

長期連続観測に基づく合流式下水道越流水の汚濁負荷の解明

廃棄物・有害物管理工学研究室 朝倉 有人
指導教員 姫野 修司 小松 俊哉

1. 背景および目的

汚水と雨水を同一管渠で処理する合流式下水道において、雨天時に汚水が未処理のまま公共用水域へと放流される合流式下水道越流水(CSO: Combined Sewer Overflow)による放流先水域への汚濁負荷は、環境保全の点から全国的に問題となっている。公共用水域の水環境を保全するためには、CSOの放流実態や汚濁負荷量を正確に把握し、効果的な対策を講じる必要がある。しかし、CSOの流出状況は気象条件などの影響を受けるため、一降雨や単年での解析による対策の検討は難しい。そこで、本研究では長岡市の合流式下水道敷設区域(127ha)を対象とし、2004年6月に設置されたサンプリングシステムを用いて2009年4月から約20ヶ月間に渡り観測を行った。また、2004年6月からの長期連続モニタリングの結果を基に、対策を講じる上で必要な汚濁負荷の流出状況を解明することを目的とした。

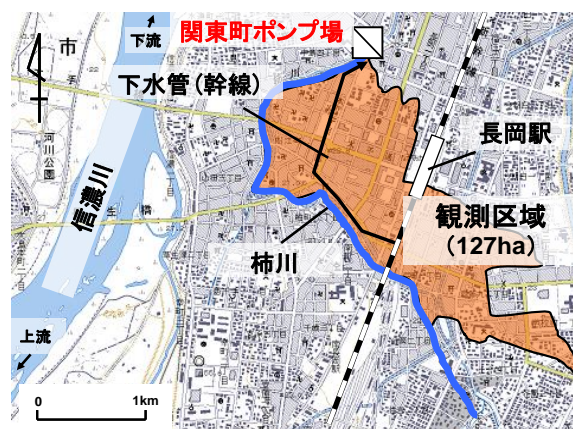


Fig.1 観測エリア

2. CSOの長期モニタリング

2.1 対象区域の概要

研究対象区域は、Fig.1に示すように長岡市公共下水道合流区域 653haのうち駅前の商店街や郊外の住宅街を含んだ約127haとした。対象区域内には、1級河川信濃川の支流である柿川へCSOを放流する吐き口が2箇所存在する。

2.2 モニタリングシステムの概要

2004年に下水道幹線の最下流に位置する関東町ポンプ場吐き口に察知された Fig.2 に示すような観測システムを用いて、雨量、流量、CSO水質(SS及びBOD)の長期的なモニタリングを実施している。また、降雨発生初期の高濃度下水を採水するために雨天時は開始直後のサンプリング間隔を密にした (Table 1)。

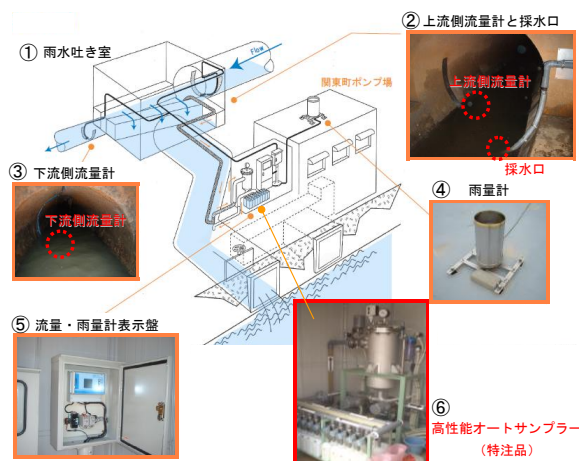


Fig.2 長期モニタリングシステム

Table 1 サンプリング間隔

		~1hr	~2hr	2hr~
晴天時	インターバル (min)		60	
	雨天時 (-)		24	
雨天時	インターバル (min)	5	10	60
	雨天時 (-)	12	6	2~

3. 長期連続モニタリングの結果

2009年の無降雪期間において吐き口からCSOを発生させた降雨イベントは31回、CSO発生量は90006m³であり、そのうち12回(39%)の水質測定が可能であった。同様に2010年は降雨イベント46回、CSO発生量は91228m³であり、そのうち23回(50%)の水質測定が可能であった。

4. 長期連続観測結果

4.1 CSO 発生量と発生回数

2004~2010 年までの CSO 発生量及び回数(無降雪期間:4~11 月)を Fig.3 に示す。CSO 発生回数は 2006 年が最大で 119 回, 2009 年が最小の 55 回であり, 約 2 倍の差がみられた。観測を開始した 2004 年では, 6~11 月の観測で他の年よりも観測期間が短いにも関わらず流出量が最大であった。

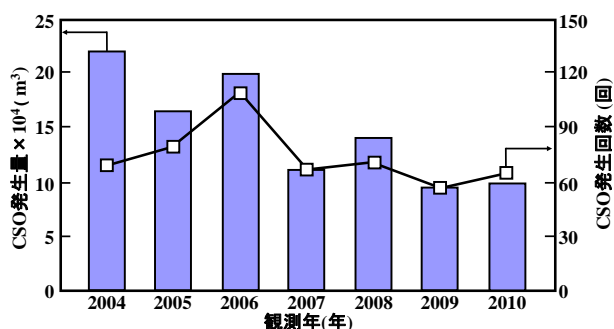


Fig.3 長期連続観測の結果

しかし, 2004 年の発生回数は 7 年中で最多数ではないことを考慮すると, 気象条件の影響を大きく受ける CSO は同一の観測地点においても各年で発生回数及び, 流出量が大きく異なることがわかった。また, 発生回数と流出量には明確な関係性がないことが明らかとなった。また, CSO の発生回数は年々減少傾向にあることがわかった。

4.2 流出回数の抑制

草場¹⁾の報告を基に CSO を発生させる降雨を主に降雨強度と発生時間の特徴に着目して A, B, C の 3 つのタイプに分類した。タイプ A は, 初期から降雨強度 10mm/hr 以上と強く, 短時間かつ単発的に CSO が発生するものとした。タイプ B は, 降雨強度 10mm/hr 以下の断続的降雨とした。タイプ C は, タイプ A と同程度の降雨強度の断続的降雨で, 1 降雨イベントのなかで複数回の CSO を発生させる降雨とした。

上記に示した分類法を用いて 2004~2010 年までの CSO を発生させた全各降雨を対象として, 各タイプ毎における CSO の流出回数を Table 1 に示す。

Table 1 降雨タイプ別 CSO 発生回数

観測年	タイプ		
	A	B	C
2004	32	11	2
2005	36	10	2
2006	27	18	6
2007	25	14	2
2008	29	6	5
2009	24	6	1
2010	38	5	3
合計	211	60	22

国が定める合流改善目標の一つに「公共水域への流出回数を半減させる」という項目がある。年間の発生回数の約 62% を占める総降雨量 30mm 以下の降雨は, そのほとんどがタイプ A と一部のタイプ B に集中している。CSO を発生させる総降雨量 30mm までの降雨に対して対策を講じることで, 流出回数を半減させることが可能である。しかし, 汚濁負荷量は, 年間の発生回数が約 3 回と少ないタイプ C が約 50% を占めることから併せて対策を講じる必要がある。

4.3 長岡市における経年変化

流出量・回数とともに CSO 発生直後の高濃度汚水(ファーストフラッシュ)の濃度も減少傾向にあることがわかった。無降雪期間におけるファーストフラッシュ(12 検体)についての平均濃度の経年変化をみると, BOD は各観測年において大きな変化はなく約 150mg/L 程度で推移している。一方で SS は, 各観測年度における微増減の変動はあるものの, 2005 年の約 300mg/L をピークに低下傾向にある。4.1 に記述したように, 発生量・発生回数の減少と濃度の低下から, 公共用水域への汚濁負荷も減少したものと考えられた。

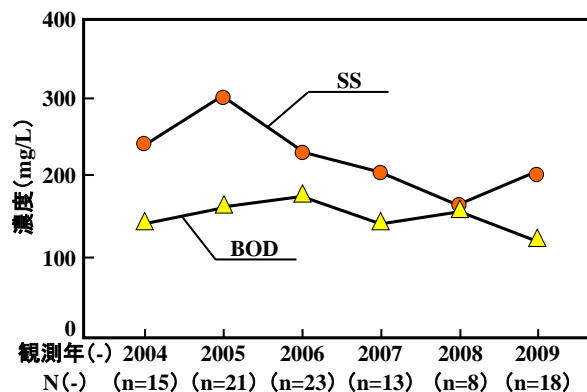


Fig.4 ファーストフラッシュにおける濃度変化

この要因を研究対象地域内における人口の変化、降雨発生状況の変化を挙げた。

世帯数は2006年を、人口は2004年をピークに減少しており2009年では3,481世帯、7,887人となった。下水道統計より数百人単位の人口変動では汚水量に影響がないことがわかった。これは本研究の晴天時流量からも明らかとなり、人口変化に伴うものではないと判断した。

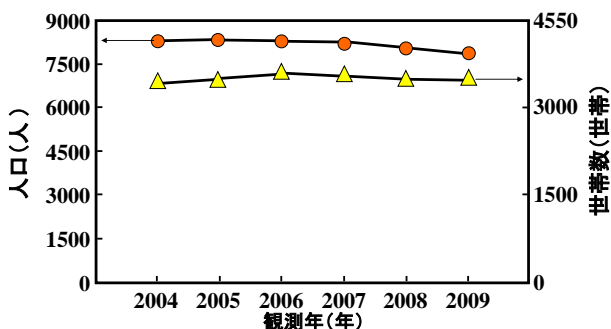


Fig.5 観測地域内における人口・世帯数推移

次に、降雨の経年変化について考察を行った。各独立降雨においてCSOは複数回発生することがあるが、後発のCSOは管内流量が増加しており1度目よりも弱い降雨強度でもCSOを発生する可能性がある。そこで、1降雨中に発生する全てのCSOをまとめて1回とし、各降雨強度別の発生回数とCSO発生降雨回数について検討した。これまでの観測結果から、CSOは降雨強度3mm/hr前後で発生しており、年間の降雨発生回数に大きな変化はないものの、降雨強度3mm/hr以下の降雨発生回数の増加により、CSO発生回数が減少した可能性がある。

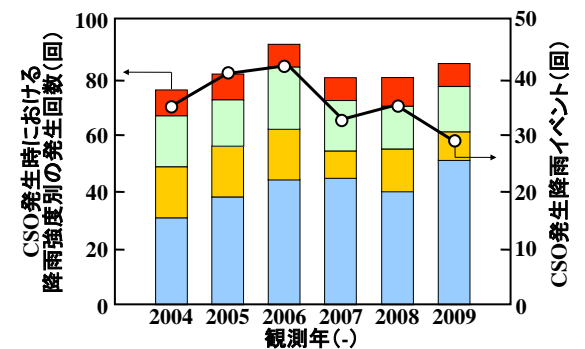


Fig.6 CSO発生降雨における降雨強度の変化

5. 対策効果の検証

研究対象地域における人口変化、降雨発生状況の変化は、CSOの発生状況に大きな影響を及ぼさないことがわかった。そこで、その他の要因として管更生の実施を挙げた。

長岡市では、2003年度より合流式下水道敷設地域において管渠の更新工事を実施している。管更生は、管内のたわみや窪地の解消や、不明水を遮断する効果が期待できる。長岡市では、管更生の進捗とともにCSO発生時の降雨強度が増加していることがわかった(Fig.7)。しかし、管更生の実施によるCSO削減効果との明確な関係性はこれまで明らかとなっていない。また、管更生の実施は長岡市に限らず全国の自治体で行われている。そこで、長岡市における長期連続モニタリングの結果と、全国の管更生工事実施都市における下水処理場における経時変化から、管更生工事のCSO対策としての効果を明らかとすることで、汎用的技術であることを示す。

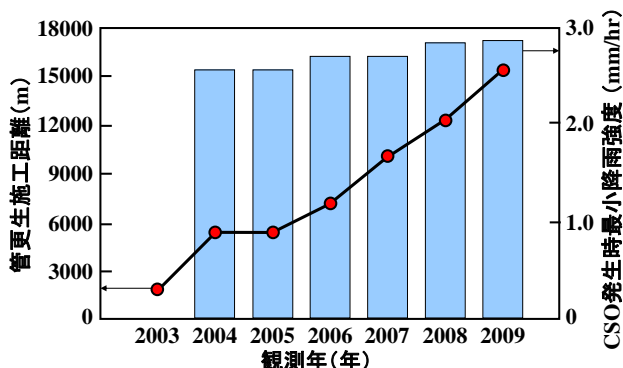


Fig.7 管更生の進捗に伴うCSO発生状況の変化

5.1 不明水の流出入とCSO

5.1.1 管内への流入不明水が多い場合

不明水は、主に降雨時に地下へと浸透した雨水が、下水管に発生したクラックと呼ばれる破損部や、管と管との継手不良部から浸入してくる。しかし、雨天時に限らず晴天時にも地層中の地下水が浸入することもある。

Fig.8(左)に示すように、健全な下水管であれば不明水の浸入がなく流入下水分が処理場へと送

られる。しかし、不明水の浸入がある場合は通常の遮集量よりも多く処理場へと送られる。さらに、健全な管渠における最大遮集量の下水が管内を流れる場合には、本来より早く CSO を発生させる可能性があり、公共用水域への汚濁負荷を増大させる可能性がある。(Fig.8(右))。

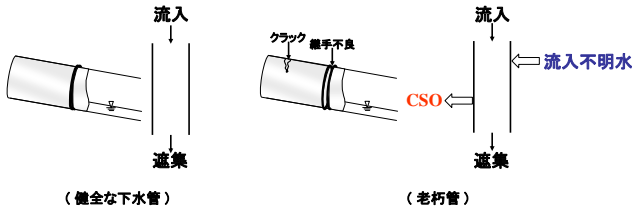


Fig.8 不明水流入の概要図(不明水タイプ A)

5.1.2 管外への流出不明水が多い場合

クラックの発生箇所は、管頂部や側面とは限らない。Fig.9 に示すように管底部にクラックが発生した場合には、本来処理されるべき下水が地層中に流出している可能性がある。そのため、CSO を流出させる降雨が発生した場合、CSO 発生量は見かけ上は減少しているように見える。よって、CSO による公共用水域での水質汚濁は減少する一方、地層中への汚水の流出による土壤汚染を招く可能性が懸念される。

このような地域では、管更生の実施により CSO の発生量・発生回数は増加することが考えられる。しかし、これは土壤汚染を防ぐと共に、下水道の敷設当初に想定された下水の流下状況に回復するものともいえる。

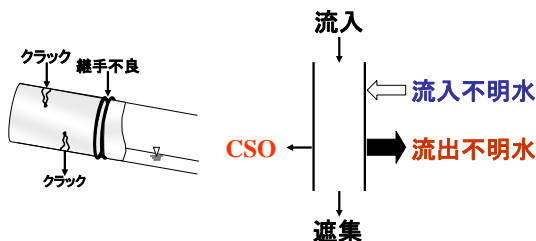


Fig.9 不明水流出入の概要図(不明水タイプ B)

5.2 ヒアリング調査結果

管更生を実施している自治体にヒアリング調査を行い、回答を得ることができた7都市の結果(下水流入量,人口,年間総降雨量)を Table 2 に示す。

Table 2 管更生実施都市へのヒアリング調査結果

処理区域	処理場流入量 (m ³ /年)	人口 (人)	年間平均降水量 (mm/年)	不明水タイプ
長岡	↓13%	↓5%	2,088	A
A	↓37%	↑1%	1,748	A
B	↓10%	↑1%	1,390	A
C	↓24%	↑6%	1,275	A
D	↓24%	↓1%	1,275	A
E	↑7%	↑13%	1,599	B
F	↓37%	↓19%	1,721	A

長岡市をはじめ、管更生実施前後で処理場への流入量が減少している地域では、管外への流出不明水量よりも管内への流入不明水量の方が多いと考えられる(不明水タイプ A)。このような地域では、管更生の進捗に伴い浸入水量が年々減少し、CSO 流出量・発生回数も削減されることが推測される。一方で、E は管外流出量が流入不明水量を上回った地域(不明水タイプ B)と推定することができ、管更生の実施により敷設当初の流入量にまで回復したものと考えられる。このような地域では CSO 流出量・回数が増加する可能性もある。以上のことより、不明水の管外流出量が管内流入量を上回らない都市において管更生を実施することで、CSO 対策技術としての効果が期待できる。また、目視やテレビカメラによる不明水調査を実施することにより、事前に不明水タイプを予測することが可能と考える。

6. まとめ

- CSO は同一の観測地点においても各年で発生回数及び、流出量が大きく異なる。
- 総降雨量 30mm までの降雨に対して対策を講じるだけでも、流出回数を半減させることが可能である。
- CSO 発生量・発生回数に、人口推移や気象変化は大きな影響を与えない。
- 流出不明水量が流入不明水量を上回らない地域において、管更生は CSO 対策技術として期待できる。

参考文献

- 1) 草場大作(2007), 合流式下水道越流水の長期観測に基づく汚濁負荷解析と対策の検証