

第4章 調査・解析手法

第1節 調査・解析手順

§15 調査・解析手順

調査・解析は、以下に示す通り、段階的に実施する。

- (1) 水位計と絞り込み AI による絞り込み
- (2) ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による絞り込み

【解説】

調査・解析は、(1) 水位計と絞り込み AI による絞り込み、及び(2) ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による絞り込みの2つに分類される。

まず(1)では、雨天時浸入水の発生が予想される区域に対して、水位計を設置するための事前準備、現地調査を通じ得られた流量データの解析を行い、対策優先度の高い小ブロック(数ha)を絞り込む。

次に(2)では、対策優先度の高い小ブロックに対して、ラインスクリーニングを実施するための事前準備、現地調査によって得られた下水温度データの解析を行い、雨天時浸入水の発生箇所を検出し、詳細調査を実施する路線を絞り込む。

なお、既に他の調査等により対策優先度の高い小ブロックまでの絞り込みが完了している場合は、(2)からの適用も可能である。

本技術は、同時多測点での水位調査、及び小ブロック内の全路線における下水温度調査を基本とすることから、その調査・解析に当たっては、事前準備にて調査・解析に必要な情報を収集のうえ、現地調査に示す手順により実施するものとし、留意事項を十分に理解した上で調査・解析を進める。

図15-1に、調査・解析の手順を示す。

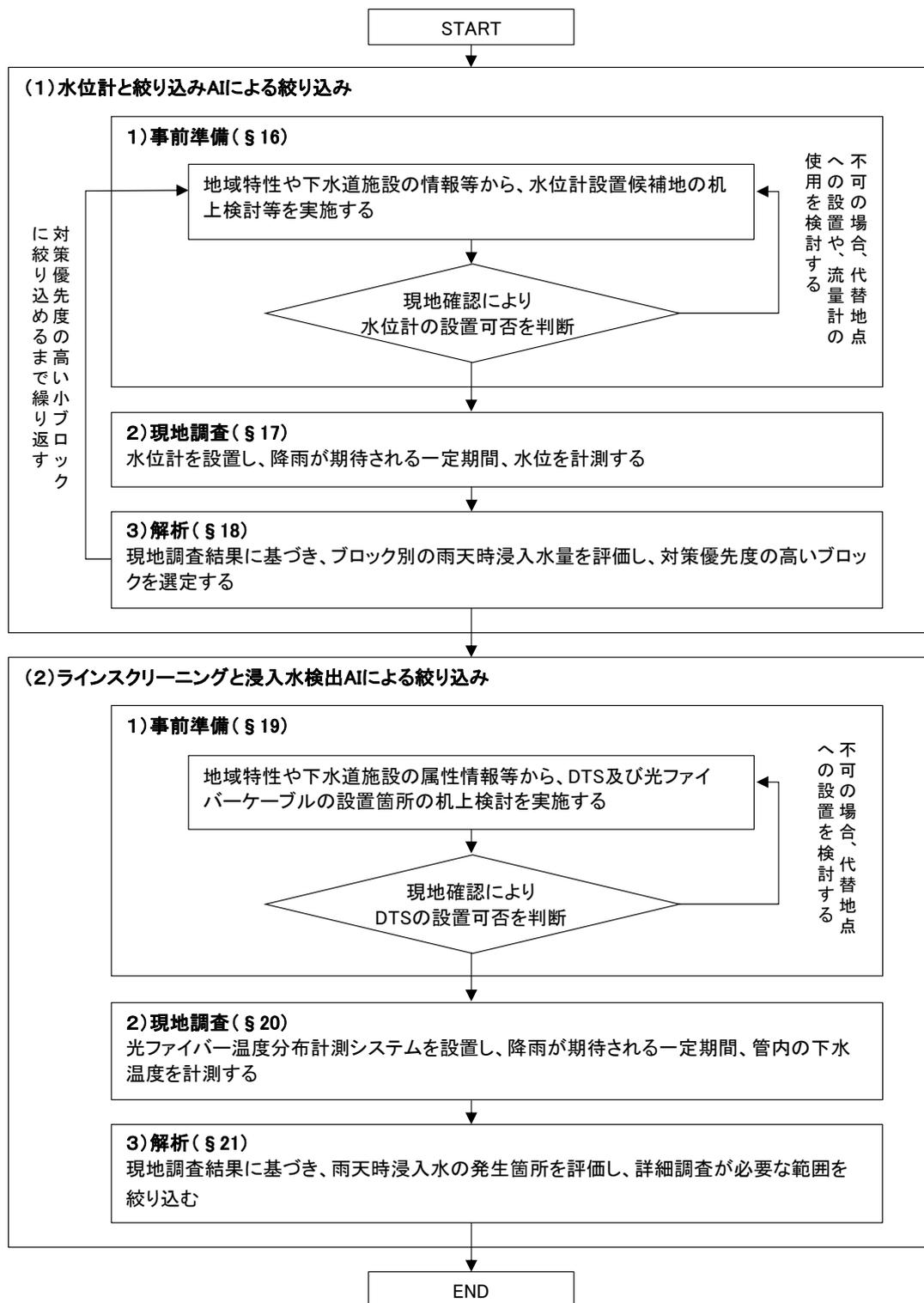


図 15-1 調査・解析の手順

第2節 水位計と絞り込みAIによる絞り込み

§16 事前準備

水位計と絞り込みAIによる絞り込みを実施する際には、以下に示す事前準備を実施する。

- (1) 基礎資料の収集
- (2) 降雨量計測地点の選定
- (3) 水位計設置候補地の机上選定
- (4) 水位計設置箇所の現地確認

【解説】

水位計と絞り込みAIによる絞り込みを実施する際には、事前準備として、以下を実施する。

(1) 基礎資料の収集

絞り込み調査の実施にあたり基礎資料を収集する。収集すべき資料の具体的な内容は、§12 基礎調査を参照する。

(2) 降雨量計測地点の選定

降雨量は、調査対象区域内もしくは近傍に設置された既存の雨量計データの使用を基本とする。なお、調査対象区域内または近傍に適切な降雨量の観測地点が無い場合は、新たに雨量計を設置し、降雨量の計測を行うことが望ましい。

(3) 水位計設置候補地の机上選定

上記(1)に基づく情報と、下水道管きよ台帳のマンホール位置情報等により水位計の設置候補地を選定する。

水位計の設置候補地は、各水位計の集水面積をおおむね均等にするなど、調査範囲内の適正な位置に選定する。ただし、水面・水流の乱れのおそれのあるマンホール、下水の逆流・滞留が想定される箇所等、水位計の設置に適さない箇所を選定しないように留意する。

(4) 水位計設置箇所の現地確認

水位計の設置候補箇所について、現地調査にて交通量や現場条件を確認し、水位計の設置可否を判断並びに設置する水位計の機種選定を行う。

1) 現地確認による設置可否の判断

① マニング式による流速算定

以下に示す事項を確認し、マニング式により流速が算定できることを確認する。これ

ら全てを満たせない箇所では代替地点を選定する。(ア)は現地及び下水道管きょ台帳、(イ)・(ウ)は現地にて確認)。

(ア)下流のポンプ施設等により、背水の影響を受ける箇所

(イ)汚泥の堆積等により、管きょ断面が阻害される箇所

(ウ)異物の付着等により、管きょの粗度が材質毎に設定された粗度と異なる箇所

② 水位計の設置可否の判断

①を満たす水位計の設置候補箇所において現地調査を行い、以下の条件に基づき水位計の設置可否を判断する。その結果、水位計の設置が不適切と考えられる場合は代替地点への設置を検討する。また、代替地点の選定が難しい場合は、流量計の使用を含めて検討する。

(ア)現地の管きょ勾配が下水道管きょ台帳と著しく異なっていないこと。

(イ)下水の流れが著しく速い流速でないこと。

(ウ)水面・水流の乱れが生じていないこと。

(エ)晴天時水位の時間変動パターンが、日によらず概ね一定であること。

(オ)水位計が適切に設置可能なマンホール構造であること。

(カ)地上部の交通状況など、作業環境の確保(安全管理)に問題がないこと。

2) 現地確認による水位計の機種選定

水位計の機種は、現場状況と水位計の仕様・性能を踏まえ、適切に選定する。

§ 17 現地調査

水位計と絞り込み AI による絞り込みの現地調査は、以下に示す手順により実施する。

- (1) 計測機器の設置
- (2) 計測機器の点検
- (3) 計測機器の撤去
- (4) 留意事項

【解 説】

現地調査は、以下に示す手順により実施する。

なお、実証研究における調査実施事例については資料編 2.3 を参照する。

(1) 計測機器の設置

§ 16 事前準備で選定した計測機器について、安全に配慮して、選定した箇所に設置する。

(2) 計測機器の点検

設置した各計測機器は、定期的な点検を実施し、動作状況の確認やバッテリー交換、データ回収を行うことが望ましい。

(3) 計測機器の撤去

設置時と同様に、安全に配慮して、計測機器を撤去する。

(4) 留意事項

以下に、調査における留意事項を示す。

1) 調査実施時期について

水位計によるフィールド調査は、雨天時浸入水の実態を把握するため、できるだけ多くの降雨を捉えられる多降雨期に実施することが望ましい。

2) 降雨数と晴天日数

現地調査にあたっては、絞り込みに用いる浸入率を求めるために、表 17-1 に示す降雨数、晴天日数が必要となる。

表 17-1 浸入率算定に必要な降雨数と晴天日数

項目	内容	備考
① 降雨数	回帰直線の傾き (浸入率) を算定 するための複数降 雨データ	<ul style="list-style-type: none"> 雨天時浸入水が発生し、かつ、設置した計測機器の測定範囲内の水位となる降雨とする。なお、浸入率は、できるだけ降雨強度の異なる多くの降雨を確保することが望ましい。 実証研究では 5 降雨を目安とした。
② 晴天日数	時間変動を考慮し た晴天時平均流量 を算定するための 複数の晴天日デー タ	<ul style="list-style-type: none"> 降雨やイベント開催等による下水量の増加が生じていない晴天日*を確保する。 実証研究では①の降雨ごとに 3 日を目安とした。

※絞り込みに用いる晴天日は、無降雨かつ雨天時浸入水による影響が概ね消失している日を指す。実証研究で用いた絞り込みにおける晴天日の定義は、資料編 2.1.3 を参照。

§ 18 解析

水位計と絞り込み AI による絞り込みの解析は、以下に示す手順により実施する。

- (1) 換算流量の算定
- (2) インputデータの整理
- (3) 絞り込み AI によるデータ解析
- (4) 優先ブロックの選定
- (5) 留意事項

【解 説】

現地調査で得られた水位データ等を絞り込み AI により解析し、その結果をもとに優先ブロックの選定を行う。図 18-1 に、水位計と絞り込み AI による絞り込みにおける解析作業の全体像を示す。

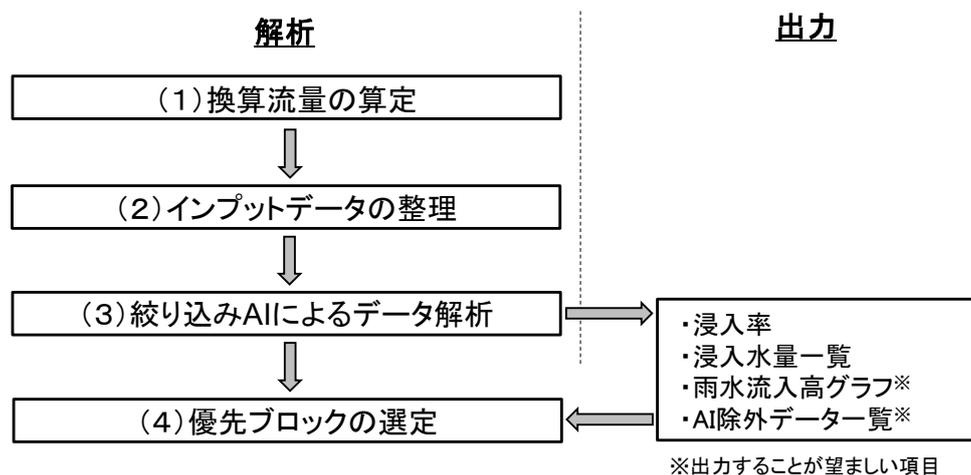


図 18-1 水位計と絞り込み AI による絞り込みにおける解析作業の全体像

(1) 換算流量の算定

管径、管種及び勾配を水位計設置箇所ごとに整理し、現地調査で得られた水位データを流量へ換算する。なお、水位計による調査ができず流量計による調査を行った場合、流量計にて測定された流量を流量計設置箇所ごとに整理する。

(2) インputデータの整理

インputデータをブロックごとに整理する。表 18-1 に、ブロックごとに整理するインputデータを示す。

表 18-1 インプットデータ

項目	ブロックごとに整理するデータ
流量	前項（1）にて算定した流量データ
降雨量	水位計（流量計）設置箇所の近傍の雨量計で計測された降雨量
面積	絞り込み対象とする調査範囲（ブロック）の面積

（3）絞り込み AI によるデータ解析

（2）で整理したデータを絞り込み AI に入力し、異常データを除外した上で、浸入率及び浸入水量試算値を算定・出力する。

（4）優先ブロックの選定

各ブロックの浸入率及び浸入水量試算値をもとに優先ブロックの選定を行い、ラインスクリーニングを実施するブロックを選定する。

ラインスクリーニングの実施ブロックは、原則として、浸入率が目標浸入率以上のブロックを対象に、浸入水量試算値の大きいブロック順に浸入水量試算値の累積比率を求め、必要な対策目標値（目標削減率）を確保できる累積比率のブロックを選定する（実証研究での選定方法は資料編 2.1 を参照）。

図 18-2 に、優先ブロックの選定のイメージを示す（ここでは目標削減率を 75%と仮定）。

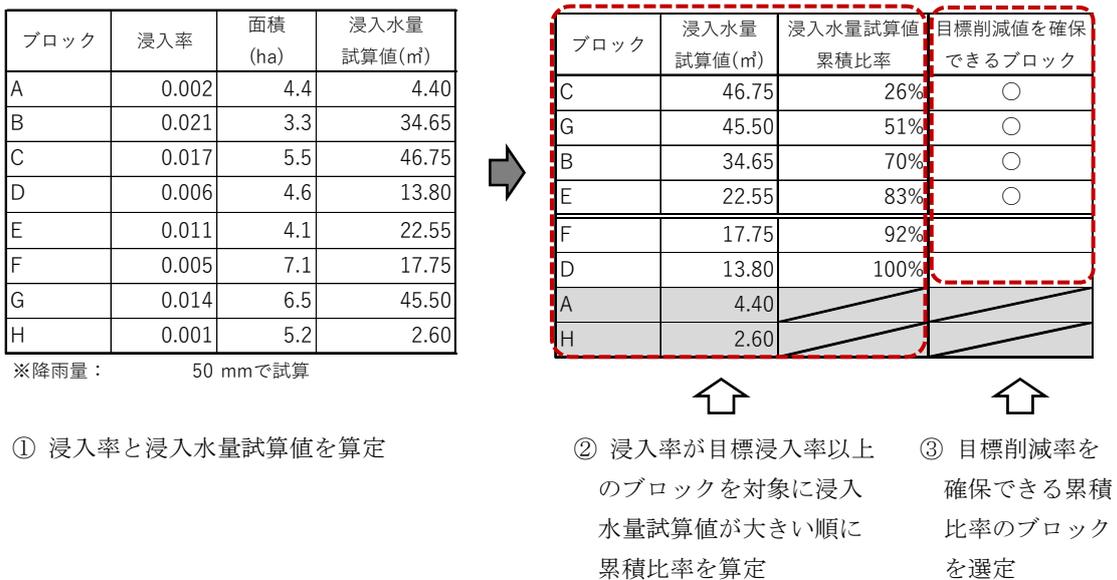


図 18-2 優先ブロック選定のイメージ

(5) 留意事項

1) 極めて強い降雨の除外

満管状態になるような台風やゲリラ豪雨といった極めて強い降雨の場合、浸入水が多いブロックでは計測限界以上の水位となりデータ欠測が発生し、算定対象降雨から除外される可能性がある。一方で、浸入水が少ないブロックでは計測限界以上の水位となる可能性は低いいため、算定対象降雨に残る可能性が高い。この場合、一律の評価が難しくなるため、極めて強い降雨は、絞り込み AI による解析の対象から除外することが望ましい。

2) 異常流量や欠測が発生した時間の確認

適切な浸入率を算定するため、異常流量や欠測が生じた時間帯のデータは算定の対象から除外する。ただし、降雨のピーク時間帯において異常流量や欠測が生じた場合は、当該降雨そのものを算定対象から除外することが望ましい。

3) 選定ブロックの妥当性確認（解析結果の確認）

絞り込み AI は資料編 3.1.2 に示す精度を有するが、必要に応じて、水位データ等を確認し、浸入率が高いブロックは降雨時間帯に水位の上昇が、浸入率が低いブロックは降雨時間帯でも水位の上昇が認められないこと等を合わせて確認することが望ましい。

また、浸入率は少数の異常値※によってその値が大きく変わる場合があるため、必要に応じて雨水流入高-降雨量グラフを出力・確認し、異常値が含まれていないことを確認する。異常値が認められた場合、異常値となる降雨を除いて浸入率を算定し、再検討することが望ましい。なお、これら確認の結果、除外判定（AI による判定結果）が適切でないと考えられる場合は、必要に応じて技術者が除外判定結果を修正し、再度、浸入率を算定することが望ましい（詳細は、資料編 4.5 を参照）。

※雨水流入高-降雨量グラフにおいて、一部の降雨の雨水流入高が他降雨における雨水流入高よりも非常に高いもしくは低いデータ

4) 教師データと調査フィールドデータに対する追加学習の必要性

絞り込み AI は、技術者による流量異常判定結果を教師データとする。技術者による流量チャートの確認を行い、降雨に関係しない大幅な流量の増減など、通常とは異なる値を示した流量データを異常と判定する。なお、一般に、調査対象流域の面積が小さいほど流量の変動が大きいいため、調査対象流域の面積を考慮しつつ、流量チャートを確認することが望ましい。図 18-3 の異常流量の判定イメージに示すように、通常とは異なる挙動を示す降雨に関係しない大幅な流量増減などを異常と判定する。

ただし、絞り込み AI は実証研究にて得られた教師データ※を学習すれば、調査フィールドに対する追加の学習は不要である（詳細は資料編 4.3.1、資料編 4.4 を参照）。

※実証研究では、105 箇所・4 ヶ月分の流量及び降雨量データを複数名の技術者により確認し、教師データを作成した。

なお、実証研究で用いた教師データは提供可能であるため、調査対象ブロック絞り込みの AI 解析プログラムを作成する際は、資料編 5 に示す実証研究体の連絡先に問い合わせされたい。

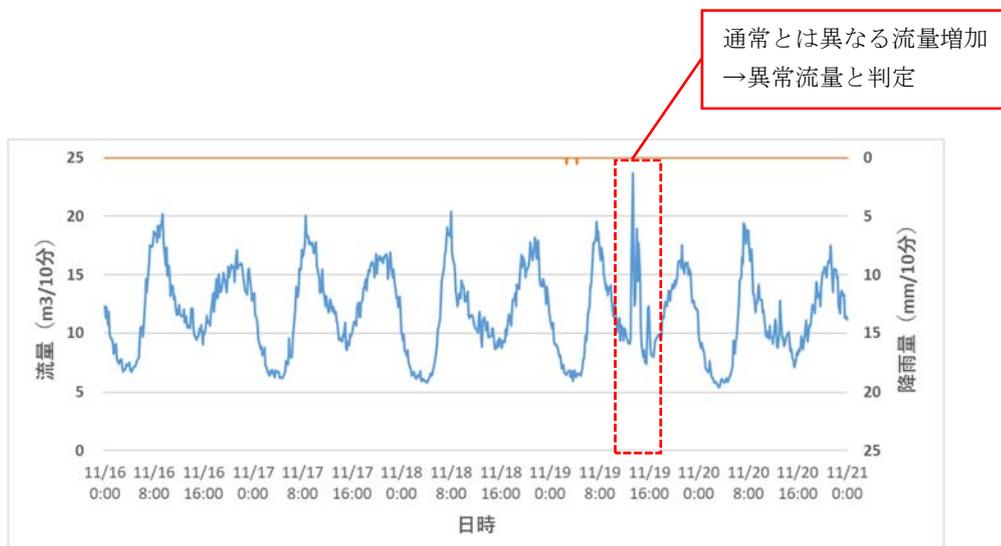


図 18-3 異常流量の判定イメージ

第3節 ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による絞り込み

§ 19 事前準備

ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による絞り込みを実施する際には、以下に示す事前準備を実施する。

- (1) 地域特性及び下水道施設の属性情報等の整理
- (2) DTS 及び光ファイバーケーブルの設置箇所机上選定
- (3) 現地確認

【解 説】

ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による絞り込みを実施する際には、事前準備として、以下を実施する。なお、調査対象エリア内または近傍に降雨量の観測地点が無い場合は、§ 16 事前準備を参考に雨量計を設置し、降雨量を計測することが望ましい。

(1) 地域特性及び下水道施設の属性情報等の整理

温度分布計測装置 (DTS) 及び光ファイバーケーブルの設置箇所選定のための基礎資料として、地形図等による地形や自然条件の把握、調査ブロック周辺の公共施設の位置を確認する。また、光ファイバーケーブルの設置が困難な管路 (伏越区間^{*}、圧送区間、マンホールポンプ、等) では調査の実施が困難であるため、下水道管きょ台帳等に基づく管きょ属性情報 (管径、管種、伏越し・圧送区間、取付管等) を把握する。

※伏越区間では雨天時浸入水の検出はできないが、小規模な伏越区間では光ファイバーケーブルの通過を目的に、水替作業により設置が可能な場合がある。

(2) DTS 及び光ファイバーケーブルの設置箇所机上選定

上記 (1) に基づく情報により、光ファイバーケーブルの設置路線、DTS の設置候補箇所を選定する。取付管や汚水柵を通じて DTS と管きょ内の光ファイバーケーブルを接続するため、DTS は調査ルートに沿線または近隣に位置する施設を設置の候補箇所として選定する。DTS は機器の点検やデータ回収の作業を踏まえると公共施設への設置が望まれるが、精密機器のため湿度の高い環境下 (例えば、人孔内) への設置は適さない。

また、以下に示す箇所では、雨天時浸入水による下水温度変化が明瞭に計測できないため、光ファイバーケーブルの設置は避ける、もしくは、当該箇所における計測データは使用しない。

- ① 下水が満管状態となる箇所
- ② 下流からの背水影響を受ける箇所
- ③ 滞水している箇所

光ファイバーケーブルの設置路線選定に合わせて、「光ファイバーケーブル設置・接続図」

を作成する。光ファイバーケーブル設置・接続図には、光ファイバーケーブルの設置路線のほか、光ファイバー素線の融着作業が生じる人孔や融着関係（接続）を整理する。図 19-1 に、光ファイバーケーブル設置・接続図の例を示す。

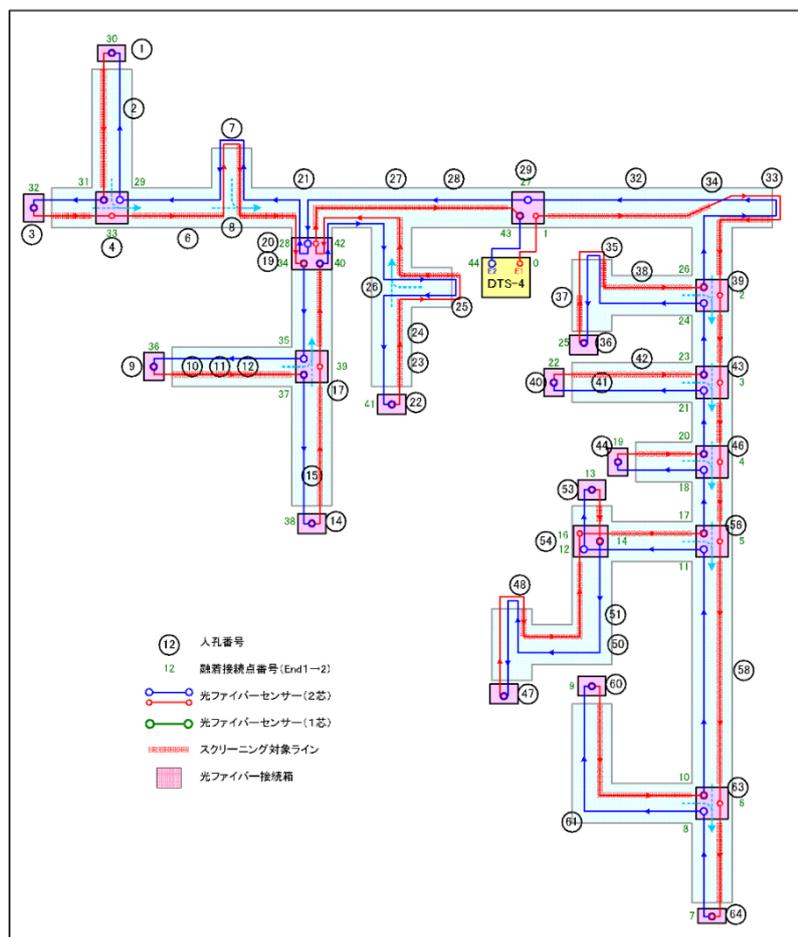


図 19-1 光ファイバーケーブル設置・接続図の例

(3) 現地確認

DTS の候補箇所について、現地調査にて現場条件（交通量や人孔周囲の作業環境等）を確認し、DTS の設置可否を判断する。

現地調査では、以下の条件に基づき DTS の設置可否を判断する。

- ① 取付管や汚水桝を通じて、管きよ内の光ファイバーケーブルと接続可能であること。
- ② 風雨や塵埃が及ばず湿度が高くない環境であること。
- ③ 調査期間を通じて、DTS の電源仕様を満たす電源の確保が可能であること。
- ④ 維持管理が可能な作業環境であること（公共施設等）。

§ 20 現地調査

ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による絞り込みの現地調査は、以下に示す手順により実施する。

- (1) 計測機器の設置
- (2) 計測機器の点検
- (3) 計測機器の撤去
- (4) 留意事項

【解 説】

ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による絞り込みの現地調査は、以下に示す手順により実施する。

なお、具体的な調査実施事例については資料編 2.3 を参照する。

(1) 計測機器の設置

§ 19 事前準備での選定結果に基づき、光ファイバー温度分布計測システム (DTS、光ファイバーケーブル) を下記 1) ~ 5) に従い設置する。

1) 下水道管きょへの光ファイバーケーブル設置

光ファイバーケーブルは、入線工具等を使用して下水道管きょへ導入し、段差や副管のある人孔、屈曲人孔、直線距離の長い路線の中間人孔等では、人孔の管口部において、ケーブル固定治具を用いて光ファイバーケーブルを下水道管きょの管底へ固定する。

光ファイバーケーブルの最遠端部付近には、DTS 温度校正用の温度リファレンス用コイル (10m程度) を設け、マンホール上部の足掛け金物等に吊るした状態で保持する。光ファイバーケーブル末端部 (起点人孔) や合流部 (会合人孔) も同様に、地上部における光ファイバー素線の融着作業を考慮して、人孔地上部から 5 m 程度の光ファイバーケーブルの余長を人孔内に保持する。

吊り上げや副管などにより光ファイバーケーブルが水面から露出する区間 (人孔) があれば、その区間を露出区間として記録する。

2) DTS の設置

光ファイバーケーブルの設置作業と並行して DTS の設置を行う。なお、DTS の設置場所は、事前調査及び施設管理者との協議を通じて、あらかじめ定めておく必要がある。

DTS 設置場所では、取付管と汚水柵を通じて DTS と下水道管きょ内に設置した光ファイバーケーブルを接続する。

3) 光ファイバー素線の融着

光ファイバーケーブル末端部（起点人孔）や光ファイバーケーブルの会合地点（会合人孔）、及び DTS 接続部等において、光ファイバー融着接続器を用いてケーブル内の光ファイバー素線同士を融着する。

光ファイバー素線の融着部は、光接続箱もしくは簡易型成端箱により保護する。

4) DTS の温度校正

DTS 設置後は、温度分布実測値及びロス分布の確認により、正常に稼働しているかを確認するとともに、正確な下水温度を計測するため DTS の温度校正を行う。

5) 光ファイバーケーブル位置評定

雨天時浸入水の発生箇所を正確に特定するため、位置評定を行い、人孔部等のケーブル距離を把握する。具体的には、光ファイバーケーブルの一部を人工的な方法により加熱または冷却し、対応する温度変化が生じた DTS 上の位置を位置評定実施箇所のケーブル距離とする。

(2) 計測機器の点検

計測機器は、データの取得や光ファイバーケーブル等の状況確認のため、定期的に点検を実施することが望ましい。また、管きよの不陸（たわみ）が生じている路線など、下水中を流れるし渣類が光ファイバーケーブルに付着しやすい箇所では、その付着の程度に合わせて点検期間を短くする等の対応を検討する。

さらに、管内の堆積等により温度計測に悪影響を及ぼすことが予想される場合は、別途、洗浄やし渣の除去作業を検討することが望ましい。

(3) 計測機器の撤去

設置時と同様に安全に配慮して、計測機器等を撤去する。

(4) 留意事項

現地調査にあたっては、浸入水発生箇所の検出を行うために、表 20-1 に示す降雨日数、晴天日数が必要となる。

表 20-1 雨天時浸入水の検出に必要な降雨日数及び晴天日数

項目	降雨日数・晴天日数 ^{※1}	備考
① 降雨日	浸入水が発生する範囲の降雨量が観測された日を複数 ^{※2}	<ul style="list-style-type: none"> ・ 降雨状況によっては、ある降雨では浸入水が発生したが、別降雨では発生しない場合も考えられる。より多くの浸入水発生箇所を検出するためには、多くの降雨を採用することが望ましい。 ・ 雨天時浸入地下水は降り始めから一定時間経過後に発生するため、ごく短時間の降雨では降雨終了後に浸入水が発生する可能性がある。
② 晴天日 ^{※3}	1 晴天日以上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下水温度は季節に応じ変動することから、晴天日は、可能な限り、降雨日近傍を採用する。 ・ 晴天日は①の降雨日ごとに用意する。

※1 降雨日・晴天日は任意の 24 時間で整理してよい

※2 複数の降雨日に共通して発生した雨天時浸入水発生箇所を浸入水として特定する。

※3 雨天時浸入水の検出に用いる晴天日は、無降雨かつ雨天時浸入水による温度低下の影響が概ね消失している日を指す。降雨後、十分に日数が経過した無降雨日の下水温度と当該日の下水温度が概ね同一であれば、雨天時浸入水による下水温度低下の影響を受けていないと判断する（実証研究における選定例は資料編 3.1.3 を参照）。

§ 21 解析

ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による絞り込みの解析は、以下に示す手順により実施する。

- (1) インputデータの整理
- (2) 教師データの作成と AI 学習
- (3) 浸入水検出 AI によるデータ解析
- (4) 技術者による確認
- (5) 詳細調査範囲の選定

【解 説】

現地調査で得られた下水温度データ等を浸入水検出 AI により解析し、その結果をもとに詳細調査範囲の選定を行う。図 21-1 に、ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による詳細調査範囲の絞り込みにおける解析作業の全体像を示す。

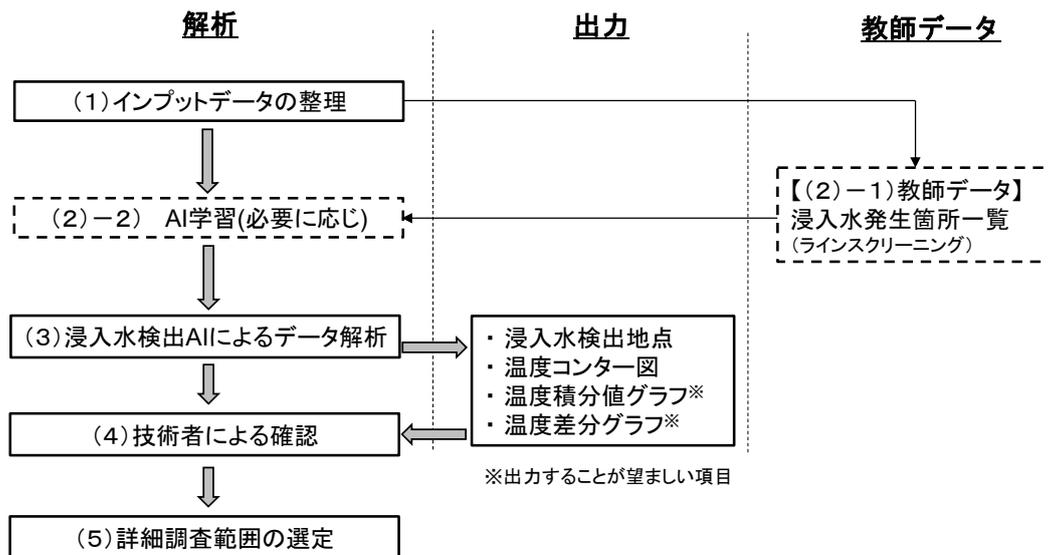


図 21-1 ラインスクリーニングと浸入水検出 AI による詳細調査範囲の絞り込みにおける解析作業の全体像

(1) インputデータの整理

下水温度データはケーブル距離と位置評定結果などを基に、解析に用いるデータ範囲を整理し、融着や副管などにより光ファイバーケーブルを水面上に部分的に露出させた区間は評価対象範囲から除外する。また、雨天時浸入水発生有無を解析する雨天日を抽出するため、降雨量データより日降雨量・時間最大降雨量を整理する（実証研究で採用した基準降雨量は資料編 3.1.3 を参照）。

(2) 教師データの作成と AI 学習

浸入水検出 AI の教師データは、技術者による下水温度等の分析により検出した雨天時浸入水発生箇所と想定浸入水発生時間帯を用いる。雨天時浸入水発生箇所の検出の基本的な考え方は、調査対象範囲における温度データを対象に、降雨中もしくは降雨後に下水温度の低下が発生していないかを確認し、下水温度の低下が複数日で見られた箇所を雨天時浸入水発生箇所とするものである。また、想定浸入水発生時間帯は、前述の雨天時浸入水発生箇所において、降雨に起因すると想定される下水温度の低下が継続している時間を使用する。

浸入水検出 AI の学習に当たっては、実証研究で得られた教師データのみでなく、調査実施フィールドで得られた下水温度データに基づき作成した教師データを用いて追加の学習を行うことが望ましい。そのため、必要に応じて資料編 4.3.2 に示す手順に従い(1)で整理したデータを用いて教師データを作成し、浸入水検出 AI に学習させる。

(3) 浸入水検出 AI によるデータ解析

(1)で整理したデータを浸入水検出 AI に入力し、雨天時浸入水発生箇所を解析・出力する。また、次項(4)で使用するため、温度コンター図もあわせて出力する。

(4) 技術者による確認

浸入水検出 AI の検出結果に対して温度コンター図を用いた技術者による確認を行い、以下に該当する箇所(以下、要除外箇所:詳細は資料編 4.3.2 を参照)の有無を確認した上で、必要に応じて(3)の結果から除外する。

(ア)光ファイバーケーブルの部分的な露出部

(イ)会合マンホールにおける他路線からの低温下水の流入による温度低下

(ウ)下水の滞水区間

図 21-2 に、技術者による浸入水検出 AI の検出結果の確認手順を示す。

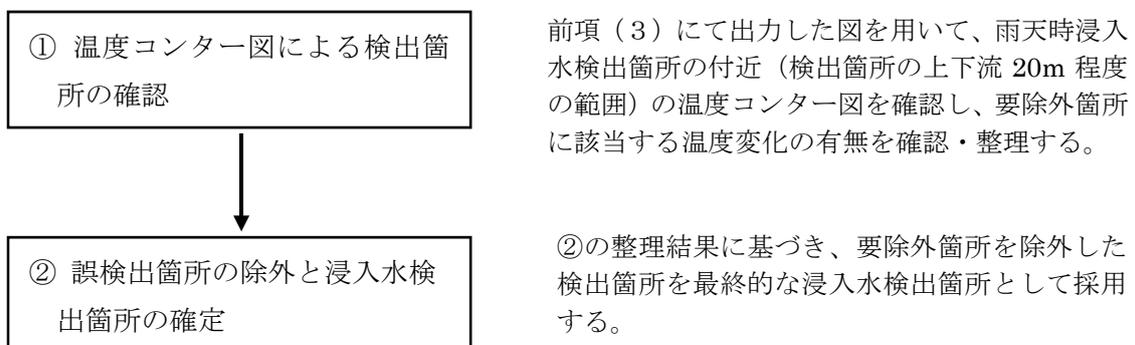


図 21-2 技術者による浸入水検出 AI の検出結果の確認手順

(5) 詳細調査範囲の選定

上記(4)で確認された雨天時浸入水発生箇所の前5 m区間を対象に、技術者により詳細調査対象路線(スパン単位)、取付管、家屋を選定する。