

自動排水装置の冬期間における積雪寒冷地適応性評価

Evaluation of the Adaptability of Automatic Drainage Devices to Snowy and Cold Regions During the Winter

山本雅之* 丹野碧壱** 久保田 雅仁**

Masayuki Yamamoto Aoi Tanno

Masahito Kubota

近年、人口減少や節水機器の普及等に伴う水需要減少の影響で、水道管路内水量より使用水量が少なくなって管路内の水が滞留し、水質維持対策を必要とする場所が増加傾向にある。その対策の一つとして行われる常時排水や作業員による定期排水は、無収水量や労務負荷の増加の課題がある。当社はこの課題解決のため、タイマー制御の電磁弁を任意の排水条件で自動に作動させることで作業員に代わり定期排水を行う自動排水装置を開発した。本装置は、実配水管路におけるフィールドテストによって、効果的に使用するための排水条件設定手法の決定と、導入効果の評価等を実施している。しかし、本装置が全国の様々な環境下で使用されると想定した場合、加えて排水条件設定手法の適応性や冬の積雪寒冷地における装置および水道管の凍結防止対策等についても評価しておく必要があると考えた。この評価のため、北海道の旭川市水道局と共同で、積雪寒冷地である同市内の実配水管路におけるフィールドテストを実施し、その結果から排水条件設定手法の妥当性や、積雪寒冷地における適応性等を確認することができたので報告する。

In recent years, the decline in water demand due to population decline and the spread of water-saving devices has led to an increase in the number of places where water quality maintenance measures are required because the amount of water used is less than the amount of water in the water pipelines, causing water to stagnate in the pipelines. Continuous drainage and regular drainage by workers, as one of the measures, has the problem of increasing non-revenue water and labor burden. To solve this problem, we developed an automatic drainage device that performs regular drainage instead of workers by automatically operating a timer-controlled solenoid valve under any drainage condition. This device has been field tested in an actual water distribution pipeline to determine the drainage condition setting method for effective use and to evaluate the introduction effect. However, assuming that this device will be used in various environments throughout the country, we thought it would be necessary to also evaluate the adaptability of the drainage condition setting method and measures to prevent freezing in snowy and cold regions in winter. For this evaluation, we conducted field tests on actual water distribution pipelines in Asahikawa City, which is a cold and snowy region, in collaboration with the Asahikawa City Waterworks Bureau in Hokkaido, and confirmed the validity of the drainage condition setting method and its adaptability to cold and snowy regions. We report here the field test results.

1 はじめに

普段、我々が利用する水道水は衛生面への配慮から塩素処理がなされており、水道蛇口における残留塩素濃度を 0.1 mg/L 以上確保することが水道法で定められている。しかし近年、人口減少や節水機器の普及等に伴う水需要の減少により、水道管路内の滞留箇所が全国的に増加傾向にある。残留塩素濃度は時間の経過と共に減少することから、滞留箇所において適切な残留塩素濃度の確保が困難となる問題が増えている。その対策の一つとして、常時排水や作業員による定期排水等が行われているが、無収水量や労務負荷の増加が水道事業者の大きな課題となっている。この課題解決に向け、当社は作業員に代わって定期的排水を自動で行う自動排水装置（以下、装置）を開発し、A 市の実配水管路 4 箇所におけるフィールドテストの結果から、実運用に当たり必要となる装置独自の

排水条件設定手法およびメンテナンス頻度の決定、装置耐久性の確認、装置導入効果の評価等を実施済みである。

本装置は、主に配水管路の末端部分に設置されると考えられるが、管路の末端部分は全国に無数に存在しその環境も様々であると予想され、冬の積雪寒冷地で使用される可能性もある。積雪寒冷地では通常、管路内滞留水の凍結防止のため、凍結深度以下に配管を布設する等の対策がとられているが、本装置にも同様の凍結防止対策を施す場合、その具体的な設置方法や作業性の確保などの運用方法を確立しておく必要があると考えた。また、装置独自の排水条件設定手法が、A 市とは異なる環境下においても有効に適用可能かについても評価する必要があると考えた。そのため、旭川市水道局と共同で、同市の配水管路での冬期間における積雪寒冷地適応性評価を行うとともに、水質維持効果や経済性等についても改めて評価を行った。

* パイプシステム事業部 研究部 ** 旭川市水道局

2 自動排水装置の概要

2.1 仕様

装置の外観を図1に、設置例を図2、図3に、主な仕様を表1に示す。装置は、低コストかつ取り扱いを容易とするためにシンプルな構成としており、配管の上流側から、排水側からの逆流を防止する逆止弁付の止水栓、水質確認等に用いる採水弁、排水量を確認するための量水器、タイマー動作式の電池式電磁弁およびコントローラで構成されており、設置場所やユーザーの要望により構成の変更対応も可能である。構成部材を極力少なくすることで、コントローラを含めて量水器ボックスもしくはφ500の弁室内に収まるコンパクトな形状を実現して

いる。外部電源は必要とせず、9V乾電池1個で約1年間の使用が可能であり、IP67^{注1)}相当の保護性能を有しているため、設置場所の制約が少ない特長を有する。

2.2 装置の設置

設置は、図4に示すように装置の流入側配管はサドル付分水栓等を介して配水管と接続し、流出側配管は排水溝等に流れるように接続する。排水溝等に排水する場合は必要に応じて排水先の管理者との協議を要する。

注1) IP67は、機器内部への塵埃の侵入がなく、水面下0.15から1mに30分間水没させても有害な影響を生じる量の浸水がない性能を有することを表している。

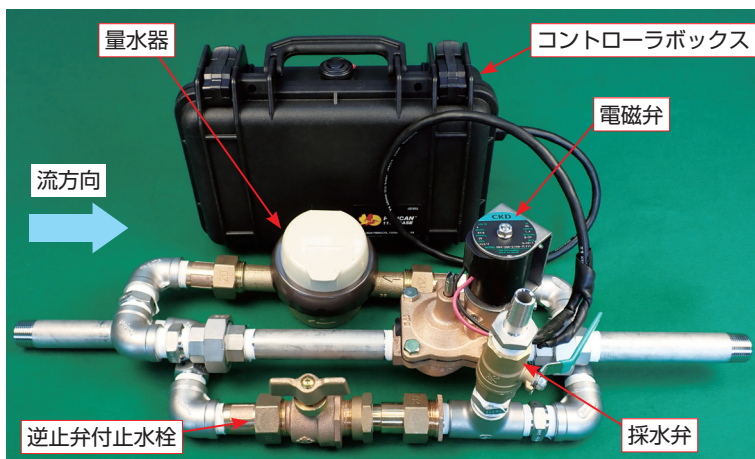


図1 自動排水装置外観



図2 量水器ボックス内への設置例



図3 φ500弁室内への設置例

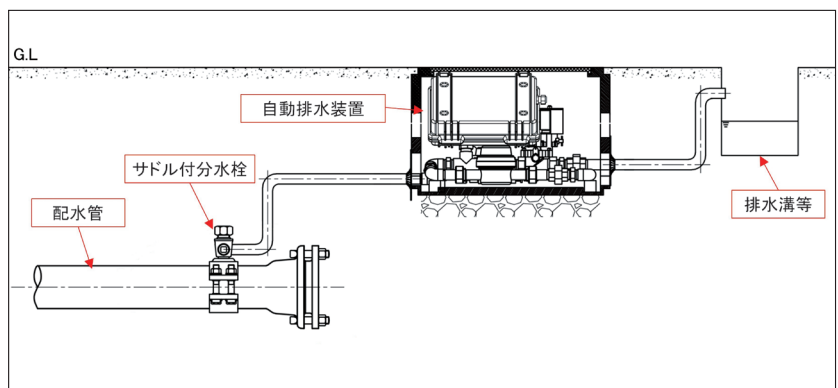


図4 配水管との接続例

表1 自動排水装置の主な仕様

項目	仕様	備考
適用流体	上水道水	異物を含まないこと
使用可能周囲温度	0 ~ 40 °C	凍結が懸念される場合は適切な処置を施すこと
最高使用圧力	0.75 MPa	
電磁弁最低作動圧力差	0.02 MPa	
保護性能	IP67 相当	
電源	角型 9V アルカリ乾電池 1 個	6LR61
電池寿命	約 1 年	使用環境により前後
口径	20 mm	ねじ込み式管継手 (d=G ³ /4)
排水仕様	排水設定方式	任意の曜日設定
	排水設定回数	最大 12 回 / 日
	排水時間	1 回当たり 1 分 ~ 9 時間 59 分
	排水方法	自動、手動 (半自動) 手動モードは排水時間の設定が可能 (手動で開 → 設定時間に自動で閉)
逆流防止機能	逆止弁付	止水栓に内蔵
流量調整機能	あり	電磁弁に内蔵
濁質対策	電磁弁内部にストレーナ付き	
点検頻度	・ 半年に 1 回程度の動作確認を推奨 ・ 1 年に 1 回の電池交換が必要	
排水条件設定	・ 排水実施時間、排水開始時刻、排水開始曜日の 3 条件の入力可能なプログラムを、1 日 12 回まで入力可能	

2.3 装置による水質維持方法

装置による水質維持のイメージを、図5に示す。装置は、時間の経過と共に減少する残留塩素濃度が管理目標下限値に到達する前に排水を行い、残留塩素濃度が十分回復する頃を見計らって排水を停止する。これをタイマーで定期的に繰り返すことで、水質維持と水質維持に伴う排水量の削減を実現する。そのために、排水実施時間、排水流量、排水インターバル、排水開始時刻の諸条件を適正に設定する必要がある。

これら条件は、A市の実配水管路におけるフィールドテストで検証済みの、表2に示す自動排水装置独自の排水条件設定手法に従って容易に決定することができる。実際の運用においては、本手法に従って求めた排水

条件を初回排水条件とし、数日から一週間程度の期間運用して水質等を確認した上で、現地状況に応じて調整を行うことを推奨している。

また、残留塩素濃度の減少速度が水温の影響を大きく受けることを考慮し、経済的な水質維持を行うために最低限、高水温期 (6月 ~ 10月)、低水温期 (11月 ~ 5月) のそれぞれで排水条件を変更することを推奨しているが、現地状況等に応じて任意に設定してもよい。

なお、表2を適用する場合は、表3に示す装置設置場所の諸情報を予め入手する必要がある。

A市において、本手法を用いて実際に水質維持をした例を図6に示す。

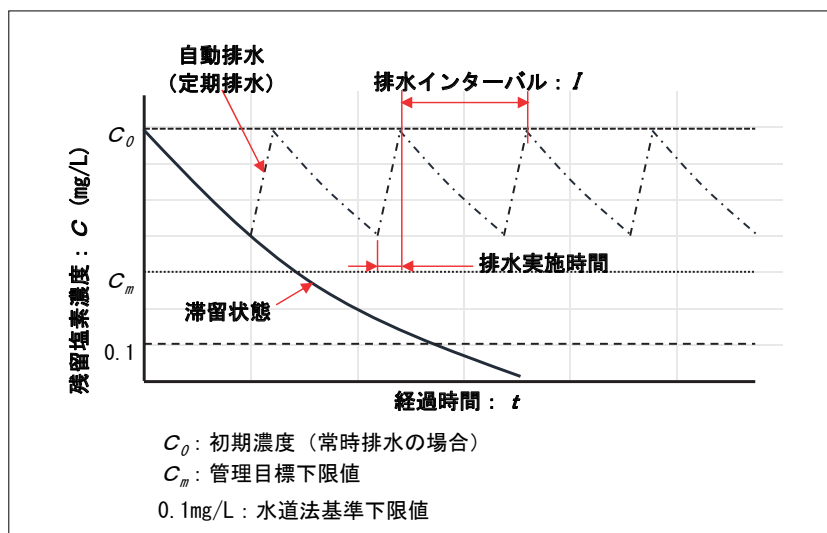


図5 自動排水装置による水質維持イメージ

表2 自動排水装置独自の排水条件設定手法

項目	内容
1回当たりの排水量	時期に応じて1回当たりの排水量を変更する。 高水温期：滞留管路容量の1.8倍容量 低水温期：滞留管路容量の1倍容量 ※事業者独自の考え方がある場合や、より安全側で運用したい場合、また現地状況に応じて、倍率を上げることも可能。
排水実施時間	最大18時間程度までで、設定可能な最も長い時間とする。
排水流量	・上記の「1回当たりの排水量」を18時間程度で排水することができる排水流量。 ・配水管内が乱流状態となるよう、配水管呼び径とレイノルズ数から排水流量下限値を設定。
排水インターバル	$k = \exp(-5.5508 \times D + 0.0706 \times T - 5.4245)$ ：モルタルライニング or エポキシ樹脂粉体塗装 $k = \exp(-5.5508 \times D + 0.0706 \times T - 2.3574)$ ：無ライニング铸铁管 k：残留塩素濃度減少速度係数、D：管内径 (m)、T：水温 (°C) から残留塩素濃度の経時変化を予測し、上記で設定した排水実施時間と組み合わせて自動排水装置に適した排水インターバルを求める。 ¹⁾
排水開始時刻	管路状況に応じて任意に設定する。 例：需要が少なく滞留が発生しやすい時間帯に排水を開始する 等
運用方法	・上記で求めた排水条件を初回排水条件とし、数日から一週間程度の期間運用して水質等を確認した上で、現地状況に応じて調整を行うことを推奨。 ・高低水温期でそれぞれに適した排水条件に切り替える。

表3 排水条件設定に当たり必要な情報

必要度	項目	内容
必須	水温	高低水温期それぞれで一番水温が高い時期の平均水温 例 高水温期 (6～10月)：7月もしくは8月頃の平均水温 低水温期 (11～5月)：11月もしくは5月頃の平均水温
	初期残留塩素濃度	常時排水等によって、水質を十分回復させた時の残留塩素濃度
	水圧	管路の平均水圧
	滞留管路容量	滞留が想定される管路の延長と呼び径
	管内面のライニング又は塗装の種類	下記いずれかを選択 ①モルタルライニング又はエポキシ樹脂粉体塗装 ②無ライニング铸铁管 樹脂製管、ステンレス製管、内面に何らかの防食がされている金属製管は①を選択 内面防食がされていない金属製管は②を選択
あれば望ましい	残留塩素濃度の減少傾向実測データ	高低水温期それぞれで、滞留させた時の下記情報 ・滞留開始時の残留塩素濃度 ・滞留させた時間 ・上記滞留時間経過後の残留塩素濃度
制約がある場合に考慮	排水流量	排水口付近の騒音や水の飛散対策等で、排水流量が制限される場合など

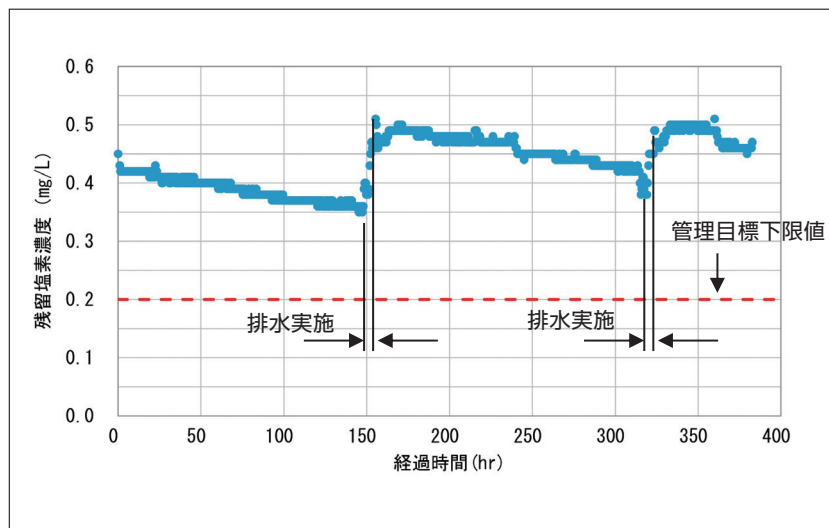


図6 排水条件設定手法により実際に水質維持をした例

3 フィールドテスト

3.1 対象管路および実施期間

フィールドテスト実施場所の情報を表4に示す。場所は、旭川市江丹別町内の配水管路末端部3箇所とし、いずれも滞留水対策のために常時排水が行われている。また地点Cにおいては管路の滞留区間に水管橋が存在するため、冬期には凍結防止のためにも常時排水が必須である。

フィールドテストは2022年12月5日～2023年6月30日とし、そのうち冬期間の評価は2022年12月21日～2023年3月17日に実施した。

3.2 装置の設置方法

旭川市における配水管などの埋設深さは、凍結深度を考慮して土被り1.4mを標準としている。そこで、装置前後の配管を土被り1.4mとした状態で装置を設置する

ことができ、かつ装置のメンテナンスを行う作業空間の確保を可能とするため、地点A、Bは集合住宅の戸別水道メーターを設置する際に用いる大型量水器ボックスL-1-1型(図7)、地点Cは下水道用1号マンホール(図8)内にそれぞれ装置を設置した(以下、大型量水器ボックスと下水道用1号マンホールを総称して人孔と呼ぶ)。各人孔は旭川市で標準的に使用される場合、開口部に保温材を設置し、大型量水器ボックスにおいては中間部付近にも断熱材を設置しているため、本テストでも同様とし配管および装置本体には保温材は用いなかった。なお、コントローラボックスは、テスト開始当初は装置配管近傍に設置していたが、テスト開始後に全地点で人孔内への地下水滞留が認められたため、安全を期すため図7、図8に示すようにやや高所に設置した。

排水管側の管路は、地上まで立ち上がっている部分の滞留状態における凍結を防止するため、配管の底部一カ所に水抜き孔を設けた。

実際の設置状況を図9および図10に示す。

表4 フィールドテスト実施場所情報

地点	設置場所	滞留管路*	常時排水流量 (L/min)	備考
A	旭川市江丹別町嵐山96-1地内	VP φ50×900m	10	・0.49 m ³ /日の使用あり
B	旭川市江丹別町嵐山427地内	VP φ50×886m (一部PE)	5	・0.49 m ³ /日の使用あり
C	旭川市江丹別町嵐山105地内	VP φ50×372m SUS φ50×11m	5	・SUS区間は水管橋 ・0.26 m ³ /日の使用あり

* VP: 硬質ポリ塩化ビニル管 PE: 水道配水用ポリエチレン管 SUS: ステンレス鋼管

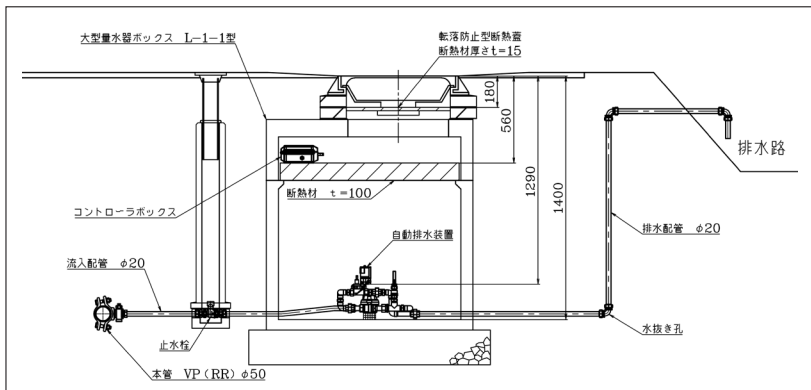


図7 大型量水器ボックス使用時(地点A、B)の自動排水装置の設置イメージ

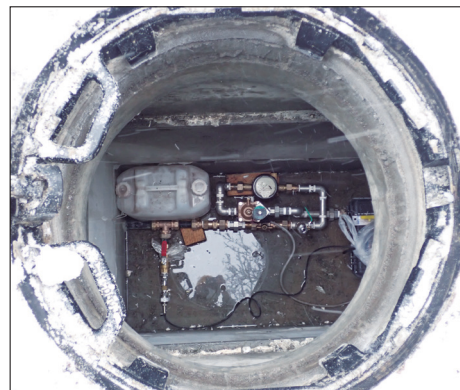


図9 大型量水器ボックス内への装置設置状況(地点B)

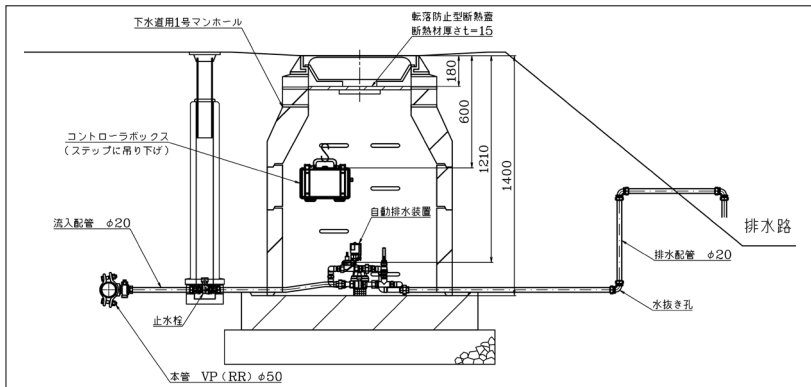


図8 下水道用1号マンホール使用時(地点C)自動排水装置の設置イメージ



図10 下水道用1号マンホール内への装置設置状況(地点C)

3.3 フィールドテスト概要および結果

テストの概要を表5に示す。

3.3.1 低温環境下での運用

a) 評価目的および方法

実際に冬期間を通じて運用した時の凍結およびその他異常の有無、設置方法の妥当性、メンテナンス作業性等を3回/月程度の定期的点検により評価した。

地点A、Bでは、装置の点検時に温度計を用いて外気温、人孔内装置付近雰囲気温度、水温を計測した。地点Cは3地点中で最も積雪が多く気温が低い環境であると予想されたことから、熱電対を用いた外気温(GL+1.2m)および人孔内の装置付近(GL-1.0m)雰囲気温度の測定と、試験用に設置したポータブル型残留塩素濃度計を用いた水温の測定を、それぞれ1時間毎に自動で行った。

装置の異常の有無は、装置点検時に装置の動作状況および凍結や漏水等の確認、量水器の積算値読み取りによる排水実施状況確認(排水流量および排水プログラムから排水量を推定し、量水器積算値と比較)を行った。

また、各種温度計測結果と装置の異常の有無確認結果から、設置方法の妥当性に関する考察を行った。

b) 評価結果

各地点の積雪状況例を図11に、評価結果を表6に示す。冬期間中の外気温は概ね氷点下であったが、人孔内の温度は全地点ともに装置の動作保証温度である2℃以上を保持しており、外気温の影響を受けにくい設置方法であることが確認できた。その結果、いずれの地点においても装置および装置前後の配管を一度も凍結させることなく運用することができた。

表5 フィールドテスト概要

評価項目	概要
1) 低温環境下での運用	冬期間の積雪寒冷地で問題なく運用できるか等を評価する。地点Cにおいては環境温度等の自動計測も行う。
2) 水質維持効果の評価 (排水条件設定手法の考察)	排水条件設定手法に従うことで、残留塩素濃度が管理目標下限値の0.2 mg/L以上を維持できるかを評価する。
3) 凍結防止用排水削減効果の評価(地点Cのみ)	装置により、凍結を防止しつつ排水量の削減が可能かを評価する。
4) 水撃圧の発生状況確認	装置の動作による、装置上流部配管の水圧変動状況を調査する。
5) 人孔の有用性評価	2種の人孔の作業性等を確認し、どちらが装置の設置に適しているかを比較評価する。
6) 導入メリット評価	従来実施されている常時排水と比較し、装置の経済性や排水流量削減効果を評価する。

表6 低温環境下での運用評価結果

地点	最低外気温記録時の温度計測結果 ^{※1} (℃)			人孔内滞留地下水の最高水深(cm)	装置の状況	
	外気	人孔内 ^{※2}	水温		凍結の有無	テスト終了時の状態
	GL+1.2 m	GL-1.0 m				
A	-13.4	2℃以上	3.2	91	無	水没故障
B	-14.3	2℃以上	2.9	12	無	異常なし
C	-26.2	2.6	3.5	20	無	異常なし

※1: 地点A、Bは定期点検による手計測、地点Cは24時間自動計測の結果

※2: 地点A、Bは鉄蓋開放直後に2℃以上保持していることを確認



図11 冬期の装置設置地点状況 左: 地点A 中: 地点B 右: 地点C

なお、各地点とも前述のように、人孔設置直後から人孔内へ地下水が浸水して滞留が認められていたが、特に地点 A は地下水が多く、最大で人孔内水深 910 mm まで水が溜まり、設置当初から装置が常時水没状態（図 12）となった。本装置の防水性能は IP67 相当（一時的な水没に対応）であるため、設置から 85 日経過後に電磁弁が水没故障する結果となった。

3.3.2 地下水対策案の試行

電磁弁の水没故障の結果を受け、人孔内の地下水滞留状況に応じた 2 通りの対策案について、検討を行った。

a) 電磁弁位置立ち上げ

図 13 に示すように、電磁弁前後の縦向き配管の長さを任意に変更し、電磁弁位置を高くして水没リスクを低減させる方式とした。

評価は地点 C で実施したが、人孔内滞留地下水深の最も高かった地点 A を考慮して、電磁弁を 900 mm 程度立ち上げた。また、縦向き配管が長くなると構造的に不安定となるため、人孔内に固定した突っ張り棒に縦向き配管をゴムバンドで固定した。本案では電磁弁開閉時の水圧変動による装置の振動や配管の緩みが懸念される

ことから、地点 C の排水流量である 5 L/min において電磁弁を手動で複数回開閉させた時の異常等の有無について評価した。

本案は、地下水滞留状況が予め想定でき、かつ滞留水が多くない場合に有効と考える。

b) 防水ケース

図 14 に示すように、電磁弁にケースをかぶせ、ケース内に滞留した空気により電磁弁の水没を回避可能かを評価した。

電磁弁部には、観察が容易なアクリルケース（内寸 W 144 × D 144 × H 144）を被せた。装置への固定はマジックテープとクランプを併用し、クランプ取り付けのためにアクリルケースの下端から 15 mm の位置にボルト穴を開けた。また、異なるケース形状、取り付け方法について評価するため、ステンレスケース（内寸 φ 100 × H 200）を用いて電磁弁を模して採水弁に被せ、ゴムバンドのみで固定した。両ケースの中には水没検知シールを 4 枚ずつ貼り付け、浸水状況を確認できるようにした。各ケースの取付状況を、図 15 に示す。

評価は地点 A で実施し、人孔内の模擬地下水は装置



図 12 地点 A 地下水滞留による装置の水没状況

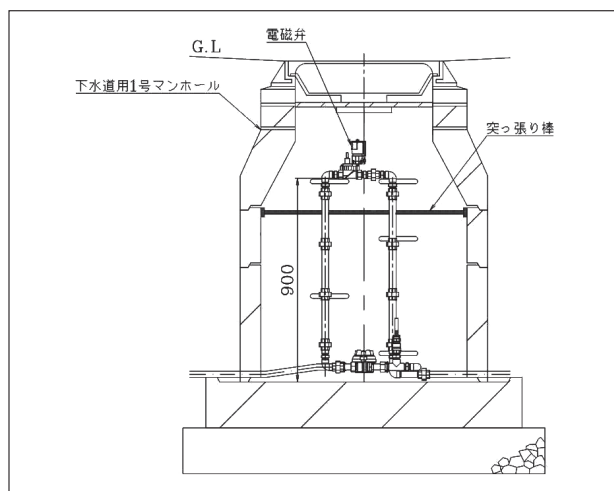


図 13 電磁弁位置立ち上げ案 試験設置方法

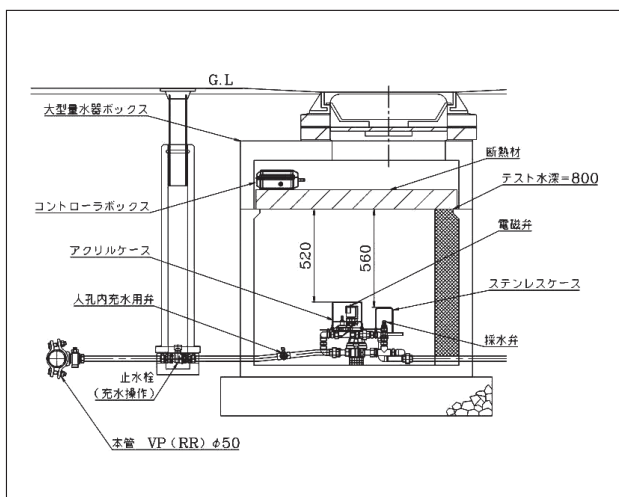


図 14 防水ケース案 試験設置方法

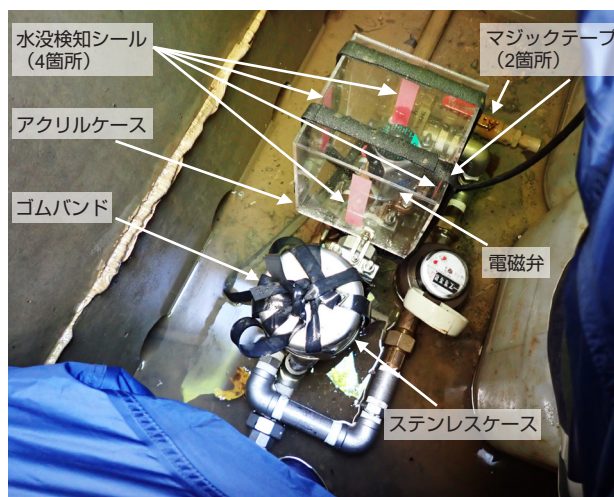


図 15 防水ケースの取り付け状況 (写真は試験後の状況)

上流側外部に設けた止水栓の操作で人孔用充水弁（水圧計測用）からゆっくりと充水し、人孔内水深 800 mm の状態で 18 時間 30 分水没させた。

本案は、地下水の滞留状況に関わらず有効ではないかと考える。

c) 試験結果

電磁弁位置立ち上げ案の試験状況を図 16 に示す。電磁弁を複数回開閉させても、特に異常等がないことを確認できた。また、電磁弁の位置を人孔開口部の中心から 150 mm 程度外したことで、人孔内部で作業員がメンテナンス等の作業を問題なく行えた。

防水ケース案の試験状況を図 17 に、試験結果を図 18 に示す。水没検知シールの状況から、アクリルケース、ステンレスケース共に底部（アクリルケースはボルト穴部）から 15 mm 程度までは常時水没し、同 50 mm 程

度までは水濡れした痕跡が認められたが、いずれもケース中央付近から上部は浸水していないことを確認できた。ケース内への浸水量は、水温の変化や滞留水位等の影響を受けると考えられるが、電磁弁前後の配管を少し立上げ、前後配管を含めて電磁弁を深いケース内に収納することで、電磁弁全体の水没回避が可能ではないかと考えており、ケースの仕様や固定方法等の検討を継続中である。

3.3.3 水質維持効果の評価および水管橋の凍結防止用排水削減効果の評価

a) 評価目的および方法

排水条件設定手法に従って設定した排水条件が、今回のフィールドテスト管路においても経済的水質維持に有効かを評価した。排水条件の設定条件を表 7 に示す。



図 16 電磁弁位置立ち上げ案 試験状況



図 17 水没の状況（充水途中）

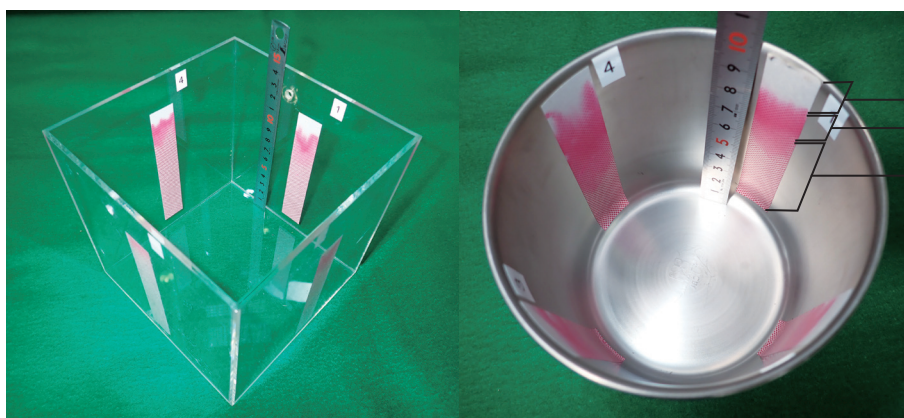


図 18 試験結果
左：アクリルケースの水没検知シール
右：ステンレスケースの水没検知シール

表 7 排水条件

地点	排水条件の設定		
	排水条件名称	排水条件設定に用いる情報	採用条件
A、B	初回排水条件	前年度の水質検査結果	水質維持に対する安全性が高い方
	現地調整後の排水条件	装置設置時の現地水質調査結果	
C	初回排水条件	前年度の水質検査結果	水質維持と凍結防止の両立が可能な方
	凍結防止排水条件	水管橋の凍結開始時間に関する情報	

地点 A、B は、各地点の管路情報と排水条件設定手法から求めた「初回排水条件」と、各地点において装置設置時に収集した水質調査結果（常時排水時の残留塩素濃度および最長 2 日間程度滞留させた時の残留塩素濃度減少傾向、各残留塩素濃度データ取得時の水温）を基に初回排水条件を調整した「現地調整後の排水条件」の 2 条件を求めた上で、水質維持に対する安全性が高い方を排水条件として採用した。

地点 C は、同様にして「初回排水条件」を求めると共に、水管橋の凍結開始時間に関する情報（外気温、管内水温、最小必要流量と凍結開始時間の関係を整理したもの）から水管橋を凍結させずに運用可能となる定期的排水条件を求め、初回排水条件と比較した上で水質維持と凍結防止の両立が可能な方の排水条件を採用した。

各地点とも、採用した排水条件で残留塩素濃度が管理目標下限値の 0.2 mg/L を下回らずに運用可能かを評価した。また地点 C は同時に、水管橋の凍結を防止しつつ凍結防止に必要な排水量の削減が可能かを評価した。

b) 評価結果

評価結果を表 8 および表 9 に示す。地点 A、B は水質維持の管理目標下限値 0.2 mg/L 以上で残留塩素濃度を維持することができ、装置独自の排水条件設定手法の適応性を確認することができた。地点 C は、凍結防止と水質維持を両立しつつ、これらに必要なであった排水量を削減することができた。

排水条件設定手法を夏期にも適用するとした場合の、年間の排水量削減効果を表 10 に示す。装置により、全地点において年間の総排水量が 1/3 から 1/14 になるような大幅な削減が期待できる。

3.3.4 水撃圧の発生状況確認

a) 評価目的および方法

電磁弁開閉動作時の、装置近傍配管内の水圧変動を確認した。評価対象は、平均水圧が 0.61 MPa で 3 地点中最も高い地点 A とし、図 19 に示すように電磁弁一次側近傍の配管（φ 20）に水圧計を設置し、排水流量 5 L/min および 30 L/min でそれぞれ電磁弁を手動で開

表 8 フィールドテストで用いた排水条件と評価結果（冬期間）

地点	テストで利用した排水条件	排水条件詳細			評価結果		
		1 回当たりの排水実施時間	排水流量 (L/min)	排水インターバル	水質維持	常時排水に対する排水量削減率 (%)	水管橋の凍結
A	初回排水条件	4 時間 30 分	4.9	2 日 10 時間	問題なし	96.1	-
B	現地調整後の排水条件	4 時間 20 分	4.9	1 日 12 時間	問題なし	81.0	-
C	凍結防止条件	1 時間 50 分	4.9	3 時間 10 分	問題なし	62.6	凍結無し、排水量削減効果あり

表 9 凍結防止用排水の削減効果の評価結果（地点 C 冬期間のみ）

排水方法	排水流量 (L/min)	1 回当たり排水実施時間	1 日当たり排水回数	冬期間*排水量 (m ³)	【再掲】常時排水に対する排水量削減率 (%)
自動排水	4.9	1 時間 50 分	5 回	564.92	62.6
常時排水	5.0	24 時間	常時	1512.00	-

※冬期間は 11～5 月（30 週 = 210 日）とした

表 10 自動排水装置による排水量削減効果（年間）

地点	常時排水	自動排水			常時排水に対する排水量削減率 (%)
	年間総排水量 (m ³ /年)	時期*1	各時期年間排水量 (m ³ /年)	年間総排水量 (m ³ /年)	
A	5256	夏期	253.22	372.29	92.9
		冬期	119.07		
B	2628	夏期	347.27	633.92	75.9
		冬期	286.65		
C	2628	夏期	143.52	708.44	73.0
		冬期	564.92		

閉させた時の水圧変化を各3回ずつ確認した。また、本装置には標準で逆止弁付止水栓が備わっているが、逆止弁が無い止水栓の場合についても同様に確認した。

b) 評価結果

評価結果を表11および図20に示す。排水流量5L/minで逆止弁がある場合は、電磁弁開閉時の水圧変動はごくわずかであったが、排水流量が大きくかつ逆止弁が無い場合は、特に電磁弁閉止直後に大きな水圧変動が発生した。

c) 水圧変動の抑制対策案の試行

本装置の運用に当たっては、滞留時間はなるべく短い方が水質維持の観点から安全と考えており、本装置のタイマーは排水実施時間を長くすると滞留時間が短くなる

ことから、排水条件設定手法においては排水流量を少なくして排水実施時間を長く確保するようにしている。また、本装置は標準で逆止弁が内蔵されている。そのため、電磁弁開閉時の急激な水圧変動がなるべく発生しにくいようになっている。

しかし、初期残留塩素濃度が低い場合や残留塩素濃度減少速度が速い場合、滞留管路延長が長い場合などは、限られた排水実施時間内に滞留水を十分に入れ替えるため、排水流量を多く設定せざるを得ない場合があると考えられる。そのような場合を想定し、水圧変動抑制対策の検討を行った。

表11 水圧変動確認結果 (3回の平均値)

排水流量 (L/min)	逆止弁	電磁弁の動作	電磁弁動作直後の水圧変動			水圧変動が落ち着くまでの時間 [t] (s)
			+側振幅 [A+] (MPa)	-側振幅 [A-] (MPa)	周期 [T] (s)	
5	有	開	-0.02	-0.07	0.11	-
		閉	+0.04	-0.04	0.28	-
	無	開	-0.03	-0.12	0.10	-
		閉	+0.08	-0.13	0.27	-
30	有	開	-0.03	-0.14	0.14	21.14
		閉	+0.22	-0.14	0.44	51.30
	無	開	-0.07	-0.13	0.20	18.23
		閉	+0.29	-0.18	0.42	43.36



図19 水撃圧の確認状況

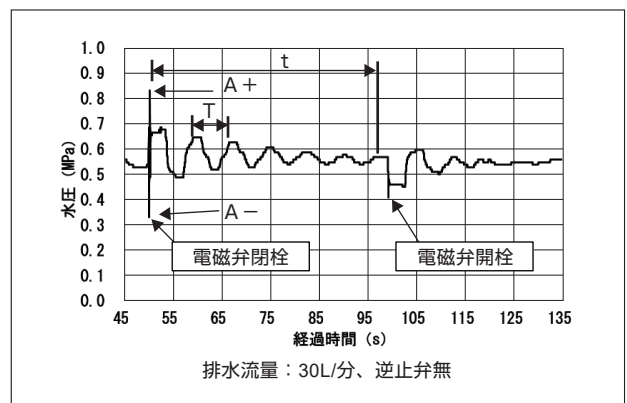
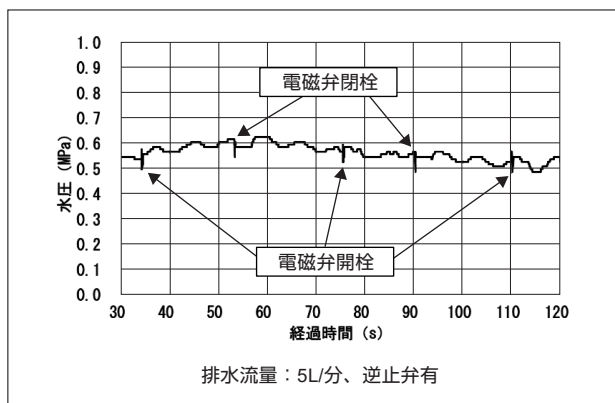


図20 水圧変動確認結果 (一部抜粋)

1) 水撃防止器

市販の水撃防止器（最高圧力1.0 MPa、最大流速3 m/sに対応）を利用し、設置位置および設置数量を変化させて、電磁弁閉止直後の水圧変化幅を確認した。水撃防止器の設置条件と試験時の装置状況を表12および図21に示す。試験時は、逆止弁は装置に内蔵された状態とし、排水流量は30 L/minとした。

2) バイパス弁による2段階開閉

図22に示すように、主となる電磁弁（以下、主弁）の前後にバイパス管路を設けてその中間にバイパス弁を

設置し、主弁が閉止した時に発生する圧力上昇をバイパス管路に逃がし、主弁とバイパス弁を、時間差を設けて2段階で開閉（開栓の場合は主弁→バイパス弁の順。閉栓の場合は開栓の逆順）した時の電磁弁（主弁）閉止直後の水圧変化幅を確認した。

フィールドテストにおいては、バイパス管路構築のための配管組換えは行わず、採水弁から排水させることでこれをバイパス管路に見立て、バイパス管路の排水流量を5 L/min、主管路の排水流量を30 L/minとした。

表12 水撃防止器設置条件

水撃防止器設置位置と使用数	設置場所（図16参照）
電磁弁上流×1本	エ
電磁弁上流×2本	ウ、エ
逆止弁付止水栓上流×1本	イ
逆止弁付止水栓上流×2本	ア、イ
逆止弁付止水栓上流×1本、電磁弁上流×1本	ア、ウ

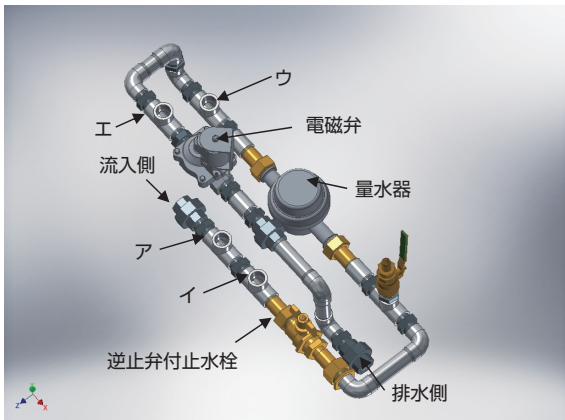


図21 水撃防止器試験用配管（左：配管イメージと設置場所、右：試験状況の例）

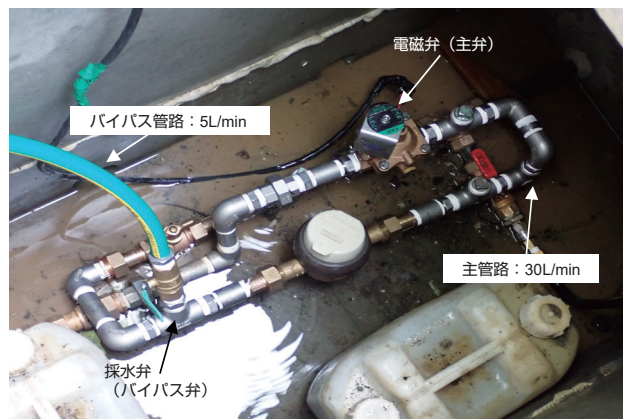
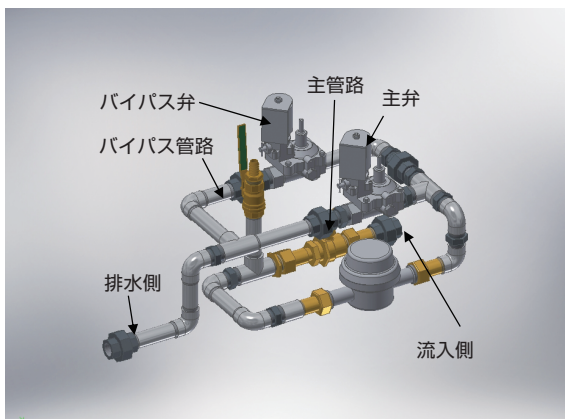


図22 バイパス方式用配管（左：配管イメージ、右：試験状況）

3) 試験結果

試験結果を表13に示す。水撃防止器、バイパス弁方式共に、水圧変動抑制対策が無い場合と比較して電磁弁閉止時の水圧変化幅を半分程度に抑制できることを確認した。なお、水撃防止器については、設置場所や設置数の違いによる水圧変化幅への影響は特に認められなかった。また、水撃防止器とバイパス弁方式の差は特に認められなかったが、バイパス弁方式は電磁弁2台の導入費用、排水流量調整、メンテナンスを要することから、経済的かつ容易に運用できる水撃防止器の方が汎用性が高いと考えられる。

装置の設置を検討する際は事前に初回排水条件の確認を行い、排水流量が多くて水圧変動による配水管路への

影響が懸念される場合には、ここに示すような対策や、装置を複数個所設置して装置1台当たりが排水すべき量を少なくするなどの対策を講じることで、装置による水圧変動を抑制することが可能であると考えられる。

3.3.5 人孔の有用性評価

a) 評価目的および方法

地点A、Bは大型量水器ボックス、地点Cは下水道用1号マンホール内に装置を設置したことから、各人孔の経済性や装置の点検作業性等について評価を行った。

b) 評価結果

比較評価結果を表14に、人孔内での作業状況を図23に示す。両者共に装置の設置および点検作業性に支障はなく、外気温が低いにも関わらず人孔内部は2℃程度

表13 水圧変動抑制対策試験結果 (排水流量はいずれも30 L/min)

水圧変動抑制対策		水撃防止器 設置位置	電磁弁閉止 直前の水圧 (MPa)	+ 振幅 (MPa)	- 振幅 (MPa)
水撃防止器	電磁弁上流×1本	エ	0.59	0.13	-0.06
	電磁弁上流×2本	ウ、エ	0.61	0.12	-0.09
	逆止弁上流×1本	イ	0.58	0.15	-0.03
	逆止弁上流×2本	ア、イ	0.59	0.13	-0.07
	逆止弁上流×1本、 電磁弁上流×1本	ア、ウ	0.58	0.14	-0.05
バイパス弁方式 (バイパス管排水流量 5L/min)		-	0.59	0.13	-0.07
[再掲、参考] 装置通常仕様、水撃圧 抑制対策が無い場合	逆止弁有	-	0.56	0.22	0.14
	逆止弁無し	-	0.55	0.29	-0.18

表14 人孔の比較評価結果

比較項目	大型量水器ボックス (内空 L 1,050 × W600)		下水道用1号マンホール (内空φ 900)	
	○	△	○	△
鉄蓋開閉作業性	○	支障なし	○	支障なし
室内出入り	△	ステップ(階段)が無く昇降困難	◎	ステップ(階段)があり昇降容易
室内作業性	◎	狭いが角型のため作業性良好	△	丸形のためやや作業しづらい
保温性	○	2℃以上保持	○	2℃以上保持
耐荷重	△	T-10 対応	◎	T-25 対応
設置費*	△	111 万円	△	132 万円
総合評価	△	設置場所に制限あり、昇降設備必要	○	公道上の設置可能



図23 人孔内での作業状況 左：大型量水器ボックス 右：下水道用1号マンホール

を保っていた。耐荷重が高く公道に設置可能なことから、下水道用1号マンホールの方がやや汎用性が高いものと考えられる。

3.3.6 導入メリット評価

a) 評価目的および方法

常時排水と装置による自動排水の経済性を評価した。評価条件を表15に示す。両者とも、排水する水道水に係る費用および毎月の点検費用を考慮し、加えて自動排水は初年度のみ必要となる装置導入費、更新費（ここでは仮に10年に1回とした）を見込み、積算費用の比較で評価した。

b) 評価結果

一例として、各地点の装置設置から15年経過までの結果を図24に示す。自動排水は導入費用等を要するため、導入当初の経済性は常時排水が優位となった。しかし、排水量が常時排水と比較して大きく削減されることから、継続使用することで地点Aでは導入から3年、地点B、Cでは6年目に自動排水の経済性が優位となり、以降は装置を10年ごとに更新しても優位性に変化はなかった。

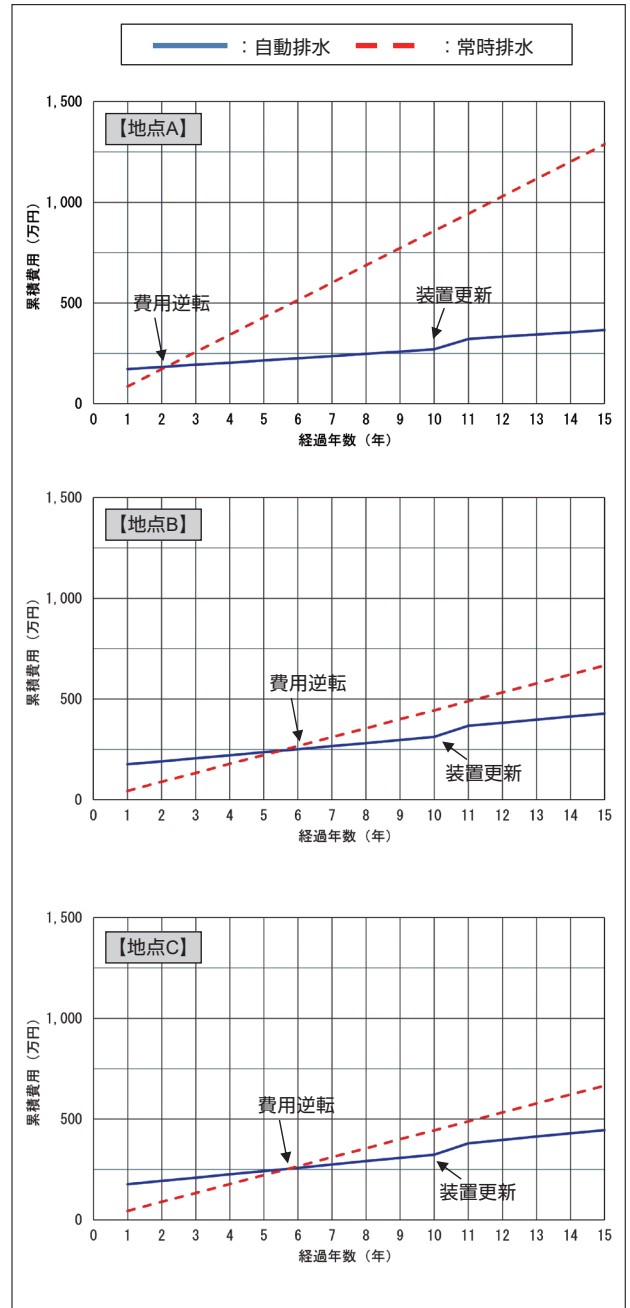


図24 経済性評価結果

表15 導入メリットの評価条件

排水条件	内訳	備考
自動排水	・ 装置代 ・ 装置設置人件費 ・ 設置土工事費	初年度のみ発生
	・ 年間排水量×水単価	・ 毎年発生 ・ 排水条件は表8とした
	・ 定期点検費 ・ 消耗品費（乾電池）	・ 点検は月1回実施 ・ 電池は1年に1回交換
	・ 装置更新費（装置代+装置設置人件費）	ここでは10年に1回とした
常時排水	・ 年間排水量×水単価 排水流量：地点A：10 L/min 地点B・C：5 L/min	排水設備の設置費用は含めない
	・ 定期点検費	点検は月1回実施

4 おわりに

旭川市における冬期間のフィールドテストの結果、本装置の水質維持効果や、常時排水に対する排水量削減効果と経済的優位性を改めて確認することができ、水管橋を含む管路の凍結防止用排水の削減にも効果があることが分かった。今回試行した設置方法は冬期間でも凍結することなく装置を運用でき、人孔の有用性についても評価することができたが、その一方で地下水位が高い場合はその対策を要することが分かり、排水流量が多い場合の水圧変動の影響についても確認できた。

一連の結果を踏まえ、旭川市では 2024 年度から本装置の採用を決定した。なお、地下水対策については防水ケース方式を採用する方向で進めており、仕様決定に向けた検討を継続中である。

フィールドテストで得られた結果や判明した課題は、今後の装置改良や設置方法の検討に活かし、様々な条件下での適応性を高めて、全国の水道事業者が抱える水質維持業務の課題解決に寄与したい。

参考文献：

- 1) (公財) 水道技術研究センター：
技術レポート No.31 管路内残留塩素濃度管理マニュアル

執筆者：

山本雅之

1999 年入社
技術士（上下水道部門・
総合技術監理部門）
ダクタイル鉄管の研究・開発に従事



丹野碧吉

旭川市水道局



久保田 雅仁

旭川市水道局

