

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の目的

§5 本技術の目的

本技術は、下水道管内の流水音を収録する音響調査と、収録された音響データから雨天時浸入水の有無を判別する AI 解析を組み合わせることにより、従来技術と比較して雨天時浸入水調査に要する費用と時間の低減を図ることを目的とする。

【解説】

(1) 従来の雨天時浸入水調査

雨天時浸入水の削減は、全国の下水道事業者にとって喫緊の課題ではあるが、調査に要する期間やコストが大きくなる場合が多く、それがネックとなって対策が十分進んでいない状況にある。

雨天時浸入水は、下水道施設の様々な箇所から浸入していると考えられ、その範囲も狭い地域から広い地域まで幅広く及んでいる。そのため、やみくもに詳細調査を行い、それに基づいて対策を実施しても、全体的な効果や実態が見えにくいことが多い。したがって、従来調査では、まず雨天時浸入水が発生していると考えられる範囲を広域に設定し調査を行い、対策優先度の高い範囲を段階的に絞り込んでいく方法を採用することが多い。

この場合、対策優先度を確認しながら雨天時浸入水の発生箇所を絞り込んでいくため、効果的な対策に繋げやすい。一方で、雨天時浸入水の発生箇所は多数あるため、対策優先度に応じた調査を順次行っていくことで、調査に要する費用が高額になる点や期間が長くなるといった事業性や効率性の面で課題がある。

表 2-1 に従来技術における雨天時浸入水調査手順を、図 2-1 に雨天時浸入水の調査フローを示す。

従来技術による雨天時浸入水調査では、まず、雨天時浸入水対策が必要な大ブロック（数百 ha 以上）について、流量計による流量調査及び分析を実施し、その結果に基づいて次に調査・分析を行う中ブロック（数十 ha 程度）へ絞り込む。この作業を、実際に対策を実施する小ブロック（数 ha）の区域に絞り込めるまで繰り返す。

表 2-1 従来技術における絞り込み調査の流れ

STEP	内 容
STEP.1	調査対象区域をブロック（集水系統）に区分し、ブロック別に雨天時浸入水調査を行う。
STEP.2	基礎調査データや調査結果をもとに、雨天時浸入水の浸入状況の分析・評価を行う。
STEP.3	ブロック別の対策優先度の重み付けを行う。
STEP.4	対策優先度の高いブロックを選定し、さらに区域を細分化し調査や分析・評価を行う。

(2) 本技術の目的

本技術は、従来技術で調査対象区域を絞り込むために実施していた流量計による調査を、安価な集音装置を用いた音響調査で代替するとともに、音響調査により晴天日・雨天日を含む一定期間下水道管内の流水音データを収録した結果を AI 解析により分析することで調査対象区域の雨天時浸入水の有無を検知するものである。

本技術では、調査地点における流下量と流水音の関係に特徴があることに着目し、晴天日の平均的な音響パターンに対して、雨天日の音響パターンがそれを逸脱する場合に雨天時浸入水があると判定する。

これにより、上述した従来技術の課題である調査費用や期間に対して、一定の削減効果を得ることが可能となる。

本技術による雨天時浸入水調査は、図 2-1 に示すとおり、従来技術のように段階的に絞り込むのではなく、大ブロック内の小ブロックを対象に、一斉に音響調査を実施することで、一度の調査で雨天時浸入水の発生区域を検知することが可能である。

なお本技術では、調査地点で発生する固有の音響の特徴によって雨天時浸入水の有無を検知するだけであることから、従来技術のように流量や水位といった相対評価が可能な定量的指標を用いた絞り込みは行うことができないものの、低コストかつ短期間での調査が可能である。

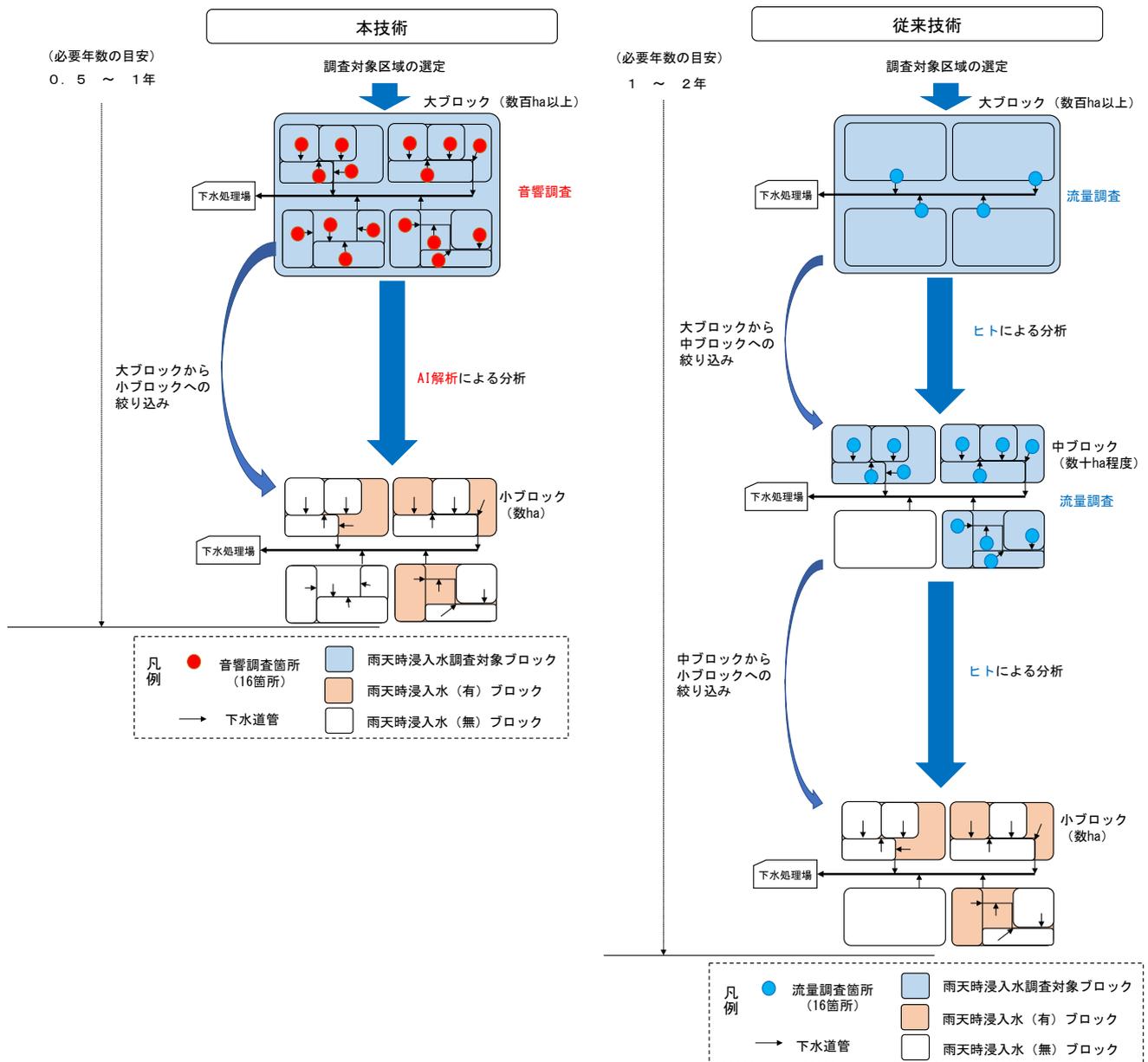


図 2-1 本技術と従来技術における雨天時浸水調査フロー

第2節 技術の概要

§6 技術の概要

本技術は、安価で簡易に設置できる市販のボイスレコーダを用いた調査方法により、下水道管内の流水音データを収録するとともに、それを AI により解析することで迅速に雨天時浸入水の有無を検知するものであり、下記の要素技術で構成される。

- (1) 音響調査
- (2) AI 解析

【解説】

本技術は、従来技術で調査対象区域を絞り込むために実施していた流量計による調査を、集音装置を用いた音響調査で代替するとともに、音響調査から得られた結果を AI 解析により分析することで調査対象区域の雨天時浸入水の有無を検知するものである。調査地点における流下量と流水音の関係に特徴があることに着目し、晴天日の平均的な音響パターンを規定した上で、AI によりそれを逸脱する場合を判定し雨天時浸入水の有無を検知する。

本技術は、以下の要素技術で構成される。各要素技術の詳細概要については第3節に示す。

(1) 音響調査

音響調査は、雨天時浸入水の検知のための AI 解析で使用する下水道管内の流水音を連続的に収録するものである。

(2) AI 解析

AI 解析は、音響調査にて収録された下水道管内の流水音をデータ変換し、その音が有する晴天日と雨天日の特徴の違いから雨天時浸入水の有無を判定するものである。

第3節 本技術を構成する要素技術の概要

§ 7 音響調査

音響調査は、調査対象区域内に市販のボイスレコーダ等を用いた調査機器を設置し、晴天日及び雨天日における下水道管内の流水音を連続的に収録するものである。

【解説】

音響調査は、雨天時浸入水の検知のための AI 解析で使用する下水道管内の流水音を連続的に収録する。

音響調査は、図 2-2 に示すとおり、選定された調査地点のマンホール上部に集音装置を設置して、雨天日 1 日以上 (0.5mm/日以上)、晴天日 14 日以上を含む観測期間に下水道管内の流水音を連続的に収録する。なお、従来技術による雨天時浸入水調査では、雨天日として 5~10mm/日の降雨を 2~3 日程度確保することが一般的である。

音響調査では、豪雨・強雨時で雨天時浸入水量が増加した場合は、マンホール内の水位上昇によって外部マイクや集音装置が水没する可能性があることから、筐体及びマイクについては、防水性を有した機材を使用することとする。また、一定期間の流水音の連続的な収録を行うためには、ボイスレコーダへ外部給電するための電源を別途設置する。

なお、降雨観測については、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を活用することを基本とするが、必要に応じて雨量計を新たに設置することを検討する。

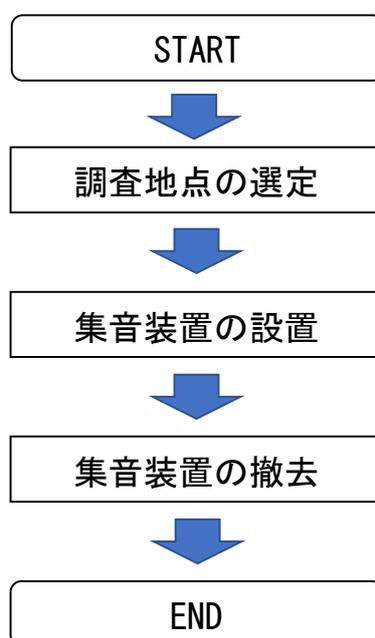


図 2-2 音響調査の実施フロー

音響調査で必要となる主な機器の構成・仕様等を以下に示す。参考として、実証研究で使用した集音装置の仕様等を資料編 1. に示す。

① 外部マイク

下水道管内の流水音を収集するための機器であり、IPX4 相当の防水性能を有したものの。

② ボイスレコーダ

外部マイクと接続し、収集した音を調査期間中連続的に保存・記録できるもの。

③ 電源

外部マイク及びボイスレコーダが調査期間中連続的に稼働可能なもの。

④ 防水ケース

ボイスレコーダ及び電源を格納し、IP67 相当の防水・防塵性能を有したものの。

また、実証研究の結果から以下 No.1～No.4 に該当する調査地点では、後述する AI 解析における晴天日の音響パターン構築が困難となるため、調査地点から除外することが望ましい（資料編 2. を参照）。

No.1 ポンプの起動・停止の影響

ポンプ場やマンホールポンプが設置されている地点から上流・下流の 150m 以内の区域で調査を実施する場合は、ポンプの起動・停止により上流・下流における管内の流量や水位の変動に伴い、音響の特徴も不規則となる。

No.2 不定期排水の影響

工場等の排水の影響を受ける調査対象区域で調査を実施する際、基礎調査において排水の定期的な変動を把握できない場合は、工場等からの不定期排水に伴い、調査地点の流量や水位が毎日不規則なものとなるため、音響の特徴も不規則となる。

No.3 屈曲部で調査する場合

下水道管の屈曲部で調査を実施する場合、流下状況は直管部と異なり、水流の乱れが生じる場合がある。この時に音響データも乱れる傾向があるため、晴天日のパターン構築が困難となる。

No.4 マンホールへの直接流入がある場合

副管処理のなされていないマンホールで、サービス管等からマンホール内に直接流入がある地点で調査を実施する場合は、サービス管等から不定期に流入する流水音によって本管の流水音に影響を与えることがある。この場合、両者の流水音が混在することで晴天日のパターン構築が困難となる。

§8 AI 解析

AI 解析は、音響調査で得られた流水音データを用いて、晴天日と雨天日の特徴の違いから調査区域における雨天時浸入水の有無を判定するものである。

【解説】

AI 解析は、音響調査にて収録された下水道管内の流水音をデータ変換し、その音が有する晴天日と雨天日の特徴の違いから雨天時浸入水の有無を判定するものである。

実証研究で用いた AI 解析の基本的な考え方は、晴天日の特徴を反映した平均的な音響パターンである特徴量を規定した上で、同様に規定した雨天日の特徴量と比較し、晴天日と異なる場合に雨天時浸入水が発生していると判定するものである（資料編 6. 参照）。

本技術における流水音の特徴を判定する AI 解析プログラムは、実証研究に先立って雨天時浸入水の発生が確認されている地区内 10 地点の下水管内の流水音データを教師データとして用いている。ここでいう教師データとは、調査地点において晴天日 14 日以上、降雨量 1.5mm/日以上、雨天日 2 日が含まれる流水音を 30 日間収録したものであり、この教師データを用いて、雨天時浸入水が原因で晴天日と異なる特徴量が現れるような AI 解析プログラムを作成している（資料編 6. 1～6. 8 参照）。

また、実証研究では 1 地点において晴天日 14 日、降雨量 0.5mm/日以上、雨天日 1 日が含まれる下水管内流水音を収録した。雨天日において収録された流水音の AI 解析から評価された特徴量が、収録期間内の晴天日のある時間において取り得る特徴量の上限値を超過したとき、雨天時浸入水が発生したと判定する（資料編 6. 11 参照）。

本技術における AI 解析で得られた特徴量により、雨天時浸入水の有無を AI が判断するイメージを図 2-3 に示す。13 時過ぎに青線で示された雨天日の特徴量が、赤色の一点鎖線で示された晴れの日において調査期間内の晴天日において取り得た特徴量の上限値を超過したことから、13 時過ぎに雨天時浸入水が発生したと判断するものである。

本ガイドラインより AI 解析プログラムを作成する場合は、教師データや作成されたプログラムの妥当性を確認するためのインプット・アウトプットデータが必要である。それらデータについては、実証研究体から提供可能であるため、資料編 7. に基づいて問い合わせされたい。

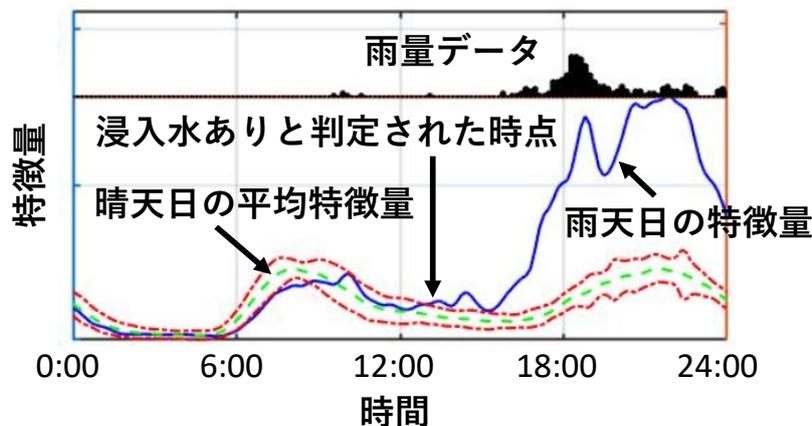


図 2-3 AI 解析における雨天時浸入水有無の判断

第4節 実証研究に基づく評価の概要

§9 本技術の評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) 事業性
- (2) 効率性

【解説】

本技術の導入検討を進めるためには、導入による効果を定量的に把握できるように、評価項目、評価方法、評価結果を設定、提示する必要がある。

本技術における評価項目は、事業性と効率性とする。これは、本技術が従来技術と比べ低コストかつ短期間での調査を可能とする技術であることから設定するものである。

(1) 事業性

本技術と従来技術における調査及び分析に要する費用を算出し、従来技術に対する本技術の削減率で評価する。

1) 調査費用

本技術及び従来技術における、設置・撤去等調査に要する費用を算出する。調査費用の算定対象項目を表 2-2 に示す。

従来技術における調査費用の算定にあたっては、(公財)日本下水道管路管理業協会が発刊している最新の「下水道管路管理積算要領」を参考に算出することを基本とする。

また、本技術における調査費用は、調査地点の状況や数、使用する機器等に応じて適切に設定する。なお実証研究では、設置、巡回点検及び撤去数は 15 箇所/日(資料編 3.3.2 参照)、機械損料は 500 円/日(資料編 5.2 参照)、報告書作成は 20 箇所/日(資料編 5.2 参照)という結果を得られており、調査地点の条件や使用する機器の仕様等が大きく異なる場合は、これらを参考値として使用しても良い。

表 2-2 調査費用の算定対象項目

項目	本技術	従来技術	備考
観測	設置 撤去 巡回点検 機械損料 報告書作成		(機械損料を積算するうえで対象とする計測機器) 本技術：集音装置 従来技術：流量計

2) 分析費用

本技術及び従来技術における、基本作業の確認から基礎調査、浸入水発生領域の絞り込み、提出図書の作成や計画協議を含めた一連の工程における費用を算出する。これは、本技術が従来技術と比べ、基礎調査や提出図書の作成が少ないことから算定の対象に含めるものとする。なお、浸入水発生領域の絞り込みについて、本技術はAI解析を用いているため、その分析費用の算定においては資料編5.を参考に設定する。また、従来技術における調査費用の算定にあたっては、財団法人下水道新技術推進機構が発刊している「分流式下水道における雨天時浸入対策計画策定マニュアル⁷⁾」を参考に算出することを基本とする。

分析費用の算定対象項目を表 2-3 に示す。

表 2-3 分析費用の算定対象項目

項目	本技術	従来技術	備考
分析	基本作業の確認 基礎調査 浸入水発生領域の絞り込み 提出図書の作成 計画協議		浸入水発生領域の絞り込みを積算するうえで、本技術が対象とする分析手法はAI解析であるため、その積算については、資料編5.を参考に設定する。

3) 事業性の評価

調査の目的に応じて、本技術及び従来技術における 1) と 2) の費用を合計し、下式に基づき、従来技術の総費用に対する削減率を算出する。

$$\text{総費用の削減率 (\%)} = \frac{(B - A)}{B} \times 100$$

A：本技術における調査及分析に要する総費用

B：従来技術における調査及び分析に要する総費用

(2) 効率性

本技術と従来技術における調査及び分析に要する作業日数を算出し、従来技術に対する本技術の短縮率で評価する。

1) 調査日数

本技術及び従来技術における、調査地点数に応じた設置・撤去等に要する日数を算出する。ここで、設置から撤去までの調査期間の設定は、分析可能な降雨日の有無によっては長期間になることもあり事前の設定は困難であることから、実証研究では調査期間を同じと考えて調査日数の算定対象外とする。

本技術における設置、巡回点検及び撤去に要する日数の算定にあたっては、(1) 事業性で述べた 15 箇所/日を設定する。また、従来技術における同日数の算定にあたっては、(公財)日本下水道管路管理業協会が発刊している最新の「下水道管路管理積算要領⁶⁾」を参考に算出することを基本とする。

なお、対象とする現場状況等により上記資料を用いる事が不適切と判断される場合は、それ以外の資料を用いる事も可能であるが、その理由等について別途整理しておくことが望ましい。

表 2-4 調査日数の算定対象項目

項目	本技術	従来技術	備考
観測	設置 撤去 巡回点検		調査期間の日数は算定の対象外

2) 分析日数

本技術及び従来技術における、分析に必要な日数を算出する。本技術では、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で要する時間を、AI 技術を適用することで短縮している (表 2-5)。

本技術の AI 解析及び従来技術の分析に必要な日数は、分析対象となる箇所数により変わるため実証研究における実績を参考に設定する (資料編 5.)。

表 2-5 分析日数における積算項目

項目	本技術	従来技術
分析	AI 解析	絞り込み調査結果の評価・分析

3) 効率性の評価

調査の目的に応じて、本技術及び従来技術における 1) と 2) の日数を合計し、下式に基づき、従来技術の総日数に対する短縮率を算出する。

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

A : 本技術における調査及び分析に要する総日数

B : 従来技術における調査及び分析に要する総日数

§ 10 本技術の評価結果

実証研究に基づき、以下の項目に対して評価を行う。

- (1) 事業性
- (2) 効率性

【解説】

事業性、効率性ともに、本技術を導入する調査の目的や範囲、対象地域の状況によって、目標とする数値は異なる。そのため実証研究では、対象面積や絞り込み過程が異なる複数の実証フィールドにおいて、本技術における事業性、効率性について従来技術と比較し、その有効性を確認する目的で評価を行った。

なお、評価結果は、本技術と従来技術において、同様に絞り込み調査を実施した場合であるため、同一マンホール内に両技術で用いる観測機器を設置した条件で評価を行うことから、評価対象の調査箇所は同数となる。実証研究における各フィールドの調査条件を表 2-6 に示す。

表 2-6 実証フィールドにおける調査分類一覧

対象自治体	地区	対象面積 (ha)	絞り込み調査種別	調査箇所数	
				本技術	従来技術
郡山市	大槻町	70	中→小ブロック	5	5
	富久山町	130	中→小ブロック	8	8
つくば市	常南処理区	1,500	大→中ブロック	24	24
名古屋市	兵庫地区	10	中→小ブロック	4	4
	神の倉地区	20	中→小ブロック	10	10
神戸市	加古川上流域	1,500	大→中ブロック	14	14
	岩岡流域	165	大→中→小ブロック	16	16
	西神流域	900	大→中→小ブロック	18	18
熊本市	湖東流域	600	大→中→小ブロック	33	33
	富合流域	600	大→中ブロック	19	19

(1) 事業性

事業性に関する評価結果を図 2-4 及び表 2-7 に示す。実証研究で対象とした 10 地区において、総費用の削減率は平均 57.6%であった。各地区において、分析費用は従来技術と比べて同程度であるが、調査費用が大きく低減されていることがわかる。これは、本技術が従来技術と比べて、設置、巡回点検及び撤去に関する作業が効率的であることや、集音装置が流量計より安価であることが要因である。

また、つくば市（常南処理区）や熊本市（湖東流域）のように、設置箇所数が多くなると、総費用の削減率も高くなる傾向となった。

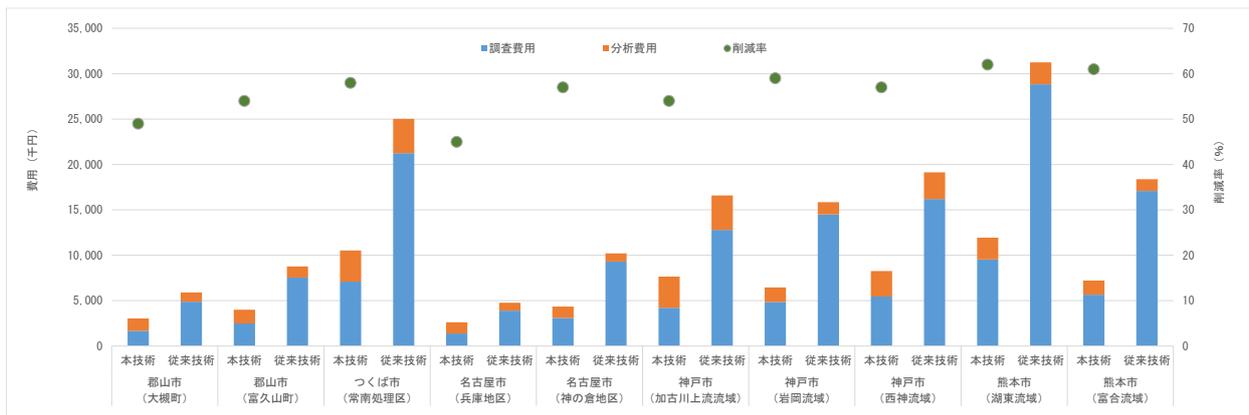


図 2-4 事業性の評価結果

表 2-7 事業性の評価結果

対象自治体	地区	対象面積 (ha)	絞り込み調査種別	調査箇所数	本技術			従来技術			削減率 (%)
					調査費用 (千円)	分析費用 (千円)	総費用 (千円)	調査費用 (千円)	分析費用 (千円)	総費用 (千円)	
郡山市	大槻町	70	中→小ブロック	5	1,670	1,360	3,030	4,875	1,020	5,895	49%
	富久山町	130	中→小ブロック	8	2,480	1,510	3,990	7,540	1,220	8,760	54%
つくば市	常南処理区	1,500	大→中ブロック	24	7,100	3,430	10,530	21,240	3,780	25,020	58%
名古屋市	兵庫地区	10	中→小ブロック	4	1,370	1,240	2,610	3,900	862	4,762	45%
	神の倉地区	20	中→小ブロック	10	3,090	1,260	4,350	9,310	890	10,200	57%
神戸市	加古川上流流域	1,500	大→中ブロック	14	4,210	3,430	7,640	12,800	3,784	16,584	54%
	岩岡流域	165	大→中→小ブロック	16	4,850	1,600	6,450	14,500	1,350	15,850	59%
	西神流域	900	大→中→小ブロック	18	5,450	2,800	8,250	16,200	2,940	19,140	57%
熊本市	湖東流域	600	大→中→小ブロック	33	9,540	2,400	11,940	28,840	2,410	31,250	62%
	富合流域	150	大→中ブロック	19	5,660	1,550	7,210	17,090	1,290	18,380	61%

(2) 効率性

効率性に関する評価結果を図 2-5 及び表 2-8 に示す。実証研究で対象とした 10 地区において、総日数の短縮率は平均 61.8%であった。各地区において分析日数は、従来技術と比べて若干短縮される傾向にあるが、調査日数は事業性同様に大きく短縮されていることがわかる。これは、本技術が従来技術と比べて、1 日に設置、巡回点検及び撤去できる箇所数が多いことが要因である。

一方で、郡山市（大槻町）や名古屋市（兵庫地区）のように、調査地点数が少なく従来技術と同程度の日数で設置、巡回点検及び撤去が可能な地区では、総日数の短縮率は低くなる傾向であった。

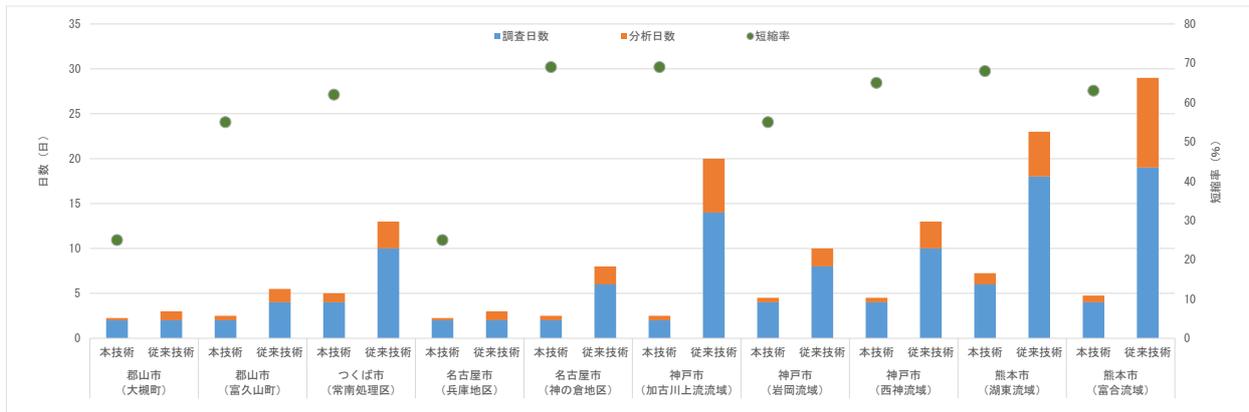


図 2-5 効率性の評価結果

表 2-8 効率性の評価結果

対象自治体	地区	対象面積 (ha)	絞り込み調査種別	調査箇所数	本技術			従来技術			短縮率 (%)
					調査費数 (日)	分析日数 (日)	総日数 (日)	調査費数 (日)	分析日数 (日)	総日数 (日)	
郡山市	大槻町	70	中→小ブロック	5	2	0.25	2.25	2	1	3	25%
	富久山町	130	中→小ブロック	8	2	0.5	2.50	4	1.5	6	55%
つくば市	常南処理区	1,500	大→中ブロック	24	4	1.0	5.00	10	3	13	62%
名古屋市	兵庫地区	10	中→小ブロック	4	2	0.25	2.25	2	1	3	25%
	神の倉地区	20	中→小ブロック	10	2	0.5	2.50	6	2	8	69%
神戸市	加古川上流域	1,500	大→中ブロック	14	2	0.5	2.50	6	2	8	69%
	岩岡流域	165	大→中→小ブロック	16	4	0.5	4.50	8	2	10	55%
	西神流域	900	大→中→小ブロック	18	4	0.5	4.50	10	3	13	65%
熊本市	湖東流域	600	大→中→小ブロック	33	6	1.25	7.25	18	5	23	68%
	富合流域	150	大→中ブロック	19	4	0.75	4.75	10	3	13	63%