

資料編

1. 集音装置仕様	38
2. 本技術の適用箇所	41
3. 実証研究における評価結果	57
3.1 検知精度	57
3.1.1 検知精度の評価対象降雨	57
3.1.2 検知精度の評価結果	61
3.2 事業性評価	71
3.2.1 評価方法	72
3.2.2 条件設定	73
3.2.3 評価結果	76
3.3 効率性評価	79
3.3.1 評価方法	80
3.3.2 条件設定	81
3.3.3 評価結果	99
4. ケーススタディ	102
4.1 条件設定	102
4.2 本技術の効率的な活用方法	107
4.3 導入効果の把握	110
5. 調査及び分析の試算例	111
5.1 本技術における標準作業内容	111
5.2 事業費算定結果	113
5.3 AI 解析の計算時間	115
6. 実証研究における AI 解析の概要	117
6.1 AI 解析の流れ	118
6.2 管路内の音響データを収録	119
6.3 音響データの前処理	119
6.4 音響データから特徴量の時系列データ抽出	120
6.5 雨天時浸入水検出 AI エンジン処理 (1)	123
6.6 雨天時浸入水検出 AI エンジン処理 (2)	124
6.7 雨天時浸入水の有無の判断	125
6.8 雨天時浸入水検出 AI エンジンの概要	127
6.9 音響データの前処理の重要性	129
6.10 本技術における異常検知の判断基準	130

6.10.1 正規分布の確認方法.....	130
6.10.2 正規性の確認結果	131
6.11 本研究における雨天時浸入水の有無の判断	136
7. 問い合わせ先	139

1. 集音装置仕様

実証研究で使用した集音装置の各機器の仕様を以下に示す。本装置は、下水道管内に長期間設置する必要があることから、筐体は防水型とし、シーリングからの水の浸入が無いよう配慮した。また、録音したデータについては 32GB の SD カードに記録した。

《集音装置 仕様一覧》

項目	仕様	外観
ボイスレコーダー	SONY 社 IC レコーダー (ICD-PX470F)	
外部マイク	RoHS 社 Omnidirectional Electret Condenser Microphone (Foil Electret Type)	
外部マイクケーブル	富士電線工業株式会社 マイクコード (MVVS) 延長：5m	
防水ケース	B&W International 社 OUTDOOR CASES YPE500 内寸 (mm)：203×143×78.5 外寸 (mm)：228×182×92 重さ：500g、容積：2.28L 本体素材：ポリプロピレン 防水防塵保護等級：IP67 スポンジ：格子状カットスポンジ (2枚)	
電源	DC3.0V、単 1 形アルカリ乾電池、4 本使用時： 約 1000 時間	

ボイスレコーダ仕様（実証実験で設定）

項目	仕様	内容
IC レコーダー	周波数範囲	MP3 48kbps (MONO) : 50Hz~14,000Hz
	対応ファイルフォーマット	WMA ・ビットレート : 32kbps~192kbps ・サンプリング周波数 : 44.1kHz ・拡張子 : wma
最大録音時間	録音モード	MP3 48kbps (MONO) : 32GB 1,431 時間
	メモリーカード	32GB (録音時間 : 最大 1,431 時間)

外部マイク仕様

仕様	内容
感度	-38±3dB RL=2.2KΩ Vs=4.5V
インピーダンス	最大 2.2KΩ 1KHz (RL=2.2KΩ)
周波数	50~16000Hz
消費電力	最大 0.5mA RL=2.2KΩ Vs=4.5V
音圧	120dB 以上
S/N 比率	58dB 以上
防水	IP4
保管環境	-40℃~70℃
動作環境	40℃~110℃

マイクケーブル仕様

仕様	内容
サイズ	0.3mm ²
導体抵抗	62.9Ω/km 以下
耐電圧	空中 1000V に 1 分間耐えること スパーク 3000V に 0.15 秒間耐えること
絶縁抵抗	常温 5MΩkm 以上 高温 0.01MΩkm 以上
引張強さ・伸び	絶縁体 引張強さ 10Mpa 以上 伸び 100% 以上 シース 引張強さ 10Mpa 以上 伸び 120% 以上
耐加熱性	絶縁体 引張強さ 加熱前の値の 85% 以上 伸び 加熱前の値の 80% 以上 シース 引張強さ 加熱前の値の 85% 以上 伸び 加熱前の値の 80% 以上
耐巻付加熱性	表面にひび、割れを生じないこと
耐低温巻付性	表面にひび、割れを生じないこと
耐加熱変形性	絶縁体：厚さ減少率 50%以下 シース：厚さ減少率 50%以下
難燃性	60 秒以内で自然に消えること

2. 本技術の適用箇所

本技術は、マンホール内で発生する流水音を集音装置で収録し、その結果を AI 解析し、晴天日パターンを構築し、雨天日の異常検知を行うものであり、技術の根幹は、晴天日における音響パターンの構築である。流水音の収録は、全てのマンホール内で適用可能であるが、現場環境として適用が困難な調査地点が想定される。

実フィールドで音響データ観測を実施した地点において、これらを検証することで適用範囲を明確にした。

表 2-1 本技術の調査地点に関する検証項目と内容

項目	検証内容
調査箇所の地上において騒音の影響を受ける地点	交通量が多い箇所や調査地点の周辺で騒音源がある箇所において音響調査を実施して、分析・評価結果を検証する。
大深度人孔にて施設内の反響音の影響を受ける地点	マンホール深が深い箇所において音響調査を実施して、分析・評価結果を検証する。
小流量で流水音の発生が微弱な地点	小ブロック内の上流域において音響調査を実施して、分析・評価結果を検証する。
ポンプの起動・停止の影響	ポンプ場やマンホールポンプの起動・停止の影響を受けて、その上下流側で水位変動が発生する地点において音響調査を実施して、分析・評価結果を検証する。
不定期排水の影響 (工場排水等の影響)	調査区域内に工場等が多く立地しており、各地点から不定期に排水がある地点において音響調査を実施して、分析・評価結果を検証する。
屈曲部で調査する場合	流水が波打つことで音響の変動に振動が大きくなることが想定されるコーナー部において音響調査を実施して、分析・評価結果を検証する。
マンホールへの直接流入がある場合	サービス管や取付管などを副管なしでマンホールに接続している場合など、本管の流水音以外が発生する地点において音響調査を実施して、分析・評価結果を検証する。
機器(マイク)水没の危険性が高い場合	豪雨時の異常流入によりマイクの水没が想定される地点でのマイクの汚れによる性能低下等について音響調査を実施して、分析・評価結果を検証する。

《調査箇所の地上において騒音の影響を受ける地点》

本技術の音響調査は基本的に公道上に設置されたマンホールで実施されることになる。そのため、主に以下の音源が音響データ観測で観測された。しかし、これらについては、それぞれ流水音とは異なる周波数帯であることから、バンドパスフィルタでノイズとして除去することができた。

そのため、調査地点周辺で発生する周辺音については、解析結果に影響を及ぼさないことが確認できた。

- 車両が通過する際のマンホールのがたつき音
- 歩道上のマンホールを歩行者等が通過する際に発生する音
- マンホール周辺での工事音
- 設置・点検・撤去時にマンホールを開放する際の作業音

なお、全調査地点で収録した音響データを確認したが、住宅内から発生している生活音（話し声・家電の音等）は確認できなかったことから、音響調査によるプライバシーの侵害の可能性は否定された。

《大深度人孔にて施設内の反響音の影響を受ける地点》

大深度のマンホール内は、空間も広いことから流水音が反響する可能性が考えられたことから、そのような地点でも AI 解析が可能かどうかについて確認を行った。

本研究で制作した集音装置は、外部マイクケーブル長を 5m に統一したことから、確認方法は、以下のとおりとした。

- 地表付近に集音装置を設置して外部マイクケーブル長の最大限まで伸ばして調査（外部マイクと水面が離れているケース）
- 大深度でも流水音が確実にキャッチできるように、集音装置を地表付近ではなく途中に設置して調査（外部マイクと水面が離れていないケース）

その結果、次節以降に示すとおり、外部マイクと水面の距離を近づけることで大深度マンホールでも本技術の適用が可能であることが確認できた。

【外部マイクと水面が離れているケース】

外部マイクと水面が離れているケースにおける調査事例を図 2-1 に示す。当該事例では外部マイクと水面に 4m 程度の距離があった。

これを見ると明らかなおり、外部マイクと水面が離れていると流水音がうまく収録できずに晴天日の波形が従来技術と明らかに異なっていた。その結果、晴天日の構築ができていないため、雨天日に浸入水を検知することができない状態であった。

その他の地点でも大深度マンホールでの調査を実施したが、外部マイクと水面の距離が 3m 程度離れているケースでは同様の傾向が確認できた。

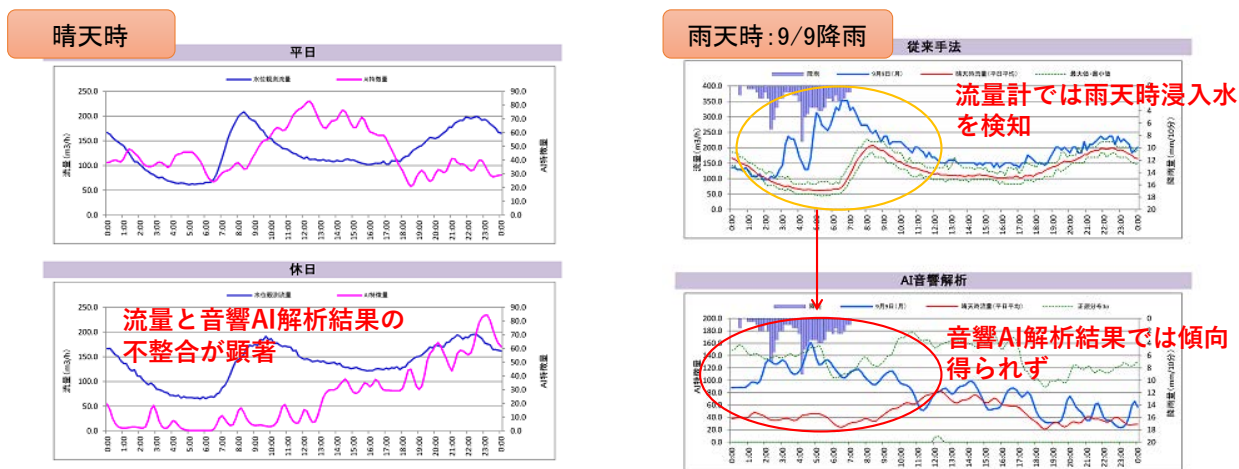


図 2-1 外部マイクと水面が離れているケースでの調査事例（つくば市常南処理区）

【外部マイクと水面が離れていないケース】

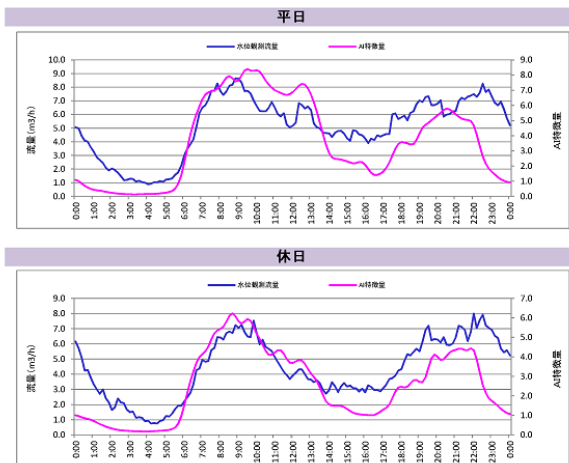
大深度マンホールで、集音装置をマンホールの中間まで下して外部マイクと水面の距離を近づけた場合の調査事例を図 2-2 に示す。

このケースでは、晴天日・雨天日共に従来技術と同様の波形を占めていることから、大深度マンホールでも水面と外部マイクの距離が近ければ問題なく適用可能であることが確認できた。

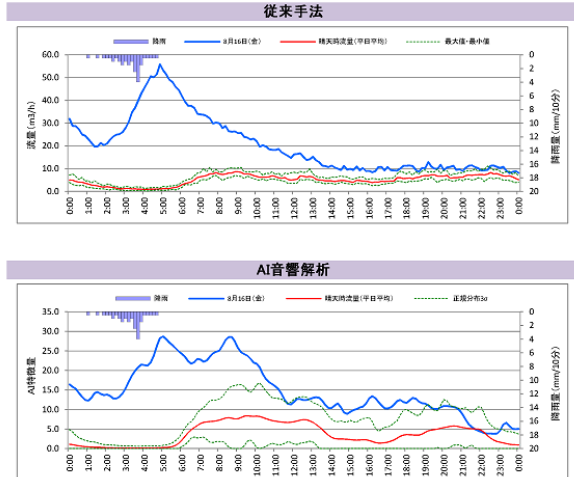
設置状況



晴天時の比較



8/16: 20.5mm/日



晴天時も雨天時も従来手法と整合

図 2-2 外部マイクと水面が離れていないケースでの調査事例（神戸市岩岡流域）

《小流量で流水音の発生が微弱な地点》

本技術の特徴は、従来技術より安価で設置が容易な手法であることから、小ブロック内で数多く設置することで詳細調査地点を絞り込むことが特徴の一つである。

そのため、小さな流域で確実に雨天時浸入水を検知できるかが重要であることから、上流エリアの非常に小さい地点で確認を行った（図 2-3）。

その結果、スパン数が 5 スパン程度の流域でも雨天時浸入水の有無を確実に検知することができたことから、小規模な流域でも雨天時浸入水検知への適用が可能であることが確認できた。

なお、起点に近い最上流部で集音装置を設置しても雨天時浸入水の検知は可能であるが、設置に要するコストを勘案すると、一定程度の流域を確保して雨天時浸入水流入エリアを絞り込むことが望ましい。



図 2-3 小規模流域での調査事例（名古屋市神の倉地区）

《ポンプの起動・停止の影響》

汚水中継ポンプ場やマンホールポンプの上流部では、ポンプの起動停止に伴う水位変化により観測結果に影響を受けることが従来技術の観測でも言われている。そのため、AI解析を用いることで、これら地点での測定が可能かどうか検証した事例を図 2-4 に示す。

その結果、ポンプの起動停止の影響を受け、晴天日の規定も困難であり、雨天日もバラつきが出てしまうことから、当該地点での調査には適用できないことが確認できた。また、ポンプの吐出口の下流でも同様の傾向がみられるため、調査地点選定の際に留意する。

なお、事例では 150m 程度離れていても管渠内に段差がなく影響を受けやすい地点も確認できた。そのため、ポンプ場（マンホールポンプ含む）からの影響が出るかを下水道台帳等で確認を取ったうえで、調査地点を決定することが望ましい。

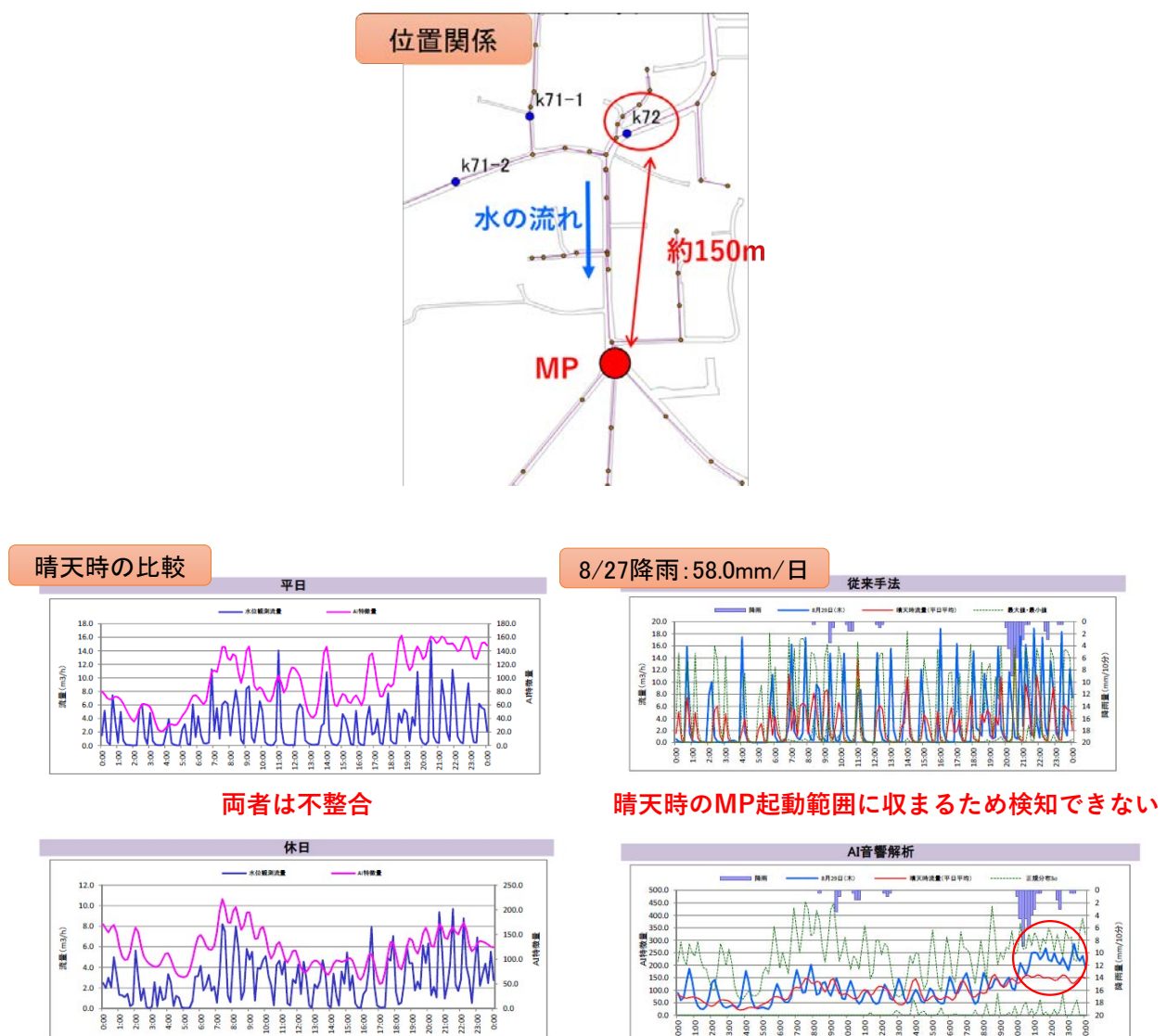


図 2-4 ポンプの起動停止の影響を受ける地点での調査事例（熊本市富合流域）

《不定期排水の影響（工場排水等の影響）》

前項のポンプ場の上下流の事例に近い事例であるが、工場が多数立地しており、これらから不定期に排水される場合には、不定期の水位変化に伴い観測結果に影響を受けることが従来技術の観測時にも言われている。そのため、AI解析を用いることで、これら地点での測定が可能かどうか検証した事例を図 2-5 に示す。

その結果、不定期排水の影響を受け、晴天日の規定が困難となり、正常の範囲が広がることで雨天時浸水水の検知が難しいことから、当該地点での調査には適用できないことが確認できた。また、さらに小規模のブロックに分割して音響データ観測を行ったが、同様の結果となったことから、工場やビルピット排水などの不定期排水の発生がある流域での調査は困難である。

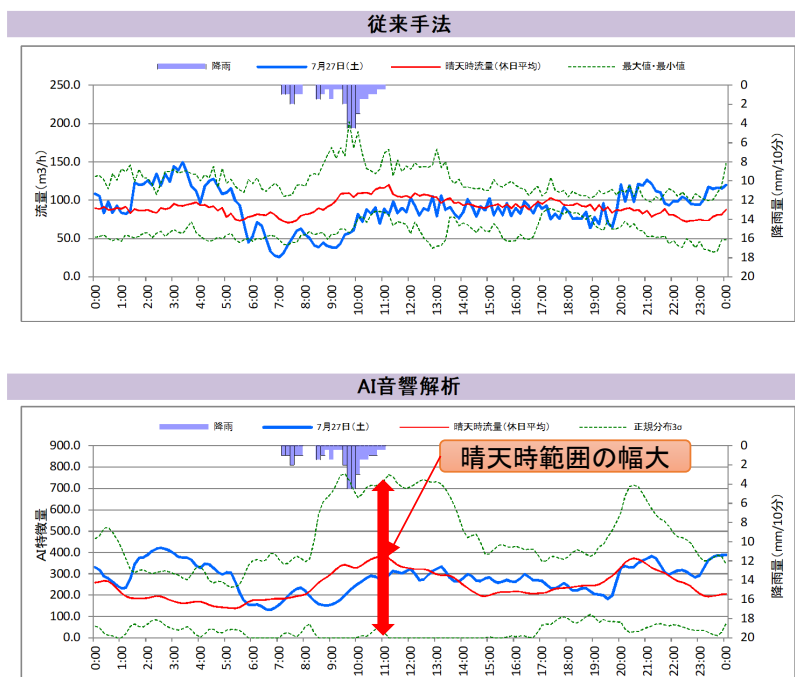


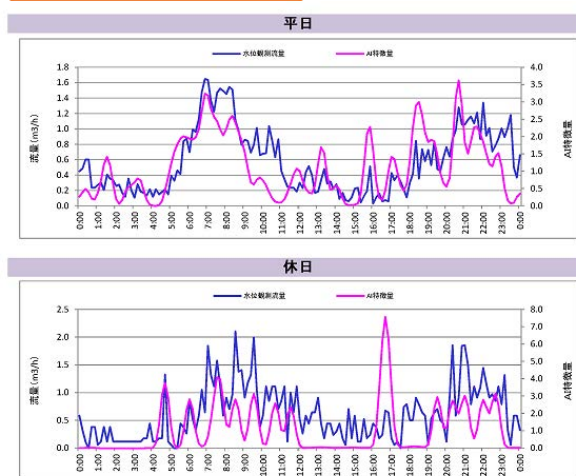
図 2-5 不定期排水の影響を受ける地点での調査事例（神戸市西神流域）

《屈曲部で調査する場合》

従来技術で観測を行う場合、コーナー部では機器の設置が困難であることや流水が波打つことで水位変化が激しくなることから、観測時には極力避けることが望ましい地点である。そこで、本技術では流水が波打つことで、音響の変動が大きくなる可能性があるコーナー部において本技術の適用化が可能かどうか確認した（図 2-6）。

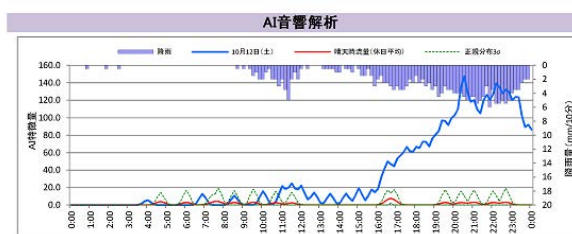
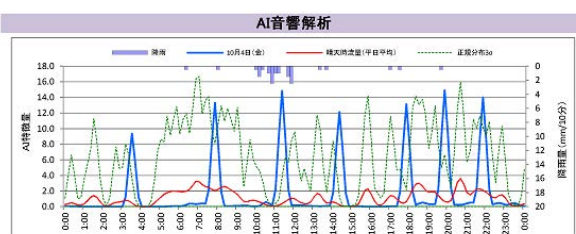
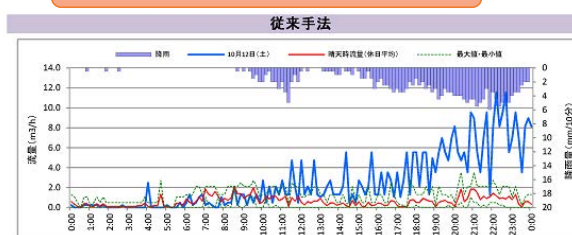
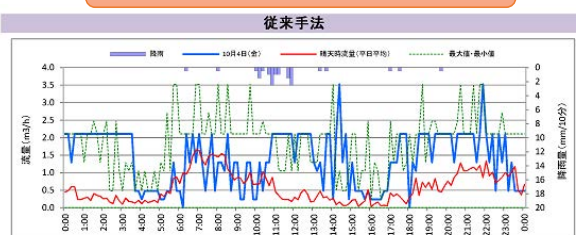
その結果、晴天日のばらつきが大きく出ることから、豪雨時には雨天時浸入水の検知が可能であるが小降雨では適用困難であることが確認できたことから、従来技術と同様に調査地点からは除外することが望ましい。

晴天時の比較



10/4降雨: 15.5mm/日

10/12降雨: 220.0mm/日



豪雨であれば検知可能であるが、小降雨では困難

図 2-6 コーナー部での調査事例（郡山市富久山町）

《マンホールへの直接流入がある場合》

マンホールへの直接流入がある地点としては、以下の地点が想定される。また、これら地点においても、段差がある場合とない場合、段差がある場合でも副管の処理がなされているケースとそうでないケースが存在する。そのため、これらのケースにおける事例から適用可能性を評価した。

- サービス管からの流入
- 取付管からの流入
- 枝管等からの流入

【接続している下水道管（取付管）の段差がほとんどないケース】

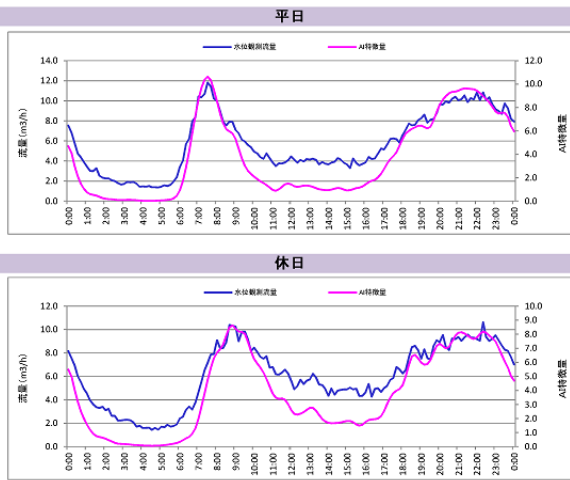
接続している下水道管や取付管の段差がほとんどない場合での調査事例を図 2-7 に示す。

これを見ると、流入する管渠の段差がほとんどないケースでは、AI 解析結果は従来技術と同様の反応を示していることから、このようなケースでは特に問題なく適用可能であることが確認できた。

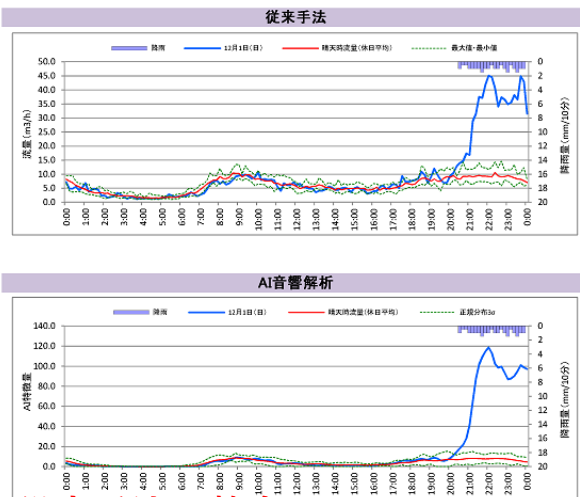
現地状況



晴天時の比較



12/1降雨: 20.0mm/日



晴天時も雨天時も従来手法と整合

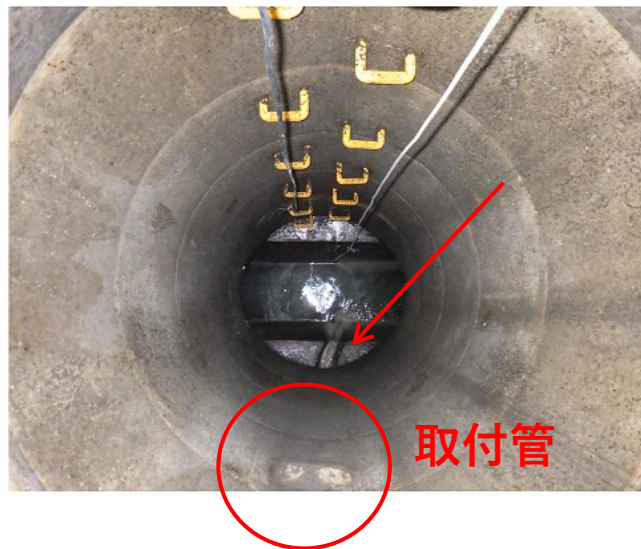
図 2-7 段差がほとんどない合流点での調査事例（熊本市湖東流域第 2 フェーズ）

【流入水の落差があるが副管処理がされているケース】

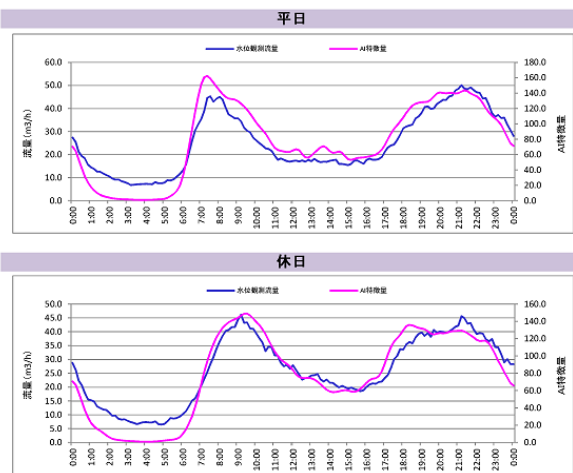
マンホールへの直接流入があるが副管処理がされている場合の調査事例を図 2-8 に示す。

これを見ると、流入管に落差があっても副管処理がなされている場合であれば、AI 解析は特に問題なく適用可能であることが確認できた。

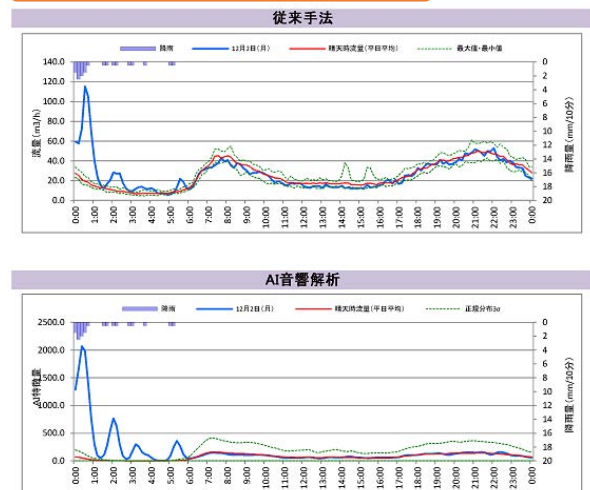
現地状況



晴天時の比較



12/2降雨: 12.5mm/日



晴天時も雨天時も従来手法と整合

図 2-8 副管が存在する場合の調査事例 (熊本市湖東流域第 2 フェーズ)

【流入水の落差があり、副管処理がなされていないケース】

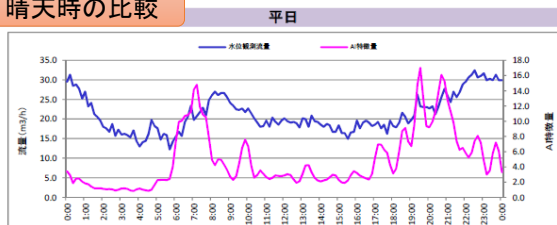
マンホールへの直接流入があるが副管処理がなされていない場合の調査事例を図 2-9 に示す。

これをみると、サービス管や取付管が接続されているマンホールで副管等の処理がされていない場合、それらからの流水音を拾ってしまい、晴天日の波形も従来技術との整合性が悪くなり、流入管からの流水音により、晴天日にスパイク状の波形が多くなる。その結果、雨天日にもスパイク状の波形と降雨の影響による波形が混同するような状態となることから、本ケースでは適用が困難であると判断した。

そのため、このような調査地点を避け、上下流で適した地点を選定することが望ましい。

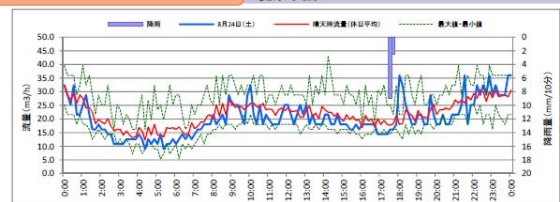


晴天時の比較

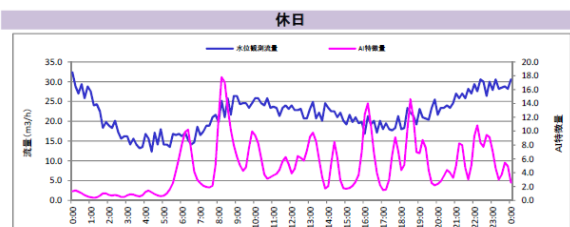


8/27降雨: 11.5mm/日

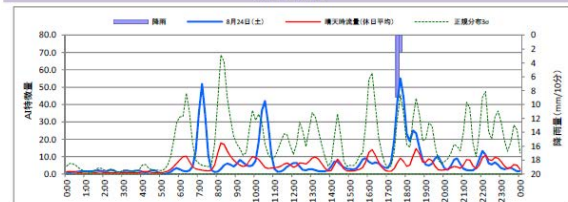
従来手法



両者は不整合



AI音響解析



サービス管からの水の流入に影響され
音響AI解析結果では傾向得られず

図 2-9 副管が存在しない場合の調査事例（つくば市常南処理区）

《機器（マイク）水没の危険性が高い場合》

集音装置及び外部マイクについては防水性であることから、水没してもその機能が失われることはない。

一方で、調査地点のマンホール内の水位変動により、以下の現象が発生することが確認できている（図 2-10 参照）。

- 水位が管頂に達するまでは流水音が確認できるため、特徴量が増加していく。
- 水位が管頂以上になると流水音が小さくなっていき、特徴量が減少していく。
- 外部マイクが水没してもその傾向は変わらず、水位が上昇していくと特徴量が減少していく。

また、外部マイクが水没してもその機能に影響はないものの、表面に汚れが付着した場合、その後収録される音源とそれまでの音源に大きな違いが出ることを確認された（図 2-11 参照）。

そのため、豪雨が発生し外部マイクが水没している可能性が高いケースでは、緊急点検を行い、必要に応じて集音装置の交換を行うことが望ましい。

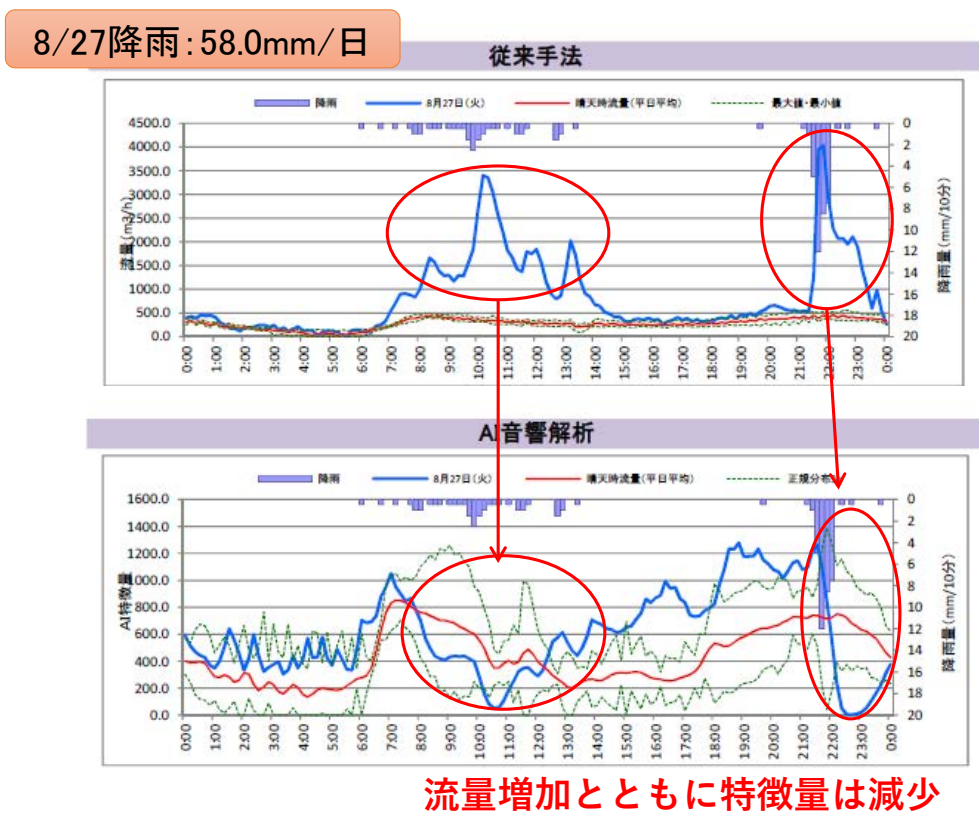


図 2-10 外部マイクが水没した地点での調査事例（つくば市常南処理区）

8/6降雨

8/27降雨

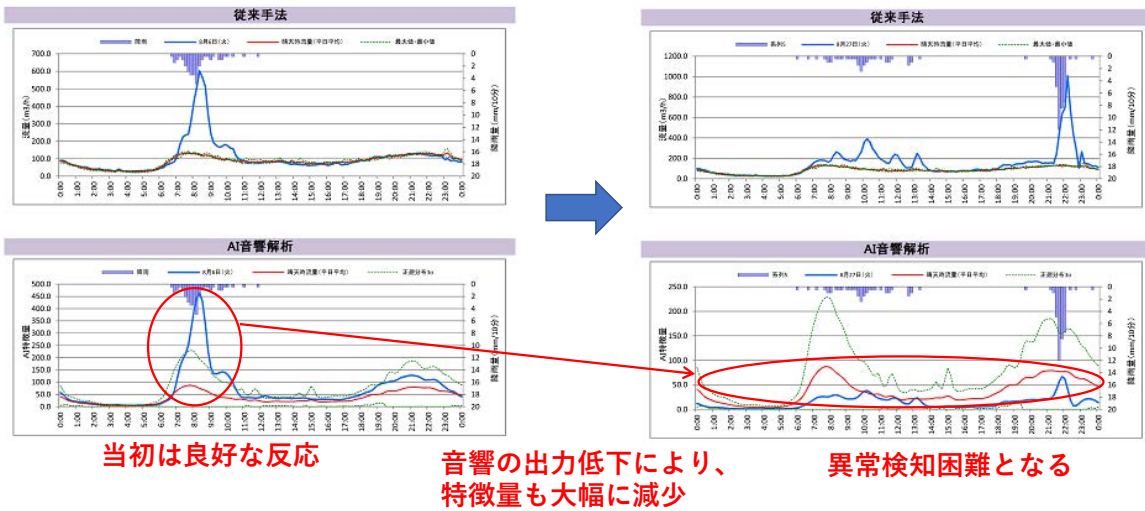


図 2-11 外部マイクが水没後に特徴量が減少した地点での調査事例（熊本市湖東流域）



図 2-12 水没した外部マイクの状況（つくば市常南処理区）

以上の結果を取りまとめ、適用範囲の評価結果を表 2-2 に示す。

- 本技術は人孔内の流水音を観測することから、その特徴に対して検証した「騒音」・「大深度」・「小流量」については、今回実施した箇所において問題なく適用できることを確認できた。
- 「ポンプの起動・停止の影響」・「不定期排水の影響」については、ポンプの起動停止や不定期排水の影響により管渠内の水位が変動することから、晴天時のパターン構築が非常に困難であった。そのため、雨天時の異常検知にも影響をきたすことから、適用範囲から除外することとした。
- 「屈曲部で調査する場合」については、水流が乱れるため音響の振動が大きくなる傾向があるため、晴天時のパターン構築時の性状の範囲が大きくなる傾向があった。そのため、調査自体は可能であるが、雨天時の異常検知の判断がわかりにくくなるため、上下流のマンホールで調査するなど、調査地点の再考が望ましい。
- 「マンホールへの直接流入がある場合」については、流入管の音響の影響を強く受けることから、晴天時のパターン構築が困難になることが確認できた。そのため、雨天時の異常検知にも影響をきたすことから、適用範囲から除外することとした。
- 「機器（マイク）水没の危険性が高い場合」については、水没後の観測データに影響を及ぼしていることが確認できた。一方で、マイクと水面の距離（3m 以上）が離れている場合には、水流音の解析が困難になることも確認できた。そのため、調査時には以下の点に留意して実施する。
 - 観測時にはマンホールに付着している水跡を確認し、これより高い地点にマイクがくるように設置する。
 - 観測地点のマンホールで水跡が水面と離れている場合は、2.5m を限度にマイク設置位置を調整する。水跡が水面から 2.5m 以上の地点にあるマンホールは極力調査を避けるか、豪雨時の緊急点検地点として、観測時の降雨状況に応じた点検を行う。
 - 水没の危険性が高い調査地点については、豪雨後にマイク水没の有無を現地にて確認するとともに、マイクが水没していた場合には感度低下の有無を現地で確認し、感度が低下している場合には音響装置を交換して調査を継続する。

表 2-2 適用範囲の評価結果まとめ

項目	適用可否	該当地区	検証結果
調査箇所の地上において騒音の影響を受ける地点	○		音響調査及び分析（AI 解析）ともに影響なく適用可能とする。
大深度人孔にて施設内の反響音の影響を受ける地点	○		音響調査及び分析（AI 解析）ともに影響なく適用可能とする。
小流量で流水音の発生が微弱な地点	○		音響調査及び分析（AI 解析）ともに影響なく適用可能とする。
ポンプの起動・停止の影響	×	つくば市 熊本市	ポンプ場やマンホールポンプの起動・停止の影響を受けて、晴天時・雨天時問わずポンプの運転状況によって上下流の水位（音響）が変動する場合、晴天時のパターン構築が非常に困難となり、結果、雨天時の異常判定（検知）が困難となる。
不定期排水の影響（工場排水等の影響）	×	神戸市（西 神流域）	調査対象区域内に工場等が多く立地しており、平日休日問わず稼働状況に応じて不定期に排水を行っている場合、晴天時のパターン構築が非常に困難となり、結果、雨天時の異常判定（検知）が困難となる。
屈曲部で調査する場合	△		コーナー部では、流水が波打つため音響の変動に振動が大きくなる傾向があり、晴天時のパターン構築時に正常の範囲が広がる。
マンホールへの直接流入がある場合	×	つくば市 熊本市	サービス管や取付管などを副管なしでマンホールに接続している場合、これらの音響により晴天時のパターン構築が困難になる。
機器（マイク）水没の危険性が高い場合	△		豪雨時の異常流入によりマイクが水没する地点では、マイクの汚れによる性能低下や異常検知の判断が困難になる恐れがある。

3. 実証研究における評価結果

3.1 検知精度

3.1.1 検知精度の評価対象降雨

雨天時浸入水の発生が予想される実証フィールド（5市の計10区域）を対象に、收音装置及び流量計（比較検証用）を設置し、約1か月間の連続観測を通して、以下の項目について評価した。

各区域の調査地点数を表3-1に示す。流量調査を実施した地点では音響調査も実施していることから、5都市の203調査地点における調査期間中上位5降雨を対象に検知精度を評価した。

なお、降雨の定義及び評価対象降雨の選定条件は以下のとおりとした。

- 1降雨の定義は、同日の0時から24までに観測された降雨とした。
- 評価対象降雨は、1降雨当たりの総降雨量、10分最大降雨量、時間最大降雨量をそれぞれ順位付けし、合計順位の低い順から5降雨を選定した。

表 3-1 調査地点及び調査期間一覧

調査自治体	流域名	絞り込み種別	調査期間			備考
			開始	終了	日数	
郡山市	大槻町	中⇒小ブロック	2019/9/21	2019/10/24	33	
	富久山町	中⇒小ブロック	2019/9/21	2019/10/24	33	
つくば市	常南	大⇒中ブロック	2019/8/24	2019/9/27	34	
名古屋市	兵庫地区	中⇒小ブロック	2019/9/14	2019/10/25	41	
	神の倉地区	中⇒小ブロック	2019/9/14	2019/10/25	41	
神戸市	加古川上流	大⇒中ブロック	2019/7/24	2019/9/9	47	
	岩岡P流域	大⇒中ブロック	2019/7/27	2019/9/9	44	第1フェーズ
	〃	中⇒小ブロック	2019/11/9	2019/12/12	33	第2フェーズ
	西神流域	大⇒中ブロック	2019/7/27	2019/8/28	32	第1フェーズ
	〃	中⇒小ブロック	2019/11/8	2019/12/10	32	第2フェーズ
熊本市	湖東流域	大⇒中ブロック	2019/8/1	2019/9/20	50	第1フェーズ
	〃	中⇒小ブロック	2019/11/16	2019/12/20	34	第2フェーズ
	富合流域	大⇒中ブロック	2019/8/3	2019/9/20	48	

表 3-2 評価対象降雨（郡山市）

降雨No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
降雨日		9/23	9/29	10/4	10/6	10/7	10/8	10/11	10/12	10/13	10/14	10/18	10/19	10/22
降雨量 (mm)	日量	4	1	15.5	1.5	2	6.5	6	220	15	16.5	1.5	25	34.5
	10分最大	0.5	0.5	2.5	0.5	0.5	0.5	1	6	5	1	0.5	1.5	1.5
	時間最大	1	0.5	6	1	1	1.5	3	30	14.5	3.5	0.5	5	5
総降雨時間		1.33	0.33	2.67	0.50	0.67	2.17	1.67	14.33	1.17	4.67	0.50	6.67	8.50
順位	日量	9	13	5	11	10	7	8	1	6	4	11	3	2
	10分最大	8	8	3	8	8	8	6	1	2	6	8	4	4
	時間最大	9	12	3	9	9	8	7	1	2	6	12	4	4
	降雨時間	8	13	5	11	10	6	7	1	9	4	11	3	2
	点数	34	46	16	39	37	29	28	4	19	20	42	14	12
	総合順位	9	13	4	11	10	8	7	1	5	6	12	3	2
対象降雨				対象					対象	対象			対象	対象
対象降雨	No.			1					2	3			4	5
	降雨日			10/4					10/12	10/13			10/19	10/22

表 3-3 評価対象降雨（つくば市）

降雨No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
降雨日		8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/28	8/30	9/9	9/10	9/11	9/16	9/18	9/22	9/23	9/25
降雨量 (mm)	日量	4	6	2	11.5	3.5	3.5	4	7	97	4.5	15	24	6.5	4	4	1
	10分最大	2.5	4	0.5	9	0.5	1	0.5	1.5	9	1.5	7.5	1.5	1	1	1	0.5
	時間最大	2.5	5.5	0.5	11.5	1.5	2.5	1	5	28	4	13.5	5.5	1.5	3	2.5	0.5
総降雨時間		0.67	0.50	0.67	0.33	1.17	1.00	1.33	1.50	6.33	0.83	1.33	6.00	2.00	1.00	1.17	0.33
順位	日量	9	7	15	4	13	13	9	5	1	8	3	2	6	9	9	16
	10分最大	5	4	13	1	13	9	13	6	1	6	3	6	9	9	9	13
	時間最大	9	4	15	3	12	9	14	6	1	7	2	4	12	8	9	15
	降雨時間	12	14	12	15	7	9	5	4	1	11	5	2	3	9	7	15
	点数	35	29	55	23	45	40	41	21	4	32	13	14	30	35	34	59
	総合順位	10	6	15	5	14	12	13	4	1	8	2	3	7	10	9	16
対象降雨					対象				対象	対象		対象	対象				
対象降雨	No.				1				2	3		4	5				
	降雨日				8/24				8/30	9/9		9/11	9/16				

表 3-4 評価対象降雨（名古屋市）

降雨No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
降雨日		9/17	9/18	9/20	9/21	9/22	9/23	10/3	10/4	10/7	10/11	10/12	10/14	10/18	10/19
降雨量 (mm)	日量	0.5	0.5	1	0.5	1	2	7	18.5	1	4.5	101.5	2	48.5	16
	10分最大	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	4	3	0.5	0.5	3	0.5	3	3
	時間最大	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	7	9.5	0.5	2	12.5	0.5	13	11.5
総降雨時間		0.17	0.17	0.33	0.17	0.33	0.50	0.50	2.33	0.33	1.50	16.33	0.67	8.67	2.17
順位	日量	12	12	9	12	9	7	5	3	9	6	1	7	2	4
	10分最大	7	7	7	7	7	6	1	2	7	7	2	7	2	2
	時間最大	8	8	8	8	8	7	5	4	8	6	2	8	1	3
	降雨時間	12	12	9	12	9	7	7	3	9	5	1	6	2	4
	点数	39	39	33	39	33	27	18	12	33	24	6	28	7	13
	総合順位	12	12	9	12	9	7	5	3	9	6	1	8	2	4
対象降雨								対象	対象		対象			対象	対象
対象降雨	No.							1	2			3		4	5
	降雨日							10/3	10/4			10/12		10/18	10/19

表 3-5 評価対象降雨（神戸市加古川上流流域）

降雨No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
降雨日		7/27	8/14	8/15	8/16	8/19	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/27	8/28	8/29	8/30	8/31
降雨量 (mm)	日量	20.5	3	110	42	4	0.5	2	21.5	0.5	11	11.5	23	7	8	0
	10分最大	4	1.5	9	4.5	1.5	0.5	1	13	0.5	3.5	1.5	3	4.5	2	0
	時間最大	10.5	2	43.5	18.5	2	0.5	2	16	0.5	7	4.5	6.5	7	4	0
総降雨時間		2.83	0.67	8.33	4.33	1.00	0.17	0.50	2.50	0.17	0.83	2.83	4.33	0.33	1.33	0.00
順位	日量	5	11	1	2	10	13	12	4	13	7	6	3	9	8	15
	10分最大	5	9	2	3	9	13	12	1	13	6	9	7	3	8	15
	時間最大	4	10	1	2	10	13	10	3	13	5	8	7	5	9	15
	降雨時間	4	10	1	2	8	13	11	6	13	9	4	2	12	7	15
	点数	18	40	5	9	37	52	45	14	52	27	27	19	29	32	60
	総合順位	4	11	1	2	10	13	12	3	13	6	6	5	8	9	15
対象降雨	対象	対象		対象	対象				対象		対象	対象	対象			
	No.	1		2	3				4		5	6	7			
降雨日		7/27		8/15	8/16				8/23		8/25	8/27	8/28			

※8/27、8/28 降雨は、評価地点数が少なくなることから評価対象降雨から除外した。

表 3-6 評価対象降雨（神戸市岩岡ポンプ場及び西神流域_第1フェーズ）

降雨No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
降雨日		7/27	8/14	8/15	8/16	8/19	8/20	8/23	8/24	8/27	8/28	8/29	8/30	8/31
降雨量 (mm)	日量	31.5	0.5	52	20.5	1	0.5	12.5	0.5	7	6.5	14.5	7.5	0.5
	10分最大	4.5	0.5	4	4	0.5	0.5	4.5	0.5	1.5	0.5	9.5	3.5	0.5
	時間最大	13.5	0.5	8.5	11.5	0.5	0.5	8	0.5	3.5	1.5	14	6.5	0.5
総降雨時間		3.50	0.17	8.17	3.33	0.33	0.17	1.67	0.17	1.67	2.17	0.50	0.83	0.17
順位	日量	2	10	1	3	9	10	5	10	7	8	4	6	10
	10分最大	2	8	4	4	8	8	2	8	7	8	1	6	8
	時間最大	2	9	4	3	9	9	5	9	7	8	1	6	9
	降雨時間	2	10	1	3	9	10	5	10	5	4	8	7	10
	点数	8	37	10	13	35	37	17	37	26	28	14	25	37
	総合順位	1	10	2	3	9	10	5	10	7	8	4	6	10
対象降雨		対象		対象	対象			対象				対象		
対象降雨	No.	1		2	3			4				5		
	降雨日	7/27		8/15	8/16			8/23				8/29		

表 3-7 評価対象降雨（神戸市岩岡ポンプ場及び西神流域_第2フェーズ）

降雨No.		1	2	3	4	5
降雨日		11/14	11/18	11/19	11/28	12/2
降雨量 (mm)	日量	0.5	4	0.5	0.5	16
	10分最大	0.5	1.5	0.5	0.5	2
	時間最大	0.5	2.5	0.5	0.5	6.5
総降雨時間		0.17	0.83	0.17	0.17	3.50
順位	日量	3	2	3	3	1
	10分最大	3	2	3	3	1
	時間最大	3	2	3	3	1
	降雨時間	3	2	3	3	1
	点数	12	8	12	12	4
	総合順位	3	2	3	3	1
対象降雨		対象	対象	対象	対象	対象
対象降雨	No.	1	2	3	4	5
	降雨日	11/14	11/18	11/19	11/28	12/2

表 3-8 評価対象降雨（熊本市湖東流域_第1フェーズ）

降雨No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
降雨日		8/6	8/7	8/14	8/15	8/19	8/20	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	8/29	8/30	8/31	9/1	9/3	9/4	9/5	9/6	9/8	9/12	9/13
降雨量 (mm)	日量	31.5	4.5	3.5	56	12.5	12.5	48.5	24.5	10	18.5	58	4.5	93.5	13	8.5	11	22	16	17.5	0.5	17	7	2
	10分最大	5	2.5	0.5	3.5	2.5	1	3	5	1	3.5	12	0.5	8.5	5	1.5	1.5	8	5.5	5.5	0.5	10	2	0.5
	時間最大	12.5	4	1	9	6	4.5	8.5	14.5	2	5.5	27	1.5	34.5	10.5	2.5	6.5	8	8.5	15.5	0.5	15.5	2.5	1.5
総降雨時間		3.83	0.50	1.17	10.17	2.67	3.33	9.33	3.83	2.83	3.17	6.17	1.50	5.67	1.50	2.00	2.17	2.17	1.50	1.33	0.17	0.83	1.33	0.67
順位	日量	5	19	21	3	13	13	4	6	16	8	2	19	1	12	17	15	7	11	9	23	10	18	22
	10分最大	7	13	20	10	13	18	12	7	18	10	1	20	3	7	16	16	4	5	5	20	2	15	20
	時間最大	6	16	22	8	13	15	9	5	19	14	2	20	1	7	17	12	11	9	3	23	3	17	20
	降雨時間	5	22	19	1	10	7	2	5	9	8	3	14	4	14	13	11	11	14	17	23	20	17	21
	点数	23	70	82	22	49	53	27	23	62	40	8	73	9	40	63	54	33	39	34	89	35	67	83
総合順位		4	19	21	3	13	14	6	4	16	11	1	20	2	11	17	15	7	10	8	23	9	18	22
対象降雨	対象			対象				対象			対象		対象		対象									
	No.	1			2				3			4		5										

表 3-9 評価対象降雨（熊本市湖東流域_第2フェーズ）

降雨No.		1	2	3	4	5	6	7	8
降雨日		11/18	11/24	11/28	12/1	12/2	12/16	12/17	12/18
降雨量 (mm)	日量	8	14.5	5.5	20	12.5	0.5	14	2.5
	10分最大	2.5	1.5	0.5	1.5	2.5	0.5	6	0.5
	時間最大	4.5	5	1.5	6.5	8	0.5	8	2
総降雨時間		1.83	3.33	1.83	3.50	2.33	0.17	2.17	0.83
順位	日量	5	2	6	1	4	8	3	7
	10分最大	2	4	6	4	2	6	1	6
	時間最大	5	4	7	3	1	8	1	6
	降雨時間	5	2	5	1	3	8	4	7
	点数	17	12	24	9	10	30	9	26
総合順位		5	4	6	1	3	8	1	7
対象降雨	対象	対象	対象		対象	対象		対象	
	No.	1	2		3	4		5	
降雨日		11/18	11/24		12/1	12/2		12/17	

表 3-10 評価対象降雨（熊本市富合流域）

降雨No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
降雨日		8/6	8/7	8/14	8/15	8/19	8/20	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	8/29	8/30	8/31	9/1	9/3	9/4	9/6	9/8		
降雨量 (mm)	日量	18.5	11.5	7	58	17	10.5	38.5	29	8	12	44.5	2.5	49	6	6.5	18	24.5	9	0.5	5		
	10分最大	2.5	5.5	2	3	3.5	1.5	6	4	1.5	3	14	0.5	9	2	1	5	6.5	2	0.5	4.5		
	時間最大	7	11.5	2.5	9.5	10	4	10	12	2.5	7	20	0.5	29	3	2.5	10.5	13.5	6.5	0.5	5		
総降雨時間		3.67	0.50	1.67	9.33	2.83	2.67	6.17	3.83	2.00	2.00	5.50	0.83	3.67	1.33	1.83	2.50	1.83	1.50	0.17	0.33		
順位	日量	7	11	15	1	9	12	4	5	14	10	3	19	2	17	16	8	6	13	20	18		
	10分最大	12	5	13	10	9	16	4	8	16	10	1	19	2	13	18	6	3	13	19	7		
	時間最大	10	5	16	9	7	14	7	4	16	10	2	19	1	15	16	6	3	12	19	13		
	降雨時間	5	18	14	1	7	8	2	4	10	10	3	17	5	16	12	9	12	15	20	19		
	点数	34	39	58	21	32	50	17	21	56	40	9	74	10	61	62	29	24	53	78	57		
総合順位		9	10	16	4	8	12	3	4	14	11	1	19	2	17	18	7	6	13	20	15		
対象降雨	対象				対象			対象	対象			対象		対象									
	No.				1			2	3			4		5									
降雨日					8/15			8/23	8/24			8/27		8/29									

3.1.2 検知精度の評価結果

性能評価として、検知精度に関する評価結果の概要を以降に示す。

【大⇒中ブロック調査】

神戸市 加①地区における検知精度結果事例

2019/8/23 : (総降雨量 21.5mm/日、時間最大降雨量 : 16.0mm/hr)

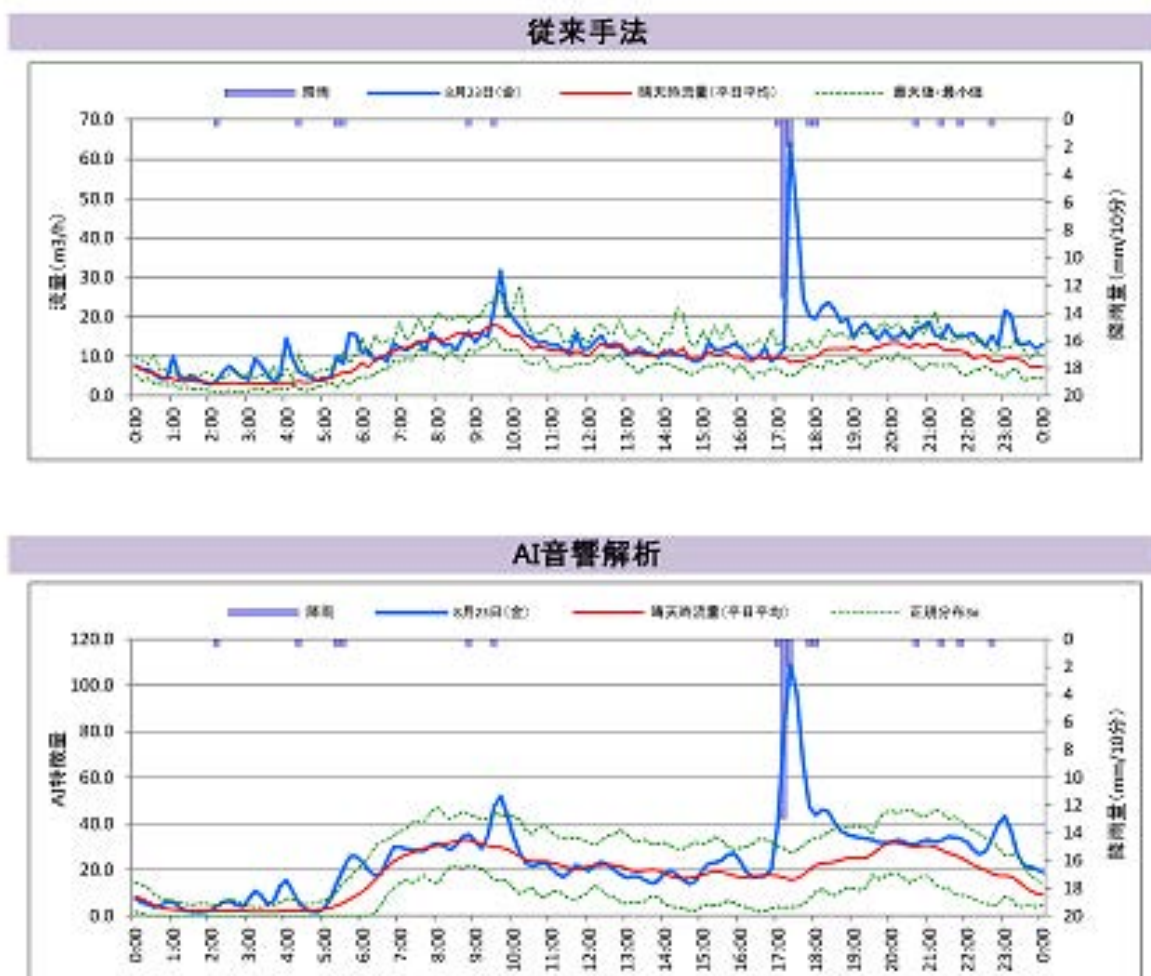


図 3-1 検知精度の結果事例 (大ブロック⇒中ブロック)

【中⇒小ブロック調査】

熊本市 K9-1 地区における検知精度結果事例

2019/11/24 : (総降雨量 14.5mm/日、時間最大降雨量 : 5.0mm/hr)

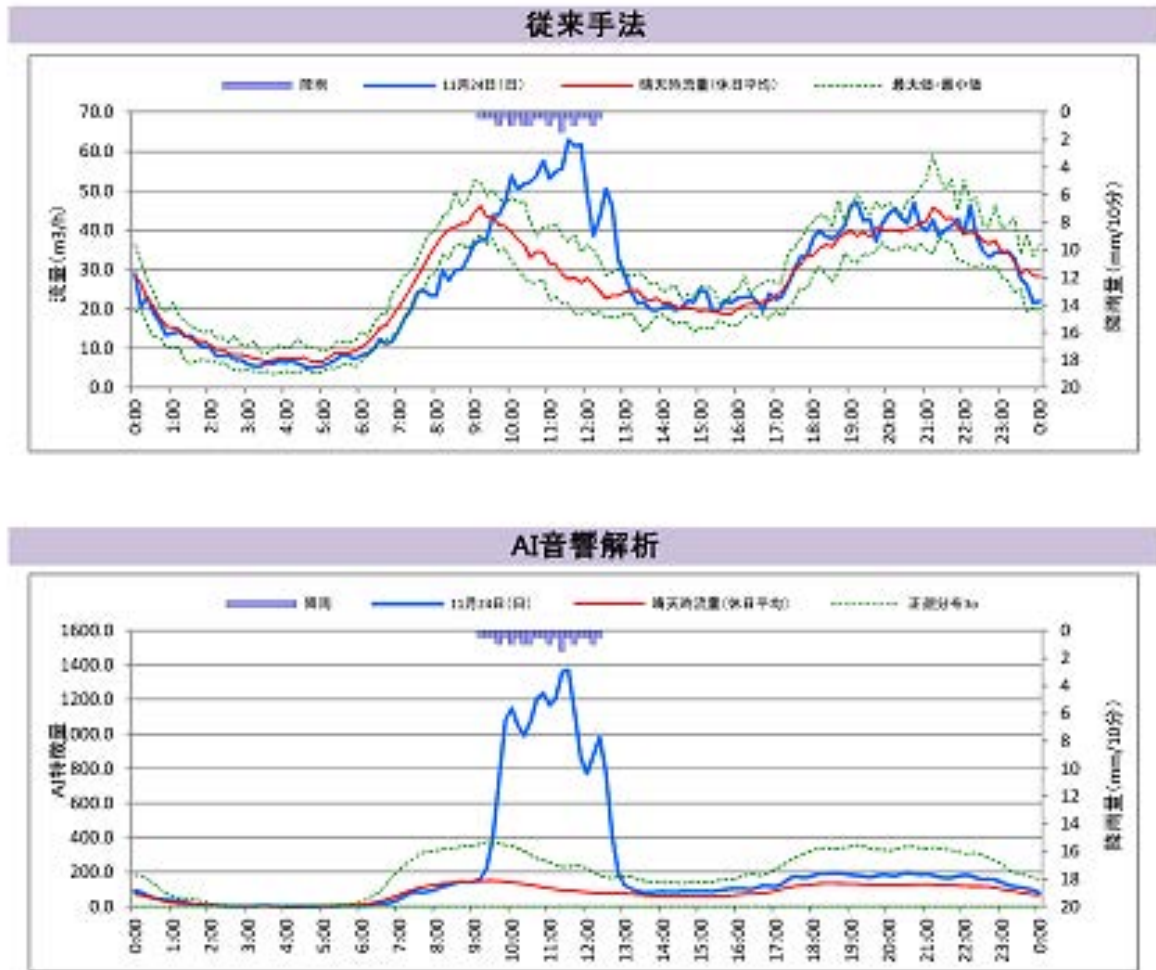


図 3-2 検知精度の結果事例 (中ブロック⇒小ブロック)

【中⇒小ブロック調査】

名古屋市 NK7 地区における検知精度結果事例

2019/10/12 : (総降雨量 101.5mm/日、時間最大降雨量 : 12.5mm/hr)

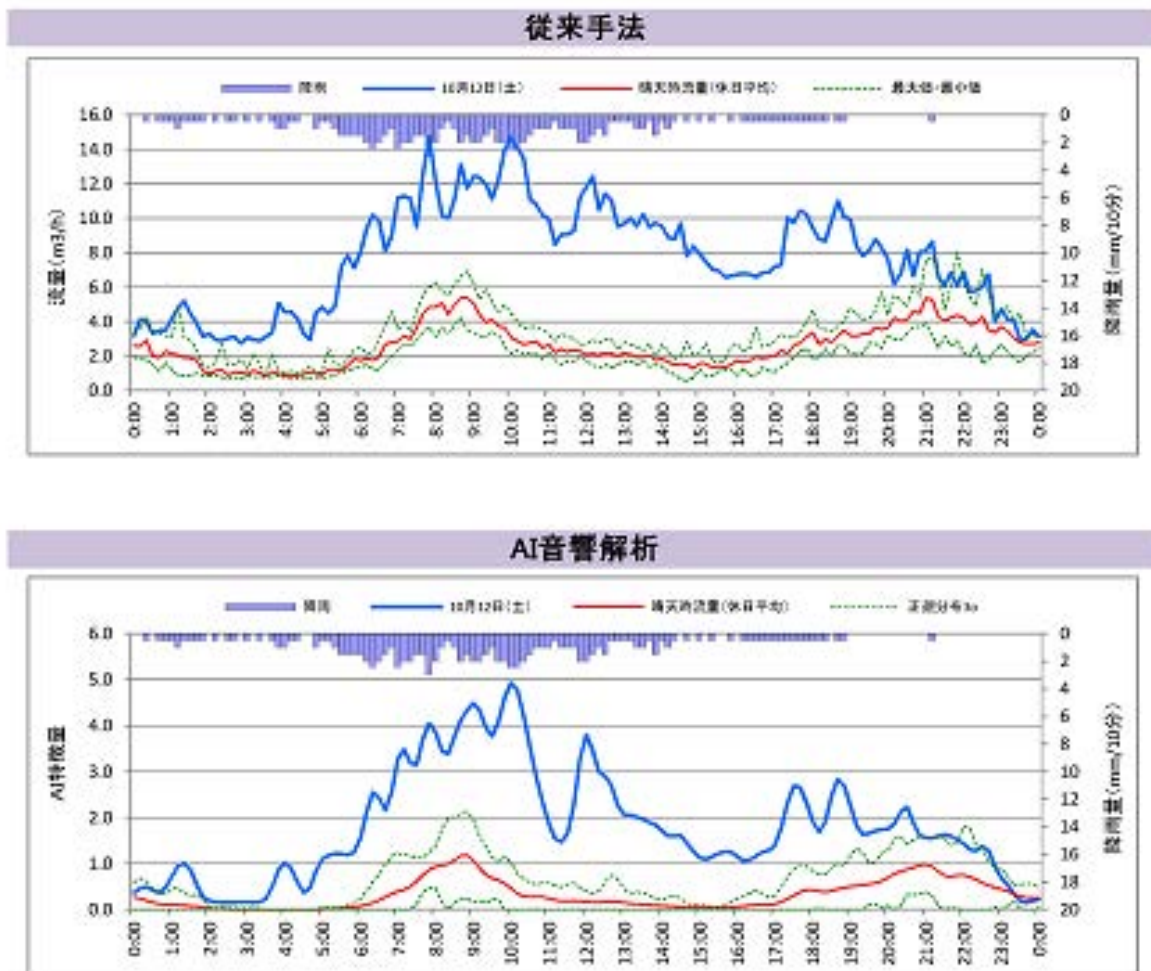


図 3-3 検知精度の結果事例 (中ブロック⇒小ブロック)

表 3-11 検知精度の評価結果（郡山市大槻町）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
O1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
O2	5	5	0	0	0	0	0	-	-	流量欠測
O3	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
O4	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
O5	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
O6	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
O7	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
O8	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
合計	40	5	2	0	33	33	33	100%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-12 検知精度の評価結果（郡山市富久山町）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
F1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
F2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
F3	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
F4	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
F6	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
F7	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
F8	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
F9	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
F10	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
F11	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
F12	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
F13	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
F14	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
F15	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
F16	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
合計	75	0	19	0	56	56	56	100%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-13 検知精度の評価結果（つくば市常南処理区）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
T02	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	流入管影響
T03	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	マイク位置
T06	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	流入管影響
T08	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
T09	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	マイク位置
T10	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
T12	5	0	5	0	0	0	0	-	-	音響欠測
T13	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
T17	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
T18	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
T22	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	流入管影響
T23	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
T27	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
T30	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
T31	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
T35	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
T37	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
T38	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
T39	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
T44	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
T45	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
T46	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
T47	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
T48	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
合計	120	0	19	55	101	46	46	46%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-14 検知精度の評価結果（名古屋市神の倉地区）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
NK04	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NK07	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
NK10	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NK21	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NK30	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NK31	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NK37	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NK42	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NK48	5	4	0	0	1	1	1	100%	100%	
NK49	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
合計	50	4	2	0	44	44	44	100%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-15 検知精度の評価結果（名古屋市兵庫地区）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲 外 控除				
NH02	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NH06	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NH10	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NH14	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
NH26	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NH30	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NH35	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NH43	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
NH44	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
合計	45	1	0	0	44	44	44	100%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-16 検知精度の評価結果（神戸市加古川上流流域）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲 外 控除 ⑥=⑤-④				
加①	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加②	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加③	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
加④	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加⑤	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加⑥	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加⑦	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加⑧	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加⑨	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加⑩	5	0	4	0	1	1	1	100%	100%	
加⑪	5	0	4	0	1	1	1	100%	100%	
加⑬-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加⑬-2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
加⑭	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
合計	70	0	10	0	60	60	60	100%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-17 検知精度の評価結果（神戸市岩岡流域_第1フェーズ）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
岩①	5	2	0	0	3	3	3	100%	100%	
岩②	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
岩③	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
岩④	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
岩⑤	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
岩⑥	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
岩⑦	5	0	4	0	1	1	1	100%	100%	
岩⑧	5	2	2	0	1	1	1	100%	100%	
岩⑨	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
岩⑩	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
合計	50	10	6	0	34	34	34	100%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-18 検知精度の評価結果（神戸市岩岡流域_第2フェーズ）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
岩6-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
岩6-2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
岩6-3	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
岩6-4	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
岩6-5	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
岩9-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
岩9-2	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
岩9-3	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
岩9-4	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
合計	45	0	6	0	39	39	39	100%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-19 検知精度の評価結果（神戸市西神流域_第1フェーズ）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
西①	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西②	5	0	4	0	1	1	1	100%	100%	
西③	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
西④	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西⑤	5	1	0	0	4	4	4	100%	100%	
西⑥	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西⑦	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西⑧	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
西⑨	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
西⑩	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
合計	50	2	4	15	44	29	29	66%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-20 検知精度の評価結果（神戸市西神流域_第2フェーズ）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
西1-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西1-3	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西1-4	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西1-5	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西1-6	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西1-7	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西1-8	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西3-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西3-2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西3-3-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西3-3-2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西3-4	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
西3-5-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西3-5-2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西6-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西6-2-1	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
西6-2-2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西6-3	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西6-4	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
西9-1	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
西9-2S	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
西9-3	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
西9-4	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
西9-5	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
合計	120	0	6	20	114	94	94	82%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-21 検知精度の評価結果（熊本市湖東流域_第1フェーズ）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-② -③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
K01	5	2	2	0	1	1	1	100%	100%	
K02	5	0	5	0	0	0	0	-	-	音響欠測
K05	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K07	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
K08	5	0	4	0	1	1	1	100%	100%	
K12	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
K13	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
K14	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
K15	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
K16	5	0	5	0	0	0	0	-	-	音響欠測
K17	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	流入管影響
K18	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
K19	5	0	4	0	1	1	1	100%	100%	
K20	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
K26	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K27	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K28	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
k31	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K32	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K33	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K35	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
合計	105	2	33	10	70	60	60	86%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-22 検知精度の評価結果（熊本市湖東流域_第2フェーズ）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-②-③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
K09-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K09-2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K09-3	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
K09-4	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K09-5	5	0	5	0	0	0	0	-	-	音響欠測
K09-6	5	0	1	1	4	3	3	75%	100%	
K09-7	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
K09-8	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K09-9	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K09-10	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
K17-1	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-2	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-3	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-4	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-5	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-6	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-7	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-8	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
K17-9	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-10	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-11	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-12	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K17-13	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
合計	115	0	12	1	103	102	102	99%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

表 3-23 検知精度の評価結果（熊本市富合流域）

測点 No	評価対象降雨						正常検知 ⑦	検知精度		備考
	対象 降雨数 ①	流量 欠測 ②	音響 欠測 ③	適用 範囲外 ④	評価対象降雨数			評価A ⑦/⑤	評価B ⑦/⑥	
					欠測控除 ⑤=①-②-③	適用範囲外 控除 ⑥=⑤-④				
K37	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
K42	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
K43	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
K44	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K46	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
K48	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K49	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
K50	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K53	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K54	5	2	0	0	3	3	3	100%	100%	
K56	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	不定期排水
K61	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
K71-2	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
K63	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
K64	5	0	3	0	2	2	2	100%	100%	
K65	5	0	5	0	0	0	0	-	-	音響欠測
K66	5	0	4	0	1	1	1	100%	100%	
K68	5	0	2	0	3	3	3	100%	100%	
K69	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
K70	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
K71-1	5	0	4	0	1	1	1	100%	100%	
K72	5	0	0	5	5	0	0	0%	-	P影響
K73	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K76	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K79	5	0	0	0	5	5	5	100%	100%	
K80	5	0	1	0	4	4	4	100%	100%	
合計	130	2	26	40	102	62	62	61%	100%	

※評価の考え方

評価A: 欠測を控除した評価対象降雨に対する検知精度

評価B: 評価Aから適用範囲外を控除した評価対象降雨に対する検知精度

3.2 事業性評価

本技術の事業性については、調査から分析及び詳細調査まで含めた総費用で評価を行った。また、評価の目標値は、従来技術における総費用と比較して「50%削減」を設定した。なお、事業性の実証方法は、実証フィールドにおいて従来技術を用いた絞り込み調査で流量計を設置した箇所に本技術の集音装置を設置した場合の現地調査費及びデータの整理・分析に要する費用、その後の詳細調査の総費用を比較することとした。さらに、本技術が対象とする雨天時浸入水調査は、異常区域や箇所を特定したあと、原因を特定するために下水道管のテレビカメラ調査や誤接続発見のための送煙調査等の詳細調査を実施する。本技術では雨天時浸入水量の相対比較による優先度判定ができないため、絞り込み調査時点、詳細調査時点で調査地点数や延長が増える可能性もあることから、調査地点数の違いや詳細調査範囲まで含めた事業性を評価する。

表 3-24 事業性の評価（イメージ） 単位：千円

項目	本技術 (音響調査) 60 箇所設置	従来技術 (流量観測) 40 箇所設置	削減率 (%)
調査	15,000	35,000	57
分析	7,000	6,000	-17
詳細調査	25,000	19,000	-32
合計	47,000	60,000	22

3.2.1 評価方法

本評価では、全国 5 都市 10 地区で雨天時浸入水調査を実施した結果を用いる。各都市における調査では、本技術と従来技術の比較として同一マンホール内に、両技術で用いる調査機器を設置し観測している箇所と、性能面の確認を目的として本技術単独で調査機器を設置して観測している箇所に分けられている。

事業性の評価では、両技術を同一箇所で観測している箇所における設置数で比較を行う。なお、比較については、調査と分析に分けてそれぞれ算出するとともに、それらを合計した総費用で評価を行うこととする。ここで、前述のとおり、比較用の調査地点数及び詳細調査の範囲については、実証フィールドの特性に応じて設定されるものとし、必ずしも同一箇所数や延長で評価を行わないこととする。

(1) 調査

各区域における調査地点数に応じて本技術と従来技術における機器設置・撤去に要する事業費を算出する。なお、本評価では雨天時浸入水の絞り込み目的として、同一マンホール内で両技術の観測を実施している地点数で行うこととする。

(2) 分析

従来技術者が雨天時浸入水の有無を判断するまでのプロセス（データ整理⇒分析⇒検知）の時間を本技術では AI 技術を適用することで作業時間を短縮している。ここでは、両技術におけるデータ整理から分析（検知）までの工程における事業費を算出する。

(3) 詳細調査

各都市における詳細調査延長に応じて本技術と従来技術にて雨天時浸入水の発生を検知した区域を対象に詳細調査（TV カメラ調査）を実施した場合の事業費を算出する。

上述した評価方法に基づき本技術と従来技術について、以下の評価式に基づき評価を行う。

【評価式 事業費削減率】

$$\text{事業費の削減率 (\%)} = \frac{(B - A)}{B} \times 100$$

A：本技術における調査及び分析、詳細調査に要する総費用（百万円）

B：従来技術における調査及び分析、詳細調査に要する総費用（百万円）

3.2.2 条件設定

(1) 調査及び分析に関する特徴整理

従来技術は、観測結果から得られる定量的指標（ m^3 ）に基づくブロック間の相対比較が可能なことから、絞り込みにおいて優先度判定が可能である。一方、本技術については、AI解析から得られる特徴量が当該地点特有の指標であることから、従来技術のような相対比較が不可能である。よって、従来技術と同様の結果を得るために本技術を用いた調査を実施する場合は、従来技術よりより多くの設置箇所が必要となる。

表 3-25 比較対象とした調査技術

技術の種類	技術の内容	
	調査	分析
本技術	音響調査	AI解析を用いた広域的に多地点設置による検知
従来技術	流量計等によるスクリーニング調査	技術者によるデータ整理・分析結果を用いた優先度判定による絞り込み調査

表 3-26 従来技術と本技術における比較評価上の留意すべき特徴

従来技術	複数の調査地点にて、量調査を実施し、その結果の分析・評価から定量的指標（ m^3 ）によって、雨天時浸入水量を相対比較して対策実施効果の高い区域を優先的に調査して、絞り込んでいく手法となる。
本技術	調査地点におけるAI解析結果は、その箇所における異常検知のためだけに算出される値（特徴量）であるため、他の調査地点と相対比較が難しい。よって、従来技術のような優先度判定が難しいことから、広域的に多地点で調査する手法となる。

(2) 積算範囲

本技術を活用した全体フローにおいてコスト算定の範囲は、図 3-4 で示す全行程を対象として、算定する作業費については、作業価格とする（図 3-5 参照）。

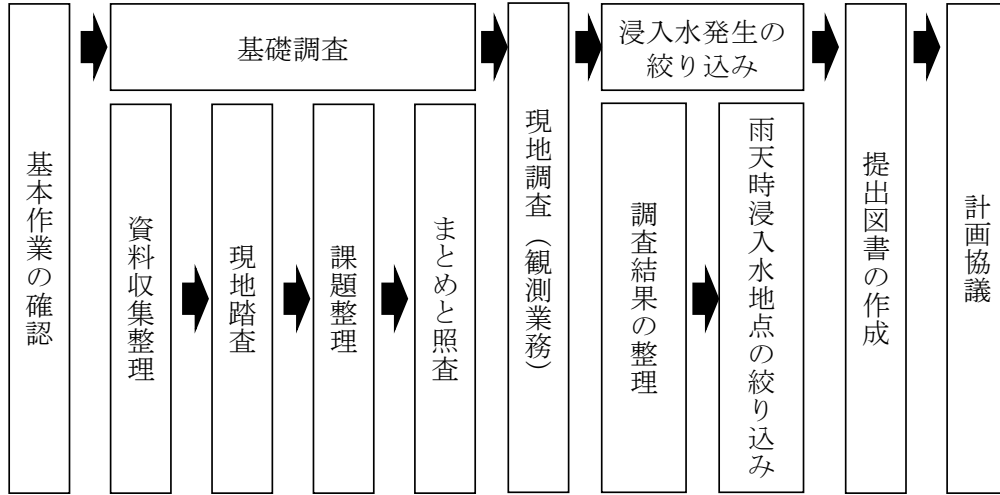


図 3-4 本技術のコスト算定範囲

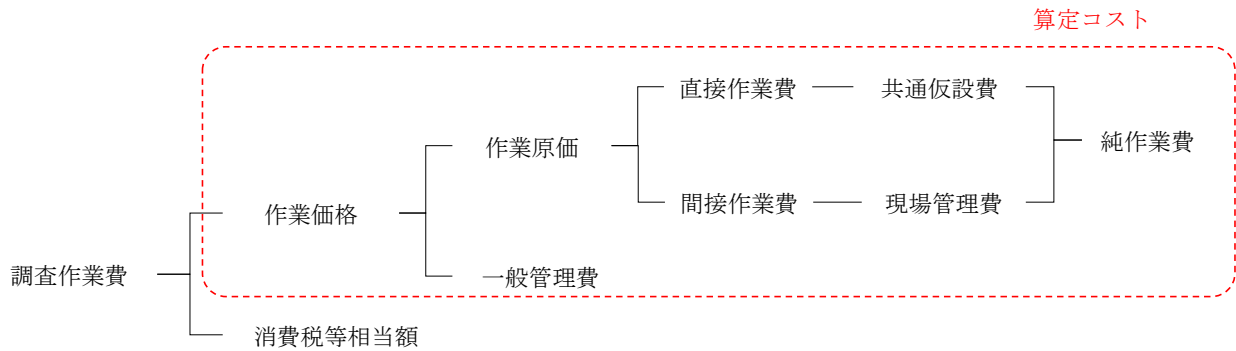


図 3-5 調査及び分析の作業費算定範囲

(3) 算定条件

表 3-27 に本技術と従来技術の事業性を比較するためのコスト算定条件を示す。比較においては、調査地点数が同一数でない点と分析においては AI 解析と技術者（ヒト）が実施する点が異なる。また、詳細調査については延長当たりの費用は同じであるが、調査・分析の結果、詳細調査の延長が異なるものとなる。

上記より詳細調査を含めた評価とした理由は、本技術において調査地点数が従来技術より多くなる場合でも、詳細調査の延長が短くなることで、総費用として、従来技術より有利になることを確認することが目的である。

表 3-27 コスト算定条件

項目	本技術	従来技術
調査方法	音響調査	流量観測調査
調査	① 従来技術と同一箇所に設置 ② 更なる絞り込みが期待できる箇所に設置	絞り込み調査に必要な箇所に設置
分析	本技術：AI解析	技術者による分析（ヒト）
詳細調査	TVカメラ調査 2,000円/m	TVカメラ調査 2,000円/m
積算	研究体積算	下水道管路管理積算要領
積算範囲	調査→分析→詳細調査	調査→分析→詳細調査

3.2.3 評価結果

事業性の評価として、本技術と従来技術において、各技術で絞り込み調査に必要となる箇所に設置した場合で以下の2種類の評価を実施する。

評価①：大→中ブロックに絞り込む調査で事業性評価
(詳細調査まで実施しないため詳細調査は評価対象外)

評価②：中→小ブロックに絞り込む調査で事業性評価
(絞り込み結果によって詳細調査範囲が算出されるため詳細調査は評価対象)







表 3-28 事業性評価における条件一覧

都市名	地区	評価		評価箇所 (箇所数)		絞り込み結果 (TVカメラ調査延長 (m))	
				本技術	従来技術	本技術	従来技術
郡山市	大槻町	②	調査+分析+詳細調査	7	5	505.02	658.36
	富久山町	②	調査+分析+詳細調査	18	8	3,655.52	4,337.54
つくば市	常南処理区	①	調査+分析	24	24	—	—
名古屋市	兵庫地区	②	調査+分析+詳細調査	9	4	2,396.92	2,396.92
	神の倉地区	②	調査+分析+詳細調査	20	10	2,099.74	3,511.58
神戸市	加古川流域	①	調査+分析	14	14	—	—
	岩岡流域	②	調査+分析+詳細調査	27	16	4,384.68	6,079.45
	西神流域	②	調査+分析+詳細調査	29	18	10,976.26	12,879.85
熊本市	湖東流域	②	調査+分析+詳細調査	52	33	14,768.98	16,489.91
	富合流域	①	調査+分析	19	19	—	—
合計				219	151	38,787.12	46,353.61

《評価①結果》

詳細調査を実施する必要がなかった「つくば市（常南処理区）」・「神戸（加古川上流流域）」・「熊本市（富合流域）」については、事業費の削減率が平均 57.7%であった。

表 3-29 事業性の評価①結果

自治体 項目	③つくば市 (常南処理区)		⑥神戸市 (加古川上流流域)		⑨熊本市 (富合流域)	
	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術
調査種別	大→中ブロック		大→中ブロック		大→中ブロック	
対象面積 (ha)	1,500	1,500	1,500	1,500	150	150
観測方法	音響	流量	音響	流量	音響	流量
①設置箇所 (箇所)	24	24	14	14	19	19
②調査費用 (千円)	7,100	21,240	4,210	12,800	5,660	17,090
③分析費用 (千円)	3,430	3,780	3,430	3,784	1,550	1,290
④詳細調査費用 (千円)	—	—	—	—	—	—
⑤合計費用 (②+③+④)	10,530	25,020	7,640	16,584	7,210	18,380
⑥評価 (%)	 42%	 100%	 46%	 100%	 39%	 100%
⑦削減割合 (%)	58%		54%		61%	

《評価②結果》

詳細調査を評価対象とした「郡山市」・「神戸（岩岡&西神流域）」・「名古屋市（兵庫・神の倉）」・「熊本市（湖東）」については、7地区で平均約27.3%の事業費削減効果であった。

表 3-30 事業性の評価②結果

自治体 項目	①郡山市 (大槻町)		②郡山市 (富久山町)		⑦神戸市 (岩岡流域)		⑧神戸市 (西神流域)		④名古屋市 (兵庫地区)		⑤名古屋市 (神の倉地区)		⑩熊本市 (湖東流域)	
	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術
調査種別	中→小ブロック		中→小ブロック		大→中→小ブロック (第1・2フェーズ)		大→中→小ブロック (第1・2フェーズ)		中→小ブロック		中→小ブロック		大→中→小ブロック (第1・2フェーズ)	
対象面積 (ha)	70	70	130	130	165	165	900	900	10	10	20	20	600	600
観測方法	音響	流量	音響	流量	音響	流量	音響	流量	音響	流量	音響	流量	音響	流量
①設置箇所 (箇所)	7	5	18	8	27	16	29	18	9	4	20	10	52	33
②調査費用 (千円)	2,180	4,875	5,450	7,540	7,880	14,500	8,450	16,200	2,780	3,900	5,950	9,310	14,620	28,840
③分析費用 (千円)	1,350	1,020	1,500	1,220	1,600	1,350	2,800	2,940	1,230	862	1,250	890	2,390	2,410
④詳細調査費用 (千円)	1,010	1,317	7,311	8,675	8,769	12,159	21,953	25,760	4,794	4,794	4,199	7,023	29,538	32,980
⑤合計費用 (②+③+④)	4,540	7,212	14,261	17,435	18,249	28,009	33,203	44,900	8,804	9,556	11,399	17,223	46,548	64,230
⑥評価 (%)	63%	100%	82%	100%	65%	100%	74%	100%	92%	100%	66%	100%	72%	100%
⑦削減割合 (%)	37%		18%		35%		26%		8%		34%		28%	

評価②は、詳細調査までを含めた比較であり事業費削減効果は平均27.3%と一定の結果を得ることはできたが、目標値である従来技術との比較で「50%削減」は達成することはできなかった。目標未達の要因としては、詳細調査量が関係していると考えられる。本技術は、雨天時浸入水検知において従来技術と同程度の絞り込みを行うことはできるが、従来技術のような定量的な評価を踏まえた優先度判定が難しいことから、中ブロックから小ブロックへの絞り込みにおいては従来技術より多くの設置が必要となる。本技術を用いた調査及び分析の結果、雨天時浸入水の発生区域において広範囲に浸入水が発生している場合は、従来技術と同じ詳細調査量となるため事業費削減効果は殆ど発現しないこととなる。その結果として、当初の絞り込みにおいて、従来技術より多くの地点に設置していることから、評価②においては前述した両技術における調査地点が同数である評価①で示したような事業費削減効果が得られない結果となる。

3.3 効率性評価

本技術における効率性については、調査と分析それぞれに要する日数について従来技術と比較することで評価を行った。また、評価における目標値は、従来技術におけるそれと比較して「50%削減」を設定した。

効率性の実証方法として、調査については本技術及び従来技術における調査機器の設置及び撤去に要した日数を算出し、分析については現地調査結果データの整理・分析に要する日数をそれぞれ比較することとした。

なお、本技術における分析はAI解析を実施していることから、従来技術における技術者におけるデータ分析と、同一条件下ではない。また、AI解析においては解析用のPCスペック等に依存することや、従来技術についても技術者の熟練度等に依存する。今回の比較については、上記考慮しても条件を一定同化することは困難であること、本研究内での実績値（日数）による比較及び評価を行うこととする。

表 3-31 効率性の評価（イメージ）

比較条件：事業性の評価と同じとする（表内数値はイメージ）

	項目	本技術 60箇所	従来技術 40箇所	短縮率 (%)
設置	設置可能箇所数 (箇所/日)	15	4または6	—
	設置にかかる 延べ日数(日)	4	7~10日	43~60
撤去	撤去可能箇所数 (箇所/日)	15	10	—
	撤去にかかる 延べ日数(日)	4	4	0
合計	設置・点検・撤去にかかる 延べ日数(日)	10	15~18	33~67

項目	本技術	従来技術	短縮率 (%)
1箇所×60日のデータ分析にかかる 日数(日)	●	▲	■
対象箇所×60日のデータ分析に要す る延べ日数(日)	○	△	□

3.3.1 評価方法

効率性の評価は、調査と分析に分けて評価を行う。調査における評価方法は、本技術と従来技術において、機器設置から撤去までに要する延べ日数で比較して、短縮率で評価する。また、分析における評価方法は、本技術と従来技術において、調査結果から得られたデータ分析における日数で比較して、こちらも短縮率で評価する。なお、評価に際しては、前述した事業性評価と同様に本技術と従来技術の調査手法の違いを鑑みた同シナリオにて比較を行う。

(1) 調査日数

本技術と従来技術における現地での機器設置・撤去に要する時間（分）より1日あたりの設置・撤去箇所数を算定して、箇所数別で調査に要する日数の短縮率で評価する。なお、本評価において観測期間は、両技術とも同一日数（30日間）で実施しており、両技術の特徴によって調査期間が異なるものではないことから、短縮率計算の日数からは除外する。

(2) 分析期間

従来技術者が雨天時浸入水の有無を判断するまでのプロセス（データ整理⇒分析⇒検知）の時間を本技術ではAI技術を適用することで短縮している。実証方法は、AI解析におけるデータ整理から分析（検知）までのプロセスと従来技術における同プロセスに要する時間を比較して、短縮率で評価する。

(3) 詳細調査期間

各都市における詳細調査延長に応じて本技術と従来技術にて雨天時浸入水の発生を検知した区域を対象に詳細調査（TVカメラ調査）を実施した場合の調査日数を算出する。

（TVカメラ調査 日進量：300m/日と設定）

上述した評価方法に基づき本技術と従来技術について、以下の評価式に基づき評価を行う。

【評価式 効率性 短縮率】

$$\text{作業日数の短縮率 (\%)} = \frac{(B - A)}{B} \times 100$$

A：本技術における調査及び分析、詳細調査に要する総日数

B：従来技術における調査及び分析、詳細調査に要する総日数

3.3.2 条件設定

(1) 調査及び分析に関する特徴整理

従来技術は、観測結果から得られる定量的指標（ m^3 ）に基づくブロック間の相対比較が可能なことから、絞り込みにおいて優先度判定が可能である。一方、本技術については、AI解析から得られる特徴量が当該箇所特有の指標であることから、従来技術のような相対比較が不可能である。よって、従来技術と同様の結果を得るために本技術を用いた調査を実施する場合は、従来技術よりより多くの設置箇所が必要となる。

表 3-32 比較対象とした調査技術

技術の種類	技術の内容	
	調査	分析
本技術	音響調査	AI解析を用いた広域的に多地点設置による検知
従来技術	流量計等によるスクリーニング調査	技術者によるデータ整理・分析結果を用いた優先度判定による絞り込み調査

表 3-33 従来技術と本技術における比較評価上の留意すべき特徴

従来技術	複数の調査地点にて、流量調査を実施し、その結果の分析・評価から定量的指標（ m^3 ）によって、雨天時浸入水量を相対比較して対策実施効果の高い区域を優先的に調査して、絞り込んでいく手法となる。
本技術	調査地点におけるAI解析結果は、その箇所における異常検知のためだけに算出される値（特徴量）であるため、他の調査地点と相対比較が難しい。よって、従来技術のような優先度判定が難しいことから、広域的に多地点で調査する手法となる。

(2) 調査における条件設定

本技術における調査では、図 3-6 に示すフローに従い下水道管内に集音装置を設置する。本技術では、基本的にマンホール内への入孔はないが、マンホール蓋を開けた際には、有毒ガス発生の確認として、酸素・硫化水素濃度の測定は必ず実施することとする。また、集音装置に付属している外部マイクについては、流水音の音響データを確実に取得するために、水没回避を考慮して管頂レベルに設置するための高さ調整が必要となる。

上記について留意の上で、図 3-6 に示す設置フローに従い、現場で設置時間を計測した結果、約 10 分で作業終了できることが分かった。また、1 日に設置できる数量は、設置場所の距離間隔によるが、15～20 箇所/日設置（撤去も同数）できることが分かった。

表 3-34 設置及び撤去に関する作業日数

	項目	本技術 60箇所	従来技術 40箇所	短縮率 (%)
設置	設置可能箇所数 (箇所/日)	15	4または6	—
	設置にかかる 延べ日数(日)	4	7～10日	43～60
撤去	撤去可能箇所数 (箇所/日)	15	10	—
	撤去にかかる 延べ日数(日)	4	4	0
合計	設置・点検・撤去にかかる 延べ日数(日)	10	15～18	33～67

※箇所数（本技術：60 箇所、従来技術 40 箇所）は、合計延べ日数算出イメージのため任意設定

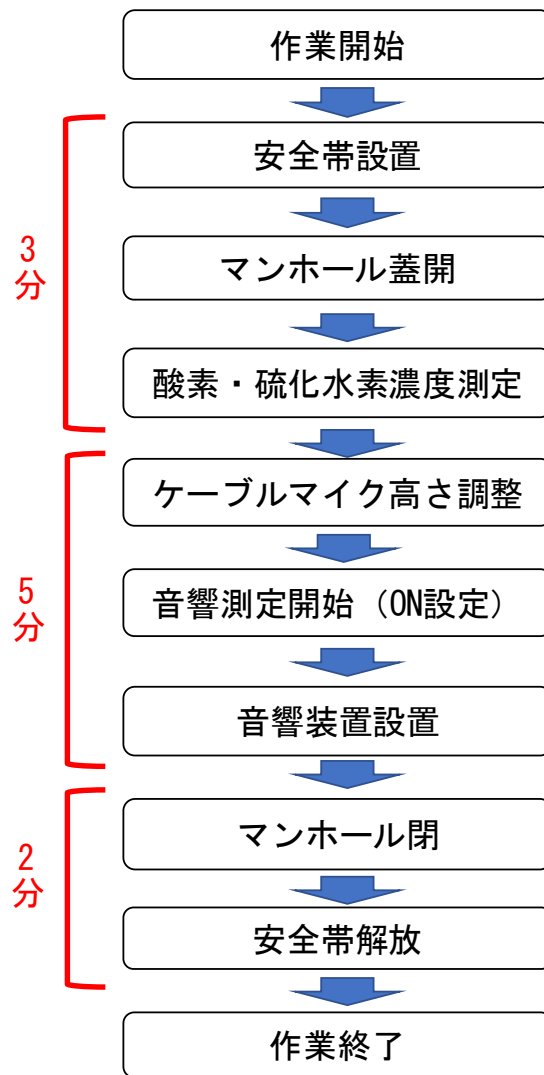






図 3-6 集音装置の設置フロー

※図中の各時間（赤字）は、今回調査した各自治体における所要平均時間（実績値）である。

表 3-35 集音装置の設置概要

作業内容	状況写真
安全帯設置 マンホール蓋開	
酸素・硫化水素濃度測定	
外部マイクの高さ調整	
音響収録開始	
集音装置設置	

(3) 分析における条件設定

本技術は、AI を用いて「正常（晴）」を規定して、雨天日に規定を外れるデータを「異常」と定義することにより雨天時浸入水の発生区域や箇所を検知する技術である。本技術における AI では、マンホール内の音響データ（ノイズ処理後）から時間領域と周波数領域から約 200 を超える記述統計量を用いて晴天日パターンとなる特徴量を抽出している。その後、AI パラメータの調整によって、音響調査期間における各晴天日の変動範囲が最小となるように晴天日パターンを構築している。異常検知については、晴天日パターンが教師データとなり、雨天日にそこから離れたデータを異常（＝雨天時浸入水検知）と判断することとなる。

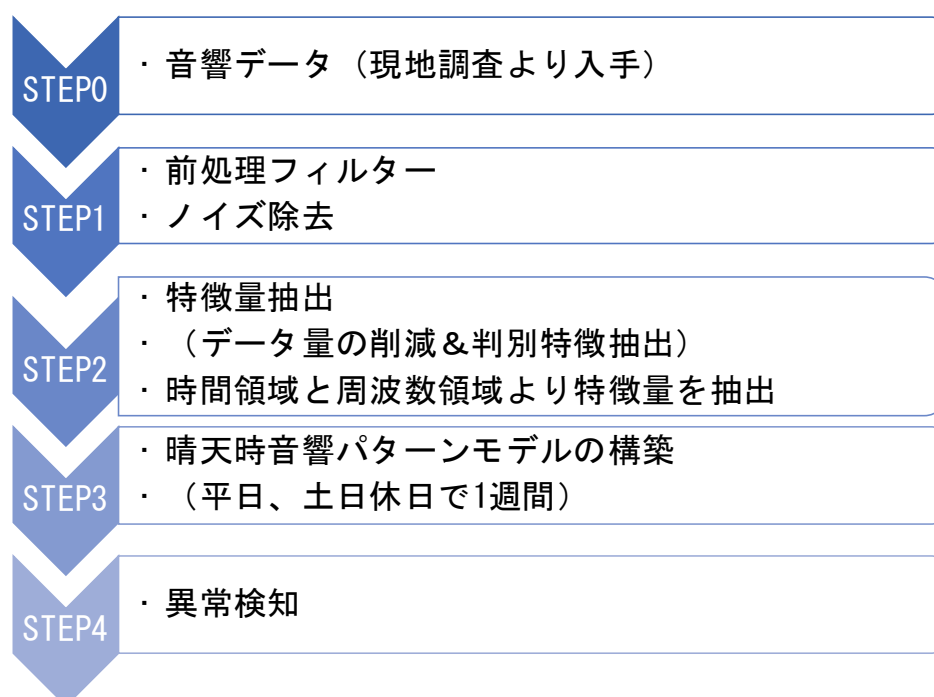


図 3-7 本技術における AI 解析フロー概要

本実証実験において、AI 解析で用いた PC 仕様及び解析所要時間を整理した結果を表 3-36 に示す。今回の条件では、約 1 か月間の音響データで 50 箇所を AI 解析した場合、約 42 時間（約 2 日）で、異常検知の結果を得ることができた。

表 3-36 本実証研究において分析で用いた解析仕様

項目	所要時間	備考
SD : 1 か月分の音響データ (約 15.0GB) card reader にて読み込み PC : CPU Xeon2125 4.0Ghz Memory 128GB ECC HD M.2 PCIe SSD512GB		
データ取り込み	7min	SD → card reader → PC
ノイズ処理及び解析	270min	晴天日パターン構築 雨天日特徴量抽出
評価	60min	異常検知 (グラフ化)
総計	337min ≒ 6.0hr	
実証研究における分析時間		
5 箇所	6hr	PC : 8 台 (card reader : 4 台)
10 箇所	12hr	
15 箇所	12hr	
20 箇所	18hr	
50 箇所	42hr	
100 箇所	78hr	

本技術では実証実験にて CPU に Xeon 2125 を用いたが、他の CPU を用いて表 3-36 に示す同じ処理を 1 か月分の音響データ（約 15.0GB）で処理した場合の総時間を比較した結果を表 3-37 に示す。なお、表内の PC 一台の価格については、2020 年度 4 月時点の一般的な価格を記した。

今回実証実験で用いた PC の仕様を中位と考えた場合、CPU によって計算時間は増減することとなる。表に示すハイスペック（高仕様 2）の場合、今回要した時間の更に半分の時間で分析を終えることも可能である。当然、高仕様 PC の購入価格は高くなるため、実際には分析箇所数や制約期間（工期）等から、使用する PC スペックを選定する必要がある。

表 3-37 CPU の違いが計算時間に及ぼす影響

	低仕様 1	低仕様 2	本技術使用 PC の仕様	高仕様 1	高仕様 2
CPU 名とクロック数	Core i5 9400	Ryzen 5 3600	Xeon 2125	Core i9 9900K	Ryzen 9 3950K
クロック数	2.9 GHz	3.6 GHz	4.0 GHz	3.6 GHz	3.5 GHz
コア数	6	6	4	8	16
スレッド数	6	12	8	16	32
搭載 RAM	16GB	16GB	128 GB	32 GB	64GB
PC 一台の価格 (2020 年 4 月時点)	8 万円	10 万円	15 万円	20 万円	30 万円
データ取り込み時間	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min
ノイズ処理及び 解析時間	390 min	340 min	270 min	210 min	110 min
評価時間	85 min	75 min	60 min	45 min	25 min
時間総計	485 min	425 min	340 min	265 min	145 min
本技術で使用した PC と比較したときの 時間総計削減率	+43 %	+25 %	—	−22%	−57%

(4) 評価方法の設定

評価方法は、本技術と従来技術の調査手法の違いを鑑み、単純な調査地点等の比較ではなく、表 3-38 に示す方法にて検討を行う。今回、本技術と従来技術において、同一箇所数の比較は行わず、両技術の特徴を踏まえた絞り込みを実施するために必要な調査地点数で比較を行う。よって、詳細調査の範囲は両技術で異なる延長となる。

また、評価に用いた調査地点について、両技術の適用範囲外の箇所は除くこととする。なお、現地調査においては、絞り込み調査とは無関係で本技術の検知精度や適用範囲を明確にする目的で試験的に集音装置のみを設置している箇所（以下、「試験箇所」という。）がある。その箇所についても、評価に用いた調査地点から除外することとする。

表 3-38 本技術と従来技術における評価方法

	本技術	従来技術
調査	大ブロックにおける小ブロック単位の多地点調査 ※性能評価に資する試験的設置箇所、技術の適用範囲外は比較対象数から除外	①大⇒中ブロックへの絞り込み調査 ②中⇒小ブロックへの絞り込み調査 ※技術の適用範囲外は比較対象数から除外
分析	全ての調査地点について分析・評価を行う。(AI 解析)	①・②における調査地点総数を分析・評価を行う。(技術者による作業)
詳細調査	異常が検知された区域に対して、TV カメラ調査を実施	

a) 調査概要（つくば市）

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。つくば市では、本技術の総調査地点数は 24 箇所、従来技術の総調査地点数は 24 箇所である。また、詳細調査については、この後更なる絞り込み調査の上で決定されるため、ここでは評価の対象とはしないこととする。なお、当該流域では、本技術と従来技術における調査地点は、全て同一マンホール内に設置している。

表 3-39 つくば市における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	50	24	26	—
従来技術	24	24	—	—

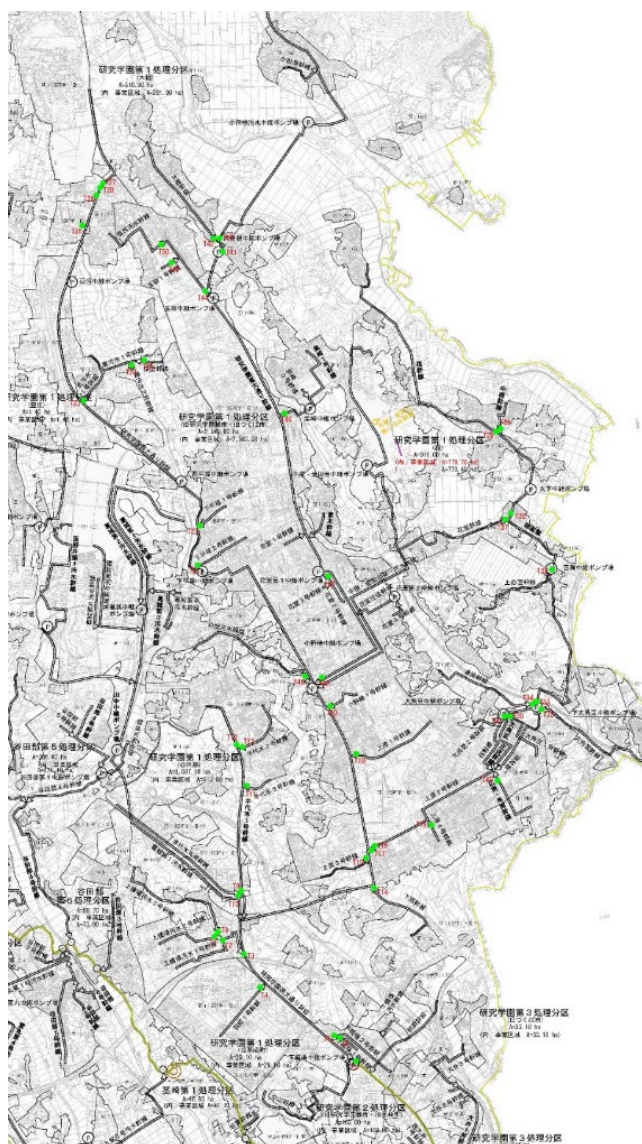


図 3-8 調査地点 位置図（つくば市）

b) 調査概要（神戸市（加古川上流流域））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。加古川上流流域では、本技術の総調査地点数は 14 箇所、従来技術の総調査地点数も 14 箇所である。

また、詳細調査については、この後更なる絞り込み調査の上で決定されるため、ここでは評価の対象とはしないこととする。なお、当該流域では、本技術と従来技術における調査地点は、全て同一マンホール内に設置している。

表 3-40 加古川上流流域における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	14	14	—	—
従来技術	14	14	—	—

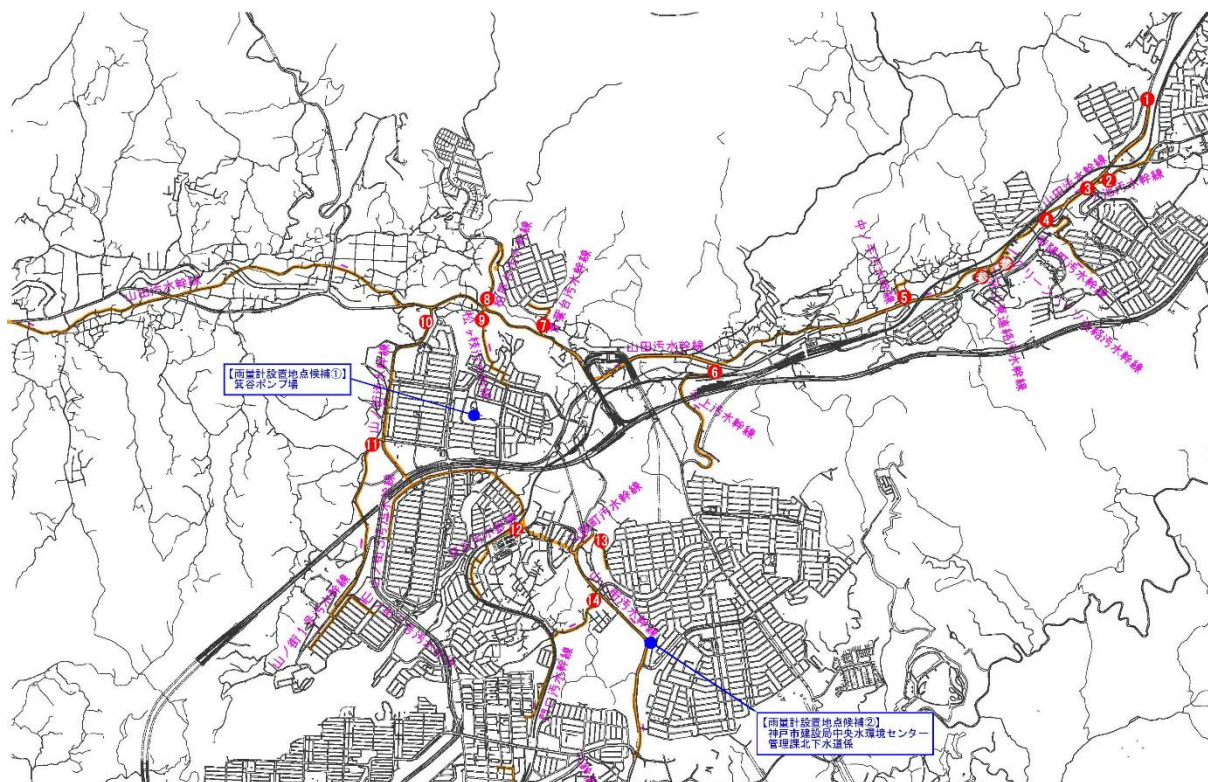


図 3-9 調査地点 位置図（神戸市一加古川上流流域）

c) 調査概要（神戸市（岩岡流域））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。神戸市岩岡流域では、本技術の総調査地点数は 39 箇所（第 1・2 フェーズ総和）で、従来技術の総調査地点数は 19 箇所（第 1・2 フェーズ総和）である。本評価における調査地点数は、従来技術における絞り込み調査に必要な箇所を基本として、本技術 27 箇所、従来技術 16 箇所である。調査結果の分析による、詳細調査延長は本技術で約 4,384.68m、従来技術で約 6,079.45m であった。

なお、当該流域では、従来技術の調査地点には本技術も同様に設置しているが、絞り込める範囲の違いから本技術の地点数が多くなっている。

表 3-41 神戸市—岩岡流域における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	39	27	12	4,384.68
従来技術	19	16	—	6,079.45

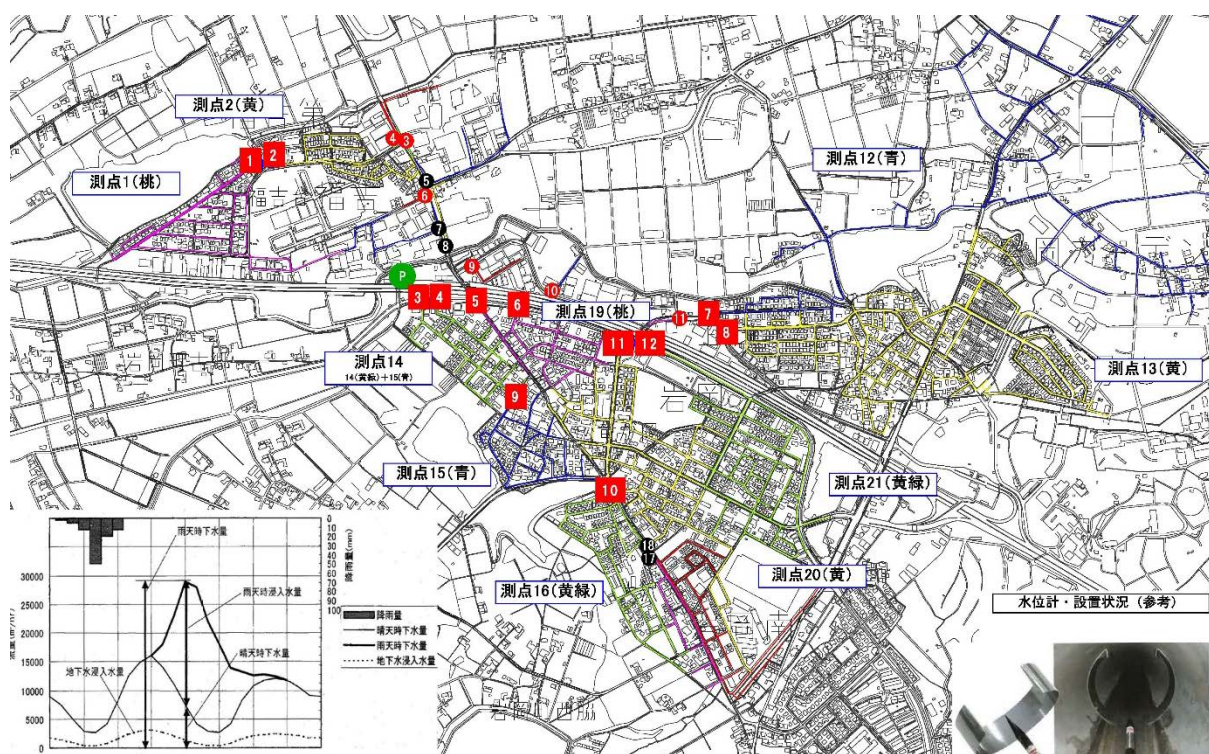


図 3-10 調査地点 位置図（神戸市—岩岡流域）

d) 調査概要（神戸市（西神流域））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。神戸市西神流域では、本技術の総調査地点数は 53 箇所（第 1・2 フェーズ総和）で、従来技術の総調査地点数は 34 箇所（第 1・2 フェーズ総和）である。本評価における調査地点数は、従来技術における絞り込み調査に必要な箇所を基本として、本技術 29 箇所、従来技術 18 箇所である。調査結果の分析による、詳細調査延長は本技術で約 10,976.26m、従来技術で約 12,879.85m であった。

なお、当該流域では、従来技術の調査地点には本技術も同様に設置しているが、絞り込める範囲の違いから本技術の地点数が多くなっている。

表 3-42 神戸市－西神流域における設置箇所数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	53	29	24	10,976.26
従来技術	34	18	—	12,879.85

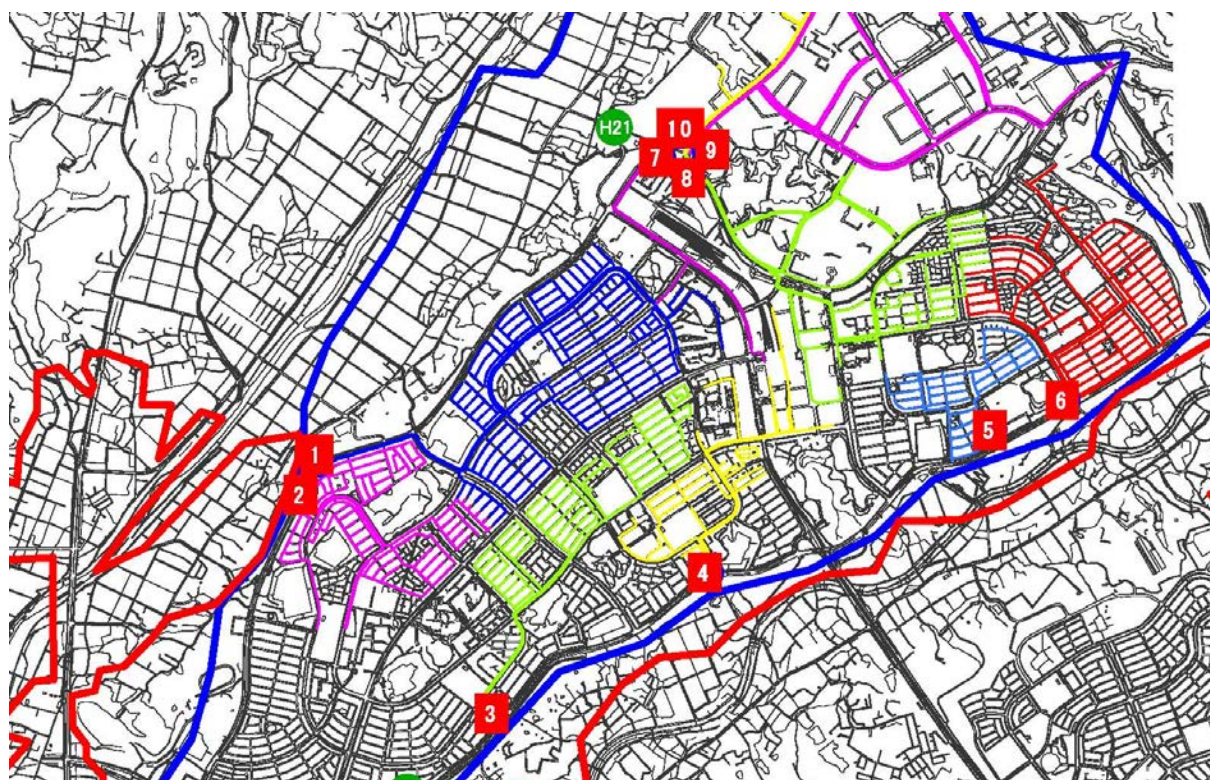


図 3-11 調査地点 位置図（神戸市－西神流域）

e) 調査概要（熊本市（湖東流域））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。熊本市湖東流域では、本技術の総調査地点数は 55 箇所（第 1・2 フェーズ総和）で、従来技術の総調査地点数は 44 箇所（第 1・2 フェーズ総和）である。本評価における調査地点数は、従来技術における絞り込み調査に必要な箇所を基本として、本技術 52 箇所、従来技術 33 箇所である。調査結果の分析による詳細調査延長は、本技術で約 14,770m、従来技術で約 16,490m であった。

なお、当該流域では、従来技術の調査地点には本技術も同様に設置しているが、絞り込める範囲の違いから本技術の地点数が多くなっている。

表 3-43 熊本市－湖東流域における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	55	52	3	14,768.98
従来技術	44	33	—	16,489.91

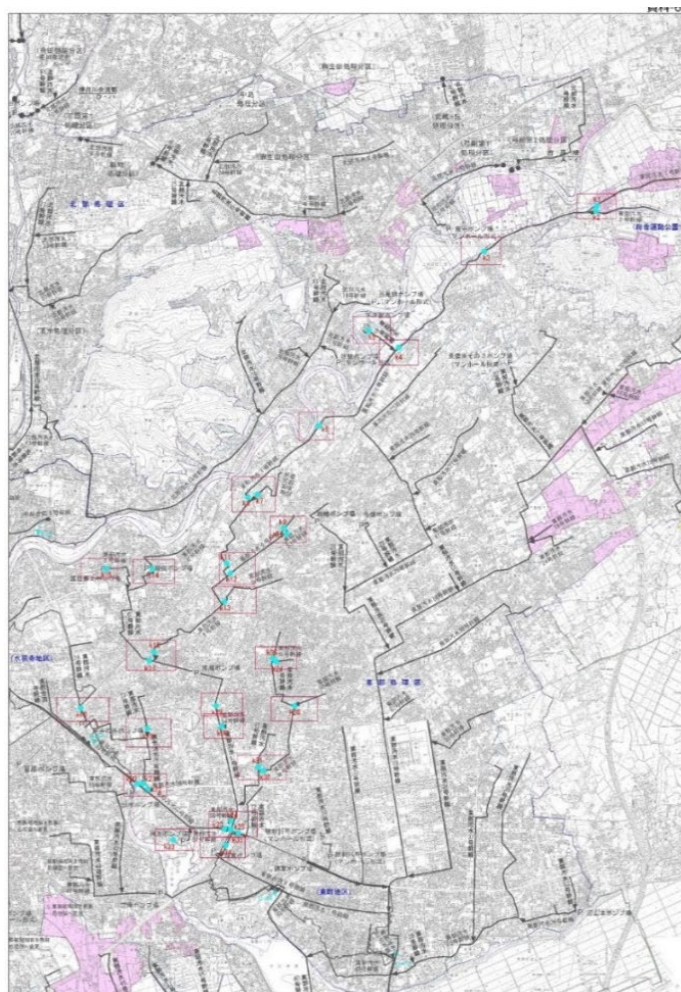


図 3-12 調査地点 位置図（熊本市－湖東流域）

f) 調査概要（熊本市（富合流域））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。熊本市富合流域では、本技術の総調査地点数は 45 箇所、従来技術の総調査地点数は 19 箇所である。本評価における調査地点数は、従来技術における絞り込み調査に必要な箇所を基本として、本技術 38 箇所、従来技術 19 箇所である。なお、詳細調査については、この後更なる絞り込み調査の上で決定されるため、ここでは評価の対象とはしないこととする。

なお、当該流域では、従来技術の調査地点には本技術も同様に設置しているが、絞り込める範囲の違いから本技術の地点数が多くなっている。

表 3-44 熊本市－富合流域における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	45	19	26	—
従来技術	26	19	—	—

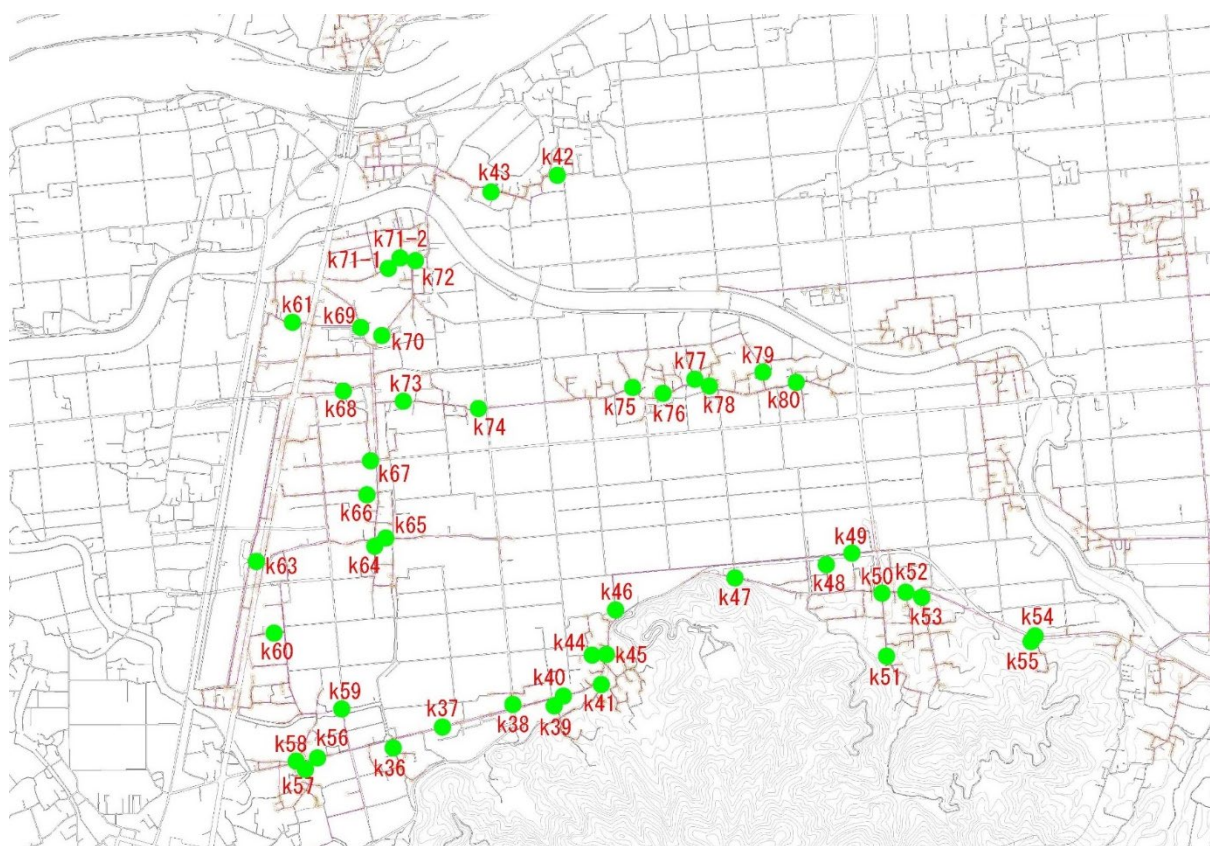


図 3-13 調査地点 位置図（熊本市－富合流域）

g) 調査概要（名古屋市（兵庫地区））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。名古屋市兵庫地区では、本技術の総調査地点数は50箇所、従来技術の総調査地点数は8箇所である。本評価における調査地点数は、従来技術における絞り込み調査に必要な箇所を基本として、本技術12箇所、従来技術4箇所である。調査結果の分析より、詳細調査延長は本技術と従来技術ともに2,396.92mであった。

なお、当該流域では、従来技術の調査地点には本技術も同様に設置しているが、絞り込める範囲の違いから本技術の地点数が多くなっている。

表 3-45 名古屋市－兵庫地区における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	50	8	42	2,396.92
従来技術	9	4	—	2,396.92



図 3-14 調査地点 位置図（名古屋市－兵庫地区）

h) 調査概要（名古屋市（神の倉地区））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。名古屋市兵庫地区では、本技術の総調査地点数は 50 箇所、従来技術の総調査地点数は 10 箇所である。本評価における調査地点数は、従来技術における絞り込み調査に必要な箇所を基本として、本技術 20 箇所、従来技術 10 箇所である。調査結果の分析より、詳細調査延長は本技術で 2,099.74m、従来技術で 3,511.58m であった。

なお、当該流域では、従来技術の調査地点には本技術も同様に設置しているが、絞り込める範囲の違いから本技術の地点数が多くなっている。

表 3-46 名古屋市－神の倉地区における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	50	20	30	2,099.74
従来技術	10	10	—	3,511.58



図 3-15 調査地点 位置図（名古屋市－神の倉地区）

i) 調査概要（郡山市（大槻町））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。郡山市大槻町では、本技術の総調査地点数は 15 箇所、従来技術の総調査地点数は 8 箇所である。本評価における調査地点数は、従来技術における絞り込み調査に必要な箇所を基本として、本技術 7 箇所、従来技術 5 箇所である。調査結果の分析による、詳細調査延長は本技術で約 505m、従来技術で 658.36m であった。

なお、当該流域では、従来技術の調査地点には本技術も同様に設置しているが、絞り込める範囲の違いから本技術の地点数が多くなっている。

表 3-47 郡山市—大槻町における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	15	7	8	505.02
従来技術	8	5	—	658.36

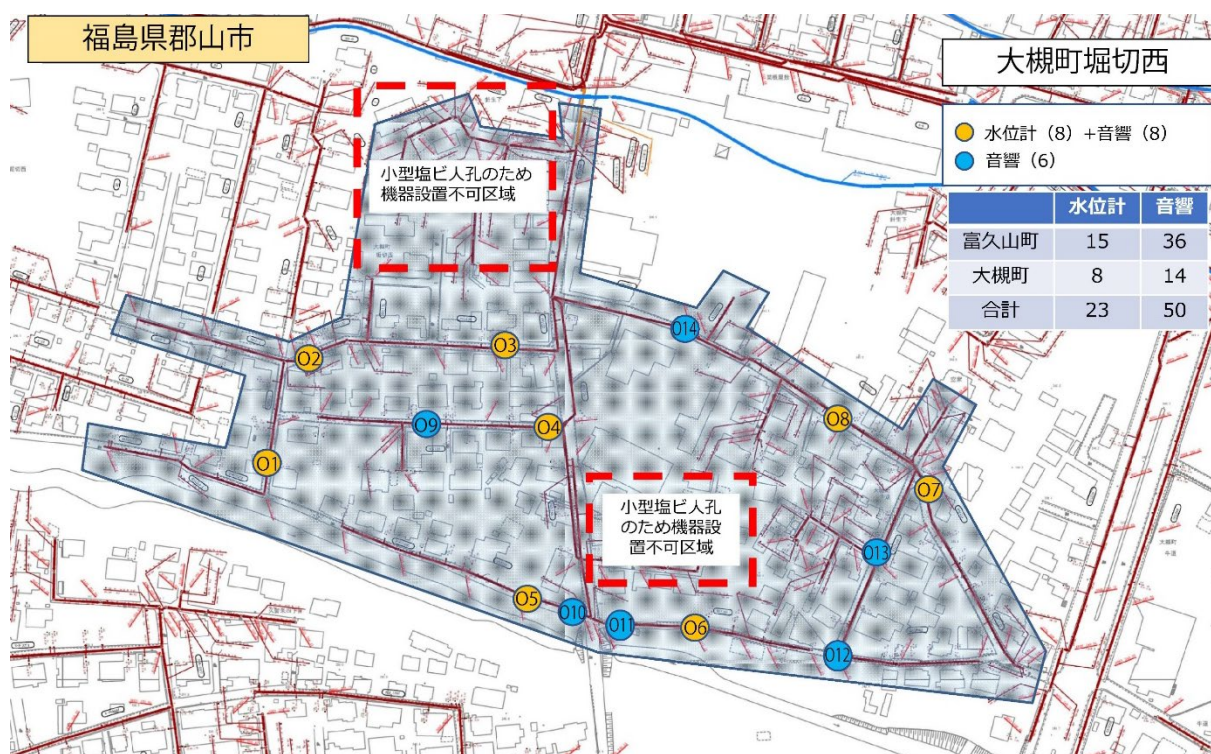


図 3-16 調査地点 位置図（郡山市—大槻町）

j) 調査概要（郡山市（富久山町））

本技術と従来技術において、絞り込みに必要な調査地点数を以下に示す。郡山市富久山町では、本技術の総調査地点数は 36 箇所、従来技術の総調査地点数は 14 箇所である。本評価における調査地点数は、従来技術における絞り込み調査に必要な箇所を基本として、本技術 18 箇所、従来技術 8 箇所である。調査結果の分析による、詳細調査延長は本技術で 3,655.52m、従来技術で 4,337.54m であった。

なお、当該流域では、従来技術の調査地点には本技術も同様に設置しているが、絞り込める範囲の違いから本技術の地点数が多くなっている。

表 3-48 郡山市－富久山町における調査地点数

種別	調査地点	評価対象数	試験箇所	詳細調査 (m)
本技術	36	18	18	3,655.52
従来技術	14	8	—	4,337.54



図 3-17 調査地点 位置図（郡山市－富久山町）

3.3.3 評価結果

効率性の評価結果を表 3-49 に示す。今回実施したすべてのフィールドで調査については 15 箇所/日以上は設置作業ができることを確認した。また、撤去に関しても設置と同作業期間で作業できることを確認している。なお、設置と撤去ともに、1 箇所あたりの作業時間は、安全帯の設置から機器設置、解放までで 10 分程度であった。一方、分析に関する時間については、次頁以降参照されたい。評価結果として、従来技術と比べ調査・分析に要する時間を 50%以上短縮できることを確認した。ただし、調査地点間で移動時間を要する箇所、大深度マンホールで昇降に時間を要する場合、交通量が多く安全帯解放までに時間を要する場合は、この限りではない点には留意する必要がある。

効率性の評価は、事業性評価と同条件で 2 種類の評価を実施した。また、本技術の調査における設置と撤去に要する日数は、実証実験の実績より設置・撤去ともに 15 箇所/日とした。また、本技術における分析 (AI 解析) に要する日数についても、実証研究における実績より設定した (表 3-34 参照)。なお、詳細調査については、TV カメラ調査を想定し調査量を 300m/日として、対象延長から調査日数を算出することとした。一方、従来技術については、「下水道管路管理積算要領-2015 年-」より設定した。

効率性の評価における結果を表 3-50 と表 3-51 に示す。

評価①：大→中ブロックに絞り込む調査で事業性評価
(詳細調査まで実施しないため詳細調査は評価対象外)

評価②：中→小ブロックに絞り込む調査で事業性評価
(絞り込み結果によって詳細調査範囲が算出されるため詳細調査は評価対象)







表 3-49 効率性 (調査) の評価結果

都市名	地区	評価		評価箇所 (箇所数)		絞り込み結果 (TVカメラ調査延長 (m))	
				本技術	従来技術	本技術	従来技術
郡山市	大槻町	②	調査+分析+詳細調査	7	5	505.02	658.36
	富久山町	②	調査+分析+詳細調査	18	8	3,655.52	4,337.54
つくば市	常南処理区	①	調査+分析	24	24	-	-
名古屋市	兵庫地区	②	調査+分析+詳細調査	9	4	2,396.92	2,396.92
	神の倉地区	②	調査+分析+詳細調査	20	10	2,099.74	3,511.58
神戸市	加古川流域	①	調査+分析	14	14	-	-
	岩岡流域	②	調査+分析+詳細調査	27	16	4,384.68	6,079.45
	西神流域	②	調査+分析+詳細調査	29	18	10,976.26	12,879.85
熊本市	湖東流域	②	調査+分析+詳細調査	52	33	14,768.98	16,489.91
	富合流域	①	調査+分析	19	19	-	-
合計				219	151	38,787.12	46,353.61

《評価①結果》

詳細調査を実施する必要がなかった「つくば市（常南処理区）」・「神戸（加古川上流流域）」・「熊本市（富合流域）」については、調査・分析に要する期間短縮率が平均 64.0%であった。

表 3-50 効率性の評価① 結果

自治体 項目	③つくば市 (常南処理区)		⑥神戸市 (加古川上流流域)		⑨熊本市 (富合流域)	
	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術
調査種別	大→中ブロック		大→中ブロック		大→中ブロック	
対象面積 (ha)	1,500	1,500	1,500	1,500	150	150
観測方法	音響装置	流量計	音響装置	流量計	音響装置	流量計
①設置箇所 (箇所)	24	24	14	14	19	19
②調査日数 (日)	4	10	2	6	4	10
③分析期間 (日)	1.00	3	0.50	2	0.75	3
④詳細調査期間 (日)	—	—	—	—	—	—
⑤合計日数 (②+③+④)	5.00	13	2.50	8	4.75	13
⑥評価 (%)	 38%	 100%	 31%	 100%	 37%	 100%
⑦短縮割合 (%)	62%		69%		63%	

《評価②結果》

詳細調査を評価対象とした「郡山市」・「神戸（岩岡&西神流域）」・「名古屋市（兵庫・神の倉）」・「熊本市（湖東）」については、7地区で平均25.0%の期間短縮効果であった。

表 3-51 効率性の評価② 結果

自治体 項目	①郡山市 (大槻町)		②郡山市 (富久山町)		⑦神戸市 (岩岡流域)		⑧神戸市 (西神流域)		④名古屋市 (兵庫地区)		⑤名古屋市 (神の倉地区)		⑩熊本市 (湖東流域)	
	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術	本技術	従来技術
調査種別	中→小ブロック		中→小ブロック		大→中→小ブロック (第1・2フェーズ)		大→中→小ブロック (第1・3フェーズ)		中→小ブロック		中→小ブロック		大→中→小ブロック (第1・2フェーズ)	
対象面積 (ha)	70	70	130	130	165	165	900	900	10	10	20	20	600	600
観測方法	音響装置	流量計	音響装置	流量計	音響装置	流量計	音響装置	流量計	音響装置	流量計	音響装置	流量計	音響装置	流量計
①設置箇所 (箇所)	7	5	18	8	27	16	29	18	9	4	20	10	52	33
②調査日数 (日)	2	2	4	4	4	8	4	10	2	2	4	6	8	18
③分析期間 (日)	0.50	1	0.75	1.5	1.00	2	1.00	3	0.50	1	0.75	2	1.75	5
④詳細調査期間 (日)	2	3	13	15	15	20	37	43	8	8	7	12	50	55
⑤合計日数 (②+③+④)	4.50	6	17.75	21	20.00	30	42.00	56	10.50	11	11.75	20	59.75	78
⑥評価 (%)	75%	100%	87%	100%	66%	100%	75%	100%	95%	100%	59%	100%	77%	100%
⑦短縮割合 (%)	25%		13%		34%		25%		5%		41%		23%	

評価②は、詳細調査までを含めた比較であり調査及び分析における短縮効果は平均25.0%と一定の結果を得ることはできたが、目標値である従来技術との比較で「50%削減」は達成することはできなかった。目標未達の要因としては、前述した事業性の評価と概ね同様で詳細調査量が関係していると考ええる。また、効率性においては、本技術の特徴である多地点調査の場合、短期間に多くの調査を実施でき、またその分析時間も短くなることから従来技術と比べその効果は増大するものと考ええる。一方で、小エリア内で10地点程度の調査の場合は、従来技術でも短期間で対応可能なため、大きな短縮効果は発現されないこととなる。

4. ケーススタディ

4.1 条件設定

本技術と従来技術において、調査から分析、その後の詳細調査までに要する総費用（直接人件費+直接経費）で比較して、コスト削減率で評価する。なお、評価に際しては、本技術と従来技術の調査手法の違いを鑑み、単純な調査地点等の比較ではなく、以下に示す雨天時浸入水の検知に至るシナリオ（表 4-2 参照）を作成の上、比較を行う。

表 4-1 従来技術と本技術における比較評価上の留意すべき特徴

従来技術	複数の調査地点にて、流量調査を実施し、その結果の分析・評価から定量的指標（m ³ ）によって、雨天時浸入水量を相対比較して対策実施効果の高い区域を優先的に調査して、絞り込んでいく手法
本技術	調査地点における AI 解析結果は、その地点における異常検知のためだけに算出される値（特徴量）であるため、他の調査地点と相対比較が難しい。よって、従来技術のような優先度判定が難しいことから、広域的に多地点で調査する手法

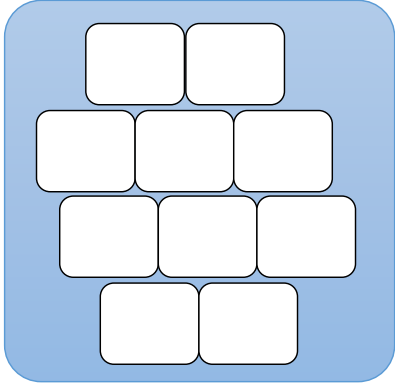
表 3-26 より、従来技術は定量的指標に基づく相対比較が可能なことから、優先度判定が可能であるが、本技術については、特徴量が調査地点特有の指標であり、相対比較不可能なことから従来技術と同様の結果を得るためには、広域的に多地点で調査を実施する必要がある。つまり、本技術を用いた調査を実施する場合、従来技術よりより多くの調査地点が必要となる。

表 4-2 事業性比較シナリオ

	本技術	従来技術
調査	大ブロックにおける小ブロック単位の多地点調査 ※雨天時浸入水の有無に関わらず、全ての小ブロックが調査対象となる。	①大⇒中ブロックへの絞り込み調査 ②中⇒小ブロックへの絞り込み調査 ※雨天時浸入水量が少ない区域や異常なし区域については、絞り込みの過程で調査対象外とする。
分析	全ての調査地点について分析・評価を行う。(AI 解析)	①・②における調査地点総数を分析・評価を行う。(技術者による作業)
詳細調査	異常が検知された区域に対して、TV カメラ調査を実施	②で絞り込まれた結果の区域に対して、TV カメラ調査を実施

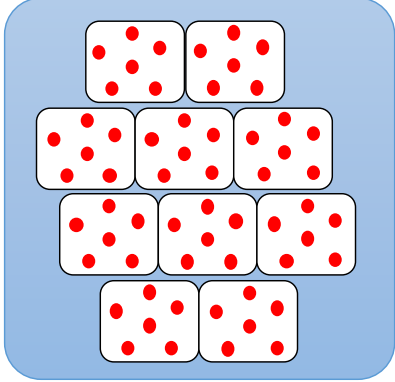
【提案技術 I】
大ブロック (300ha) ⇒小ブロック (5ha) への
音響調査

大ブロック : 300ha (100%)



	箇所数	費用 (千円)
調査	—	—
分析	—	—
合計	—	—

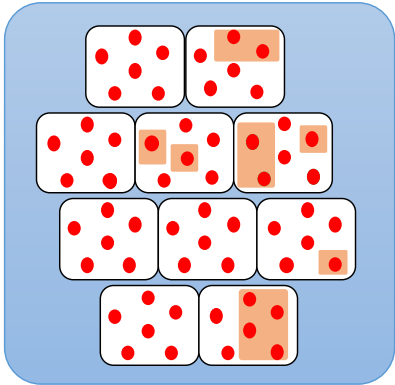
中ブロック : 60箇所 (橙) × 5ha = 300ha (100%)



◆全域の小ブロックエリア内に音響装置を設置して、雨天時浸入水の検知を行う。

	箇所数	費用 (千円)
調査	60	16,730
分析	60	2,550
合計	60	19,280

小ブロック : 12箇所 (橙) × 5ha = 60ha (20%)



雨天時浸入水が検知された小ブロックエリアは対策に資する詳細調査 (TVカメラ) を行う。

	箇所数・延長	費用 (千円)
調査	60	16,730
分析	60	2,550
詳細調査	12,600m (210m/ha)	25,200 (2,000円/m)
合計	300ha→60ha	44,480

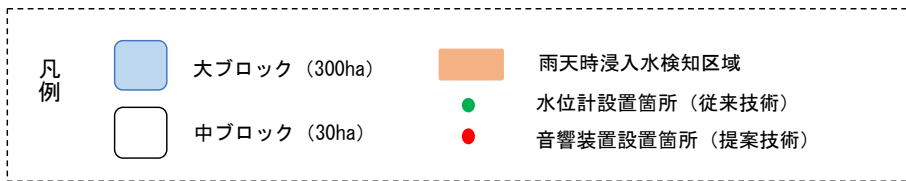
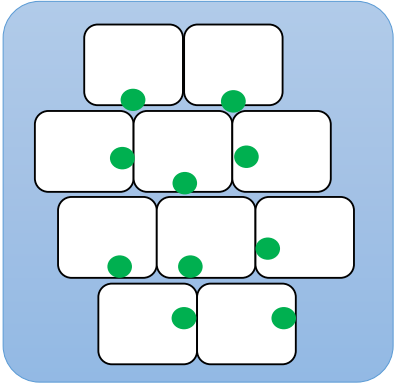


図 4-1 本技術を用いた絞り込み調査の流れ

【従来技術】
大ブロック (300ha) ⇒中ブロック (30ha) ⇒小ブロック (5ha) への
絞り込み概略調査

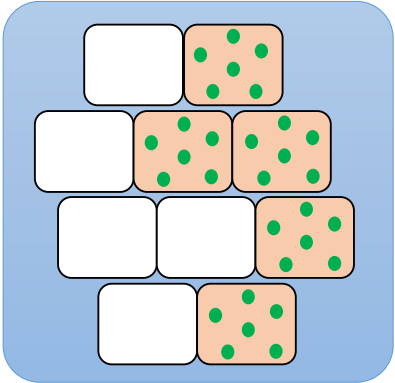
大ブロック : 300ha (100%)



◆大ブロック内にある中ブロックエリアの末端に水位計を設置して、雨天時浸入水の検知を行う。

	箇所数	費用 (千円)
調査	10	9,310
分析	10	1,750
合計	10	11,060

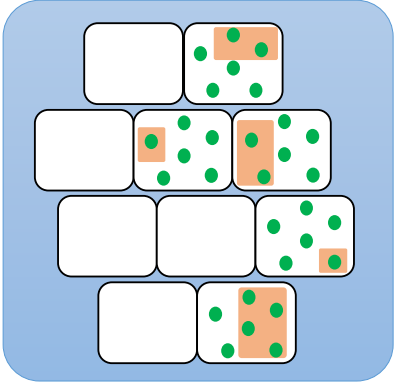
中ブロック : 5箇所 (橙) × 30ha=150ha (50%)



◆中ブロック内にある小ブロックエリア内に水位計を設置して、雨天時浸入水の検知を行う。

	箇所数	費用 (千円)
調査	30	26,240
分析	30	920
合計	30	29,160

小ブロック : 10箇所 (橙) × 5ha=50ha (17%)



雨天時浸入水が検知された小ブロックエリアは対策に資する詳細調査 (TVカメラ) を行う。

	箇所数・延長	費用 (千円)
調査	10+30=40	35,550
分析	10+30=40	2,670
詳細調査	10,550m (210m/ha)	21,000 (2,000円/m)
合計	300ha→50ha	59,170

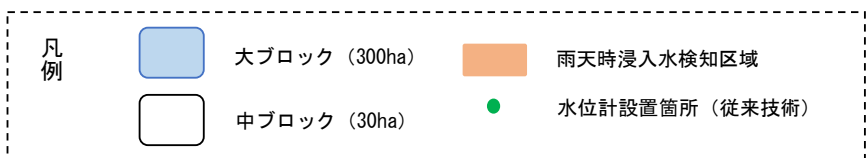


図 4-2 従来技術を用いた絞り込み調査の流れ

本技術	大ブロック 300ha に、小ブロック単位 (5ha) の調査 (60 箇所) 実施
従来技術	<p>①大→中ブロックへの絞り込みで 300ha (100%) から 150ha (50%) への絞り込み ↓</p> <p>②その後、30ha×5 区域=150ha に対して小ブロック単位 (5ha) の調査 (30 箇所) 実施 ↓</p> <p>③その結果、大ブロック 300ha に対する詳細調査面積を 5%~100%まで設定した場合の調査+分析+詳細調査費用を算出した。</p> <p>Ex : 5%の場合は、150ha×5%=7.5ha を詳細調査 100%の場合は、150ha×100%=150ha を詳細調査</p>

✓本技術は、300ha に対して 30%の 90ha 以上の異常検知があった場合 (従来技術 : 30% (45ha))、従来技術より総費用が高くなる。逆に、30%未満の異常検知区域の場合は、従来技術より本技術のほうが安価となる傾向にある。

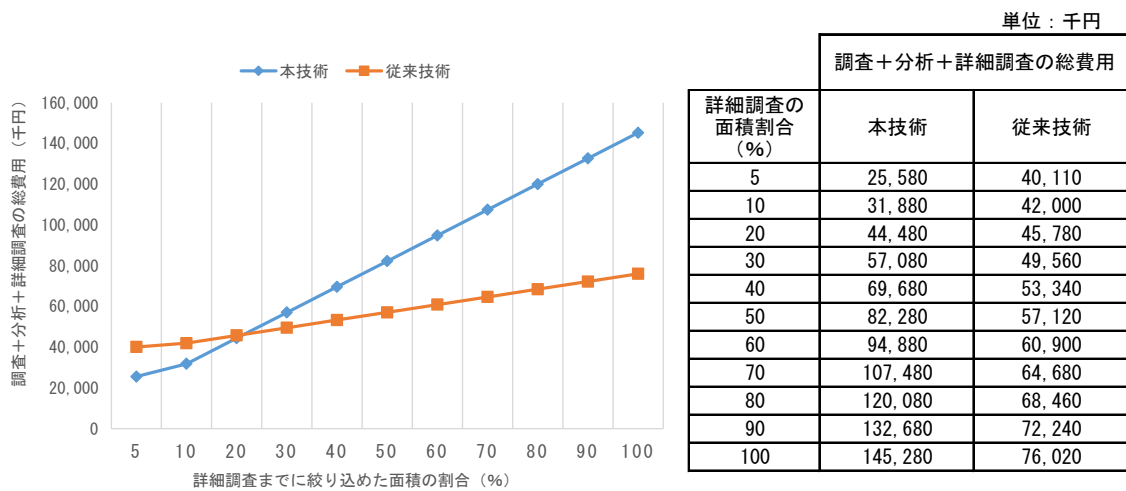


図 4-3 詳細調査を実施する面積割合ごとの本技術と従来技術の費用比較 (1)

《参考1 大→中ブロックへの絞り込みが **300ha (100%) から 150ha (50%)** への場合》

本技術は、300ha に対して 20%の 60ha 以上の異常検知があった場合、従来技術より総費用が高くなる。逆に、20%未満の異常検知区域の場合は、従来技術より安価となる傾向にある。

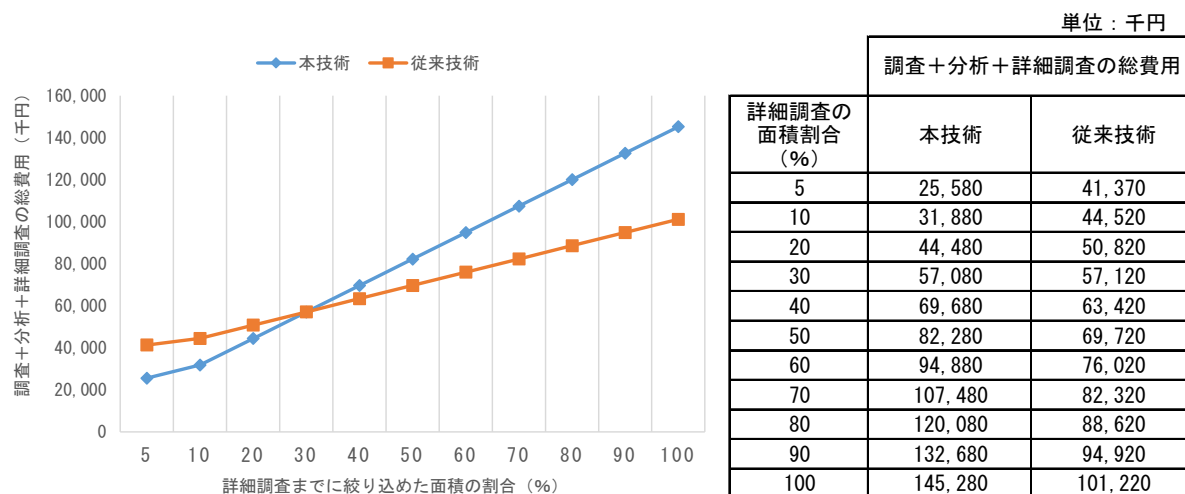


図 4-4 詳細調査を実施する面積割合ごとの本技術と従来技術の費用比較（2）

《参考2 大→中ブロックへの絞り込みが **300ha (100%) から 210ha (70%)** への場合》

本技術は、300ha に対して 50%の 150ha 以上の異常検知があった場合、従来技術より総費用が高くなる。逆に、50%未満の異常検知区域の場合は、従来技術より安価となる傾向にある。

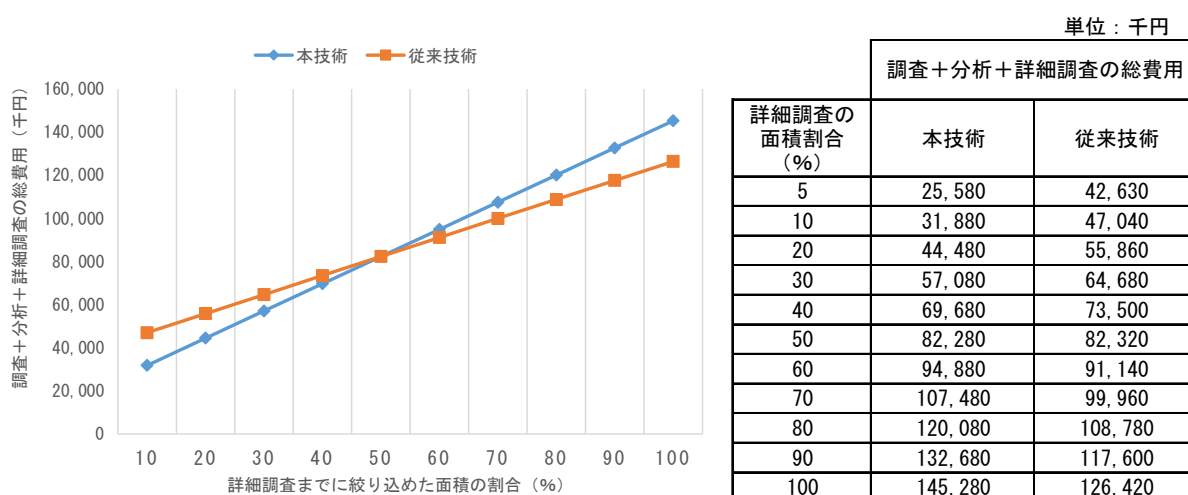


図 4-5 詳細調査を実施する面積割合ごとの本技術と従来技術の費用比較（3）

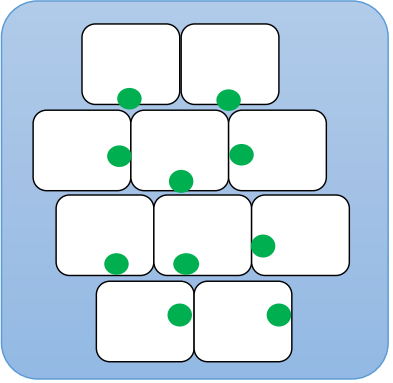
4.2 本技術の効率的な活用方法

雨天時浸入水調査は、多くの自治体においては既往調査結果が得られているものと思われる。その場合、既存情報を活用した上で、本技術を活用する場合や従来技術と本技術を併用する場合も想定されることから、それらの調査パターンにおける導入効果事例を以降に示す。

なお、各事例においては詳細調査範囲を仮定して検討を行っているが、詳細調査量によっては、実際調査及び分析結果によって変動することから、既往の維持管理情報等に基づき、本事例を参考に各自治体で導入効果を試算する必要がある点に留意する。

【従来技術+提案技術】
大ブロック (300ha) ⇒中ブロック (30ha) ⇒小ブロック (5ha) への
絞り込み概略調査

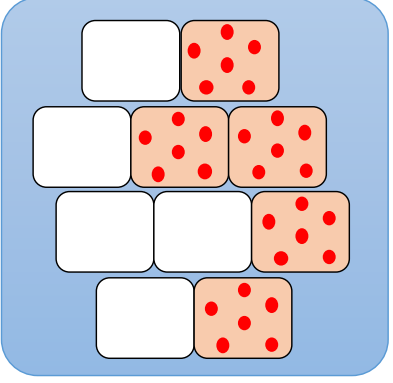
大ブロック : 300ha (100%)



◆大ブロック内にある中ブロックエリアの末端に水位計を設置して、雨天時浸入水の検知を行う。

	箇所数	費用 (千円)
調査	10	9,310
分析	10	1,750
合計	10	11,060

中ブロック : 5箇所 (橙) × 30ha=150ha (50%)

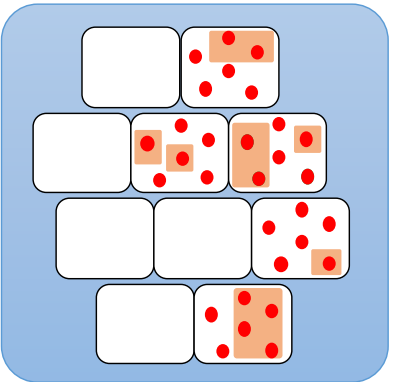


◆中ブロック内にある小ブロックエリア内に音響装置を設置して、雨天時浸入水の検知を行う。

	箇所数	費用 (千円)
調査	30	8,730
分析	30	2,210
合計	30	10,940

↓ 11箇所 (橙) の小ブロックエリアで雨天時浸入水を検知

小ブロック : 12箇所 (橙) × 5ha=60ha (20%)



雨天時浸入水が検知された小ブロックエリアは対策に資する詳細調査 (TVカメラ) を実施を行う。

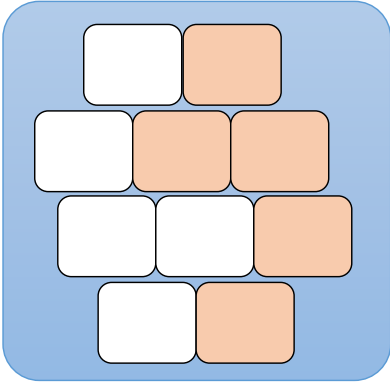
	箇所数・延長	費用 (千円)
調査	水位10+音30=40	18,040
分析	水位10+音30=40	3,950
詳細調査	12,600m (210m/ha)	25,200 (2,000円/m)
合計	300ha→60ha	47,190



図 4-6 本技術と従来技術を組み合わせた絞り込み調査の流れ

【提案技術（既存情報活用型）】
 既存情報ベースで中ブロック（30ha）⇒小ブロック（5ha）への音響調査

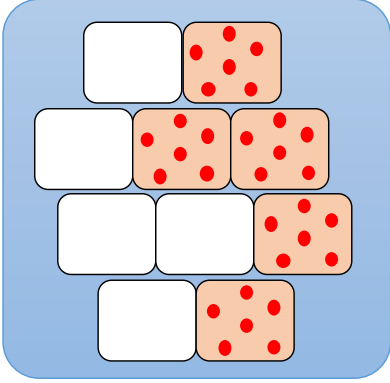
大ブロック：300ha（100%）



◆大ブロック内にある中ブロックエリアで雨天時浸入水の発生が想定される区域の情報あり（既往調査等）。

	箇所数	費用（千円）
調査	既存情報あり (既存資料、事例ベースモデリング技術、従来技術調査)	
分析		
合計		

中ブロック：5箇所（橙）×30ha=150ha（50%）

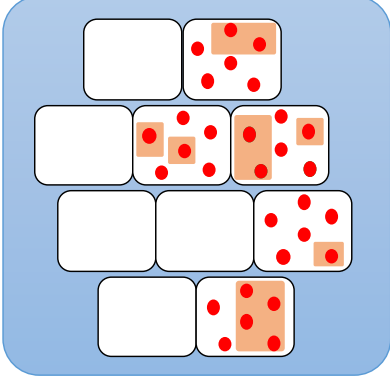


◆中ブロック内にある小ブロックエリア内に音響装置を設置して、雨天時浸入水の検知を行う。

	箇所数	費用（千円）
調査	30	8,730
分析	30	2,210
合計	30	10,940

↓ 11箇所（橙）の小ブロックエリアで雨天時浸入水を検知

小ブロック：12箇所（橙）×5ha=60ha（20%）



雨天時浸入水が検知された小ブロックエリアは対策に資する詳細調査（TVカメラ）を実施を行う。

	箇所数・延長	費用（千円）
調査	30	8,730
分析	30	2,210
詳細調査	12,600m (210m/ha)	25,200 (2,000円/m)
合計	300ha→60ha	36,140

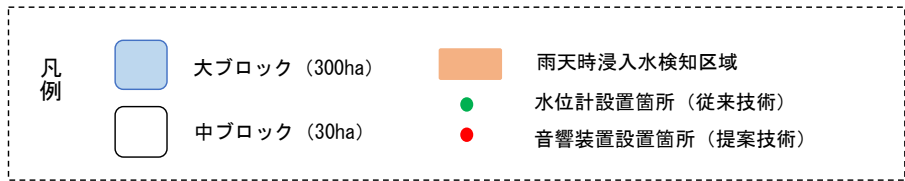


図 4-7 既存情報を活用した本技術の絞り込み調査の流れ

4.3 導入効果の把握

本技術の導入効果の評価結果を表 4-3に示す。②本技術と①従来技術の調査特性を考慮して調査地点数及び調査範囲に差異がある場合は、本技術は従来技術と比べ約25%のコスト削減が見込める結果となった（表内②／①）。また、参考として、本技術の効果的な活用方法として、③従来技術と組み合わせた場合、④既存情報を活用した場合のそれぞれを、①従来技術と比較した場合、③の場合は②の場合より僅かにコスト削減効果が小さくなる結果であった。一方で、④の場合は調査自体が少なることから最も効果的な事業性が得られる結果となった（約40%のコスト削減）。

本技術は、広域的に多地点に迅速に設置ができ、異常検知におけるAI解析のスピードも速い点は優れているが、異常検知において「有無」の判断しかできないため雨天時浸入水が少量の区域を詳細調査対象外或いは優先度低と仕分けることができない。この技術特性より、大・中ブロック全域に多地点設置した場合、詳細調査の範囲（延長）が膨大になる可能性がある。

上記を踏まえると、実用段階においては各自治体における既往の調査や検討結果をもとに、雨天時浸入水の発生が予想される優先度が高い区域を対象に多地点設置する方法が、効率的な活用方法と考えられる。また、今回検討したケース以外にも自治体のニーズに応じた様々な調査方法が想定されるが、本技術の特徴を理解の上、効果的な活用方法を選定することが望ましい。

表 4-3 導入効果の評価結果

種別	調査	総事業費 (千円) ※直接費ベース	評価 (%)	備考
①従来技術	・水位40箇所 ・TVカメラ10,550m	59,170 (TVカメ費用：21,000含む)	100 (0)	基本ケース
②提案技術	・音響60箇所 ・TVカメラ12,600m	44,480 (TVカメ費用：25,200含む)	75.2 (-24.8)	②／①
③参考 従来＋提案技術	・水位10箇所 ・音響30箇所 ・TVカメラ12,600m	47,190 (TVカメ費用：25,200含む)	79.8 (-20.2)	③／①
④参考 提案技術 (既存情報活用型)	・音響30箇所 ・TVカメラ12,600m	36,140 (TVカメ費用：25,200含む)	61.1 (-38.9)	④／①

5. 調査及び分析の試算例

5.1 本技術における標準作業内容

分析部：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 6.積算資料（案） P.232 を参考に人工計上

1. 基本作業の確認、2. 基礎調査、4. 提出図書の作成、5. 計画協議については、上記積算資料と同人工を採用
3. 雨天時浸入水の原因把握については、研究体独自積算

表 5-1 本技術の標準作業内容

作業項目	作業内容	細目
1. 基本作業の確認	基本事項の確認及び要望事項の打ち合わせ	対象区域、作業方針、作業スケジュール
2. 基礎調査		
2-1. 資料収集・整理	雨天時浸入水状況の整理 現状計画の整理 既存施設・設備概要の整理 維持管理状況の整理	<ul style="list-style-type: none"> ・管きよ・ポンプ場・処理場への雨天時浸入水状況・被害状況、その他波及的な影響の整理 ・上位計画、下水道全体計画、認可計画、各種関連計画等の整理 ・既存施設・設備の規模・能力、設置年度、老朽度の整理 ・施設・設備の点検・修繕等の記録、管路劣化状況、維持管理費の推移の整理
2-2. 現地調査 地域特性の把握	地域特性の把握 施設・設備の状況把握	<ul style="list-style-type: none"> ・地勢、河川水路状況、家屋の状況の把握 ・既存下水道関連施設の状況の把握
2-3. 課題の整理	現状の課題の整理	施設別の現状課題の整理、問題点の整理
2-4. まとめと照査	作業項目における方針の確定・確認と照査	「基礎調査」における方針の確定・確認と作業内容の照査

作業項目	作業内容	細目
3. 雨天時浸入水の原因把握		
3-1. 浸入水発生区域絞り込み調査	絞り込み調査	音響調査 (別途、計上)
3-2. 調査結果の整理		音響調査結果の整理
3-3. 雨天時浸入水流入地点の絞り込み		AI解析による分析・評価
4. 提出図書の作成		報告書、図面、その他の関係図書の作成
5. 計画協議	発注者との計画協議	雨天時浸入水調査の協議

<積算における補足>

(1) 面積 : 300ha

(2) 設計標準工期 : 約3ヵ月程度

(3) 補正 : 補正係数 = $(x/300) \cdot 0.55$ ($x \geq 100$)

補正係数 = $0.00182x + 0.364$ ($x < 100$) $x = \text{対象面積 (ha)}$

(4) その他積算上の留意点 :

- ・浸入水発生領域絞り込み調査に関する業務は、別途計上とした。
- ・音響調査は、「下水道管路施設維持管理積算資料 2015」(社団法人 日本下水道管路管理業協会)を参考にして、研究体で別途積算を行った。

5.2 事業費算定結果

(条件) 対象面積 : 20ha
音響調査地点 : 20箇所

【分析部】 : 1,250,000円

業務項目	概算金額 (円)	備考
1. 基本作業の確認	37,580	
2. 基礎調査	261,840	
3. 浸入水発生領域の絞り込み	612,450	
4. 提出図書の作成	130,920	
5. 計画協議	210,600	3回想定
合計	1,250,000	千円以下切り捨て

【音響調査部】 : 5,950,000円

名称	形状・寸法	単位	数量	単価	金額	備考
1. 直接業務費						
(1)音響調査工		式	1		3,197,140	
直接業務費計					3,197,140	
2. 間接業務費						
共通仮設費		式	1		261,206	
安全費		式	1		144,846	
純作業費計					3,603,192	
現場管理費		式	1		1,469,381	
作業原価計					5,072,573	
一般管理費		式	1		1,027,703	
間接業務費計					2,758,290	
実態調査工計					5,950,000	千円以下 切り捨て

【音響調査工】 : 3,197,140円

名称	形状・寸法	単位	数量	単価	金額	備考
音響調査工	設置	箇所	20	6,328	126,560	
	撤去	箇所	20	6,328	126,560	
	巡回点検	箇所	20	6,103	122,060	
	機械損料	日・箇所	600	500	300,000	
	報告書作成	箇所	20	126,098	2,521,960	
計					3,197,140	

5.3 AI 解析の計算時間

実証実験にて分析に用いた解析用 PC の仕様を以下に示す。CPU が Xeon W-2125 4.0GHz 相当の PC を一台用いることで、1 箇所一か月間の音響データの取り込みから結果の表示まで約 6 時間で終了する。PC の台数を増やすことにより同時に複数箇所の解析が可能になる。

一方、従来技術については、データ整理までは効率的に処理することは可能であるが、分析・評価の段階で技術者（ヒト）による確認時間は、箇所数が増えると大幅にかかる結果であった。なお、本技術においては解析エンジンである PC の性能や台数によって、処理時間は大きく変動する。高性能 PC を複数台設置することで処理時間は短縮されるが、解析箇所数と PC 設置に要する費用を事前に検討の上、分析する必要がある。

表 5-2 実証実験において分析で用いた解析仕様

項目	所要時間	備考
SD : 1 ヶ月分の音響データ (約 15.0GB) card reader にて読み込み PC : CPU Xeon2125 4.0Ghz Memory 128GB ECC HD M.2 PCIe SSD512GB		
データ取り込み	7min	カードリーダーを介した読み込み
ノイズ処理及び解析	270min	晴天日パターン構築
評価	60min	異常検知 (グラフ化)
総計	337min ≒ 6.0hr	
実証実験における分析時間		
5 箇所	6hr	PC : 8 台 (card reader : 4 台)
10 箇所	12hr	
15 箇所	12hr	
20 箇所	18hr	
50 箇所	42hr	
100 箇所	78hr	

実証実験にて CPU に Xeon 2125 を用いたが、他の CPU を用いて同じ処理を 1 ヶ月分の音響データ（約 15.0GB）で処理した場合の総時間を比較した結果を以下に示す。なお、表内の PC 一台の価格については、2020 年度 4 月時点の一般的な価格を記している。

実証実験で用いた PC の仕様を中位と考えた場合、CPU によって計算時間は増減することとなる。表に示すハイスペック（高仕様 2）の場合、今回要した時間の更に半分の時間で分析を終えることも可能である。当然、高仕様 PC の購入価格は高くなるため、実際には分析箇所数や制約期間（工期）等から、使用する PC スペックを選定する必要がある。

表 5-3 CPU の違いが計算時間に及ぼす影響

	低仕様 1	低仕様 2	実証実験 PCの仕様	高仕様 1	高仕様 2
CPU名とクロック数	Core i5 9400	Ryzen 5 3600	Xeon 2125	Core i9 9900K	Ryzen 9 3950K
クロック数	2.9 GHz	3.6 GHz	4.0 GHz	3.6 GHz	3.5 GHz
コア数	6	6	4	8	16
スレッド数	6	12	8	16	32
搭載RAM	16GB	16GB	128 GB	32 GB	64GB
PC一台の価格 (2020年4月時点)	8万円	10万円	15万円	20万円	30万円
データ取り込み時間	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min
ノイズ処理および 解析時間	390 min	340 min	270 min	210 min	110 min
評価時間	85 min	75 min	60 min	45 min	25 min
時間総計	485 min	425 min	340 min	265 min	145 min
本技術で使用したPCと比較した ときの時間総計削減率	43%	25%	—	-22%	-57%

6. 実証研究における AI 解析の概要

AI (Artificial Intelligence) は、近年様々な社会的諸課題に対し深層学習 (ディープラーニング) に代表されるニューラルネットワークを利用した機械学習が適用され、その有効性が実証されている。その中では、人間と機械による評価を比較することで、最新の AI は画像認識や音声識別において人間の代替となることが明らかにされている。さらに AI にはヒューマンエラーがなく、24 時間作業し続けるなど、人間による作業と比較して優れた点がある。

深層学習は機械学習の一つであるニューラルネットワークにおける隠れ層を多段にした構造を取り、特徴量と呼ばれる入力パラメータをコンピュータが最適に選択することで、画像認識における学習精度が飛躍的に向上した。しかし深層学習の実現には大量の学習データと強力な計算能力を有するコンピュータを要する。したがって本プロジェクトが目指す下水道の音響データから雨天時浸入水を検出する事例に適用した場合、大量の音響データの採取と解析用に非常にパワフルなコンピュータを用意しなければならない。また音響データの場合、時間領域と周波数領域パラメータが特徴量となることは自明のことで、深層学習を用いるメリットは少ない。

本研究が対象とする雨天時浸入水検知への AI の適用には低コスト、高効率、かつ高い自動化実現の観点から、音響データの特徴量評価に対する判別分析、部分空間法、サポートベクターマシンの適用が考えられる。本技術においては、雨天時浸入水の検出精度、計算コスト、モデルの安定性、データベースの要件を考慮すると、図 6-1 に示す機械学習における部分空間法などの適用が最も適した計算方法と考える。

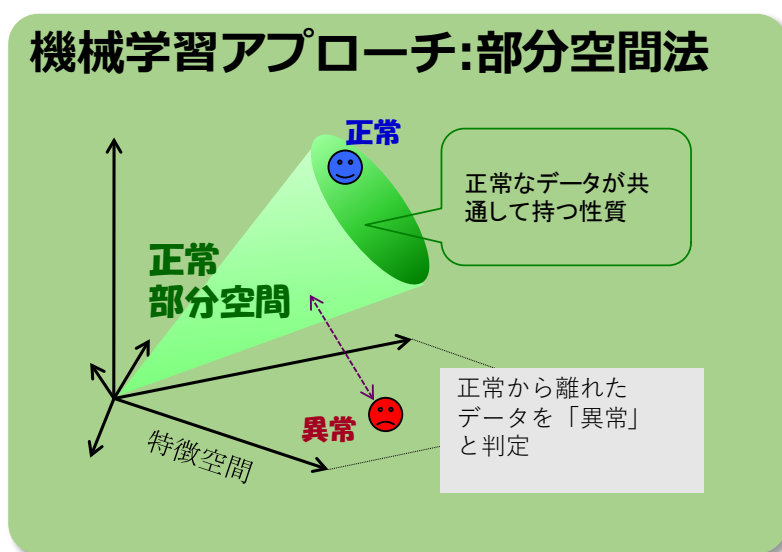


図 6-1 部分空間法の概要

6.1 AI 解析の流れ

解析の概要は下記のとおりである。まず、下水道管内の音響データを時間領域と周波数領域に分けて解析し、振幅、スペクトル分布などの特徴量を評価した。そして AI を利用して各特徴量への重み係数を決定し、各特徴量ベクトル F と重み係数ベクトル w の積を総和した値である特徴量 F_{AI} を算出した。つまり特徴量 F_{AI} は特徴量ベクトル F と重み係数ベクトル w を用いて、次式で表される。

$$F_{AI} = w^T F$$

ここで重み係数ベクトル w の上添字 T はベクトルの転置を表す。この特徴量は下水道管内の音響パワーや音質の時間的变化など様々な特徴量を含有した指数である。

本研究の現地観測で得られた特徴量を解析したところ、24 時間の周期性を有する変化挙動を取っていた。これは生活のパターンが日々繰り返されていることから当然と考えられる。

本研究の現地観測で収録された下水道管内の音響データは、図 6-2 に示したフローに基づいて信号処理され、雨天時浸入水の有無を判別した。各ステップにおける信号処理の詳細は下記のとおりである。

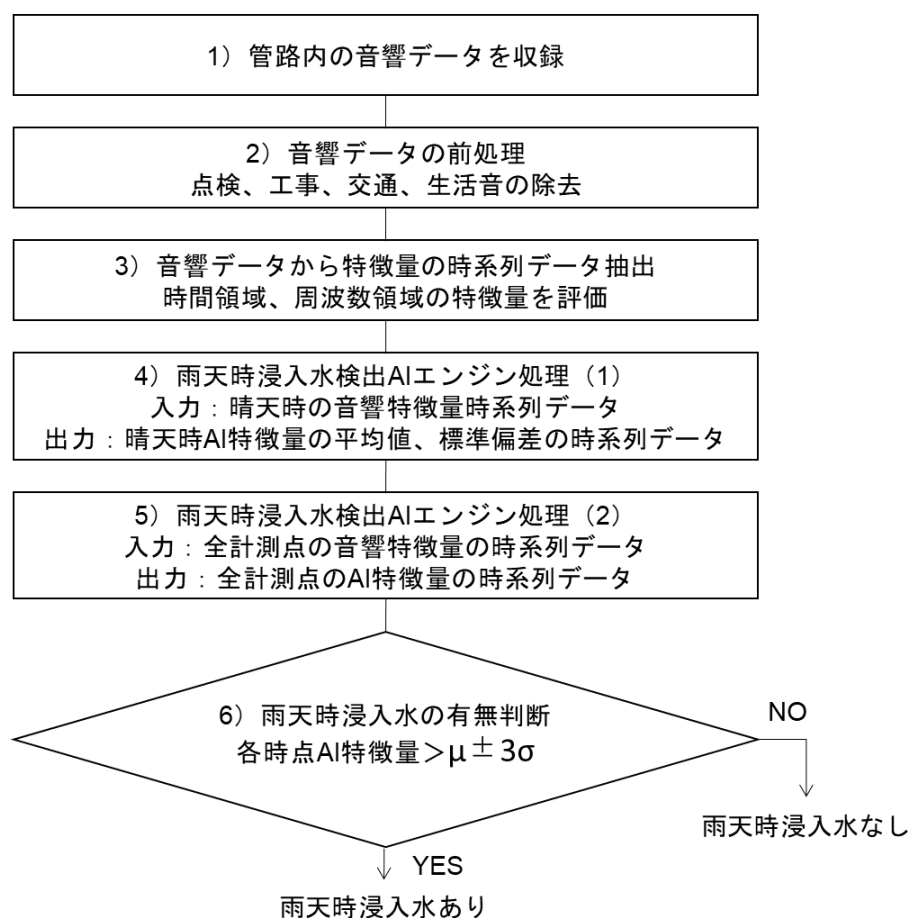


図 6-2 AI 異常検知におけるデータ解析の流れ

6.2 管路内の音響データを収録

ボイスレコーダを格納した集音装置をマンホール上部に設置し、管路内に発生する音響を収録した。音響データの収録期間が長くなるに従い、評価される特徴量のばらつきを表す標準偏差が小さくなることから、検知精度は向上すると考えられる。

本プロジェクトでは各観測地点において、約一ヶ月の音響データを収録したが、解析を行ったところ雨天の日を含む最低3週間の音響データがあれば、雨天時浸入水検知が可能であったことを確認している。

6.3 音響データの前処理

収録された音響データには管路内流水音とは関係のないノイズ、つまり集音装置の設置、電池やメモリーの交換といった点検作業による音響や、マンホール付近を通行する車輛の通過音や近隣で行われている工事音などが含まれる。これらの流水音とは関係のないノイズは雨天時浸入水解析の障害になるので、本研究ではバンドパスフィルタを用いてノイズを除去した。

図 6-3 左はノイズ除去前の音響波形とそのスペクトログラムで、図の横軸中央付近に車輛通行による突発的なノイズが発生し、スペクトログラムにおいても低周波域に高い強度が現れている。音響波形をバンドパスフィルタ処理することで、同図右のようにノイズとスペクトログラムにおける低周波域成分を取り除くことができた。

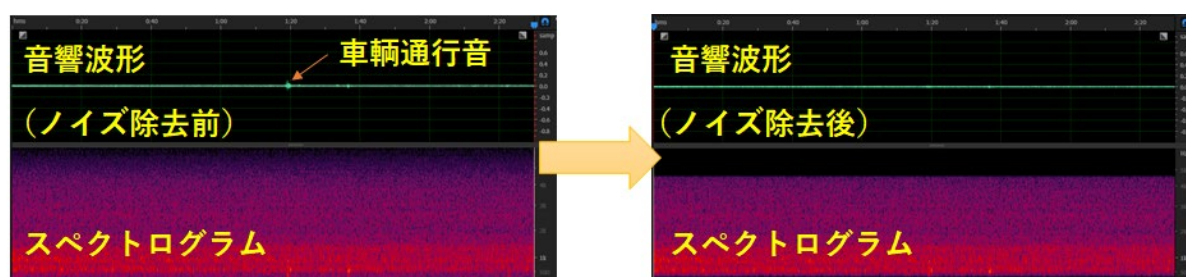


図 6-3 音響データのノイズ処理例

6.4 音響データから特徴量の時系列データ抽出

下水道の音響データを人間が聞いた場合、大きな音の発生や異なる帯域の音が現れると何らかの異常が発生していると認識する。コンピュータでは異常発生を識別するため、特徴量と呼ばれる音響データに含まれる音響パワーや周波数特性などを一定時間毎に抽出して、特徴量の時間的变化を調べる手法が取られる。

音響データは音の振幅が時間変化したもので、一定周波数の音を横軸が時間、縦軸が振幅のグラフで表現したとき、周期の揃った正弦波として表現される。異なる周波数の正弦波から構成される波形はひずみ波と呼ばれ、構成される周波数の正弦波の加算式で表現される。たとえば振幅 A_1 と A_2 のそれぞれ周波数 f_1 と f_2 の音が混じったときは

$$A_1 \sin 2\pi f_1 + A_2 \sin 2\pi f_2$$

と表すことができる。

下水道管内で収録される音響データは振幅の異なる多数の周波数の音から構成され、上式の正弦波項が多数連なる数式で表現される。このような音響データの特徴を捉えるには式全体、つまり音響データ波形を観察する方法と、構成される周波数毎に観察する方法の二種類が考えられる。前者は時間領域表現に基づく解析、後者は周波数領域表現に基づく解析と呼ばれる。周波数領域表現に基づく解析は一般に FFT (Fast Fourier Transformation : 高速フーリエ変換) と呼ばれ、正弦関数の直交性を利用することで複数の周波数成分を有する複雑な音響データから、周波数成分毎の振幅を取り出すことができる。

そこで本技術では音響データの波形情報から得られる時間領域特徴量、及び音響データの周波数解析から得られる周波数領域特徴量を抽出した。具体的には下水道管内の流水音響データに対して、10 分間の音響データ毎に時間領域特徴量 72 個、及び周波数領域特徴量 210 個の総計 282 個の特徴量を評価した。

表 6-1 に本技術の AI 解析に利用した時間、及び周波数領域特徴量の一覧を示す。これらの特徴量は科学技術計算の市販ソフトである MATLAB®を用いると容易に求めることができる。MATLAB は MathWorks 社が開発している数値解析ソフトウェアで、解析用途毎に toolbox と呼ばれる関数パッケージが販売されていて、本技術の特徴量計算には statistics and machine learning toolbox と signal processing toolbox を利用した。参考までに各特徴量を評価する MATLAB の関数を特徴量に併記した。

表 6-1 AI 解析に利用した時間、周波数領域毎の特徴量の一覧

時間領域 (72)	周波数領域 (210)
最大値, $\max(s(t))$	周波数パワースペクトル (35) $\text{sum}(\text{abs}(\text{fft}_{\text{freq}}(s(t))).^2)$
最小値, $\min(s(t))$	周波数振幅の平均値 (35) $\text{mean}(\text{abs}(\text{fft}_{\text{freq}}(s(t))))$
標準偏差 $\text{std}(s(t))$	平均絶対偏差 (35) $\text{mad}(\text{abs}(\text{fft}_{\text{freq}}(s(t))))$
平均値 $\text{mean}(s(t))$	エントロピー (35) $\text{entropy}(\text{abs}(\text{fft}_{\text{freq}}(s(t))))$
中央値 $\text{median}(s(t))$	歪度 (35) $\text{skewness}(\text{abs}(\text{fft}_{\text{freq}}(s(t))))$
最頻値 $\text{mode}(s(t))$	尖度 (35) $\text{kurtosis}(\text{abs}(\text{fft}_{\text{freq}}(s(t))))$
分散 $\text{median}(s(t))$	/
偏差値 $\text{var}(s(t))$	
平均絶対偏差 $\text{mad}(s(t))$	
自己相関係数 $\text{corr}(s(t), s(t-1))$	
波形強度分布の歪度 $\text{skewness}(s(t))$	
波形強度分布の尖度 $\text{kurtosis}(s(t))$	
出現確率5%毎の波形強度分位数 $\text{quantile}(s(t))$	
波形強度分布の強度範囲を20分割したヒストグラムの区間中央値 (20) $[\text{bin}_{\text{center}}] = \text{histogram}(s(t), \text{nbins} = 20)$	
波形強度分布の強度範囲を20分割したヒストグラムの出現度数 (20) $[\text{count}_{\text{frequency}}] = \text{histogram}(s(t), \text{nbins} = 20)$	

※ () 内の数字は特徴量の数、各特徴量には評価に用いた MATLAB 関数を併記した

表 6-1 に列挙した時間領域特徴量の意味を以下に列挙する。なおこれらの時間領域特徴量は音響解析において汎用的に用いられているものである¹⁾。

最大値：波形振幅の最大の値

最小値：波形振幅の最小の値

標準偏差：波形振幅のばらつきを表す指標

平均値：波形振幅の平均の値

中央値：波形振幅値を小さい順に並べたとき中央の順番に位置する値

最頻値：波形振幅において最も高頻度に現れた振幅値

分散：波形振幅のばらつきを表す指標で、標準偏差を二乗した値

z スコア：平均値をゼロ、標準偏差を 1 に規格化した波形振幅のばらつきを表す指標

平均絶対偏差：音響データ波形振幅の平均値との差のばらつきを表す指標

自己相関係数：隣接する音響データ波形との類似性を表す指標

歪度：波形振幅の頻度分布が正規分布からどれだけ歪んでいるかを表す指標

尖度：波形振幅の頻度分布が正規分布からどれだけ尖っているかを表す指標

波形振幅分位数：波形振幅の確率密度分布において出現確率 5% 毎の振幅区分の中央値

区間中央値：波形振幅範囲を 20 分割したときの各分割における区間中央値

出現度数：波形振幅範囲を 20 分割したときの各分割における事象数

本技術では時間領域特徴量の最後にリストアップした波形振幅分位数、区間中央値、及び出現度数は分布全体を 20 分割したときの各区分における値を特徴量として用いた。このように領域を等分割して分布形状を表現する手法は統計学では頻繁に行われる操作で、分割数には最も小さい場合は 2、多いものでは 1,000 が用いられる²⁾。確率密度分布から特徴量を抽出した過去の研究においては分布全体を 10 分割して解析したことが報告されている³⁾。本技術では特徴量の抽出にあたり、比較的少ない数で正確に分布状態を表現するため、20 分割を採用した。

また、周波数領域特徴量は周波数毎に異なる特徴を有することから、本技術では一定周波数毎に下記の 6 つの特徴量を評価した。本技術ではサンプリング周波数 44.1kHz であったことから、解析可能な上限周波数はサンプリング定理から 22.05kHz となる。本研究ではこの上限周波数を、過去の研究⁴⁾に倣い 35 分割した 630Hz 毎の 6 つの特徴量、計 210 の特徴量を評価した。なお周波数解析における解析ポイントは 1,024 点（解析時間幅 23.2ms）である。

周波数パワースペクトル：630Hz 毎の各周波数における成分強度を表す指標で、成分強度の二乗の総和値

周波数振幅の平均値：630Hz 毎の各周波数における成分強度を表す指標で、成分強度の平均値

平均絶対偏差：各解析窓における周波数成分強度と成分強度平均値の差のばらつきを表す指標

エントロピー：周波数成分強度分布のばらつきを表す指標である。エントロピーは物理学でばらつきを表す指標として用いられ、幅広い分布を取るときはエントロピーが大きく、狭い分布を取るときはエントロピーが小さいという。

歪度：周波数成分強度分布が正規分布からどれだけ歪んでいるかを表す指標

尖度：周波数成分強度分布が正規分布からどれだけ尖っているかを表す指標

図 6-4 に 34 日間収録された音響データから 10 分間毎に抽出された特徴量の時系列データとして、最大値、最小値を例示する。

本技術では 282 の特徴量に対して、図 6-4 に示した時系列データを評価し、後述する雨天時浸入水検出 AI エンジンに入力して、特徴量時系列データを得て、雨天時浸入水の有無を判別した。

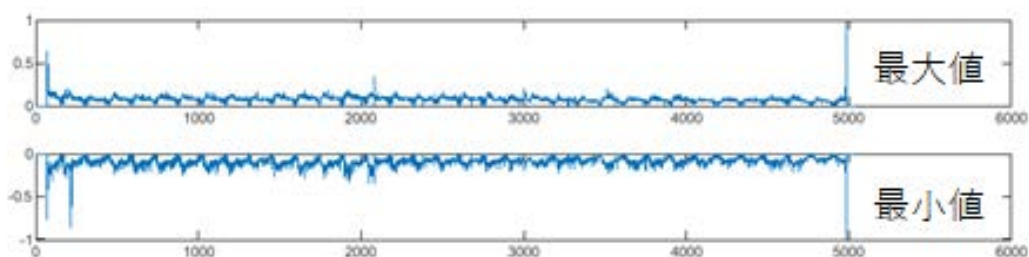


図 6-4 音響データから抽出された特徴量の時系列データの例示

6.5 雨天時浸入水検出 AI エンジン処理 (1)

収録された音響データから雨天日のデータを取り除いた晴天日のみの特徴量の時系列データを雨天時浸入水検出 AI エンジンに入力して、晴天日特徴量の平均値と標準偏差の時系列データ（長さ 24 時間）を得る。

なお、降雨後の間接浸入水による影響を考慮し、降雨日とその次の日を除いた日を晴天日と定義した。

図 6-5 に晴天日の音響特徴量時系列データから、晴天日の特徴量の平均値と標準偏差の時系列データを得るイメージを示す。

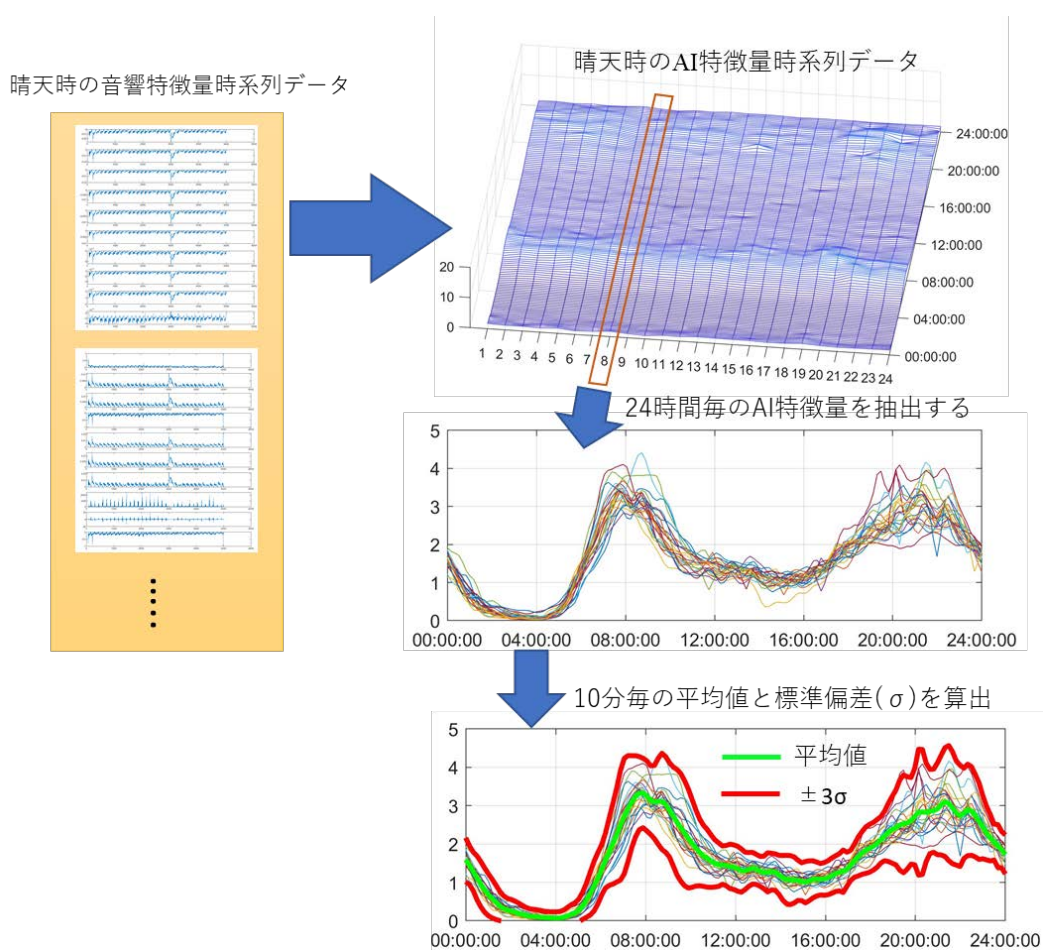


図 6-5 音響特徴量時系列データから特徴量への変換イメージ

6.6 雨天時浸入水検出 AI エンジン処理 (2)

収録された音響データの全計測点の特微量の時系列データを雨天時浸入水検出 AI エンジンに入力して、全計測点の特微量の時系列データを得る。

作業 5)における解析イメージを図 6-6 に示す。282 個の音響特微量時系列データを雨天時浸入水検出 AI エンジンに入力すると、同エンジンは特微量の時系列データを出力する。作業 5)では計測した全日程の特微量時系列データを得ることから、日にちと時間の 2 次元マップを得る。

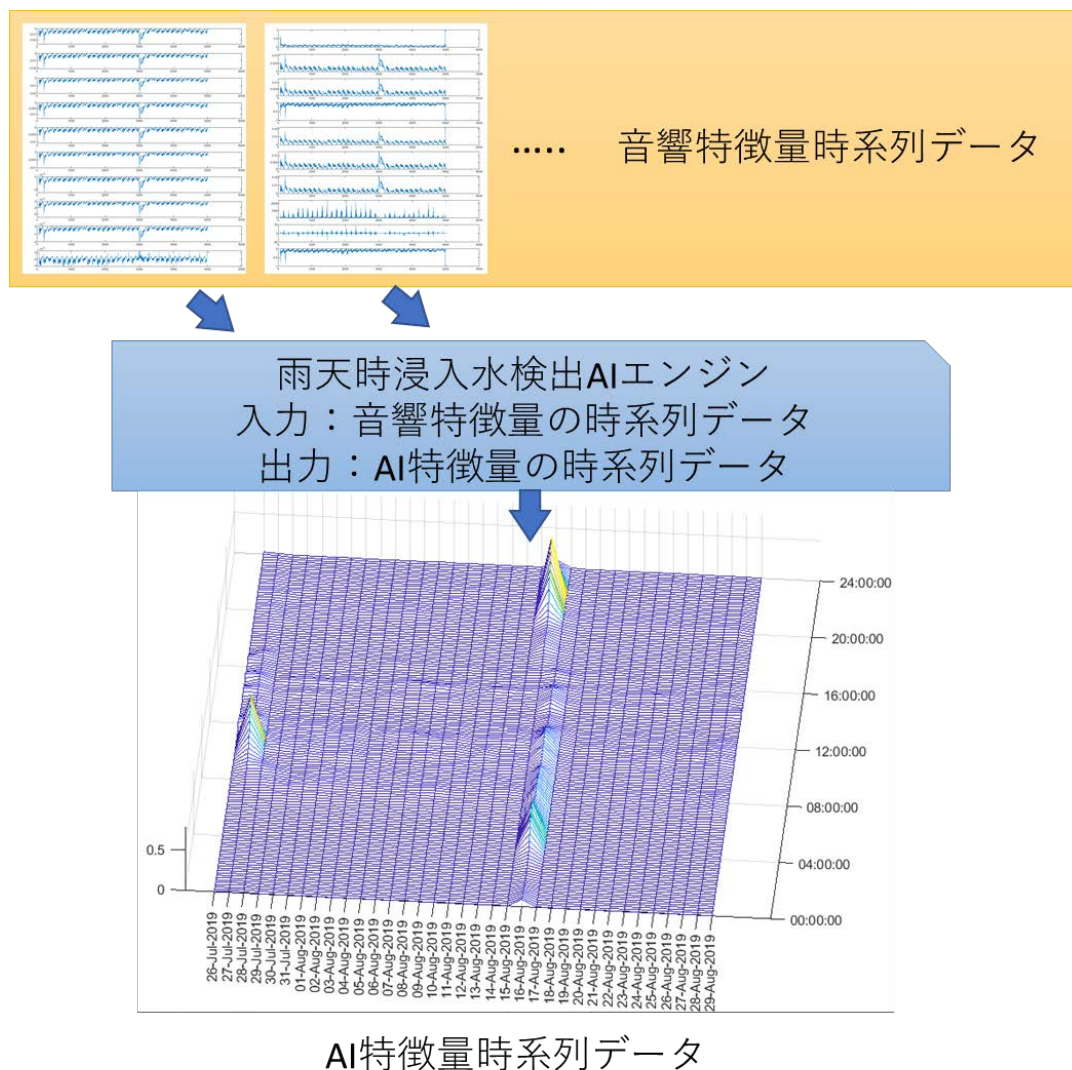


図 6-6 雨天時浸入水検出 AI エンジンへの入出イメージ

6.7 雨天時浸入水の有無の判断

「6.6 雨天時浸入水検出 AI エンジン処理 (2)」で得られた特徴量の時系列データを 24 時間毎に区切る。判断対象日の特徴量 (長さ 24 時間) と、「6.5 雨天時浸入水検出 AI エンジン処理 (1)」で得られた晴天日の平均特徴量時系列データ (長さ 24 時間) の大小関係を評価し、しきい値を超過したケースを異常な状態、つまり雨天時浸入水が検知された状態とする (図 6-7)。

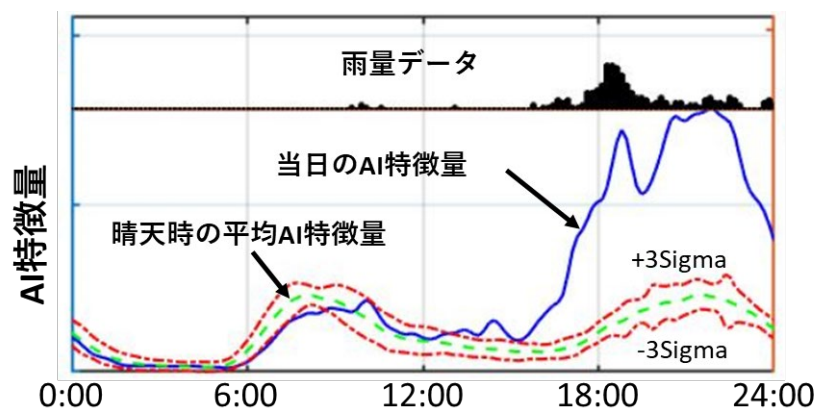


図 6-7 雨天時浸入水有無の判断イメージ

以上、図 6-2 に示した作業を個別に説明したが、一連の流れとして作業を図 6-8 にまとめた。

神戸 加古川⑭-SD#011を例にした図2.1.4のデータ解析の流れ

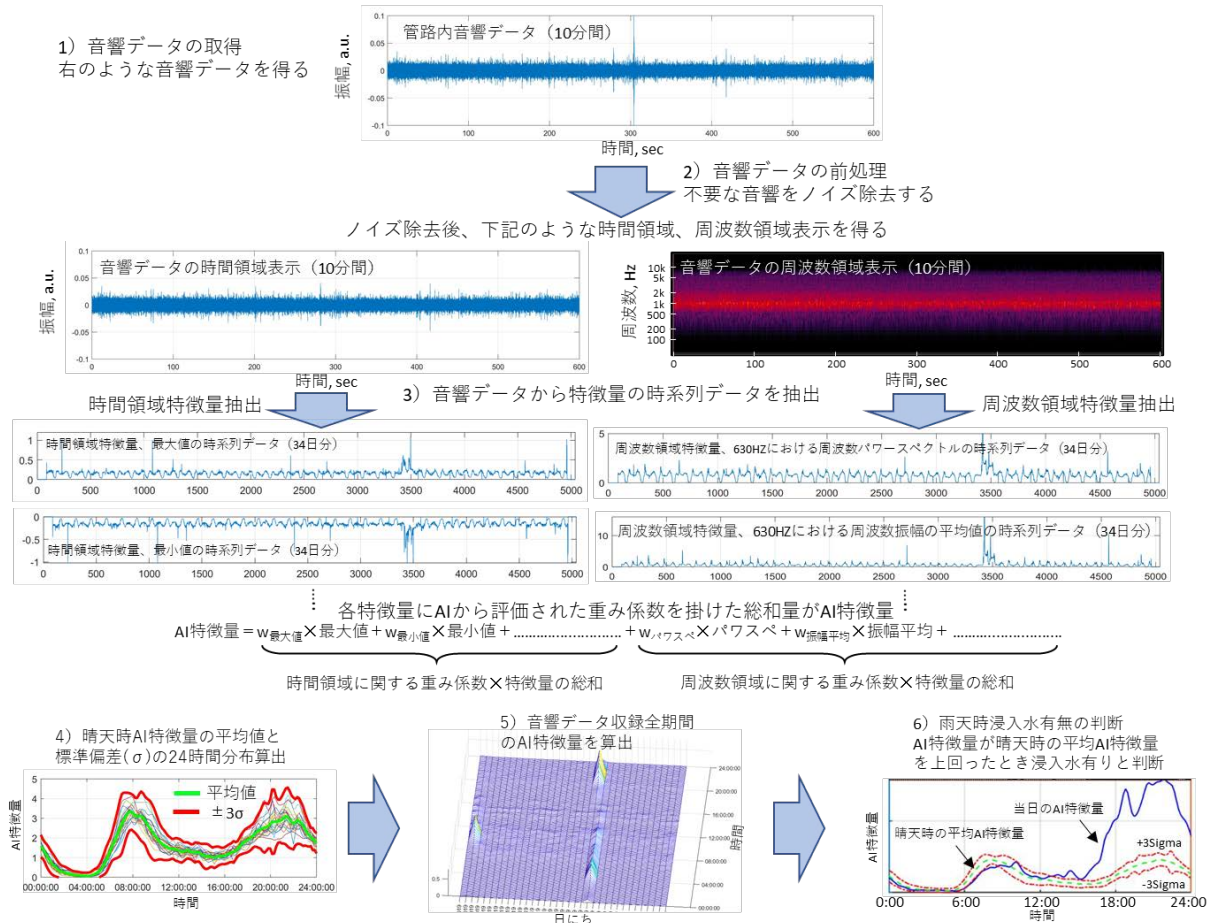


図 6-8 音響解析の一連の流れイメージ

6.8 雨天時浸入水検知 AI エンジンの概要

本技術で用いた雨天時浸入水検知 AI エンジンは、図 6-9 の流れで作成されたプログラムである。

- (1) 様々な箇所収録された下水道管内の音響を入力データとする。
- (2) 「6.3 音響データの前処理」と同様の信号処理を行い、管路内流水音とは関係のないノイズを音響データから除去する。
- (3) 「6.4 音響データから特徴量の時系列データ抽出」と同様の信号処理を行い、下水道管内の流水音の特徴量の時系列データを評価する。
- (4) 晴天日の音響特徴量パターンを機械学習し、特徴量算出に必要な各特徴量の重み係数を決定する。

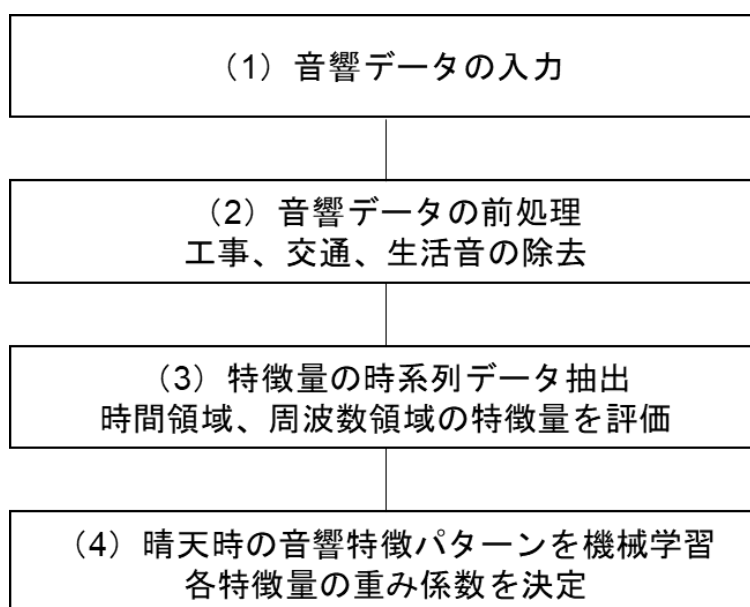


図 6-9 雨天時浸入水検知 AI エンジンの概要

上記 (4) における特徴量評価式の構築にあたっては、音響データの特徴量を集約した次の特徴を有する指標を考えた。

1. 晴天日において評価される指標には変化が少ない
2. 雨天時浸入水があった場合において評価される指標は晴天日の値とは大きく異なる

このような指標を作り出すことができれば指標の値から雨天時浸入水の有無を判別できる。本技術では指標として各特徴量と重み係数の積を総和した値を特徴量と定義して、機械学習の手法の一つである判別分析法から雨天時浸入水検知のために最適な重み係数を評価した。

判別分析法による最適な重み係数 \mathbf{w} は晴天日における特徴量が晴天日の平均的な特徴量との差が最小になり、かつ雨天日における特徴量が晴天日の平均的な特徴量との差が最大になるように決定され、数式としては次式で表される。

$$\min_{\mathbf{w}} \|\mathbf{w}^T (F_s - \bar{F}_s)\|^2 \quad \text{and} \quad \max_{\mathbf{w}} \|\mathbf{w}^T (F_r - \bar{F}_s)\|^2$$

ここで $F_{s(\text{sunny})}$ 、 $\bar{F}_{s(\text{sunny})}$ 、 $F_{r(\text{rainy})}$ 、及び \mathbf{w} はそれぞれ晴天日の音響特徴量ベクトル、晴天日の平均音響特徴量ベクトル、雨天日の音響特徴量ベクトル、重み係数ベクトルを表す。重み係数ベクトルの上添字 \mathbf{T} は転置行列を表す。ここで記した重み係数は判別分析法に基づいて算出されている⁵⁾。

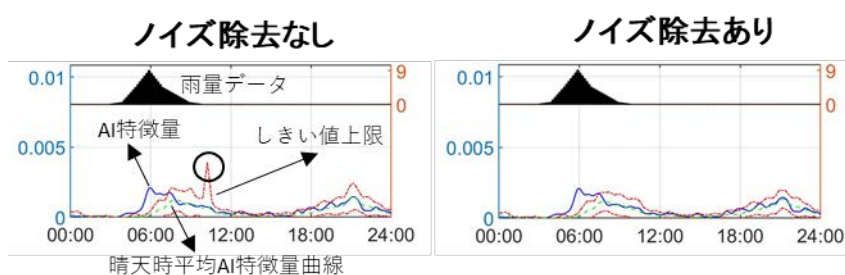
この雨天時浸入水 AI エンジンに音響特徴量の時系列データを入力すると、特徴量の時系列データを出力する。

6.9 音響データの前処理の重要性

最後に図 6-2 の流れに示した音響データの前処理の重要性を以下に示す。

音響データからノイズ除去を行うことは雨天時浸入水検出において、正しいしきい値を与えるために非常に重要である。音響ノイズ除去がしきい値上限に及ぼす影響の一例を図 6-10 に示す。

この例では、午前 11 頃に行った点検作業で生じたノイズの影響により、同時刻におけるしきい値上限が増大している（左図の丸で囲んだ時点）。このようなしきい値の増大は、雨天時浸入水の誤検知をもたらす。そこで流水音とは異なるノイズを除去することにより右図のように安定したしきい値上限を設定することができる。



(左図) 午前11時頃に行った集音機器の点検作業に起因するノイズを削除しなかった場合、同時刻(図中、丸で囲んだ箇所)においてしきい値上限が突発的に増大していた
(右図) 作業ノイズを除去することで突発的なしきい値上限の増大をなくすことができる

図 6-10 音響ノイズ除去がしきい値上限に及ぼす影響

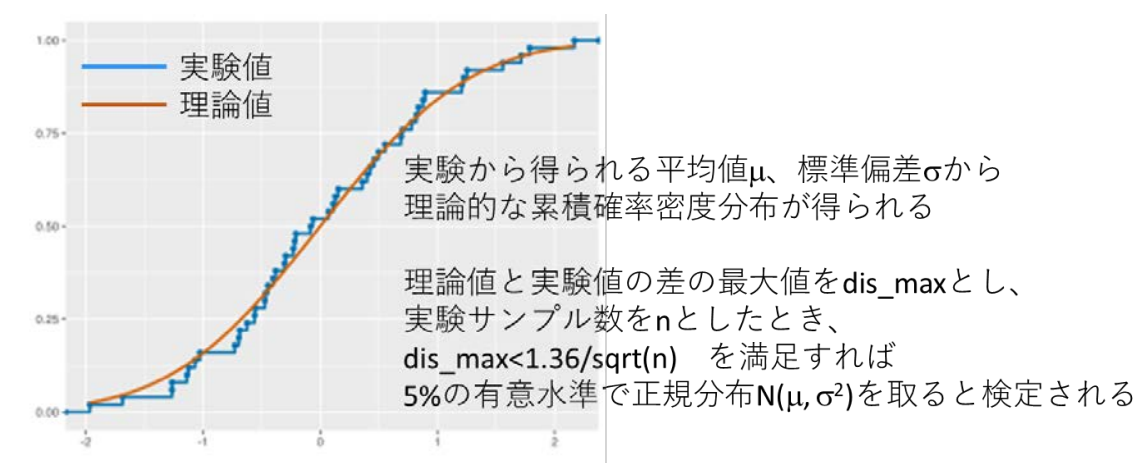
6.10 本技術における異常検知の判断基準

本研究を開始する前の自主研究において、晴天日の特徴量は正規分布を示していた。そのことから、正規分布を取る場合に一般に採用されている異常時判別基準を採用することを考えた。そこでまずは本研究で得られた音響データ観測結果について正規分布を取るかどうかについて検討した。

6.10.1 正規分布の確認方法

ある時間における特徴量の値は確率分布を示す。このような確率的に変動する統計量は正規分布、ポアソン分布、レーリー分布に代表される確率密度分布に従うことが知られている⁶⁾。

そこで、本研究で収録された5都市の晴天日の特徴量データに対し、コルモゴロフスミルノフ検定⁷⁾を行い、検定の基準として最も用いられる有意水準5%⁸⁾で正規分布を取るかどうかを確認した(図6-11)。



この場合の5%の有意水準とはAI特徴量が正規分布を取らない確率は5%という意味。一般的に仮説検定の際、有意水準として5%が用いられる。

図 6-11 コルモゴロフスミルノフ検定の概要

6.10.2 正規性の確認結果

本研究で流量観測と同地点において実施した音響データ観測結果に基づく晴天日特徴量に対し、前述したコルモゴロフスミルノフ検定を行い正規分布に従うかを確認した結果を表 6-2～表 6-7 に示す。

その結果、以下の点が明らかになった。

- 前述した適用範囲外の地点は全て正規分布に従わなかった。
- それ以外の調査地点では、全て正規分布に従った。

なお、本研究では、約 200 地点に及ぶ調査地点で調査した結果であり、適用可能な地点での調査については全て正規分布に従った。以上から適用可能な地点で収録された音響データの特徴量は正規分布を取ると考えて問題ないと判断される。

表 6-2 コルモゴロフスミルノフ検定による正規分布の確認結果（郡山市）

郡山市					
大槻町			富久山町		
地点番号	正規性	備考	地点番号	正規性	備考
01	○		F1	○	
02	○		F2	○	
03	○		F3	○	
04	○		F4	○	
05	○		F6	○	
06	○		F7	○	
07	○		F8	○	
08	○		F9	○	
			F10	○	
			F11	○	
			F12	○	
			F13	○	
			F14	○	
			F15	○	
			F16	○	
8	8	0	15	15	0

表 6-3 コルモゴロフスミルノフ検定による正規分布の確認結果（つくば市）

つくば市		
常南		
地点番号	正規性	備考
T2	×	適用範囲外
T3	×	適用範囲外
T6	×	適用範囲外
T8	○	
T9	×	適用範囲外
T10	×	適用範囲外
T12	×	適用範囲外
T13	○	
T17	○	
T18	×	適用範囲外
T22	×	適用範囲外
T23	×	適用範囲外
T27	○	
T30	○	
T31	○	
T35	○	
T37	○	
T38	○	
T39	○	
T44	×	適用範囲外
T45	○	
T46	○	
T47	×	適用範囲外
T48	×	適用範囲外
24	12	12

表 6-4 コルモゴロフスミルノフ検定による正規分布の確認結果（名古屋市）

名古屋市					
神の倉			兵庫		
地点番号	正規性	備考	地点番号	正規性	備考
NK4	○		NH2	○	
NK7	○		NH6	○	
NK10	○		NH10	○	
NK21	○		NH14	○	
NK30	○		NH26	○	
NK31	○		NH30	○	
NK37	○		NH35	○	
NK42	○		NH43	○	
NK48	○		NH44	○	
NK49	○				
10	10	0	9	9	0

表 6-6 コルモゴロフスミルノフ検定による正規分布の確認結果（神戸市）（2）

神戸市					
西神第1フェーズ			西神第2フェーズ		
地点番号	正規性	備考	地点番号	正規性	備考
西①	○		西1-1	○	
西②	○		西1-3	○	
西③	○		西1-4	○	
西④	○		西1-5	○	
西⑤	○		西1-6	○	
西⑥	○		西1-7	○	
西⑦	○		西1-8	○	
西⑧	×	適用範囲外	西3-1	○	
西⑨	×	適用範囲外	西3-2	○	
西⑩	×	適用範囲外	西3-3-1	○	
			西3-3-2	○	
			西3-4	○	
			西3-5-1	○	
			西3-5-2	○	
			西6-1	○	
			西6-2-1	○	
			西6-2-2	○	
			西6-3	○	
			西6-4	○	
			西9-1	×	適用範囲外
			西9-2S	○	
			西9-3	×	適用範囲外
			西9-4	×	適用範囲外
			西9-5	×	適用範囲外
10	7	3	24	20	4

表 6-7 コルモゴロフスミルノフ検定による正規分布の確認結果（熊本市）

熊本市								
湖東第1フェーズ			湖東第2フェーズ			富合		
地点番号	正規性	備考	地点番号	正規性	備考	地点番号	正規性	備考
K01	○		K17-1	○		K37	×	適用範囲外
K02	×	適用範囲外	K17-2	○		K42	×	適用範囲外
K05	○		K17-3	○		K43	×	適用範囲外
K07	○		K17-4	○		K44	○	
K08	○		K17-5	○		K46	○	
K12	○		K17-6	○		K48	○	
K13	○		K17-7	○		K49	○	
K14	○		K17-8	○		K50	○	
K15	○		K17-9	○		K53	○	
K16	×	適用範囲外	K17-10	○		K54	○	
K17	○		K17-11	○		K56	○	
K18	○		K17-12	○		K61	○	
K19	○		K17-13	○		K63	○	
K20	×	適用範囲外	K09-1	○		K64	×	適用範囲外
K26	○		K09-2	○		K65	×	適用範囲外
K27	○		K09-3	○		K66	○	
K28	○		K09-4	○		K68	○	
K31	○		K09-5	×	適用範囲外	K69	×	適用範囲外
K32	○		K09-6	○		K70	×	適用範囲外
K33	○		K09-7	○		K711	○	
K35	○		K09-8	○		K712	○	
			K09-9	○		K72	×	適用範囲外
			K09-10	○		K73	○	
						K76	○	
						K79	○	
						K80	○	
21	18	3	46	22	1	26	18	8

6.11 本研究における雨天時浸入水の有無の判断

本研究では、雨天日の音響データ観測により得られた特徴量の時系列データと晴天日の平均特徴量時系列データ（長さ 24 時間）の大小関係を評価し、しきい値を超過したケースを異常な状態、つまり雨天時浸入水が検知された状態とする。

統計量が正規分布を取る場合、人工知能を利用した異常時のしきい値として、 3σ 法が用いられることが多い^{9),10)}。 σ はデータのばらつきを表す標準偏差で、正規分布においては“平均値±標準偏差の3倍”（ $\mu \pm 3\sigma$ ）、つまり $\mu \pm 3\sigma$ の範囲に 99.73%のデータが含まれ、その範囲からはみ出すのはわずか 0.3%弱で、1,000 に 3 つもない稀な事象になる。そこで晴天日の特徴量は“平均値±標準偏差の3倍”（ $\mu \pm 3\sigma$ ）の範囲に入り、（ $\mu \pm 3\sigma$ ）範囲外は雨天浸入水による特徴量の増大、またはマイク水没による特徴量の減少による異常時に対応すると判定することにした。

すなわち、ある時点における特徴量が、対応する時点における晴天日特徴量の平均値 μ 、及び標準偏差 σ から算出される $\mu \pm 3\sigma$ の範囲から外れた時点は雨天時浸入水ありと判断する。それ以外の時点は雨天時浸入水なしと判断する。

このときの解析イメージ図 6-12 に示す。晴天日の平均特徴量（図中、点線）を中心とした $\pm 3\sigma$ 曲線（図中、一点鎖線）と降雨当日の特徴量曲線の大小関係を比較する。この例では雨量データが増加し始めた 15 時半過ぎから、当日の特徴量が $+3\sigma$ を超えており、雨天時浸入水有りと判断する。

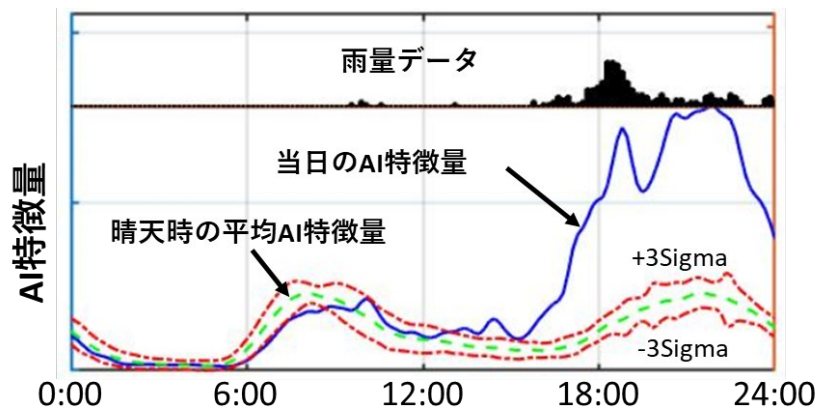


図 6-12 雨天時浸入水有無の判断イメージ（再掲）

ここで、図 6-12 のある特定の時間だけを切り出した場合の特徴量の変化例を、本研究において観測されたデータの事例で整理した結果を図 6-13 に示す。グラフの右図は特徴量を時系列で整理したもの、特徴量を確率密度で示したものを左図に示す。

右図を見てわかるとおり、雨天日は特徴量が上昇し、しきい値を超過することから、雨天時浸入水を検知している。なお、ここでは、正規分布を確認するものではないため、階級幅は任意設定で問題ない。

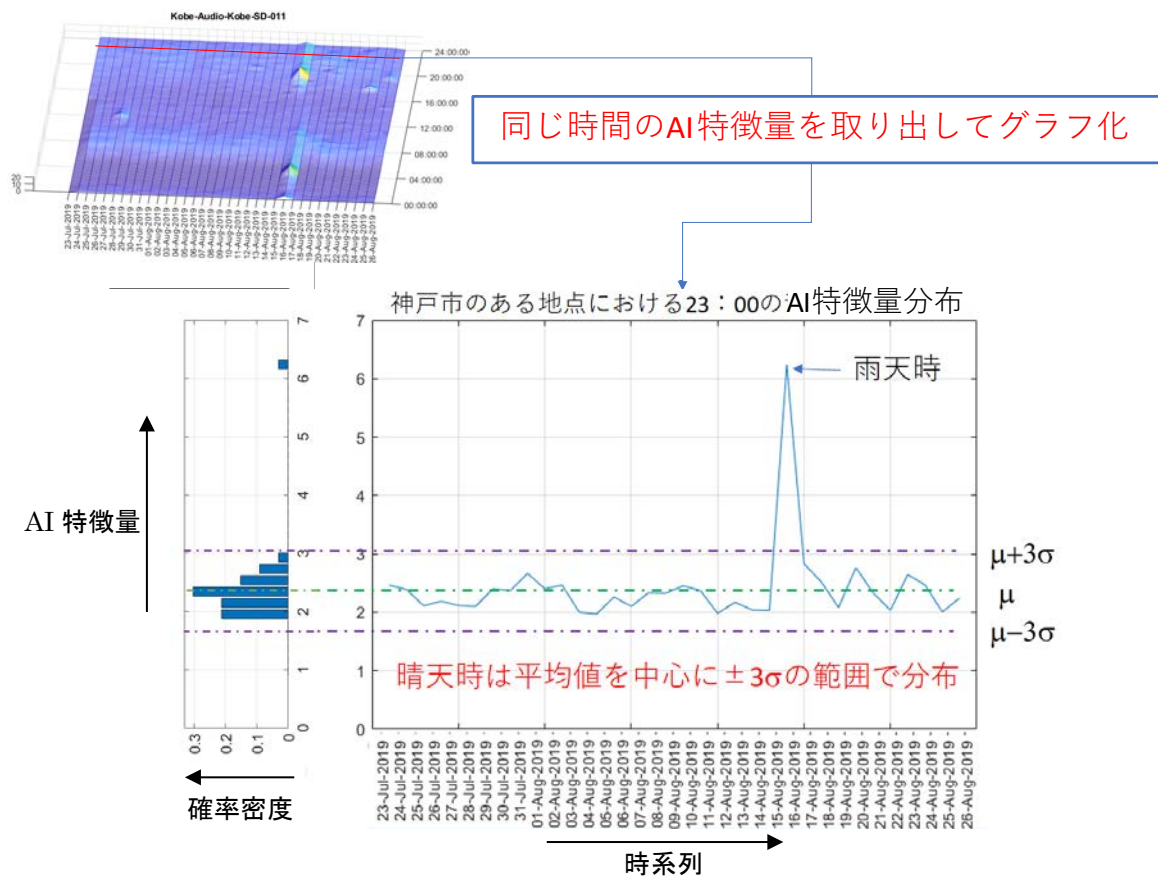


図 6-13 同一時間帯の特徴量の整理

[参考文献]

- 1) Practical Statistics for Data Scientists 50 essential concepts, Peter Bruce and Andrew Bruce, O'REILLY, 2017.
- 2) <https://en.wikipedia.org/wiki/Quantile>
- 3) Discretization from Data Streams: Applications to Histograms and Data Mining, J. Gama and C. Pinto, DOI: 10.1145/1141277.1141429
- 4) Acoustic scene classification: an overview of DCASE 2017 Challenge entries, Annamaria Mesaros, Toni Heittola, Tuomas Virtanen, 2018 16th International Workshop on Acoustic Signal Enhancement (IWAENC), 2018.
- 5) Pattern recognition and machine learning, , Chap.4.1.4, Christopher M. Bishop, Springer, 2007.
- 6) 信号解析入門, 第2章, 越川 常治, 近代科学社, 1992.
- 7) <https://jp.mathworks.com/help/stats/kstest.html>
- 8) Random Data Analysis and Measurement Procedures 3rd Ed., Chapter 4, Julius S. Bendat and Allan G. Piersol, Wiley, 2000.
- 9) Anomaly Detection: A Survey, V. Chandola, A. Banerjee and V. Kumar, ACM computing surveys 41, No. 3(2009): 1-58.
- 10) Pattern Recognition and Machine Learning, Chapter 2, Christopher M. Bishop, Springer, 2006.