

1. 圧力チップ(Ver.2)

1.1. 圧力チップとは

- ・ 絶対圧センサ、温度センサ、計測制御回路、メモリ、電池、通信コネクタとで構成されるチップ型データロガ
- ・ 1分(5分)間隔で44(220)日の計測が可能
- ・ 独自のノーズ&テール形状^{PAT.}をもち、動圧下にある流水中の水位計測に適合
- ・ チップは、ばら撒く・置く感覚で設置でき、交換点検はセンサを交換するだけ
- ・ 従来の水位計や流量計に比べ、格段に安価で、これまで予算的に手を付けることができなかった、俯瞰規模の水位スクリーニング調査を実現するために開発された

1.2. 圧力チップ(Ver.2)の仕様

- ・ 圧力検知方式 : ダイアフラム式
- ・ 水位検知方式 : 気圧計と水圧チップとの差圧による水位計算
- ・ 装置構成 : 圧力・温度センサ、制御回路、フラッシュメモリ、電源電池、通信端子、ハウジング、ノーズ&テールキャップ
- ・ 材質 : ステンレス鋼、デルリン樹脂他
- ・ 計測範囲 : 0.05 ~ 10m
- ・ 記録間隔 : 1秒 ~ 255時間 可変
- ・ 検出精度:水圧(絶対圧)・大気圧チップ共
最大±1cm/10m(平均±5mm)
- ・ 分解能 : ±0.6mm
- ・ 電源 : リチウム電池 DC3.6V
- ・ 電池寿命 : 約2年(1分間隔計測)
- ・ 使用許容温度 : -20 ~ 80°C
- ・ フラッシュメモリ : 64,000レコード
1分(5分)間隔で44日(220日)記録可
- ・ 通信規格 : USB、RS232
- ・ 通信速度 : 32,000レコード/3分
- ・ 外形寸法 : φ22.5mm ×240mm

- ・ 重量 : 約200g

1.3. 大気圧計

- ・ ゲージ圧計算用。1箇所/15km 円範囲
- ・ 計測範囲:102.0 ~ 11,215.9 mmH₂O
- ・ 分解能:1.4mmH₂O
- ・ 精度:±20.4mmH₂O
- ・ 気象庁データ(10分間隔)でも代用可能



写真1. 圧力チップ / 大気圧計

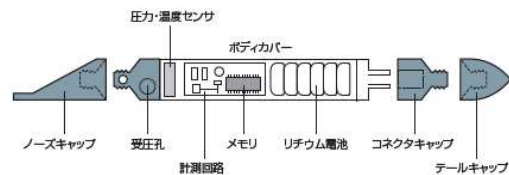


図1. 圧力チップの構造

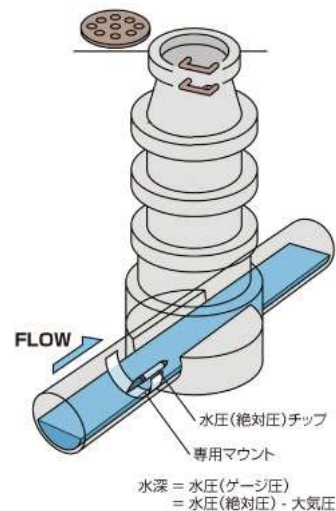


図2. 設置要領

1.4. 水位計測精度について

- 精度の目安：水位スクリーニングが必要とする目的精度は、 $F.S \pm 0.5\%$ *を目安とする
 ※「下水道管きょ等における水位等観測を推進するための手引き（案）平成28年4月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部」p33 に示された、下水道管きょ内等に設置する水位計の統一規格案
- 分解能：濃淡レベルのスクリーニングでは、水位の分解能は $\pm 1\text{cm}$ 程度で良いといわれることが多い。しかし小口径管の水位計測では、 mm 単位の分解能を求められることが多く、圧力チップはこれを満足する 0.6mm の分解能をもっている
- 差圧誤差：水位は、圧力チップと大気圧計の差圧（ゲージ圧）から計算するため、水位計測精度は大気圧計の誤差を加えた合成誤差になる。
 合成誤差は、各精度の二乗和平方根である $\sqrt{(10^2+20.4^2)}=R.S \pm 22.7\text{mm}$ 、 10mF.S の 0.2% で、目安の $F.S \pm 0.5\%$ を満足している
- 水平距離間誤差：水位スクリーニングでは、大気圧計と水圧チップを $1:N$ に配置するため、チップ間の水平・垂直距離による誤差を生じる。約 803m 間の水平間の大気圧差は、実証試験では器差補正および現場オフセット後の値として、最大 6mm 平均 1.9mm （大気圧等高線勾配と風速揺れ依存）で、合成誤差は、 $\sqrt{(10^2+20.4^2+6^2)}=23.4\text{mm}$ で、目安の $F.S \pm 0.5\%$ を満足している。

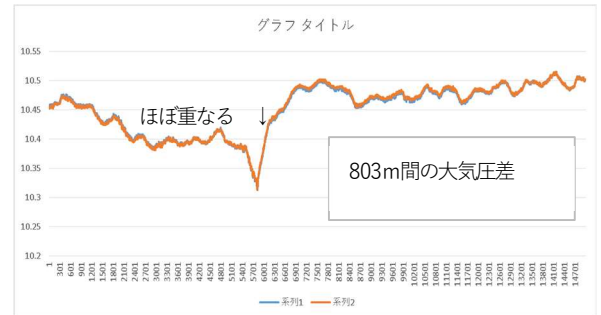


図3 水平距離803m間の大気圧差

- 差圧式水位計との精度比較：
 市販の差圧式水位計（精度 $F.S. \pm 0.1\%/2\text{m}$ ）との比較試験による水位差は平均 $\pm 1\text{cm}$ 程度で、スクリーニング精度を満たす

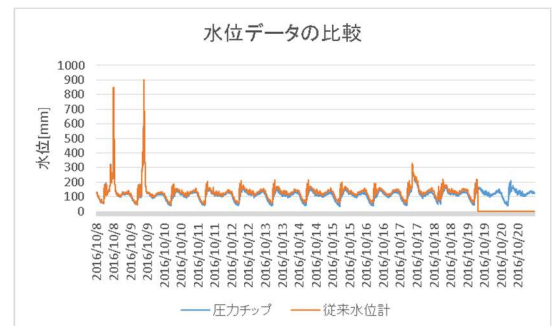


図4 差圧式水位計とのデータ比較

- 圧力チップ・大気圧計高低差誤差：
 大気圧と水圧計測位置の高低差による計測誤差は、地上付近で高低差 1m 当り約 1.27mm だが、実際は実測水位でオフセットするので無視できる範囲。高度差影響が懸念されるときは大気圧計を適宜、増やす
- 動圧影響誤差：
 圧力チップは、流速がある場所で水位を計測するので動圧の影響を受ける
 実証試験および長年の調査実績から、動圧誤差は、プローブ付近の低水位を除き、実測水位によるオフセット調整により無視できる範囲であるけれども、低水位・高流速の射流状態では計測誤差を生じるので計測に用いることはできない。

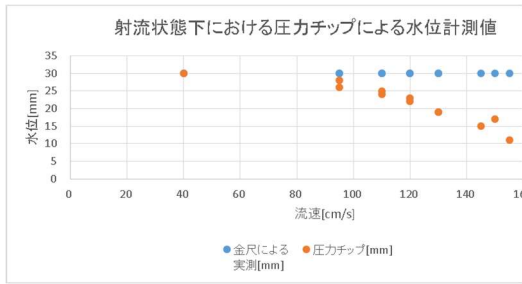


図5 射流状態下の水位計測値

1.4. 収集データとチャート出力

No	Date	Time	Temperature	Pressure(M)
1	2018/8/22	9:00:00	26.062	10.305
2	2018/8/22	9:00:01	26	10.304
3	2018/8/22	9:01:01	25.938	10.307
4	2018/8/22	9:02:01	25.875	10.307
5	2018/8/22	9:03:01	25.875	10.309
6	2018/8/22	9:04:01	25.812	10.308
7	2018/8/22	9:05:01	25.75	10.316
8	2018/8/22	9:06:01	25.75	10.316
9	2018/8/22	9:07:01	25.688	10.316
10	2018/8/22	9:08:01	25.625	10.314
11	2018/8/22	9:09:01	25.625	10.315
12	2018/8/22	9:10:01	25.562	10.317
13	2018/8/22	9:11:01	25.562	10.317
14	2018/8/22	9:12:01	25.5	10.317
15	2018/8/22	9:13:01	25.5	10.317

図7.収集原データ

- 温度影響誤差 : 圧力チップには温度センサが内蔵され、計測圧力の補正に用いられる。一般的な下水の温度変化には追従するが、一部の事業排水などの急激な温度変化には対応できない

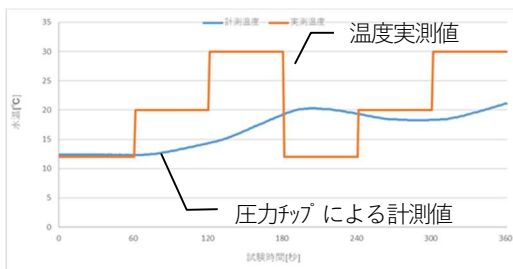


図6 急激な温度変化による誤差

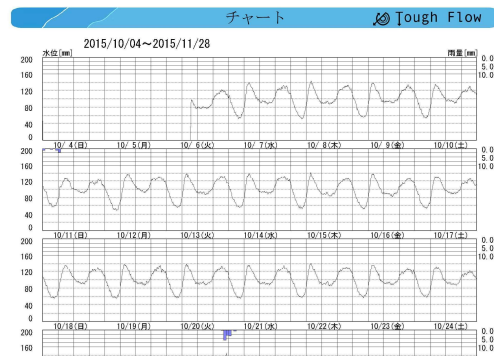


図8.チャート出力

- 精度管理 : 定期的な精度管理は、精密な圧力試験機による比較試験か、浸漬水槽の実測水位による校正に拠っている

2. 水位スクリーニング

2.1. 水位スクリーニングとは

- ・ スクリーニングとは「ふるい分け」のことで、下水道管路施設のスクリーニングは、管路施設の機能不良と劣化を、俯瞰的にふるい分ける作業をいう
- ・ 劣化による機能不良の増加、機能不良による劣化の促進など、劣化と機能不良には相互因果関係がある
- ・ 水位スクリーニングで、水位観測により、管路施設の機能不良区域をふるい分けた結果から、不明水、CSO、SSO、雨水管理、下水熱利用などの、様ざまな対策に用いる

機能不良と劣化

- ① **機能不良**：管路施設の水密性不良、誤接、流下能力不足、計画外変化から生じる、不明水・溢水・滞留・汚損・堆積等の現象
- ② **劣化**：全般的な老朽化、破損・クラックなどの物理的損傷、不陸・蛇行・勾配不良等の外的要因との相乗による不具合

2.2. アセットマネジメントに必要なスクリーニング

- ・ 予防保全(ヘルスケア)による、**リスク管理**(重篤になる前に問題個所を見つける)と、**機会管理**(良いものを無駄に直さない)に必要なスクリーニング(情報収集)は、アセットマネジメントにおける、パフォーマンス管理のコアである
- ・ スクリーニングの規模は、処理区、排水区、工業団地(悪水特定)、開発団地(施設移管)など、調査目的により変わる
- ・ スクリーニングは人に例えれば健康診断である。健康診断であるから一定年齢に達した全ての管路施設が対象で、健康診断と

同じような経済性と迅速性を必要とし、精密検査・治療への経済合理的な展開性が求められる

- ・ スクリーニングはまた、アセットマネジメントに不可欠な、定点観測(モニタリング・ベンチマーキング)計画に、合理的な根拠を与える

アセットマネジメント(AM)

- ・ 管路施設を、ストック(管路施設自体の資産価値)だけではなく、事業としての譲渡や貸与が可能な、管理技術のノウハウや各種サービスコンテンツを含んだ、総合的な証券的価値をもつ資産ととらえて管理すること
- ・ **AM** は、包括民間委託への展開など、事業としての譲渡や貸与の可能性を示す流通性が必要であるため、システム化(アセットマネジメントシステム **AMS**)されている
- ・ 国際的な流通性と公共事業入札参加能力に不可欠な、AMS の国際標準品質認証である ISO55000 シリーズが、下水道分野を中心に国交省主導で推進されおり、仙台市やリーディングカンパニー(日本水工設計、積水化学工業、日水コン、管清工業、水イソング等)で、すでに導入されている
- ・ **AMS** はメタ管理システム(システム自体を再帰評価して資産的価値を上げる経営的手法)なので、スクリーニングをはじめとするシステムコンテンツの仕様は、固定的なものではなく、経営目的に沿って逐次評価され、更新・改良されてゆく
- ・ 圧力チップによる水位スクリーニングは、下水道管路施設の資産価値の向上に資する AMS の診断技術であると認識される

3. 水位観測と流量観測

3.1. 水位観測と流量観測の適用範囲

- ・ 自然流下の下水管路施設では、満管付近で水理挙動が急変し、流下量としての流量計測は精度を保持できない
- ・ 溢水時や浸水時にありがちな、管内滞留時には、流下量の定量はできず、開水路流量計の計測精度も確保できないので、流下量や通水能力の定量は水位情報からの間接計算にならざるを得ない
- ・ 溢水対策に必要な情報は、水位としての満管余裕率や、満管以上の水位変動で、流量情報よりも優先される
- ・ 河川や大規模水路からの溢水・浸水対策でも水位情報が優先され、流量は付随する水理解析から計算されることが多い
- ・ 内水対策も同様で、水位観測がベースであり、これが「水位主義」の所以である
- ・ 自然流下条件下では、せきやフリューム水位から正確に流量を観測することが可能
- ・ マニング公式等の平均流速公式を利用すれば水位から流量を概算することも可能だが、定量精度は担保できない
- ・ 圧力チップによる水位スクリーニングは、水位から問題箇所を濃淡レベルで見つけだすための手法で、正確な水位観測とは次元を異にするが、自然流下状態であれば、マニング公式を実測値で補正する方法により、概算レベルで水位から流量を観測することができる
- ・ 水位調査主体の業務：SSO 対策、雨水管理等の内水や浸水対策関連業務
- ・ 流量調査主体の業務：不明水対策、下水熱、CSO 負荷量調査(水位観測からの流量計算)、事業所排水負荷量調査

3.2. 流量観測の方法

- ・ 流量観測は以下の方法から選択する
 - ① マニング公式による水位を流量変換 大概算レベル
 - ② マニング公式を実測値で補正 概算レベル
 - ③ 開水路流量計を用いる方法 流量観測精度を確保したいとき ただし、滞留状態では精度を保てない

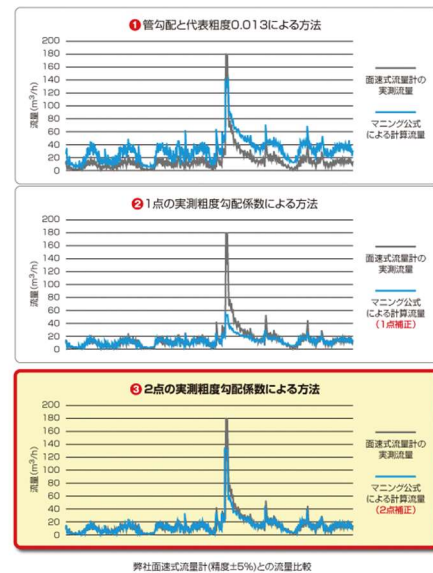


図9 水位-流量変換フロー

3.3. マニング公式による水位・流量変換

- ・ 水位データを、流量表の管径・管勾配 (= 動水勾配)・粗度係数の代表値とマニング公式を利用して流量に変換する
- ・ 粗度係数の代表値や管路勾配は、厳密なものではなく、計測精度は目安レベルである
- ・ とくに微小流量や満管付近および満管以上の水位からの流量精度は期待できないので、簡易・目安・限定レベルで用いる

3.4. マニング公式を実測値で補正する方法

- ・ 実測した水深と流速分布(平均流速)から、粗度勾配係数を計算し、マニング公式により流量に変換する方法
- ・ 代表粗度と計画管勾配を使った方法より流量精度が期待できる
- ・ 実測は頻度の高い時間帯や深夜(常時浸入水の定量精度が必要なケース)など、調査目的に合致する時間帯を選ぶ

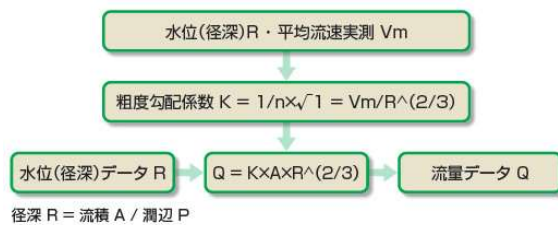


図9-1 水位-流量変換フロー

- ・ 2019年以降の現場知見から、図9-2のように、粗度勾配係数が変化するものが散見されたため、図9③2点の粗度勾配ケースによる方法では、精度が保てないケースがあることが判った
- ・ 今後、水位からの流量計算には、マニング公式ではなく、原則、面速式流量計で1日程度、水位と平均流速を実測して得た水位-流量関数をもとにする

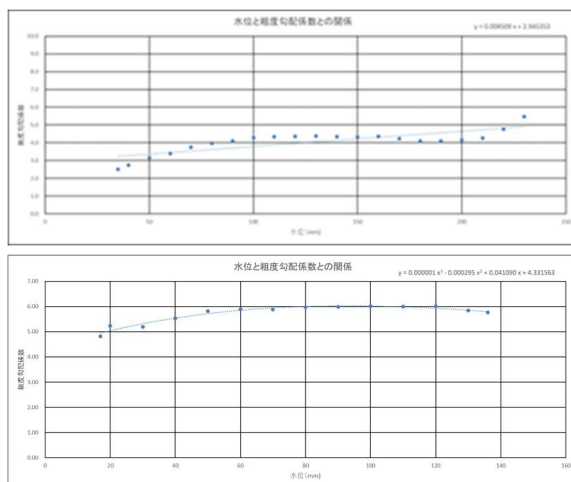


図9-2 変化する粗度勾配係数

3.5. 開水路流量計を用いる方法

- ・ マニング公式(実測値補正)以上の精度を期待するときは、開水路流量計による流量調査を行う
- ・ 開水路流量計は、管径・流量・人孔内状況により、精度確保に適合する流量計測方式を選定すること
(表1.計測方式比較表を参照)
- ・ 小口径管の流量計測ではワンタッチ流量計による方法が経済的である



写真2.ワンタッチ流量計

3.6. 流量変換(観測)は全部ではなく必要なだけ

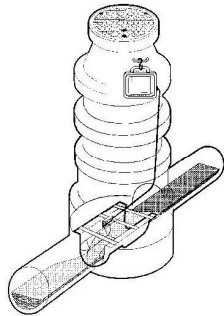
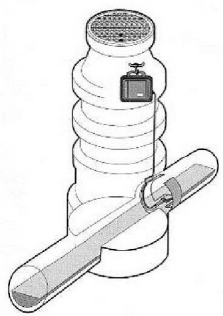
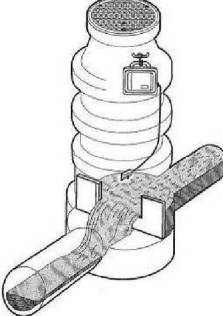
- ・ 流量への変換は、水位スクリーニングで絞り込んだ区域に限定することが、経済合理的である
- ・ 雨天時浸入水区域の絞り込みの例として、水位スクリーニングにより、
 - ①晴雨天時時間最大・最小・平均水位比
 - ②対象降雨日降雨強度と満管余裕率比
 を、評価して、不明水の区域の濃淡を特定した後、絞り込んだ問題区域を対象にして、流量変換または流量調査で、
 - ①雨水混入比
 - ②浸入水量
 - ③下水熱負荷量
 等により評価する

3.7. 水位から計算される流量の実用精度

- ・ マニング公式を利用した計測水位からの流量計算精度は、ラフなスクリーニングレベルにとどまり、これをもって不明水対策における定量評価や、合流改善における負荷量計算、流下水量の定量に用いることは困難である
- ・ その理由は、インバート部で水位を計測する場合、インバート部での管勾配変化、インバートを超えると水路が急拡になって水理条件変化、接水部に発生するスケールの影響などがあるため
- ・ チップ径 $\phi 22.5\text{mm}$ +マウント厚を考慮した3cm以下の低水位では、計測不可
- ・ 円形管渠内調査では、現場知見から3cm水位でも堆積やセンサ自体の影響を受けた波立ちがあり、5cm以上の水深が望ましい
- ・ 5cmの水深があっても $\phi 300$ 以下の小口径管ではセンサ自体が流れを邪魔することがあるので、低水域主体の小口径管は推奨できず、 $\phi 350$ 以上の中・大口径管以上を計測対象とすることが望ましい
- ・ 計測水位から流量計算を求められることは多く、簡易計算で精度に関する懸念をおえてから計算を承ってきたが、それでも計算流量値が独り歩きしがちであった
- ・ 実験水路で流速分布を異なる水位で実測し、粗度勾配係数を定数ではなく変数にして水位から計算した流量は、面速式流量計に近い精度を確保できるが、実際の下水管路では、さまざまな理由で精度を確保できないことが分かった
- ・ 詳細は、別資料の「水位調査から計算される流量の実用精度」を参照されたい
- ・ 知見を経て、水位のまま簡単に評価できることは安価な水位調査に任せ、定量評価

を必要とするケースは流量調査を用いるのが賢い選択であることが明確になった

表1.流量計測方式比較表

方式	PB フリューム式	水位-流速式	せき式
目的	①雨天時浸入水の定量		
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	PB フリューム式や水位-流速式では計測が困難なケースに対応
測定原理	PB フリュームは、水路の一部を絞って限界流を発生させる装置で、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	せきは、水路の一部をせき止めて限界流を発生させる装置で、せきを越流する水位が流量の関数になることを利用した方式
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超音波ドプラ式流速センサ ③水位-流速乗算型流量計	①せき(主に四角せき) ②超音波式水位センサ ③水位-流量演算型流量計
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 ③30年以上の実績があり、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ローム式より有利 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	①せき止め越流で計測可能な、上流側条件(低水位、射流、曲がり、段差、合流、満管流等)に対応 ②フローム式や水位-流速式では計測が困難なケースに、次善の方法として検討する ③簡易な方法から厳密な方法までJISで規格化されている
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ロームの設置が困難で、フローム本体費用や設置費用が嵩む ③通常、合流や曲がり、段差のないマンホールインバート部分に設置するため、フロ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、フロ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	①上流に堆積が生じやすく、頻繁なメンテナンスを必要とする ②三角せきは切り欠きに浮遊物が引っかかりやすい ③せき上げにより、汚物が溜まるため流量変化が鈍る ④上流側の水密性不良箇所で漏水することがある ⑤小流量時、越流(ナップ)不良で精度が低下することがある ⑥設置に時間を要する
計測参考図			
備考	① 3方式から、現場条件に適合するものを選定する ② 準ずる方法として、河川測量で用いられる、水位-流量検量線法がある		

流域接続点管理

4.1. 流域接続点の水位スクリーニング

- 流域負担金に関わる調定水量は、流域関連公共下水道の管理上、悩ましく、資産管理上看過できない問題である
- 流域下水道接続点は、処理区規模で数か所から数十か所あって、その形態は、
 - ① 流量計設置箇所
 - ② フリュームのみ設置箇所
 - ③ 計測用人孔のみ設置箇所
 など、様ざまである
- 流域接続点の多い自治体では、流量計を全箇所に配置しているところは少なく、されているとしても諸事情により、流量検針量による調定水量決めはほとんど為されていないのが実情である。
- 接続点数の多い流域からは、処理場流入量不明水対策を兼ねて、実態を確認したいという要望が多かったが、経済的な理由で実施されてこなかった
- この問題は、全流域接続点を対象にした、圧力チップによる水位スクリーニングにより問題を解決することができる
- 流域管理者より、水位スクリーニングとポンプ場排出量による自治体単位の不明水スコア管理で不明水削減を推進する、実務的な提案が為されている

4.2. 流域接続点流量の定量方法

- 流域接続点の流量定量方法は次の通り
 - ① 観測水位からの流量変換
(マニング公式実測値補正)
 - ② フリューム水位からの流量変換
 - ③ 既存流量計データ利用(実測確認含む)
 - ④ 開水路流量計による流量調査

- ⑤ 処理場・ポンプ場の揚水量データ利用
 - 処理場付近の管内貯留エリアでは、流入流量の定量は不可能で、どのような方法を用いても定量精度は確保できない。
 - 測点を変更できないのであれば解析データから管内貯留期間を外す

4.3. 流域接続点の定点モニタリング

- 水位スクリーニングの結果をもとに、必要な定点モニタリングを計画することが合理的である
- 定点モニタリングの方式としては、土木・電気工事が不要で、短期間で設置が可能なマンホールステーション方式が経済的である
- ネット監視は、通信インフラの発達と軌を一にするが新しい小電力無線規格など、多様な選択が可能になってきている

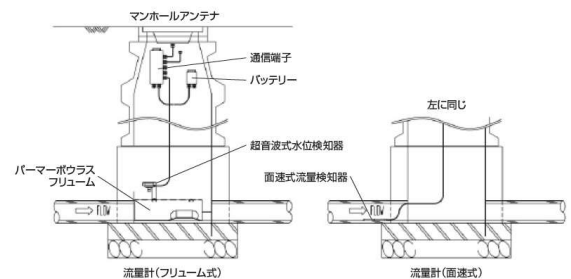


図10.マンホールステーション模式図



写真3.マンホールアンテナと設置状況

※マンホールアンテナシステムは、
日之出水道・明電舎・
東京都下水道サービスの特許です

5. 不明水対策

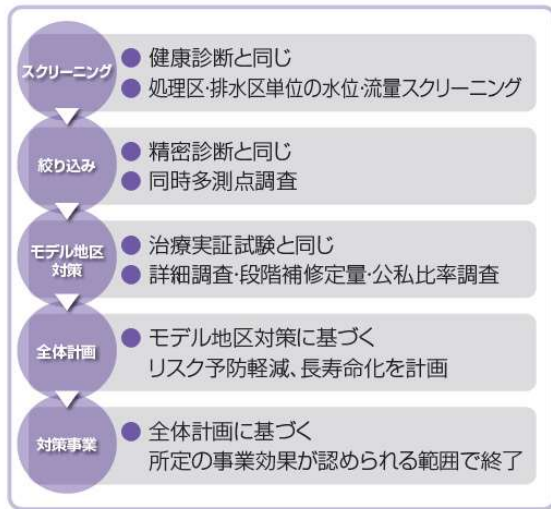


図 11 .スクリーニングから展開する不明水対策フロー

5.1. 俯瞰規模の不明水スクリーニング

- ・ 俯瞰規模の不明水調査は、経済的理由で、これまでほとんど実施されていない
- ・ 多くの自治体からは、濃淡レベルで良いから、不明水をマップ俯瞰できる情報がほしいというご意見を承っている
- ・ 水位スクリーニングの計測単位規模は、年次改善規模より小さくし、処理区規模の調査箇所数は、数十～数百か所の同時観測が、同一条件評価という点で合理的である
- ・ 圧力チップによる水位スクリーニングの単価は、従来の流量調査の 1/5～1/10 以下で、俯瞰レベルの不明水調査に対応する

5.2. 水位スクリーニングによる不明水評価^{PAT}

- ・ 水位スクリーニングでは、1分間隔以上のデータを時間値に整理して、時間変動値の最大・最小・平均比較により、日単位で不明水を簡易評価する
- ・ 調査期間を、①～⑤に区分して評価する
 - ①除外日(欠測・不良データ)
 - 欠測・データ不良・事情不明データは皆無にできないので、解析対象から最初に除外する
 - ②対象降雨日(降雨量・降雨強度指定)
 - 雨天時浸入水を評価するための区分。降雨強度と満管余裕率、溢水余裕率も、この区分の時間最大水位を当てて評価する
 - ③降雨後影響日(日数指定)
 - 浸透浸入水を評価するための区分。分流式下水道では、取付管と支管部対策に対応する。合流式下水道では、処理場運転管理コスト縮減に資す不明水対策に対応する
 - ④晴天日(降雨量指定)
 - 晴天が続いた日のわずかな降雨量は、浸入水に影響しないので、必ずしも 0mm/日である必要はない。必要な晴天日が確保できないときも、チャートから判断して晴天日相当に区分する場合がある
 - ⑤対象外日(解析対象から外れる日)
 - ①～④以外。解析対象から除外する

不明水スクリーニング(簡易水位評価^{PAT})

降雨対象日・降雨影響日・晴天日の時間最大・最小・平均水位と管径比から、不明水を濃淡レベルで評価します。

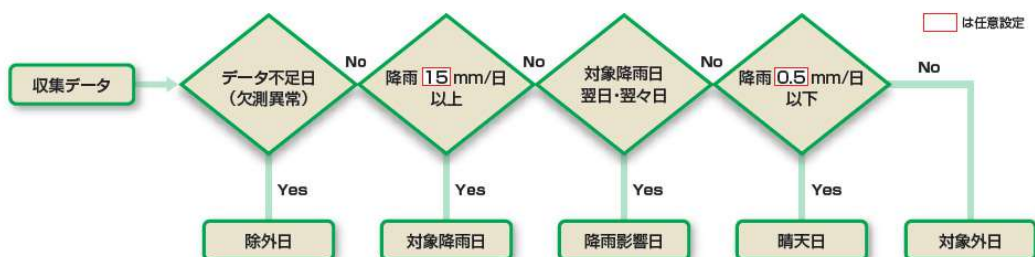


図 12 .水位による不明水の簡易評価フロー

5.3. 変換流量による不明水評価^{PAT}

- ・ 水位スクリーニングから、3.1~3.3の方法により流量に変換できる。
- ・ 変換流量から日量単位で
 - ①雨水混入比、②原単位評価、③浸入構成比、④浸入強度、⑤原単位評価、⑥パレート解析などができる
- ・ 常時(地下水)浸入水の定量法として、圧力チップの温度データを利用し、深夜の特異値ではない最低温度時の流量を、常時浸入水とみなして定量する

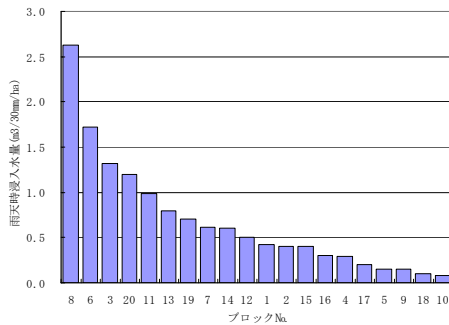
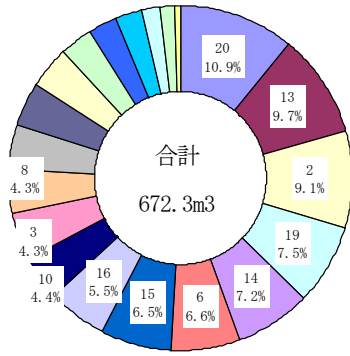


図13.① 浸入水の絶対量/単位量評価

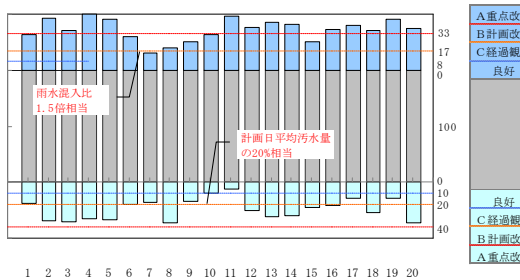


図13.② 原単位評価

5.4. 不明水対策区域の絞り込み

- ・ 水位スクリーニングによる、濃淡レベルの俯瞰から、必要に応じて、濃い区域だけを対象に、流量調査による更なる絞り込みと順位評価を行う

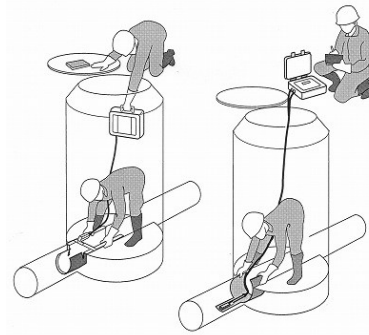


図14. ワンタッチ流量計による流量調査

- ・ スクリーニングもしくは、更なる絞り込み調査の結果を受けて、①順位評価、②用途別住居区分、③建設年度などを勘案し、モデル地区を単数または複数、選定する

5.5. モデル地区対策

- ・ 選定されたモデル地区を対象に、不明水を定量しながら対策を行う
- ・ **詳細調査**は、部位毎の改善箇所を特定・計数するために行うもの
- ・ 部位ごとの段階補修定量により、部位ごとの削減不明水量、調査費、工事費実費から、事業効果を定量する

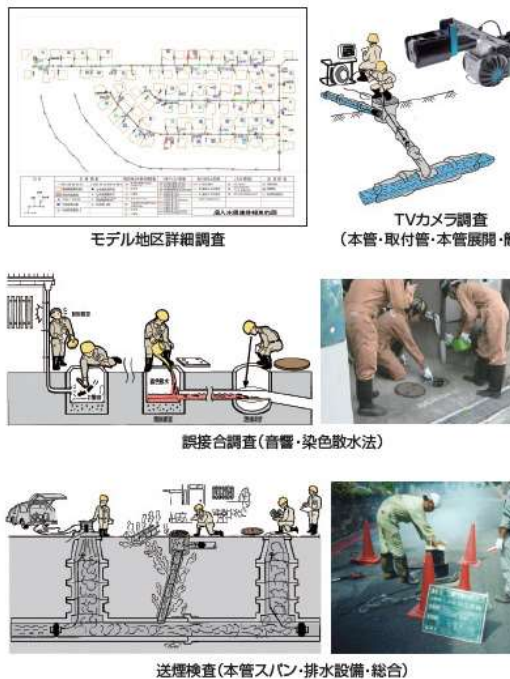


図 15.調査結果模式図と各種詳細調査

5.6. 総合プランの策定

- ・ モデル地区対策の結果から、効果的な詳細調査と対策工事の組み合わせによる、全体計画を策定する
- ・ 顕著な事業効果が認められる範囲で対策を実施することが原則
- ・ モデル地区とは異なる結果が生じる場合、必要に応じて詳細調査を追加する
- ・ 詳細は、コンサルタントマターなので割愛

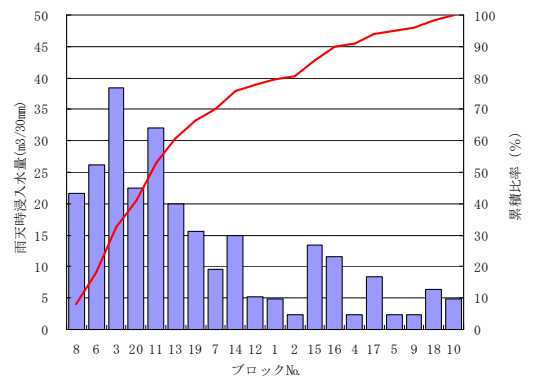


図 16.単量順位に基づくパレート評価

6. 合流式下水道雨天時越流水対策

6.1. 残された課題

- ・ オイルボールの解消など、緊急対策事業としての CSO(合流式下水道雨天時越流)対策は、目に見える形で顕著な成果を収めている
- ・ しかし依然として、雨水吐きからの放流の実態(降雨強度と放流量・放流負荷量の、定量的な関係)は知られていない
- ・ 降雨初期負荷量調査も、手汲み採水による水質調査が主で、定量ベースの負荷量調査としては改善の余地がある
- ・ 放流(越流)負荷量定量システムとして、流入管と遮集管の差分流量から流量を計測する流量計と、自動採水器の連動システムの納入実績があるけれども、主に経済的理由で普及しなかった

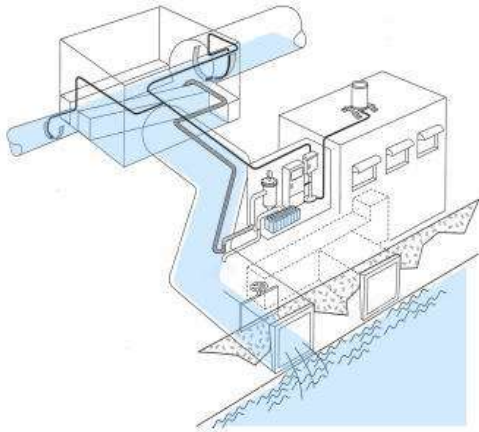


図 17. CSO モニタリングシステム

6.2. 水位スクリーニングによる越流量計測

- ・ CSO スクリーニングは、圧力チップによる水位スクリーニングを、雨水吐き放流量計測に応用したもの
- ・ 越流せき上流 2 か所(流入渠および遮集渠付近)に圧力チップを仮設し、計測水位 h の 2 か所平均と堰長 B から、**フォルヒハイマーの式**等を利用して流量計算する(水理公式集 発電編 横越流堰)

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = 1.9018 \times B(\text{m}) \times h(\text{m})^{3/2}$$
- ・ JIS k 0102 の溢れ口への適用にある、**フランスの全幅堰公式(係数 1.84)**を適用しても、上式とは 3 ポイント程度しか変わらないので、スクリーニングレベルではどちらを適用してもよい
- ・ 経験的な計測精度は、F.S.±10~20%程度
- ・ L 字形せきなど、流量式の適用に問題があるケースもあるけれども、俯瞰・濃淡レベルの越流情報を得る目的には適合し、降雨初期負荷量調査の前段調査として位置づけられる



写真 4. CSO スクリーニング

6.3. 自動採水器ベースの降雨初期負荷量調査

- ・ 雨水吐きの降雨初期負荷量調査では、降雨があっても越流しない、越流してもすぐに中断するなど、いわゆる空振り作業の比率が高く、ビジネスとして難しい側面がある
- ・ 自動採水器の信頼性にも問題があり、人海調査から脱せないでいる現状がある
- ・ 対応としては、現場の空間的、揚程的制約があるので現場稼働試験を前提とするが、越流水位検出をトリガーとするプログラム採水コントローラと、空振りを見込んだ複数の自動採水器の組み合わせにより、問題が解決できる可能性がある
- ・ 自動採水器のトリガー水位決めのために、圧力チップを使った、雨水吐き人孔の水位計測を推奨する

採水コントローラの動作手順

- ① 採水開始トリガー：水位またはポンプ吐出接点入力
- ② 越流水位の範囲にあるとき、コントローラから、自動採水器へ設定プログラムにより採水信号を出力
- ③ 空振り(不完全採水)になった時は、自動採水器1台単位でプログラムを終了
- ④ 回収を待たず、越流が生じた時は次の自動採水器を稼働する



写真5. 水位トリガーによる自動採水システム

7. 分流式下水道雨天時越流水対策

7.1. 調査の現状

- ・ SSO(分流式下水道雨天時越流水)問題は、マンホール溢水やトイレの逆流、汚水処理場の雨天時過負荷などの現象により、1006/1553(65%)の自治体や、被害住民によって広く認識されている
- ・ SSO は雨天時浸入水が根本原因だが、溢水などの現象は、管路施設の流下能力不足と重なって生じることが多い
- ・ 国の施策として、2003年、下水道機構から「雨天時増水対策計画の手引き(案)」が発刊され、緊急対応としての実効性が高い管路施設の増強による溢水解消を中心とした対策が実施されてきた
- ・ 主要下水管路2・3箇所流量を調査し、雨天時浸入水を雨水とみなす方法で、流出解析モデルにあてはめる
- ・ 施設増強(拡径・バイパス・貯留池・ポンプ増設等)シミュレーションにより流下能力不足による滞留溢水等を解消する計画を策定する

7.2. 水位スクリーニングによるアプローチ

- ・ 圧力チップを使った水位スクリーニングにより、溢水人孔に連動するルート単位の水位変動を時系列で定量できる
- ・ 合流や曲がりの影響など、実態に即した細かい流出解析に適用できる可能性が高い
- ・ 拡径・バイパス増設・ポンプ増設等の、施設増強後のパフォーマンス検証へも適用できる

7.3. 不明水スクリーニングと流出解析を用いる方法

- ・ 30か所以上の同時流量調査とコンサルタントの流出解析業務を組み合わせた施設増強提案により、顕著な浸水改善がみられた事例がある
- ・ この経験から、水位スクリーニング(流量変換)による不明水スクリーニングと、雨天時浸入水を雨水に見立てた流出解析によるSSO対策の有効性がうかがえる

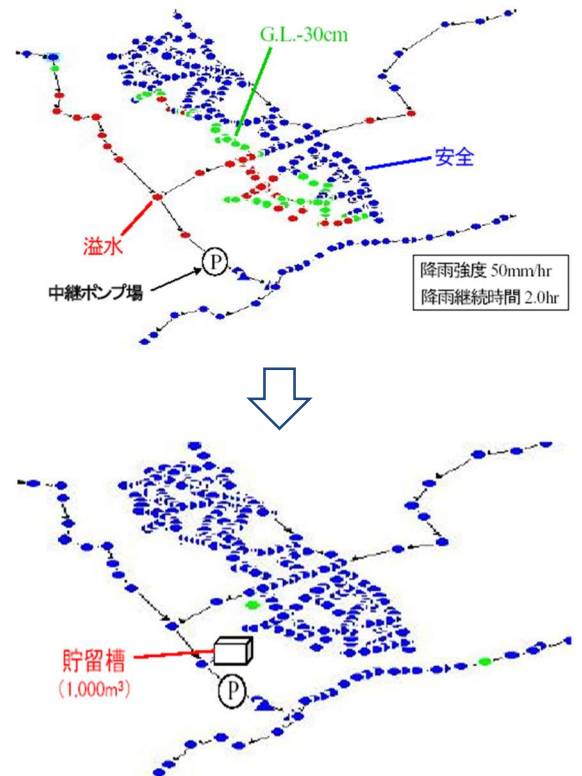


図18. 流出解析をもとにした施設増強

7.4. 緊急避難管対策

- ・ 緊急避難管対策では、流量を計測する必要はなく、圧力チップを使った水位調査が有効である
- ・ はじめに圧力チップを緊急避難管と付近の既設污水管に仮設し、水位データから緊急避難管の使用実態を調べる
- ・ 確認された未使用避難管は、閉塞する
- ・ 確認された使用緊急避難管は、使用頻度の軽減対策と下流ボトルネック解消対策を行い、事業効果を判定する
- ・ 軽減対策としては、避難管流入口にL型管を接合して、越流水位を嵩上げし、使用回数が減るかどうかを確認する
- ・ 下流ボトルネック解消対策は、ボトルネックマンホールの特定制と、既設污水管から特定污水管へのバイパス管設置による
- ・ 対策に当たっては、バイパス工事と同時に、既設污水管、特定污水管、緊急避難管、放流先雨水管、ボトルネックマンホール、バイパス管の水位を圧力チップで計測し、ボトルネックの軽減または解消が確認された時点で、緊急避難管の閉塞または嵩上げを実施する

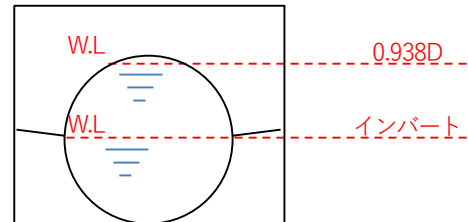


写真6. 緊急避難管 (朝日新聞ニュースより)

7.5. 溢水危険域の絞り込み

- ・ 水位データだけでも、SSO および雨水管理対策に有用な溢水危険度を簡易に判定することはできる
- ・ 判定の基準は、水位がインバートを超えるかどうか、最大通水能力の水深を超えるかどうか、下流影響を受けて滞留水位になるかどうかなどである
- ・ 最大通水流量の管径比は、管の形状により異なるため、水位からの判定ではこれを考慮すること
- ・ 対象となる計画降雨量や降雨強度が、調査期間中に再現される可能性は低いので、推定的に評価できるデータを収集する必要がある

[小口径円形管の例]



- ・ インバートを越える水位は、計画以上の流下量があるレベル
- ・ 0.938D を越える水位は、満管・溢水の危険性が高い
- ・ 水位が滞留パターンを示し、かつ水位がインバートを越えて高い場合は、満管・溢水の可能性が高い

7.6. 流量比率による溢水危険度の簡易評価

- ・ 水位スクリーニングから、マンニング公式の水位流量比率を利用して、溢水危険度を満管流量余裕率で評価することが可能
- ・ この方法によれば、満管流量に対する余裕率で簡易に評価することができ、経済的に面的な SSO 管理マップを作成することができる
- ・ 但し、精度は高くないので、定量的な扱いではなく絞り込みに限定する

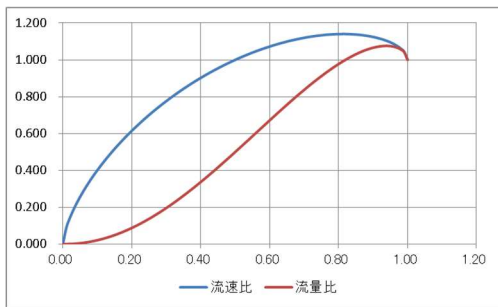


図 19. マンニング公式を利用した満管余裕率計算

表 2. 水位流量比計算表の例

計算(満管を1とした水深比→流積比・流速比・流量比)		
諸元	計算式	数値
水深比	H/D	0.939
水面角 θ	$2 * \arccos(1 - 2H/D)$	5.284928107
流積比	$(D^2/8 * (\theta - \sin \theta)) / (\pi (D/2)^2)$	0.974896629
径深比	$(D/4 * (1 - \sin \theta / \theta)) / (D/4)$	1.159042479
流速比	径深比 ^(2/3)	1.103399803
流量比	流積比 * 径深比 ^(2/3)	1.075700749

8. 雨水管理

8.1. 背景

- ・ 地球温暖化・日本列島の亜熱帯化・都市化(ヒートアイランド現象)による、降雨強度の増加、舗装化に伴う雨水浸透率の低下(雨水流出率の増加)により、内水・浸水被害が深刻な状態になってきている
- ・ 国の対策として、雨水管理総合計画策定ガイドラインをはじめとする、内水・浸水対策に関するガイドラインが示された
- ・ 下水道浸水被害軽減総合計画策定マニュアル(案)では、対象降雨・外水位の設定をもとにした内水ハザードマップの作成、事業実施と評価に必要な下水道管渠内水位等の観測と蓄積の推進が示されている

8.2. 下水道管渠内水位等の観測と蓄積

- ・ 下水道管渠内水位等の観測は、周知下水道制度に資する常時観測が原則である
- ・ これは、浸水危険警報などの予防保全、内水ハザードマップの作成・更新などのリスクマネジメントに由来する
- ・ 水位スクリーニングによる、下水道管渠内水位の面的把握は、内水・浸水の危険度をシミュレーションするとき、詳細な面情報を提供するもので、より実態に即したハザードマップ作成に寄与する

8.3. 管路施設増強対策の検証

- ・ 水位スクリーニングは、増径、バイパス・ネットワーク、浸透・貯留施設、ポンプの増設などの管路施設の増強、タイムライン式の対応計画や事業検証にも適用できる

8.4. 雨水関連のモニタリング調査

- ・ 雨水流出抑制・貯留施設の性能評価として
圧力チップを使った施設と付近管渠の水位
計測と流量観測が経済的
- ・ 人孔蓋飛散内圧の定量
- ・ 内・外水連動水位観測：外水影響による内
水変動調査

8.5. スクリーニングから定点モニタリングへ

- ・ 水位スクリーニングの結果は、水位モニタ
リング調査および定点モニタリングの位
置や箇所数の決定に役立つ
- ・ 溢水対応の水位モニタリングは、ゲージ圧
式水位計が空中超音波式に比べて有利
- ・ 溢水しないケースでは、維持管理性能から
空中超音波式などの汚水と非接触な計測
方式が有利
- ・ 定点モニタリングでは、通信インフラの進
化に合わせて、経済合理的な方法を選択す
る

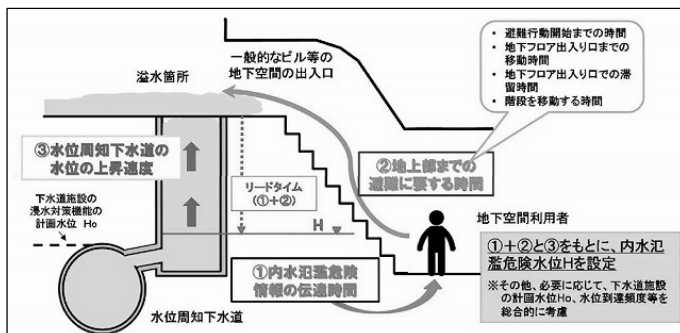


図 20. 内水氾濫危険水位の概念図

出典：水位周知下水道制度に係る技術資料（案）

H28.4 国土交通省水管理・国土保全局下水道部

9. 下水熱利用

9.1. 構想段階の熱源調査

- ・ 構想段階の熱源調査は、「採熱地点における既存の流量計測データの活用」や、「既存の流量データに基づく流量推計」など、実測以外の方法が主である
 （「下水熱利用プロジェクト推進ガイドライン(案)」平成26年 国交省）
- ・ 構想段階でも可能であれば、熱負荷量をスクリーニングができることが望ましい
- ・ すでに推計されたデータや下水熱詳細ポテンシャルマップがある場合、温度・水位スクリーニングによる FS 調査を兼ねた検証が有効である

9.2. FS（事業化）調査段階の熱源調査

- ・ 圧力チップを使った水位スクリーニングでは、1分毎の水位と温度を計測できるので、下水熱負荷量分布調査に適用できる
- ・ 水位データからの流量計算は、3.3. マニング公式を実測値で補正する方法を参照
- ・ 細かい熱負荷量計測により、降雨・融雪・大規模温浴施設影響など、下水熱利用の現場適合を判定し易い。ただし温度変化が激しい排水では別途水温計測が必要である
- ・ 流量精度に厳密を期すばあいは、フリューム式や面速式の流量計を用いる

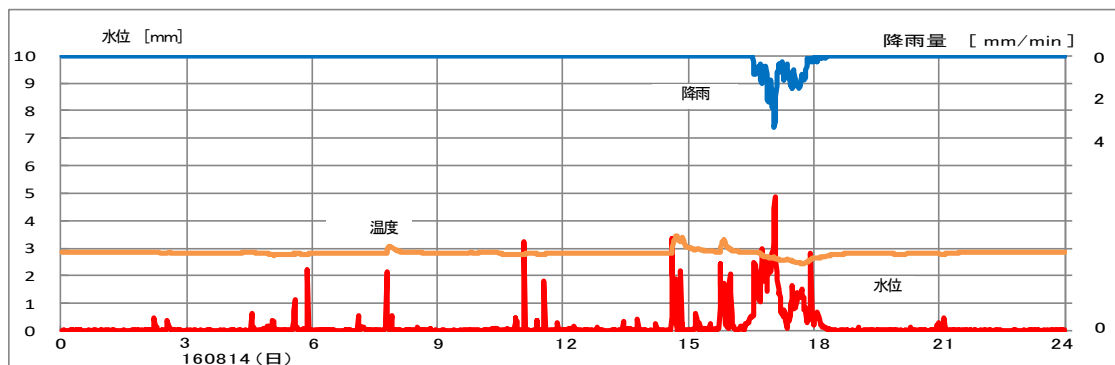


図 21. 降雨量・温度・水位グラフ

10. 事業排水管理

10.1. 悪水スクリーニング

- 工場・事業所下水の排除基準を上回る、水質が観測されたばあい、悪水として発生源を特定する必要がある
- 発生源の特定と同時に、排出流量が届け出排水量区分を順守しているかどうかを調べる必要もある
- 圧力チップによる水位スクリーニングは、水位と温度の時系列変化を同時に計測できるので、濃淡レベルの排水マップの作成と発生源の絞り込みに適用できる
- 発生源の特定は、通常の水位・温度パターンからの乖離を探るもので、必要に応じて異常なものが見つかったルートを辿って発生源を特定する
- 大規模事業所で複数の排水口があるばあい、圧力チップによる水位スクリーニングによる前段調査が有効である
- 水位と温度だけでは特定し難いケースでは、電気伝導度チップを組み合わせる方法がある

10.2. 事業所内不明水

- 大規模事業所の下水排出量が、届け出排水量よりも大幅に多いケースでは、恣意的な排水でなければ、事業所内不明水の可能性が高い
- 広域な大規模事業所の不明水は、圧力チップを使った水位スクリーニングにより濃淡分布を調べたのち、誤接、送煙、注水、カメラ検査などの詳細調査で発生源を特定し、改善工事と改善効果定量調査を行う

10.3. 下水道使用量認定と流量精度管理

- 事業所の下水使用料が、水道使用量で認定されており、かつ明らかに下水道排出量が水道使用量より少ないと推定される業種では、排水流量計を新たに設置し、その検針値で下水使用量を認定することが、自治体協定により行われるケースがある（ホテル、病院、大型スーパー、スーパー銭湯、特定事業所等）
- このケースでは、取引用計器としての精度管理が必要で、弊社ではトレーサビリティのある基準流量計との比較精度試験と、汚物流下や波立ちを再現して検定している



写真7. 基準流量計 OP テストラボ全景

- 圧力チップは調査用で、公共枥(卵形フリーウム式)や、人孔(小口径管用 PB フリーウム式)で用いる
- 定置型流量計用としては、面速式流量計を含めて、ゲージ圧タイプの圧力センサを用いる

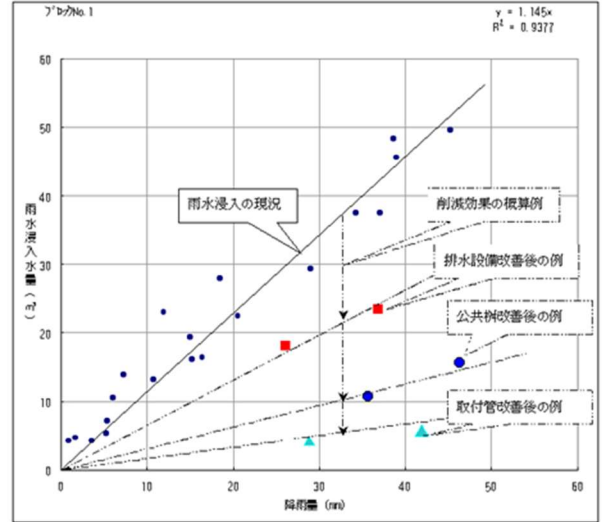


写真8. 排水流量調査(卵形フリーウム式流量計)

11. 更生工事のためのモニタリング

11.1 工事前確認調査

- この調査は、作業対象管路を流下する下水の、水位、流速(流量)を計測して、
 - ① 更生工事工法の適用確認
 - ② 作業安全性と作業可能時間帯の確認
 - ③ 水替え仕様決め
 を行うもの
- 面速式流量計を用いる方法が一般的だが、経済的な方法として、圧力チップによる水位計測と、簡単な流速計測との組み合わせがある
- 具体的には、「3.3. マニング公式を実測値で補正する方法」により、最大流量と最大流速を計算する
- ただしこの方法では、滞留後の水位低下、いわゆる引き水の流速は定量できないので、その可能性があるばあいは、面速式流量計を用いること



11.2. 浸入水削減効果確認調査

- 更生工事による、浸入水削減効果の定量は、水位計測とマニング公式に拠る流量計算では、精度を担保できないので、開水路流量計を用いること
- 中・大口径管は面速式、小口径管はフリーウム式流量計を用いることが一般的ある
- 常時(地下水)浸入水は管径に比して、非常に低水位(小流量)であることが多いので、更生工事区間の削減浸入水量の定量では、管径に関わらずPBフリーウムによる定量が望ましく、深夜流下量に合わせてフリーウムサイズを決定する

(対象規模: 2.5ha, 798.59m, 99戸)					
#	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
補修段階	接続樹ライン	取付管ライン	開閉数設置	未使用管閉塞	接続改善
部位	接続樹	取付管	排水設備		
全数N	96	118	99		
改善数n	65	51	31	14	10
全数比%	67.7	43.2	26.3	11.9	10.1
単価¥	42,000	99,000	250,000	130,000	105,550
合計	2,730,000	5,049,000	7,750,000	1,820,000	1,055,500
費用A	2,730,000	14,619,000	1,455,500		
検査項目	接続樹注水試験	取付管圧気試験	本管IV	排水設備調査	
数量	68	58	798.59	99	
単価	4,648	9,486	1,118		8,730
合計	316,064	550,188	892,824		864,270
費用B	316,064		1,443,012		864,270
改善+検査	費用A+B	3,046,064	16,062,012		2,319,770

削減水量C	m³/m	0.174	0.284	0.272
単位雨水浸入水量比	A/C	15,689,655	51,475,352	5,351,103
1箇所あたり	A/C/N	163,434	436,232	54,052
単価	(A+B)/C	17,506,115	56,556,379	8,528,568
1箇所あたり	(A+B)/C/N	182,355	479,291	86,147
排水設備を1としたときの費用対比		2.1	5.6	1.0

削減率D	比率	15.2	24.8	23.8
改善	A/D	179,605	589,476	61,155
1箇所あたり	A/D/N	1,871	4,996	618
改善+検査	(A+B)/D	200,399	647,662	97,469
1箇所あたり	(A+B)/D/N	2,087	5,489	985

図 22. 段階補修定量グラフと事業効果定量表

12. 貯留管・貯留施設調査

12.1. 新設貯留管の機能確認

- ・ 圧力チップを配置するだけで、簡単に貯留実態を定量できる
- ・ 圧力チップによる方法は、ケーブルレス、小型ハンディ、低コストで、調査に最適である
- ・ 貯留量は、圧力チップによる複数の計測水位と貯留管形状から計算される
- ・ 圧力チップは、貯留管の起点・終点・中間点で、深さ10m毎に配置される

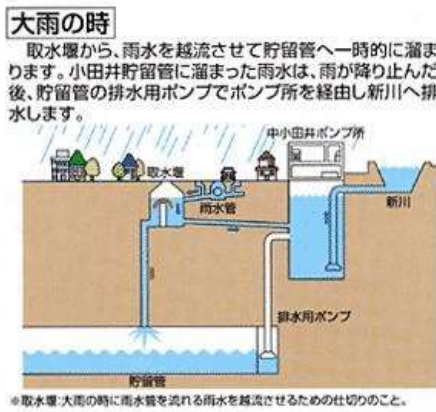


図23.雨水貯留管の例

(名古屋市 新川総合治水対策協議会資料より)

(貯留管の参考例で、弊社調査実績とは関係ありません)

12.2. 貯留管・貯留施設水位計の設置箇所選定

- ・ 圧力チップによる水位調査で、水位変動状況を予め確認し、設置箇所を選定する

13. 人孔内地下水位調査

- ・ 人孔内の管頂よりも低い位置に横穴を穿ち、導水して圧力チップで地下水位を計測するもの

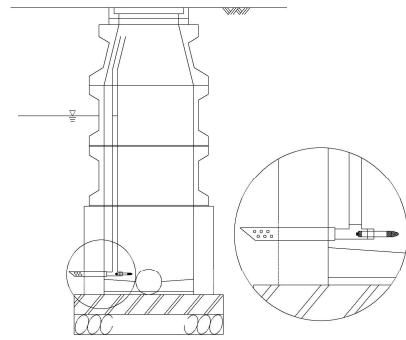


図24. 圧力チップ地下水位計

- ・ 常時浸入水分布調査に付随して、常時浸入水の内訳が地下水位であることを確認する
- ・ 水密性と管頂地下水位との相関を調べることがある
- ・ 地下水位マップや地下水位等高線作成に用いることができる

以上