

長期連続観測に基づいた流出解析モデルによる 長岡市の合流改善対策案の効果と検証

指導教員 藤田昌一 小松俊哉 姫野修司
廃棄物・有害物管理工学研究室 修士2年 大羽澤 圭佑

1. 研究背景

近年、日本国内で合流式下水道からの越流水問題が重要視され、その改善対策が急務となっている。本研究では、長岡市公共下水道の合流区域にオートサンプラー、流量計、雨量計を設置し、合流式下水道越流水（Combined Sewer Overflow：以下「CSO」と呼ぶ）の水量・水質を把握するために越流水を継続的に採水し、越流開始直後のCSOの水量・水質を20ヶ月間、常時連続観測している。さらに、流出解析モデルの1つであるMOUSEを用いて、実降雨データより雨水流出をシミュレーションし、越流負荷量を半減させるために貯留施設などの対策案がどのような効果を発揮するのか検証することを目的としている。

2. 研究対象区域

長岡市では、市の中心部を流れる信濃川の東側（長岡駅周辺）で合流式下水道を採用しており、合流式下水道面積は676haである。

本研究では、Fig.1に示す合流区域約150haを対象とした。ここは、駅の周辺を中心市街地であることから、合流区域内で最も水質が悪いと考えられる。また、関東町ポンプ場付近には信濃川の支流である柿川に下水を放流する吐き口が存在し、雨天時において大量の雨水が越流堰を越えて未処理で吐き口より柿川に放流される構造になっている。そこで、柿川へ放流されるCSOの水量および水質を把握するために、関東町ポンプ場付近にCSOを採水する小屋を設置し、CSOの放流状況など現況を把握していくことにした。

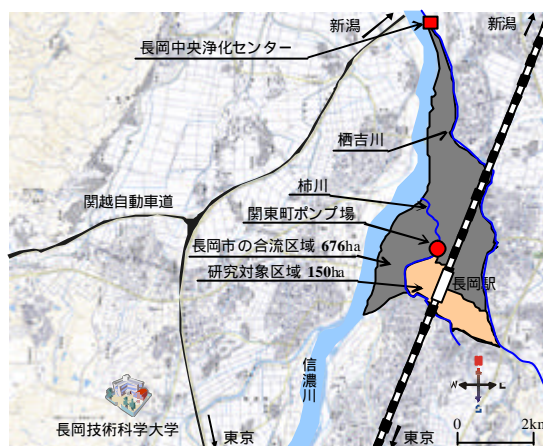


Fig. 1 長岡市の合流区域と研究対象区域

3. 常時連続観測手法

関東町ポンプ場付近にある雨水吐き室の上流側と下流側にそれぞれ水位計と流速計を設置した。また、雨水吐き室付近に下水を採水するためのオートサンプラー（20サンプル採水可能）を設置し、関東町ポンプ場の屋上に雨量計を設置して、下水の流量および降雨量を1分間隔で常時連続観測している。また、採水した下水は本大学に持ち帰り下水試験方法に則ってSS、BODの水質測定を行った。

2004年6月8日から観測を開始し、2006年1月31日にいたるまでの20ヶ月間、常時連続観測に成功した。



Fig. 2 オートサンプラー

3.1.採水条件

実測より、雨水吐き室内の水位が 600mm で越流が開始していることが分かった。CSO の水質挙動を正確に把握するためには、越流開始直後短期間に水質が大きく変化するファーストフラッシュ現象を採水する必要がある。そこで、雨水吐き室へ流入してくる下水の水位が 600mm を超えたらオートサンプラーが採水を開始するようなシステムにした。

採水間隔は、モニタリングマニュアルの間隔より、越流開始直後の採水間隔をより密にし、CSO の水質挙動を把握できるようにした。

Table 1 オートサンプラーの採水間隔

晴天時	採水間隔	1時間間隔			
	採水期間	24時間			
雨天時		採水開始	~1時間	~2時間	2時間~
	採水間隔	-	5分間隔	10分間隔	1時間間隔
	採水期間	サンプル瓶20本回収するまで			

3.2.測定機器の精度確認

降雨量と流入量を観測するためには、高精度の観測機器が必要不可欠である。

3.2.1.流量計

観測小屋付近の雨水吐き室より2スパン上流側から 16tの水を流し、流量計が正確に増加分である 16tを観測できるか実験した。

その結果、流した流量の約 95%を観測しており、流量計の精度が十分であることが確認された。

3.2.2.雨量計

本研究で用いている雨量計データ(1分間隔)と、その近傍に設置されている気象庁の雨量計データ(10分間隔)との相関をとって、精度確認を行った。その結果、相関が高く、本研究で用いている雨量計の精度が高いことを確認した。

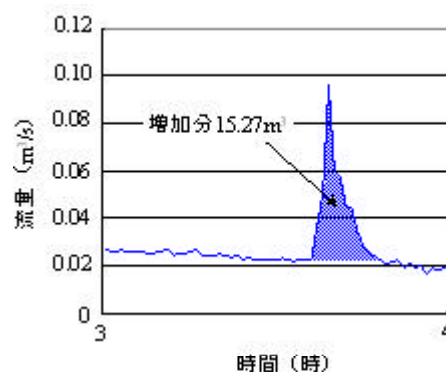


Fig.3 流量計の精度確認実験結果 (2004年9月26日)

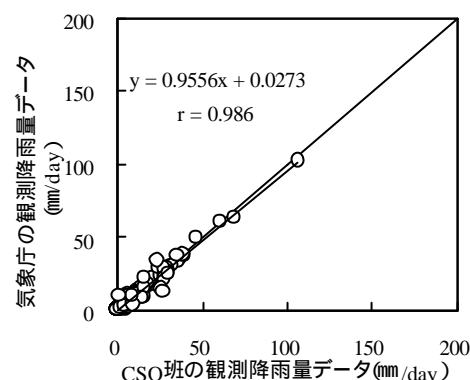


Fig.4 雨量計の精度確認実験結果

4.常時連続観測結果

4.1.CSO の連続観測結果

20ヶ月間におよぶ常時連続観測より、越流が 444 回発生したのを確認した。Fig.5 に、これまでの観測結果の一例として、2005年10月1日~15日における CSO の連続観測結果を示す。

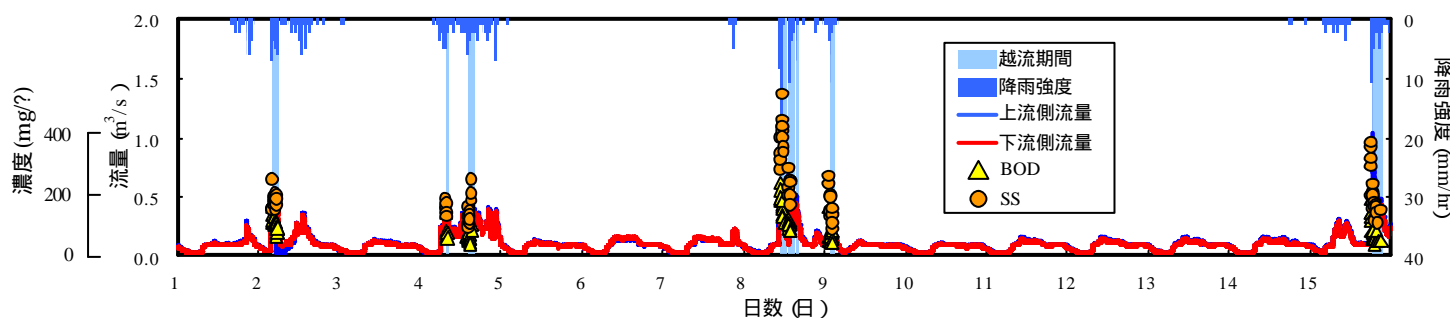


Fig.5 2005年10月1日~15日における CSO の挙動

これまで、2004年7月13日に新潟県を襲った水害も含めて全ての降雨においてオートサンプラーは稼動し、ほとんど全てのCSOの水質測定に成功している。また、常時連続観測を行ったことで、降雨初期に発生するファーストフラッシュ、および断続的越流を採水することに成功し、また、降雨強度に左右されることなくCSOを採水することに成功した。

4.2.晴天時の水量・水質

晴天時における24時間、48時間の採水実験を数回行った。これらの実験結果から長岡市の晴天時におけるSS、BODの波形を決定し、流出解析モデルの晴天時データとする。実験から得られた各時間帯の水質を平均化して晴天時の水質を決定した。Fig.6に、平均化により算出された晴天時の水質波形を示す。

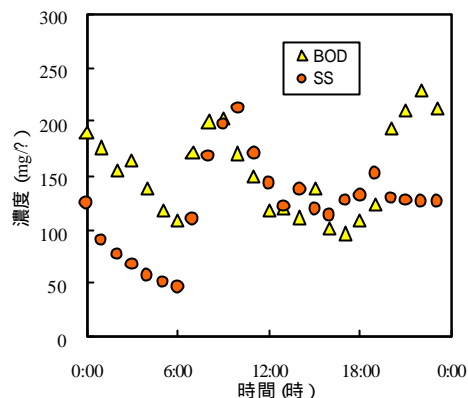


Fig. 6 長岡市における晴天時の水質波形

5.流出解析

MOUSEは、現在、長岡市におけるCSOの現況を把握するために、オートサンプラーを用いたCSOの常時連続観測を長期にわたって行っている。しかし、越流期間すべてにおけるCSOの水質測定を毎回行うことは困難であり、この欠測期間の水質を把握するために、本研究では、流出解析モデルの1つであるMOUSEを用いて流出解析シミュレーションを行うこととした。

5.1.MOUSE

1980年に水文学的分野をデンマーク大学環境工学研究所、水理学的分野をデンマーク水理研究所(DHI)が開発し、目的に応じて各モジュールを選択するシミュレーションソフトである。¹⁾この流出解析の最大のメリットは、汚濁負荷量を算出することができるということと、合流改善対策案の効果を検証できることである。

5.2. 現況施設のモデル化

管渠ネットワークデータなどの、流域データを下水道台帳や流量計算書より読み取った。その結果、研究対象区域には、下水管が1257本敷設されていた。そこで、まず幹線のみをモデル化し、次に幹線に接続する枝線をモデル化していった。Fig.7~8に幹線のみの場合と現況施設全てのモデル化を示す。

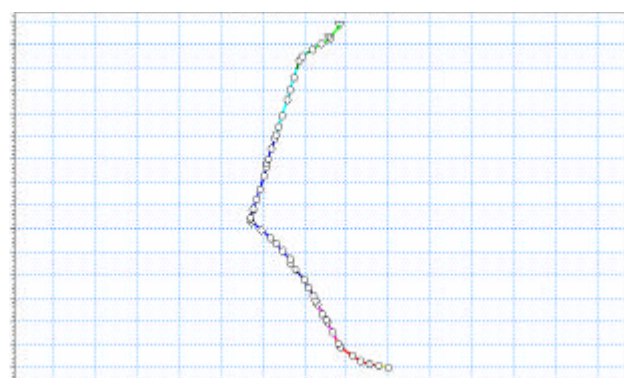


Fig. 7 幹線のみモデル化

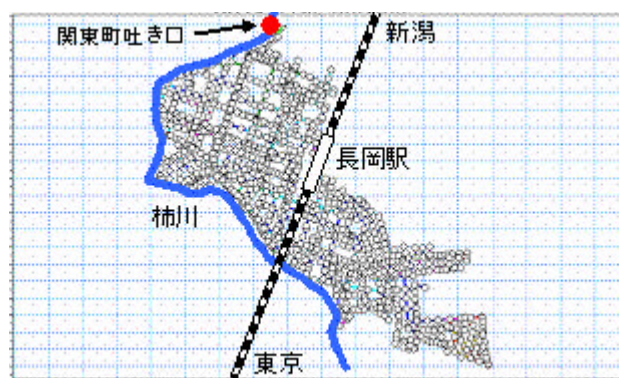


Fig. 8 現況施設(幹線と枝線)のモデル化

5.3. 流出解析結果（第一段階）

研究対象区域に関するデータの入力終了のため、まず 2005 年 10 月 15 日における雨天時の流出解析シミュレーションを行った。流出解析結果を Fig.9 に示す。ここでは、関東町の雨水吐き室より 1 スパン上流側の流量の実測値と MOUSE による計算値の比較を行った。

流出解析結果から、MOUSE による計算値のほうが実測値よりもはるかに大きいことが分かった。この原因として、流出解析に用いた流出率の 80% に問題があると考えた。波形は似ているにも係わらず、計算値の流量が多いということは、流出率が実際よりも高く設定されたために計算値のほうが大きくなったと考えられる。しかし、この流出率は長岡市の計画における流出率を参考にしたものである。そこで、その他の原因として、現況施設のどこかで下水が漏れている可能性や部分的な分流区域が存在し雨水の流入面積が計算で想定した 150ha より少ない可能性が示唆された。そこで、現地調査を行い研究対象区域の実際の流出率を把握することにした。

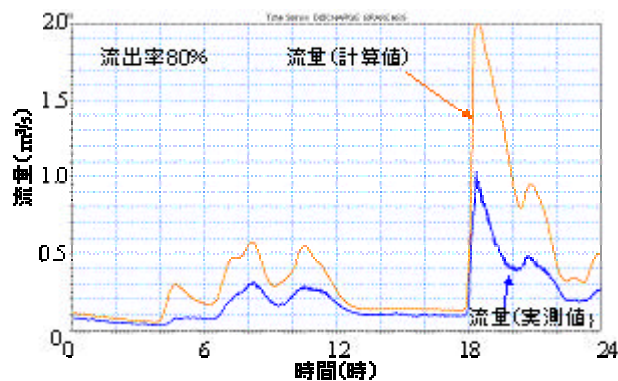


Fig. 9 2005 年 10 月 15 日の流出解析結果-①

5.4. 現地調査

現地調査の結果、関東町吐き口の上流側に 1 つの吐き口（川端荘吐き口）が存在し、そこから CSO が柿川へ放流されていることを確認した。さらに、研究対象区域には雨水のみを河川へ放流する吐き口が 11 個存在し、各吐き口が受け持つ雨水排水面積を算定した結果、約 20ha が部分分流区域として雨水を直接河川に排水していることが分かった。これらの情報を、MOUSE のモデルへ入力し改めて流出解析シミュレーションを行うこととした。その結果、流出率 60% として計算したときに計算値と実測値の流量が一致し、これは、当該区域の流出率としては、土地利用から見てほぼ妥当な値であると考えられる。このようにして、研究対象区域の流出率を解明することができた。この結果を基に、雨天時における水量・水質の流出解析を行った。改めてモデル化をし、2005 年 10 月 15 日において流量のシミュレーションを行った結果、計算値と実測値の流量がほぼ一致した。また、他の

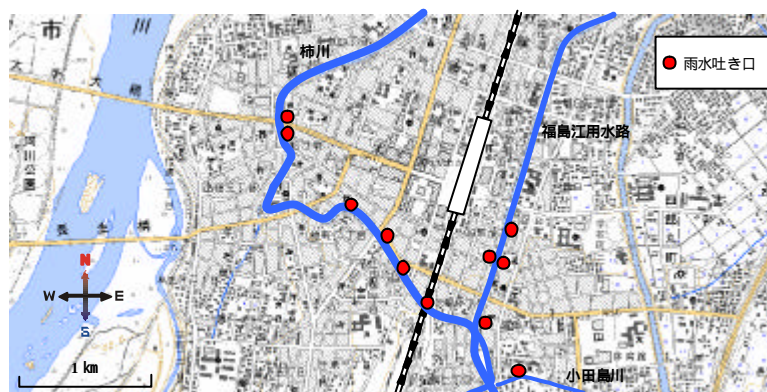


Fig. 10 研究対象区域に点在する雨水吐き口

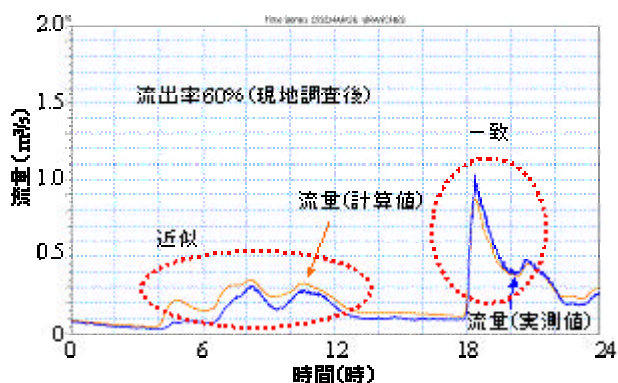


Fig. 11 2005 年 10 月 15 日の流出解析結果-②

5.6. 対策案の効果と検証

合流改善対策としては、「汚濁負荷量の削減」、「公衆衛生上の安全確保」、「きょう雑物の削減」について目標を設定して行わなければならないとされている。²⁾このうち、「公衆衛生上の安全確保」については、全ての吐き口において越流回数を少なくとも半減することを目標としている。また、「汚濁負荷量の削減」については、分流式下水道と同程度まで削減する必要があるとされている。²⁾本研究では、汚濁負荷量を半減させることで、公共用水域の水質汚濁を防ぐこととした。そこで、越流回数、汚濁負荷量ともに半減させるために必要な貯留施設の規模を算出した。

5.6.1. 越流回数半減

越流回数を半減させるために、2004年6月8日から2006年1月31日までの越流量を算出し、降順に並び替えた。越流回数を半減させるためには越流量の中間値と同程度の大きさの貯留施設があれば可能となる。これより、470m³程度の大きさの貯留施設があれば越流回数を半減することが可能であることが分かった。

5.6.2. 汚濁負荷量半減

一方、負荷量を半減させるために、貯留施設を模擬的に関東町吐き口より少し上流の箇所に設置させ汚濁負荷量解析を行い、どの程度の規模の大きさの貯留施設が必要か検討した。

貯留施設設置前における条件での、ファーストフラッシュによる汚濁負荷量の実測値と計算値との比較、および10,000m³の貯留施設を設置した場合、6,000m³の貯留施設を設置した場合における条件での計算値と比較した結果をTable 3～5に示す。ここで、削減率の算出方法については、貯留前の負荷量をAとし、貯留後の負荷量をBとした場合、AからBをひき、Aで除した値に100を乗じて算出した。

Table 3 貯留施設設置前

	汚濁負荷量 (kg)	
	SS	BOD
実測値	452	307
計算値	349	269
精度 (%)	77	88

Table 4 10,000m³の貯留施設設置

	汚濁負荷量 (kg)	
	SS	BOD
貯留前 A	349	269
貯留後 B	55	43
削減率	84	84

Table 5 6,000m³の貯留施設設置

	汚濁負荷量 (kg)	
	SS	BOD
貯留前 A	349	269
貯留後 B	157	128
削減率	55	52

シミュレーションの結果、実測値と計算値の精度も高く、6,000m³貯留することで、SS、BODの河川への流出汚濁負荷量とともに半減することが可能であると判明した。

6. まとめ

20ヶ月間におよびCSOの常時連続観測に成功し、CSOの挙動を詳細に把握した。

現況施設のモデル化に成功し、どの降雨条件においても水量・水質ともにシミュレーションにより算出することが可能となった。

470m³貯留すると越流回数半減可能、6,000m³貯留すると汚濁負荷量半減可能なことが分かった。

参考文献

- 1) 社団法人 日本下水道協会, 「第13回下水道技術セミナー」, 2003, pp179-210
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部 財団法人下水道新技術推進機構, 「合流式下水道の改善対策に関する調査報告書」, 2002, pp -24~ -30