

農業用塩ビ管水路の長寿命化を図るための  
圧力変動緩和装置の設置マニュアル

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門

旭有機材 株式会社

一般社団法人 畑地農業振興会

# 内容

1. 総論.....	1
目的.....	2
適用範囲.....	4
2. 事前調査.....	5
2. 1. 概要と調査手順.....	5
2. 2. 過去の事故歴調査.....	6
2. 3. モニタリング調査.....	9
2. 4. 圧力変動緩和装置の設置の判断.....	14
3. 圧力変動緩和装置の設置.....	17
3. 1. 機能.....	17
3. 2. 構成.....	19
3. 3. 設置方法.....	22
4. 施工・管理上の注意点.....	23
参考資料.....	24
施工例① 沖縄県宮古島地区.....	24
施工例② 佐賀県多良岳地区.....	25

## 1. 総論

本マニュアルは、漏水事故の原因である管内水圧の変動による塩ビ管の疲労破壊を防止するための有効な対策の一つである圧力変動緩和装置の設置方法や留意点について、解説するものである。

農業水利施設においてパイプラインが導入されたのは昭和 40 年代からである。近年、農業用パイプラインは、基幹的な施設の延長が約 1 万 2 千 km に達する。基幹的な施設から分岐した小口径の農業用パイプラインの延長は把握されていないが、膨大な延長に達すると推測される。標準的な耐用年数を迎える施設が急増している中、農業用パイプラインの漏水による突発事故が増加傾向にある。

漏水が生じるような変状を伴う破損には複数の形態がある。例えば、管体においては、ひび割れ、変形、たわみ、沈下、蛇行などが挙げられ、継ぎ手においては、ゆるみによる離脱や押し込みによるひび割れが挙げられる。それらの変状を引き起こした原因を緩和したり、除去したりすることによって管体と継ぎ手の破損を未然に防止する対策が必要である。この根本塞源の対策により、農業用パイプラインの長寿命化を達成できると考えられる。

特に、小口径の高圧管路において破損による漏水事故件数が多い管種は、硬質塩化ビニル（以下、塩ビ管と呼ぶ）である。よって、本マニュアルで対象とする管種を塩ビ管としている。塩ビ管においては、管体では、管壁に生じたき裂が成長して管が分断されるような割れに発展する疲労破壊が発生したり、継ぎ手では、ゆるみによる離脱や押し込みによる継ぎ手や管体の疲労破壊が発生したりしている。これらの疲労破壊の原因となる繰返し生じる外力の正体はなんであるのか究明して、それを緩和したり除去したりする適切な対処方法を施すことが漏水事故を低減するために重要な手段である。

そのためには、モニタリングによる事前調査を行う必要がある。特に、農業用パイプラインは複雑な自然地形に設置されるため、農業用パイプライン施設の構成、水管理の方法、周辺環境によって異なる水理学的条件が生じ、管内水圧は大きさや波形が異なるので、モニタリングによる事前調査を行って原因を究明した後に、その原因の緩和や除去を目的とした対策方法を施すことが重要である。本マニュアルでは、そのモニタリングから圧力変動緩和装置の設置に至る流れを示す。

圧力変動緩和装置は、管内の水圧変動を小さくして、疲労破壊の進行を遅らせて塩ビ管を長寿命化させることを目的とした装置である。管内の水圧変動の緩和に関しては安全弁による方法があるが、安全弁は圧力がある上限を超えないと作動しないが、本装置は安全弁の設定上限よりも小さい圧力変動に対しても繰返し生じる外力を緩和する特徴がある。

なお、本装置は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門と旭有機材株式会社との共同研究の成果である。

目的

塩ビ管の疲労破壊の原因を調査し、その原因が管内水圧の変動であると判断される場合は、振幅と継続時間を低減する付帯施設を増設して、塩ビ管を長寿命化させる。

【解説】

農業用パイプラインの性能低下の原因は、農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」の図1に示されているように様々な原因が想定されている。特に管体や継ぎ手の破損については、管種によって破損モードが異なるため、変状の原因（図1の左側）と変状の現象・状態（図1の中央）は詳細な調査が必要である。

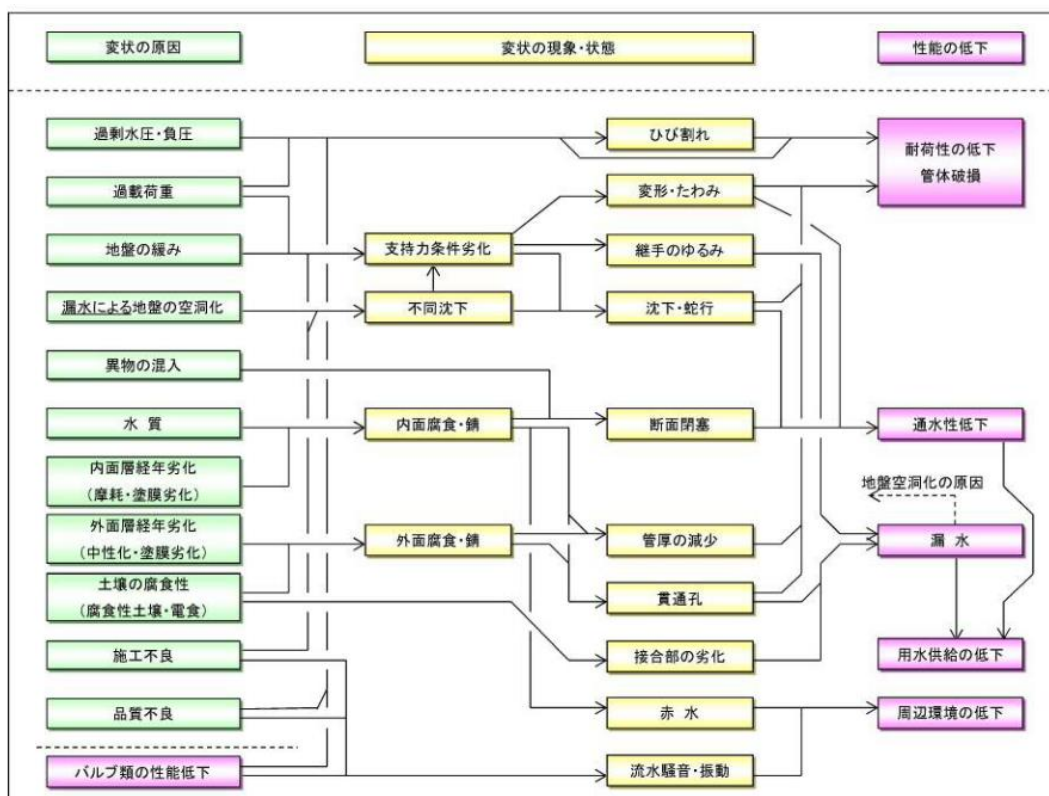


図1 一般的なパイプラインの性能低下とその原因  
 農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」から引用

国内の論文によれば、材質としての塩ビは疲労破壊することが試験片を使った実験などから知られているが、他方、パイプラインを構成する材料として、円筒状の形状をした塩ビ管が、埋設された状態で土圧や水圧の変動を受けて疲労破壊するという論文は見当たらなかった。むしろ海外の論文では、古くから、塩ビ管が疲労破壊によって破損することが報告されてきた。ここで、疲労破壊とは、繰り返しの応力によって小さなき裂が発生し、それを起点として、徐々にき裂が大きくなる破壊現象のことである。現時点では、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」の付録技術書において、塩ビ管の設計方法は疲労破壊を考慮したものとなっていない。よって、畑地灌漑用の高圧パイプラインの支線水路の管材として使用されている塩ビ管の破損事故が頻発している。

塩ビ管の疲労破壊を予防するためには、まずは、その原因が、どのような力によるものなのか、どのような事象が関わっているのかを明らかにする必要がある。本マニュアルは、その原因が管内水圧の変動によるものである場合に、管内水圧の変動の振幅と継続時間を低減して、塩ビ管の長寿命化させることを目的としている。

畑地灌漑用の高圧パイプラインの支線水路において使用されている塩ビ管を対象としている。

## 【解説】

塩ビ管（硬質塩化ビニル管）は、ポリ塩化ビニルに強化剤や安定剤を添加し、その熱可塑性を利用してパイプ状に成形したものである。農業用の他、工業用にも広く利用されてきた。

農業用パイプラインに使用される塩ビ管の種類として、VP、VM、VU、VHがある。それらの耐圧を表1に、寸法を表2に示す。

表1 農業用パイプラインに使用される塩ビ管の種類

記号	名称	耐圧
VP	硬質ポリ塩化ビニル管	1.0MPa
VM	硬質ポリ塩化ビニル管	0.8MPa
VU	硬質ポリ塩化ビニル管	0.6MPa
VH	農業用水用厚肉硬質ポリ塩化ビニル管	1.25MPa

表2 塩ビ管の寸法

呼び径 (mm)	外径 (mm)	規格 / 管種 / 厚さ(mm)			
		JIS K 6742	JIS K 6741		AS規格
		VP	VM	VU	VH
13	18	2.5			
16	22	3.0			
20	26	3.0			
25	32	3.5			
30	38	3.5			
40	48	3.6	3.6	1.8	
50	60	4.1	4.1	1.8	4.6
65	76	4.1	4.1	2.2	
75	89	5.5	5.5	2.7	6.2
100	114	6.6	6.6	3.1	7.6
125	140	7.0	7.0	4.1	
150	165	8.9	8.9	5.1	10.5
200	216		10.3	6.5	12.1
250	267		12.7	7.8	15.0
300	318		15.1	9.2	17.8
350	370			14.3	10.5
400	420			16.2	11.8
450	470			18.1	13.2
500	520			20.0	14.6
600	630			17.8	

想定しているパイプライン形式は、クローズドタイプやセミクローズドタイプのパイプラインである。これらのパイプラインは管内水圧が高圧の管路である。

## 2. 事前調査

### 2. 1. 概要と調査手順

事前調査では、圧力変動緩和装置を設置することが管の破損事故の予防につながる可能性があるかを判断することを目的として、破損事故の要因を推定する。本項では、調査の手順を示す。

#### 【解説】

塩ビ管の破損原因は、水理学的、土質力学的、地震動、材質や周辺環境、施工不良など様々な原因が想定される。これらの原因のうち、わが国では管内水圧が変動する水理学的な原因による事例が多いことが知られている。このため、圧力変動緩和装置は、管内水圧が変動する水理学的な原因に対処することを目的として開発された。

よって、漏水事故が発生し、その原因が不明である場合は、事前に原因究明を行うことが適切な対策の選定に必要である。

塩ビ管の漏水事故が発生している地区において、事前調査により圧力変動緩和装置を設置することが漏水事故の予防につながる可能性があるかどうかを判断することを目的として、漏水事故の原因究明を行う。図2に事前調査の流れを示す。

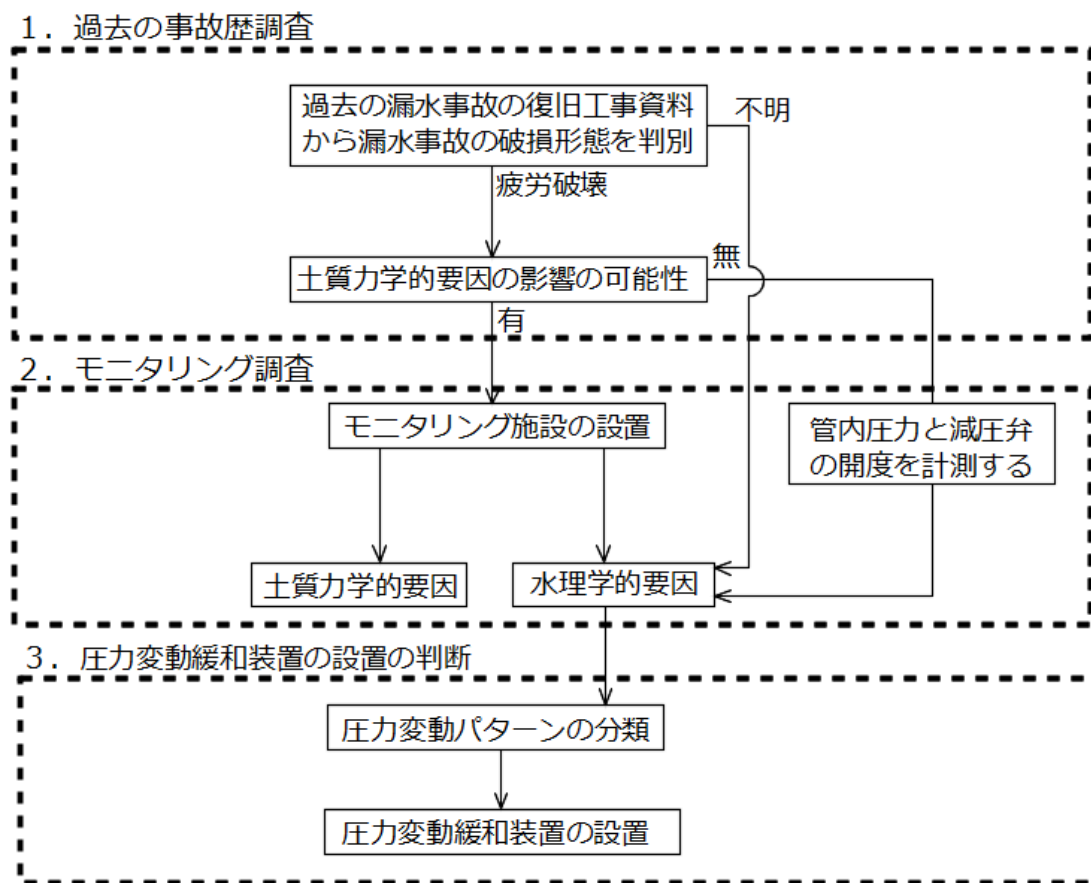


図2 事前調査の手順

## 2. 2. 過去の事故歴調査

過去に生じた管の破損事故の資料やその廃材を整理して、変状の現象や状態を調査することによって、破損形態と破損要因を推定する。

### 【解説】

漏水事故による復旧工事の履歴を調べることによって、疲労破壊が生じているか判定する。具体的には、以下の手順によって調査する。

- ① 破損した管の外観やき裂の破面を観察して破損形態を推定する。
  - ② 破損事故が発生した場所を路線地図上にプロットして、その分布から破損要因を推定する。
- 上記の①では、復旧工事の完了写真などに破損管の破面が撮影されている写真を利用する。

疲労破壊は管の軸方向に沿ってき裂が発生する。このき裂は鋸歯状に細かくギザギザしており、き裂の両端はY字型に白く変色しているのが特徴である。図4に疲労破壊状態を示す。



図4 疲労破壊による亀裂

破損した管を保管しておくことにより、廃材管の破面から破損形態をより詳細に推定できる。図5のようにき裂の両端を切り取ることによってき裂の破面を観察することができる。



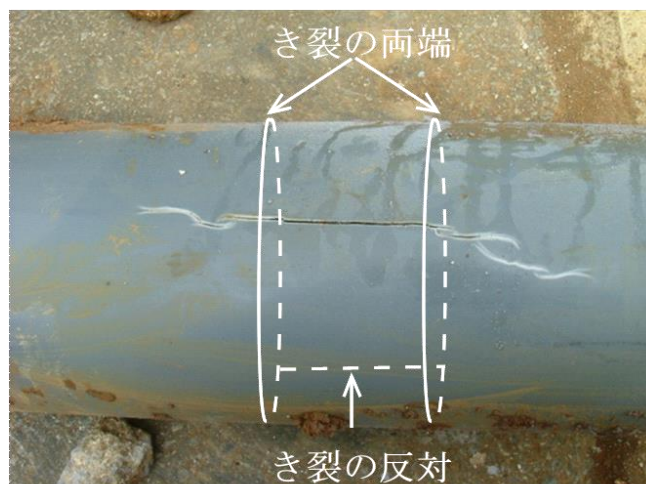


図5 き裂の破面を観察するための切断箇所

切断した後のき裂の破面が図6に示すように同心円状の縞模様がある場合は、疲労破壊である。ここで、同心円の中心はき裂の発生起点である。段差模様はき裂が急激に進展した個所であることを示している。つまり、この破面から、き裂の発生起点は管の内面側にあり、その近傍に直径1mm程度の黒い塊から段差模様が生じていることが判明する。き裂の発生起点が管の内面側になるのは、管に引張応力が繰り返し作用したためである。直径1mm程度の黒い塊が塩ビ管の製造過程で生じた為に材料の強度が低下したことにより、近傍の引張応力が繰り返し作用した管の内面側からき裂が進展したと考えられる。



図6 き裂の破面

上記の②の方法で、管の破損事故の分布を調べ、パイプラインの配管や付帯施設の位置との関係や道路交通状況との関係と比較することにより、破損要因を推定する。例えば、ある地区の破損事故の分布を調べると、図7のように特徴的な分布になる。図7は減圧弁の下流側の約200mから約600mにある約400m区間に集中的に破損事故が起きている例である。管の埋設深さは1.2mであり、自動車の

交通量は多くないことを考慮すると土質力学的要因ではなく、パイプラインの付帯施設による水理的な要因である可能性を推定できる。

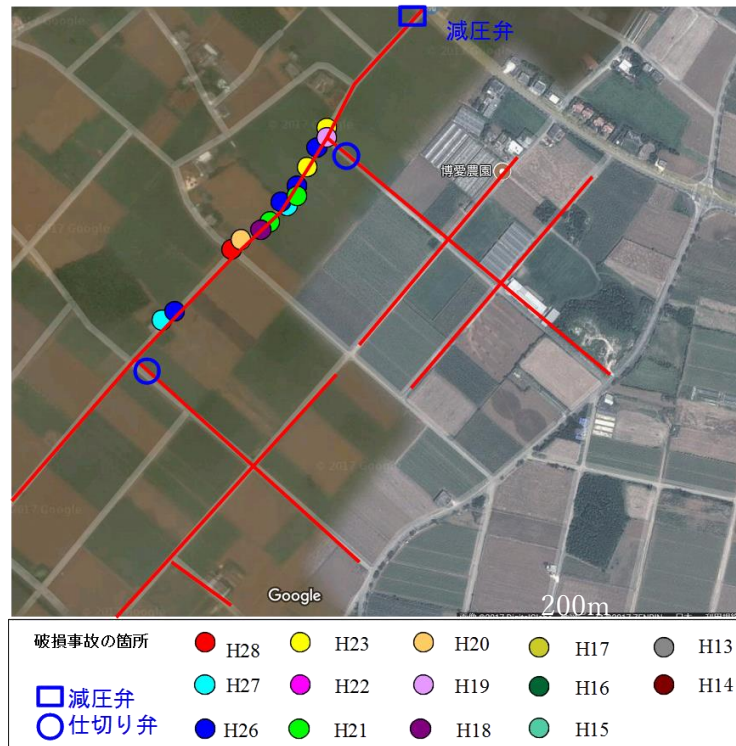


図7 減圧弁の下流側に集中的に破損事故が起きている例

## 2. 3. モニタリング調査

事前調査の結果に基づいてモニタリング調査を行い、管内部の状態把握や破損要因（水理学的要因・土質力学的要因）を究明することによって、圧力変動緩和装置の設置の是非を判断するための情報を整理する。

### 【解説】

モニタリング調査の目的は、圧力変動緩和装置の設置の是非を判断するための情報を整理することである。そのため、①管内部の疲労破壊によるき裂の現状確認と、②疲労破壊の発生要因の究明を目的として、表3に示すモニタリング調査の項目とそれを達成するための手段により行う。

表3 モニタリング調査の項目と調査手段

調査項目	調査手段	
	手段	手法
疲労破壊の発生要因の究明	計測器	水圧計，減圧弁の開度計（水理学的要因）
		土圧計，ひずみゲージ（土質力学的要因）
管の疲労破壊による亀裂の有無や進行状況の確認	カメラ	管内検査用内視鏡カメラ
		管内検査用カメラ搭載ロボット

モニタリング調査は、事前調査により管の破損事故の要因が水理学的要因であるか土質力学的要因であるか推定できない場合に行い、モニタリングを行うための施設（モニタリング施設と呼ぶ）を設置する。ただし、事前調査において管の破損事故の要因が水理学的原因による疲労破壊であると推定できる場合は、管内部の状態把握や土圧・ひずみの計測は行わず、管内水圧の計測や減圧弁などの付帯施設の動作の計測を行うのみとする。

モニタリング施設は、主に①計測機器と、②カメラの投入口・回収口から構成される。さらに、支線水路に減圧弁がある場合には、減圧弁の開度を計測するために距離センサーを設置する(図8)。

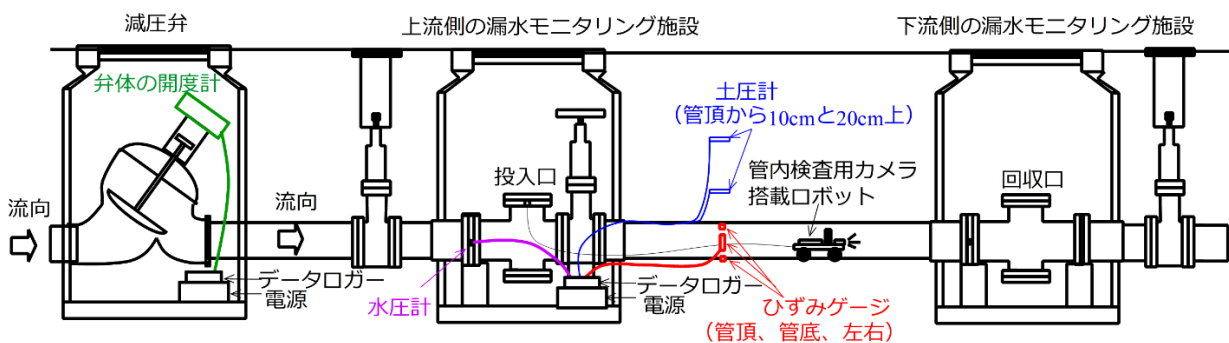


図8 モニタリング施設の構成

### ① 疲労破壊の発生要因の究明

センサーは、水理学的要因を調査するために水圧センサーと減圧弁の開度センサーを、土質力学的

要因を調査するために土圧センサーとひずみゲージを図9と図10のように設置する。センサーによる計測結果を記録するためのデータロガーと電源が必要である。

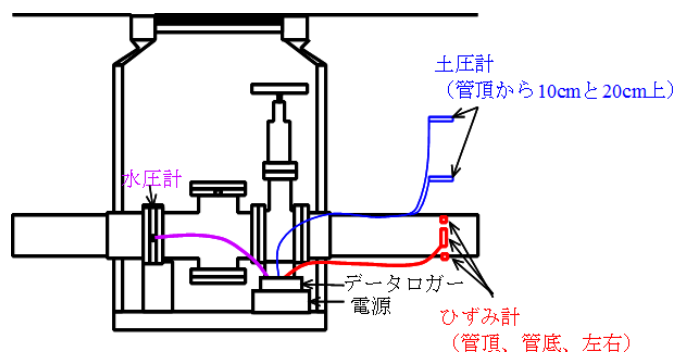


図9 圧力センサー、土圧センサー、ひずみゲージの設置方法

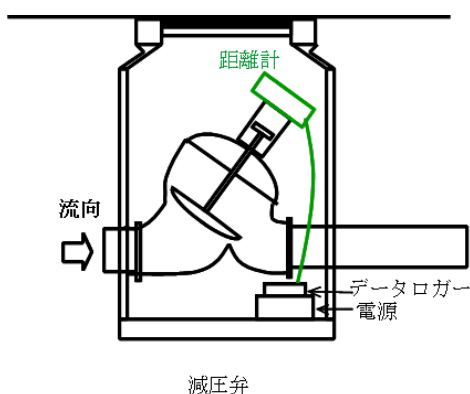


図10 減圧弁の開度センサーの設置方法

水圧計の設置は、パイプのフランジにゲージフランジを挟み、そのゲージフランジに接続するのが良い。水圧計の選定にあたっては、ブルドン管などで計測して最大圧を確認し、耐圧を満たしたセンサーを選定する。ただし、破損要因が水理学的要因であると推定され、管内水圧の計測や減圧弁などの付帯施設の動作の計測のみを行う場合は、既存のブルドン管にチーズ管を取り付けて水圧センサーによる計測を行う。既存のブルドン管が設置されている場所として、例えば、減圧弁、空気弁および液肥混入装置などが挙げられる。

減圧弁の開度計として距離センサーまたは変位センサーを利用する。例えば、減弁圧弁の軸が弁の外に突き出しているので、この軸の上端に円盤を載せて、この円盤の移動距離を計測する。移動距離を計測できるセンサーとして、レーザー変位計、ワイヤー式変位計、超音波距離計などがある。

土圧計は、その設置に際して締固め時のタンパやプレートコンパクタの振動によって破損しないように注意を要する。

ひずみゲージは、管の内面に貼ることは小口径管では難しいので外面に貼る。ひずみゲージを貼る位置には、管頂、管底、管の左右が良い。

水理学的要因のモニタリング調査は、期間を数カ月から1年かけて期別の水利用変化による圧力変動

を確認するのが良い。計測値を記録する時間間隔は1秒であれば、給水栓の開閉による水撃圧の大きさを正確に記録できる。

他方、土質力学的要因のモニタリング調査は、設計時に想定された最大加重となるダンプを使い、道路交通試験を行う。計測値を記録する時間間隔は、0.01秒程度でよい。

## ② 管の疲労破壊によるき裂の有無や進行状況の確認

き裂の有無や進行状況の確認は、管の内部から管内検査用内視鏡カメラや管内検査用カメラ搭載ロボットを用いて実施する。

管内検査用内視鏡カメラや管内検査用カメラ搭載ロボットは、下水道やプラントのメンテナンス用の製品を用いて実施できる。ただし、管内検査用内視鏡カメラや管内検査用カメラ搭載ロボットを挿入したり、移動させたりするためには、管路が直線区間であることが望ましい。

これらをより安価に実施するために、自作したものをを使用することも可能である。例えば、管内部の水を排水した後の空水状態で撮影する場合は、アクションカメラとLEDライトを搭載したモーター駆動の模型の四輪車に載せることによって撮影することが可能である（図11）。他方、管内部を満水にした状態で撮影する場合は、アクリル製の筒の中にアクションカメラとLEDライトを内蔵して撮影することができる（図12）。

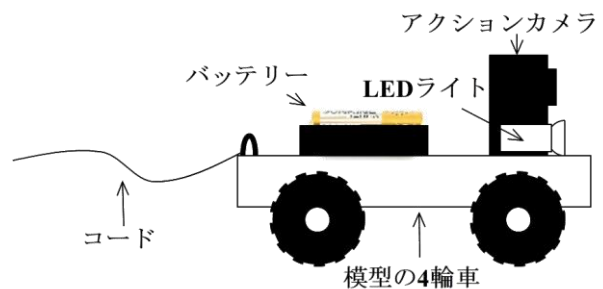
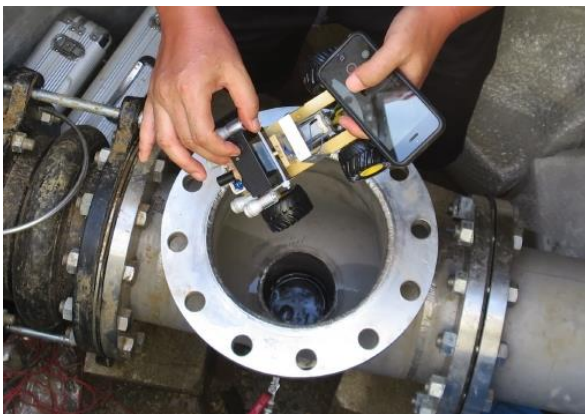


図11 排水した後の空水状態の管内部を観察する管内検査用カメラ搭載ロボットの例

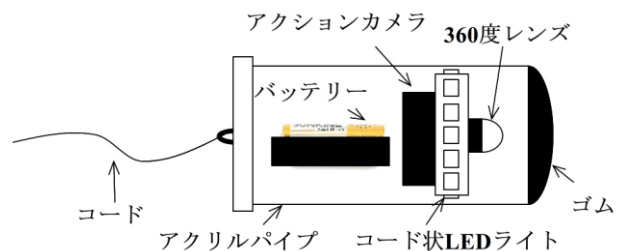


図12 満水状態の管内部を観察する管内検査用カメラ搭載ロボットの例

アクションカメラの動画撮影を行うことによって管内のき裂を観察することができる（図13）。



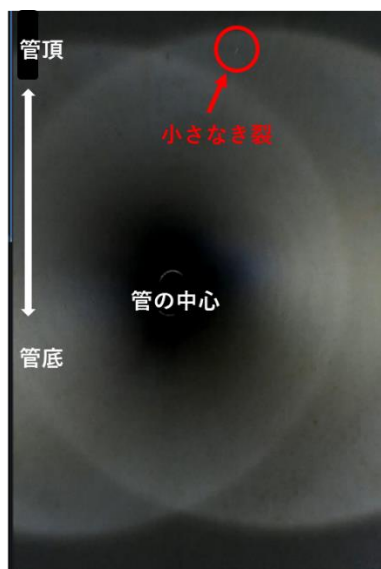


図 13 管内検査用カメラ搭載ロボットが撮影したき裂

管内検査用カメラ搭載ロボットを管内で紛失するのを防ぐために、投入口では、透明なアクリル板と管のフランジの間に、テグスを巻いたリール（図 14）を挟み込み、テグスに探査ロボットを接続する。回収口の下流側に管路のフランジにネットを挟めば、紛失の恐れがなくなる（図 15）。

カメラを投入・回収する口の直径は、本管の直径と同程度が望ましい。それらの蓋には、透明なアクリル板を取り付けることによって、カメラを搭載した探査ロボットが前進しているかをリールの回転具合から把握できる。



図 14 管内検査用カメラ搭載ロボットの追跡用テグスを巻き取るリール

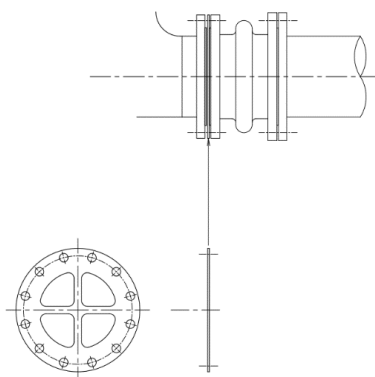


図 15 管内検査用カメラ搭載ロボットの回収用ネット

モニタリング施設のマンホールの大きさは、その中で作業員が行えるように、マンホール蓋の直径：900mm、内部空間の直径：1,500mm 確保することが望ましい。

モニタリング施設の設置箇所は、破損事故が多発する区間を挟むように上流側のモニタリング施設と下流側のモニタリング施設を設置するのが望ましい。カメラの投入・回収を確実にするために、モニタリング施設の間隔が長くなりすぎないように注意し、直線管路区間のうち約400m未満の位置に選定するのが望ましい（図16）。

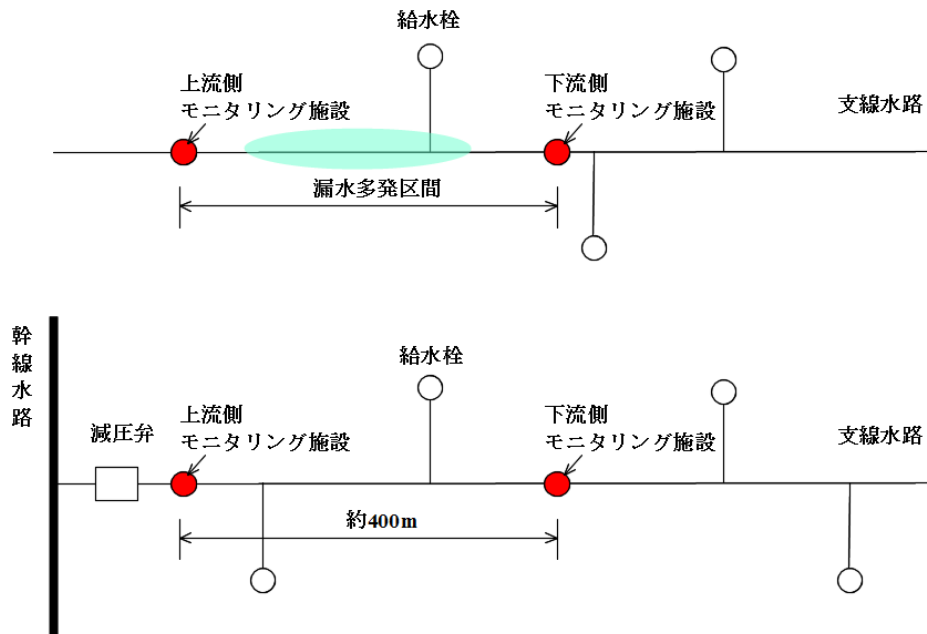


図16 漏水モニタリング施設の設置位置

管の内部に管内検査用カメラ搭載ロボットに投入するには、図17に示すように、投入口となる上流側のモニタリング施設と回収口となる下流側のモニタリング施設を挟むように制水弁が必要である。可能な限り既存の制水弁を利用できる箇所を設置すれば、設置費用を節約することが可能である。

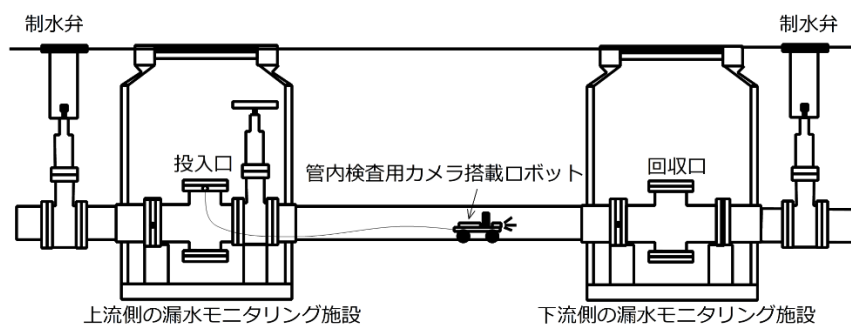


図17 カメラの投入・回収施設

## 2. 4. 圧力変動緩和装置の設置の判断

モニタリングの調査において、給水栓の開閉による水撃圧や減圧弁の応答による圧力上昇が顕著にみられる場合は、圧力変動緩和装置を設置することによって緩和することができる。設置の検討について、この項で詳細に説明する。

### 【解説】

#### (1) 圧力変動パターン分類

圧力センサーによって連続的な計測を行った結果、管内水圧の変動パターンを分類することができる。図 18 は管内水圧の変動パターンを分類したイメージ図である。これら水圧変動のパターンは、水利施設の構成や水管理の方法によって生じる。

##### ① 給水栓の開閉による水撃圧

農家が弁を開閉する際に生じる大きな圧力変化である。

##### ② 減圧弁の応答による圧力上昇

減圧弁は 2 次圧を検知して弁の開度が変化する。この弁の応答速度の違いによって圧力上昇の大きさに差が生じる。

##### ③ 止水時に減圧弁の 2 次圧が 1 次圧と同圧になる

減圧弁の応答速度が遅すぎると、止水時に 2 次圧が 1 次圧を引き継いで動圧になってしまう。

##### ④ 縦列配置された減圧弁の 1 次圧が脈動する

減圧弁が複数個縦列に配置された場合、1 次圧が脈動現象を引き起こす。

##### ⑤ ポンプの起動と停止が頻発して圧力が変動する

保圧ポンプの起動と停止が頻繁に発生して、管内水圧の変動が大きくなる。

これらのパターンへ分類することによって、どのような水理現象が起きているのか判断することができる。

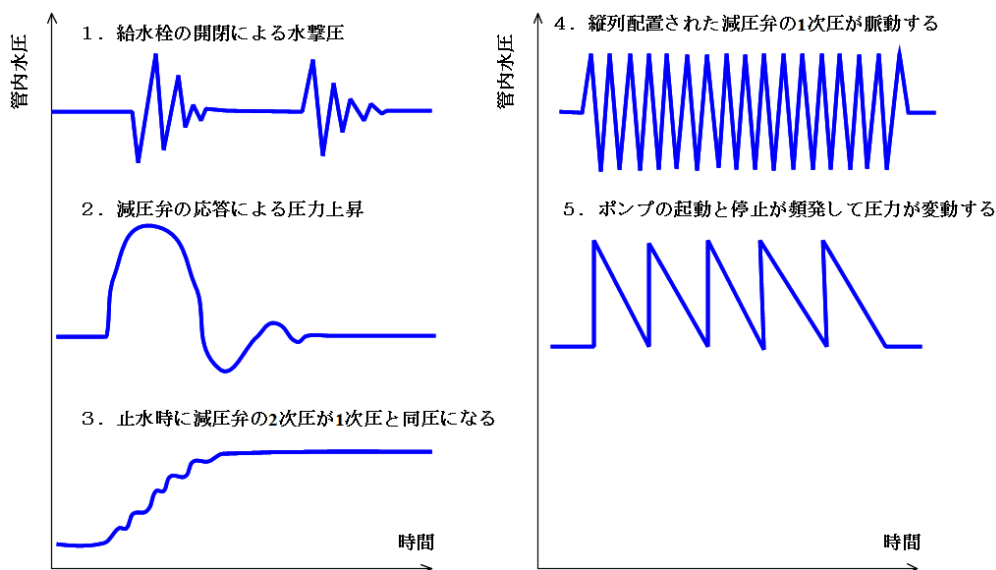


図 18 塩ビ管の疲労破壊に影響を及ぼす水理学的要因の分類パターン



## (2) 圧力変動緩和装置の設置

農研機構が実施した2件の現地実証試験(2018年3月現在の数)の結果では、給水栓の開閉による水撃圧(パターン1)や減圧弁の応答による圧力上昇(パターン2)に対して、圧力の変動の振幅と継続時間を低減することが確認されている。

破損原因が給水栓の開閉による水撃圧である場合の対策方法は、その路線に接続する給水栓が数カ所程度の少ない数であれば、低コストで改善するために、給水栓のメンテナンスや更新を行うことを検討すべきである。しかし、路線内に数十カ所の給水栓が接続している場合は、圧力変動緩和装置の設置が複数の給水栓のメンテナンスや更新の費用よりも有利となる。

また、破損原因が減圧弁の応答による圧力上昇である場合は、減圧弁本体やそのパイロット弁のメンテナンスを行うことが重要である。水質環境が悪く、弁の軸に析出物が付着したり、フィルターに堆積物や藻などが詰まったりすることが頻繁に生じる場合は、圧力変動緩和装置を設置することによって圧力上昇を緩和することができる。

他方、止水時に減圧弁の2次圧が1次圧と同じ圧力になる場合(パターン3)、縦列配置された減圧弁の1次圧が脈動する場合(パターン4)、およびポンプの起動と停止が頻発して圧力が変動する場合(パターン5)については、現時点(2018年3月現在)では、現場実証試験を実施していないので、効果については不明である。

ただし、止水時に減圧弁の2次圧が1次圧と同じ圧力になる場合(パターン4)は、止水時に弁体が正しく閉塞していないことが原因であると考えられるので、弁軸の研磨や弁周りのダイヤフラムやパッキンなどの点検を行うことが重要である。よって、これに対する圧力変動緩和装置の設置による効果は期待できない。

縦列配置された減圧弁の1次圧が脈動する場合とポンプの起動と停止が頻発して圧力が変動する場合(パターン5)については、今後、現場実証試験を実施してマニュアルを更新していく予定である。現時点において考えられる対策方法は以下のとおりである。

縦列配置された減圧弁の1次圧が脈動する場合は、安全弁の作動開始の設定圧力を調節して適切に圧力のピークカットを行うことが重要である。

ポンプの起動と停止が頻発して圧力が変動する場合は、ポンプによる急激な水圧上昇が生じないようにインバーター制御方式に変更したり、保圧タンクの容量を現在の使用水量に見合う体積になるように更新したりすることが重要である。

分類された水理学的要因に対して、表4のとおりに対策方法を整理した。

表4 塩ビ管の疲労破壊の水理学的要因に対する対策方法

塩ビ管の疲労破壊の水理学的要因	対策方法	
1. 給水栓の開閉による水撃圧	給水栓が少ない場合	自動給水栓の場合、弁軸を研磨して清掃する。
		自動給水栓の場合、付属のディスクフィルターを清掃する。
		自動給水栓の場合、弁体を緩閉塞タイプへ変更する。
	給水栓が多い場合	スタンド式給水栓の弁体がボール弁の場合は、緩閉塞の弁形式に変更する。 圧力変動緩和装置を設置する。
2. 減圧弁の応答による圧力上昇	減圧弁本体に対して	弁軸を研磨して清掃する。
	付属のパイロット弁に対して	ダイヤフラムやパッキンなどゴム部品を交換する。
		作動開始の設定圧力を調整する。
		ニードル弁を調節して開閉速度を調節する。
		ディスクフィルターを清掃する。
圧力変動緩和装置を設置する。	弁軸を研磨して清掃する。	
3. 止水時に減圧弁の2次圧が1次圧と同圧になる	減圧弁本体に対して	弁軸を研磨して清掃する。
		ダイヤフラムやパッキンなどゴム部品を交換する。
	付属のパイロット弁に対して	作動開始の設定圧力を調整する。
		ニードル弁を調節して開閉速度を調節する。
		ディスクフィルターを清掃する。
弁軸を研磨して清掃する。	弁軸を研磨して清掃する。	
4. 縦列配置された減圧弁の1次圧が脈動する	安全弁の作動開始の設定圧力を調節する。	
5. ポンプの起動と停止が頻発して圧力が変動する	保圧タンクの容量を現在の流量に見合うように更新する。	
	制御方式をインバーター制御に変更する。	

### 3. 圧力変動緩和装置の設置

#### 3. 1. 機能

管内の急激な圧力変動に対して、最大圧力上昇値の低減と振動の継続時間の短縮を行い、疲労破壊の防止及び進行遅延により塩ビ管の長寿命化を図る。

#### 【解説】

圧力変動緩和装置は、空気弁の上流側に圧縮空気の入ったエアチャンバー（アキュムレーターと呼ぶ）を備えており、管径が上流の管径よりも大きくなる直前に弁体中央に穴の空いた逆止弁とオリフィスが付属している（図19）。

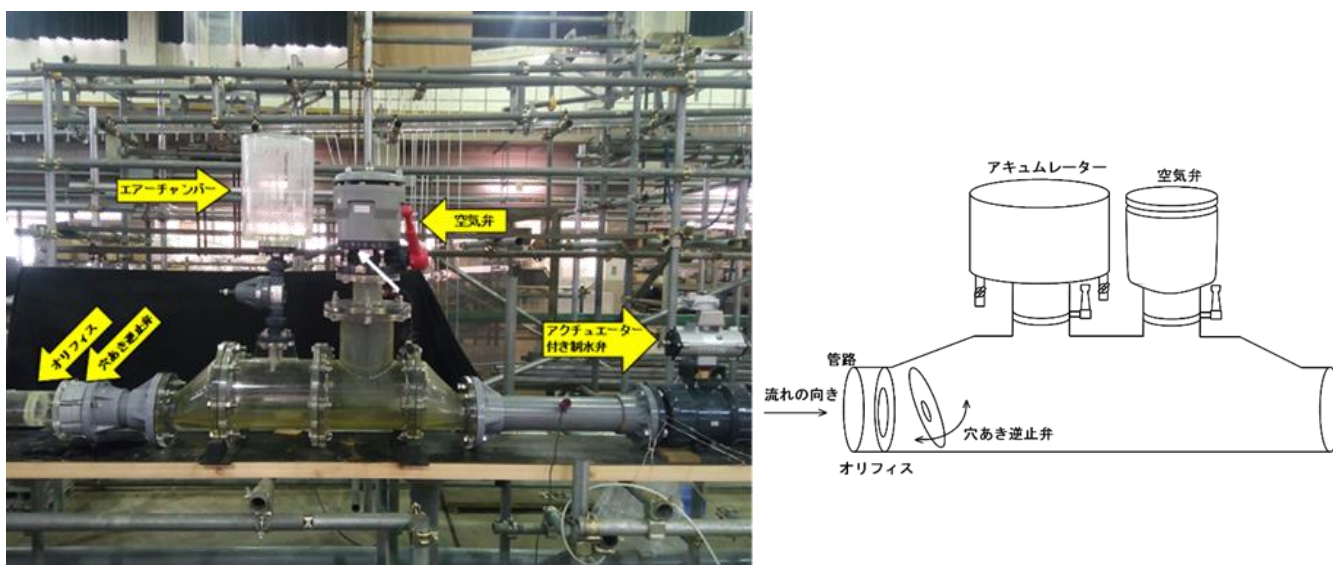


図19 圧力変動緩和装置（左：実験装置、右：概略図）

また、管径が上流のパイプラインの管径よりも大きくなるために、管内平均流速が遅くなって、上流から連行してきた空気が上昇し易くなり、空気弁から混入空気が排除され、下流側でのエアハンマー現象による急激な圧力変化を防止する仕組みを備えている。圧力変動緩和装置は、図19に示す室内試験において、エアチャンバーの容量を11.4Lとしてアキュムレーター付き制水弁を1秒間で閉塞して水撃圧を発生させる実験の行った結果、管内の急激な圧力変動に対して、その最大圧力上昇値を26%低減する効果があった。さらに、この水理的過渡現象において逆止弁とオリフィスによるエネルギー損失を発生させるため、10秒後の水撃圧の上昇が52%低減され、圧力の振動を速やかに減衰させる効果があった（図20）。

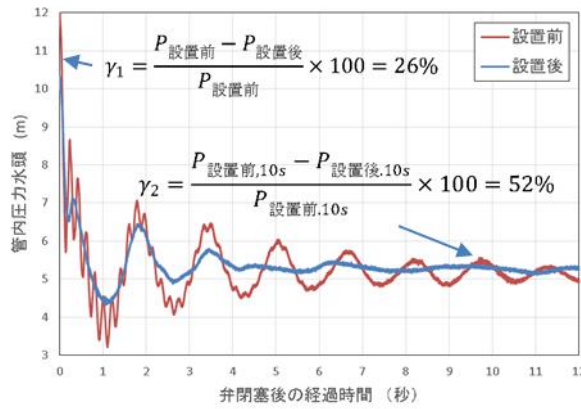


図 20 室内試験における低減効果

管内水圧の低減によって疲労破壊に至るまでの圧力変動の回数を増やし、塩ビ管の長寿命化を図る。Vinson によると小口径の塩ビ管について、最大周方向応力と疲労破壊に至るまでの圧力変動の回数は次式のように指数で表すことができる。

$$C = (5.05 \times 10^{21}) S^{-4.906} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、C は疲労破壊に至るまでの圧力変動の回数、S は最大周方向応力 (psi) である。  
最大周方向応力は次式である。

$$S = (SDR - 1) P \div 2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、SDR は外径と管の厚さの比、P は最大管内水圧 (psi) である。

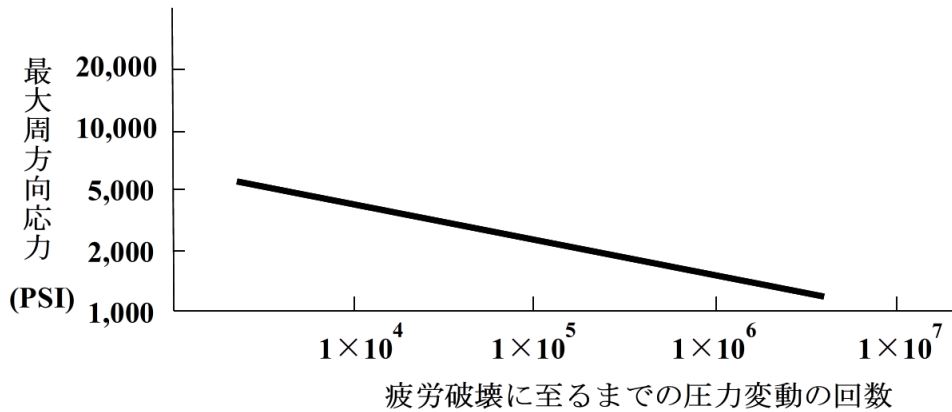


図 21 最大フープ応力と疲労破壊に至る圧力変動の回数の関係 (Vinson の論文より引用)

Vinson の実験による式を適用して、300A の塩ビ管に 1MPa の水圧が繰り返しかかる場合に破壊に至る回数を試算すると、通常 1,540,000 回で壊れるところ、本装置を設置することで 6,740,000 回まで壊れない。

### 3. 2. 構成

圧力変動緩和装置は、アキュムレーター、穴あき逆止弁、および空気弁から構成される。これらの構成部品について、この項において説明する。

#### 【解説】

管径が上流のパイプラインの管径よりも大きくなる標準タイプと管径が上流のパイプラインの管径と同じ径のコンパクトタイプがある（図 22）。上流側の付帯施設からの混入空気があまり見られない場合や標準タイプを設置するスペースの確保が困難である場合は、コンパクトタイプにすることを推奨する。

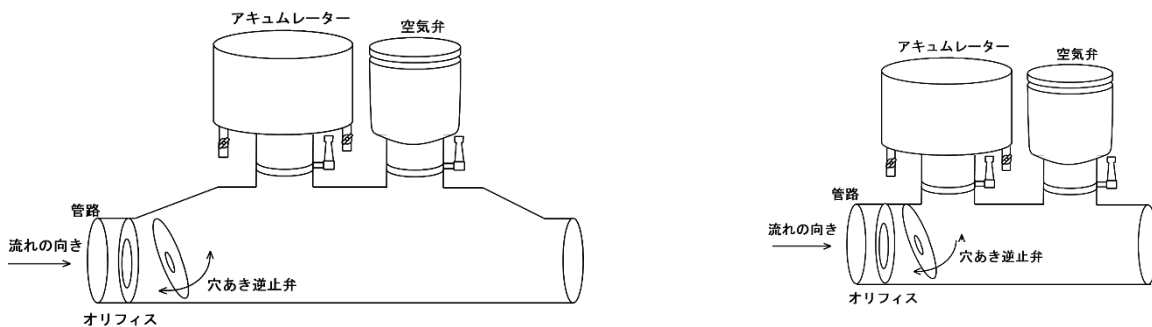


図 22 標準タイプ(左)とコンパクトタイプ(右)

#### ① アキュムレーター(図 23)

内部の気体が圧縮されることにより、管内水圧の変動を吸収して、圧力上昇のピーク値を低減する役割がある。内部に窒素ガスを充てんしたプラダと呼ばれるゴム製の隔膜が格納されており、管内の非圧縮性の水の圧力が変動するたびに、プラダ内の窒素ガスの容積が変化する構造である（図 24）。

アキュムレーターの容量は、静水圧、水撃圧、摩擦損失水頭、管内平均流速および管路の口径等によって異なる。アキュムレーターのメーカーによる計算式があるので、これを使用すると良い。



図 23 アキュムレーターの外観（イーグル工業のホームページから引用）

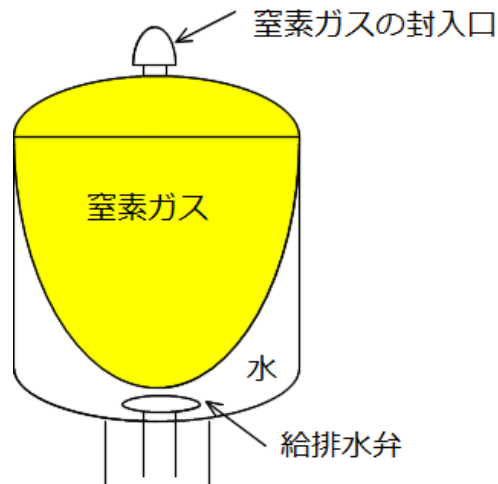


図 24 アキュムレーターの内部構造

② 穴あき逆止弁

下流側で大きな圧力変動が生じた際に反周期ずれて流速の変化が起きるので、流速の向きが逆転した時に穴あき逆止弁が瞬間的に閉塞して、オリフィス流れになり、局所損失が生じることによって圧力変動を減衰させることを目的としている。穴あき逆止弁は、樹脂製の逆止弁の弁体中央に弁体の直径の約半分の大きさの孔隙が開いた構造となっている（図 25）。

樹脂製の逆止弁は、逆流方向へは弁体が開かないように、弁体の上流側がオリフィス構造になっているため、オリフィスの機能を兼ね備える。オリフィスの機能によって流体抵抗が大きくなり、圧力変動の減衰が早くなる（図 26）。



図 25 逆止弁（旭有機材のホームページから引用）と中央に孔隙を開けた逆止弁（右）

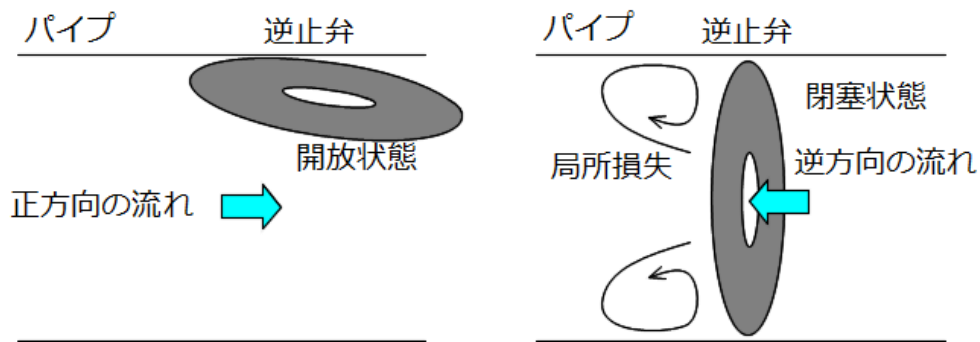


図 26 穴あき逆止弁の機能に関するイメージ

### ③空気弁

上流側のファームポンドのシール高不足やポンプの空気吸い込みによって管内に気泡が連行されることがある。連行された空気は管路内で空気だまりとなり、エアーハンマー現象を引き起こす。空気弁の設置により円滑に管内の空気を外に排除することができる（図 27）。金属製の空気弁は腐食して作動しない事例が多くみられることから樹脂製の空気弁を設置する。

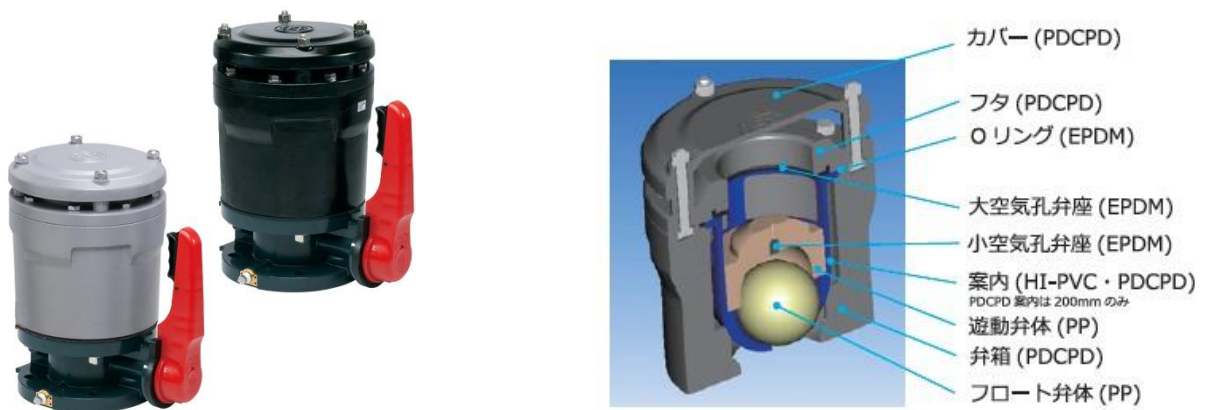


図 27 空気弁（旭有機材のホームページから引用）



### 3. 3. 設置方法

圧力変動緩和装置の位置は、圧力変動によって破損事故が生じる管水路線上流側に設置するのが望ましい。設置するスペースとして、モニタリング施設を設置したマンホール内や既設の建屋内を利用して設置する。

#### 【解説】

疲労破壊の要因を水理学的要因であるか調査する目的で設置したモニタリング施設があれば、そのモニタリング施設を設置したマンホールを再利用して、圧力変動緩和装置を設置するのが望ましい（図 28）。アキュムレーターの容量が大きく、マンホール内に収まらない場合は、アキュムレーターの容量を分割して複数本のアキュムレーターを据え付けることができる。

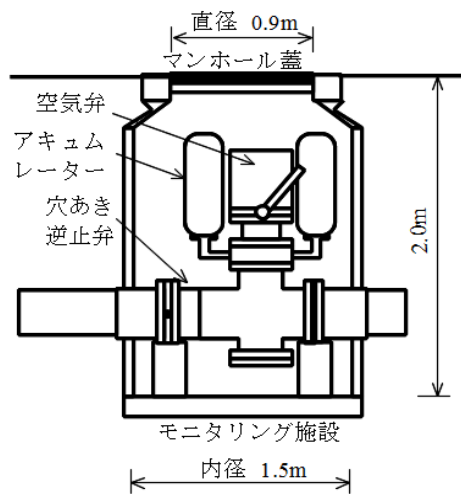


図 28 モニタリング施設の中に圧力変動緩和装置を設置する例

給水栓の開閉による水撃圧が破損事故の要因であることが他の調査手法によって明らかである場合、モニタリング施設の設置は必ずしも必要ではない。その場合、圧力変動緩和装置を設置するためには、マンホールを新設しての設置や、既設の建屋（例えば、液肥投入装置や減圧弁などの建屋）にスペースを確保しての設置が必要である（図 29）。

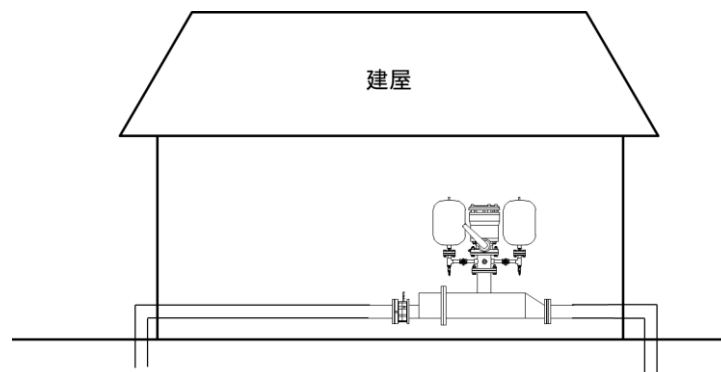


図 29 既設の建屋のスペースを利用して圧力変動緩和装置を設置する例



#### 4. 施工・管理上の注意点

アキュムレーターは高圧の窒素ガスを蓄圧した施設であるので、施工と管理上の注意が必要である。この項では施工・管理上の注意点を整理する。

##### 【解説】

- ① 施工にあたっては関係機関との打ち合わせを実施して計画書を作成し、円滑かつ安全な施工に向けた検討を実施する。
- ② 計画書には、概要・内容（期間、場所、区間）・成果物・施工の体制・作業フロー・使用機材・安全衛生対策などを記述する。
- ③ アキュムレーターの容積と封入圧力は、静水圧、水撃圧、損失水頭、管内平均流速および管路の口径等により異なり、アキュムレーターのメーカーによる計算式を使用する。ただし、マンホールの内部寸法を考慮して選定する必要がある。アキュムレーターがマンホールに収まらない場合は、容量を分割して複数個設置することも検討する。
- ④ 1MPa 以上の封入圧力のアキュムレーターを設置する場合は、高圧ガス保安法の適用を受けるため、都道府県知事に対して許可申請または届け出が必要な場合があるので、設置する場合は事前に確認を行う必要がある。
- ⑤ 封入圧力は、点検作業を毎年 1 回程度行うことが適切である。窒素ガスの封入や点検作業は、アキュムレーター内の水圧を開放してから行う。

## 参考資料

### 施工例① 沖縄県宮古島地区

#### 1. 地域の特徴

かんがい用水は、地下ダムに貯留された水を揚水機によってファームポンドに圧送し、ファームポンドから自然流下によって末端圃場まで配水される。幹線水路から支線水路への分岐点には減圧弁による減圧が行われ、末端圃場には自動給水栓によって散水される。パイプラインは道路下埋設である。収穫したサトウキビや整備した圃場からの土砂を積載した大型のトラックが通行することがあり、塩ビ管の埋設深さは1.2mである。

#### 2. 過去の事故歴調査

平成27年は年間約60件の破損事故が発生した。破損した管の外観から疲労破壊であることが分かる。

#### 3. モニタリング調査

道路交通加重試験と管内水圧の1年間のモニタリング調査を実施した。その結果、大型のトラックが通過した時の管のひずみは、通常の水管理によって給水栓を閉めた時の水撃圧や減圧弁が応答した時の水圧上昇が発生した時の管のひずみよりも大幅に小さく、疲労破壊の原因は水理学的要因である可能性が明らかになった。

#### 4. 圧量変動緩和装置の設置

モニタリング施設を設置したマンホール内にコンパクトタイプの圧力変動緩和装置を設置した。アキュムレーターは封入圧力は0.33MPaとし、容量はメーカーの計算式から37.2Lを選定した。マンホールのスペースに制限があったため、2つに分割して設置した。

圧力変動緩和装置の設置前は、給水栓を開けた際に負圧が発生し、給水栓を閉めた際には減圧弁が応答して約16mの大きな圧力上昇が生じていた。

設置した後は、給水栓を開けた際には負圧は発生せずに圧力変動が速やかに減衰し、給水栓を閉めた際には、水圧上昇は約3mに抑制され、その後の圧力変動も速やかに減衰した。

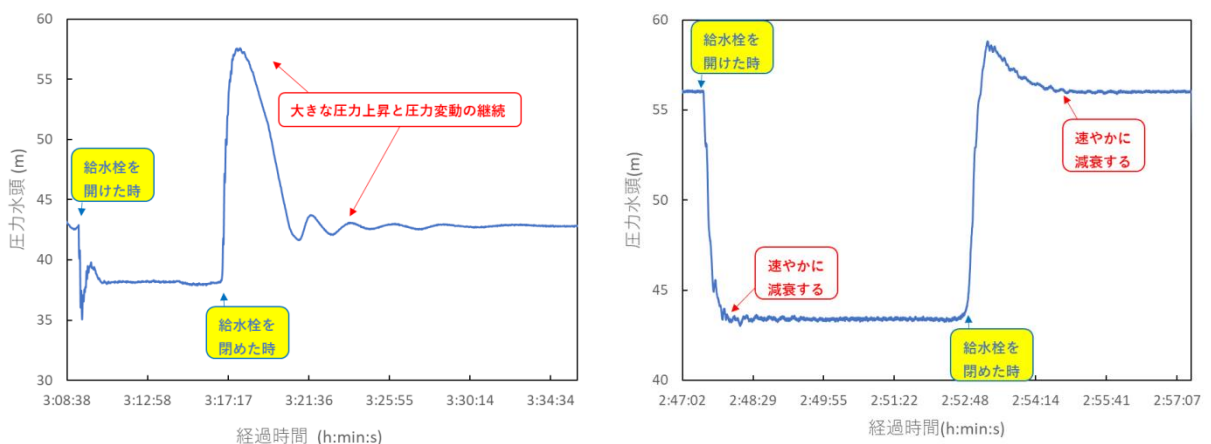


図 圧力変動緩和装置の設置前(左)と後(右)の給水栓の閉塞による圧力変動の違い

## 施工例② 佐賀県多良岳地区

### 1. 地域の特徴

本地区は、佐賀県南西部の多良岳山麓台地から有明海に向けて放射状に広がる傾斜にみかんを主体とする果樹園からなる。かんがい用水は、頭首工から分水した河川水をため池に貯留し、自然流下とポンプ圧送によって送配水している。かつてはスプリンクラーを使用していたが、現在ではスタンド式の給水栓でトラックに乗せた容器へ給水して、容器から散水する方法が一般的である。

### 2. 過去の事故歴調査

年間約 30 件の漏水事故が発生している。西花鳥配分水路では年間 10 件以上の漏水が発生している。西花鳥配分水路のように漏水事故が発生する場所の分布は集中していることがある。西花鳥配分水路が埋設されている区間の道路は道幅が細く、大型のトラックが走行することはないと思われる。

### 3. モニタリング調査

水理学的要因である可能性が高いと考えて、管内水圧の計測のみを行ったところ、スタンド式の給水栓を開閉した際の水撃圧が大きいことが明らかになった。

### 4. 圧量変動緩和装置の設置

コンパクトタイプの圧力変動緩和装置を設置した。モニタリング施設を設置した現時点では利用されていない液肥投入装置が収納された建屋内に設置した。アキュムレーターの封入圧力は 0.33MPa とし、容量は 37.2L を選定した。宮古島と同様に 2 つに分割して設置した。

圧力変動緩和装置の設置前は、給水栓を開けた際に負圧が発生し、給水栓を閉めた際には減圧弁が応答して約 11m の大きな圧力上昇が生じ、その後の圧力変動の継続時間は約 4 分間あった。

設置した後は、給水栓を開けた際には負圧は発生せずに圧力変動が速やかに減衰し、給水栓を閉めた際には、水圧上昇は約 2m に抑制され、その後の圧力変動の継続時間は半分となり、速やかに減衰した。

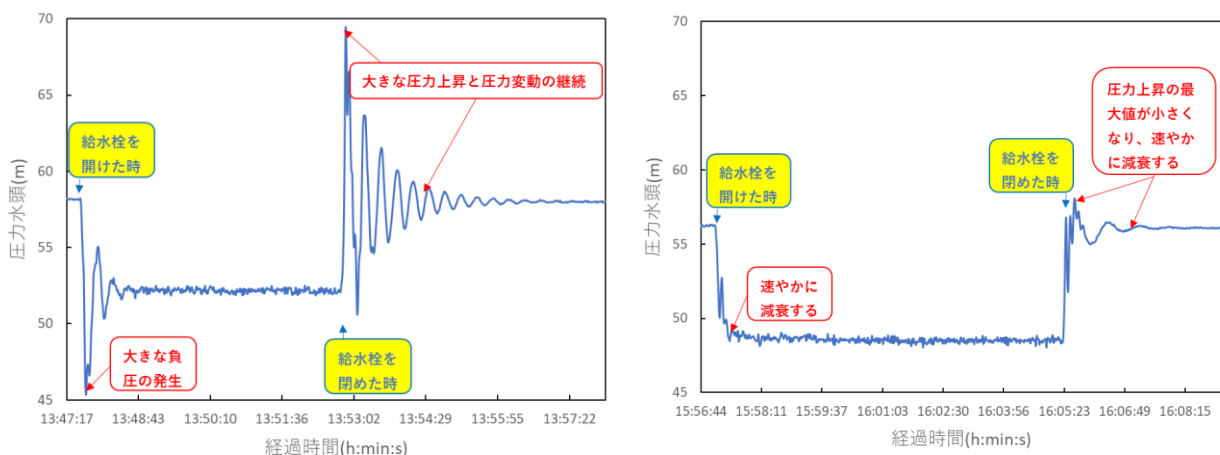


図 圧力変動緩和装置の設置前(左)と後(右)の給水栓の閉塞による圧力変動の違い