

雨天時侵入水対策 -事例ベースモデリングを用いた不明水調査-

和田 大¹・白井 秀人²

¹琵琶湖環境部 下水道課

²琵琶湖環境部 南部流域下水道事務所.

昨今、分流式下水道において、雨天時に下水量が急激に増大する現象（以下、「雨天時浸入水」と称す。）が確認されている。

従来、雨天時浸入水発生箇所の調査方法は、過去の溢水・浸水等の被害から対象区域を抽出し、段階的に流量計測を繰り返して絞り込む方法が一般的であるが、この方法では多額の費用と労力が必要であり、時間も要する。本稿では、この流量計測を行わずに、事例ベースモデリング技術を用いた不明水調査を行うことで、効率的に雨天時浸入水の発生領域を絞り込むことができる方法を報告する。

キーワード 分流式下水道、雨天時浸入水、事例ベースモデリング、不明水

1. はじめに

2013年9月台風18号の豪雨では、県内各地で多大な被害をもたらした。琵琶湖流域下水道（4処理区）においても、多量の雨天時浸入水が下水道管渠に流れ込んだ。特に湖南中部処理区では、晴天時流入水量の約6倍の流入水量を記録し、湖南中部浄化センターが冠水した。また、守山ポンプ場・安土ポンプ場の地下部分が水没し、設備関係に大きな損傷を受けた。このような状況下で処理場・ポンプ場・下水道管渠沿線周辺で溢水が生じ、下水道使用自粛制限を強いられるなど、供用開始以来初めて下水道施設などに大きな被害が発生した。

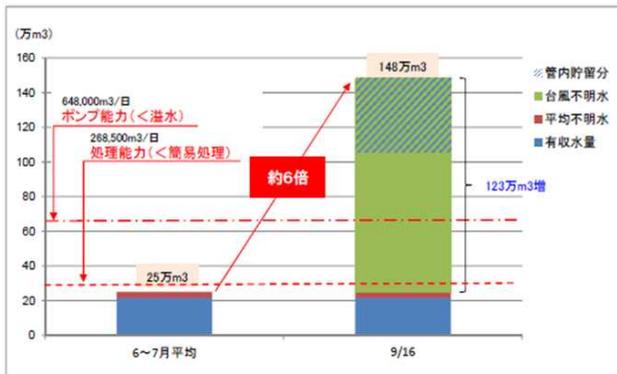


図-1 滋賀県湖南中部浄化センター流入水量

琵琶湖流域下水道は分流式下水道（汚水と雨水を別々

の系統で排除）として整備されているため、雨天時浸入水は計画外の流入水量である。今回の豪雨では想定以上の水量が処理場に流入した。これを受け、県では市町とで構成する「滋賀県下水道不明水対策検討会」を2014年4月に設置した。

検討会は、流域下水道と関連公共下水道における不明水削減と溢水被害防止のため、原因究明や対策の検討および各事業主体が協調・連携した対策への取組の推進等を目的としている。その中で、不明水に係るハード面での発生源対策を、主として公共下水道（市町）で対応することとしている。

具体的にハード面での発生源対策としては、不明水発生箇所を特定し、発生箇所としての排水設備や管渠の対策を実施する。この不明水発生箇所の特定は、これまで管渠系統を基に処理区域を大きな領域に分割し、領域毎に流量計測等を行い、発生領域を順次、絞り込む方法が一般的であった。しかし、こうした調査方法では経済的にも時間的にも多大な費用や労力を要するため、発生源の把握は困難なものであった。

こうしたことから、流量計を用いた不明水発生領域の抽出に先立ち、処理区域内で不明水の発生領域を概略把握し、詳細調査を行うべき領域をあらかじめ絞り込むことが必要である。まずは、湖南中部処理区において、事例ベースモデリング技術を用いて、不明水発生箇所絞り込み調査を実施した。

2. 原因把握にいたる調査手順と手法

(1) 雨天時侵入水の問題と発生原因

分流式下水道における雨天時侵入水の増加は様々な問題を引き起こす。雨天時浸入水量が増加し、当初計画以上の水量が流入するとなると、施設の能力を超過し、マンホール等からの溢水が起こる原因となったり、処理場・ポンプ場への流入水量が増加し、処理費用、維持管理費の増加につながる。更に波及的な影響として、管渠の割れ目から土砂が引き込まれ舗装下に空洞が生じ、道路の陥没等が発生する恐れがある。

このような問題を引き起こす恐れのある雨天時侵入水の増加は、雨水管の汚水管への誤接合箇所や宅内桧・公共桧、マンホールの蓋穴や蓋周囲からの雨水の浸入、管渠の破損箇所、マンホールや取付け管、排水設備の水密製不良部から浸入する雨水が原因であると考えられる。



図-2 管内の侵入水

これらの問題に対処するためには、処理区全体から雨水浸入箇所を特定し、特定した箇所毎に雨天時侵入水の特性や深刻度を把握することにより、計画的かつ総合的な対策を立てる必要がある。

そのため、予備調査段階から処理区全体を同一基準で調査し、詳細調査を行えるまで雨水浸入箇所を絞り込む必要がある。

(2) 従来の調査方法

雨天時侵入水の対策は、まず、雨天時侵入水の発生箇所を明らかにするための実態調査が必要であり、その調査結果をもとに対策箇所を決定する必要がある。

これまで、雨天時侵入水の発生箇所の把握のためには、管渠系統をもとに処理区域を大きな領域に分割し領域毎に流量計測等による予備調査を行い、基礎調査や詳細調査により雨天時侵入水の発生領域を順次、小領域に絞り込む手法が一般的であった。しかし、約17,000haに及び湖南中部処理区では、こうした調査方法の場合、経済的

かつ時間的にも多大な費用や労力を要するため、雨天時侵入水の発生領域の把握を困難なものにしてきた。

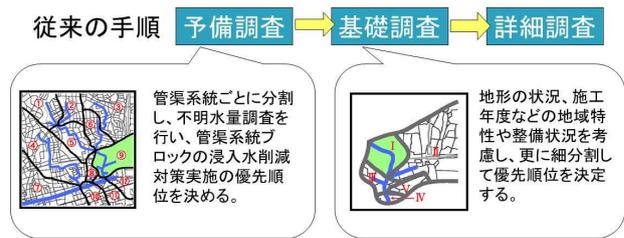


図-3 従来の雨天時浸入水の調査方法

(3) 事例ベースモデリング技術による調査方法

事例ベースモデリング技術は、処理区域で常時計測してきた流入下水道量データ（日報等）と気象庁等のレーダー雨量データを用いて、データ解析により処理区域内について500m×500m（25ha）程度の区画ごとに影響度を示し、対策が必要な領域に優先順位を付けていくという解析技術である。

この解析技術により、従来の予備調査や基礎調査による中領域に絞り込む作業を省略することが可能であるため、流量調査による絞り込み手法と比較して経済性に優れ、処理区全体から中領域（25ha）まで絞り込む手法としての適用性が高い技術であり、湖南中部処理区における雨天時浸入水発生領域の絞り込みに適している。

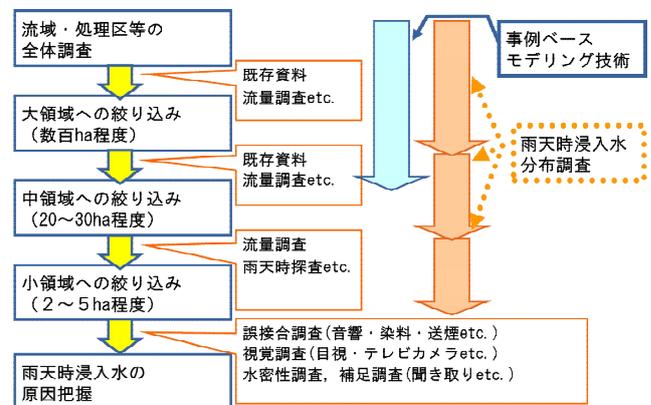


図-4 原因把握にいたる調査手順と手法

3. 解析の実施

(1) 解析対象

調査対象地域は湖南中部処理区である。対象市町は大津市、近江八幡市、草津市、守山市、栗東市、甲賀市、野洲市、湖南市、東近江市、日野町、竜王町の9市2町からなり、処理区面積は全体計画で28,430ha、2012年度末時点の供用面積は17,340haである。処理水量は全体計画487,000m³/日、平成24年度末時点の処理能力は268,500m³/日、流入下水道量は日平均241,765m³/日である。

湖南中部処理区は、琵琶湖流域下水道4 処理区（湖南中部処理区、湖西処理区、東北部処理区、高島処理区）の中で最も規模が大きいためである。



図-5 滋賀県湖南中部処理区の位置

(2) 基礎調査

解析を行う前に、資料収集・整理を行い、雨天時における浸入水状況、現状計画、既存施設・設備の概要、維持管理状況に関する資料等を収集し整理した。また、湖南中部処理区において事例ベースモデリング技術を適用するため、以下の資料について収集整理を行った。

a) 流入下水量

湖南中部浄化センターにおける過去3カ年の流入下水流量計測データ（1 時間ピッチ）を用い、電子データとして時系列データに整理した。中継ポンプ場の同一期間のポンプ運転記録、また処理区内に常設流量計がある場合は、同一期間の流量計測データを整理する。

また、本解析には自然流下の流量が必要で、湖南中部浄化センター流入管渠における貯留状況が記録されていることから、湖南中部浄化センターで貯留補正を行った流入下水量のデータを解析に使用する。

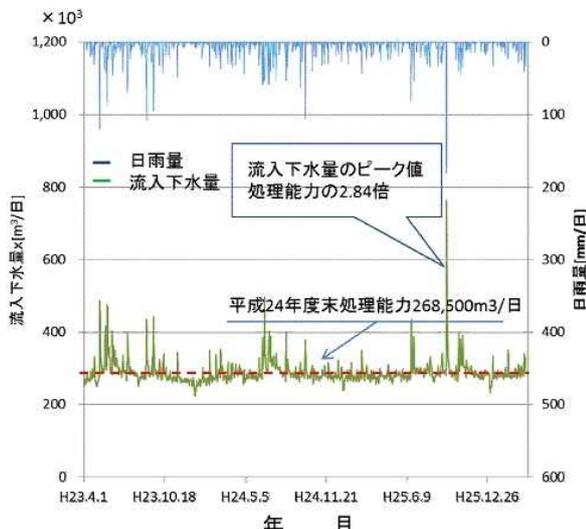


図-6 湖南中部浄化センターへの流入汚水量の推移

b) 気象情報

対象区域における流入下水流量データと同一期間の全国合成レーダーデータ、気象情報（時間降雨量、気温等）を時系列データとして整理した。

レーダー雨量データは、一般財団法人気象業務支援センターが配信しているレーダアメダス観測情報を利用した。

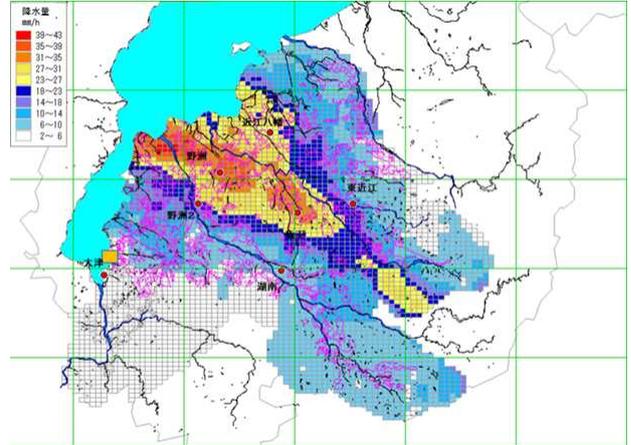


図-7 レーダー雨量データ

湖南中部浄化センターの晴天日流入水量推定モデルを作成するため必要となる気象データ（降水量、気温）は、対象区域内の気象データを利用した。

c) 排水系統

管路の排水系統を把握するため、湖南中部処理区一般図（汚水・雨水）を利用し、処理区内の排水系統（汚水・雨水）を整理した。

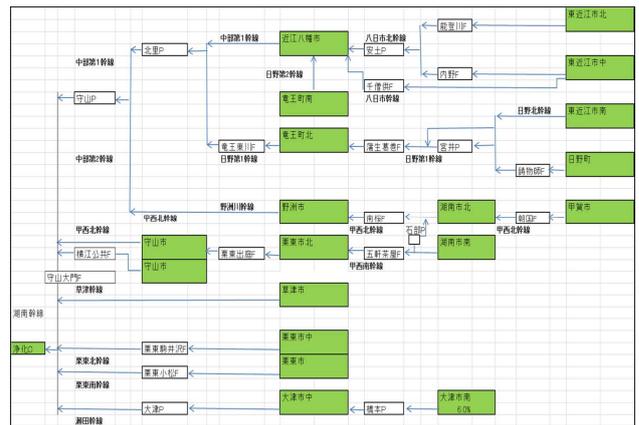


図-8 湖南中部処理区排水系統

d) 地勢・土地利用

GISデータ（標高・土地利用）を活用し、処理区内の地勢・土地利用状況を整理した。

(3) 現地踏査

現地踏査を行い、地勢、河川水路状況、家屋の状況等の地域特性の把握および既存下水道施設・設備の状況を確認し、写真帳（位置図含む）として整理する。

(4) 現状の把握と課題

以上の資料収集・整理および現地調査結果をふまえて、現状および今後想定される課題を整理することとした。

a) 現状の把握

一般的に古くから形成された地域では、雨水管の下水管への誤接合や施工不良により、雨天時浸入水が多い傾向にある。人口の増加に伴い1975年頃から開発された団地は、琵琶湖の東側の丘陵地など傾斜地に造成されたものがいくつもあり、下水管敷設後30年以上経過したことにより、埋設物の劣化が始まっていると考えられる。

「下水道施設計画・設計指針と解説」によると、雨水混入比が概ね処理能力の1.5倍以上の場合、浸入水対策計画を策定し、対策を実施するものとしている。本処理区の過年度流入下水の実績によると、雨天時流入水量（763,000m³/日程度）は、現有の処理能力（268,500m³/日）の約2.8倍、晴天時流入水量（279,000m³/日程度）の約2.7倍に達している。処理能力を越える日数は3カ年で940日であり、全日数の86%に達する。このような状況から浸入水対策計画を策定する必要がある状況にある。

b) 課題

湖南中部処理区（17,340ha）のような広大な供用地域においては、流量調査などの一般的な手法を用いて雨天時浸入水発生地域を中小流域まで絞り込むには長期間の調査と多大な費用を要する。従って、大規模処理区であることを念頭にいた浸入水対策の計画立案と、効率的で効果的な手法を用いた対策の実施が求められる。

(5) 晴天時下水流量推定モデル作成

雨天時浸入水の発生領域絞り込み解析を行うためには、該当する処理区域における晴天時下水流量（雨天時浸入水がないと仮定した場合の流量）の推定モデルを作成する必要がある。

晴天時下水流量は、過去の実績データを事例として扱い「事例データベース」に蓄え、現状と最も近い過去の実績を「事例データベース」から検索して推定を行う事例ベースモデリング手法により整理する。また、整理結果と実績流入下水流量とを比較し、精度確認を行った。

解析を行うにあたり、降雨日および降雨の影響期間（降雨完了から72時間）、特異日の期間（通常日と異なる流入パターンが確認された場合は除外するが、今回のデータでは、正月、ゴールデンウィーク、およびお盆の期間において、流入量に顕著な影響が確認出来なかったため、特異日としてデータは除外しない。）、欠損や異常データについて確認を行い、除外する流入下水流量データ（期間）を選定する。

また、雨天時浸入水量は、流入下水流量（実績値）と晴天時下水流量（推定値）の差で求めるため、晴天時下水流量は精度良く算出する必要がある。評価期間で推定モデルの精度確認を行ったところ誤差精度（RMS：二乗平均平方根誤差）が2.7%となり、7%以内（推定モデルの精度は、3年分のデータのうち2年分のデータで作成したモデルによる晴天時下水流量推定値と、残り1年分の実績値とのRMSが7%以内となっていることを基準としている）であることが確認された。従って、本データを使用して以後の解析を行った。

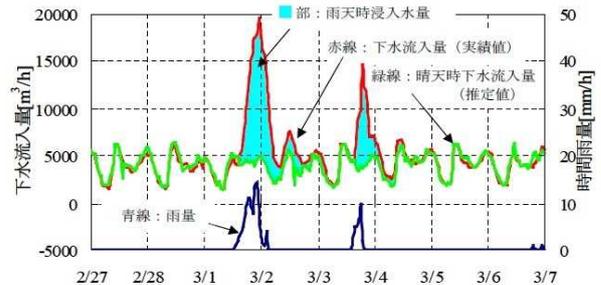


図-9 晴天時下水流量推定の概念図

(6) 雨天時時系列データ作成

作成した晴天時下水流量推定モデルを用いて雨天時浸入水量（推定値）を算出し、当該地域における降雨と雨天時浸入水量の関係を把握する。

2011年4月から2014年3月までの3カ年について、流入下水流量（m³）、雨天時浸入水量（m³）、雨水混入率（%）、降水量（mm）を算出した。流入下水流量316,666,000m³に対して雨天時浸入水量は22,341,000m³となり、雨水混入率は7.1%となっていた。

	①	②	③	④
	流入下水流量 (10 ⁶ m ³) Q	雨天時浸入水量 (10 ⁶ m ³) R	雨水混入率 (%) (R / Q) × 100	降水量 (mm) M
湖南中部浄化センター	316.666	22.341	7.1	6.502

※異常データの時期を除く。

図-10 雨天時浸入水解析結果のまとめ（3カ年の積算値）

次に、1回の降雨による雨天時浸入水量への影響を定量的に示す。大小様々な降水量の降雨事例を扱うために降雨日を選定した。

a) 他の雨の影響を受けない独立した降雨日として、降雨開始と降雨終了のそれぞれ前後72時間に降雨がない期間を認定する。（52降雨日）

b) 独立した降雨日から降水量20mm以上、降雨時間300時間未満の降雨日を抽出する。（22降雨日）

c) 22降雨日の降水量を10mmごとのグループに分け各グループから、降雨時間が1番短い降雨日を抽出する。（7降雨日）

以上により選定した代表的な降雨日における雨天時浸入水量や雨水混入率などの算出結果を示した。

No.	降水量 (mm)	流入下水量 (m ³)	雨天時 浸入水量(m ³)	雨水混入率 (%)	単位面積当 りの浸入水量 (m ³ / ha)
		Q	R	R/Q	R/A*
①	232.1	2,653,990	410,790	15.5	23.7
②	192.8	3,450,840	634,141	18.4	36.6
③	77.3	2,187,840	225,876	10.3	13.0
④	20.8	1,161,592	57,823	5.0	3.3
⑤	34.1	2,104,550	107,319	5.1	6.2
⑥	46.6	2,322,200	112,290	4.8	6.5
⑦	348.4	2,911,642	919,181	31.6	53.0

*湖南中部浄化センターの本調査時の処理面積はA=17,340 haである。

図-11 雨天時浸入水発生領域マップ作成概念図

流入下水量と雨天時浸入水量は、降雨開始から降雨終了後72時間までの積算量である。降水量の増加に伴い、雨天時浸入水量や雨水混入率が増加する傾向が分かった。

選定した降雨日の降水量と雨天時浸入水量を用いて線形近似曲線を作成し、この線形近似式から雨天時浸入水量を算出した。

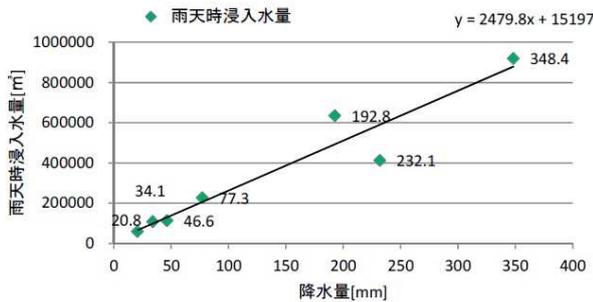


図-12 降水量と雨天時浸入水量の関係

(7) 雨天時浸入水発生領域解析マップの作成

雨天時浸入水量の算出で求めた雨天時浸入水量と気象データ(レーダー雨量データ)を用いて、雨天時浸入水パターン解析を行った。雨天時浸入水パターン解析とは、レーダー雨量データと雨天時浸入水の時系列の類似性を解析するものである。

本解析では、調査対象区域を500mメッシュに分割して解析を行う。解析結果として浸入水の影響度が求められる。影響度は区画ごとに影響度の高い赤色系から低い青色系まで5段階にランク分けし、さらに、同色系内を3段階に分けて不明水対策の優先度の指標とする。

解析区域は2010年度までの供用開始区域とし、それを包括する500mメッシュを解析対象とした。解析期間は、2011年4月から2014年3月までの3ヵ年とした。

解析結果と電子化された地図や下水道既存施設データ等の地図データと合せて、雨天時浸入水発生領域解析マ

ップを作成した。

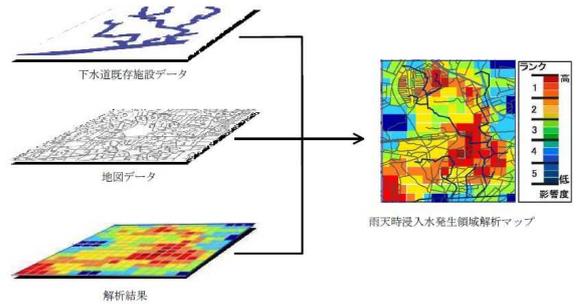


図-13 雨天時浸入水発生領域マップ作成概念図

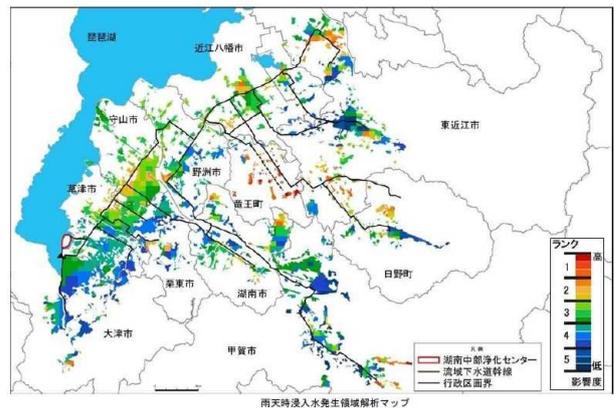


図-14 雨天時浸入水発生領域解析マップ

4. まとめ

作成した雨天時浸入水発生領域解析マップから優先度の高い領域を選定し、選定した地域の現地調査を実施した。選定は優先度の高さを示す影響度のランク1(影響度の高い赤色系)の領域となる。

現地調査の結果、選定した地域は古くからの住宅地であったり、地盤が弱いのか道路の補修やマンホール、下水管に沿って補修の跡がみられた。これらの地域では、降雨による地下水の上昇で、水密性の低い管渠や取付管などから流入すると推定される。

本解析により、ある程度の浸入水箇所エリア(中領域)の特定を行なったが、今後は、流量調査等により最も課題となる雨天時浸入水の発生領域(小領域)を絞り込み、詳細調査(流量調査、目視調査、テレビカメラ調査、打響調査、染料調査、注水調査、送煙調査等)により、雨天時浸入水箇所・原因の特定を行い、問題箇所と状態の把握、調査後の対策実施の判断、対策方法の選定、対策効果等、個別的な削減対策実施の検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 下水道新技術機構：分流式下水道における雨天時侵入水対策計画策定マニュアル
- 2) 下水道新技術機構：事例ベースモデリング技術を用いた雨天時侵入水発生領域の絞り込みに関する技術マニュアル