

デジタル技術を活用した建築物環境衛生管理基準の達成等に向けた検証研究
貯水槽、排水管等建築物内水関連の衛生管理に資するデジタル技術に関する調査及び検討

研究分担者	三好 太郎	国土技術政策総合研究所	上下水道研究部	主任研究官
研究分担者	大塚 雅之	関東学院大学	建築・環境学部	教授
研究代表者	阪東 美智子	国立保健医療科学院	建築・施設管理研究部	上席主任研究官
研究協力者	徳安 真理奈	国土技術政策総合研究所	上下水道研究部	
研究協力者	角野 公亮	関東学院大学	工学研究科	修士課程

研究要旨

デジタル技術を活用した建築物内の水の衛生管理の効率化に向けて、受水槽清掃及び排水管清掃に関連する協会へのヒアリングを通じたニーズ調査並びに当該領域に適用が可能と考えられる技術に関する調査を実施した。ニーズ調査においては、事業継続に向けた熟練技術者の確保は困難となっているものの、デジタル技術の活用に関しては、十分に進展していない状況が明らかとなった。一方で、清掃状況の確認や技術継承、並びに排水管内閉塞状況検知技術など、複数の技術分野でデジタル技術の活用に期待が寄せられるなど、適用可能な技術の開発が求められていることも明らかとなった。技術調査に関しては、受水槽清掃分野では、ドローンや水中清掃ロボットといった点検・清掃支援ツールが、排水管閉塞状況検知技術に関しては、複数の非接触水位・流量測定技術が他領域において開発されていることが明らかとなったものの、いずれも建築物内の水の衛生管理を目的とした開発には至っておらず、適用方法が確立されているとは言い難い状況であった。排水管内閉塞検知技術に関しては、レーダー式レベルセンサを用いた排水管内水位の連続測定により、管内閉塞状況の評価ができる可能性を、実験的検討を通じて示すことができた。今後は、建築物内の水の衛生管理へ活用可能なデジタル技術について、ニーズを広く発信していくことを通じて、技術開発の加速を促すことが望ましいものと考えられる。

A. 研究目的

特定建築物内における飲料水及び雑用水の安全性を確保するためには、受水槽をはじめとする給水装置の衛生管理が必須である。また、建築物内で使用された水は、速やかに生活空間から排除される必要があるが、この時、排水管をはじめとする排水設備が所期の性能を発揮できない状態となっていた場合、使用された水が生活空間にとどまり、衛生環境を悪化させてしまう可能性が懸念される。建築物内における水の衛生管理においては、

受水槽や排水管等、水の供給及び排除にかかる設備を健全に保っておくことが必須であるといえる。

建築物衛生法においては、受水槽に関しては、定期的な目視による点検を実施するとともに、1年に一度の洗浄を実施することが定められている。これらの点検及び清掃は、定期的に行う必要がある業務ではあるが、自動化が困難な作業であり、専ら点検員あるいは清掃員による目視・手動による作業が実施されているのが現状である。排水に関する設備の清掃を6カ月以内ごとに1回の頻度で行うことが定められている。このよ

うな作業が適切に実施されなかった場合、排水管の詰まりによる排水の逆流、汚損、臭気の発生、トラップの破封による悪臭の発生やねずみ等の室内への侵入が懸念される。また、排水を一旦貯留する排水槽では硫化水素の発生、厨房系統に接される阻集器の不適切な維持管理による悪臭などの障害の発生がある。いずれの作業も、実施する際には作業技術の習熟が不可欠であり、そのような熟練作業者が減少していることも鑑みると、デジタル技術をはじめとする、近年開発が進められている技術を可能な限り活用し、作業精度を低下させることなく、作業負荷を低減する試みが特に重要となってきたといえる。

本調査では、上述の目的に向けて、受水槽清掃及び排水管洗浄の関連協会に対してヒアリングを行い、各業務における技術的課題並びに想定されるデジタル技術活用方策に関する情報収集を行うと同時に、ドローンや水位・流速検知技術をはじめとする点検支援ツールに関する技術調査を実施した。また、排水管内の水位検知技術を活用した排水管閉塞状況自動検知技術に関し、実験的検討も実施した。

B. 研究方法

B1. 貯水槽清掃、水関連設備点検に活用できるロボットに関する技術調査

特定建築物における貯水槽の清掃並びに貯水槽、マンホール等の水関連設備の点検に活用できる可能性のある自動化技術として、水中で稼働できる清掃ロボット並びにドローン等を活用した施設・設備点検支援技術について調査を行った。関連すると思われる技術について、インターネット上で公開されている情報に基づき、現状の製品開発状況、実用化状況を取り纏めた。

本調査における調査対象は、特定建築物に限定していない。水中清掃ロボットに関しては、水道用の配水池や浄水処理設備内、さらには水道以外で利活用される貯水設備を想定した技術も調査対象とした。点検支援技術については、建築物の劣化状況を点検するための技術に加え、道路、橋梁といった土木構造物や各種工場のような製造設備での適用が想定されている技術についても取り纏

めの対象とした。特定建築物の衛生管理において想定される状況で活用するためには技術的な対応が必要な余地が残っていたとしても、適切な調整、設計変更を通じて適用できる可能性のある要素技術を取り纏めることを本調査における主眼とした。

B2. 排水管洗浄に活用できる技術に関する調査

建築物衛生法の維持管理に関する記述、既往の診断技術、業者ヒアリングなどの調査結果より、配水管洗浄に対する現在の適用技術を明らかにした。

B3. 受水槽及び排水管清掃にかかる専門家へのヒアリング

公益社団法人全国建築物飲料水管理協会(全水協)及び一般社団法人全国管洗浄協会(管洗浄協会)の協力の下、受水槽及び排水管の点検、清掃を業務とする専門家合計 6 名に対して現状の業務における技術的な課題並びにそれらの課題の解決に向けたデジタル技術の活用方策に関するヒアリングを実施した。ヒアリングは、オンライン会議システムを通じた対話形式で実施し、現況で利用可能な技術に限定せず、今後の技術開発の方向性も含めた意見集約を行った。

B4. レーダー式レベルセンサを活用した排水管閉塞状況自動検知技術に関する実験的検討

本実験では、図 1 に示す供試排水横管システムを用いて、レーダー式レベルセンサを用いた排水管内水位変動の自動検知に関する検討を実施した。同図に示した通り、大便器の排水口芯から末端までの全長を約 17 m とし、末端には LT 継手(100 A×100 A)を接続した。排水横主管は透明塩化ビニル管、呼び口径は 100 A(実内径 103 mm)、こう配は 1/100 とした。

図 2 中に示した測定排水ます①～④にレーダー式レベルセンサを設置し、管内水位の経時変化を測定した。本研究では、管内閉塞発生時における排水管内推移変動を再現するため、図 3 に示す疑似停滞物(ニトリルゴム製抵抗体と油粘土を用いて作成)を排水管内に設置した条件での試験も実施した。上流に設置した大便器より連続で排水を行うことで、管内閉塞発生時の水位上昇を確認したのち、疑似抵抗体を撤去し、水位の変動(水位

低下)の状況を確認した。推移変動は、目視による確認を実施したうえで、当該推移変動がレーダー式レベルセンサの測定結果にも反映されているか否か、評価を行った。

C. 研究結果

C1. 点検・清掃ロボットに関する技術調査

表 1 に国内で販売されている水中用清掃ロボットの一例を示す。水道用配水池、養殖水槽、排水処理施設などで適用できる技術がすでに複数の製造者より市販されていることがわかる。調査対象とした機器の範囲では、給電方式はすべての製品において有線ケーブルによるものとなっていた。水中で、稼働不能となった場合に機器を回収するために陸上施設とワイヤー等で接続することが望ましいことも考慮すると、水中ロボットに関しては、電源供給や操作信号にバッテリーや無線通信を活用して稼働可能範囲を拡大するという要求は大きくないものと推察される。なお、調査対象とした製品のうち、1 番及び 2 番の製品については、一般社団法人日本水中ロボット調査清掃協会が定める「水中調査清掃ロボットの認定に関する規定」に基づく型式認定を受けており、審査過程において日本水道協会が定める浸出試験方法(JWWA Z108: 2016)の水質基準 51 項目の判定を受けている¹⁾。これらの製品は水道施設で使用しても水質へ影響しないロボットとして販売されている。配水池の清掃に関しては、資格を持った作業員が清掃、点検作業を行うことと定められている機器が複数確認された。これは、清掃、点検作業の良否が水道水の安全性に直結することから、作業員の操作技術を一定の水準に保つことが必要であると判断されているためであると考えられる。

貯水槽やマンホールといった水関連の設備の点検に活用できる可能性のある技術についても調査を行った。結果を表 2 に示す。設備点検技術に関しては、建築物関連でも床下や煙突などの狭小空間での点検を支援することを目的に開発された製品がすでに複数市販されて

いる。また、可燃性ガスが充満する可能性があるなど、点検作業に危険が伴うことが考えられる場合に適用されることを想定した製品も販売されている。貯水槽の壁面など、陸地走行ロボットでは点検が不可能な箇所の点検には、ドローンの活用も想定される。調査の結果、壁面を走行し、タイル等の劣化を検知できる製品が販売されていることも明らかとなった。これらの製品は、作業員との距離が離れた状態で運用されることを想定しているものも多く、無線通信による遠隔操作が可能なものが多い。また、事前に設定された巡回スケジュールに従う、自動巡回点検が可能となっている製品も存在している。

C2. 排水管洗浄技術に関する調査

建築物衛生法の維持管理に関する記述、既往の診断技術、業者ヒアリングなどの調査結果より、現在の適用技術を明らかにした。排水管の点検・診断技術としては、内視鏡、超音波肉厚計等を用いて、排水管内の劣化や詰まりなどを目視で診断している。その後、スネークワイヤ法、高圧洗浄法、ロッド法、薬品による洗浄、圧縮空気の衝撃による方法等による技術を用いて清掃作業が実施されている。その一連の診断～清掃～完了までのデータをデジタル化して収集し、その作業工程のフローを自動化した機器システムは現在のところ実用化されていない。業者ヒアリングにおいて、排水管洗浄作業の促進に向けて、排水管内の配水の流速を測定し、閉塞の度合いを判定する塗油音波流量計、透過放射線量から排水管内のスケール形成状況や閉塞状況を推定することができる放射線照射非破壊検査機器、並びに排水管途中に設けた分岐部に設置することで、管底を原点とする水位を計測することが可能なレーダー式水位センサーが有望視される。いずれの機器においても、閉塞状況を評価する際に活用できる指標の連続測定が可能であり、連続測定結果に基づき、排水管の閉塞が予測される場合には、早期に清掃作業を検討することが可能となるものと期待される。

C3. 全水協及び管洗浄協会へのヒアリング

全水協担当者に対して実施したヒアリングでは、当該領域においては、手動による作業が主流であることから、デジタル化が十分に進展していないこと、事業継続に必要な熟練技術者の確保が困難となっていること、ロボット技術等を活用し、現場作業を支援できる技術の開発は期待されるものの、現段階では技術的課題が多く残っていることが明らかとなった。一方で、清掃作業の結果報告等の書類作成に向けた業務支援ツールについては、既存クラウドシステムやタブレット端末等を活用した技術の活用が始まっている。現段階においては、全水協が建築物維持管理要領に基づいて作成している点検項目フォーマットを基盤として、各社が独自の報告書作成等支援ツールの開発を実施している。

デジタル技術の活用法として、現在、主流となっている繊維強化プラスチック(FRP)製やステンレス製の貯水槽における清掃状態の評価技術についても、期待が持てる。ATP測定装置を活用することで、生物活動に起因する有機物汚染を迅速に評価することができるようになっており、このような技術を活用することで清掃状況の正確な評価を通じて、水の安全性、衛生性の確保に資する清掃工程を構築することができる可能性が考えられる。

若手職員への技術継承に向けては、AIを活用した現場作業支援ツールの活用が期待される。作業状況の良否判断を、熟練技術者の判断基準を学習したAIによる画像解析で実施できるようになると、業務水準の均質化や業務効率の改善に資することとなると期待される。AIの学習に必要な画像データを集積する点などは課題であると考えられるが、近年では、作業者が装着できるようなカメラも販売されるなど、画像撮影のコストは以前と比較すると大幅に低減していると考えられるため、今後の発展が期待される領域であるといえる。

管洗浄協会の担当者に対して実施したヒアリングで得られた知見は以下のとおりである。

定期的な排水管の洗浄が実施されていない建築物においては、排水管内における油脂類・堆積物の状況が把握できておらず、排水管が閉塞し、排水が困難となった段階で、清掃が検討される事例も多い。このような場合に、排水管内の油脂類・堆積物の状況を連続的に監視することが可能な技術を導入することができれば、閉塞に起因する障害の発生を未然に防ぐことができる可能性が高くなる。流量計や水位計を設置し、排水管内の流量や水位の変化を常時計測することで、排水管内の油脂類・堆積物の状況を連続監視が可能となるものと考えられる。適用する技術については、流量測定においては超音波流量計、水位測定においては電波式水位計や超音波水位計といった非接触で流量、もしくは水位を測定できる技術であれば、既設配管に対しても追加設備として導入しやすいことから、適しているものと考えられる。

排水施設の定期点検に関しては、現状では、目視による検査が主流である。近年、技術開発が進んでいるカメラを活用した常時監視技術や、排水管内に充満するガス組成を測定することで、油脂類・堆積物の蓄積状況や、それに伴う腐食の進行を予測することのできる技術が開発されれば、排水管の腐食管理に資すること大であると考えられる。

現在、活用されているデジタル技術に関しては、貯水槽清掃の事例と同様、顧客に対する報告資料作成を支援するための清掃管理支援ツールが活用され始めており、報告書関連業務のデジタル化が進みつつある。これらのツールは、現状では各社が独立して開発しているものであり、従業員の作業負担を低減することを主たる目的としている。排水管の内部状況の監視には、内視鏡が多く使用されているが、内視鏡での検査の内容もクラウド等を通じて集約する試みも始まっている。

C4. レーダー式レベルセンサを活用した排水管内水位変化の検知に関する検討

図2に各測定排水ますの水位変動波形及び最高管内水位を示す。同図(1)には上流側の

測定排水ます①及び②を、同図（2）には下流側の測定排水ます③及び④の結果を示す。

同図（1）より、測定排水ます①での最高管内水位は 173.8 s 時に 219 mm であった。また、その前後においても水位が急上昇する波形が複数確認された。これは、大便器から排出された排水が連続的に測定排水ます①の側面に衝突したことにより、一時的に水位が急上昇したためだと考える。一方、測定排水ます②では、331.6 s 時に 24 mm であった。最高水位計測時前後の波形を確認すると、前では水位の上昇は瞬時的であるのに対し、後は継続的な水位上昇が確認された。これは、管内閉塞によって生じた水位上昇に加え、さらに大便器からの連続排水が重なったためであると考えられる。

同図（2）より、測定排水ます③における最高管内水位は、384.2 s 時に 70 mm、測定排水ます④では、319.0 s 時に 85 mm であった。両測定排水ますにおいて、時間が経過するとともに水位が上昇する傾向が確認できた。これは、管内閉塞により排水が排水管内に滞留し、さらに上流から繰り返される連続排水により水位が上昇したものであると考えられる。

その後 385.0 s 時に排水横管内の満水状態を目視確認したため、擬似停滞物を除去した。その結果、両図において管内水位は減少した。

以上の結果から、本実験に用いたレーダー式レベルセンサは排水横管内における管内閉塞に起因する水位変動を検知可能であることが示唆された。

D. 考察

事業者に対するヒアリングを実施したところ、貯水槽並びに排水管の清掃・点検に関しては、業務の多くが手動による作業を必要とすることから、デジタル技術を活用した自動化等の効率化・省力化に関しては、現段階においては十分に進展していないことが明らかとなった。一方で、ATP 測定器を活用した清掃状況評価、画像解析技術を活用した技術継承支援ツール、排水管内水位・流量の自動測定を通じた排水管内閉塞状況評価技

術等に期待が示されるなど、デジタル技術を適切に活用することにより、建築物内の水に関連する衛生管理の改善・効率化に資する技術を構築できる可能性は十分に高いものと考えられる。

既存の技術に関する調査を行った結果、現在、すでに確立あるいは実用化されている製品では、建築物内における水の衛生管理の自動化・省力化を念頭に開発されている商品はほとんど存在せず、既存製品を直ちに利用可能な状態となっているとは言い難いことも明らかとなった。この点に関しては、建築物内の水の衛生管理に活用できるデジタル技術に関するニーズの発信が不十分となっていることに起因する可能性が考えられる。

ATP 測定、画像解析、水位・流量検知技術など、本検討の中で、適用に期待を寄せられた技術の中には、建築物内の水の衛生管理以外の技術領域にて、すでに要素技術の開発、適用が進みつつあるものが存在する。それらの一つであるレーダー式レベルセンサを活用した排水管内閉塞状況検知技術について、実験的な検討を実施したところ、実用可能性を十分に感じさせる実験結果を得ることができた。国内には、衛生管理技術の適用先となる特定建築物が多数存在し、一定の市場規模を有しているものと考えられることから、上述したニーズ発信を適切に行い、適用が期待されるデジタル技術の方向性を提示することができれば、要素技術を有する民間事業者において、技術開発が加速し、実施において利用可能な技術がより早期に実用化される可能性もあるものと考えられる。

建築物内の水の衛生管理においては、点検方法として「目視」によることと指定されている業務も多い。このような業務に関しては、現行の規制のままで、デジタル技術を活用した代替技術を活用することが困難であると考えられることから、デジタル化の検討範囲の拡大に向けては、定められている点検方法など、規制面の制約要因についても、考慮することが必要であるといえる。

性能評価に際しては、十分な性能を有していることを示すエビデンス収集が重要となる。期待される性能を有することを示すための基準を設け

たうえて、関係各社が積極的にデータ収集を行っていくような枠組みの構築が望まれる。

E. 結論

本調査では、受水槽清掃並びに排水管洗浄に関連する協会に対するヒアリングを通じ、事業者のニーズを収集するとともに、活用可能な技術に関する調査及び活用方法に関する実験的検討を実施した。ヒアリングの結果、事業継続に向けた熟練技術者の確保は困難となっているものの、デジタル技術の活用は十分に進展していないことが明らかとなった。ATP 測定技術、AI 画像解析技術、排水管内閉塞状況自動検知技術等への期待が示されており、適用可能な技術の開発、適用方法の確立については、必要性が高いものと考えられる。技術調査に関しては、受水槽清掃関連では、ドローンや水中清掃ロボット等、受水槽清掃にも応用が可能と考えられる技術は、他領域にて開発、実用化が進んでいる状況が見受けられた。また、

排水管内閉塞検知技術に関しても、非接触で管内の水位、流速を評価可能な技術が複数存在しており、応用可能な要素技術の開発に関しては、他領域において進展していることが明らかであるといえる。一方で、これらの技術に関しては、建築物の水の衛生管理への適用を想定された開発はほとんど進められておらず、適用方法の確立という観点では、課題が多く残されているものと考えられる。今後は、建築物の水の衛生管理に関するニーズの発信を通じ、当該領域における技術開発を促進していくことが重要となるものと考えられる。

<参考文献>

- 1) 一般社団法人日本水中ロボット調査清掃協会 ホーム ページ、URL: https://jwrca.or.jp/events/20190604_robot_nintei.html、令和 8 年 5 月 18 日閲覧

表 1 水中清掃ロボットの例

No.	名称	メーカー	自動/手動	適用先	給電方式	備考
1	水中底面掃除ロボット CUV-40	広和株式会社	手動(有線遠隔操作)	配水池など	有線ケーブル (AC 100 V)	有資格者が操作
2	クリア A-1 型	株式会社アークエンジニアリング	手動(有線遠隔操作)	配水池など	有線ケーブル (AC 100 V)	有資格者が操作
3	"ドルフィン バイオスター (バキューム式対応型)、ドルフィン ジャイロ DX(低水深プール対応型)、ドルフィン マクロ LED(壁面清掃特化型)	株式会社ジェイ・シー・イー・オーバースーズ	自動/手動(無線遠隔操作)	流水地、養殖水槽、排水処理施設の貯水槽など	有線ケーブル (AC 100 V)	自動起動制御装置搭載 壁面清掃も可能
4	水中調査清掃ロボット 水中エニー	トピー工業株式会社	手動(有線遠隔操作)	配水池など	有線ケーブル (AC 100 V)	有資格者が操作
5	水中清掃ロボット The Bull、Mini Bull	千代田商事株式会社	手動(無線遠隔操作)	土砂が堆積した水中部分、暗渠水路内、水中構造物内	記載なし	
6	水中ドローン アクアブル H01	中里建設株式会社	手動(無線遠隔操作)	配水池、浄水池をはじめ、開口 60cm 以上あるほとんどの施設	有線ケーブル	点検用の機材(清掃機能なし) 複数のセンサー、カメラ等を搭載
7	貯水槽清掃ロボット	株式会社興和	手動(無線遠隔操作)	配水池など	有線ケーブル	発電機でも起動可

表 2 設備点検技術の例

No.	名称	メーカー	手動/自動	適用先	備考
1	床下・設備点検ロボット エニーライト	トビー工業株式会社	手動遠隔操作(有線/無線)	瓦礫などの不整地、床下や設備内部など	
2	プラント自動巡回点検防 爆ロボット EX ROVR "ASCENT"	三菱重工	自動(巡回スケジュールに 従う)	主に可燃性ガスがある危険場 (Zone1)、石油プラント	可視カメラ、熱画像カメラ、ガス検知器、マイク等を搭載
3	超狭小空間点検ドローン IBIS2	株式会社 Liberaware (リ ベラウェア)	手動遠隔操作(無線)	下水道、煙突内部、ボイラー、 蒸留塔内部など	狭小空間への進入が可能 電波が届かない場所への対応技術あり 最大飛行時間は 11 分
4	点検・測量ドローン ELIOS 3	ブルーイノベ ション株式会社	手動遠隔操作(無線)	プラント施設、インフラ施設、 工場、船舶のドックなど	4K カメラ、サーマルカメラ、 距離センサーを搭載、暗闇の中 でも人による目視点検と同等の 検知が可能
5	アミューズワンセルフ社製 「GLOW.H (グロウ.エイチ)」、 「GLOW.L (グロウ.エル)」	ソフトバンク株式会社	手動遠隔操作(無線)	マンションや商業ビル、高所 ビル、森林(現況点検)、鉄塔や 煙突、架橋など	導入前のサポートからドローン 機器の手配、飛行の申請、取得 したデータの AI 自動分析やレポ ート管理を受託
6	プラント点検用ドローン Rangle 5	ドローンスポ ーツ株式会社	手動遠隔操作(無線)	プラント、工場など	点検に必要な機能を厳選して搭 載(低コスト化) 熟練技術者による現場点検、現 場管理、報告書作成の受託も可 能
7	壁面走行ロボットによる 外壁点検システム	高松建設株式会社、青木あすな ろ建設株式会社、非破壊検査 株式会社	有線で運用	ビルなどの建築物	壁面を走行し、タイルの劣化、 損傷を検知 カメラユニットと打診システム を搭載
8	インフラ用狭小空間点検 ロボット moogle evo (モーグルエヴォ)	大和ハウス工業株式会社	手動遠隔操作(無線)	住宅等の狭小空間、橋梁、共 同溝など	クラック幅自動判定機能搭載

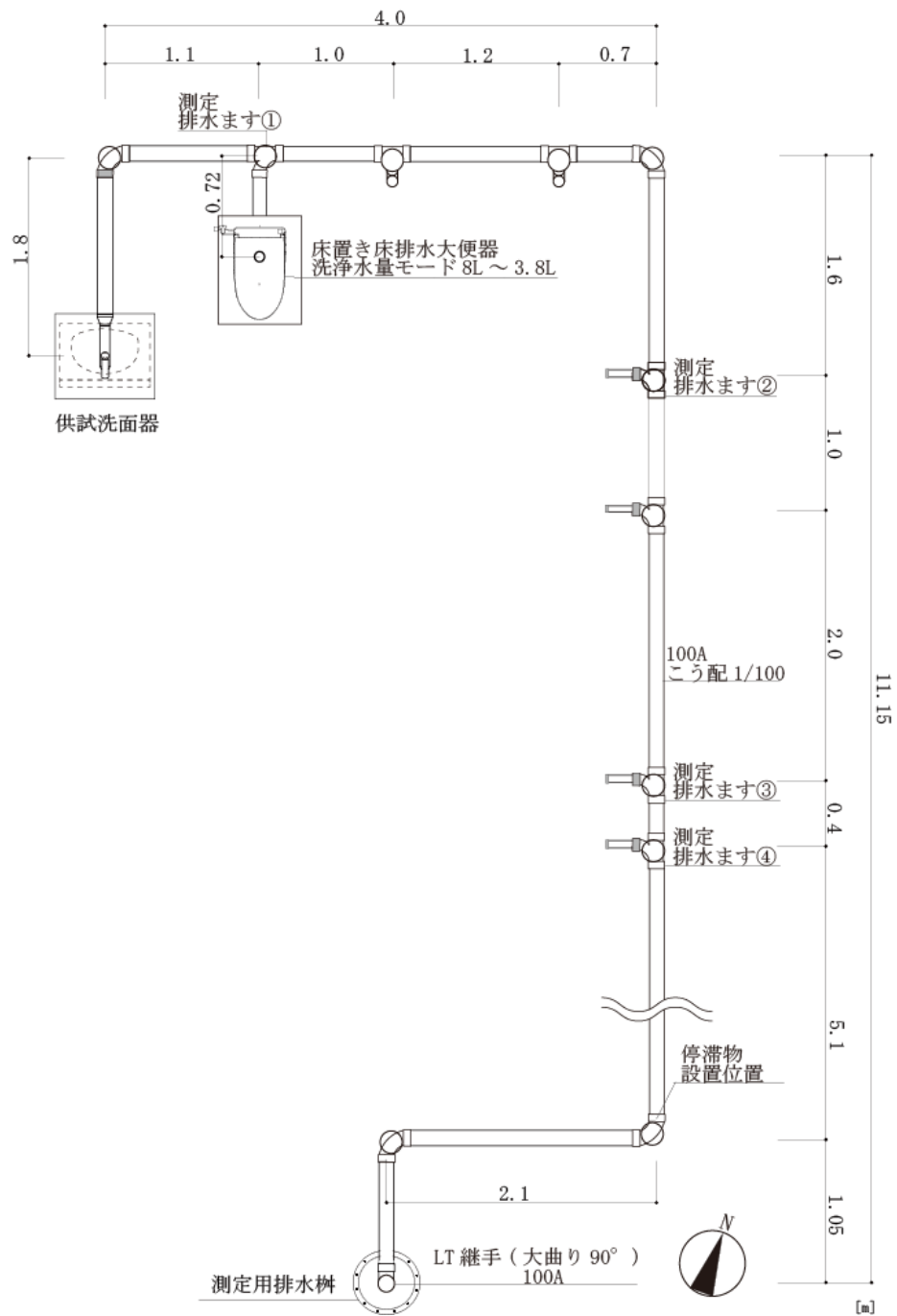
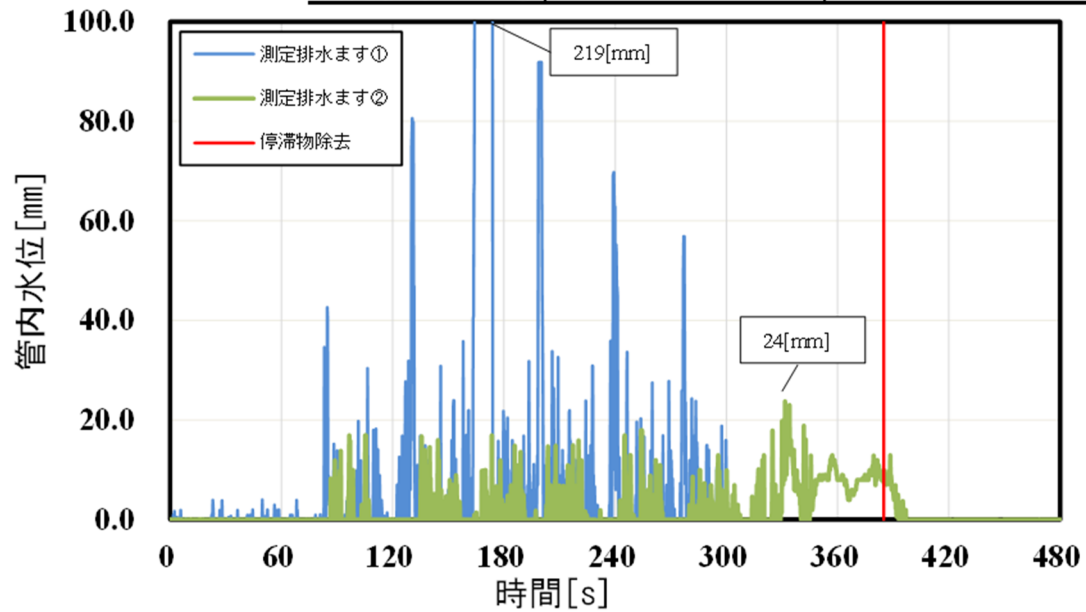


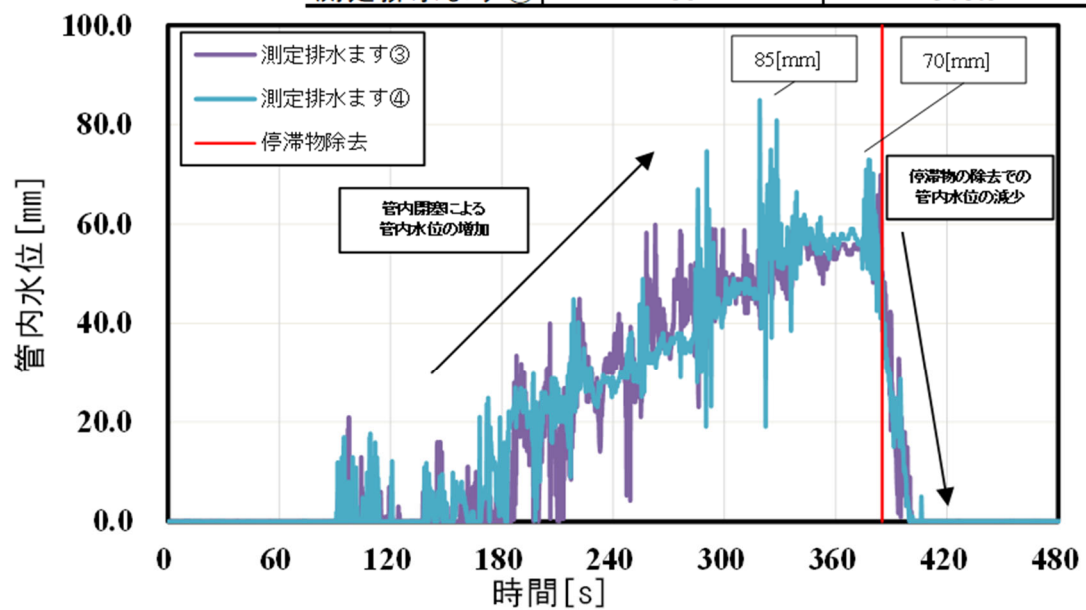
図 1 供試排水横管システムの概略図

測定箇所	最高管内水位 [mm]	経過時間[s]
測定排水ます①	219	173.8
測定排水ます②	24	331.6



(1) 測定排水ます①及び②

測定箇所	最高管内水位 [mm]	経過時間[s]
測定排水ます③	70	384.2
測定排水ます④	85	319.0



(2) 測定排水ます③及び④

図2 各測定排水ますの水位変動