

分流式下水道における雨天時浸入水の調査技術に関する共同研究



研究第一部 研究員
岩谷 文香

1 はじめに

近年、多発する豪雨等により、分流式下水道において雨天時浸入水の問題が全国的に発生しています。しかし、国土交通省が平成30年度に実施した分流式下水道を採用する地方公共団体への雨天時浸入水に関するアンケート調査によると、回答のあった1,053処理区のうち、絞り込み調査後に発生箇所の特特定や原因把握のための詳細調査を実施している自治体は約3割にとどまっています。

また、小ブロック（2～5ha程度）まで絞り込みを実施しても、その後の詳細調査による発生箇所の特特定に多くの費用や時間を要する場合があります、効果的か

つ効率的な対策を実施するには、可能な限り絞り込みを行い、詳細調査を実施する範囲を減らすことが求められています。

本共同研究では、共同研究者から2～5ha未満である細ブロックへの絞り込み（図-1）が可能と考えられる調査技術を提案いただき、各技術の特徴等を体系的に整理しました。また、自治体から提供いただいた実際のフィールドを活用し、雨天時浸入水の反応の有無や絞り込み結果について、各技術が細ブロックまで絞り込む技術としての妥当性を検証しました。さらに、これら新技術の導入によって得られる費用対効果等の検討を行いました。

本稿では、上記の視点で得られた研究成果について概要を報告します。

2 研究体制

2.1 研究体制

群馬県、滋賀県、富山市、(株)N J S、(株)エイト日本技術開発、オリジナル設計(株)、(一社)管路診断コンサルタント協会、(株)極東技工コンサルタント、(株)コーセツコンサルタント、(株)三水コンサルタント、(株)新日本コンサルタント、(株)シュア・テクノ・ソリューション、中日本建設コンサルタント(株)、(株)日水コン、日本水工設計(株)、ペンタフ(株)、(公財)日本下水道新技術機構

2.2 研究期間

令和2年7月～令和4年8月

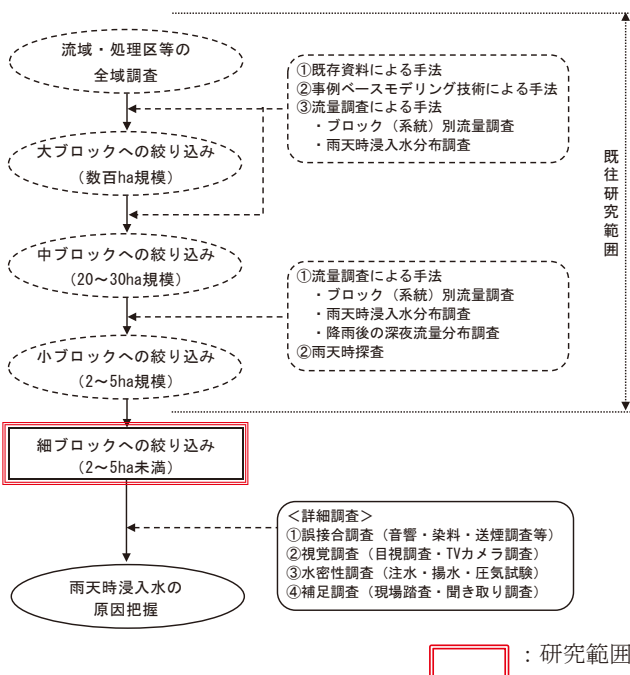


図-1 研究対象範囲（赤枠）

3 研究概要

3.1 提案された技術

細ブロックまで絞り込みが可能な調査技術として、共同研究者から提案された新技術を表-1に示します。各技術は、①視覚調査による部分的な雨天時浸入水発生箇所の特定制術、②絞り込み調査技術、③絞り込み調査と詳細な雨天時浸入水発生箇所の特定制術、の大きく分けて3種類に分類されます。

①は、地上から資機材をマンホール内へ挿入し、作業員がマンホールに立ち入ることなく、可視範囲内にある発生源を確認する技術です。

②は、水位・流量・水温・電気伝導度といった様々な指標を用いて発生源の絞り込みを面的に行う技術です。

③は、管きよ内に光ファイバーケーブルを仮設し、管きよ内を流下する下水の温度分布を把握し、絞り込みと雨天時浸入水発生箇所の特定制術(±5m範囲)を行う技術です。

これらの技術を活用することで、細ブロックまで絞り込みが可能となれば、その後の詳細調査範囲の縮減が期待されます。

また、研究成果として取りまとめた技術資料では、各技術の概要、特徴、調査方法、現場条件、調査結果アウトプット、調査コストおよび留意事項について、分かりやすく整理しています。

4 フィールド試験

4.1 フィールド試験の概要

フィールド試験では、提案された新技術が細ブロックにおいて雨天時浸入水を検出することが可能であるかについて3つの視点から検証を行いました。

次に、検証方法とその結果について整理します。

(1) 対象フィールド

対象フィールドについては、過年度に雨天時テレビカメラ調査を実施したフィールドを対象に試験を実施しました。

(2) 対象技術

フィールド試験の対象技術は、管診鏡MCと管診鏡PC、画像・水位変換システム、横打超音波式水位計、卵形フリューム、水温法の6技術を対象としました。なお、その他の技術については、本研究以外での検証・評価がされているため、対象外としました。

(3) 機器設置箇所

各技術の計測機器は図-2に示すエリアA～エリアEの流末マンホールに設置しました。なお、1つ離れたマンホール間では雨天時浸入水の影響に大きな差はないものとし、測点No.1と測点No.2については、同一マンホールとして評価しました。

表-1 提案された技術一覧

技術資料 節番号	技術名	特定範囲・ 調査種別	計測対象	グルー ピング
第2節	管診鏡MCを使用した浸入水確認方法	部分的な発生源特定 (マンホール内)	マンホール内 の状況	①
第3節	管診鏡PCを使用した浸入水確認方法	部分的な発生源特定 (マンホール管口付 近の可視範囲内)	マンホール管 口付近の状況	
第4節	画像・水位変換システム	絞り込み	水位	②
第5節	横打超音波式水位計	絞り込み	水位	
第6節	卵形フリュームによる流量計測および評価・解析	絞り込み	流量	
第7節	最適化アルゴリズムを活用した絞り込み手法	絞り込み	水位・流量	
第8節	水温法による雨天時浸入水の調査および評価技術	絞り込み	水温	
第9節	水質を用いた不明水調査技術 (電気伝導度法)	絞り込み	電気伝導度	
	水質を用いた不明水調査技術 (温度法)	絞り込み	温度	
第10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 技術	絞り込み・詳細な発 生源特定	水温・降雨量	③

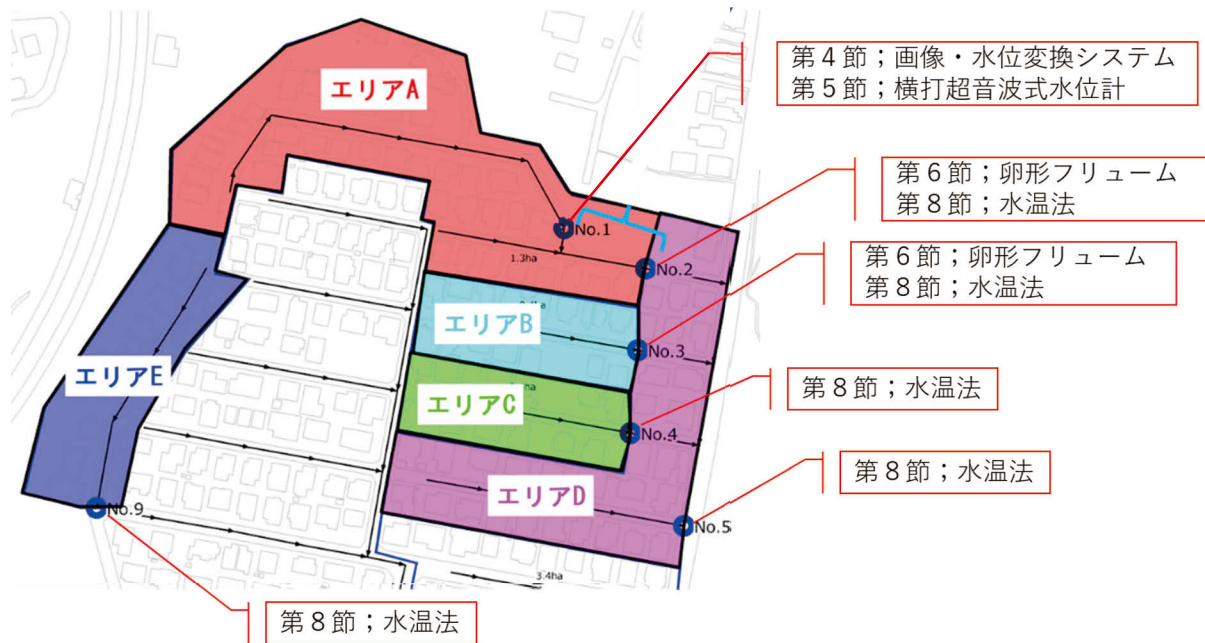


図-2 エリアの設定と提案技術の機器設置箇所

(4) 検証内容

細ブロックは集水面積が小さく、宅地数も少なくなるため、管きょ内の水位や流量が少ないといった特徴があり、従来の流量計による計測では測定が困難となる場合があります。そこで、提案された新技術は、低水位・低流量といった状況下においても細ブロックへの絞り込みが可能であるかを確認するため、下記①～③の視点から検証を行いました。

① 晴天時と雨天後における画像比較による検証

管診鏡MCと管診鏡PCにより得られる画像を用いて、晴天時と雨天後の状況を画像比較により、雨天時浸入水の有無が判別可能かを検証します。

② 同一マンホールに設置された各機器の反応による検証

同一マンホールに設置された複数の調査技術が同一降雨において同様の挙動を示すかを検証します。

③ 過年度の雨天時テレビカメラ調査結果との比較による検証

過年度の雨天時テレビカメラ調査で確認された雨天時浸入水の状況と、フィールド試験で得られた結果を比較し、本共同研究で提案された新技術による絞り込み結果の妥当性を検証します。

4.2 フィールド試験結果

① 晴天時と雨天後における画像比較による検証

図-3に示すように、管診鏡MCでは、雨天後においてマンホール躯体の継ぎ目部からの染み出しの様子が確認されました。

また、図-4に示すように、管診鏡PCでは、晴天時では常時浸入地下水として見られた管きょの継手部からの浸入水の水量が雨天後には増加し、雨天時浸入

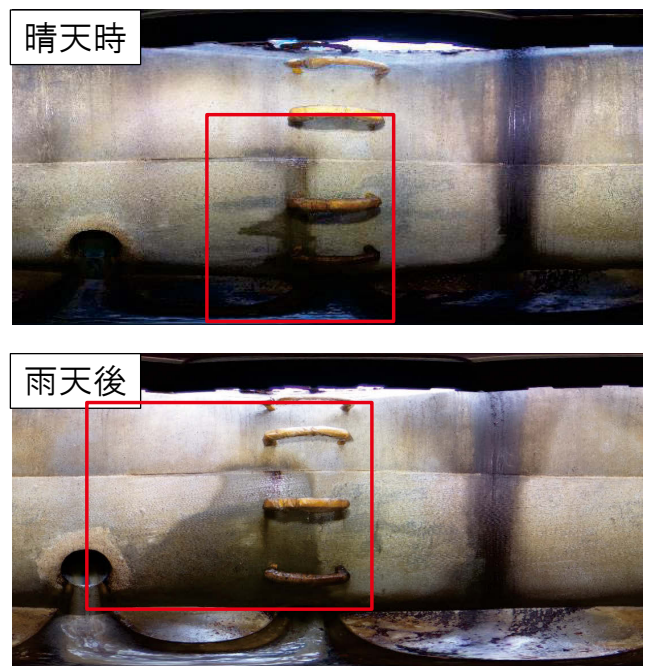


図-3 管診鏡MCによる確認状況

地下水として浸入していることが確認されました。

以上より、管診鏡MC・PCは、雨天時浸入水の部分的な特定が可能であることを確認しました。

なお、フィールド試験では、作業日程等の都合により、雨天時浸入地下水に相当する画像を確認してはいますが、降雨中に調査を実施すれば、直接雨天時浸入水を確認することも可能であると考えられます。

② 同一マンホールに設置された各機器の反応による検証

本検証では、フィールド試験で得られた代表的な2降雨（9月26日：総降雨量36mm、10月25日：総降雨量25mm）について複数の計測機器が設置されているエリアAおよびエリアBを対象に各機器の反応を確認しました。

図-5および図-6に示すように、各降雨におけるデータの挙動は降雨直後に変化しており、画像・水位変換システムでは水位の上昇、卵形フリユームでは流量の増加、水温法では水温の低下（グラフ上では上昇しているように表示）を示しました。

降雨終了直後は、水位の低下、流量の減少、水温の上昇（グラフ上では下降しているように表示）が見られ、各技術はそれぞれ異なる指標ですが、同様の傾向が確認されました。

本稿では紙面の都合上、エリアAのみの結果を掲載します。なお、エリアBも同様の傾向を示していることから、これら3技術は、雨天時浸入水を的確に捉えていることを確認しました。

③ 過年度の雨天時テレビカメラ調査結果との比較による検証

本検証では、過年度の雨天時テレビカメラ調査結果との比較に当たり、雨天時テレビカメラ調査結果より各スパンの浸入水レベルを算出しました。浸入水レベルの算出には、「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）」に記載されている、浸入水のランクごとによる重み付け（表-2）を参考としました。

また、絞り込みエリアでは、各エリアの管きょ延長が異なるため、表-3に示すように管きょ1m当たりの浸入水レベルを算出しました。ここで、管きょ1m当たりの浸入水レベルは、ランクごとの異常箇所数に

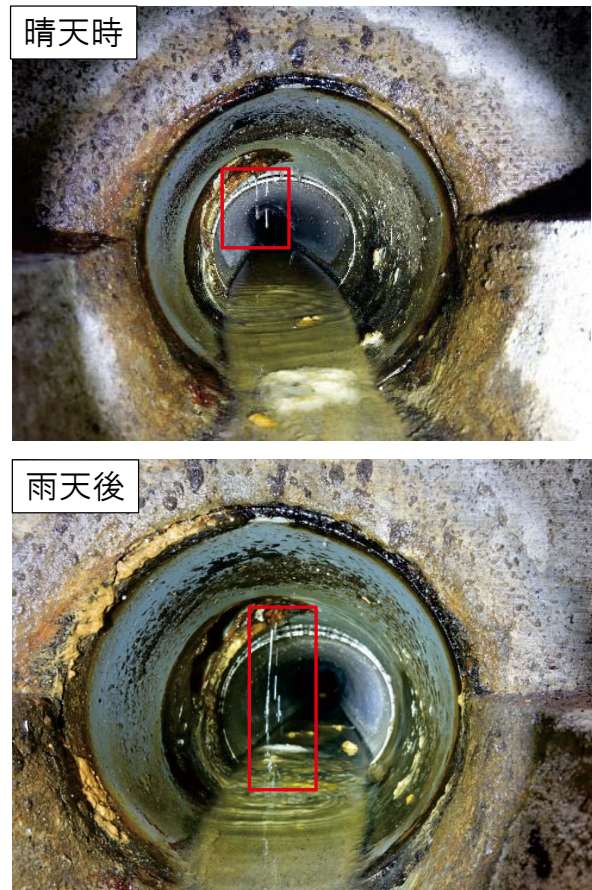


図-4 管診鏡PCによる確認状況

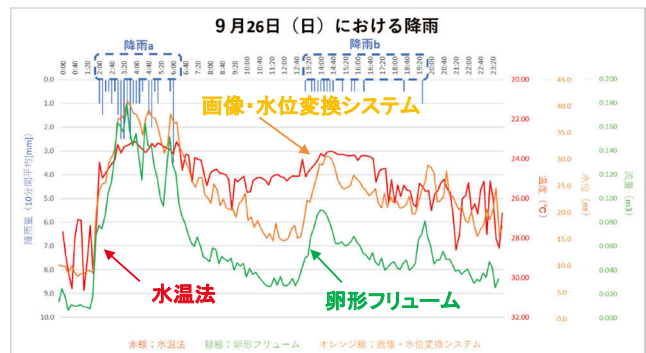


図-5 3技術の挙動（9月26日降雨・エリアA）

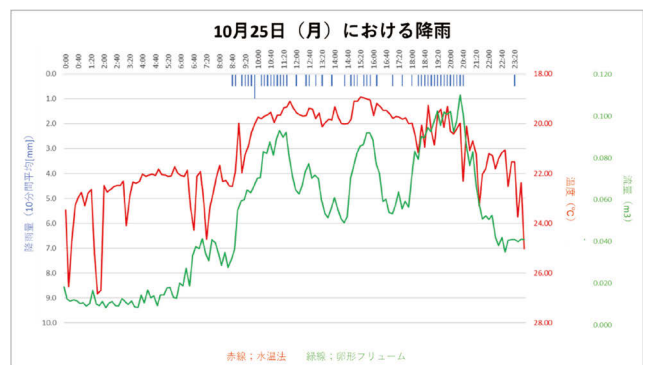


図-6 2技術の挙動（10月25日降雨・エリアA）

表-2に示す重み付けとなる係数を乗じ、最後に管路延長で除して算出しています。

表-4に、過年度の雨天時テレビカメラ調査結果とフィールド試験結果の比較一覧を示します。

過年度の雨天時テレビカメラ調査結果に基づく影響順位は、1位：エリアB、2位：エリアC、3位：エ

リアDとなりました。一方で、フィールド試験に基づく結果では、1位：エリアC、2位：エリアD、3位：エリアBという結果になりました。過年度の雨天時テレビカメラ調査とフィールド試験の結果は、順位の入替わりがあるものの、上位3位の抽出結果は一致していることを確認しました。

表-2 ランクごとの重み付け設定

調査判定	ランクa	ランクb	ランクc	取付管上流流入
判定基準	噴き出ている	流れている	にじんでいる	(噴き出ている)
マニュアル	ランクbの2倍以上	ランクbを基準	ランクbの1/2未満	-
重み付け	2	1	0.5	2

※表中の「取付管上流流入」とは、宅内誤接続による浸入水が確認された箇所であり、その重み付けは「ランクa」と同様とした

表-3 過年度の雨天時テレビカメラ調査結果

項目	ランク			取付管上流流入	※浸入水レベル	延長	1m当り浸入レベル
	a	b	c				
単位	箇所				-	m	
エリアA	1	7	3	7	24.5	286.11	0.086
エリアB	1	4	0	7	27.0	76.30	0.262
エリアC	0	3	0	9	26.0	85.78	0.245
エリアD	1	5	1	21	115.0	317.33	0.156
エリアE	0	2	0	2	6.0	115.34	0.052

※ 1m当り浸入水レベルの算出例

エリアA：(ランクa：1カ所×2 + ランクb：7カ所×1 + ランクc：3カ所×0.5 + 取付管上流流入：7カ所×2) ÷ 286.11m = 0.086

表-4 過年度の雨天時テレビカメラ調査結果とフィールド試験結果の比較

エリア名	過去のテレビカメラ調査結果		フィールド試験		
	1m当り浸入水レベル	影響順位	画像・水位変換システム 横打超音波式水位計	卵形 フリューム	水温法
エリアA	0.086	4位	検知 (1455.8%)	検知 (3.1倍) 2位	大 (0.387)
エリアB	0.262	1位	設置なし	強く検知 (6.7倍) 1位	大 (0.428)
エリアC	0.245	2位	設置なし	-	特大 (0.698)
エリアD	0.156	3位	設置なし	-	大 (0.447)
エリアE	0.052	5位	設置なし	-	中 (0.307)

5 導入効果の算定

5.1 導入効果の検討方法

新技術の導入効果の検討に当たっては、モデルフィールドを設定の上、従来手法による調査費用、新技術による調査費用をそれぞれ算出し、新技術を導入した際の従来手法に対する調査費用の削減率を求めました。

以下に、検討方法とその結果について整理します。

(1) モデルフィールドの設定

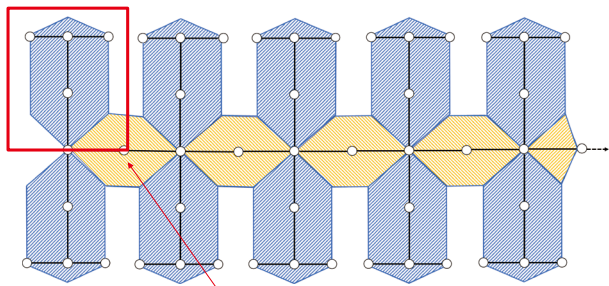
新技術を用いた導入効果は、図-7に示すモデルフィールドを用いて検討しました。モデルフィールドは、小ブロック（面積が5.88ha、管路延長が1,470m）まで絞り込まれているものとし、1ブロック当たりの面積が0.48ha、管路延長が120mの細ブロックが10ブロック（青色着色部）、および面積1.08ha、管路延長270mの1ブロック（黄色着色部）で構成されています。

(2) 検討ケースの設定

新技術の導入効果の検討では、以下の2ケースにおける費用を比較しました。

① ケース1（従来手法）

詳細調査（テレビカメラ調査+送煙調査）を小ブ



1ブロックまで絞り込む

凡例及び条件	
	絞り込み対象範囲（計10ブロック） 1ブロックあたり面積：0.48ha、 1ブロックあたり管路延長：120m
	絞り込み対象範囲*（上記以外のブロック） 合計面積：1.08ha、 管路延長計：270m
※上記10ブロックの絞り込み調査のための設置機器と、本モデル図の最流末に設置する機器の計測データにより、浸入水の有無を確認することを想定。	
絞り込み対象範囲計：5.88ha 管路延長計：1,470m	
—	管きょ（φ250, 1.5%）
○	マンホール

図-7 モデルフィールド

ック全域に対して実施する場合

② ケース2（新技術の活用による手法）

新技術を用いて1つの細ブロックまで絞り込んだ後に詳細調査（テレビカメラ調査+送煙調査）を実施する場合

(3) 検証対象とする技術

導入効果の検討は、表-5に示す技術を対象とし、機器設置に関する費用の積算を行いました。

(4) 調査費用の積算条件

ケース2（新技術の活用による手法）に要する調査費用は、次に示す条件に基づき積算しました。

- ▶ 機器設置箇所数は、11箇所とする。
- ▶ 管きょ勾配は1.5%とし、管径は250mmとする。
- ▶ 誘導員については、交通誘導警備員Bを2名計上する。
- ▶ 絞り込み調査に設置する雨量計は、1箇所として計上する。
- ▶ 巡回点検の頻度は、各技術で必要とされる頻度で設定する。
- ▶ 計測期間は、各技術が必要とする期間で設定する（最低期間は、1ヶ月とする）。

5.2 新技術に関する調査費用

表-6に、ケース2（新技術の活用による手法）に要する調査費用の積算結果を示します。ここで、新技術に関する調査費用は、5技術の最小値および最大値を示すものとし、ケース1（従来手法）の合計金額（テレビカメラ調査+送煙調査）を100とした場合の金額比により整理しています。

5.3 詳細調査に要する調査費用

詳細調査を小ブロック全域に対して実施する場合

表-5 検討対象とした技術一覧

技術資料 節番号	技術名
第4節	画像・水位変換システム
第5節	横打超音波式水位計
第6節	卵形フリウムによる流量計測および評価・解析
第8節	水温法による雨天時浸入水の調査および影響評価技術
第9節	水質を用いた不明水調査技術 （電気伝導度法、温度法）

表-6 ケース2に要する調査費用の積算結果

技術資料 節番号	技術名	金額比	
		最小値	最大値
第4節	画像・水位変換システム	24	72
第5節	横打超音波式水位計		
第6節	卵形フリウムによる流量計測および評価・解析		
第8節	水温法による雨天時浸入水の調査および影響評価技術		
第9節	水質を用いた不明水調査技術（電気伝導度、温度）		

(ケース1)と、新技術を用いてケース1の細ブロックまで絞り込んだ後に詳細調査を実施する場合(ケース2)の費用を、表-7に示します。

5.4 調査費用の削減率

導入効果は、ケース1(従来手法)に対して、ケース2(新技術の活用による手法)がどの程度の費用削減効果があるかについて確認しました。ここで、費用削減効果は、次の式により算出された削減率を用いて評価を行いました。

$$\text{削減率(\%)} = 1 - \left(\frac{\text{新技術の実施に要する費用}}{\text{従来技術の実施に要する費用}} \right) \times 100$$

表-8および図-8に、新技術を用いた導入効果(費用の削減率)の算出結果を示します。

検証の結果、新技術の活用による手法は、従来手法に比べて約5~53%の削減率が見込まれると試算され

表-7 詳細調査(テレビカメラ調査+送煙調査)に要する費用

ケース	対象範囲	管きよ延長 (m)	詳細調査の金額比		
			テレビカメラ調査	送煙調査	合計
1	小ブロック 全域	1,470	56	44	100
2	1ブロック	120	14	9	23

ました。ただし、この算定結果はモデルフィールドを用いた試算結果であり、対象とする面積や管路延長、導入する新技術により変化することに留意が必要です。

5.5 発生箇所の特定期率の向上

新技術による導入効果は費用削減効果だけではなく、細ブロックまで絞り込むことにより、その後の詳細調査による雨天時浸入水の発生箇所の特定期率の向上が見込まれます。

例えば、管診鏡MC・PC等を用いれば、降雨の影響が残っている期間内に雨天時浸入水を目視にて確認することが可能となり、発生箇所の特定期率の向上が期待できます。

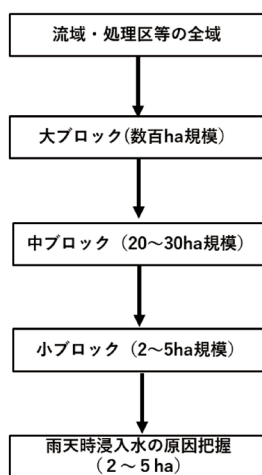
また、詳細調査の対象面積が小さくなるため、雨天時に自治体等の職員が公共柵やマンホール蓋を開けることにより雨天時浸入水の状況を確認できれば、その

表-8 詳細調査の費用低減効果

項目	従来手法 (対象範囲全域の詳細調査)		新技術 (新技術による絞り込み→詳細調査)	
	対象範囲	金額比 ^{※1}	対象範囲	金額比 ^{※1, ※2}
新技術	—	—	1,470m	24~72
テレビカメラ調査	1,470m	56	120m	14
送煙調査	1,470m	44	120m	9
合計	—	100	—	47~95

約5~53%減

従来手法(ケース1)



新技術の活用による手法(ケース2)

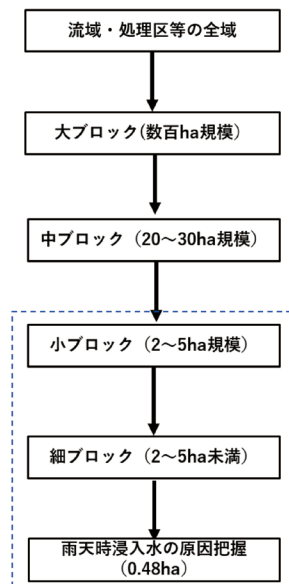


図-8 導入により期待される費用低減効果

後の詳細調査の数量を減らすことも期待されます。

6 おわりに

本稿では、雨天時浸入水調査における新技術を用いた細ブロックへの絞り込み手法に関する研究成果について報告しました。

新技術の導入効果の検証では、モデルフィールドを用いた試算結果ではありますが、従来手法と比較し

て、費用の削減効果が期待される結果となりました。また、フィールド試験では新技術により雨天時浸入水を捉えることが可能であり、解析結果についてもおおむね妥当であることを確認しました。

本研究の成果として、分流式下水道の細ブロックにおける雨天時浸入水調査技術に関する技術資料を令和4年10月に発刊しました。この技術資料が、雨天時浸入水対策に取り組まれている地方公共団体の今後の取り組みの推進に向けた一助となれば幸いです。

