

マンホール型漏水モニタリング施設の 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

目次

1. 総論	1
はじめに	1
目的	2
適用範囲	4
2. 漏水モニタリング施設の概要	5
機能	5
構成	5
3. 区間漏水の検出	10
上下流の圧力計による差圧を計測する方法	10
上下流の流量計による流量差を計測する方法	13
4. 漏水位置の特定と変状の観察	15
自走式のカメラロボットによる方法	17
流下式のカメラロボットによる方法	18
5. 管の破損事故の要因の分類と水理学的要因に対する対策	19
管の破損事故の要因の分類	19
水理学的要因に対する対策	26
6. 施工・管理上の注意点	27
7. 特許の実施許諾	30

参考資料

漏水モニタリング施設の図面
超音波距離計の作成方法
レーザー距離計の作成方法
道路占有許可申請書の記載例

1. 総論

はじめに

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。

パイプライン施設は管路施設と様々な付帯施設から構成されるシステムである。パイプライン施設には、灌漑用水を水源から圃場まで送配水するための様々な付帯施設があるが、これまで、管路施設を維持管理するための施設（これをモニタリング施設と呼ぶ）がなかった。特に、口径 800 mm 以下の小口径管路は、漏水事故の調査を行う際に、人間が管内に入って確認することができないため、漏水音を探す技術、土壌の湿潤状態から漏水箇所を特定する技術および注入したガスを漏洩した漏水箇所を地上から検出する技術などが開発されてきたが、それぞれ現場の環境に依存するため、適用性は限定的であり、技術の導入には慎重な検討が必要であった。

よって、小口径のパイプライン施設において管路施設の維持管理のために、モニタリング施設の設置を提案する。農業用パイプラインは自然地形に沿って埋設されるため、構成する付帯施設の種類、水管理の方法が周辺環境によって異なる。そのため、管路施設の水理現象や埋設状況はそれぞれ特徴があるので、モニタリングによる漏水事故の原因を行い、対策方法を施すことが施設の長寿命化にとって重要である。

本マニュアルは、漏水モニタリング施設の設置に関する目的、手順および方法を解説し、小口径管路の漏水事故の早期発見と原因究明に資するものである。

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

漏水モニタリング施設は、漏水事故が発生した場所を被害が大きくなる前に早期に発見することと、漏水事故の適切な対策につながる原因究明を行うことを目的としている。

【解説】

漏水事故は、軽微なものであれば、管路が埋設されている地上部（道路や圃場）に水たまりや水の流れが生じる程度のものであるが、重大なものになると、道路下や圃場下の土が流出したり、地上部が陥没して通行者に危険を及ぼしたりする。

漏水事故を施設管理者が発見する方法は、発見者による通報や水源や中間調整池などの上流側流量計の異常警報である。発見者による通報であれば、漏水事故の位置を特定するのに時間を要しないが、水源や中間調整池などの上流側流量計の異常警報によって漏水事故の位置を特定するには、水源や中間調整池の下流側をくまなくパトロールして発見する必要があるため、労力が大きい。漏水事故の特定に時間を要した場合、軽微な漏水事故が重大な漏水事故へ遷移してしまう可能性がある。よって、漏水事故が発生した場所を被害が大きくなる前に早期に発見することが重要である。

他方、農業用パイプラインの性能低下の原因は、図1に示す様々な原因が想定されてきた。

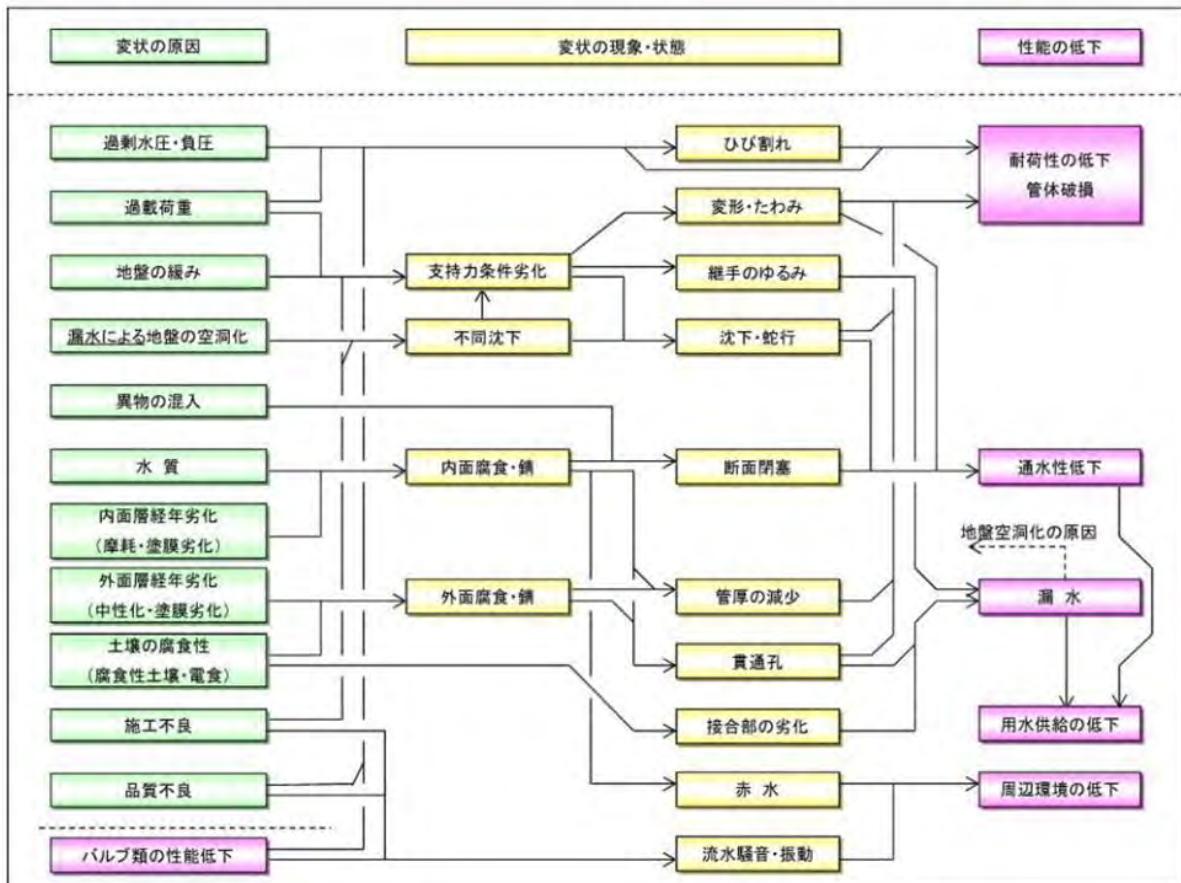


図1 一般的なパイプラインの性能低下とその原因
(資料：農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」)

これらの原因の多くは、漏水事故を引き起こし、用水供給の低下につながる。漏水事故の原因は、水利施設の構成や水管理の方法、および埋設された管の状態や周辺環境によって異なると推測されるため、漏水事故が発生した場所において調査を行うことが必要である。このようにして、漏水事故の原因に対する対策方法を施すことが適切な対策につながる。

したがって、漏水モニタリング施設は、漏水事故が発生した場所を被害が大きくなる前に早期に発見することと、漏水事故の適切な対策につながる原因究明を行うことを目的としている。具体的には、漏水モニタリング施設では、①初期漏水の検知、②漏水位置の特定、③漏水要因の究明の手順で作業を行う。これらにより、漏水事故の減少に資することを目指している。



図2 漏水モニタリング施設を用いた小口径管路の維持管理手法の流れ

・適用範囲

漏水モニタリング施設の設置は、口径 300 mm未満 100 mm以上の小口径の管路に対して適用することを想定している。

【解説】

管路施設の維持管理のために管路内部を点検する際に、口径が 800 mm以下では、人間が入ることができない。口径 800 mm以下 300 mm以上の程度の管路では、口径がマンホールで漏水モニタリング施設を格納するには大きすぎるため、コンクリートボックスを施工する必要がある。このマニュアルでは、マンホールを使用するため、口径の上限は 300 mmとした。

他方、口径が 100 mm以下では、内視鏡カメラによる観察はケーブルの延長の制限があり困難である。よって、漏水モニタリング施設の設置は、口径 300 mmから 100 mmまでの小口径の管路に対して適用することを想定している。

2. 漏水モニタリング施設の概要

2.1.機能

漏水モニタリング施設を設置することにより、区間漏水の検知、漏水位置の特定と変状の観察、および管の破損事故の要因の究明と対策を行うことができる。

【解説】

本施設の機能は、以下の3つである。

① 区間漏水の検知

2つの漏水モニタリング施設を設置した区間の漏水を検知する。区間漏水は、上流側と下流側のモニタリング施設内に設置した流量計の計測結果から計測誤差を考慮して流量差を算出することによって検知できる。

② 漏水位置の特定と変状の観察

漏水箇所の位置を特定し、管内で生じている変状の現象とその状態を確認する。管内から漏水箇所の位置を特定したり、その変状を観察したりするために、管内をカメラで観察する。カメラを搭載した装置（以下、カメラロボットと呼ぶ）は自走式または流下式の方法にて管内へ投入する。上流側のモニタリング施設から、カメラロボットを投入・回収する。

③ 管の破損事故の要因の究明と対策

管の破損事故について、その具体的な要因を究明して、対策方法を処方する。漏水モニタリング施設にて計測する項目は、圧力計による管内水圧、管頂付近に設置した土圧計による道路交通加重、および管の周方向のひずみの大きさである。この計測により、まず、管の破損事故の要因が水理学的要因によるものか土質力学的要因によるものかを判断する。水理学的要因については、圧力の変動のパターンを分類して、対策方法を検討する。

2.2. 構成

漏水モニタリング施設は、計測施設とカメラロボットの投入・回収施設から構成される。維持管理する管路施設の上流側と下流側にマンホールを施工して設置する。

【解説】

2つの漏水モニタリング施設を設置した区間の管路施設が維持管理の対象となる。漏水モニタリング施設を設置する位置は、以下の2通りを推奨する。

- ① 漏水が懸念される区間を挟むようにして、上流側と下流側にモニタリング施設をそれぞれ1か所ずつ設置する（図3）。上流側と下流側のモニタリング施設の距離は200m程度とし、なるべく直線区間に設置するのが適当である。その理由は、漏水位置の特定と変状の観察を行う際に、カメラ管内を観察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の遠隔操作のケーブルの長さが最大100m程度であるためである。
- ② 幹線水路から支線水路へ分水され、減圧弁が設置された箇所から約400mまでの区間を挟むように、約200mごとに1か所ずつ設置する。これは、減圧弁の下流側400mにおいて漏水事故が多発している調査事例に基づいたものである。

なお、カメラロボットを投入・回収するには、管路内の水を排水して水圧を下げる必要があるため、漏水モニタリング施設の上流に制水弁が必要である。

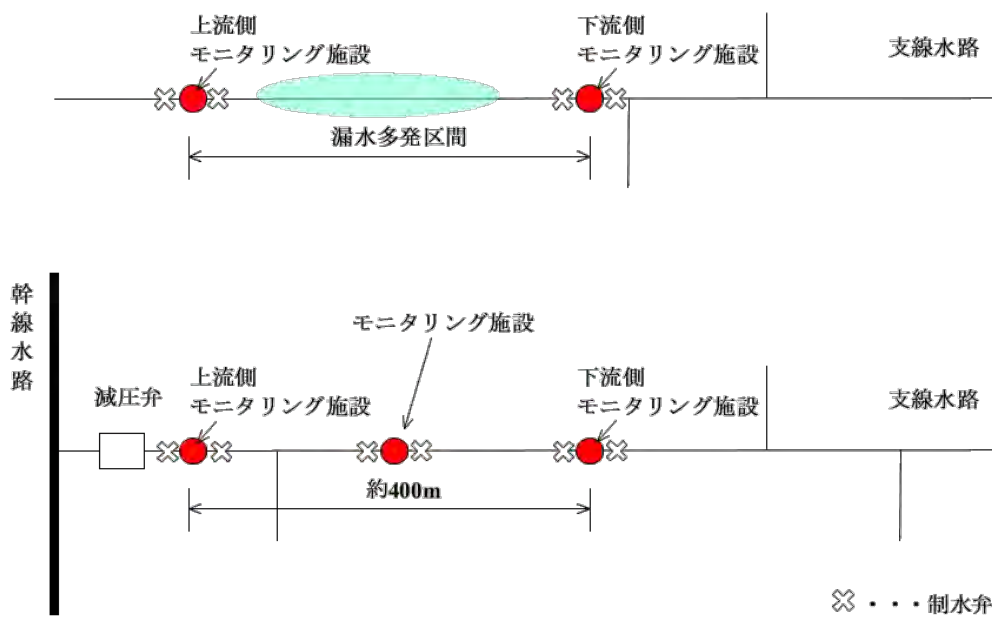


図3 漏水モニタリング施設の設置位置

漏水モニタリング施設は、主に計測施設とカメラ投入・回収施設から構成される（図4）。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センサー（距離計）を設置する。

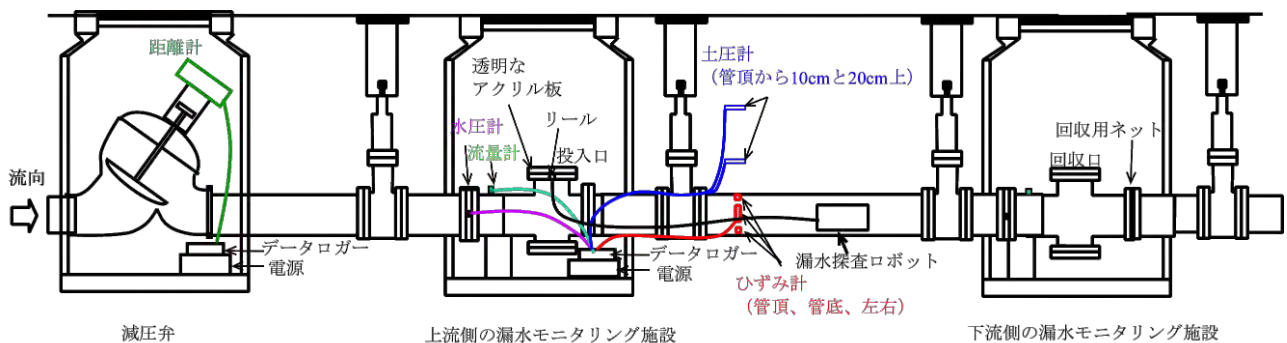


図4 漏水モニタリング施設の構成

2.2.1. 計測施設

センサーは、流量計、管内水圧、土圧、および管のひずみを計測するために設置する。それらの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5）。

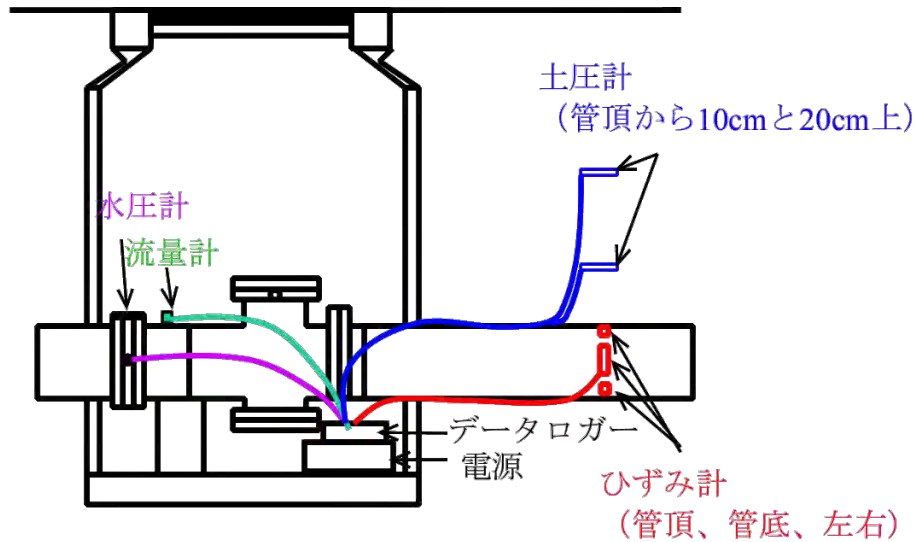


図5 計測施設の構成

水圧計の設置に当たっては、パイプのフランジにゲージフランジを挟んで、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、最大圧を超えたレンジを選定する。

土圧計の設置に当たっては、埋設深さを考慮して設置する必要がある。

ひずみ計の管の外周に貼る際には、管頂、管底、および管の左右のどちらかに、周方向のひずみを計測する向きに貼る。

2.2.2. カメラの投入・回収施設

カメラを搭載した漏水探査ロボットによって管の内部を撮影する方法として、管の内部の水を排除して行う方法と排除しないで満水で行う方法がある。それぞれの方法に適した条件と長所・短所は表1の通りである。

表1 カメラを搭載した漏水探査ロボットの投入・回収方法の条件および長所・短所

	管内部の水を排除せずに行う方法	管内部の水を排除して行う方法
条件	<ul style="list-style-type: none"> ・用水に濁りがない。 ・曲管，分岐管がないことが望ましい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・管の縦断線形がなるべく一定で凹凸が小さい。 ・曲管，口径の変化がない。
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・断水する必要がない。 ・制水弁をモニタリング施設の上下流に設置する必要がない。 ・探査ロボットを投入・回収する作業時間が短い。 ・管内の線形縦断に関係なく調査できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漏水探査ロボットの製作が安価にできる。 ・管内を撮影する映像が，水を排除しない方法に比べて鮮明である。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・耐圧性のある漏水探査ロボットを製作する必要がある。 ・不断水でロボットを管内へ投入する装置が必要である。 ・用水の中にゴミや懸濁物が多いと，映像が鮮明でなく，壁面の観察が難しい場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漏水探査ロボットを投入する際に，水を排除する時間が必要である。 ・管内に水たまりができてしまうと観察できない。 ・管内に曲管部や段差部があるとロボットの走行が困難な場合がある。

管の内部の水を排除して行う方法では、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場所に設置することが望ましい。

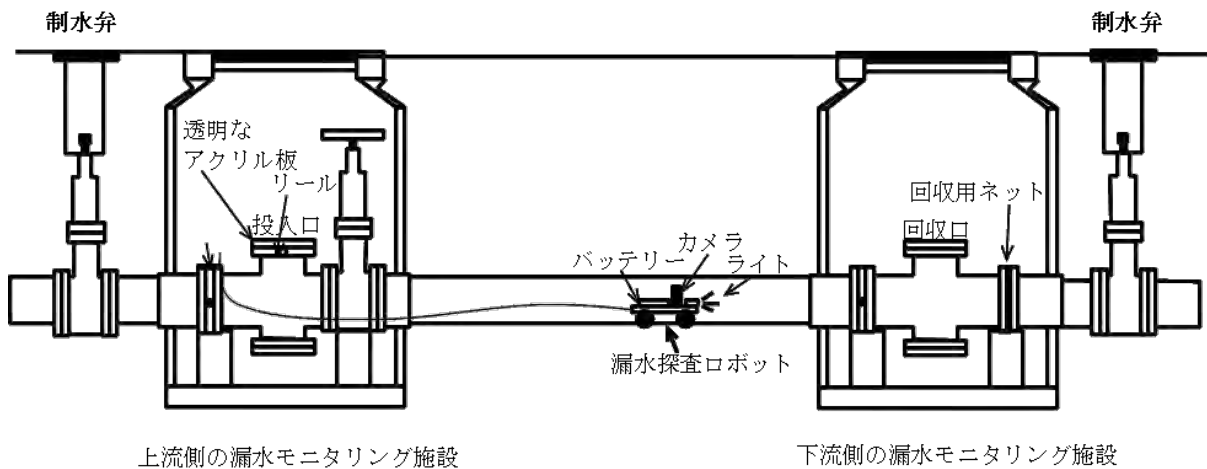


図6 漏水探査ロボットの投入・回収施設（管内部の水を排除して行う場合）

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7）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8）。

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7 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（例）

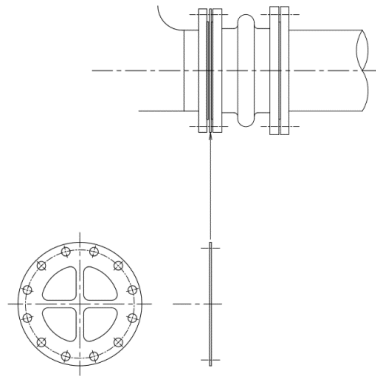


図8 管内検査用カメラ搭載ロボットの回収用ネット

2.2.3. マンホールの寸法

マンホール蓋の直径：900mm、内部空間の直径：1,500mm である。高さは管の埋設深さによるが、約 2,000mm を確保することが望ましい。

2.2.4. 減圧弁の開度計

減圧弁が 2 次圧の変動によって応答する際の開度を計測する。減圧弁の軸が弁の外に突き出しているため、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。移動距離の計測には、超音波距離計やレーザー距離計を自作すると、安価である。製作方法は付録に記載する。

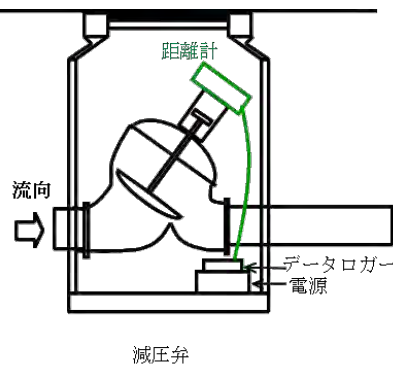


図9 減圧弁の開度系の設置方法

3. 区間漏水の検出

3.1. 上下流の圧力計による差圧を計測する方法

上下流のモニタリング施設における管内水圧の計測結果において、農家が水利用をしない深夜や灌漑日でない時間帯の値について、同時刻の上下流の管内水圧に差が生じている場合、漏水である可能性がある。

【解説】

上下流の圧力計による差圧を計測して、漏水量を算出する方法の手順を示す。

- ① 漏水を検知する管路の上流側と下流側に設置したモニタリング施設において、管路にゲージフランジを挟み、ゲージフランジに圧力計をねじ込んで接続する。



図 10 小型圧力計

「横河電機の HP から引用」

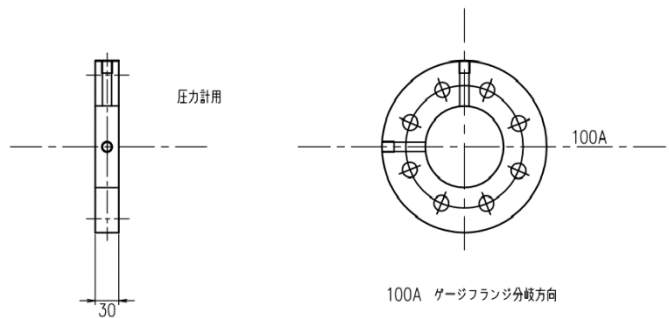


図 11 ゲージフランジ

- ② 上記 2 箇所の圧力計の高低差を計測する。その方法として、レベルで計測できなければ、深夜や灌漑日でない時間帯に管路内に水が流下していないと仮定して、2 箇所の圧力計の圧力差を高低差 ΔH として仮定する。

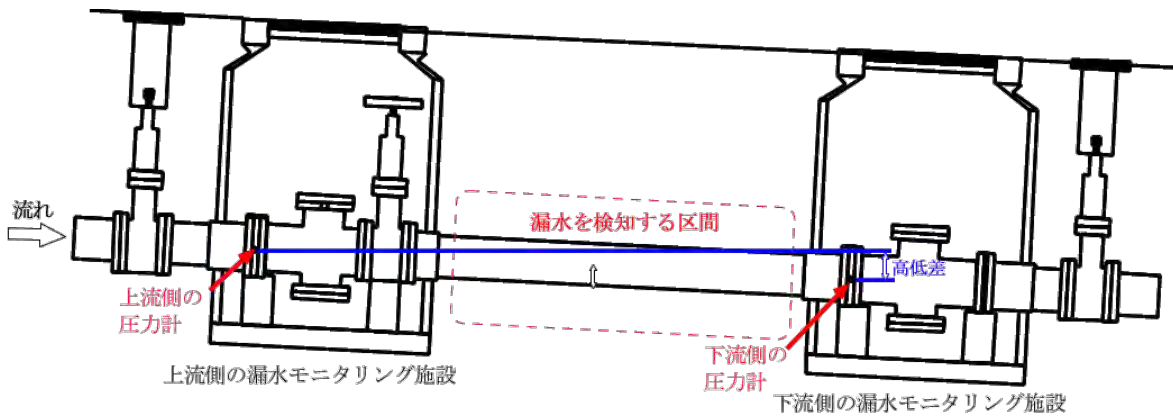


図 12 圧力計 2 か所の設置場所と高低差

- ③ 2 か所の圧力計によって、管内水圧を計測する。計測した値をデータロガーに記録する。同時刻の上下流の圧力から差を算出して Δh とする。農家が水利用をしない深夜や灌漑日でない時間帯の値を利用して、以下のヘーゼン・ウィリアムスの式から流量を計算する。

$$Q = 2.7853 \times C \times D^{2.63} \times \{(\Delta h - \Delta H)/L\}^{0.54}$$

ここで、Q:流量(m³/s)、C:流速係数、D:内径(m)、ΔH:上下流の圧力計の設置位置の高低差(m)、Δhは上下流の圧力差(m)、L:上下流の圧力計の設置間隔(m)である。

- ④ 例えば、1秒間隔で計測された圧力計の値について、漏水が発見される前と後において、それぞれ上下流の圧力差から流量を算出した例を図13と図14に示す。管種は塩ビ管であるので、流速係数は120としている。漏水事故が発生している時は平均2.3L/sであり、補修後は平均1L/sである。この流量の差が漏水量である。ここで、夜間や農家が水利用していない時の流量は0L/sであるはずであるので、補修後に平均1L/sの流量があるのは、計測誤差である。測定区間もしくは測定区間の下流側で漏水が発生している場合、流量の差が増加する。同時刻に計測した圧力の値から差を算出し、1時間程度の平均をとると良い。
- ⑤ このようにして圧力差から算出した流量Qの監視を継続することによって、流量の値が前回よりも増加している場合は、漏水が増加していると推察できる。約1L/s増加している場合は、測定区間もしくは測定区間の下流側において漏水事故が発生している可能性が高いと判断できる。

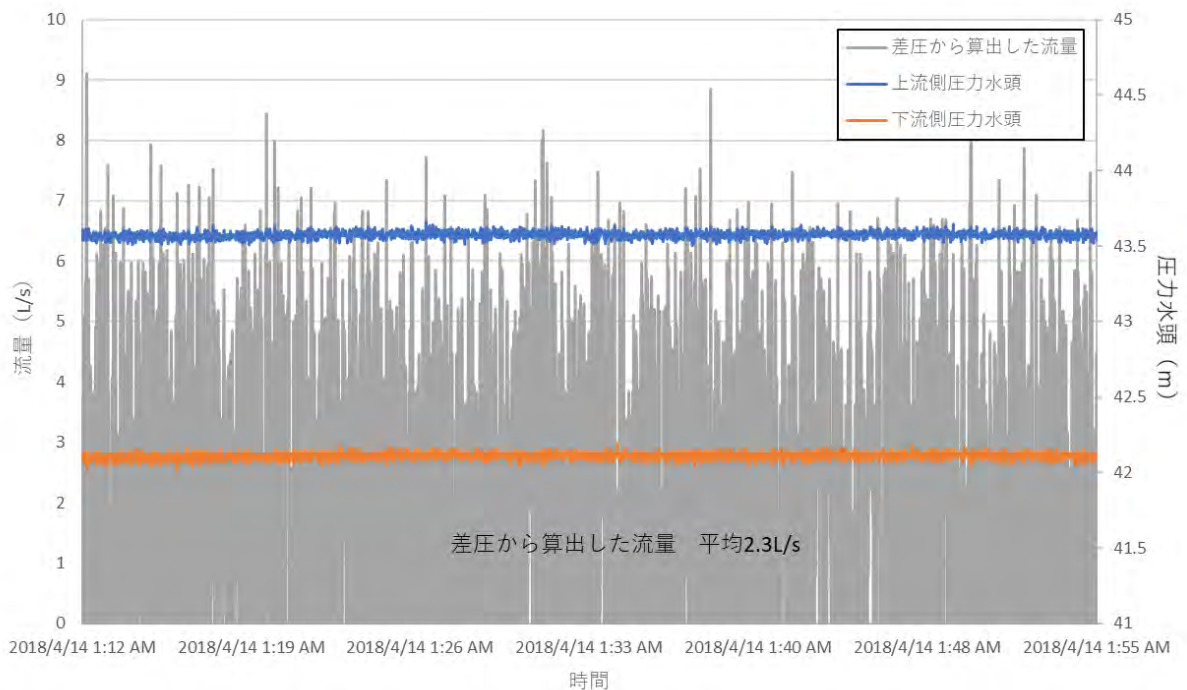


図13 漏水事故が発生している時に上下流の圧力差から流量を算出した結果

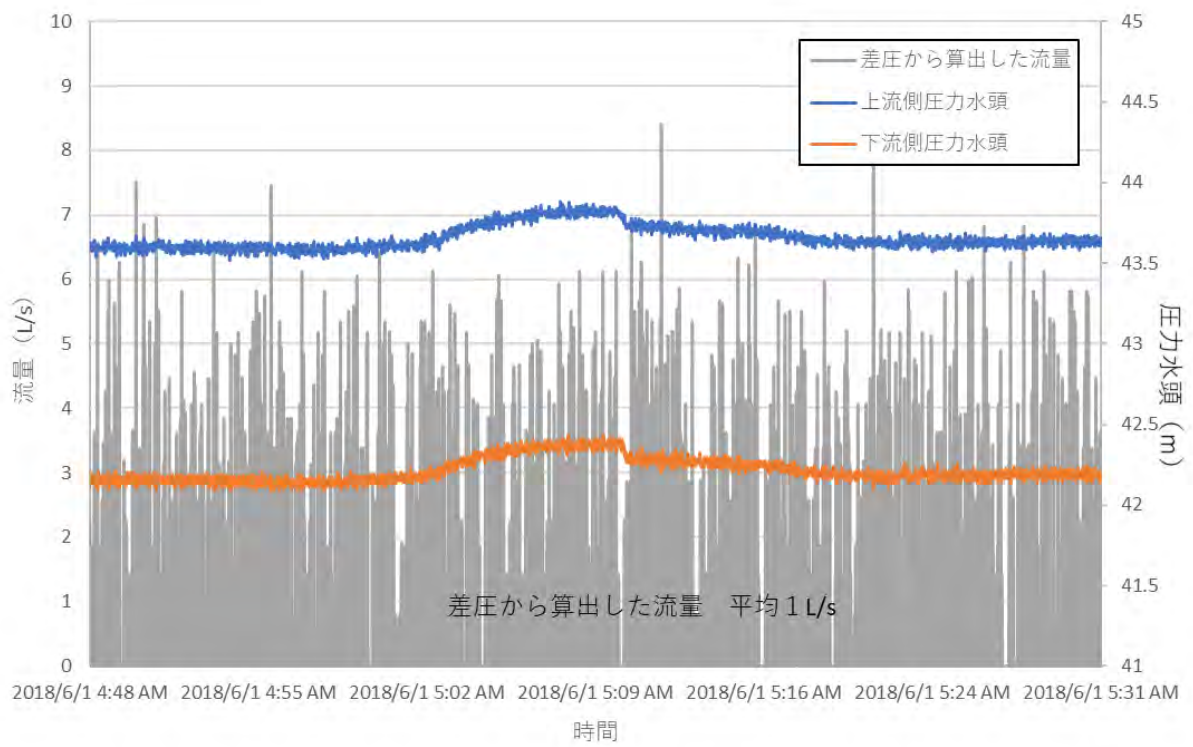


図 14 漏水事故の補修後に上下流の圧力差から流量を算出した結果

3.2.上下流の流量計による流量差を計測する方法

上下流のモニタリング施設における流量計の計測結果において、農家が灌漑用水を利用している時間帯の値について、同時刻の上下流の流量に差が生じている場合、漏水である可能性がある。

【解説】

上下流の流量計による流量差を計測して漏水量を算出する方法を以下の手順で示す。

- ① 漏水を検知する管路の上流側と下流側に設置したモニタリング施設において、流量計をそれぞれ設置する。流量計は、さまざまな種類があるが、超音波流量計や電磁流量計などが一般的である。超音波流量計は管の外側にセンサーを後付けして計測できるため、流量計を設置するために管路を加工する必要が無い。電磁流量計は管を切断して、上下流の管と接続する必要があり、超音波流量計よりも設置コストが高い。

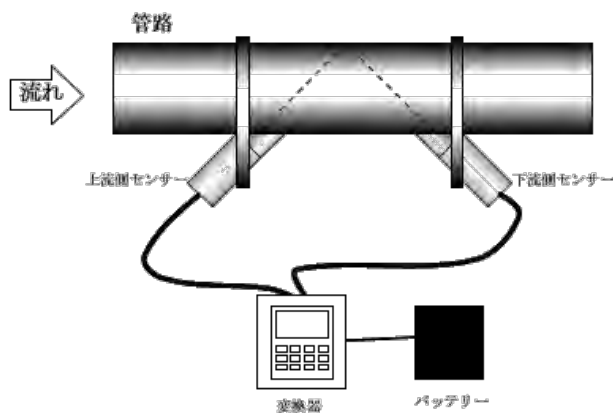


図 15 超音波流流量計の設置方法

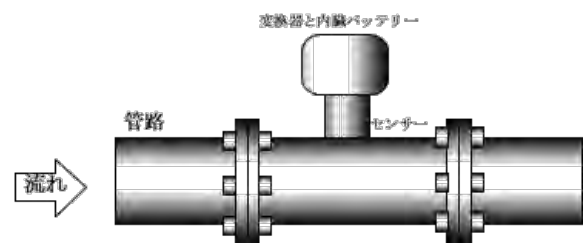


図 16 電磁流量計の設置方法

- ② 2か所の流量計によって、流量を計測し、流量差を算出する。

$$Q = Q_{up} - Q_{down}$$

ここで、 Q : 流量差、 Q_{up} : 上流側の流量、 Q_{down} は下流側の流量である。

- ③ 流量差 Q には、上流側と下流側に設置したモニタリング施設における漏水量の他、同区間の給水栓からの取り出し流量や流量計の計測誤差などが含まれるので、注意する必要がある。給水栓からの取り出し流量は、初期の漏水量に比べて非常に大きいので、過去の計測結果から取り出し流量の大きさを推察する。
- ④ 上記の方法によってある期間の流量差を算出する。徐々に流量差が大きくなる場合は、漏水が発生する破損個所が生じ、破損個所が拡大している可能性が高い。

- ⑤ 例えば、電磁流量計を上流側と下流側に設置した際の漏水に至るまでの流量差を算出した図を図17に示す。計測に使用した電磁流量計の精度は、 $\pm 5\%RD$ であったので、上流側の電磁流量計にマイナス $5\%RD$ の誤差分の値を、下流側の電磁流量計にプラス $5\%RD$ の誤差分の値を追加した後、流量差を算出した。漏水した管は塩ビ管である。漏水事故時に約 $1.4L/s$ の流量差となっており、これが漏水事故の補修後は約 $0.1L/s$ となっている。漏水事故時の漏水量は約 $1.3L/s$ であることが分かる。流量差の増加が始まり、漏水事故が発見されるまで約2か月間である。漏水事故の約1か月前の流量差は約 $0.5L/s$ であるので、流量差が $0.5L/s$ となれば、漏水が発生したと判断してよいと考えられる。

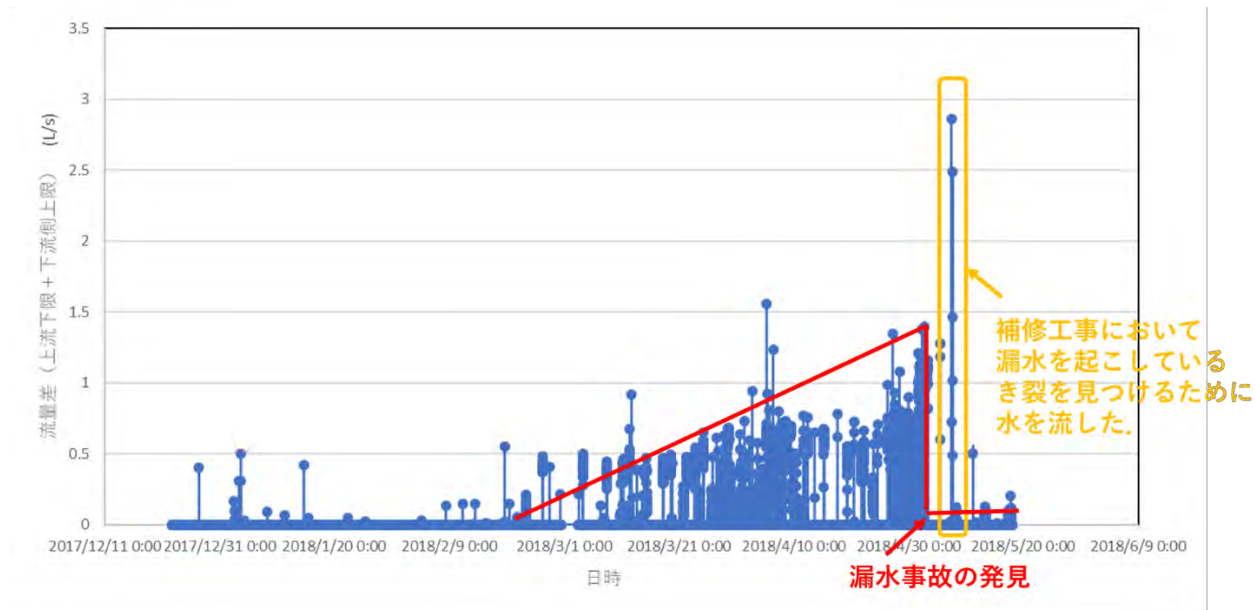


図17 漏水事故が発生するまでの流量差の変化

4. 漏水位置の特定と変状の観察

漏水箇所の内部の変状は、管の内部から下水道やプラントのメンテナンス用の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できる。



図 18 管内検査用内視鏡カメラ
「RIGID の HP から引用」



図 19 管内検査用カメラ搭載ロボット
「株式会社キュー・アイの HP から引用」

これらをより安価に実施するために、自作したもの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乗せることによって撮影することが可能である（図 20）。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 21）。

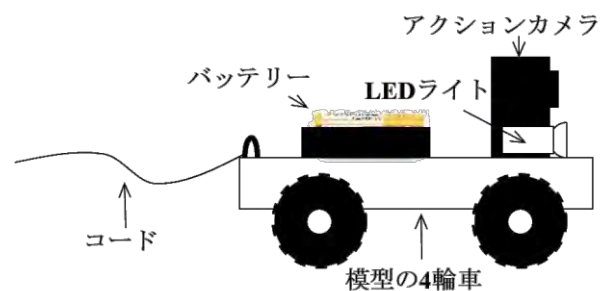
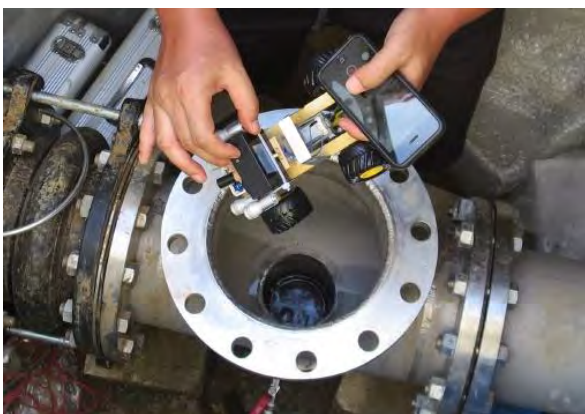


図 20 排水した後の空水状態の管内部を観察する管内検査用カメラ搭載ロボットの例

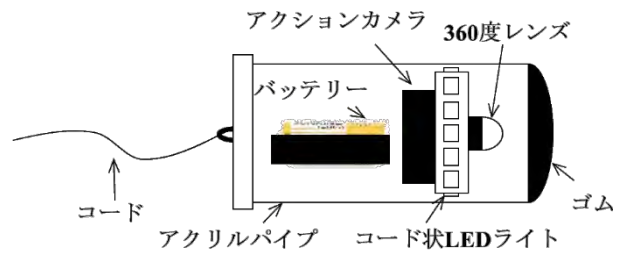


図 21 満水状態の管内部を観察する管内検査用カメラ搭載ロボットの例

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 22)。



図 22 管内検査用カメラ搭載ロボットが撮影したき裂

4.1. 自走式のカメラロボットによる方法

観察する区間の上下流の制水弁を閉めて、管内を排水し、自走式のカメラロボットを上流側モニタリング施設から投入し、下流側で回収することによって、管内の動画を撮影し、漏水位置の特定や変状を確認することができる。

【解説】

- ① 自走式のカメラロボットを準備する。例えば、模型工作用のオフロード車にアクションカメラ、LED ライトおよびバッテリーを搭載することで作成することができる。
- ② アクションカメラの内部カメラの時刻を設定する。機能上可能であれば、画面上に時刻が表示できるようにする。
- ③ 上流側モニタリング施設と下流側モニタリング施設の上下流の制水弁を閉めて、その区間の管路内の水を排水する。この区間の縦断線形に起伏があり、管内に配水されない箇所がある場合、自走式のカメラロボットは、その箇所までしか行くことができない。
- ④ 上流側モニタリング施設の投入口の蓋を開けて、リール付きのフランジをセットする。
- ⑤ リールにつながったテグスを自走式のカメラロボットに接続する。
- ⑥ 自走式のカメラロボットを上流側モニタリング施設内に置き、アクションカメラの動画撮影を開始し、観察する下流側の管路内へ走行させる。
- ⑦ 自走式のカメラロボットが走行するにつれ、リールからテグスが解かれる。テグスの色は10mごとに変化するので、変化した時刻を記録する。
- ⑧ 自走式のカメラロボットが下流側モニタリング施設内に到着したら、回収口から自走式のカメラロボットを取り出し、カメラに記録された動画を確認する。

4.2. 流下式のカメラロボットによる方法

流下式のカメラロボットを上流側モニタリング施設から投入・回収することによって、管内の動画を撮影し、漏水位置の特定や変状を確認することができる。

【解説】

- ① 流下式のカメラロボットを準備する。例えば、内径 60 mm 厚さ 3 mm のアクリルパイプにアクリルの円盤を接着し、反対側には市販の塩ビ製の清掃口をかぶせることで、カプセルを作成し、これにアクションカメラ、LED ライトおよびバッテリーを搭載することで作成することができる。
- ② アクションカメラの内部カメラの時刻を設定する。機能上可能であれば、画面上に時刻が表示できるようにする。
- ③ 上流側モニタリング施設の上下流の制水弁を閉めて、上流側モニタリング施設の管路内の水の水压を抜く。
- ④ 上流側モニタリング施設に投入機を設置する。投入機の元栓を閉めた後、上下流の制水弁をあけて通水を開始する。
- ⑤ リールにつながったテグスを流下式のカメラロボットに接続する。
- ⑥ 流下式のカメラロボットを上流側モニタリング施設内に入れ、アクションカメラの動画撮影を開始し、投入口の蓋をする。投入機の元栓を開け、観察する下流側の管路内へ流下させる。
※この時、必ず管内にカメラロボットを押し流す流れがあることを確認する。
- ⑦ 流下式のカメラロボットが観察したい区間の下流側に達した後、カメラロボット回収用のリールを巻いて回収する。テグスの色は 10m ごとに変化するので、変化した時刻を記録する。
- ⑧ 流下式のカメラロボットが投入機に到着したら、回収口から投入機の元栓を閉め、水压を抜いた後に、カメラロボットを取り出し、カメラに記録された動画を確認する。

5. 管の破損事故の要因の分類と水理学的要因に対する対策

5.1. 管の破損事故の要因の分類

5.1.1. 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、破損形態と破損要因を推定する。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。

復旧工事の完了写真の例を図 23 に掲載する。後々に事故原因の分析を行うこともありうるので、復旧工事時の完了写真の中には、破損個所の写真も記録しておくべきである。



軸方向のき裂 VP250



ゴム輪のき裂 VP200 RR管



スラスト継ぎ手 周方向のき裂 VP50

図 23 様々な破損個所

図 24 は、ある土地改良区が保管していた復旧工事の完了写真から破損管の特徴を整理したものである。この場合、口径 200mm~300 mmの塩ビ管の管軸方向に割れた破損事故が圧倒的に多いことが分かる。

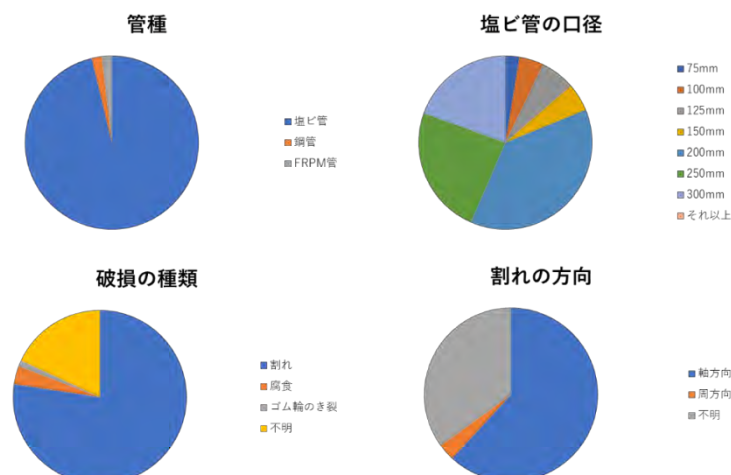


図 24 土地改良区における補修工事に関する資料の整理結果

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。例えば、図 25 のように破損した箇所を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。

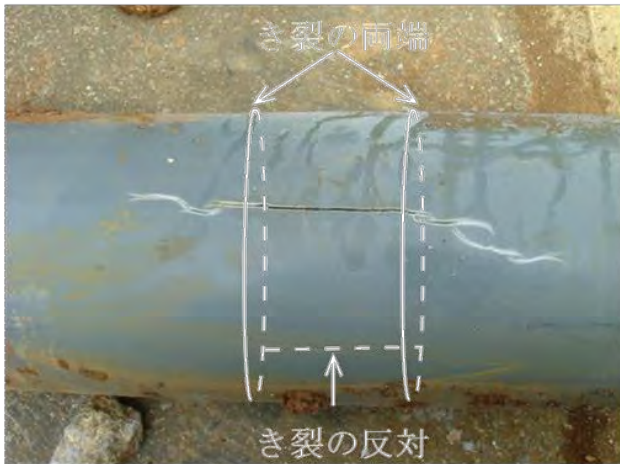


図 25 き裂の破面を観察するための切断箇所

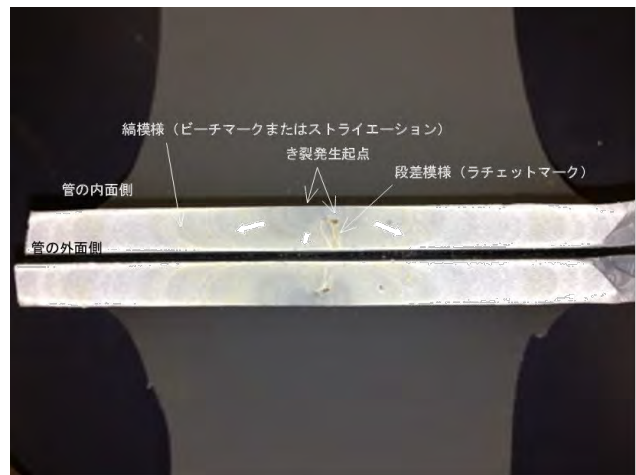


図 26 き裂の破面

切断した後のき裂の破面が図 26 に示すように同心円状の縞模様がある場合は、疲労破壊であると推定できる。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 1 mm 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 1 mm 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。

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 27 のように特徴的な分布になる。図 27 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学的要因である可能性を推定できる。

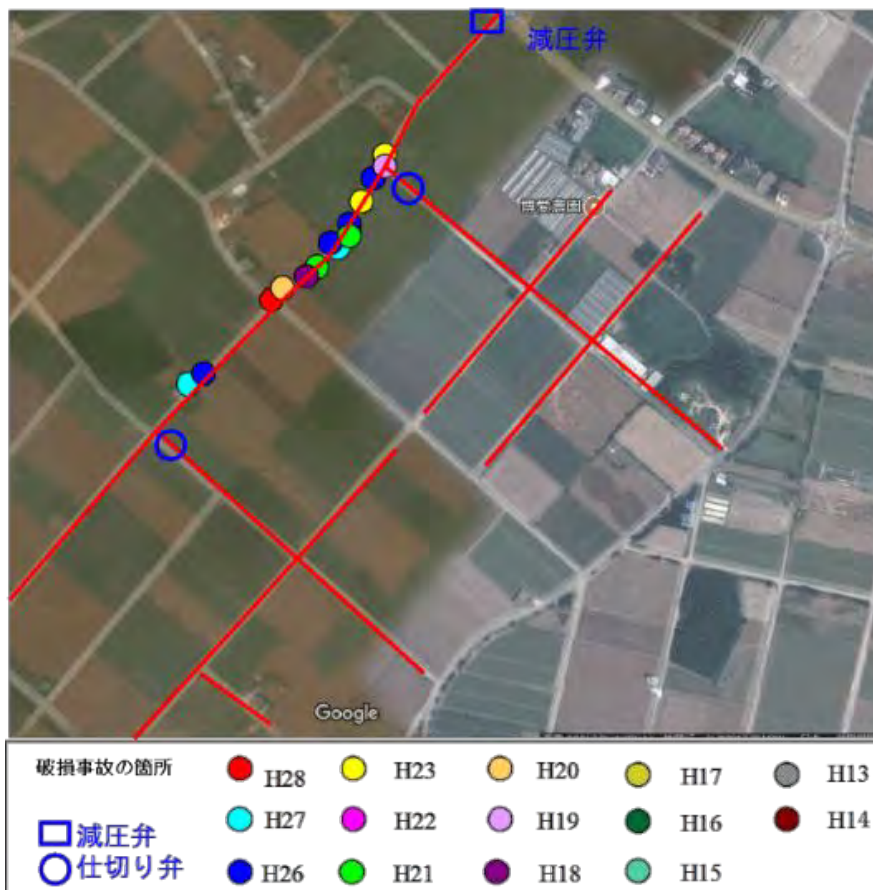


図 27 減圧弁の下流側に集中的に破損事故が起きている例

5.1.2 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、破損要因（水理学的要因・土質力学的要因）を究明する。

【解説】

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、管内水圧の計測や付帯施設の動作の観察のみを行うと良い。

① センサーの構成

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 28 と図 29 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。

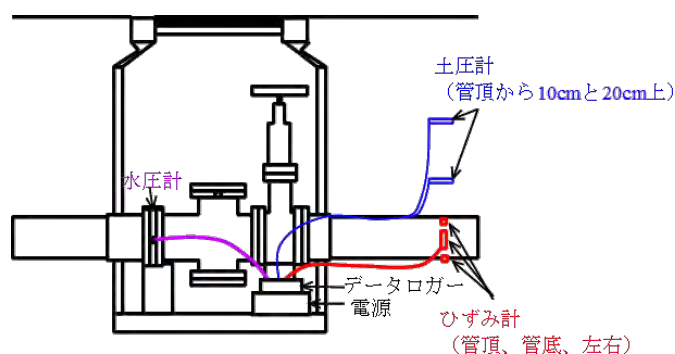


図 28 圧力センサー、土圧センサー、ひずみゲージの設置方法

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。

土圧計は、その設置に際して締固め時のランマー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。

管内の流れは、付帯施設の動作によって制御されているため、付帯施設の動作を観察する必要がある。ポンプの運転状況については、目視や操作盤における記録を参照するのが良い。給水栓の使用状況については、広域な圃場内にある多数の給水栓の水使用状況を確認することは困難である。減圧弁

の開度は、距離センサーまたは変位センサーを利用して計測することができる場合がある。例えば、減圧弁の軸が弁の外に突き出している場合は、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。距離を計測できるセンサーとして、レーザー距離計、ワイヤー式変位計、超音波距離計などがある。レーザー距離計や超音波距離計を自作することが可能であるので、製作方法を付録に記載する。

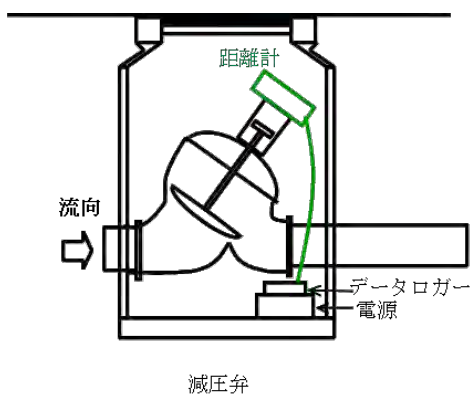


図 29 減圧弁の開度センサーの設置方法

② 調査と評価の方法

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 秒程度で良い。記録の時間間隔が 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。

水理学的要因の影響を評価するためには、以下の 2 点に留意して計測をすることによって、調査地区の特徴を見つけることができる。

・給水栓やポンプなどの流体制御機器を操作した時の調査

夜間や灌水日以外の他の給水栓で水が利用されていない時に、調査者が、実際に給水栓を開閉することによって生じる管内水圧の変動を計測すれば、給水栓による水理学的な影響を評価できる。また、ポンプの運転記録が入手できたり、目視で運転状況が分かったりする場合、ポンプの動作による水理学的な影響を評価できる。

・農家の水利用の実態を反映した調査

農家が灌水する時間帯は、ルール、作物の生育状況、および気象条件などによって変化するため、複数の給水栓が異なるタイミングで開閉されることになり、管路の水理学的現象は、それぞれによって異なる。この影響は、24 時間の記録を数カ月から 1 年かけて継続することによって評価できる。

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。ダンプが埋設管路の上の道路を通過する時間通過する時間は短いので、計測値を記録する時間間隔は、0.01 秒程度でよい。

土質力学的要因の影響を評価するためには、以下の 2 点の計測によって特徴を見つける。

- ・ ダンプが通過した時の調査

1 台のダンプに埋設管の上を通過させ、その時の土圧とひずみを計測して、土質力学的要因を評価する。

- ・ 交通量の実態を反映した調査

交通量が少ない場合は、行う必要はない。

③ 破損要因の分類方法

給水栓やポンプなどの流体制御機器を操作した時の調査やダンプが通過した時の調査から、ひずみの大きさを比較し、水理学的要因と土質力学的要因の影響の大きさを判断できる。

水理学的要因が土質力学的要因よりも大きい場合、その水圧変動のパターンを見ることにより、どのような水理学的要因が影響しているのかを判断できる。

【解説】

小口径の高圧管路における破損事故の原因として、表 1 に整理した具体的な要因が想定される。

表 1 小口径管路における破損事故の原因

漏水事故の原因	具体的な要因
水理学的原因	水圧変動
	スラスト力
土質力学的原因	道路交通荷重
地震動による原因	液状化による浮上
	管と付帯施設の固有周期の違い
材質や周辺環境による原因	材質の不均質さ
	地すべり
	腐食・電食
	地盤沈下
施工不良による原因	管の押し込み接手の遊間
	埋め戻し材の未使用

漏水モニタリング施設の計測から、土圧による管のひずみと、内圧による管のひずみがどの程度大きいかによって、水理学的要因と土質力学的要因の影響の大きさを判断する。

水理学的要因については、水圧変動のパターンが図 30 のように分類される。

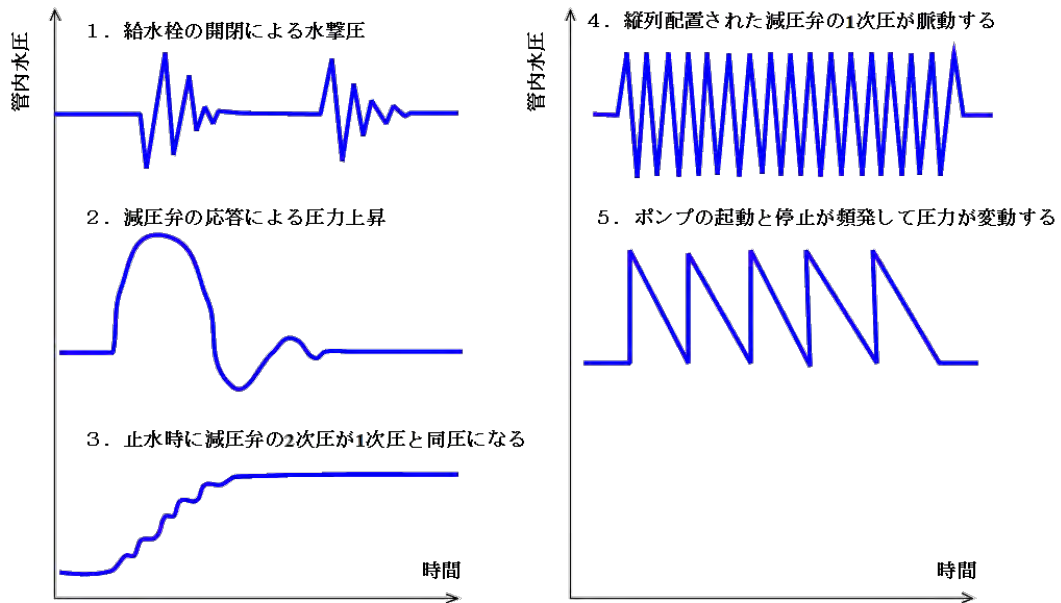


図 30 樹脂管の疲労破壊に影響を及ぼす水理学的要因の分類パターン

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

給水栓のタイプには、手動式と自動の給水栓がある。弁を開閉する際に水撃圧が発生する。

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事例がある。

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事例がある。

その他、カメラによる管内の変状の観察を行うことによって、腐食、電食、管の押し込み接手の遊間の進行状況を確認することができる。

5.2. 水理学的要因に対する対策

水理学的要因は水利施設の構成や水管理の方法によって生じるため、水圧変動のパターンとして分類できる。施設管理者は分類した要因に対して、表2のように水利施設のメンテナンスや施設の追加によって対策を施すことが望ましい。

表2 疲労破壊の水理学的要因の対策方法

樹脂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。
		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。
	給水栓が多い場合	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。 ダイヤフラムやパッキンなどゴム部品を交換する。
3. 止水時に減圧弁の2次圧が1次圧と同圧になる	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。
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。	

6. 施工・管理上の注意点

漏水モニタリング施設はマンホールを設置して埋設管路に接続するため、施工と管理上の注意が必要である。施工に当たっては、自治体制定の「土木工事等共通仕様書」に基づいて実施するものとする。この項では施工・管理上の注意点を整理する。

【解説】

受注者は、工事着手前に次の事項を記載して施工計画書を監督員に提出しなければならない。

- | | |
|-------------------|------------------------|
| (1) 工事概要 | (10) 交通管理（交通標識その他） |
| (2) 工程表 | (11) 安全管理（安全訓練等の実施を含む） |
| (3) 組織図 | (12) 契約書に記載の関係諸手続き書類 |
| (4) 現場代理人及び主任技術者届 | (13) 環境対策 |
| (5) 主要機材 | (14) 現場作業環境の整備 |
| (6) 主要資材 | (15) 再生資源の利用の促進 |
| (7) 施工体制 | (16) 建設副産物の適正処理 |
| (8) 施工管理計画 | (17) その他 |
| (9) 緊急時連絡体制 | |

受注者は、工事計画に変更が生じた場合、変更計画書を提出し承諾を得なければならない。

土地改良事業は、農家の私的財産である農地の利用関係等に影響を及ぼす。工事中のモニタリング施設の効用時期が決定している場合は、工事施工上の都合で、就業時間の伸縮を実施し、地元調整や工程に配慮する。

①共通

工事着手前に県土木事務所、警察、その他関係官庁と十分打ち合わせをする。

工事の概要は改良区等を通じて地元に伝え協力を得るようにする。

施工現場の見回り人を決め、作業終了後、保安設備を点検する。

地元関係者からの意見は極力尊重する（苦情・要望等は必ず発注者へ連絡する）。

関係者に迷惑をかけるような事態が生じた場合は、速やかに処置をとる。

一時使用の土地が必要な場合は借上げを上申する。

②交通、安全、環境対策

迂回、一方通行の場合は警察と協議する。

既存道路を運搬路として利用する場合は、一般通行を優先し、保安要員を配置し交通を妨げない。

交通標識は通行者、通行車両によく分かる位置に設置する。

「工事中」の標識は工事現場の約 50m 前方及び交差点、慣行上の小路にも立て車両運転員の注意を促す。

騒音・振動・ホコリ等の苦情は速やかに調査して処理する。

③床掘・掘削

掘削箇所は前もって排水の準備作業をしておく。

掘削は排水処理を考慮し、可能な限り下方より実施する。

本工事において土留工は想定していないが、節約断面で掘り下げると崩壊等で手戻りとなるので注意を要する。

④管水路工

管機材が保管場所の環境などの影響により変形や損傷を生じることのないように注意する。

塗装及びゴム材料等は、劣化を防止するために直射日光を避けた場所に保管する。

やむを得ず屋外で保管する場合は、シートで覆うなどの措置を講ずる。

据付にあたっては、管内を十分に清掃し異物などが無いことを確認した上で据付ける。

基礎は洗掘、不等沈下のないよう十分に注意して施工する。

管工機材を地組（丘組み）して吊り上げる場合は、フランジ面に荷重が加わらないよう管体部に玉掛けする。

玉掛けの吊り角度は 60° 以下が望ましい。

流水方向とチャッキ弁の据付方向に注意する。

フランジ端部の保護カバーは、必ず取り外したことを確認する。

フランジ面を清掃し、ガスケット座に傷などが無い事を確認する。

フランジ面の平行度並びに軸心ずれは、配管に応力がかかるので無理な芯出しを行わない。

フランジボルトの締め付けは、ガスケットを均等に圧縮するように、対角線の順に締め付ける。

フランジのボルト・ナットの締め付けはトルクレンチを使って所定のトルク値で管理する。

使用材料の試験表は必ず保存する。

継手部からの漏水等については埋戻し前に十分点検し防止に努める。（通水試験を実施することが望ましい）

菅の切断面は損傷がないか確認し必要に応じて所定の塗装を行う。

⑤埋戻し、転圧

埋戻し箇所の清掃と異物除去は完全に実施する。

埋戻し土は構造物と密着するよう、管頂上 30cm までの埋戻しは、一層の仕上がり厚さを 30cm 程度になるようにまき出し、振動コンパクター 90kg 級にて 3 回以上の転圧を行わなければならない。また、管頂 30cm～60cm の埋戻しは、前記と同様のまき出しを行い、振動コンパクター 90kg 級又は振動ローラハンドガイド式により 3 回以上転圧を行わなければならない。また、管頂 60cm 以上の埋戻しは、管頂 60cm 以上の埋戻しは、前記と同様のまき出しを行い、振動ローラ 2.5～2.8ton 級により 5 回以上の転圧を行い不均等な締固めを行わない

床部及び管側部の締固めは、一層の仕上がり厚さが 30cm 程度になるように左右均等にまき出し、タンパ 60～80kg 級又は振動コンパクター 90kg 級により 3 回以上転圧を行わなければならない。

構造物に対する埋戻しは両側より同時に一層が 30 cm 程度の薄い層になるようまき出し十分に突き固める。

水分を多く含んでいる場合は転圧を中止する。
転圧面は不陸のできないように注意する。
排水については細心の注意を払う。

7. 特許の実施許諾

本手法の利用に当たり、特許権等の知的財産があります。本手法を利用したい場合には、あらかじめ実施許諾の手続きが必要となる場合がありますので、事前にご相談ください。

連絡先

(本手法に関するご相談)

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 研究推進部 研究推進室 渉外チーム

〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

TEL:029-838-7677 FAX:029-838-7680 E-mail: nkk-tizai@naro.affrc.go.jp

(実施許諾の手続きに関するご相談)

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

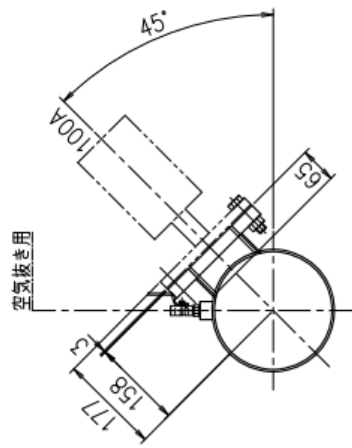
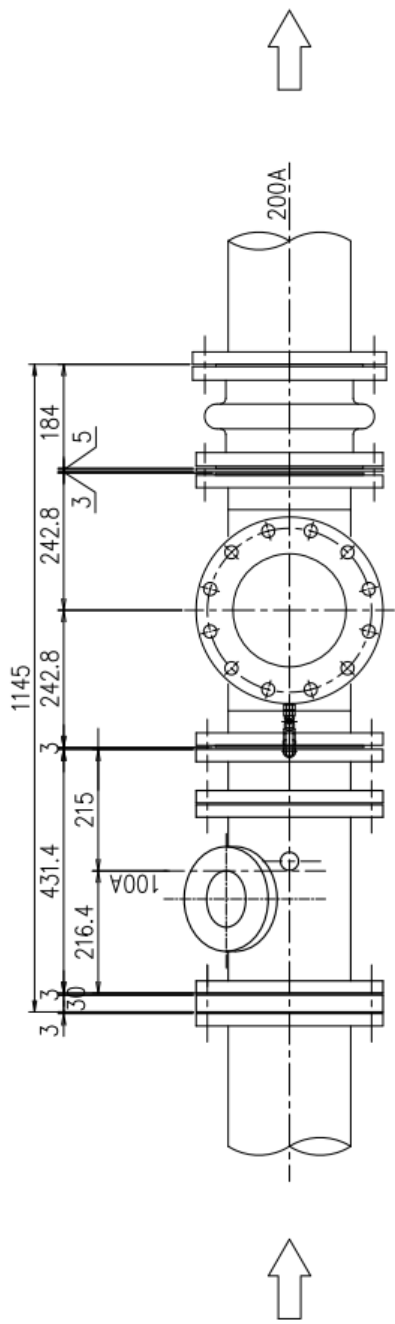
連携広報部 知的財産課 特許ライセンスチーム

※ご相談は以下の URL をご確認の上メールフォームでご連絡下さい。

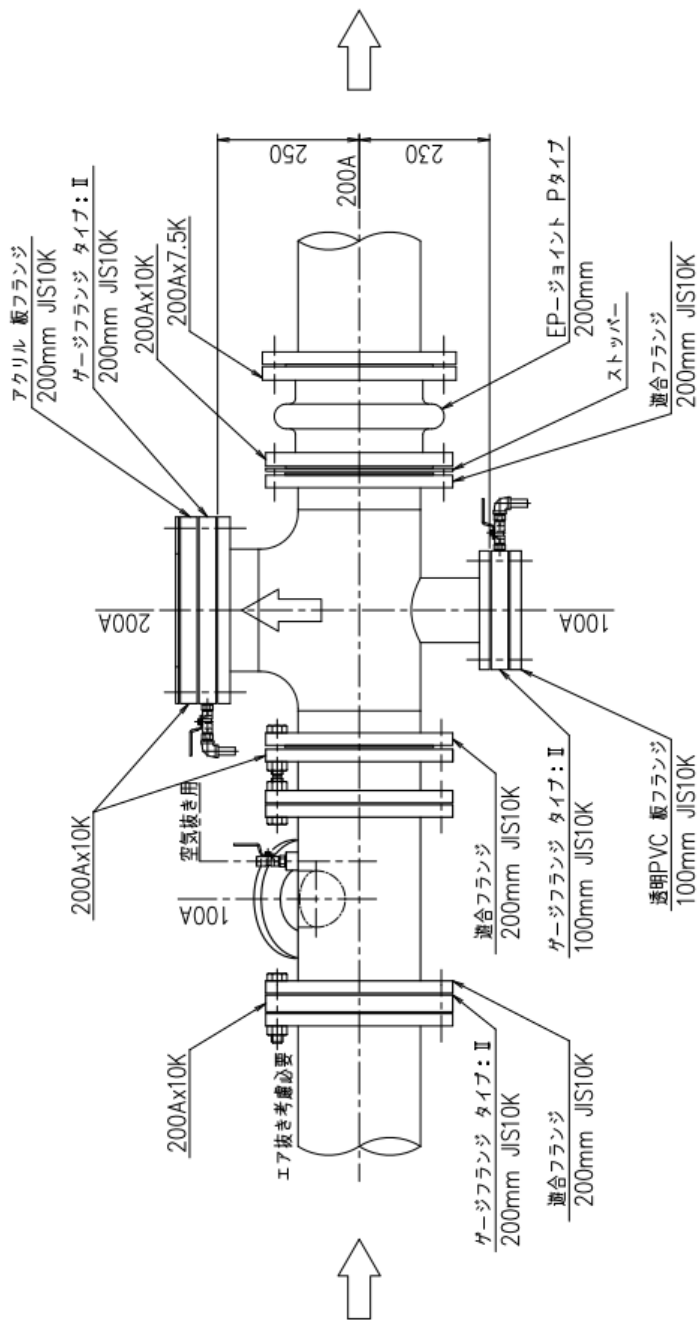
<http://www.naro.affrc.go.jp/inquiry/patent.html>

参考資料

漏水モニタリング施設の図面



100A×10k 計器取付座詳細



アクリル 板フランジ
200mm JIS10K

ガスフランジ タイプ:Ⅱ
200mm JIS10K

200A×10K

200A×7.5K

200A

200A

EP-ジョイント Pタイプ
200mm

ストッパー

逆合フランジ
200mm JIS10K

100A

200A

200A×10K

空気抜き用

逆合フランジ
200mm JIS10K

ガスフランジ タイプ:Ⅱ
100mm JIS10K

透明PVC 板フランジ
100mm JIS10K

200A×10K

エア抜き考慮必要

ガスフランジ タイプ:Ⅱ
200mm JIS10K

逆合フランジ
200mm JIS10K

参考資料

超音波距離計の作成方法

温度補正機能付きの超音波距離計の作り方

超音波距離計を製作する方法を説明します。

Arduino と呼ばれる小型のコンピュータを使用すれば、手作りで簡単に製作することができます。はんだ付けなど難しい作業は必要ありませんので、以下の説明を参考に製作してください。

1. 温度補正機能付き超音波距離計の製作に必要なもの

温度補正機能付き超音波距離計を製作するために必要なものを説明します。

まず、一番のメリットである費用について説明します。

温度計付き超音波距離計の費用は、約 6,000 円です。

ただし、電源の無い屋外に設置する場合、バッテリー (10,500 円) が必要になります。Arduino が必要とする電源は 1 時間当たり約 20mA です。計測期間によって、バッテリーの数を増やします。

以下に計測器を構成する部品をリストアップします。これらは、電子部品のほとんどが、秋月電子通商というショップでネット購入できます。データロガーは、メーカー (T & D) からネット購入できます。容器は 100 円ショップで購入すればよいです。

小型コンピュータ (Arduino Uno Rev3) 1 個 2,940 円

ブレッドボード 1 個 200 円

超音波距離センサー (US-100) 1 個 700 円

D/A コンバータ (MCP4725) 1 個 350 円

温度センサー (LS335Z) 1 個 100 円

抵抗 2kΩ 1 個 1 円

ジャンパーワイヤー 20 本 180 円

2.1mm 標準 DC プラグ 1 個 30 円

スピーカーコード 2m 300 円

耐熱ビニル絶縁電線 2m 2 本 200 円

容器 (Arduino 用) 100 円

容器 (センサー用) 100 円

バッテリー (LONG 12V 50Ah) 10,500 円

データロガー (T&D MCR-4V 4 チャンネル) 37,000 円

USB ケーブル (A タイプ-ミニ B タイプ) 350 円

USB ケーブル (A タイプ-B タイプ) 350 円

2. 製作手順

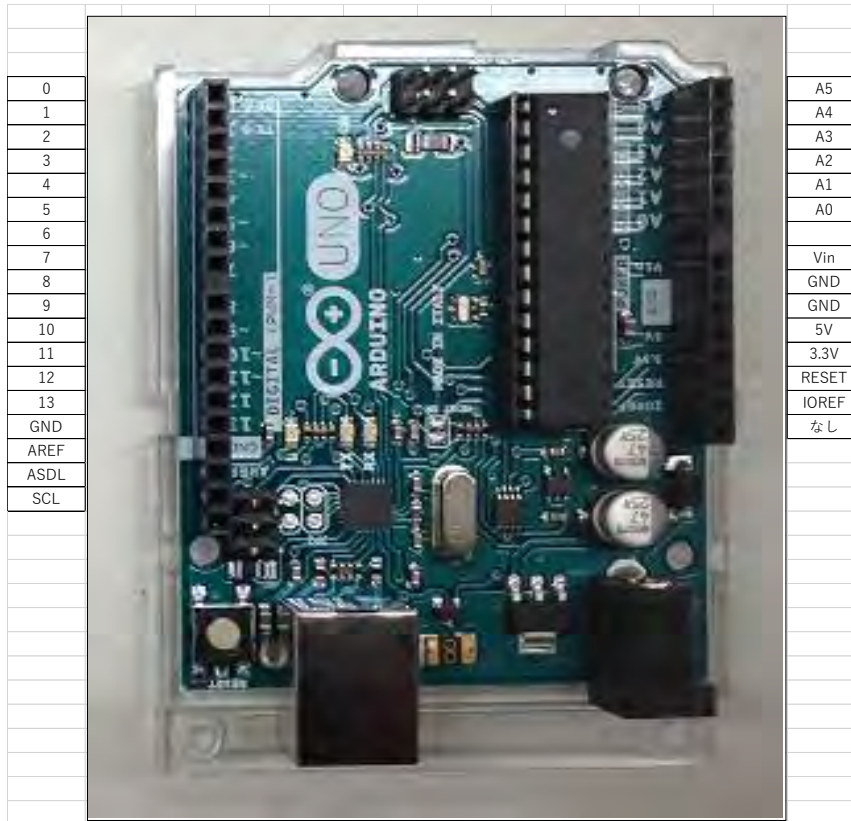
以下の手順で温度計付き超音波距離計を作成する方法を記します。

2.1. Arduino にセンサーを取り付ける作業

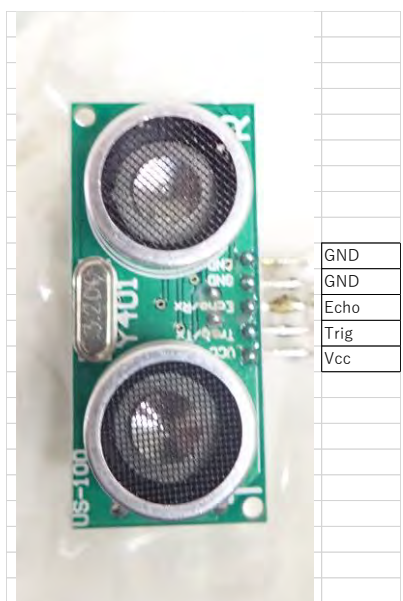
- 2.2. Arduino にプログラムを書き込む作業
- 2.3. 製作したセンサーを屋外で使用できるようにする作業

2.1. Arduino にセンサーを取り付ける作業

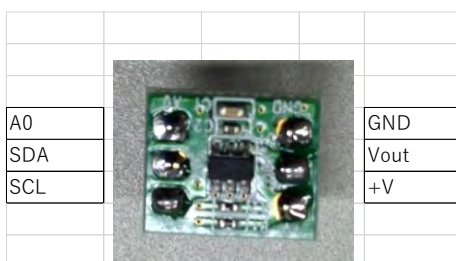
Arduino には以下のようなピンがついています。



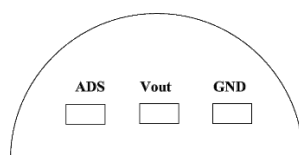
超音波距離センサー（US-100）のピンは以下の図の通りです。このセンサーは、測定範囲が 2cm から 450cm, 分解能は 1mm です。動作適用範囲は-20℃から 100℃です。



D/A コンバータ (MCP4725) のピンは以下の通りです.



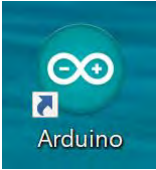
温度センサー (LM335Z) のピンは以下の通りです. このセンサーは -40°C から 100°C まで計測可能で, 精度は $\pm 5^{\circ}\text{C}$ です.



下から見た図

Arduino のピンと超音波距離センサー, D/A コンバータ, 温度センサーのピンとを接続した図は以下の通りです. ジャンパーワイヤーをブレッドボードに差し込んで配線します.

ダウンロードした以下のプログラムを起動します。



起動したら、以下のような画面が立ち上がります。

A screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "sketch_dac_ultra_distance | Arduino 1.6.8". The menu bar includes "ファイル", "編集", "スケッチ", "ツール", and "ヘルプ". The main editor area shows the following code:

```
#include <Wire.h> //Include the Wire library to talk I2C

//This is the I2C Address of the MCP4725, by default (A0 pulled to GND).
//Please note that this breakout is for the MCP4725A0.
#define MCP4725_ADDR 0x60
//For devices with A0 pulled HIGH, use 0x61

#define pingPin 7 // センサー接続のピン番号
#define outPin 9 // 出力のピン番号

int lookup = 0; //variable for navigating through the tables

int sintab2[512] =
[
  2048, 2073, 2098, 2123, 2148, 2174, 2199, 2224,
  2249, 2274, 2299, 2324, 2349, 2373, 2398, 2423,
  2448, 2472, 2497, 2521, 2546, 2570, 2594, 2618,
  2643, 2667, 2690, 2714, 2738, 2762, 2785, 2808,
  2832, 2855, 2878, 2901, 2924, 2946, 2969, 2991,
  3013, 3036, 3057, 3079, 3101, 3122, 3144, 3165,
  3186, 3207, 3227, 3248, 3268, 3288, 3308, 3328,
  3347, 3367, 3386, 3405, 3423, 3442, 3460, 3478,
  3496, 3514, 3531, 3548, 3565, 3582, 3599, 3615,
  3631, 3647, 3663, 3678, 3693, 3708, 3722, 3737,
  3751, 3765, 3778, 3792, 3805, 3817, 3830, 3842,
  3854, 3866, 3877, 3888, 3899, 3910, 3920, 3930,
  3940, 3950, 3959, 3968, 3976, 3985, 3993, 4000,
  4008, 4015, 4022, 4028, 4035, 4041, 4046, 4052,
  4057, 4061, 4066, 4070, 4074, 4077, 4081, 4084.
```

温度と距離を計測するプログラムをエディター部分に書きます。

プログラムは以下の通りです。

===== プログラムはここから =====

```
1 #include <Wire.h> //Include the Wire library to talk I2C
2
3 //This is the I2C Address of the MCP4725, by default (A0 pulled to GND).
4 //Please note that this breakout is for the MCP4725A0.
5 #define MCP4725_ADDR 0x60
6 //For devices with A0 pulled HIGH, use 0x61
7
8
```



```

9  #define trigger 2
10 #define echo 7
11
12 int lookup = 0;//variable for navigating through the tables
13 float a1=0.0,a2=0.0,a3=0.0,a4=0.0,a5=0.0,a6=0.0,a7=0.0,a8=0.0,a9=0.0,a10=0.0;
14
15 // 電源起動時とリセットの時だけのみ処理される関数(初期化と設定処理)
16 void setup() {
17   Serial.begin(9600); // 9600bps でシリアル通信のポートを開きます
18   //pinMode(outPin, OUTPUT); //出力のピンを設定
19
20   Wire.begin();
21
22   // Set A2 and A3 as Outputs to make them our GND and Vcc,
23   //which will power the MCP4725
24   pinMode(A2, OUTPUT);
25   pinMode(A3, OUTPUT);
26
27   digitalWrite(A2, LOW);//Set A2 as GND
28   digitalWrite(A3, HIGH);//Set A3 as Vcc
29
30   pinMode(trigger, OUTPUT);
31   pinMode(echo, INPUT);
32 }
33 // 繰り返し実行される処理の関数(メインの処理)
34 void loop() {
35   // 管の温度の計測
36   int val = analogRead(A0);
37   float tempOfPipe = modTemp(val);
38   float v = val / 1024.0 * 5.05;
39
40   //外気温の計測
41   //val = analogRead(A1);
42   //float tempOfAtmos = modTemp(val);
43
44   //Serial.println("v:" + String(v) + ";" + "temp of Pipe:" + String(tempOfPipe) + ";" + temp:" +
45   //String(tempOfAtmos) );
46

```

```

47     float cm ;
48     int out ;
49     cm = UsonicMeasurRead(trigger, echo); // センサーから距離を調べる
50     //cm = TimeAverage3(cm);
51     out = OutputDistance(cm, 200.0); //out は 200cm を何 cm で
52     Serial.print(cm); // 距離を表示する
53     Serial.println("cm");
54
55
56     Wire.beginTransaction(MCP4725_ADDR);
57     Wire.write(64); // cmd to update the DAC
58
59     Wire.write(out >> 4); // the 8 most significant bits...
60     Wire.write((out & 15) << 4); // the 4 least significant bits...
61
62     Wire.endTransmission();
63     lookup = (lookup + 1) & 511;
64
65     Serial.print(out); // 出力を表示する
66     Serial.println(" : 0-255");
67
68
69     delay(1000);
70
71 }
72 // 超音波センサーから距離を得る処理
73 // trg=センサーに接続しているピン番号
74 // ech=センサーに接続しているピン番号
75 // temp=温度
76 // 距離を c mで返す(検出できない場合は0を返す)
77 float UsonicMeasurRead(int trg, int ech)
78 {
79     long t ;
80     float ans ;
81
82     // 超音波センサーに 10us のパルスを出力する
83     digitalWrite(trg, HIGH);
84     delayMicroseconds(10);

```

```

85     digitalWrite(trg, LOW);
86     // センサーからの反射パルスを受信する
87     t = pulseIn(ech, HIGH);           // パルス幅の時間を測る
88     Serial.println("Distance:" + String(t));
89     if (t < 18000) {                  // 3 m以上の距離は計算しない
90         ans = (float)t / 2 * 340 * 100 / 1000000;
91         //ans = (float)t / 2 * (331.5 + 0.6 * temp) * 100 / 1000000;
92     } else ans = 0;
93
94     return ans;
95 }
96
97 // 超音波センサーから距離を得る処理
98 // trg=センサーに接続しているピン番号
99 // ech=センサーに接続しているピン番号
100 // temp=温度
101 // 距離を c mで返す(検出できない場合は0を返す)
102 float UsonicMeasurRead2(int trg, int ech, float temp)
103 {
104     float Duration;
105     float Distance;
106
107     // 超音波センサーに 10us のパルスを出力する
108     digitalWrite(trg, HIGH);
109     delayMicroseconds(10);
110     digitalWrite(trg, LOW);
111     // センサーからの反射パルスを受信する
112     Duration = pulseIn(ech, HIGH);     // パルス幅の時間を測る
113     Serial.println("Duration:" + String(Duration));
114
115     if (Duration > 0) {
116         Distance = Duration/2;
117         float speed = 340;
118         Serial.println("speed:" + String(speed));
119         Distance = Distance * speed * 100 / 1000000;
120         Serial.println("Distance:" + String(Distance));
121     } else Distance = 0;
122

```

```

123     return Distance ;
124 }
125
126 //時間平均 3タイムステップの平均
127 float TimeAverage3(float value)
128 {
129     float average = (a1+a2+a3)/3.0;
130     a1=a2;
131     a2=a3;
132     a3=value;
133
134     return average;
135 }
136
137 //時間平均 5タイムステップの平均
138 float TimeAverage5(float value)
139 {
140     float average = (a1+a2+a3+a4+a5)/5.0;
141     a1=a2;
142     a2=a3;
143     a3=a4;
144     a4=a5;
145     a5=value;
146
147     return average;
148 }
149
150 //時間平均 10タイムステップの平均
151 float TimeAverage10(float value)
152 {
153     float average = (a1+a2+a3+a4+a5+a6+a7+a8+a9+a10)/10.0;
154     a1=a2;
155     a2=a3;
156     a3=a4;
157     a4=a5;
158     a5=a6;
159     a6=a7;
160     a7=a8;

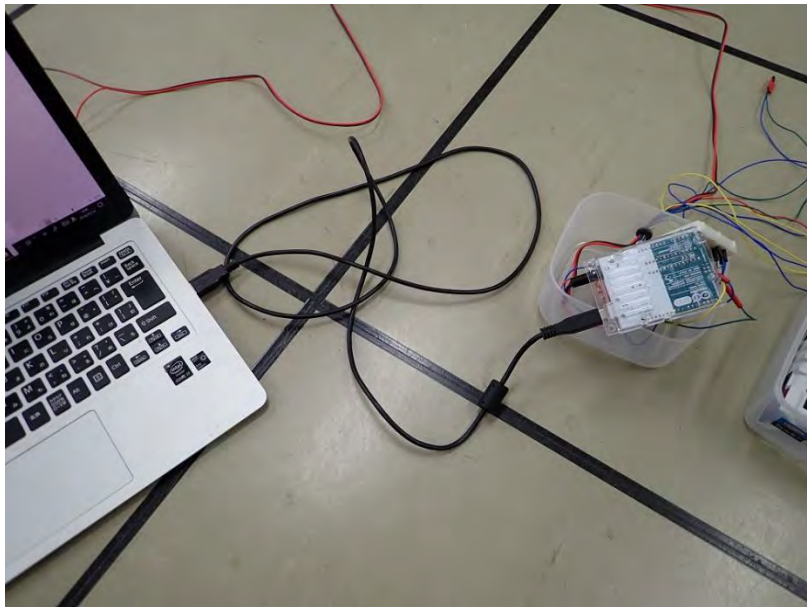
```

```

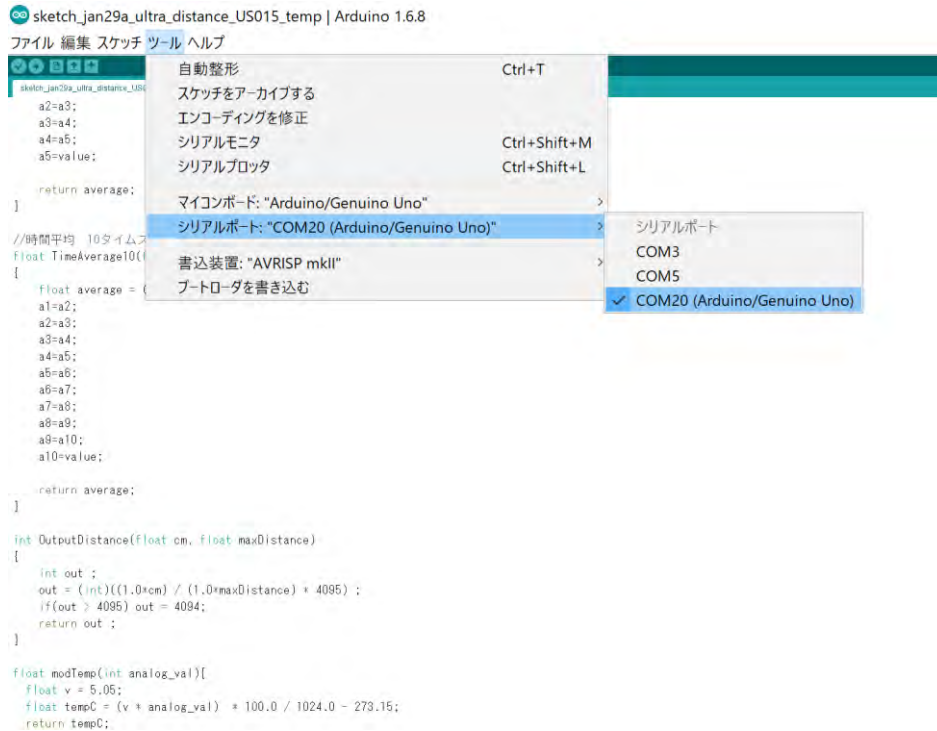
161     a8=a9;
162     a9=a10;
163     a10=value;
164
165     return average;
166 }
167
168 int OutputDistance(float cm, float maxDistance)
169 {
170     int out ;
171     out = (int)((1.0*cm) / (1.0*maxDistance) * 4095) ;
172     if(out > 4095) out = 4094;
173     return out ;
174 }
175
176 float modTemp(int analog_val){
177     float v = 5.05;
178     float tempC = (v * analog_val) * 100.0 / 1024.0 - 273.15;
179     return tempC;
180 }
===== プログラムはここまで =====

```

USB ケーブル (タイプ A-タイプ B) を使って, パソコンと Arduino を接続します

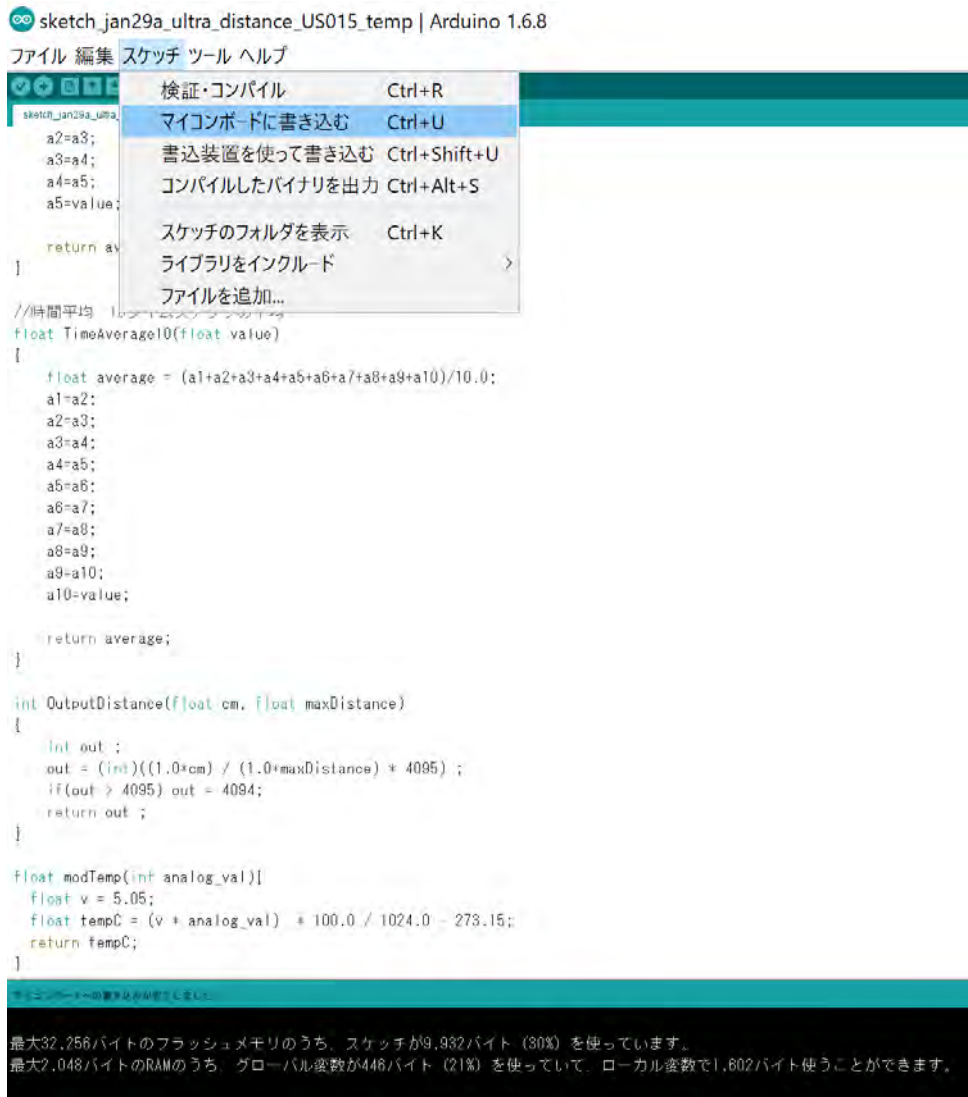


メニューの「ツール」→「シリアルポート」から接続している Arduino を選択します。
 ここでは, シリアルポート COM20(Arduino/Genuino Uno)に接続しています。



メニューの「スケッチ」→「マイコンボードに書き込む」を選択して、Arduino にプログラムを書き込みます。5 秒間程度で書き込みが終了します。画面下の緑色の帯状に「マイコンボードへの書き込みが完了しました」と表示されれば、OK です。

エラーが出た際には、接続しているシリアルポートが正しく選ばれているか確認してください。

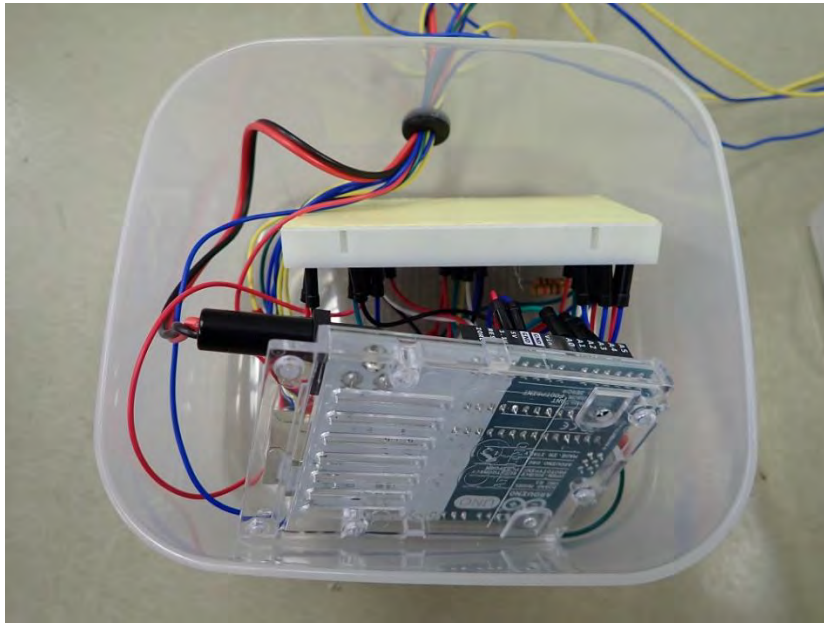


2.3. 製作した超音波距離計を屋外で使用できるようにする作業

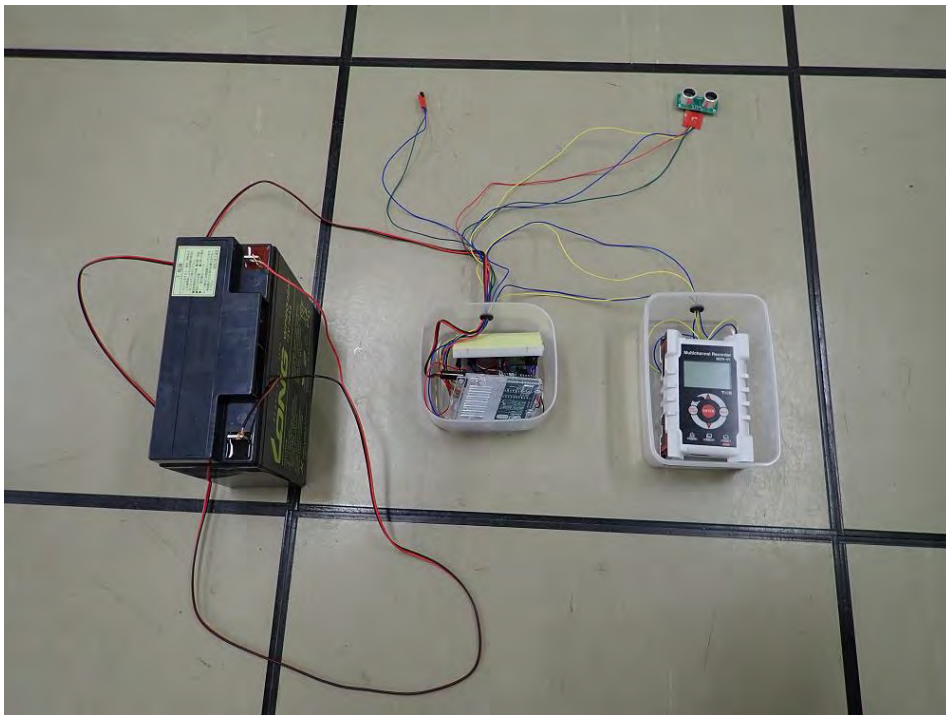
製作した超音波距離計をケースに入れて、バッテリー駆動するようにします。

ケースは、およそ 115×105×60 mm のものを用意します。

ケースは 100 円ショップ seria で購入しました。ケースの横にドリルで直径 10mm 程度の穴をあけて、保護用の輪ゴムを付けます。ここに配線を通して粘土で固定すれば、蓋を閉めれば密閉性が高まります。穴を開けるのは面倒な場合は、ハサミで蓋の端に三角の切り込みを入れて、配線を通して粘土などで固定すればよいと思います。

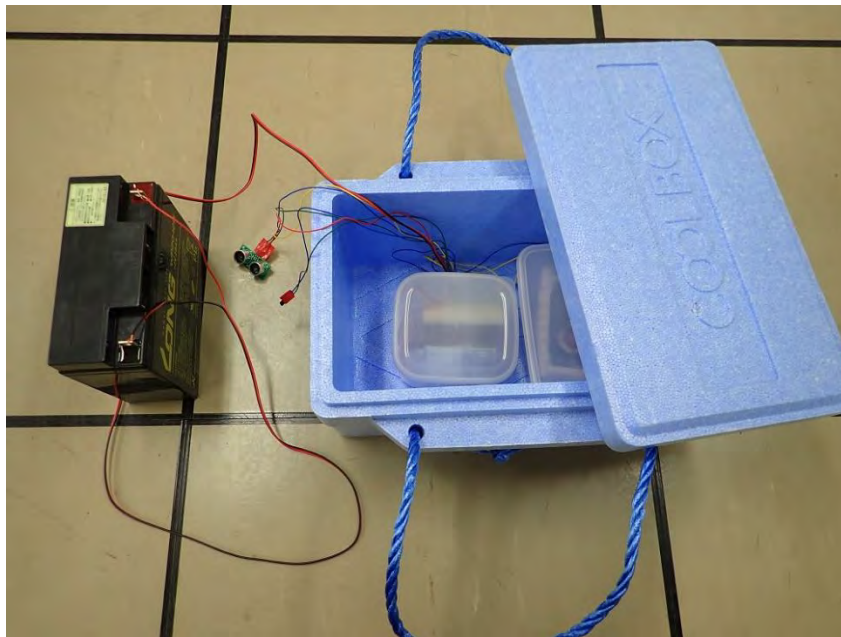


2.1mm標準DCプラグとステレオコードを接続します。接続の仕方は、ステレオコードの赤色が2.1mm標準DCプラグの中心になり、コードの黒が2.1mm標準DCプラグの外側になるようにします。こうしてできた2.1mm標準DCプラグをArduinoに接続し、ステレオコードを12Vのバッテリーに接続します。



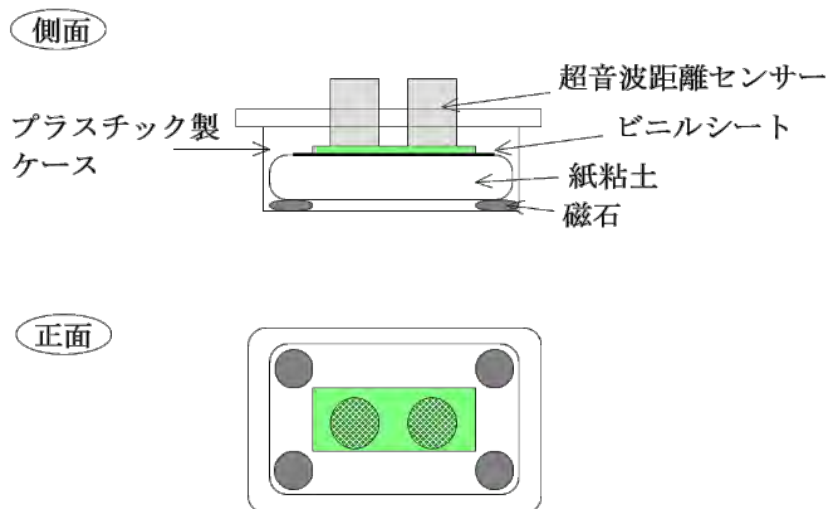
この状態において、すでに距離と温度を計測しています。

Arduinoの動作を保証する温度範囲は、 0°C から 60°C らしいので、氷点下になる場所に設置する場合、冬期はクールボックスに入れて計測するのが良いと思います。



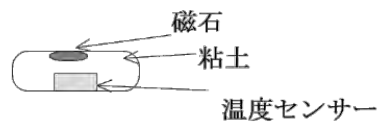
超音波距離センサーと温度センサーを鋼管に設置する方法は、いくつか考えられますが、ここでは、磁石を使って鋼管に接着させる方法をご提案します。

超音波距離センサーを入れる容器の大きさは超音波距離センサーと磁石が入る程度の小さいもの（例えば、4×6×12cm のケース：100 円ショップで 4 個入り 100 円です。）が良いです。下図のように、ケースの下に磁石を置き、紙粘土を詰めて、その上に絶縁用にビニルシートを敷いてから超音波距離センサーを置きます。ケースの蓋には、センサーの形状にそってカッターで穴を開けます。

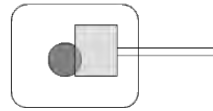


温度センサーは、油粘土に磁石を付けて、その反対の面を鋼管と接する面として、温度センサーが埋め込めば良いです。

側面



正面



このようにすれば、下の写真のように磁石を使ってセンサーを鋼管に固定することができます。この写真は、試しにスチール製の本棚にセンサーを付けた例です。



計測した結果を記録するために、Arduino からの配線をデータロガーに接続します。

製作した超音波距離計の赤コードをデータロガーの 1ch のプラスへ、黒コードをデータロガーの 1ch のマイナスに接続します。

同様に、温度計（管温度）の白コードをデータロガーの 2ch のプラスへ、緑コードをデータロガーの 2ch のマイナスへ接続します。



データロガーにおいて、入力された電圧 V から距離 L や温度 T などの物理量へ変換します。

1ch においては、変換式を $L=39.6V+2$ とします。ただし、測定範囲 2cm から 200cm、測定範囲を 2cm から 400cm へ変更する時は、 $L=79.6V+2$ へ修正してください。その際には、上記プログラムの上から 51 行目を「out = OutputDistance(cm, 200.0);」から「out = OutputDistance(cm, 400.0);」へ修正してください。

2ch においては、変換式を $T=100V-273.15$ とします。

データロガーに付属の CD からアプリ (MCR for Windows) をインストールして、「スケール変換/単位設定」の個所で変換式を入力し、「本体に送信」すると、データロガーで電圧を距離や温度に変換した値が記録されます。



計測した値を記録する方法は、データロガーの操作画面で行います。ストップとスタートを押すだけなので簡単です。ただし、記録する時間ステップを定めたり、チャンネル数を入力したりする必要がありますので、データロガーのマニュアルを参照してください。

参考資料

レーザー距離計の作成方法

レーザー距離計の作り方

レーザー距離計を製作する方法を説明します。

Arduino と呼ばれる小型のコンピュータを使用すれば、手作りで簡単に製作することができます。はんだ付けなど難しい作業は必要ありませんので、以下の説明を参考に製作してください。

2. レーザー距離計の製作に必要なもの

レーザー距離計を製作するために必要なものを説明します。

まず、一番のメリットである費用について説明します。

温度計付き超音波距離計の費用は、約 5,000 円です。

ただし、電源の無い屋外に設置する場合、バッテリー (10,500 円) が必要になります。Arduino が必要とする電源は 1 時間当たり約 20mA です。計測期間によって、バッテリーの数を増やします。

以下に計測器を構成する部品をリストアップします。これらは、電子部品のほとんどが、秋月電子通商というショップでネット購入できます。データロガーは、メーカー (T & D) からネット購入できます。容器は 100 円ショップで購入すればよいです。

小型コンピュータ (Arduino Uno Rev3) 1 個 2,940 円
ブレッドボード 1 個 200 円
レーザー測距センサモジュール (VL530X) 1 個 1080 円
D/A コンバータ (MCP4725) 1 個 350 円
ジャンパーワイヤー 20 本 180 円
2.1mm 標準 DC プラグ 1 個 30 円
スピーカーコード 2m 300 円

容器 (Arduino 用) 100 円
容器 (センサー用) 100 円

バッテリー (LONG 12V 50Ah) 10,500 円
データロガー (T&D MCR-4V 4 チャンネル) 37,000 円
USB ケーブル (A タイプ - ミニ B タイプ) 350 円
USB ケーブル (A タイプ - B タイプ) 350 円

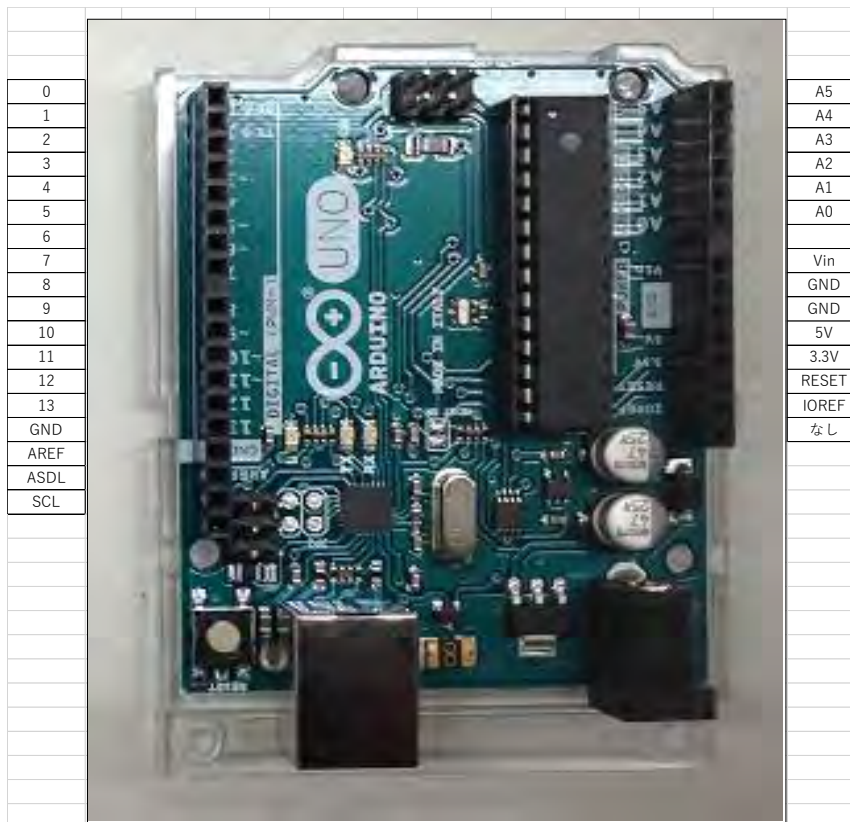
2. 製作手順

以下の手順でレーザー距離計を作成する方法を記します。

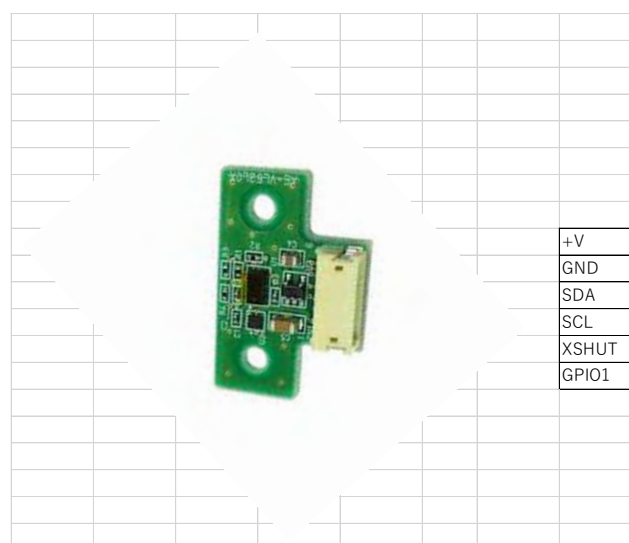
- 2.4. Arduino にセンサーを取り付ける作業
- 2.5. Arduino にプログラムを書き込む作業
- 2.6. 製作したセンサーを屋外で使用できるようにする作業

2.1. Arduino にセンサーを取り付ける作業

Arduino には以下のようなピンがついています。



レーザー測距センサモジュール (VL530X) のピンは以下の図の通りです。このセンサーは、測定範囲が 3cm から 200cm, 分解能は 1mm です。



D/A コンバータ (MCP4725) のピンは以下の通りです。



Arduino のピンとレーザー距離センサー，D/A コンバータのピンとを接続は以下の通りです．ジャンパーワイヤーをブレッドボードに差し込んで配線します．

表 Arduino のピンの接続先

Arduinoのピン	接続するピン	Arduinoのピン	接続するピン
0		A5	
1		A4	
2		A3	MCP4725の+Vピン
3		A2	MCP4725のGNDピン
4		A1	
5		A0	
6			
7		Vin	
8		GND	
9		GND	ブレッドボードの-(マイナス)
10		5V	ブレッドボードの+ (プラス)
11		3.3V	
12		RESET	
13		IOREF	
GND		なし	
AREF			
SDA	MCP4725のSDAピン		
SCL	MCP4725のSCLピン		

表 D/A コンバータの接続先

MCP4725のピン	接続するピン	MCP4725のピン	接続するピン
A0	ブレッドボードの-(マイナス)	GND	ブレッドボードの-(マイナス)
SDA	ArduinoのSDA	Vout	データロガーの+
SCL	ArduinoのSCL	+V	ArduinoのA3
	VL53L0XのSDA		
	VL53L0XのSCL		

表 レーザー距離センサーの接続先

VL53L0Xのピン	接続するピン
+V	ブレッドボードの+ (プラス)
GND	ブレッドボードの-(マイナス)
SDA	MCP4725のSDAピン
SCL	MCP4725のSCLピン
XSHUT	未接続
GPIO1	未接続

2.2. Arduino にプログラムを書き込む作業

以下のサイトから Arduino IDE をダウンロードします．

<https://www.arduino.cc/en/Main/Donate>

ダウンロードした以下のプログラムを起動します。



起動したら、以下のような画面が立ち上がります。

A screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "sketch_dac_ultra_distance | Arduino 1.6.8". The menu bar includes "ファイル", "編集", "スケッチ", "ツール", and "ヘルプ". The toolbar shows icons for opening, saving, and running. The main editor area contains the following code:

```
#include <Wire.h> // Include the Wire library to talk I2C

// This is the I2C Address of the MCP4725, by default (A0 pulled to GND).
// Please note that this breakout is for the MCP4725A0.
#define MCP4725_ADDR 0x60
// For devices with A0 pulled HIGH, use 0x61

#define pingPin 7 // センサー接続のピン番号
#define outPin 9 // 出力のピン番号

int lookup = 0; // variable for navigating through the tables

int sintab2[512] =
[
  2048, 2073, 2098, 2123, 2148, 2174, 2199, 2224,
  2249, 2274, 2299, 2324, 2349, 2373, 2398, 2423,
  2448, 2472, 2497, 2521, 2546, 2570, 2594, 2618,
  2643, 2667, 2690, 2714, 2738, 2762, 2785, 2808,
  2832, 2855, 2878, 2901, 2924, 2946, 2969, 2991,
  3013, 3036, 3057, 3079, 3101, 3122, 3144, 3165,
  3186, 3207, 3227, 3248, 3268, 3288, 3308, 3328,
  3347, 3367, 3386, 3405, 3423, 3442, 3460, 3478,
  3496, 3514, 3531, 3548, 3565, 3582, 3599, 3615,
  3631, 3647, 3663, 3678, 3693, 3708, 3722, 3737,
  3751, 3765, 3778, 3792, 3805, 3817, 3830, 3842,
  3854, 3866, 3877, 3888, 3899, 3910, 3920, 3930,
  3940, 3950, 3959, 3968, 3976, 3985, 3993, 4000,
  4008, 4015, 4022, 4028, 4035, 4041, 4046, 4052,
  4057, 4061, 4066, 4070, 4074, 4077, 4081, 4084.
```

距離を計測するプログラムをエディター部分に書きます。

プログラムは以下の通りです。

===== プログラムはここから =====

```
#include <Wire.h> // Include the Wire library to talk I2C

// This is the I2C Address of the MCP4725, by default (A0 pulled to GND).
// Please note that this breakout is for the MCP4725A0.
#define MCP4725_ADDR 0x60
// For devices with A0 pulled HIGH, use 0x61
```

```

#include <VL53L0X.h>

VL53L0X sensor;

// Uncomment this line to use long range mode. This
// increases the sensitivity of the sensor and extends its
// potential range, but increases the likelihood of getting
// an inaccurate reading because of reflections from objects
// other than the intended target. It works best in dark
// conditions.
#define LONG_RANGE

// Uncomment ONE of these two lines to get
// - higher speed at the cost of lower accuracy OR
// - higher accuracy at the cost of lower speed
// #define HIGH_SPEED
#define HIGH_ACCURACY

float a1=0.0,a2=0.0,a3=0.0,a4=0.0,a5=0.0,a6=0.0,a7=0.0,a8=0.0,a9=0.0,a10=0.0;

// 電源起動時とリセットの時だけのみ処理される関数(初期化と設定処理)
void setup() {
  Serial.begin(9600); // 9600bps でシリアル通信のポートを開きます
  // pinMode(outPin, OUTPUT); // 出力のピンを設定

  Wire.begin();

  // Set A2 and A3 as Outputs to make them our GND and Vcc,
  // which will power the MCP4725
  pinMode(A2, OUTPUT);
  pinMode(A3, OUTPUT);

  digitalWrite(A2, LOW); // Set A2 as GND
  digitalWrite(A3, HIGH); // Set A3 as Vcc

  // pinMode(trigger, OUTPUT);

```

```

//pinMode(echo, INPUT);

sensor.init();
sensor.setTimeout(500);

#if defined LONG_RANGE
// lower the return signal rate limit (default is 0.25 MCPS)
sensor.setSignalRateLimit(0.1);
// increase laser pulse periods (defaults are 14 and 10 PCLKs)
sensor.setVcselPulsePeriod(VL53L0X::VcselPeriodPreRange, 18);
sensor.setVcselPulsePeriod(VL53L0X::VcselPeriodFinalRange, 14);
#endif

#if defined HIGH_SPEED
// reduce timing budget to 20 ms (default is about 33 ms)
sensor.setMeasurementTimingBudget(20000);
#elif defined HIGH_ACCURACY
// increase timing budget to 200 ms
sensor.setMeasurementTimingBudget(200000);
#endif

}
// 繰り返し実行される処理の関数(メインの処理)
void loop() {

float mm;
int out0,out;

mm = sensor.readRangeSingleMillimeters();
Serial.print(mm); // 距離を表示する
Serial.println("mm");

//out0 = OutputDistance(mm, 2000.0);
//out = TimeAverage10(out0);
out = OutputDistance(mm, 2000.0);

Wire.beginTransmission(MCP4725_ADDR);

```

```

Wire.write(64);                // cmd to update the DAC

Wire.write(out >> 4);         // the 8 most significant bits...
Wire.write((out & 15) << 4); // the 4 least significant bits...

Wire.endTransmission();

Serial.print(out);           // 出力を表示する
Serial.println(" : 0-255");

//    delay(1000);

}

//時間平均 3 タイムステップの平均
float TimeAverage3(float value)
{
    float average = (a1+a2+a3)/3.0;
    a1=a2;
    a2=a3;
    a3=value;

    return average;
}

//時間平均 5 タイムステップの平均
float TimeAverage5(float value)
{
    float average = (a1+a2+a3+a4+a5)/5.0;
    a1=a2;
    a2=a3;
    a3=a4;
    a4=a5;
    a5=value;

    return average;
}

```

```
}
```

```
//時間平均 10 タイムステップの平均
```

```
float TimeAverage10(float value)
```

```
{
```

```
float average = (a1+a2+a3+a4+a5+a6+a7+a8+a9+a10)/10.0;
```

```
a1=a2;
```

```
a2=a3;
```

```
a3=a4;
```

```
a4=a5;
```

```
a5=a6;
```

```
a6=a7;
```

```
a7=a8;
```

```
a8=a9;
```

```
a9=a10;
```

```
a10=value;
```

```
return average;
```

```
}
```

```
int OutputDistance(float cm, float maxDistance)
```

```
{
```

```
int out ;
```

```
out = (int)((1.0*cm) / (1.0*maxDistance) * 4095) ;
```

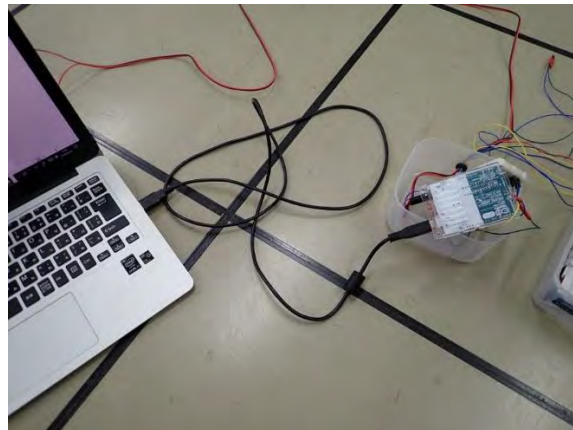
```
if(out > 4095) out = 4094;
```

```
return out ;
```

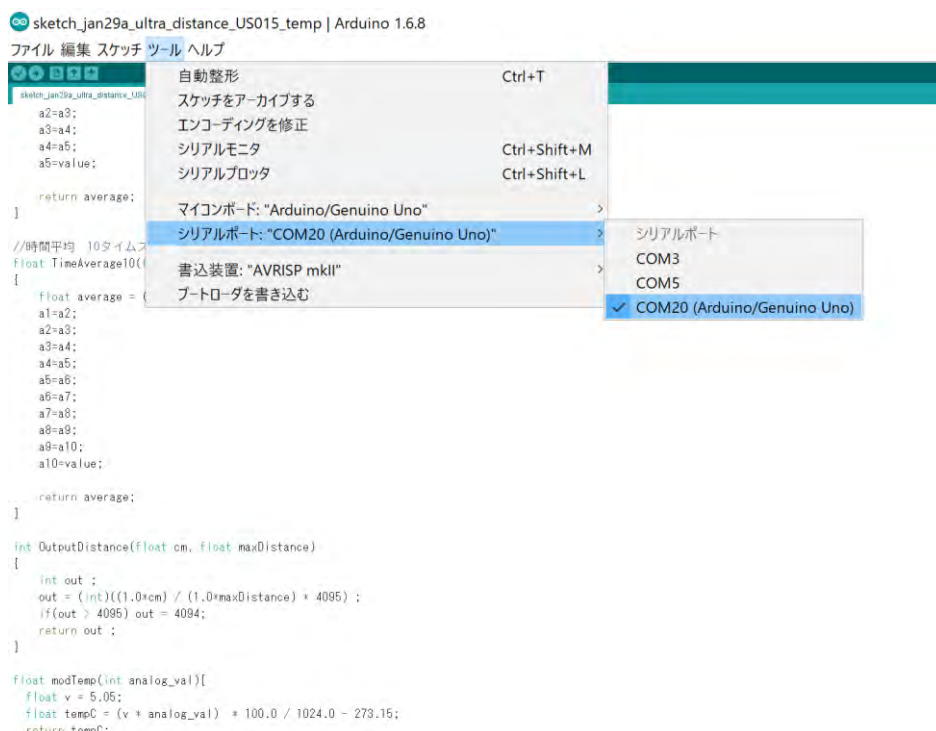
```
}
```

==== プログラムはここまで =====

USB ケーブル (タイプ A-タイプ B) を使って, パソコンと Arduino を接続します



メニューの「ツール」→「シリアルポート」から接続している Arduino を選択します。
 ここでは、シリアルポート COM20(Arduino/Genuino Uno)に接続しています。



メニューの「スケッチ」→「マイコンボードに書き込む」を選択して、Arduino にプログラムを書き込みます。5 秒間程度で書き込みが終了します。画面下の緑色の帯状に「マイコンボードへの書き込みが完了しました」と表示されれば、OK です。

エラーが出た際には、接続しているシリアルポートが正しく選ばれているか確認してください。

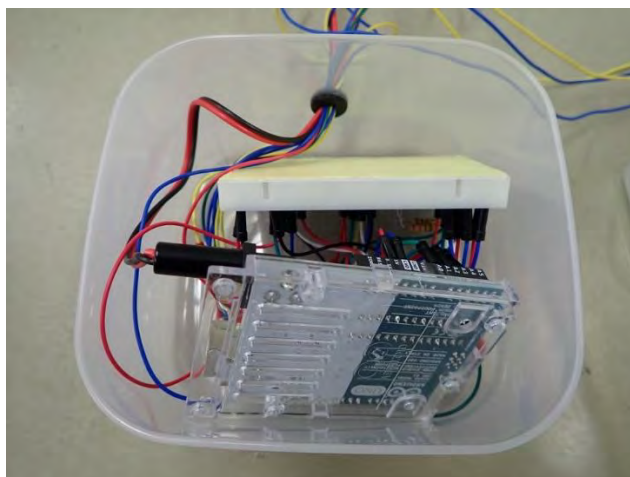


2.3. 製作した超音波距離計を屋外で使用できるようにする作業

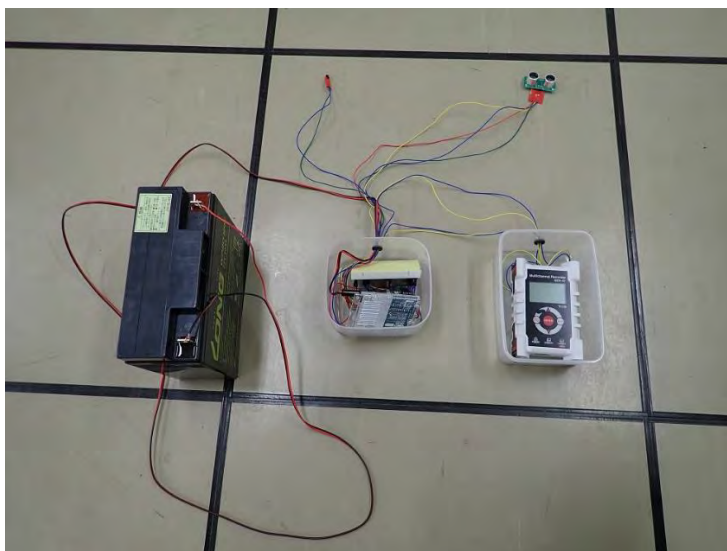
製作した超音波距離計をケースに入れて、バッテリー駆動するようにします。

ケースは、およそ 115×105×60 mm のものを用意します。

ケースは 100 円ショップ seria で購入しました。ケースの横にドリルで直径 10mm 程度の穴をあけて、保護用の輪ゴムを付けます。ここに配線を通して粘土で固定すれば、蓋を閉めれば密閉性が高まります。穴を開けるのは面倒な場合は、ハサミで蓋の端に三角の切り込みを入れて、配線を通して粘土などで固定すればよいと思います。



2.1mm 標準 DC プラグとステレオコードを接続します。接続の仕方は、ステレオコードの赤色が 2.1mm 標準 DC プラグの中心になり、コードの黒が 2.1mm 標準 DC プラグの外側になるようにします。こうしてできた 2.1mm 標準 DC プラグを Arduino に接続し、ステレオコードを 12V のバッテリーに接続します。



計測した結果を記録するために、Arduino からの配線をデータロガーに接続します。

製作した超音波距離計の赤コードをデータロガーの 1ch のプラスへ、黒コードをデータロガーの 1ch

のマイナスに接続します。

同様に、温度計（管温度）の白コードをデータロガーの 2ch のプラスへ、緑コードをデータロガーの 2ch のマイナスへ接続します。



データロガーにおいて、入力された電圧 V から距離 L へ変換します。変換式を $L=400V$ とします。データロガーに付属の CD からアプリ（MCR for Windows）をインストールして、「スケール変換/単位設定」の個所で変換式を入力し、「本体に送信」すると、データロガーで電圧を距離や温度に変換した値が記録されます。



計測した値を記録する方法は、データロガーの操作画面で行います。ストップとスタートを押すだけなので簡単です。ただし、記録する時間ステップを定めたり、チャンネル数を入力したりする必要がありますので、データロガーのマニュアルを参照してください。

参考資料

道路占有許可申請書の記載例

位置図



許可期間内の工程表

1 日目	アスファルトカッター作業、掘削作業
2 日目	配管作業
3 日目	アスファルト復元作業

1 日の作業予定表

	8 時	12 時	18 時
安全対策	9 時		
掘削・配管		14 時	
埋め戻し			17 時
後片付け			

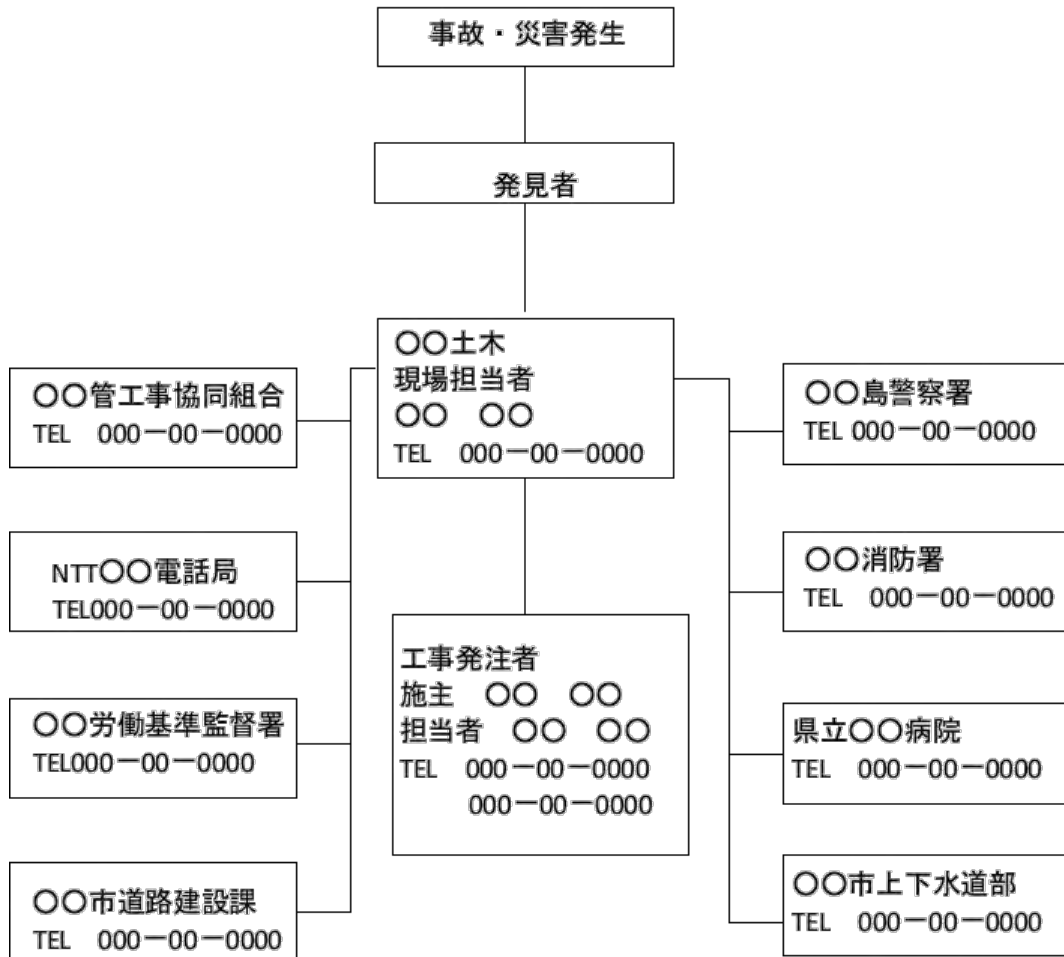
現況写真



撮影年月日 平成 00 年 00 月 00 日

撮影箇所 ○○ (○○市○○ 0 番地-00)

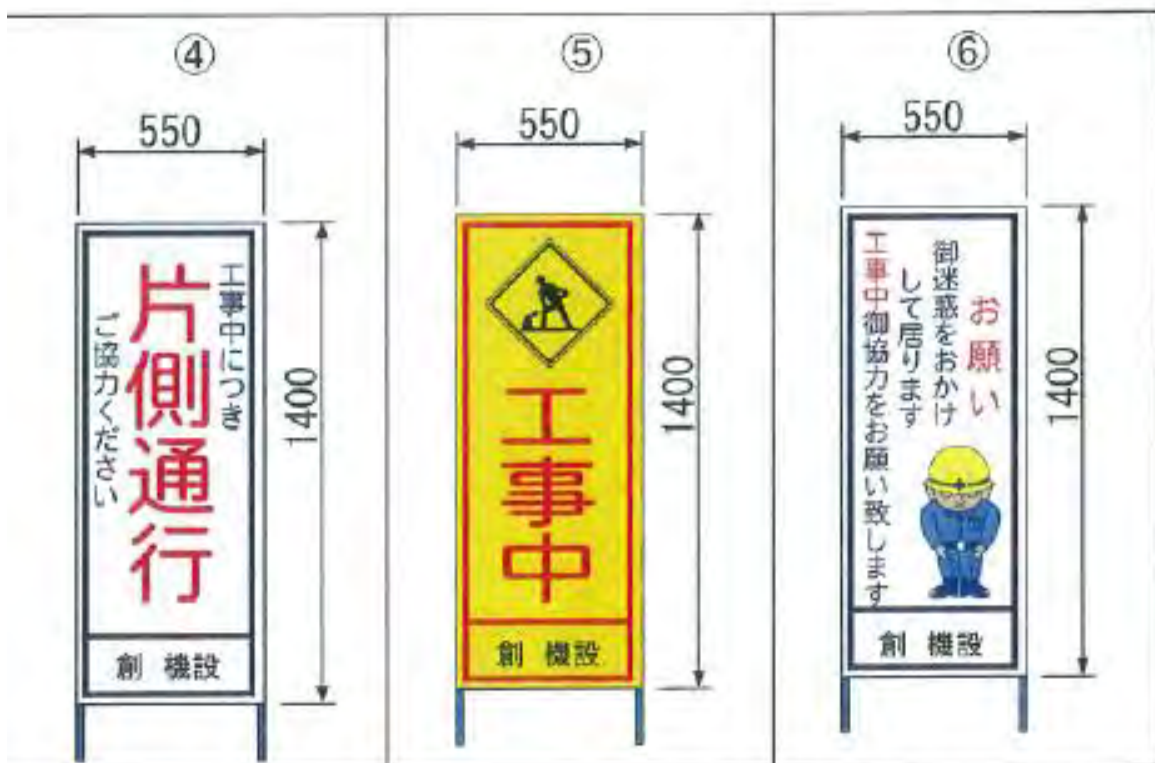
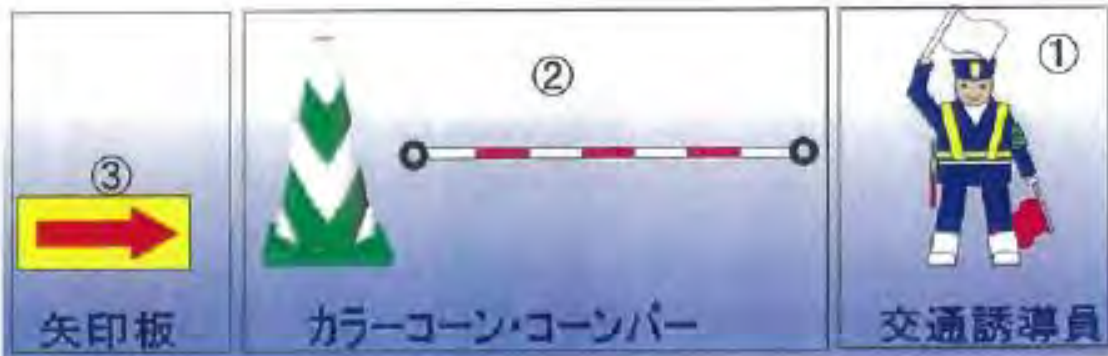
緊急時の体制



(休日・夜間の連絡先)

現場担当者
 氏名 〇〇 〇〇
 住所 〇〇県〇〇市〇〇〇〇〇〇
 電話番号 000-00-0000
 携帯番号 000-00-0000

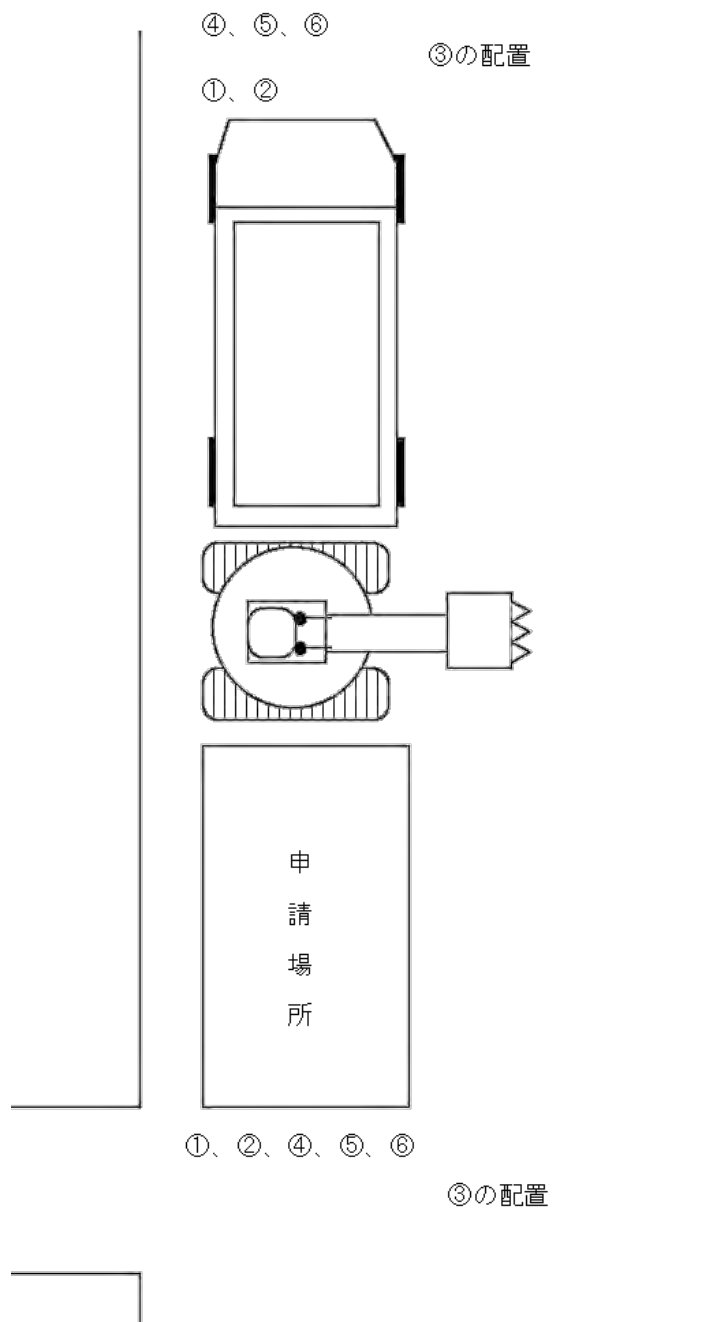
道路保安施設標準図



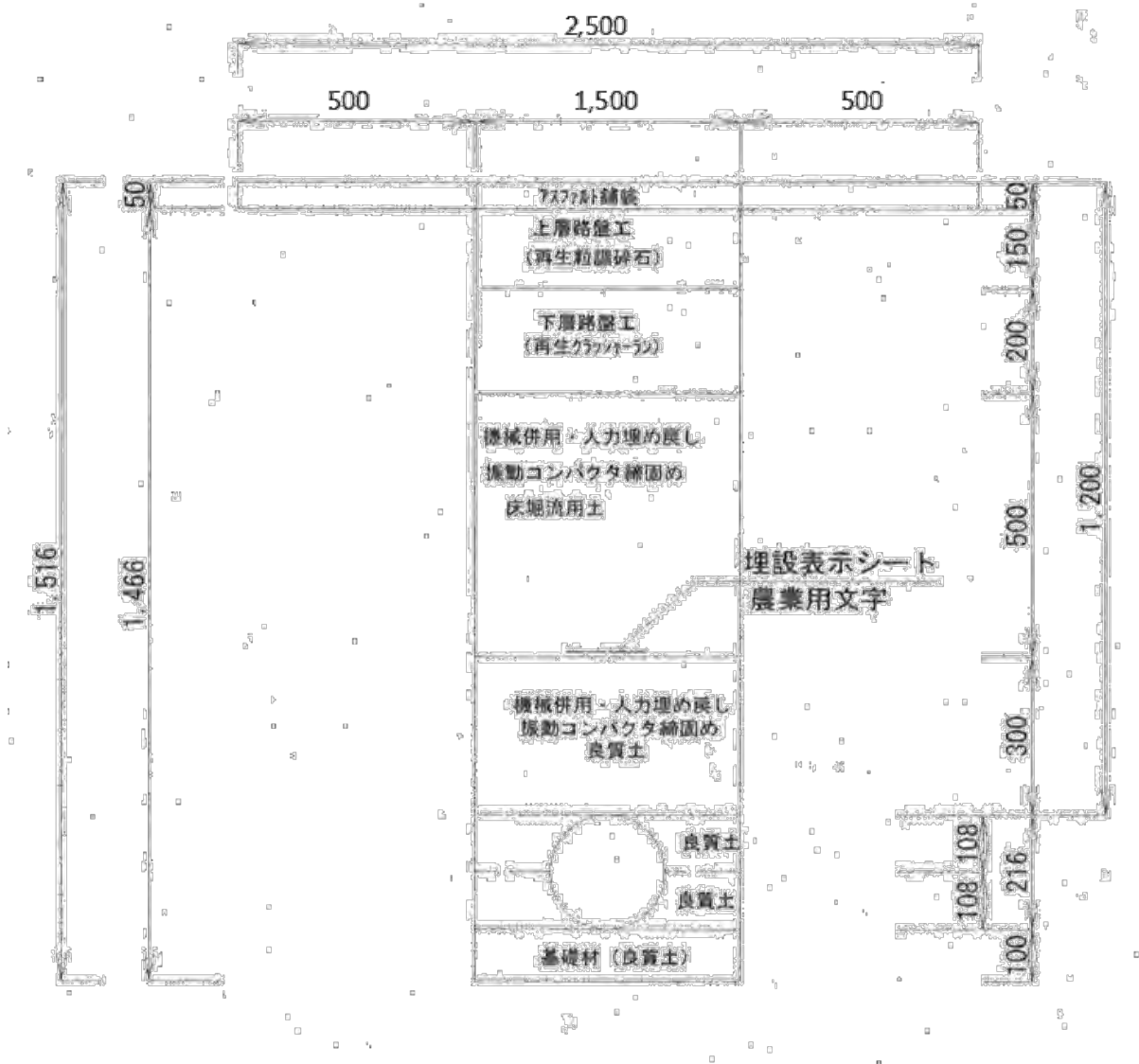
安全管理体制

安全対策注意事項

1. 工事看板、保安施設など設置し、安全対策をはかります。
2. 誘導員を配置し、歩行者の誘導をします。
3. 通行車両は、交通誘導員を配置し、片側交互通行で作業します。



掘削断面図(車道)



復元図面

- ① 掘削幅 = 1,500
- ② 掘削長さ = 3,500
- ③ 復旧幅 = 2,500
- ④ 復旧長さ = 4,500

