

## ◆ 報文 ◆

# 分流式下水道汚水管への雨水浸入

檜物良一\* 森 一夫\*\* 豊田忠宏\*\*\* 井上弥九郎\*\*\*\*

## 1. はじめに

### 1.1 下水道の排除方式

下水は、汚水と雨水の二つに分類される。汚水は、水洗排水や、厨房・風呂などの雑排水などであり、雨水は文字通り降雨が流出したものである。昭和40年代までの下水道は、汚水と雨水を同じ管きよで排除する合流式下水道が主流であった。そのため現在でも古くから下水道事業を行ってきた都市は、合流式下水道を採用している。それに対して汚水と雨水を別々の管きよで排除する方式のものを分流式下水道という。「下水道統計」<sup>1)</sup>によると平成10年度末現在で下水道事業を実施している2,157の市町村のうち分流式のみを採用している市町村が1,966、分流式と合流式両方を採用している市町村が187、合流式のみを採用している市町村が4となっており、分流式が圧倒的に多数を占めている。

分流式下水道の仕組みを図-1に示す。雨水は雨樋や地表面を流下し、道路側溝から水路や雨水管で排除される。一方、水洗排水や厨房排水・風呂排水などの汚水は污水ますから取付管を経由して汚水管に流入し、最終的には終末処理場で浄化された後に放流される。

### 1.2 不明水と雨水浸入水

水道使用量に基づく有収水量に比べて下水道施設で計測される下水量は、多くなることが一般的である。下水道施設で計測された汚水量と有収水量の差が不明水量となる。不明水の原因としては、井戸水等水道水以外の水使用、水路水・地下水等の管路施設への浸入などが挙げられる。これらは毎日ほぼ一定の水量が流入することになり、急激な下水量の変化は伴わない。従って突発的なトラブルの原因になることはないが、ポンプ場・処理場の維持管理費増加の原因となる。

井戸水の使用や、地下水等の浸入の他に、分流式下水道特有の不明水原因として、雨水の浸入が

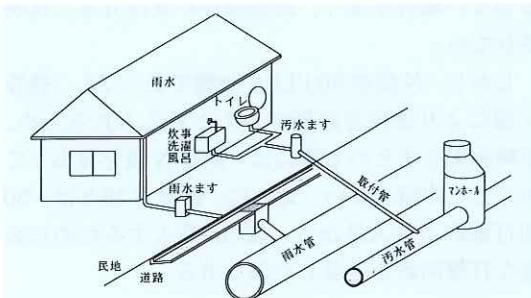


図-1 分流式下水道の仕組み

挙げられる。雨水が汚水管へ浸入することが原因で、各地の分流式下水道で雨天時に下水量が急激に増加する現象が生じている。雨水は面積当たりの水量が汚水と比較して大きいため、その一部が汚水管へ流入するだけでも、下水量は数10%から100%以上の増加となる。そのため汚水管きよ・ポンプ・水処理施設等で能力超過を起こし事故の原因となる。日本より先行して分流式下水道を整備した米国では雨水浸入水が、マンホールからの溢水や未処理汚水の排出による水質汚濁・衛生面への悪影響など Sanitary Sewer Overflow (SSO) と呼ばれる深刻な問題の原因となっている。雨水浸入の原因として、汚水系統への雨水管の誤接、マンホール蓋孔、管きよの継ぎ手やクラック・取り付け管取り付け部からの漏水等が考えられる。

現時点では日本では、まだこの問題についてさほど関心は持たれていない。その理由として、大都市等古くから下水道整備に着手していた地域では主に合流式を採用してきたこと、分流式下水道を採用している都市は比較的普及率が低いため SSO が発生している事例が少ないことが考えられる。しかし分流区域の普及率の向上に伴い日本でも SSO の事例が増加してきている。今後この問題に関して維持管理のみならず計画・建設を含めた対応が求められる。

なお「下水道施設設計画・設計指針と解説」<sup>2)</sup>では、従来より日最大汚水量の10~20%を地下水として見込むこととされている一方、雨水浸入水に

については施設の余裕で対応するとされていた。しかし 1994 年版より新たに雨天時雨水混入比の資料が掲載され、雨水浸入水について問題提起されている。但し相変わらず雨水浸入水は、施設の余裕で対応するとされている。

## 2. アンケートによる全国実態調査

### 2.1 アンケート調査の概要

雨水浸入水については本来起りうべきでないことであるという考えが根強く、これまで全国ベースの体系だった調査はほとんど行われていない。そこで、全ての分流式下水道汚水処理区を対象とし、雨水浸入水の実態に関するアンケート調査を実施した。これにより雨水浸入水の現況把握が初めて行われた。

アンケート調査は平成 10 年度実績値を対象として、分流式を採用する全ての汚水処理区を調査した。ただし少しでも合流区域が混在する処理区は調査対象外とした。流量観測点は終末処理場とし、降雨量については終末処理場若しくは近傍のデータを採用している。アンケート送付処理区数 915 に対し、下水量と雨量双方について回答があった処理区は 763箇所であった。問題点や対応については 909 箇所から回答を得た。

### 2.2 雨水浸入の現況

ここでは雨水の浸入状況を、雨水混入比を用いて表す。雨水混入比は次の式で算出する。

$$\text{雨水混入比} =$$

$$\text{雨天日日最大下水量}/\text{晴天日日平均下水量}$$

まず基準となる晴天日下水量は平成 10 年度の晴天日日平均下水量とした。ここで晴天日とは、直前 3 日間が無降雨である日と定義した。ただし、8 月の旧盆、年末年始期間については特異な期間として除外した。次に雨天日下水量は、降雨が観測された日の平成 10 年度日最大下水量を対象とした。

雨水混入比は、晴天日下水量に対して雨天日はどのくらい下水量が増えているかを表す指標である。雨水混入比が 1.0 であれば雨天日の下水量の増加はなく、従って雨水の浸入は生じていない。2.0 であれば、雨天日は晴天日の 2 倍の下水量となり、晴天日の下水量と同じ量の雨水が浸入していると見なされる。結果は、図-2 のとおりである。雨水混入比の中央値は 2.08 となり半分以上の

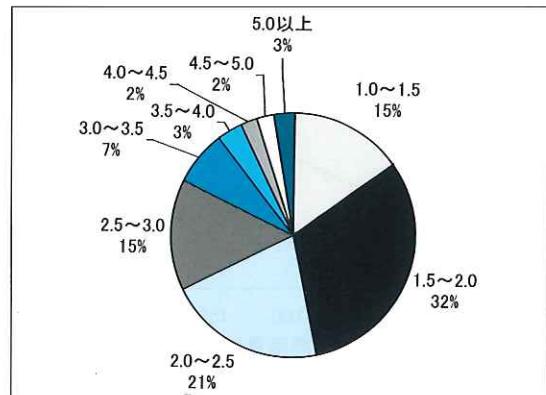


図-2 雨水混入比分布図

処理場で下水量が雨天日には晴天日の 2 倍以上になっている。また 85% の処理場が雨水混入比 1.5 を超過している状況である。

このことから、分流式下水道汚水処理区において雨天時に下水量が大きく増加することは、特定の箇所で生じる特異な現象ではなく、どこでも有りえるごく一般的な現象であるといえる。つまり雨水が污水管に浸入することは不可避であり、現在の汚水収集システムが構造的欠陥を内包していることを示唆している。ほとんどの処理区で設計で見込まれている余裕以上の下水量増加が見られる以上、雨水浸入に対して抜本的な対策が必要といえる。

### 2.3 雨水浸入水の影響要因

アンケート調査結果を基に雨水浸入水の影響要因を検討した。

#### (1) 降雨量

降雨量 (雨天日日最大下水量の当日 + その翌日の積算値) と、雨水混入比との関係を調べた。まず、降雨量を 0~50、50~100、100~150、150~200、200~250mm に分類し、それぞれの区間毎に雨水混入比の中央値を求めた。区間毎の降雨量および雨水混入比の中央値の関係を図-3 に示す。図-3 から明らかなように雨水混入比と降雨量には強い相関があり、雨水浸入水量は降雨量に影響を受けることがわかった。

#### (2) 経過年数

管渠や排水設備の経年的劣化とともに、雨水浸入量の増加が予想されることから、雨水混入比と施設の経過年数の関係を検討した。経過年数は処理場の供用開始年度を起点としてカウントした。経過年数を 10 年毎に区分し、その区分毎に雨水

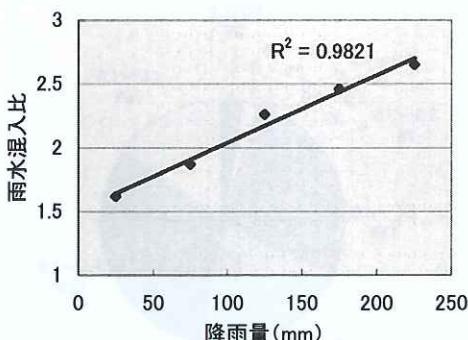


図-3 降雨量と雨水混入比

表-1 経過年数別の雨水混入比

| 経過年数(年) | 処理区数(箇所) | 雨水混入比 |
|---------|----------|-------|
| 0~10    | 333      | 1.91  |
| 11~20   | 306      | 2.11  |
| 21~30   | 80       | 2.51  |
| 31以上    | 42       | 2.40  |

混入比の中央値を求めた結果を表-1に示す。経過年数が大きいほど雨水混入比が大きくなる傾向が確認できた。

#### 2.4 雨水浸入水によるトラブルと対応

雨水浸入水による下水量の増加のために生じている問題は表-2のとおりである。処理場・ポンプ場・管きょの全てにわたって能力超過が生じたと考えられる問題が報告されている。これらの問題は降雨の流入による最大流量時に生じるもののがほとんどであり、ピークカットを目的とした対策の必要性が示されている。

次に実際に行われた対策について表-3に示した。管きょ部分での対策が主となっているが、処理場での運転や施設増設で対応している場合もある。またその効果については、ほとんどの項目で半数程度の処理区が有ったと回答している。この効果が有りと答えた処理区と効果無しの処理区の雨水混入比を比較したところ、効果有の1.86に対して効果無2.05であった。効果有の処理区ではある程度の対策効果が発現しているとも言えるが、全般的な解決にはほど遠い状況である。

### 3. 雨天時浸入水の測定

#### 3.1 雨水浸入水の求め方

雨水浸入水量の測定方法についての基本的な考え方は既に「下水管路施設における浸入水防止

表-2 雨水浸入水による問題(複数回答)

| 内容           | 回答数 | 処理区数に占める割合(%) |
|--------------|-----|---------------|
| 処理場からの簡易放流   | 236 | 26.0          |
| 水処理への影響      | 335 | 36.9          |
| 処理場施設の冠水     | 57  | 6.3           |
| ポンプ場施設の冠水    | 59  | 6.5           |
| 人孔からの溢水      | 182 | 20.0          |
| 汚水樹からの溢水     | 103 | 11.3          |
| 住民からの苦情      | 127 | 14.0          |
| 人孔蓋の開放・飛散    | 58  | 6.4           |
| 保健所・警察等からの苦情 | 2   | 0.2           |
| その他          | 34  | 3.7           |
| 回答無し         | 334 | 36.7          |
| 処理区総数        | 909 | -             |

表-3 雨水浸入水対策の内容

| 内容          | 回答数 | 処理区数に占める割合(%) | 効果有の割合(%) |
|-------------|-----|---------------|-----------|
| 管渠布設時に工夫    | 52  | 5.7           | 49.1      |
| 既設管渠の補修     | 215 | 23.7          | 49.3      |
| 管更生工法の実施    | 94  | 10.3          | 53.8      |
| 雨水系誤接続の解消   | 106 | 11.7          | 38.9      |
| 調整池等施設運転で対応 | 50  | 5.5           | 56.3      |
| 施設能力の増補で対応  | 37  | 4.1           | 67.6      |
| その他         | 80  | 8.8           | -         |
| 回答無し        | 501 | 55.1          | -         |
| 処理区数        | 909 | -             | -         |

対策指針<sup>3)</sup>で述べられている。晴天日の下水量の平均値を基準として、雨天時に増加した下水量を雨水浸入水とする。常に生じている地下水など他の不明水は、晴天日平均値の中に含まれる。

調査対象地区の必要条件は以下の3点である。第1に下水量を常時計測している。第2に降雨量の観測点が近くにある。第3にそれらのデータが収集保存されている。これらの前提を満たしている調査地区としてA流域下水道の5処理分区を選定した。ここでは流域下水道幹線への接続点に流量計が設置されている。降雨量も処理場・ポンプ場で測定している他、気象庁のアメダスの観測点も存在する。調査期間は出水期にあたる平成10年4月から9月迄の6ヶ月間とした。汚水量・雨量ともデータは1時間単位である。

晴天日汚水の流入パターンを比較したところ平日と休日の差異は認められるものの、季節による

変動はほとんど認められなかった。従って基準となる晴天日汚水の流入パターンは、平日、休日を分けそれぞれについて全調査期間の平均値とした。

降雨時の雨量と雨水浸入水の状況の1例を図-4に示す。雨天時の流量測定値と晴天日汚水の流入パターンを重ね合わせ、降雨開始時からの増分(雨天時流量 - 晴天時流量)の累計をその降雨による雨水浸入水量とした。ただし、降雨終了後もこの増分が長く続く場合は降雨終了後24時間までの流量を対象とした。

### 3.2 調査の結果

降雨量と面積当たり雨水浸入水量の関係を図-5に示す。雨水浸入水量は、降雨量と良く比例しており、雨水の一定割合が汚水管に浸入していることを示している。この場合は約8%が浸入している。

溢水など下水道施設にとって特に問題となるものは時間最大浸入水量である。調査の結果、雨水浸入水により、時間最大下水量は晴天時時間最大下水量の1.4倍から2.2倍となった。これは管渠設計時の余裕(管渠設計時は晴天時の時間最大汚水量を計画下水量とし、これに管径に応じて25~100%の余裕を見込むこととなっている)に匹敵していることから、この地域では普及率が伸びて晴天時下水量が計画下水量に近づいた時、雨天時にマンホールや污水ますなどから溢水する危険性が高いと考えられる。また、この地域の雨水浸入比はアンケート結果の中央値とほぼ同じであるから平均的な地域であると考えられ、アンケートの対象とした他の処理区でもこれに近い状況であると推測される。

### 4. 雨水浸入削減対策の効果判定

以上の調査結果より、雨水浸入水と降雨量の間に強い相関があることが明らかとなった。これは、降雨の一定割合が汚水管に浸入することを示している。この割合を雨水浸入率と定義する。この雨水浸入率を利用することによって、浸入水対策事業の効果を判定することが可能である。これまで浸入水対策は、行った事業内容でしか評価されてこなかった。例えば污水ますや取付管の補修箇所数、汚水管での漏水個所の止水工事延長などである。しかしそれらの工事によって具体的にどの程度浸入水が減少したか、定量的に把握する必要がある。

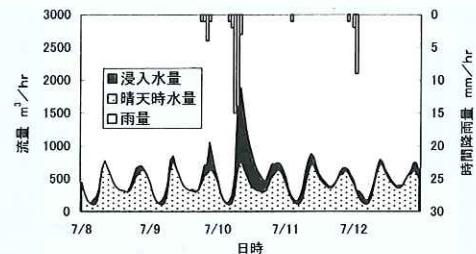


図-4 降雨量と雨天時浸入水の経時変化

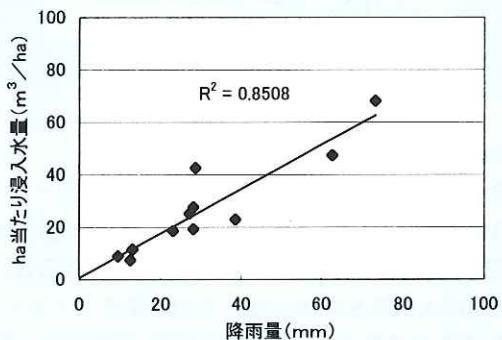


図-5 降雨量と面積当たりの浸入水量

表-4 段階別補修工事の内容

| 補修内容 |              | 補修箇所数 |
|------|--------------|-------|
| 第1段階 | 污水ますライニング    | 65    |
| 第2段階 | 取付管ライニング     | 51    |
| 第3段階 | 污水ます+取付管開削交換 | 31    |
|      | 未使用ます取付閉鎖    | 19    |
| 第4段階 | 排水設備の誤接続解消   | 10    |
|      | 排水設備水密製不良箇所  | 25    |

そこでまず調査地区において降雨量と汚水流量を連続的に計測し、雨水浸入率を求める。その上で補修工事をいくつかの段階に分けて実施し、その都度雨水浸入率を確認する。順調に効果が発現していれば雨水浸入率が低下していくこととなる。その低下の割合で、その際実施した補修工事毎の効果が定量的に明らかとなり、費用対効果の算定も可能となる。

以下にK市で実際に補修を行った際の測定結果を示す。調査地区は昭和40年代に開発が行われた丘陵地である。そのうち2.5haを対象に調査を行った。この区域内の戸数は99戸、取付管の箇所数は118箇所(未使用19を含む)。管渠延長は798.6mである。具体的な作業内容は表-4のとおりである。最終的に污水ます96箇所、取付管101箇所、

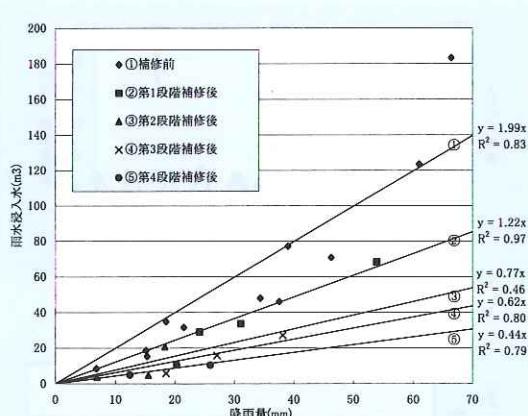


図-6 補修段階毎の降雨量—雨水浸入水量相関図

誤接合は事前調査で判明した10箇所全て、排水設備についても事前調査で問題があるとされた25箇所について補修を実施している。この補修は4段階に分けて行われており、その各々の段階毎に、雨水浸入水量を計測した。その結果をまとめたものが図-6である。この直線の傾きが雨水浸入率を示しており、傾きが小さいほど浸入割合も小さくなる。対策を実施する毎に雨水浸入率が減少していくことが示されている。この結果から補修工事毎の浸入水削減効果を算定した。第1段階の65箇所の污水ますの補修で27%、第2段階の取付管51箇所の補修で33%と大きく削減に成功している。加えて第3段階の污水ます・取付管補修と未使用取付管を閉鎖することにより、污水ますと取付管関係で合計67%の削減が行われた。誤接続解消を含めた排水設備の補修では6%削減となった。今回の補修では全体として73%削減と非常に大きな成果が出た。この結果は污水ますと取付管の補修が特に有効であったことを示している。残り27%は、今回補修しなかった排水設備・取付管と下水道本管や人孔からの流入ということになる。

以上から、地道に污水ますや取付管の補修を行えば雨水浸入は削減することが可能であることは確認できた。雨水浸入水対策としてはこのように削減策に努めることが重要である。しかしこれは99戸が対象の区域だから出来たこととも言える。処理区全体で補修を行おうとすれば、数千戸から数万戸が対象となる。対象戸数が多いことや、排水設備の補修は家の持ち主等個人の負担を伴うことなどから、短期間に削減成果を挙げることは、極めて難しい。雨水浸入水によって、マンホール

からの溢水など緊急性を要する問題が生じている場合は、補修による削減と並行して、緊急的かつ即効性のある対応が別途必要である。

## 5. 雨水浸入現象のモデル化

雨水浸入水が原因で生じる溢水などの問題は、最大流量時に発生する可能性が最も高くなる。しかしこのような状態において、実際の流量を測定することは不可能である。大雨時ににおける雨水浸入水量、溢水が生じる地点、浸入水量削減対策や管路流下能力の増強の効果などについて検討するためには、モデル計算が必要である。雨水浸入水量が降雨量と強い相関があり、降雨の一定割合が汚水管に流入してくること、特に雨水浸入水量のピーク時においては非常に速やかな雨水浸入が生じていると考えられることから、雨水用の流出解析モデルの応用を行い、降雨に対する雨水浸入水量経時変化の再現を試みた。

今回、K市を例にとって雨水流出モデルの利用について検討を行った。調査地域とデータは削減効果判定時と同じものを使用した。この区域は排水区域が小さいため、全管網をモデル化した。今回汚水管への適用を行うに当たって、通常の雨水の場合とパラメータを変更した点は以下のとおりである。

### (1) 不浸透域率の設定

ここで用いた雨水用の流出解析モデルでは対象区域を浸透域と不浸透域に分け、浸透域に降った雨はモデルの系外へ流出し不浸透域に降った雨が汚水管に流入することとしている。この不浸透域が対象区域に占める割合を不浸透域率と呼んでいる。今回、雨水浸入水率の値を不浸透域率と読み替えることで流出解析モデルの汚水管への適用を試みた。この地区では雨水浸入水率が4%であったので、不浸透域率を4%に設定した。

### (2) 不浸透域の粗度係数

雨水が汚水管路に流入するまでの経路が通常の雨水よりも複雑で、タイムラグが生じていると考えられるので地表面の粗度係数を0.5と高く設定した。

以上の設定で計算した結果を図-7に示す。雨水浸入のピーク時間やピーク高さがかなり忠実に再現されている。このようにして作成したモデルでシミュレーションを行うことで、既に問題が生じ

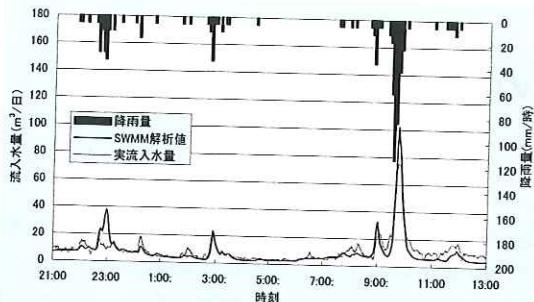


図-7 流出解析モデルによる雨水浸入水量計算結果

ていた地域における対策検討に加えて、これまで問題が生じていなかった箇所であっても危険度の判定を行い未然に対策を行うことが可能となる。

## 6. おわりに

雨水浸入水への対応は、一朝一夕には難しい問題である。地道な調査と改良作業の積み重ねが必要とされる。雨水浸入水対策としては、以下に示す3ケースが考えられる。

- (1) 管きょ布設時に水密性を高める等、設計施工の段階から対策を施す。
- (2) 雨水浸入の現況及び原因について調査し、問題箇所の補修を行う。
- (3) 雨水浸入量に対応して管きょ・ポンプ・調整池などの施設整備を行う。

経済的かつ早急な効果を発現するように、地域特性に合わせこれらの方策の最適な組み合わせを導き出さなくてはならない。そのためには、ここで述べてきた補修効果判定方法や流出解析モデルによる定量的な検討が必然的に要求される。今後下水道管理者である地方自治体がより使いやすくするために、調査例を増やし補修による雨水浸入水削減率やモデル計算時のパラメータ数値についてより詳細な検討を行う必要がある。

## 参考文献

- 1) 下水道統計平成10年度版, (社)日本下水道協会
- 2) 下水道施設計画・設計指針と解説(前編)1994年版, (社)日本下水道協会, 1994.
- 3) 下水道管路施設における浸入水防止対策指針, (社)日本下水道協会, 1982.

椿樹良一\*



大阪府東部流域下水道  
事務所工務グループ主査  
(前 下水道研究室主任  
研究員)  
Ryoichi KUSABUMI

森 一夫\*\*



国土交通省国土技術政策  
総合研究所下水道研究部  
下水道研究室研究官  
Kazuo MORI

豊田忠宏\*\*\*



同 下水道研究室研究官  
Tadahiro TOYODA

井上弥九郎\*\*\*\*



日本下水道事業団東京  
支社技術指導課長  
(前 下水道研究室長)  
Yukuro INOUE