

〈研究発表〉

雨天時流出水のモニタリング効率化に関する調査研究

阿辺山 一輝, 江原 佳男, 森田 弘昭

財団法人下水道新技術推進機構 (〒162-0811 東京都新宿区水道町 3-1, E-mail: k-abeyama@jiwet.or.jp)

概要

雨天時流出水のモニタリングに関しては、従来のモニタリング手法では時間的・経済的負担が大きいことが問題となっており、これに要する時間・費用を縮減することを目的に、モニタリング効率化に関する調査研究を行った。

モニタリングの効率化には BOD 代替指標として濁度・UV を測定し、これらを BOD 推定式にあてはめる方法が有効であると示唆された。また計測機器については、設置状況によっては当初設定を上回る頻度でメンテナンスが必要となることが確認されたが、これはスカムやフラッシュ由来の高濁度等が原因と推察された。

キーワード： 合流改善, モニタリング, BOD, 計測機器, 効率化

1. はじめに

合流式下水道については、平成 15 年 9 月の下水道法施行令の改正により、雨水の影響が大きい時における雨水吐き施設からの放流水質を BOD : 40mg/l 以下とすることが改善目標として示されている。同改正では併せて、この目標基準値達成を確認すべく、雨天時放流水について年 1 回以上の水質検査を義務づけたが、従来のモニタリング手法では時間的・経済的負担が大きいことが問題となっていた。

このような背景から本研究では、雨天時流出水のモニタリングに要する時間・費用を縮減することを目的に、モニタリング効率化に関する調査研究を行った。研究フローを Fig.1 に示す。

2. 研究内容

2.1 各都市モニタリングの状況調査

下水道技術開発連絡会議参加都市を対象に、平成 16 ~18 年度のモニタリング実施状況についてアンケートを行い、結果は次のとおりであった。

- ① 平成 16~18 年度の全集計では 1 回の水質検査の成立に平均 5 回の出勤が必要であった（1 回の成立と 4 回の空振り）。
- ② 年間の水質検査成立回数は、1 回のみ成立の都市が全 18 都市中 13 都市と多くを占めたが、複数回成立をしている都市が 5 都市あった。複数回成立は、水質検査（合流式下水道のモニタリング）の充実が必要であるとの考えが現れたものと考えられる。水質検査が効率化され実施が容易になれば、複数回成立を目指す都市は増えることが予想された。
- ③ 総じて、水質検査の作業の多くは「内部で実施」されていた。比較的規模の大きな都市を対象としたことが影響している可能性がある。
- ④ 調査吐き口数当たりの各都市の外部委託費、内部作業量を単純平均すると、1 調査に吐き口当たり約 30 万円（空振り含む）の費用を掛けていることになる。
- ⑤ 効率化したい作業の一位は「調査の実施（採水）」であった。調査が夜間作業になることなどが理由に挙げられていた。採水作業については、自動採水器の活用など効率化が進められているものの、空振りした場合の容器等の再セット、成立した場合の試料回収が手間との意見があった。また、

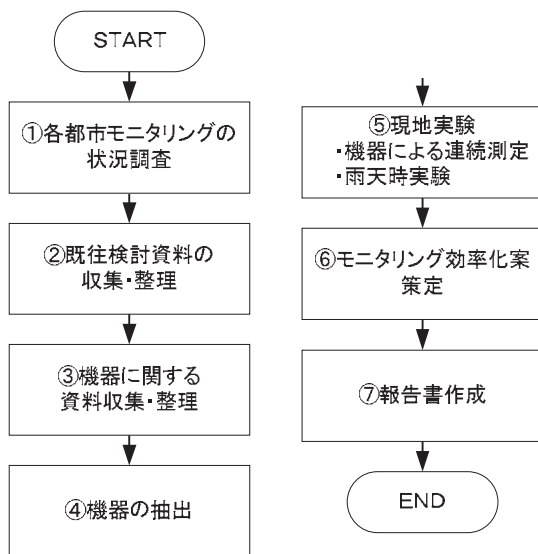


Fig.1: Flow diagram of this Research

BOD の分析も手間を要する作業に挙げられていた。

- ⑥ 実際行っている効率化の工夫として、「調査地点の絞り込み」、「自動採水器の使用」、「リモート操作やオート採水システムの活用」が多く挙げられていた。

以上より、現在は水質検査に多くの労力を要しており、その効率化には十分なメリットがあることがわかった。一方、データの充実を目的とした複数降雨に対するモニタリングにもニーズがあることがわかり、BOD 代替指標のモニタリング機器で連続的に多くの降雨のモニタリングができれば、省力化、データの充実に大きく寄与することができるといえる。

また、BOD の分析だけでも相当な負担となっており、連続的にモニタリングしなくても、例えば、採水→(濁度計など BOD 代替指標モニタリング機器による)測定→BOD 推定が行えるだけでも、BOD 分析が不要となり一定のメリットは生じると考えられる。

2.2 既往検討資料及び機器に関する資料の収集・整理

BOD の代替指標についてはいくつかの研究がされており、それらでは、濁度、紫外線吸光度 (UV) が代替指標として用いられていた。国、国総研で行われた BOD 代替指標の検討資料などを収集し、検討成果、課題点を Table 1 にまとめた¹⁾²⁾³⁾。またモニタリング機器について、文献調査、メーカーアンケート・ヒアリング等を行って知見を収集し、その特性を整理し、機器抽出にあたっての基礎資料とした。

2.3 機器の抽出

メーカーアンケートにより、複数のメーカーが濁度計、UV 計を販売していることがわかった。そのすべてを現地実験に供するのは費用面等で困難であるため、ここでは現地実験に供する機器の抽出を行った。

抽出方針をまとめると Table 2 のとおりであり、これに基づく抽出結果は Table 3 に示すとおりである。

2.4 現地実験

(1) 実験内容

BOD 代替指標モニタリング機器による現地実験を行い、BOD と代替指標の相関を分析し、モニタリング効率化案策定に当たっての知見を収集することとした。設置場所は既存の A 処理場最初沈殿池導水渠とし、濁度計 1 台・UV 計 2 台を設置した。現地実験は計 8 回行い、最も広い BOD 濃度範囲のデータを得られた第 6 回実験結果を整理し、濁度・UV からの BOD 推定式を構築した(Graph 1)。

Table 1: Monitor applicability of turbidimeter and UV meter

項目	濁度計	UV 計
BOD との相関性 (既往研究より)	①(連続測定での)濁度と BOD の水質相関では、高い箇所がある一方で、低い箇所も存在する。 ②濁度平均水質と BOD 平均水質の間には明確な相関関係が存在する。 ③複数の計測方式の機器で実用性を確認。	①COD との高い相関性が得られている。(COD と BOD との相関は一般的に高いため、BOD との相関も期待できる)
計測の安定性 (同上)	①下水処理場の最初沈殿池着水井水を対象とした連続計測実験(様々な測定原理、洗浄方式の機器を対象)で、大きなトラブルはなく、実用可能であることがわかった。	①約 6ヶ月間、測定期間中付着汚物による測定妨害は生じなかった(ブロフによる自動洗浄装置あり)。
雨天時モニタリング適用性	○ ○BOD との相関、計測の安定性から雨天時モニタリングに適用できる可能性がある。 ○様々な測定原理、洗浄方式での計測の安定性が確認されている。 ▲相関性の点で適用する場所には制限が生じる可能性がある。 ※計測方式による実用性の違いは認められない。	○ ○BOD との相関、計測の安定性から雨天時モニタリングに適用できる可能性がある。 ○洗浄装置は必要であるが、幅広い箇所でも BOD との相関が得られる可能性がある。

Table 2: Condition requested from measuring instrument machine





項目	雨水吐き室用	ポンプ施設用	
	電 源	バッテリー	制約なし
機器の条件	センサー(浸漬)タイプ		
	計測器のタイプ	ワイパー洗浄方式以上(ブロワー等付帯設備が必要な方式ではないこと)	ワイパー洗浄方式以上(ワイパー+α洗浄方式、エアー洗浄方式を含む)
	洗 浄 装 置	安価なことが望ましい(損壊の可能性を考慮)	UV(紫外線吸光度)も計測できることが望ましい
そ の 他	<ul style="list-style-type: none"> ・実験時、速やかにメーカーのサポートが得られること ・新規技術がある場合は考慮する 		

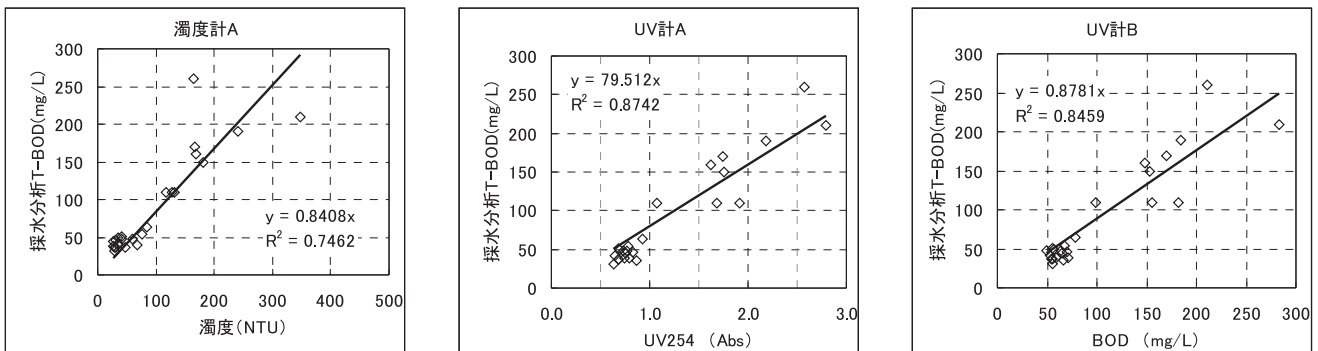
(2) 考察

上述した濁度・UV からの BOD 推定式を、他の実験に適用した際の値である「1 降雨の水量加重平均値」の誤差は、手分析調査に含まれると想定した誤差(採水頻度の低さ、調査時間の短さに起因するもの)と同等かそれを下回り、BOD と濁度・UV との相関は強いと推察される(Table 4)。

またワイパー洗浄方式を採用する濁度計 A の消耗品(ワイパー)交換頻度については、設定条件が月 1 回であったのに対して実際は月 5 回であり、交換頻度が設定条件の 5 倍となった。今回の実験箇所では、①スカムの発生が多い②フラッシュに起因する高濁度が多く出現する、ことが特性として挙げられ、これがワイパーの損傷を進行させたものと推察される。

Table 3: Measuring instrument machine used for local experiment

メーカー	製品	外観	仕様	備考												
H	①	濁度計A (センサー部拡大) 	寸法・形状 <table border="1"> <tr> <td>直径[mm]</td> <td>長さ[mm]</td> <td>重さ[kg]</td> </tr> <tr> <td>全体 45</td> <td>541</td> <td>0.7</td> </tr> </table> 計測原理: 散乱光 洗浄方式: ワイバー 電源: 単3アルカリ×4 (AC100Vも可能) 範囲: 0~1000NTU 分解能: 0.1NTU 精度: ±2%(読値) or 0.3NTU	直径[mm]	長さ[mm]	重さ[kg]	全体 45	541	0.7	・オプションの携帯ロガー及びPCに直読可(浸漬状態でデータ回収) 電池交換が容易。						
直径[mm]	長さ[mm]	重さ[kg]														
全体 45	541	0.7														
C	③	UV計A (センサー) (変換器) 	寸法・形状 <table border="1"> <tr> <td>直径[mm]</td> <td>長さ[mm]</td> <td>重さ[kg]</td> </tr> <tr> <td>センサー 45</td> <td>560</td> <td>2.6</td> </tr> <tr> <td>表示器 幅[mm]</td> <td>奥行き[mm]</td> <td>高さ[mm]</td> </tr> <tr> <td>182</td> <td>97</td> <td>215</td> </tr> </table> 計測方式: UV・可視吸光光度法(254,660nm) 洗浄方式: 空気(エアージェット)洗浄 電源: 100~240±10% 範囲: 濁度換算0~1000mg/L	直径[mm]	長さ[mm]	重さ[kg]	センサー 45	560	2.6	表示器 幅[mm]	奥行き[mm]	高さ[mm]	182	97	215	・短周期で行うエアージェット洗浄により洗浄機構の消耗部品は不要 ・新規開発品 ・濁度, SS測定に応用できる長波長光を採用 ・ランプ交換が不要
直径[mm]	長さ[mm]	重さ[kg]														
センサー 45	560	2.6														
表示器 幅[mm]	奥行き[mm]	高さ[mm]														
182	97	215														
I	①	UV計B (センサー部拡大) 	寸法・形状 <table border="1"> <tr> <td>直径[mm]</td> <td>長さ[mm]</td> <td>重さ[kg]</td> </tr> <tr> <td>センサー 44</td> <td>582</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>表示器 幅[mm]</td> <td>奥行き[mm]</td> <td>高さ[mm]</td> </tr> <tr> <td>265</td> <td>100</td> <td>300</td> </tr> </table> 計測方式: UV・可視吸光光度法(連続) 洗浄方式: 空気, 水 電源: 本体はバッテリー駆動可。(洗浄用コンプレッサーの電源は別途必要) 範囲: BOD: 10~1600mg/L	直径[mm]	長さ[mm]	重さ[kg]	センサー 44	582	2	表示器 幅[mm]	奥行き[mm]	高さ[mm]	265	100	300	・紫外光から可視光までの吸収スペクトルを瞬時に検出する。 ・紫外・可視光領域の吸収スペクトルでも連続的に得られる。 ・バッテリー駆動ができ、ロー機能も搭載 ・吸収スペクトルからBOD相当値を算出して出力
直径[mm]	長さ[mm]	重さ[kg]														
センサー 44	582	2														
表示器 幅[mm]	奥行き[mm]	高さ[mm]														
265	100	300														
基礎的項目として計測		EC計A (センサー) (変換器) 	寸法・形状 <table border="1"> <tr> <td>直径[mm]</td> <td>長さ[mm]</td> <td>重さ[kg]</td> </tr> <tr> <td>センサー 48</td> <td>182</td> <td>0.6</td> </tr> </table> 計測方式: 電磁導電率 洗浄方式: 電源: 100~240±15% 範囲: 導電率0~1999mS/cm	直径[mm]	長さ[mm]	重さ[kg]	センサー 48	182	0.6	・非接触測定のため、広い範囲でも導電率測定に適する。 ・変換器には自己同調式プリアンプを採用。全測定レンジに渡って正確な測定が可能						
直径[mm]	長さ[mm]	重さ[kg]														
センサー 48	182	0.6														



Graph 1: Relation between T-BOD, turbidity or UV

※第6回現地実験結果に基づく。UV計Bは、BOD換算値が出力される機器である。

Table 4: Measurement error

項目	先行降雨なし	(参考)先行降雨あり
手分析	20~30%	—
濁度計A	16.7%	362.9%
UV計A	23.7%	50.6%
UV計B	16.0%	32.0%

2.5 まとめ

考察の結果、モニタリングの効率化にはBOD代替指標として濁度・UVを測定し、これらをBOD推定式にあてはめる方法が有効であることが示唆された。また計測機器については、設置状況によっては、当初設定を上回る頻度でメンテナンスが必要となることが確認された。その他の本研究成果は、以下のとおり。

(1) BOD推定式構築に必要なデータ

BOD推定式構築のための雨天時調査は、先行無降雨期間2日以上降雨を対象に実施し、調査対象箇所想定されるBOD濃度範囲を包含するデータを収集することが望ましい。また、流域に大きな変化が無ければ再度の雨天時調査、推定式の更新は必要ない。

(2) BOD推定式と適用降雨

①雨天時調査のデータから構築するBOD推定式の形は、機器のタイプによって異なる。なお、DOやEC(電気伝導度)を式に加えると推定精度が向上するとの報告がある。

②BOD推定式の適用条件は、それを構築するための雨天時調査の条件と同様、先行無降雨期間2日間以上の降雨である。なお、2波長式(UV, VIS:可視)の

UV計は、BOD推定に先行無降雨期間の影響を受けにくい傾向がみられており、今後のデータの蓄積が望まれる。

(3) メンテナンス

- ① 1ヶ月連続計測すると、BOD推定に無視できないゼロ点ドリフト値となる可能性が高い。1ヶ月に1回はメンテナンスを行ない、その際には、ゼロ点ドリフト値を計測して日数との関係性を求め、計測期間のデータの補正值（補正值＝前の校正からの経過日数×1日当りのゼロ点ドリフト値）を求めておくことが望ましい。
- ② メーカーヒアリングでは、メーカーメンテナンスを不要とする機器もあったが、下水での実績が乏しいため1年に1回は必要と想定した。
- ③ 計測期間が長くなればそれに応じたメンテナンス作業が生じるため、当該作業量軽減のためには、例えば降雨の多い夏期を中心に計測するなどの方法も考えられる。

④ 乾燥実験で検出部の乾燥によるゼロ点ドリフトの上昇が確認できたため、設置時には、検出部を乾燥させない対策を行うことが必要である。

以上の内容を整理し、雨天時流出水のモニタリングの効率化方法としてとりまとめたものを Table5 に示す。

3. 今後の課題

Table 4 に示すように、今回使用したモニタリング機器のうち特に濁度計 A については、先行降雨がある場合の誤差が大きい。濁度計 A に限らず、機器の特性を把握してより広範なパターンの降雨に適用するためには、同種の現地実験を重ねることが望ましい。

※本研究は、平成 19～20 年度の 2 ヶ年にわたり、下水道技術開発連絡会議(17 政令指定都市及び東京都)の研究として実施したものである。

Table 5: Monitor efficiency improvement idea

	ケース	ケースA	ケースB		ケースC	
	適用	雨水吐き室等	ポンプ施設等		短期計測	
	計測器	濁度計	濁度計	UV計 UV,VIS	UV計 スペクトル	携帯型濁度計
BOD推定式構築に必要なデータ (事前雨天時調査で収集)	水質項目	T-BOD, (DO, EC) ()精度向上が必要な場合に有効との報告有り				
	調査方法	次の降雨での調査を行う ・先行無降雨期間:2日以上 ・調査回数:1回以上 ・総降雨量:可能であれば30mm以上の降雨を含むこと※ ・ファーストフラッシュを含む水質を把握すること※ ※過去の水質検査結果等の水質経時変化から、出現するBODの濃度範囲を把握し、その範囲を含むデータを収集すること				
BOD推定式 ※1	式形	$a \times \text{濁度} + b$	同左	$a \times \text{UV} + b \times \text{VIS} + c$	$a \times \text{BOD指示値} + b$	$a \times \text{濁度} + b$
適用降雨		先行無降雨期間:2日間以上				
メンテナンス	直営	1ヶ月間に1回				
	メーカー	1年間に1回				
機器選定時の留意点	洗浄方式	簡易なワイパー方式の場合、異常値が出る可能性、ワイパー交換頻度が高い可能性があり、現地への適用性を十分に確認することが望ましい				
	計測方式	特になし				
機器設置時の留意点		検出部を乾燥させると、ゼロ点ドリフト値が大きくなると想定され、検出部を乾燥させない対策を行うことが必要である				

参考文献

- 1) 国土交通省 都市・地域整備局下水道部 下水道企画課, 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室: 「BOD 代替水質指標確立に向けた調査」調査報告(2006)
- 2) 前田他: 合流改善のための浸漬タイプ紫外線吸光度計, 第 42 回下水道研究発表会講演集, pp.1125-1127 (2005)
- 3) 竹見他: 浸漬型紫外可視吸光度式 測定器による下水流入水の水質連続測定, 第 44 回 下水道研究発表会講演集, pp.901-903 (2007)

※1: DO, EC を推定式に加えれば、推定精度が向上するとの報告有り