになります。保証期間終了前に当該管路が調査され、確認された異常箇所はその建設業者の負担で改修されます。

保証期間終了後は、自治体が責任をもつことになります。損傷の状態により、修繕あるいは補修が行われ、これに対してゾーリングゲンEBSは独自の予算を用意しています。

5.6 宅地内排水設備

排水設備の管路延長は、公共管路：600km、宅地内排水設備：2,500kmに及び共管路の2.5倍の距離ですが、その1,500 kmに欠陥があると考えています。

従って、公共管路（本管）と宅地内排水設備の状態調査は当然のことですが、公共管路と宅地内排水設備を合わせて一つの下水道システムとみて維持管理戦略を構築、実行しているところです。

5.7 地下水の汚染、土壌汚染

1995年以降、NRW州では“下水管路自主監査令

(SuwVKan)”が施行されています。同令には公共管路をいつ、どの頻度で、どのように調査するかが定められています。

70年代、管路網の点検が無かったため、多くの工業跡地が汚染されていました。1999年、“連邦土壤保全法BBodSchG”が成立。知っていながらの土壤汚染は刑罰の対象になることが定められています。

刑法 (StGB) 第324条には：

「許可なく水域を汚染する、あるいは、その性質に悪影響を与える者は最高5年の自由刑あるいは罰金が科せられる」

「試みることも刑罰の対象である」

「実行者の不注意によるものである場合、刑罰は最高3年の自由刑あるいは罰金となる」

5.8 品質確保—内面補修 (ライナー)

公共管路と宅地内排水設備からの漏水、不明水が懸念される状況下で、その有効な対策として内面補修を実施しています。

ライナーによる内面補修は、50年を超える耐用年数を設定し、管路新設費用：約1.000 €/mに比較してライナー費用：約250 €/mが安価であることがその採用理由です。

ライナー補修のための品質を確保することが重要で、次の品質要求を設定しています。

本管の不明水に対しては

- ・各スパンにおける品質検査

宅地内排水設備には

- ・改修業者の技能品質を試験する現場テスト
- ・EBSによるゾーリング向け改修業者認定
- ・EBSによる宅地内排水設備改修の施工品質検査を実施しています。

6. ヴィンクラーク氏と懇談 (ドイツ下水道コンサルタント)

ヴィンクラーク氏は、ドイツ下水道分野の著名なジャーナリストであると同時に宅地内排水設備の維持管理コンサルタントで、下水道の業界との関係は既に25年前後になります。下水道技術者資格試験の審査官でもあり、数多くの現場に出かけて写真を撮り記事を書いています。



写真-4 ヴィンクラーク氏 (一番左)
(ドイツ・ケルン市内にて)

6.1 ドイツでの土壤汚染問題

約20年前にハノーファー市において地下水状況調査が実施された際、通常の地下水には含まれない大腸菌が検出されました。下水道からの漏水が疑われましたが、下水道管理者は原因の追及を行いませんでした。これを契機として管路からの漏水防止に対する意識が高まり、水基本法の改正が行われ管路の維持は国からの指導となりました。今では州ごとに自主監査令が制定され、カメラ調査は必須の調査項目となっています。

自主監査令はドイツ国内16州の内10州にあり、公共管路網(本管)の点検は、ほぼ全線終了。取付管、工場内排水は全く不明。しかし、水基本法改正により、国全域で定期点検が義務化されています。

6.2 ドイツでの不明水対策

下水道維持管理上、不明水対策による環境保全も重要な問題ですが、不明水の浸入防止によるコスト削減の方が重要視されています(ドイツでは下水道建設時の計画水量は50%の不明水を設計水量に見込んであります)。

不明水削減のために実際に行われている対策の一つとして、下水道使用料による課徴金政策があります。処理水の汚濁が著しい場合は無論、課徴金が加えられますが、不明水量が多いが故に下水が希釈され、汚濁基準を下げていることが解った場合には、もっと高い課徴金が加算されることとなります。

下水管の改修(入れ替え)は、自治体にとっては、地下汚染防止よりも不明水の浸入を防ぐことを目的

としています。例として【⇒1リッター／時間／箇所⇒9m²/年の浸入水】は改修すべきとなり、⇒処理場への流入水を減らす⇒コスト（課徴金）を下げる、という結果を導きます。

下水処理の課徴金制度では、成分、含有量が基準内の場合、課徴金は減額に、逆に不明水が増えると（希釈されるが）課徴金は巨額に増加、ゆえに対策が必要となります。つまり、不明水が増えないことこそが優先される仕組みになっています。

7. エントゾルガ・エンテコ2009 国際廃棄物処理・環境技術メッセ

前述のように、ドイツでは2015年までに宅地内排水設備の水密性を検査しなくてはならないことが地主に義務付けられています。そのため、下水道分野では小口径管用のTVカメラ、親子カメラ、穿孔機の展示が多く、関連する機器・ソフトなどの展示も活発でした。

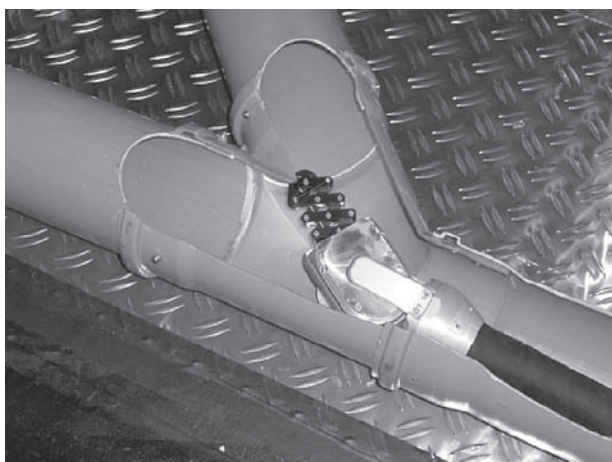


写真-6 JT-Elktronik社製
取付け管調査用カメラ

※ヘッドにマジックハンド式ガイドが装着されています。

2015年までの調査を目的として管内検査の仕事は継続して発注されるでしょう。その環境下では、高能率、高性能のカメラこそが市場を席卷できる覇者となり得ると思われまます。

トップランナーの動きは特に重要で、会場内でその広さと集客力で異彩を放っていたIBAK（イバック）は今後も注目で、学ぶべき点は多いでしょう。



写真-7 穿孔機

※穿孔機は空圧式が主流で、日本の現状とは異なります。

8. まとめ

今回の調査では、【不明水対策】をキーワードにして下水道管路維持管理の関係団体、自治体および関係者の皆様から貴重な情報を聞くことができました。多くの知見と豊かな経験に基づくドイツの維持管理のシステム、各所が役割を分担しながら「あるべき姿」を目指すシステムはまさに壮大な国づくりです。

守るべき環境と自然、共存する人間社会、衛生かつ安全な市民生活のための下水道、いずれも欠くことのできない大切なものばかりです。それらを維持しつつ、さらに将来に向かって継承していかなければならない「維持管理」の意義と重要性を強く再認識しました。

また調査に際して、訪問先に関する情報の提供、訪問先へのアポイントと承認などに多大なご協力をいただきました関係各位の皆様には、厚く御礼申し上げます。



下水道から見た 雨水ますにおける蚊の発生対策

公益社団法人 日本下水道管路管理業協会

常務理事 篠田 康弘

1. はじめに

昨年10月に日本衛生動物学会東日本支部が開催した「道路環境に見られる雨水マスの維持管理と媒介蚊対策の将来的課題」と題するシンポジウムで、雨水ますの泥だめの部分に排水が滞留し、蚊の幼虫の主要な発生場所となっており住民が苦闘しているとの報告を聞き、大変驚いた。その後、雨水ますを覗く機会が増え、また、国立感染症研究所の小林陸生博士を当協会の技術発表会に招き、講演を頂くなどしている内に、対応の必要性を痛感した。

都市においては、下水道の整備などにより水たまりやドブなどが消失する中で、雨水ますはいつの間にか都市における蚊の主要な発生源としての役割を持つようになった。これは、構造上泥だめが設けられ水が滞水すること、水面の面積が限られること、日が当たらず暗い場所であることなど、蚊の生息に適しているためといわれている。一方、蚊の生息期間は卵で3日、ボウフラ（写真-1）で1～2週間

といわれており、この間に流出させる規模の雨が降らなければ成虫に育つことになる。

蚊の苦情があれば、現在は、その都度清掃し、殺虫剤を散布する方法で対処している場合が多いようであるが、このような方法によらず、蚊を発生させないような構造や管理手法が採ればこれに越したことはない。そのような観点から雨水ますをもう一度見直してみたい。

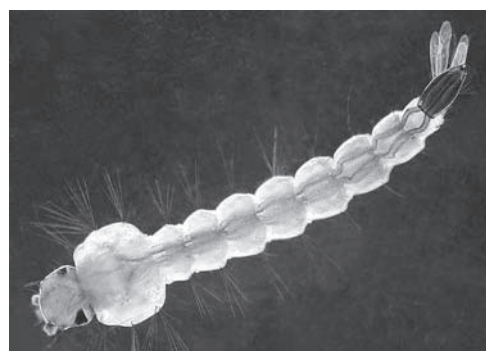


写真-1 アカイエカの幼虫

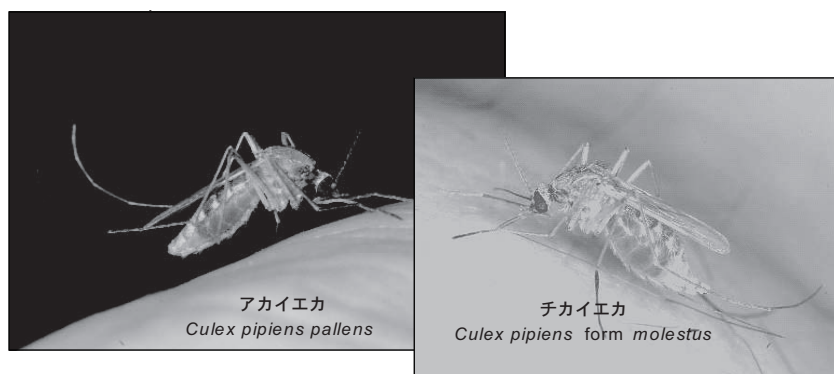


写真-2 雨水ますなどに発生するアカイエカおよびチカイエカ（写真-1、2とも小林陸生博士提供）

2. 雨水ますにおける蚊の発生状況と ウエストナイル熱などの危険性

蚊は、マラリアをはじめデング熱、日本脳炎、フィラリア症など多くの感染症の媒介者として恐れられてきた。最近では、アメリカにおいてウエストナイル熱が蚊の媒介によって大流行し、再び注目を集めるようになってきている。病気にならなくても、蚊の音で夜も眠れない、蚊に刺されて体中が痒くて仕方がない、など蚊に悩まされることはよくあることである。

緒方一喜医学博士⁽¹⁾によれば、蚊には「田舎の蚊」と「都市の蚊」がいて、日本脳炎やマラリアを媒介するコガタアカイエカなどは水田や沼に発生する「田舎の蚊」で、一方、「都市の蚊」はビルの地下水

槽、下水溝、道路の雨水ますに発生するチカイエカ、アカイエカ、ヒトスジシマカ類で、ウエストナイル熱媒介の可能性が高い部類である。(写真-2)

小林博士⁽²⁾によれば、西宮市の雨水ますを場所別に調査したところ、表-1に示すように総数16,867個の内29%の4,866個に水が溜まっており、その内の19%の902個にイエ蚊類(チカイエカとアカイエカ)、ヤブ蚊類(ヒトスジシマカ)の幼虫の発生が見られた。これを場所別にグラフにしたのが図-1で、有水雨水ますが最も多いのが住宅であるが、幼虫発生率は14%と低く、一方、道路の雨水ますは発生率及び1箇所当たりの幼虫数とも最も高く、それぞれ38%と36匹であった。このように、幼虫が発生している雨水ますには平均で24匹の幼虫が発生しており、道路の雨水ますが最も発生しやすいことが解る。

表-1 西宮市の有水雨水ますにおけるウエストナイル熱媒介蚊の発生状況調査⁽²⁾

場 所	有水雨水マス	幼虫発生箇所	幼虫数	発生率 (%)	1 箇所の幼虫数
	A (箇所)	B (箇所)	C (匹)	B/A	C/B (匹)
公園	283	64	1747	23	27
公共施設	683	136	2949	20	22
道路	692	263	9575	38	36
住宅	3182	439	7672	14	17
調整池	26	0	0	0	0
計	4866	902	21943	19	24

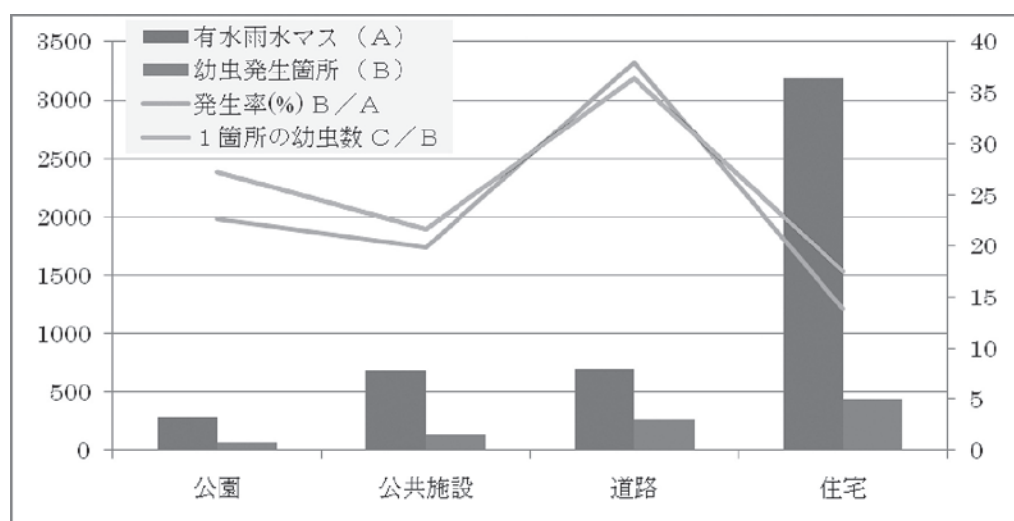


図-1 西宮市の有水雨水ますにおけるウエストナイル熱媒介蚊の発生状況調査⁽²⁾

3. 雨水ますの構造と管理

1) 構造基準

雨水ますの構造は合流式・分流式の区別なく、「下水道施設設計指針と解説」((社)日本下水道協会発行)(以下「下水指針」とする)において15cm以上の泥だめを設ける構造を標準とすることとされている。また、一般に道路施設の一部として建設・管理されており、その基準は改訂された「道路土工要綱」(平成21年(社)日本道路協会)〈以下「道路要綱」とする〉によるが、この要綱では図-2に示すように、雨水ますは15cm以上の泥だめを設けることを標準としている。さらに、下水指針では排水設備として宅地内の雨水ますについても、同様に15cmの泥だめを設けることとしている。また、道路要綱では雨水ますの設置間隔は一般的に20~30m程度に1個としている。

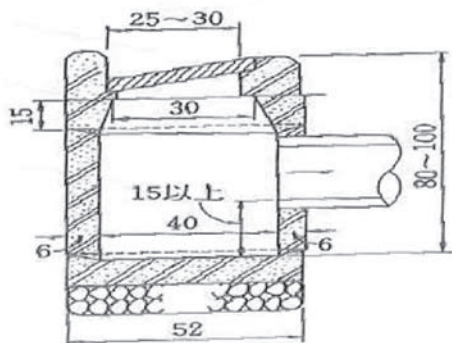


図-2 側溝ますの例(道路要綱より)

このように我が国における雨水ますの基準は、全く同様に15cm以上の泥だめを設けることとしているが、その目的は「土砂等の排水管への流入を防ぐため」(道路要綱)となっており、土砂を留め置いて清掃することを前提とした構造と考えられる。道路要綱では、ますの定期的な清掃頻度を「年1回以上」を1例としてあげており、この頻度が標準と考えられているようである。

2) 清掃の実態

では、実際の清掃はどのようになっているのだろうか。公共の雨水ますは道路構造物として管理されているのがほとんどであるので、道路管理者に問い合わせをしてみた。「年1回清掃」というところ

と、「年1回はやりたいが予算上困難」であるところ、「5年に1回程度」、「ほとんどやっていない」など様々であったが、全般として年1回以上清掃をしているところは少ないのではないかと感じられた。

清掃方法としては、小型高圧洗浄機で高圧水を噴射させながら、吸引車(バキューム車)で汲み上げるのが一般的である。これにより泥だめに溜まった土砂は取り除くことができ、下流の下水管や排水路への土砂の負荷を軽減することができる。

3) 泥だめの必要性

図-3は、明治40年の中島衛治博士による東京市下水道設計であるが、泥だめの中に土砂除去のためのバケツを設置することとなっている。これにより、泥だめに土砂を沈殿させ清掃・除去することにより下流の管渠への堆積を防ぐことを目的としていたと考えられる。この水面下で取り付け管から放流させ、水封することにより臭気の拡散防止の効果も期待していた。

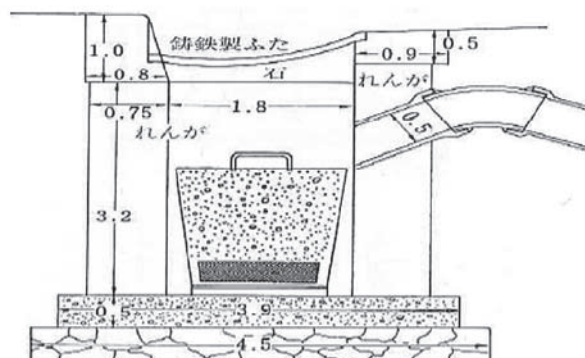


図-3 東京市下水道設計における雨水ます(明治40年設計調査報告書)より

砂利道や土など舗装が少なく、また、畑やむき出しの斜面が多く、さらに、高圧洗浄車などの管路清掃技術が発達していなかった時代には土砂の流入の問題も深刻で、雨水ますという地表から除去しやすい場所で土砂を堆積させ、管きよに流入する前に除去するための泥だめの必要性は高かったものと考えられる。

しかしながら、現代の道路環境は全く様変わりし、土砂の流入も大幅に減少しているものと考えられる。さらに、管路の清掃技術も格段に発達している。このような中で、雨水ますの清掃も十分行われ

なくなっており、泥だめの必要性は低下している。

4. 雨水ます (catchbasin) に関する 米国E. P. A.の報告

米国E. P. A.の調査報告 (1977, 「雨水ます技術の現状と評価」、以下「EPA報告」とする) では、雨水ますの現状と効果の評価などについての興味深いレポートをまとめているので、その一部を紹介する。ここでは、泥だめ付きの雨水ます (以下「雨水ます」とする) を「catchbasin」とし、泥だめのない構造の雨水ます (以下では「流入口」とする) を「inlet」と区分しており、現状では多くの都市で雨水ますが用いられている。

例えば、サンフランシスコ湾岸地域では、古い地域では合流式が多く雨水ますが多く用いられているが、新しく整備された地域ではほとんどが、泥だめのない流入口である。また雨水ますも、一部都市では流入口に取り換えられている。

1) 規模

設計標準の調査結果では、平均的な形状としては、雨水ますで深さが183cm、泥だめ深が99cmなのに対し、流入口の平均深が121cmとなっている。どちらも規模的にヨーロッパや日本のものよりかなり大きい。また、1つの雨水ますに1～2の流入口を連結している場合が多い。1個の雨水ますの平均的な集水面積は、雪の多い地域で0.63ha、全体で0.88haとなっており、雨の多い日本の20m程度の間隔と比べかなり大きくなっている。

2) 維持管理

清掃は、56%の都市で吸引車などの機械清掃により行われており、清掃頻度は、表-2に示すように1973年は年1回の都市が最も多く、1956年で2回が最も多いのに比べ低下している。このように低い頻度は、不適切な維持管理計画からきており、これにより雨水ますの様々な問題をもたらしている。

また、雨水ますは蚊の格好の繁殖場所となっており、油や殺虫剤の散布による対策が行われている。26都市で主に殺虫剤の散布が年1～12回行われており、高所得の地域で頻度が高くなっている。

3) 結論

雨水ますは、下流の管路で土砂が停滞しやすい場

表-2 雨水ますの清掃回数毎の都市数

清掃頻度	1973年調査	1956年調査
2年に1回以下	24	20
3年に2回～年1回	143	37
年1.5回～年3.5回	103	93
年4回以上	29	30
計	299	180

合、または流入土砂が特に多い地域において適用されるべきである。雨水ますを流入口に変える (泥だめを撤去する) ことにより、雨天時の初期降雨による汚濁負荷の削減とともに、維持管理費用を低減することができる。

5. 泥だめの効果的な設置・管理に向けて

不十分な情報の中ではあるが、考えられる方策を以下のように提案したい。

1) 雨水ます清掃の重点化

泥だめは、十分な頻度で清掃して初めてその効果を発揮するが、財源的に極めて限られている。このため、下流が伏越しの場合、土砂の堆積しやすい区間の上流、流入土砂の多い地域に限定し、降雨後速やかに清掃を行うことが蚊対策からも効果的である。また、泥だめの規模もこのような場所では、大きくする必要がある。場合によっては別途、沈殿槽を設けることも考えられる。

2) 雨水ますの浸透式への改造

浸透ますは浸水対策や合流式下水道の改善等多様な効果がある。図-4は雨水浸透ますの断面図の例であるが、浸透管と組み合わせた構造の例となっている。写真-3は、東京都練馬区の区道に設けられた実施例であるが、木の葉や土砂の堆積はあるものの、水溜まりのない状態であった。

蚊対策としては、一週間程度と比較的長期間をかけてドライ化すればよいので、浸透能力は小さいもので済む。底に小さな穴をあけるだけで、ますの構造を大幅に改造しなくても済む。図-5に示すように水抜管を取付管に貫通させ、水を抜くことも一つの方法である。

3) 泥だめの撤去

清掃をしないか、まれにしか清掃をしない地域で

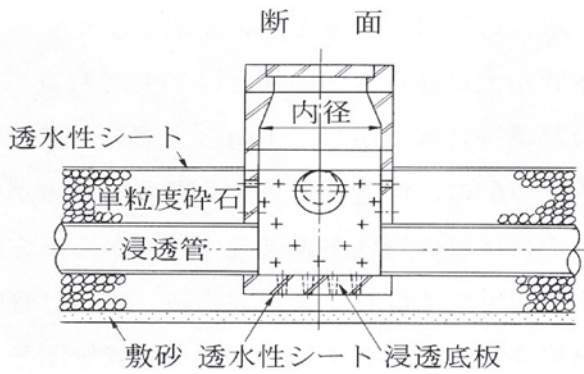


図-4 雨水浸透ますの例（「下水道施設計画・設計指針と解説」(社)日本下水道協会）

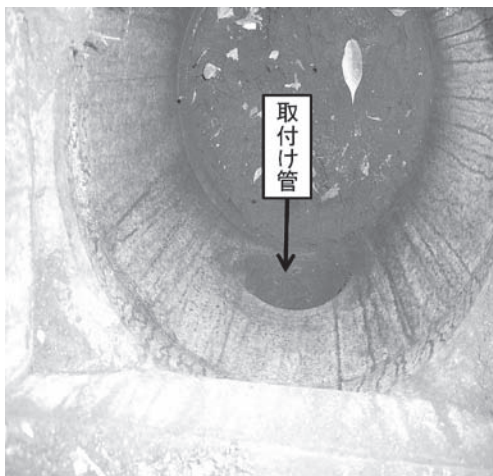


写真-3 浸透ますの内部（東京都練馬区内公道上）

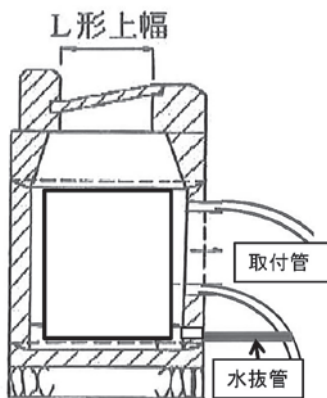


図-5 水抜管付雨水ますの例

は、むしろ泥だめを撤去した方が環境対策上も効果的である。このためには取り付け管の位置を底部まで下げるか、泥だめ部分に低品質のコンクリートを充填することによりドライ化が図られる。図-6は、アメリカでの流入口 (inlet) の例であるが、これによりドライ化とともに管理費用の低減も図れる。

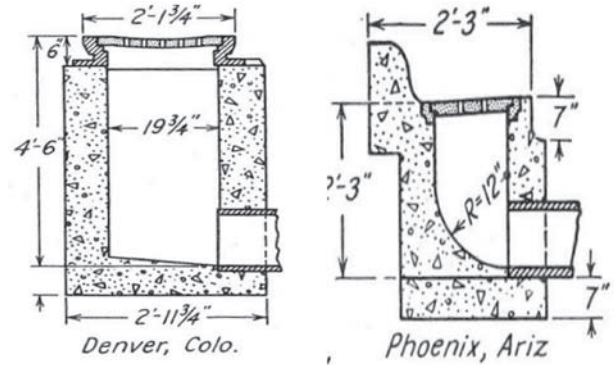


図-6 流入口 (Inlet) の例（「Sewerage and sewage treatment」by Harold E. Babbitt and E.Robert Baumannより）

4) 蚊の発生地域の特定

必ずしもすべての地域で蚊が発生するわけではない。蚊の飛行距離は1 km程度といわれており、付近に植栽がある地域でかつ被害が想定される地域を設定し、重点的に蚊対策として雨水ます改造等の対策を実施することが効果的である。

6. おわりに

地域の違いもあるが、日本における雨水ますの管理は、米国と比べても極めて不十分ではないだろうか。また、泥だめの必要性も現状では十分検証されているとはいえない。またデメリットとしての雨天時水質汚濁への影響や蚊の発生なども挙げられるが、これとて十分な把握がなされていない。このような不透明な状況は、担当する機関・部局が保健衛生と道路・下水道と分かれており、相互の情報連絡が極めて限られていることも大きく影響しているのではないだろうか。

今後、関係する機関・部局の相互理解が進み、それぞれの抱える課題の解決に向け進展が図られることが必要である。

参考文献

- (1) Pest Control TOKYO No.50 特集「都市と蚊」(特集のねらい) (財)日本環境衛生センター技術顧問 (医学博士) 緒方一喜氏
- (2) 公益社団法人 日本下水道管路管理業協会「管路管理セミナー」(平成21年11月11日 国立感染症研究所昆虫医学部部長 小林睦生博士発表資料より)

下水道管路管理技士とその活用状況について

公益社団法人 日本下水道管路管理業協会
試験・研修部

下水道管路管理技士資格認定制度が発足して13年が経ちましたが、下表は、昨年度（平成21年度）の資格試験終了後の地域別資格者の配置状況です。

下水道管路管理技士（以下「管路技士」といいます。）は、下水道管路管理総合技士（以下「総合技士」といいます。）、下水道管路管理主任技士（以下「主任技士」といいます。）、下水道管路管理専門技士（以下「専門技士」といいます。）の3種類があり、専門技士はさらに業務の内容に応じて清掃、調査、修繕・改築の3部門に細別されます。

この資格制度の目的は、下水道管路施設の管理業

務の履行に必要な技術、技能の水準を高めることにあり、資格の求める水準はそれぞれ業務に応じて定めています。

現在、有効な資格者の累計は、7,300名を超えています（表-1）。全国41の地方公共団体等において公告で位置づけされたり、仕様書で記載されたりしてこの資格制度が活用されています（表-2）。

下水道管路施設の管理業務は、危険な環境下で行う業務が多いため、常に安全かつ確実な業務を果たすために管路技士資格者の果たす役割は大きいと考えます。

表-1 下水道管路管理技士資格登録件数（地域別）

地域名	総合技士	主任技士	専門技士			合計
			清掃部門	調査部門	修繕改築部門	
北海道	5	59	137	100	96	397
東北	8	164	294	263	257	986
関東	53	337	418	349	373	1,530
中部	34	423	590	547	543	2,137
関西	22	143	230	207	183	785
中国・四国	15	90	151	129	129	514
九州	12	153	277	263	270	975
計	149	1,369	2,097	1,858	1,851	7,324

表－2 下水道管路管理技士資格の活用状況

全国で42の地方公共団体等が、管路管理技士の資格を活用しています（当協会調べ平成22年4月）。

活用状況	都市名
公告で位置付け（11件）	太田市（群馬県）、草加市（埼玉県）、府中市（東京都）、海老名市（神奈川県）、綾瀬市（同）、新潟市、（助）富山県下水道公社、金沢市（石川県）、名古屋市、守口市（大阪府）、和歌山県下水道公社
仕様書に記載又は実績調書（13件）	札幌市、函館市（北海道）、富谷町（宮城県）、日高市（埼玉県）、東京都A市、（助）東京都新都市建設公社、厚木市（神奈川県）、寒川町（同）、柏崎市（新潟県）、神戸市、香美市（高知県）、土佐町（同）、福岡市
技術提案の際求めている、業者登録の要件としている（2件）	浜松市、白山市（石川県）
入札証明に提出を求めている（3件）	富士市（静岡県）、扶桑町（愛知県）、北谷町（沖縄県）
指名時に登録票を参考にする（8件）	二本松市（福島県）、茨城県A市、B広域下水道組合（同県）、千曲市（長野県）、あいち電子自治体推進協議会（愛知県）、大阪府、鳥取市、大牟田市（福岡県）
口頭にて配置を求めている（5件）	鶴岡市（山形県）、酒田市（同）、坂東市（茨城県）、波佐見町（長崎県）、菊陽町（熊本県）



写真－1 毎年行われる管路管理技士を対象とした更新講習



写真－2 専門技士の実技試験の様様

管路管理技士シール ができあがりました

編集後記



○今回は管路管理の専門誌JASCOMAが特集方式に変更して2号目です。今回は調査業務特集です。そのほか特別寄稿として「生物の脈動原理を活用した管内乱流摩擦抵抗の低減技術」について東京農業工業大学の岩本薫先生に執筆いただいています。これは心臓から流れる血液が脈動により摩擦抵抗が大幅に減るという原理を工学に応用しようという試みです。

○管路協のオリジナルソングを発表しました。「俺たちの下水道ラップ」です。下水道管路の管理の現場で汗を流す職員の苦労をラップのリズムで刻んだものです。管路協のホームページに歌詞が載っています。6月の総会後の懇親会で披露しました。その様子はYouTubeでご覧いただけます。YouTubeの検索で「下水道ラップ」ですぐに出てきます。「月火水木金土日曜、休まず守ります下水道♪・・・」と明るく仕事を表現しています。一昔前には流行った「おさかな天国」(全国漁業協同組合連合会のキャンペーンソング)のように一般住民にアピールすることを狙っています。近日中にレコーディングし協会のホームページで直接音楽を聴けるようにしようと思っています。

○下水道管路管理技士のシールを近日中に発行する予定です。管路管理技士はヘルメットにそれぞれの区分(専門、主任、専門<清掃、調査、修繕・改築>)ごとの別にデザインされたシールを貼って業務をしていただくことになりました。現場でも確認しやすくなると思いますのでよろしくお願いします。

(篠田康弘)

「JASCOMA」

Vol.17 No.33 (2010)

平成22年8月30日 発行

発行 公益社団法人 日本下水道管路管理業協会
会長 長谷川 健司

編集 公益社団法人 日本下水道管路管理業協会
広報委員会 委員長 竹谷 佳野

〒101-0032 東京都千代田区岩本町2丁目5番11号
(岩本町T・Iビル4階)

電話 03(3865)3461(代) FAX 03(3865)3463
<http://www.jascoma.com> office@jascoma.com
