

## 下水水温の成分分解による雨天時浸入水量割合の推定

中日本建設コンサルタント(株) ○佐藤 優斗 中根 進

雨天時浸入水の影響は、流下下水の水温を計測し、計測水温を成分分解することによって雨天時非超過確率(晴天時水温の 95% 下限値を超えない雨天時水温の確率)を算出し、その値で、計測点間の多寡を評価している。雨天時非超過確率は、統計的に検出力と表現しており違和感はないが、降雨時における流下量の増水は、雨天時浸入水量であり、一般的に雨天時浸入水量割合で表した方が理解しやすいと考えられる。

本稿では、下水水温の他に降雨温度を 10 分間隔で計測し、時間ごとに雨天時浸入水量割合を推定することを試みた結果、計測点間を雨天時浸入水量割合で評価できるようになった。

*Key Words* : 水温、成分分解、雨天時浸入水量割合、降雨温度

### 1. まえがき

計測した流下下水の水温(単位: 摂氏 $^{\circ}\text{C}$ )を成分分解することによって不規則変動水温を抽出し、これを晴天時と雨天時に分け、晴天時不規則変動水温と雨天時不規則変動水温の分布を作る。これら 2 つの分布の違いを雨天時非超過確率(晴天時水温の 95% 下限値を超えない雨天時水温の確率)で表し、計測点間の非超過確率の値で計測点間における雨天時浸入水量の多寡を評価する<sup>1), 2)</sup>。

本稿では、成分分解で得られる晴天時不規則変動水温と雨天時不規則変動水温の分布と計測した降雨温度から雨天時浸入水量割合を推定することを試みる。

ここで、雨天時浸入水量割合は、1 降雨の降雨量に対する晴天時水量と雨天時浸入水量の比ではなく、計測期間中のすべての降雨量に対する 10 分単位の晴天時水量に対する雨天時浸入水量の割合であり、各計測点間の雨天時浸入水に対する相対的な指標と考える。

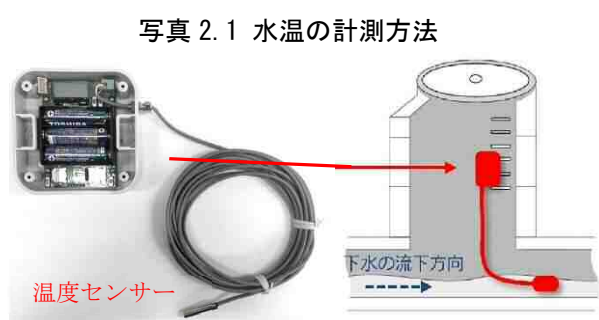
### 2. 計測水温と降雨温度

#### 2.1 水温の計測方法

写真 2.1 の温度センサーをマンホールから管路内に吊り下げ水温を計測する。

雨量計は「気象測器検定指針」に準拠した「転倒ます型雨量計」を使用する。

また、雨量計の転倒ますの排水先に浅い排水皿を設け、温度センサーで降雨温度を計測する。



## 2.2 計測水温の成分分解

計測水温の時系列データを加法モデルによって3つの成分（長期変動、周期変動、不規則変動）に分解し、時系列データを表 2.1 のように整理する。計測水温を成分分解法で次の3成分に分ける。この過程は既報<sup>1), 2)</sup>に詳述した。

$$\text{計測水温} = \text{長期変動水温} + \text{周期変動水温} + \text{不規則変動水温} \quad \dots\dots\dots (1)$$

表 2.1 に示した計測水温を分解した3成分の例を図 2.1 に示す。図 2.1 の最上段が計測水温で、下三段が成分分解した水温である。

表 2.1 計測水温の3成分

成分名	データの状態	データの特徴
長期変動水温	水温が長期間にわたる計測により上昇、あるいは下降する状態	長期間にわたり増加または減少する変化がある。 (図2.1 上から2段目)
周期変動水温	水温がある時間間隔で変動を繰り返す状態	1日の間で変動を繰り返す。 (図2.1 上から3段目)
不規則変動水温	水温の動きが時間の経過に依存しない状態	時間に関係なく水温の増減がある。 (図2.1 最下段)

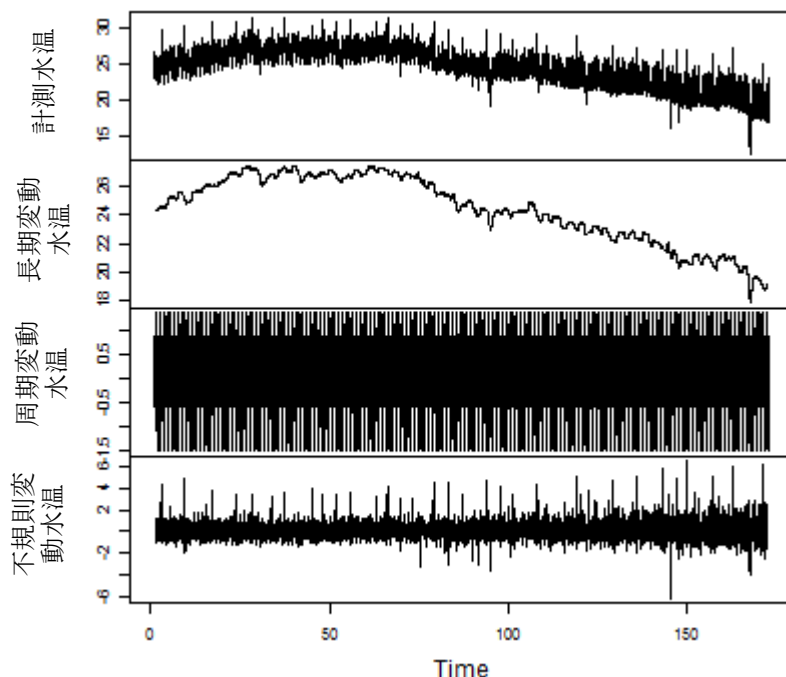


図 2.1 計測水温の成分分解例(単位 °C)

成分分解で得た不規則変動水温(図 2.1 最下段)を晴天時と雨天時に分け、計測期間中の全データを使ってそれぞれの頻度分布を作り、これを確率密度で表し、極値分布などで回帰すると図 2.2 を得る。さらにこの確率密度分布を累積分布で表すと図 2.3 となる。分布の形は赤池情報量規準で判断して正規分布など適切な分布を選定している。

また必要に応じてノンパラメトリックなカーネル密度分布を使う。

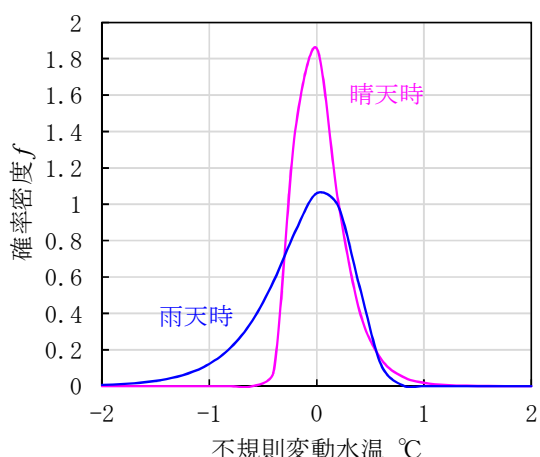


図 2.2 不規則変動水温分布を極値分布で表した例

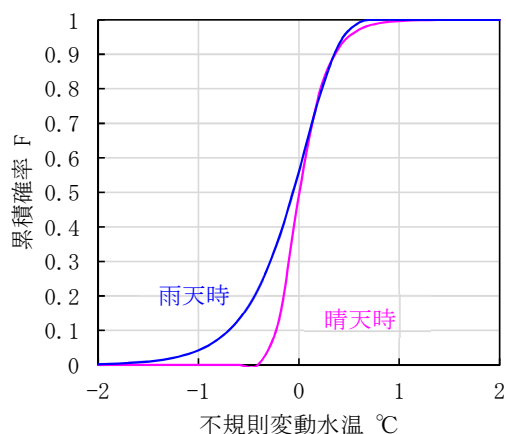


図 2.3 不規則変動水温の極値分布による累積確率

### 2.3 気温と降雨温度の関係 (2017 年 7 月 6 日～11 月 30 日)

雨天時浸入水の由来は全て降雨によるものとして、雨天時浸入水量割合を推定するために降雨の温度を測定する。

降雨の温度は、雨量計を用意し、雨量の排水先に浅い皿をつけ、その中に水温計を設置して計測する。降雨の無い時は、皿の中で気温を計測していることになる。気温の観測には気象庁の「気象観測の手引き」による基準(日陰 1.5m の温度)にしたがい測定する。

ここでは、降雨時の気温と降雨温度の関係を図 2.4 に示す。

図 2.4 から回帰式の傾きが 1.0246 であり、降雨時気温より降雨温度がわずかに高い結果となった。また、降雨時に気温が 25°C 以上になる夏季に気温より水温が高い傾向にあった。降雨温度は、降雨温度を測定しなくても降雨時の気温で代用できると考えられる。

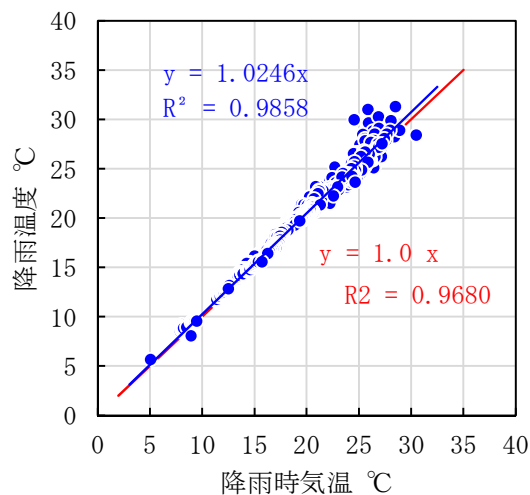


図 2.4 降雨時気温と降雨温度の関係

ここでは、ある計測点(調査面積：2.32 ha)で水温と降雨温度を測定した。計測期間中の計測水温の推移と降雨時の計測水温(○印)の推移を図 2.5 に示す。図 2.5 に降雨温度(●)も打点した。

計測開始時の 7 月には、汚水の水温より降雨温度が高く、雨天時浸入水が多いと降雨時の汚水の水温が常時の水温より高くなることも予測される。

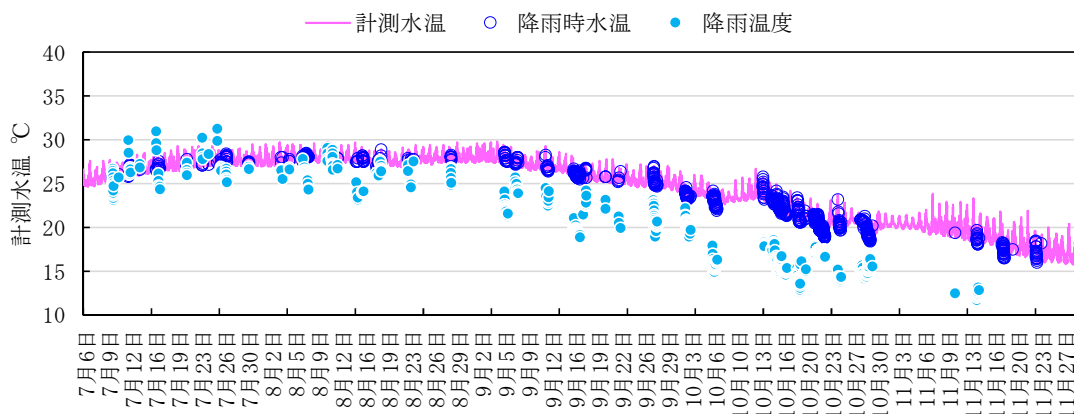


図 2.5 計測水温と降雨温度の推移

### 3. 雨天時浸入水量割合の算定

#### 3.1 雨天時浸入水量割合の算定方法

雨天時の不規則変動水温を晴天時の不規則変動水温に置き換えることにより降雨時における晴天時水温を推定する。

具体的には、図 3.1 に示すが、ある時刻の雨天時不規則変動水温が  $-0.550^{\circ}\text{C}$  とすると、その累積確率が求まる。雨天時累積確率と同値になる晴天時不規則変動水温は、 $-0.184^{\circ}\text{C}$  となり、この温度が降雨時の推定晴天時不規則変動水温である。

前述 (1) 式の不規則変動水温に雨天時累積確率と同値になる晴天時不規則変動水温を入れて計測水温を計算する。この計算した水温が、降雨時の晴天時水温となる。

この手法では、ある降雨時刻の雨天時不規則変動水温の累積確率値と晴天時不規則変動水温の累積確率値を同値とすることは仮定である。

調査面積が大きいとある時刻の生活動態(炊事、風呂、トイレなど)が晴天時でも雨天時でも同じ傾向になると思われる。調査面積が小さいと時刻による生活動態の違いが顕著になり水温に影響し、晴天時、雨天時を含め不規則変動水温は調査面積が大きい計測点とは同じ傾向にならない。そのため、調査面積が小さい計測点の不規則変動水温と降雨温度を使った降雨時の晴天時水温の推定は難しくなると考えられ

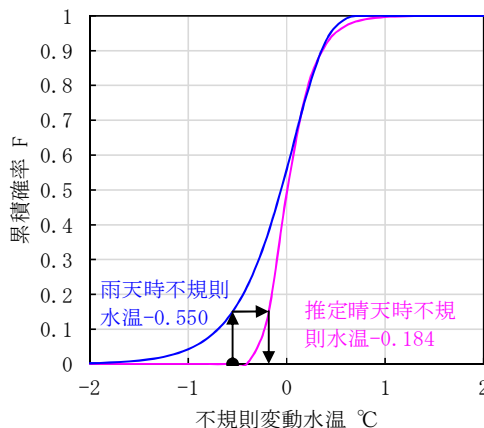


図 3.1 降雨時の晴天時不規則変動水温の推定概念

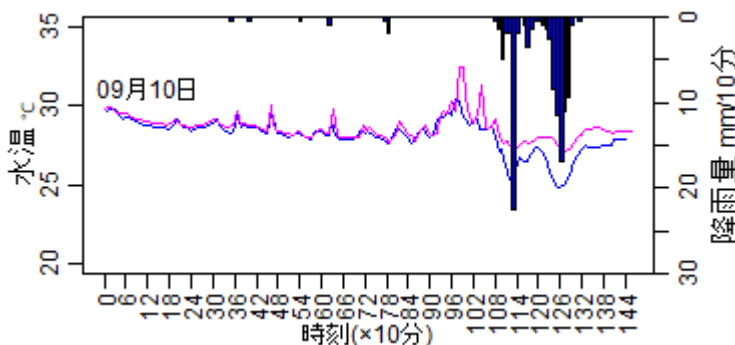


図 3.2 降雨日における計測水温と推定水温の推移の一例

る。

図 3.1 の雨天時不規則水温から晴天時不規則水温に変換し、晴天時水温(マゼンタ色)を推定して、計測水温、晴天時水温と降雨量の推移の一例を図 3.2 に示す。降雨により水温が低下したことがよく表せている。

計測期間中全ての 10 分単位の推定晴天時水温と計測水温の関係を図 3.3 に示す。45 度線より下側が降雨による水温低下を表す。

降雨温度を計測しているので、雨天時浸入水の水温を降雨温度として雨天時浸入水量割合を推定する。

雨天時浸入水量割合は、計測 10 分単位で次式により推定する。

$$1.0 \times T_i^S + r_i' \times T_i^R = (1.0 + r_i') \times T_i$$

$$r_i' = \frac{T_i^S - T_i}{T_i - T_i^R}$$

ここに、

$i$  : 各時刻(10 分単位)の順番 1~n (計測期間)

$r_i'$  : 汚水量(晴天時水量)に対する雨天時浸入水量割合 —

$r_i$  : 流下水量に対する雨天時浸入水量割合 —

$$r = r' / (1 + r')$$

$T_i^S$  : 晴天時水温 °C (推定晴天時水温)

$T_i^R$  : 降雨温度 °C

$T_i$  : 計測水温 °C

成分分解した晴天時不規則変動分布、雨天時不規則変動分布を前掲図 2.2、図 2.3 に示す極値分布で回帰するのではなく、ここではカーネル密度分布で表し、計測期間中の 10 分間隔の降雨時の雨天時浸入水量割合  $r'$  を計算する。10 分単位に計算しているので、降雨時の雨天時浸入水量割合  $r'$  の分布で表すと図 3.4 となる。

この分布の平均値を計測点における雨天時浸入水量割合  $r'$  とする。

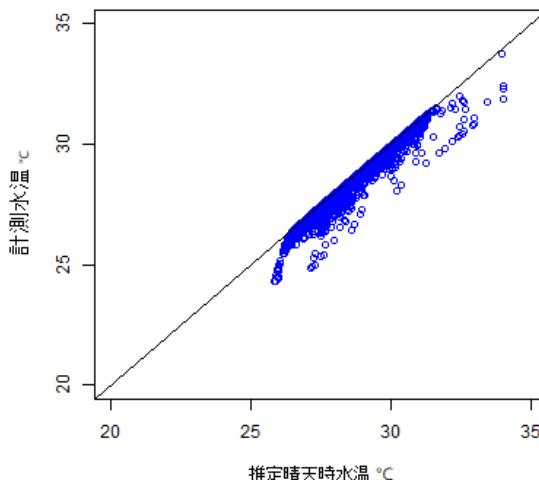


図 3.3 推定晴天時水温と計測水温の関係

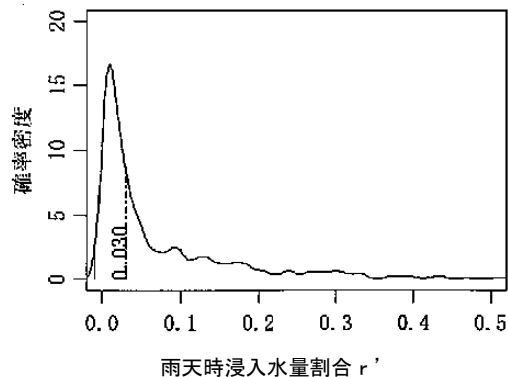


図 3.4 雨天時浸入水量割合  $r'$  のカーネル密度分布

### 3.2 雨天時浸入水量割合 $r'$ の推定例

表 3.1 の調査区域における雨天時浸入水量割合  $r'$  の例を示す。

本稿では、詳述していないが計測水温を成分分解して得られる非超過確率と晴天時不規則変動分布、雨天時不規則変動分布をカーネル密度分布で回帰した結果を使って計算した雨天時浸入水量割合  $r'$  の関係を図 3.5 に示す。非超過確率が大であれば、雨天時浸入水量割合も大となっている。

ここで示した雨天時浸入水量割合  $r'$  の計測期間と降雨量は表 3.2 の通りであり、非超過確率、雨天時浸入水量割合ともに計測期間中の降雨量や降雨の時刻などによって変化する値である。

表 3.1 調査区域の管きよ諸元

土地区分	住居地域
管種	鉄筋コンクリート管
人孔種別	組み立てマンホール

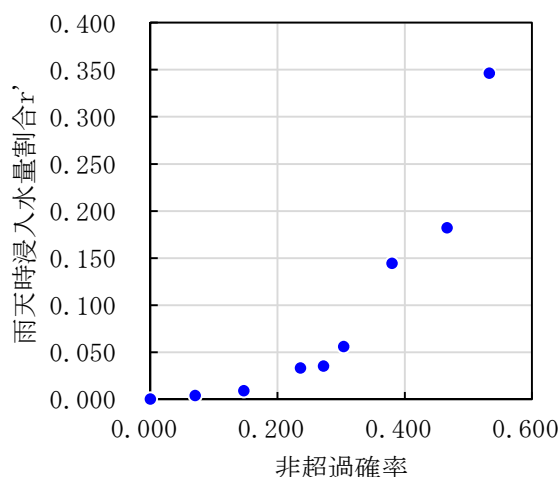


図 3.5 各計測点の非超過確率と雨天時浸入水量割合  $r'$  の関係

### 4. まとめ

水温を計測することにより非超過確率で計測点間の評価を行っていたが、雨天時浸入水量割合で示すことができるようになった。

雨天時浸入水ガイドライン(案)<sup>3)</sup>では、雨天時浸入水対策計画の立案にあたっては日単位および時間単位の雨水浸入率を求めることになっており、本稿の雨天時浸入水割合は、10分単位であるから日単位、時間単位に換算、あるいは計算する方法を機会があれば示す。

表 3.2 計測日数と降雨量

計測日数	33 日
晴天日数	16 日
雨天日数	17 日
最大降雨量	22.5 mm/10分
総降雨量	359 mm

#### <参考文献>

- 1) 堀田 孝行, 中根 進: 時系列水温データの成分分解による雨天時浸入水の影響評価手法 2019 年第 56 回下水道研究発表会 N-7-1-6
- 2) 堀田 孝行, 中根 進: 水温法の成分分解による非超過確率値評価手法の提案 2020 年第 57 回下水道研究発表会 N-7-2-6
- 3) 国交省 水管理・国土保全局下水道部: 雨天時浸入水ガイドライン(案) 令和 2 年 1 月 p. 16