

CSO濁度計の開発

🔊 合流式下水道，汚濁負荷，計測，センサ

* 豊岡和宏 Kazuhiro Toyooka

概要

雨水を流す管渠と同一管渠で汚水を集める合流式下水道には、雨天時越流水（CSO：Combined Sewer Overflow）の課題がある。快適な水辺空間の形成が求められる中、2004年4月1日に行われた下水道施行令の一部改正により、CSOのBOD₅（Biological Oxygen Demand）濃度規制値は、2014年度から（処理区域面積が1500haを超える公共下水道は2024年度から）40mg/L（現行70mg/L）に強化される。処理区域の8割以上が合流式である東京都区部などでは、一層効果的な合流改善対策の実施が必要となっている。当社はそのようなニーズに、既存施設の環境影響を計測定量化し、合流改善策の効果向上につながるデータ提供で貢献していくことを目的として、CSO汚濁負荷を測定する濁度計センサを開発した。



CSO濁度計と変換器

1. ま え が き

(1) 下水排除方式 下水道には、雨水を流す管渠と同一の管渠で汚水を集める合流式と、別の管渠で集める分流式がある。合流式下水道は、全国下水道処理区域面積の約2割で用いられている方式で、割合の多少はあるものの、先行的に下水道整備を進めてきた大都市で採用されている。東京都区部は約8割が合流式であり、これは汚水対策と雨水排除対策が同時に求められる中、狭あいな道路が多く、汚水と雨水の管渠を別けて敷設することが困難であることなどによる^(注1)。

合流式下水道には、雨水排除の時に汚水の一部や管内に堆積した沈砂やオイルボール^(注2)などの汚濁物質が公共水域に排出され、水域の景観や水質に影響を及ぼす合流式下水道雨天時越流水（CSO：Combined Sewer Overflow）の課題があ

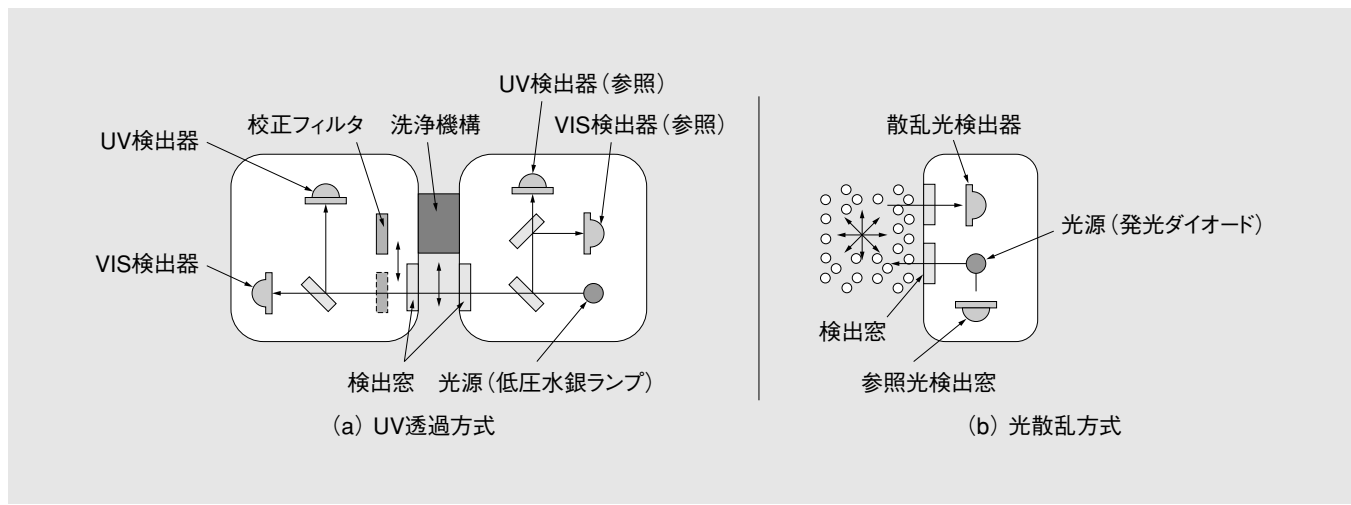
り、対策が必要となっている。

(2) 法改正とその対応・課題 前述の合流式下水道の課題に対する改善策として、2004年4月1日に下水道施行令が改正され、2014年度（処理区域面積が1500haを超える公共下水道は2024年度）から、合流式下水道越流水のBOD₅（生物化学的酸素要求量：有機物が生物学的に分解され安定化するのに要する酸素量）濃度の水質規制値が、処理区年平均値で現行の70mg/Lから40mg/Lに変更される。

現在、合流式下水道における放流水質については、法令に基づく雨天時放流水試験などで実施しており、採水には人手による作業が前提となるが、安全確保などを考慮すると採水場所が制限され、また越流は短時間現象であるため越流のタイミングを的確にとらえることは困難である。

(3) 雨天時越流水濁度計 当社は、雨天時の合流式下水道越流水汚濁負荷監視制御システムの構

*水・環境事業部 営業技術部



第1図 UV透過方式と光散乱方式の特長比較
 UV透過方式より光散乱方式が保守性に優れ測定系が簡素なため、堅ろう性に優れている。

築を最終目標として、東京都下水道局、東京都下水道サービスと2009年度に共同研究を開始した。この中で、雨天時越流水の汚濁負荷測定を基本課題として、合流式下水道越流水の汚濁負荷を自動で連続計測するシステムを開発してきた。その開発目標は、

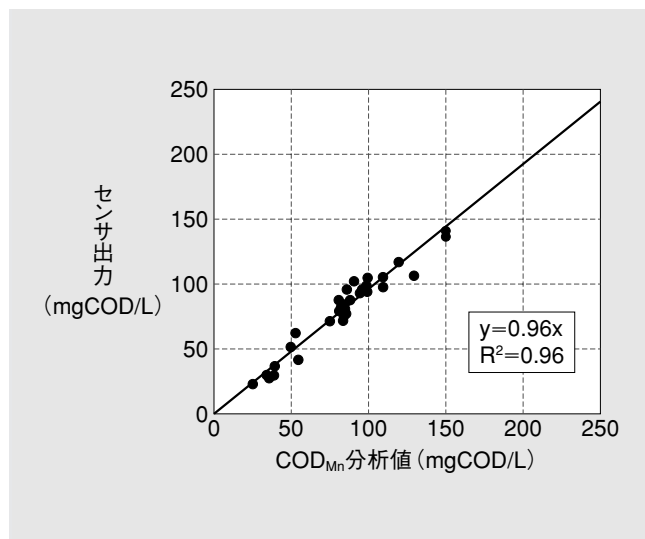
- (a) CSOの汚濁濃度を測定可能
 測定範囲：BOD₅換算で0~400mg/L以上
 測定精度：公定法のBOD₅との相関係数(R)が0.7以上
- (b) 下水管渠雨水吐き口などの設置可能
- (c) 保守作業が容易
 保守周期：1か月以上
- (d) 測定データを遠隔地に伝送可能
 となっている。

この研究成果を生かせば、雨天時に公共用水域へ放流する施設（雨水吐き口）における汚濁負荷を計測し、未処理汚濁物質の越流実態を把握することができる。更に、管渠ネットワークの流出解析などと組み合わせることで、汚濁負荷量や降雨後の時間経過を考慮した流出状況を予測することができる。本稿では、これまでにCSO濁度計を開発し、ポンプ所汚水を対象とした連続計測を行い、濁度計の性能を評価したので、その結果を紹介する。

2. センサ測定方法の事前調査

CSO濁度計における汚濁濃度の測定方式を決定するために、以下の検討を行った。

BOD₅、COD_{Mn}などの下水有機汚濁濃度を自動計



第2図 光散乱方式の計測値とCOD_{Mn}手分析値の相関
 相関係数は0.98となり、光散乱方式による計測値とCOD_{Mn}手分析値は強い相関が得られた。

測するセンサとしては、紫外線吸光度を検出原理としたUV透過方式のセンサと浮遊固形物散乱光量を検出原理とした光散乱方式のセンサの2種類がある。ここで、センサに求められるのは有機汚濁濃度との相関や測定器の安定性が重要であると判断した。第1図にUV透過方式と光散乱方式の特長を比較して示す。両者を比較すると、測定系の構成が簡素なため、UV透過方式より光散乱方式が保守性に優れ、且つ堅ろう性に優れていると判定できる。

次に、COD_{Mn}手分析値との相関を調べるため、光散乱方式について試験水を試料に汚濁濃度測定試験を行った。第2図に光散乱方式の計測値とCOD_{Mn}手分析値の相関を示す。相関係数は0.98と

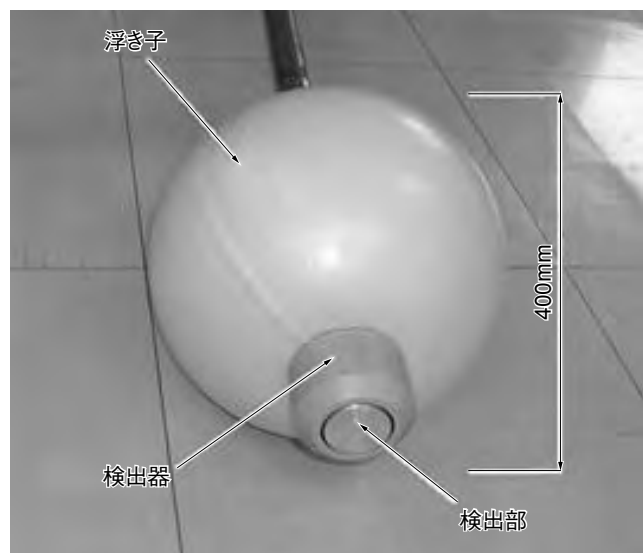
なり、強い相関が得られた。以上の検討により、CSO濁度計の測定方式として光散乱方式を採用した。

3. 開発仕様と試作器概要

CSO濁度計に求められる性能は、(1)生下水、特に雨天時の下水の有機汚濁濃度を精度良く測定できること、(2)長期間安定して測定できること、(3)堅ろうで耐環境性に優れていること、(4)省電力タイプの計測器であること、(5)測定結果を遠隔地に伝送できること、(6)保守作業が容易なこと、である。これらを満足するものとして、CSO濁度計の開発仕様を以下のように定めた。

- (1) 適用場所 ポンプ所・下水管渠雨水吐き口など
- (2) 測定範囲 COD_{Mn}換算で0~150mgCOD/L以上
- (3) 測定精度 COD_{Mn}計測値と分析値の相関係数 R²: 0.8以上
- (4) 保守周期 1か月以上(自動洗浄機構を有する)
- (5) 構造 下水の流下阻害にならないこと
- (6) 電源 バッテリーで供給が望ましい
- (7) 伝送 無線伝送・光伝送が望ましい
- (8) 作業場所 下水マンホール(短時間で保守が可能)

上記の開発仕様に従い、CSO濁度計を試作した。第3図に試作器の外観を示す。合流式下水道のポンプ所や雨水吐き口では、晴天時水位が低いか又はゼロであるため、検出部が空气中に露出して汚



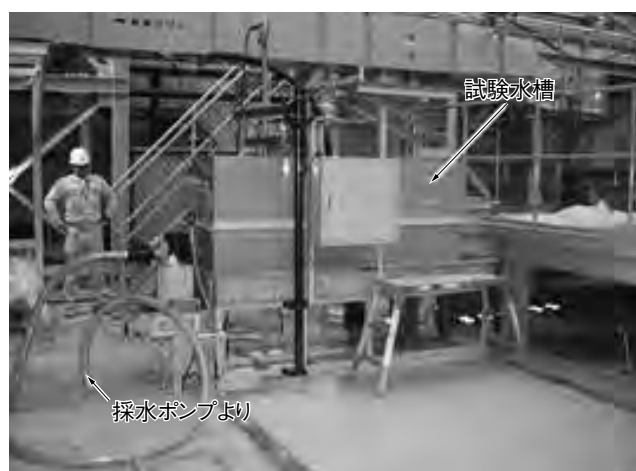
第3図 試作器(格納時)

検出部は浮き子を備えたフロート式とし、雨天時の水位上昇と共に検出部も上昇し、越流せきの越流部近くで濁度計測が可能な構造にした。

れが付着しやすく、またいったん付着するとはがれにくくなる。そこで試作器では検出部を可動式とし、水位が一定以上では検出部が突き出し、一定以下では洗浄薬液を満たした本体に格納できる構造とした。更に検出部は浮き子を備えたフロート式とし、雨天時の水位上昇と共に検出部も上昇し、越流せきの越流部近くで濁度計測が可能な構造にした。

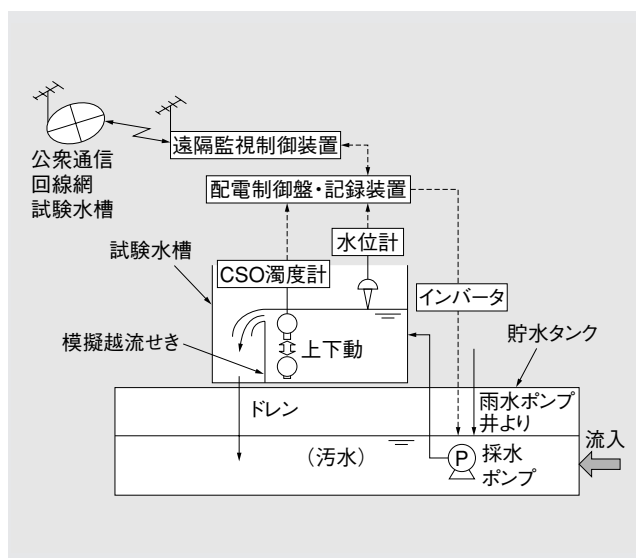
4. 実験概要

Aポンプ所汚水沈砂池に試験設備を設置し(第4図)、濁度の連続計測試験を実施した。第5図に試験設備のフローを示す。本設備では、沈砂池から試験水槽へ採水ポンプで汚水を連続的にくみ上げるが、この水槽内に幹線流下路と模擬



第4図 試験設備外観

Aポンプ所汚水沈砂池に設置した試験設備を示す。



第5図 試験設備フロー

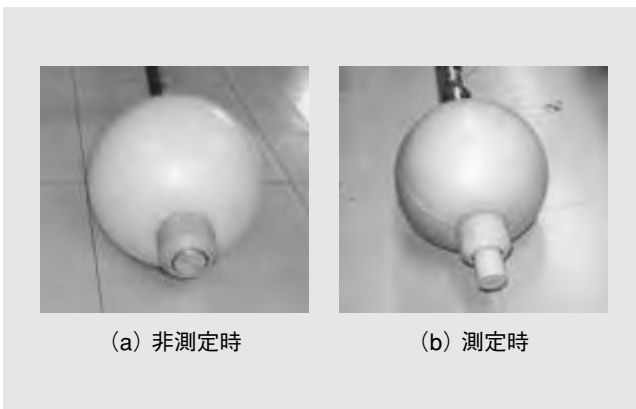
汚水は採水ポンプで沈砂池から試験水槽へ連続的にくみ上げる。

越流せきを有し、汚水流量が3Qを超えた場合にせきを越流する3Q越流が模擬できる(第6図)。Qは晴天時の計画時間最大汚水量、3Qはその3倍である。センサは90度散乱光式の濁度計であり、検出部が稼働して測定時に外部に突き出し、非測定時には洗浄薬液(9.5%塩酸)を満たした本体に格納する(第7図)。また、センサには浮き子がついているので、水位によって検出部が上下し、越流付近で計測を行うことが可能である。更にセンサ出力値は、携帯電話網を利用した監視システムを介し、Web上でリアルタイム・トレンドが監視できる。

一方、採水箇所の特徴として、水位により起動する雨水ポンプ井からの返水があり、計測上の外乱となることが予想された。



第6図 試験水槽
水槽内には幹線流下路と越流せきを有し、流量が3Qを超えた場合にせきを越流する3Q越流が模擬できる。

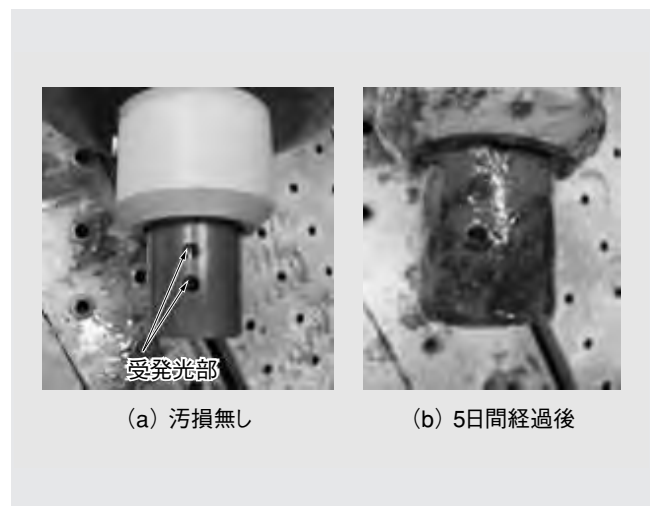


第7図 検出部
検出部が稼働して測定時に外部に突き出し、非測定時には洗浄薬液を満たした本体に格納する。

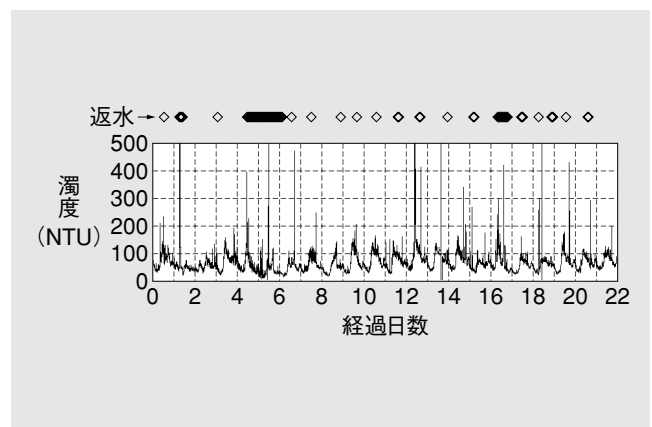
5. 実験結果

予備実験として、センサ検出部を突き出した状態で濁度計測を実施し、連続測定が可能な期間を確認した。その結果、5日間程度で散乱光の受発光部に異物が付着することが分かった[第8図(b)]。この結果を踏まえて、1日1回15分間の自動洗浄を開始したところ、汚れによる影響がなくなり連続的な計測が可能となった。

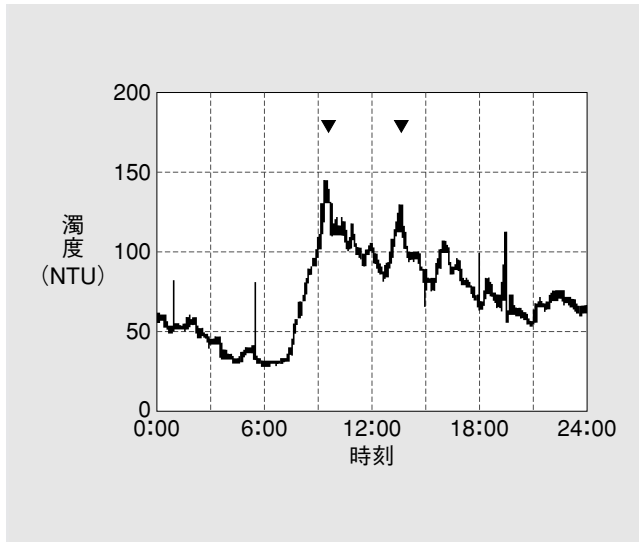
第9図に濁度計測値トレンドを示す。濁度計測値は1分おきにサンプリングした。横軸の経過日数は、計測開始日の零時を起点とした。CSO濁度計は、試験開始時にホルマジン標準液で校正した。CSO濁度計出力値は、外乱によるピークを除き20から300NTUの間で変動しており、変動周期は1日



第8図 計測部汚損状況
センサ検出部を突き出した状態で濁度計測を実施し、連続測定が可能な期間を確認したところ、5日間程度で散乱光の受発光部に異物が付着することが分かった。

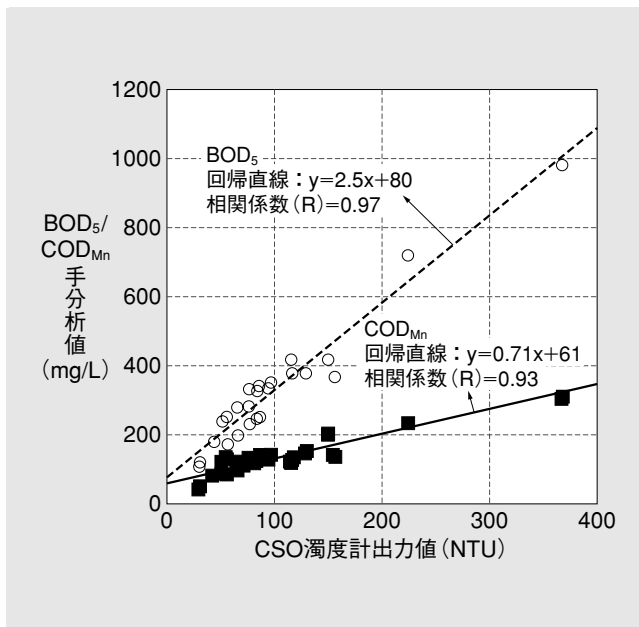


第9図 濁度計測値トレンド
濁度計出力値は、外乱によるピークを除き20から300NTUの間で変動しており、変動周期は1日であった。



第10図 典型的な1日の濁度変動例（経過日数11～12日目）

9時過ぎの朝の生活排水などによる濁度ピークと、13時半頃に昼食後のちゅうかい排水などによる濁度ピーク（▼印）を良くとらえている。



第11図 濁度計測値とBOD₅の相関

濁度計測値とBOD₅、COD_{Mn}の相関係数（R）はそれぞれ0.97、0.93となり強い相関が得られた。

であった。第10図に典型的な1日の濁度変動例として、経過日数11～12日目の濁度出力値を拡大して示す。これによると、当該箇所の周辺は住宅、病院やオフィスが混在しており、朝人々が活動を始めて、正午前後に汚濁物質濃度がピークを迎え、その後徐々に減少していくことを示している。また、9時過ぎの朝の生活排水などによる濁度ピークと、13時半頃に昼食後のちゅうかい排水などによる濁度ピーク（第10図▼印）を良くとらえている

ことから、雨天時のファースト・フラッシュによる雨水吐き口による急峻な水質変動にも十分対応できると考えられる。更に、第9図のグラフ上部に“◇”印を付けたパルス状のデータは、ポンプ所内の雨水ポンプ井の返水設備が稼働して沈砂池内の底部沈砂が巻き上げられた時のものであり、このタイミングで濁度が上昇したことをよくとらえている。

また、第11図に濁度計測値とBOD₅手分析値の関係と、参考までに濁度計測値とCOD_{Mn}手分析値の関係とを示す。濁度計測値とBOD₅の相関係数（R）は、0.97と強い相関が得られた。また、COD_{Mn}との相関係数（R）は0.93となり、これも強い相関が得られた。

6. む す び

合流下水道越流水の有機汚濁濃度を自動的・連続的に測定するCSO濁度計を開発した。また、ポンプ所の汚水を対象として連続計測を行い、性能評価を行った。検出部の自動洗浄（検出部格納による受発光部の薬品洗浄）機構により、連続測定が行えることを確認した。更に、濁度計出力は、1日の水使用のパターンから説明できる濁度変動をよくとらえており、BOD₅及びCOD_{Mn}手分析値と強い相関があることも確認した。

次のステップとして、季節変動や、予測が困難な集中豪雨（ゲリラ豪雨）など局所的・短時間に多量の雨が降った時、及び長期降雨時などの汚水についても検証するため、本試験を継続する予定である。また、雨水吐き口の3Qせき付近にCSO濁度計を設置して、雨天時未処理越流汚水計測の評価を行う予定である。但し、雨水吐き口へのセンサ設置には以下のような条件が伴う。

- (1) 電源の確保 CSO濁度計は発光、検出部の突出し機構などに電源を必要とし、近くから電源が供給できること。
- (2) センサ設置方法 雨天時の激しい管路内流れによる応力に耐え得ること。
- (3) 水位検知 CSO濁度計は、越流水をとらえて計測するので水位に応じて稼働させるため、管渠内の水位を計測するか、もしくは検出水位を検知するレベルスイッチを有すこと。

これらに対応するため、今後、雨水吐き口の実

地調査を行い、適合する設置方法を検討する予定である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

（注記）

注1：新合流改善クイックプラン（東京都下水道局 2004年9月）

注2：動植物油を主成分とする白色又は灰褐色の固形物で、管渠に付着、蓄積し、降雨初期などの速い流れではく離、流出する（ファースト・フラッシュ）。

《参考文献》

(1) 渡邊，豊岡，野口：「CSO汚濁負荷計測システムの開発」，第45回下水道研究発表会講演集，2008，pp.383～385

(2) 斉藤，大橋，豊岡：「合流式下水道越流水の汚濁負荷計測システムの開発」，第47回下水道研究発表会講演集，2010，pp.372～374

《執筆者紹介》



豊岡和宏 Kazuhiro Toyooka
水処理関連技術・製品の企画開発に従事

