

研究成果報告書

研究開発課題名	腐食鋼製集水井工の内巻補強工法の開発
研究総括者	五十嵐正之
研究開発組合	共和コンクリート工業 株式会社 芦森工業 株式会社 芦森エンジニアリング 株式会社
試験研究機関	国立研究開発法人 農研機構 農村工学研究部門

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

地すべりの発生原因は、融雪水や降雨の浸透による斜面内の間隙水圧の上昇と土塊のせん断強度の低下が誘因であると考えられている。これらの誘因の一つである地下水を排除するための施設として鋼製集水井工が設置されてきた。集水井は地中にあり且つ、常に浸透水の影響を受ける厳しい環境条件におかれていること、設置されるのが山間であり日常点検が困難であることから、施設の健全度が低下し、その後の安全性に問題が生じている施設も多いのが現状である。これらを受けて、平成 25 年より農村地域防災減災事業の拡充内容に「地すべり対策」地すべり防止施設が新たに追加され「地すべり防止施設の機能保全の手引き」が発表された。集水井の機能は地すべり土塊の深層部地下水位を下げることを目的としている。集水井の機能回復対策は集水機能復元を目的として、集水ボーリングの閉塞除去などの洗浄管理や排水ボーリングの漏水管理などで度々集水井の内部に人が入ることが不可欠となるが、鋼製集水井の老朽化に伴い腐食が進み施設の安全性が低下し、集水井の内部に入る際に危険が伴う施設など維持管理上問題となる箇所も少なくない。

集水井本体の補修、補強、更新については「地すべり防止施設の機能保全の手引き」にも対策事例は提案されてはいるが、現実の集水井内には補強部材（補強リング、ラテラルストラット、バーチカルスチーフナー）などが設置されているためそれが障害となり施工が難しいことや、集水井本体が偏土圧等で変形している点などを考慮している工法は少なく、現実的には施工が困難な場合も多い。

今回は、次の 3 点の技術開発を目標に研究開発を行う。

- 1) 集水井の施工環境及び健全度調査手法の開発
- 2) 作業困難集水井に対する補強工法の開発
- 3) 作業が容易な集水井に対する低コスト補修工法の検討

1) 集水井の施工環境及び健全度調査手法の開発

現状集水井の健全度、施工環境の調査手法の開発を行う。前に述べたように現実の集水井内は補強部材等が複雑に配置されるなど構造が様々である。また集水井自体の腐食進行や土圧による変形によりその健全性も大きく異なる。さらに、集水井の主な機能である集水・排水機能をどのように維持するかは、将来的な腐食を予測することで、対策

を行うか継続監視するかなど、集水井ごとに必要な対策を決定する前段階の調査法の開発が重要となる。

2) 作業困難集水井に対する補強工法の開発

腐食や変形により維持管理作業が困難な集水井を対象とした補強工法の開発を目的とする。ここでは、現状の集水井を外型枠として利用し、その内側に鋼製リングと硬質塩化ビニル製の表面部材を組み合わせた内型枠を組み立て、その間をセメント系充填材で間詰めすることにより一体的な井筒を形成するフローリング工法を活用した補強工法の開発を目指す。この工法で使用する部材は軽量であり、集水井内部が複雑であっても施工可能であることがメリットの一つである。また、硬質塩化ビニルは下水道にも使用されており、極めて厳しい腐食環境下においても長期間供用が可能と考えられる。

3) 作業が容易な集水井に対する低コスト補修工法の検討

比較的健全度が高い集水井に対する低コストの補修工法に関しては、別途ガイドラインなどで補修工法（無機系、有機系塗装工など）を具体的に提案する。

以上の研究開発を行うことで、集水井に関する現実的な対策工法を開発するとともに集水井の機能回復に掛かる安全性向上と経費の削減に資するものである。

1. 2 事業の内容及び実施方法

上記 3 つの課題解決のため以下の項目において事業を実施した。

1) 集水井の施工環境及び健全度調査手法の開発

(1) 腐食センサーを使用した腐食度の調査方法の開発

内 容 腐食センサーを使用した鋼材の腐食調査計画を立案する。

実施方法 平成 27 年度に試験施工現場である新潟県糸魚川市丸山地区の丸山 2 号集水井内に腐食センサーを設置して平成 28 年 3 月からモニタリングを行っている。季節変動の状況を確認するため平成 31 年 3 月までデータ採取を継続する。

(2) 集水井の腐食度調査マニュアルの開発

内 容 手引きによる健全度評価基準に加え定性的にとらえ客観的な尺度で腐食度の評価を行う。

実施方法 平成 29 年度に丸山地区で半定量診断による集水井の機能診断を行い、集水井の劣化状況进行评估する。

(3) 試設計による内巻管の構造計算基準の開発

内 容 要求性能ごとの設計法に係る技術指針、設計の考え方の開発をまとめる。

実施方法 平成 27 年度に RC 断面計算を行い、設計断面の検討を行う。

(4) 内巻管の構造部材強度試験による、構造部材の選定

内 容 内巻補強を構成する部材の安価な材質選定と内巻補強躯体の強度確認試験を行う。

実施方法 平成 27～28 年度に 1/3 スケールモデルの外圧試験体を 3 体製作し、破壊試験を実施。また要素試験を行うため梁供試体を 20 体製作して曲げ

試験を行う。

(5) 内巻補強工法の施工管理・安全管理・品質管理基準の策定

内 容 内巻補強管の施工に関する安全・品質・出来型などに関する管理基準を策定する。

実施方法 平成 27 年度に 3D スキャナー調査を行い、施工前と施工後で出来形確認を行う。

(6) 実証施工集水井の選定

内 容 条件に見合う実証工事を行う集水井を選定する。

実施方法 平成 27 年度に現場調査を行い対象となる集水井を選定する。また平成 28 年度にバーチカルスティブナーの負担荷重調査を行い、安全な施工方法を検討する。

(7) 補修・補強設計施工ガイドラインの作成

内 容 これまでの結果を「設計・施工ガイドライン」にまとめる。

実施方法 平成 29 年度に調査マニュアル、設計・施工・歩掛マニュアルを作成する。

(8) 実証試験

内 容 腐食集水井における実際の施工を行い、各項目の検証を行う。

実施方法 平成 28 年度に新潟県糸魚川市丸山地区の丸山 1 号集水井を対象にフローリング内巻補強工法を実施する。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
(1) 腐食センサーを使用した腐食度の調査方法の開発において腐食進行の精度計測検証が課題である。	常時モニタリングが可能なシステムの開発を行い、現地の暴露供試体、部材の腐食進行を計測し、腐食センサーの値を比較することで精度を検証した。
(2) 集水井の腐食度調査マニュアルの開発において「地すべり防止施設の機能保全の手引き」と新潟県が作成している機能診断の手引き（案）を参考に、健全度の調査から施設の機能評価と補修・補強までの対策選定が課題である。	現場で簡単に入力できる集水井の概査点検手法を開発し、集水井の調査・診断マニュアルとしてまとめる。
(3) 試設計による内巻管の構造計算基準の開発において内巻補強工の基礎工法となるフローリング工法は、下水道の更生工法であるため、外圧は上方からの鉛直土圧や活荷重となる。集水井の場合円周方向から作用すると考えられるので、外圧の設定が課題となる。	側方土圧のほかに、偏土圧を別途考慮し構造計算を行った。
(4) 内巻管の構造部材強度試験による、構造部材の選定において側方土圧が作用した場合の破壊モードの解明が課題である。	φ1300mm の円環供試体の外圧試験を 3 体実施し破壊モードの解明を行った。また要素試験として梁供試体を 20 体製作して曲げ試験を実施した。
(5) 内巻補強工法の施工管理・安全管理・品質管理基準の策定において集水井内作業は転落や酸素欠乏症などの事故が生じる恐れがあるため、安全対策を講じて対処することが必要となる。また、昇降階段などの施設は目視では安全性まで確認できない。	集水井に入坑することなく、3D スキャナーを使用して天蓋を移動して 3 点からレーザーを照射し合成することで集水井の傾き、内径変状補強部材の変形などを測量する手法とした。
(6) 実証施工集水井の選定においてバーチカルスティフナーの撤去が施工上の安全性に与える影響が課題である。また対象集水井の底の滞留水の処理も課題である。	固定している U クリップを撤去して、バーチカルスティフナーの挙動を、ひずみ測定により観察した。また再ボーリングにより排水機能の回復を実施した。
(7) 補修・補強設計施工ガイドラインの作成においてモルタル充填時に新たな管理項目が必要になる。	試験施工で状況を確認して、管理方法を確立した。
(8) 実証試験において下水道更生工法と構造が変わるため、モルタル充填の管理方法を確立する必要がある。	モルタル打ち上げ高さの確認をシュミレーションして安全性を確認した。

(その他) 既存工法の資料収集	作業が容易な集水井に対する低コスト補修工法の検討するために既存工法の資料収集を行う。
-----------------	--

1. 4 事業の実施体制

1) 試験研究機関と研究開発組合内の役割分担

個別研究テーマ	国立研究開発 法人 農研機構 農村工学部門	事業実施主体		
		共和コンクリート工業(株)	芦森工業(株)	芦森エンジニアリング(株)
(1) 腐食センサーを使用した腐食度の調査方法の開発（腐食センサーによるモニタリング計画）	◎	◎	—	○
(2) 集水井の腐食度調査マニュアルの開発（構造の部位ごとの腐食調査基準の提案）	◎	◎	○	◎
(3) 試設計による内巻管の構造計算基準の開発	◎	◎	○	◎
(4) 内巻管の構造部材強度試験による、構造部材の選定	◎	◎	○	◎
(5) 内巻補強工法の施工管理・安全管理・品質管理基準の策定	◎	◎	○	◎
(6) 実証施工集水井の選定	◎	○	—	○
(7) 内巻管補強工法の現場実証施工	—	—	○	◎
(8) 補修・補強設計施工ガイドラインの作成	◎	◎	○	◎

1. 5 事業の年度計画と実績

個別研究テーマ	研究内容	実施予定期間						備 考	
		平成 27 年度		平成 28 年度		平成 29 年度			
		上	下	上	下	上	下		
(1) 腐食センサーを使用した腐食度の調査方法の開発（腐食センサーによるモニタリング計画）	・農工研（腐食センサー）を使用した鋼材の腐食調査計画を立案する。 ・集水井の設置環境、材質の差異などによる腐食状況を調査する。								
									
(2) 集水井の腐食度調査マニュアルの開発（構造の部位ごとの腐食調査基準の提案	・手引きによる健全度評価基準に加え定性的にとらえ客観的な尺度で腐食度の評価ができる。								
									
(3) 試設計による内巻管の構造計算基準の開発	・要求性能ごとの設計法に係る技術指針、設計の考え方を開発する。								
									
(4) 内巻管の構造部材強度試験による、構造部材の選定	・内巻補強を構成する部材の安価な材質を選定する。 ・内巻補強躯体の強度確認試験（モデル管体の破壊試験）								
									
(5) 内巻補強工法の施工管理・安全管理・品質管理基準の策定	・内巻補強管の施工に関する安全・品質・出来型などに関する管理基準を策定する。								
									
(6) 実証施工集水井の選定	・条件に見合う実証工事を行う集水井を選定する。								
									
(7) 内巻管補強工法の現場実証施工	・腐食集水井における実際の施工を行い、各項目の検証を行う。								
									
(8) 補修・補強設計施工ガイドラインの作成	・これまでの結果を「設計・施工ガイドライン」にまとめる。								
									

注) は計画、—— は実績。

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

1. 6. 1 腐食センサーを使用した腐食度の調査方法の開発

新潟県糸魚川市丸山農地地すべり地区の2号集水井を対象として平成28年1月から集水井内の水位、湿度などを測定する環境モニタリングを開始した。2号集水井は、現場実証試験を行った1号集水井の約100m下方にある。平成28年3月に内部の腐食環境を測定するための腐食センサーを3箇所設置した（図1-6-1-1の青丸）。

平成28年7～8月に集水井内部での鋼材の腐食進行を測定するために交流インピーダンス測定により腐食センサーの分極抵抗を求めた。しかしながら、暴露期間が短かったため測定値の変化はほとんどみられず、腐食の進行は確認されなかった。

平成29年12月に昨年と同様の測定を行った。腐食センサーの状況を図1-6-1-2に示す。目視においても腐食センサーに腐食が生じており、図1-6-4-1のように計測値にも変化があった。別に設置した暴露供試体の腐食量を現在分析しており、その結果から計測値の変化と腐食量の関係を推定した。

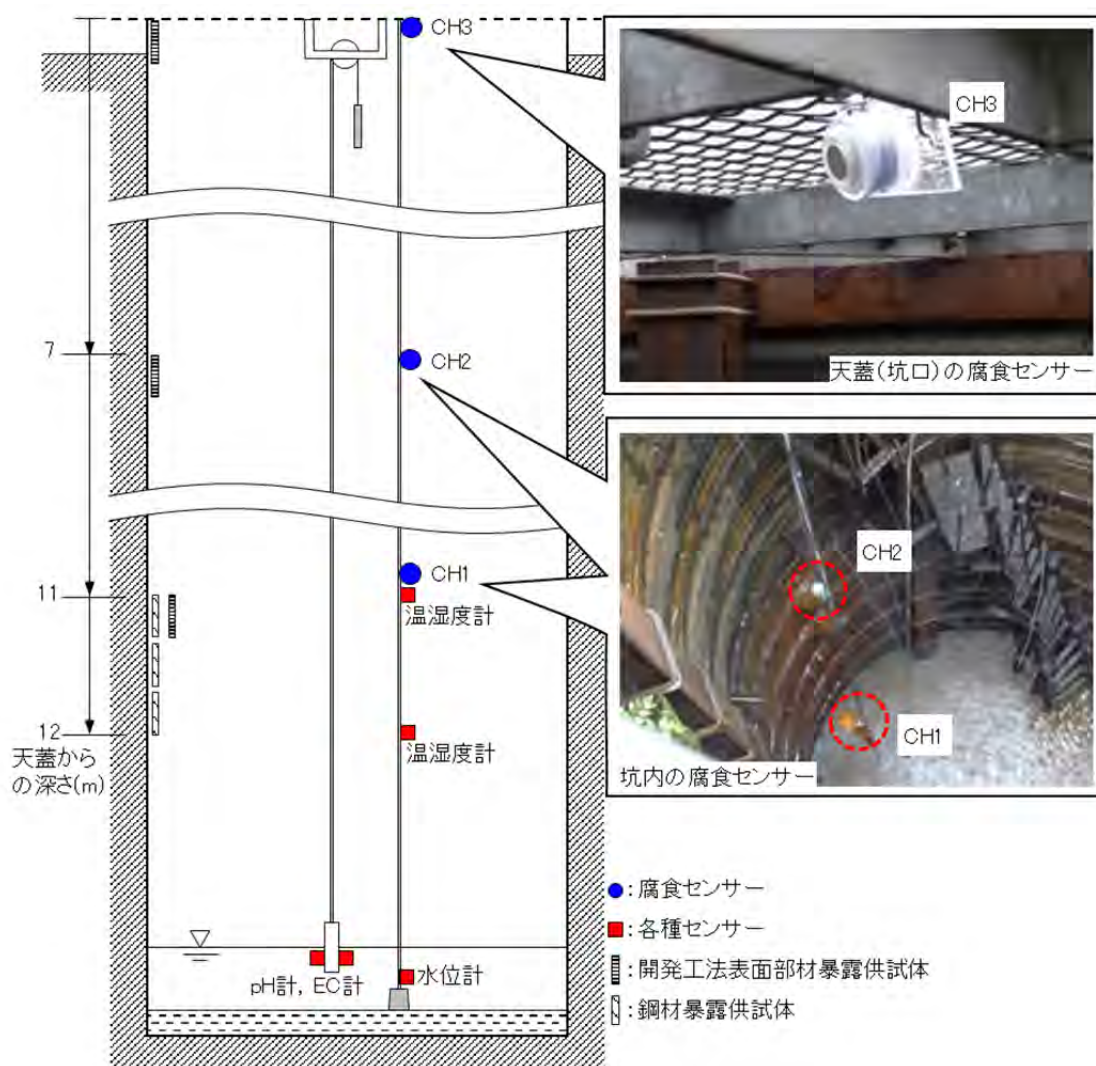


図 1-6-1-1 腐食センサーの配置図



図 1-6-1-2 平成 29 年 12 月時点での腐食センサーの状況（設置から約 1 年半後）



図 1-6-1-3 暴露供試体の配置状況

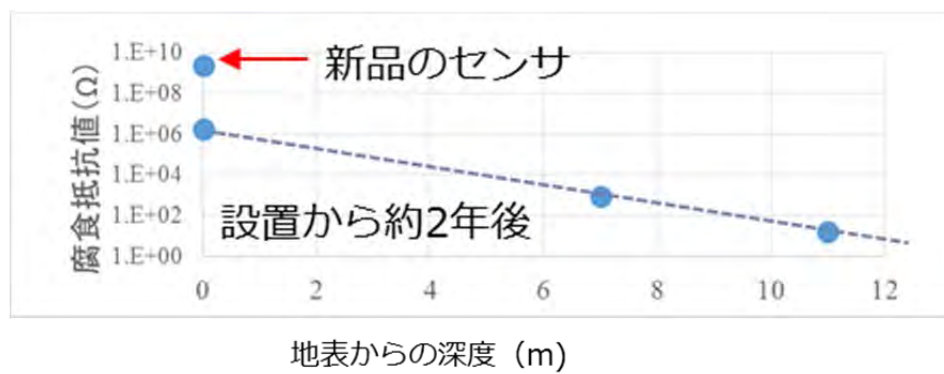


図 1-6-1-4-1 腐食抵抗値の変化

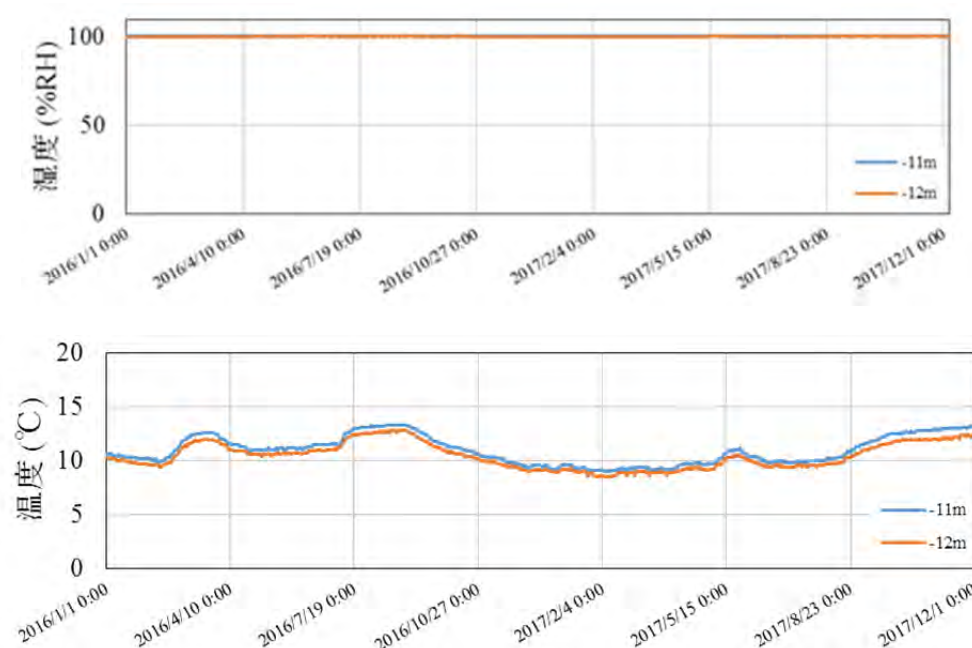


図 1-6-1-4-2 採取した湿度データおよび温度データ

集水井内部の環境モニタリングからは、集水井の底部から深さの半分程度までの湿度はほぼ 100%が継続し、腐食性の高い環境にあることが示された。また、内部温度については、5～15℃の間で推移しており、凍結などは生じ無いことも明らかになった。集水井の底水の水位変化はほとんど無く、春先の融雪期においても排水機能は十分確保されていることが確認された。集水井の内部環境を長期間測定した報告は皆無であり、このような厳しい環境条件の中で約 1 年半、欠測することなくデータを収集できたことも一つの成果と考えており、他の集水井のモニタリングを行う場合も参考になるシステム構成と考えられる。

腐食センサーの設置と同時期にフローリング内巻補強工法の硬質塩化ビニル製表面部材の暴露試験供試体の設置を実施した(図 1-6-1-3)。硬質塩化ビニル製表面部材については、集水井の底に近い部分についてはもらい錆びによる変色がみられたが、紫外線劣化が懸念された地上部では特段の変状は観察されなかった。また平成 29 年 12 月に集水井の内部に入り、硬質塩化ビニル製表面部材の状況を目視で確認したが、表面に錆は付着しているものの特段の変化は見られなかった。

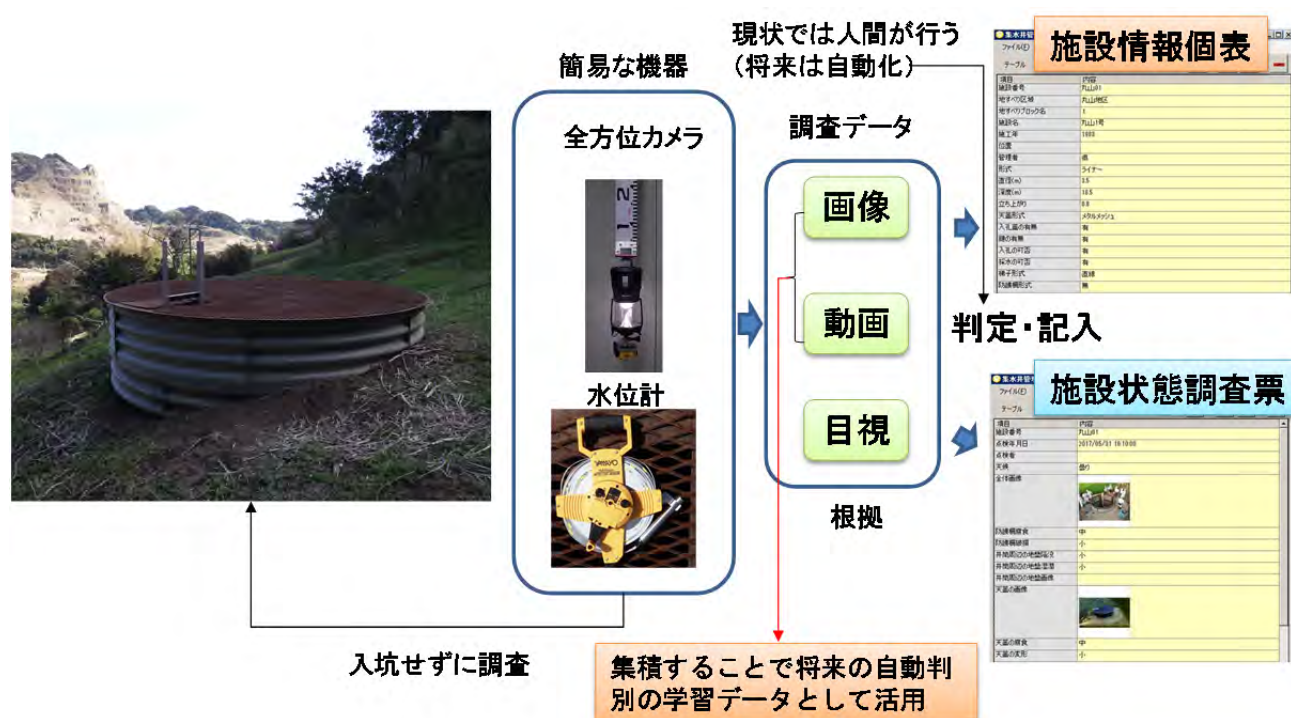
1. 6. 2 集水井の腐食度調査マニュアルの開発

鋼製(ライナープレート)集水井を対象に、主に既往の健全度評価と新たに入坑せずに内部状況を把握する診断方法についてマニュアルを開発した。当初は、集水井の機能診断とその機能診断に基づく性能低下に応じた補修・補強対策の提示を目標に掲げていたが、そこまでは至っていない。しかし、全方位カメラを用いて、入坑せずに内部の動画を撮影し、内部

情報を把握する方法について詳しく記述した。これらは、新しい集水井の診断方法として活用が期待される。一方、収集した動画に基づいて、集水井の「①施設情報個表」、「②施設状態個表」そしてそれに基づく③健全度評価について、①については、マニュアルにて作成できるが、②～③については、案を示すのみに留まった。これは、現状では集水井内部の動画データが少なく、動画データから健全度を評価するための対応表が作成できなかったためである。

1) 調査手法のコンセプト

集水井に入坑することなく、簡易な機器を用いて集水井の機能低下をある程度定量的に評価する診断方法のコンセプトを下图に示す。



調査手法のコンセプトを箇条書きにて示す。

- ①簡易機能診断は、4章で示した「概査」と「詳細調査」の中間に相当する調査である。
- ②調査は、集水井には入坑せずに簡易な機器を用いある程度定量的な情報（画像、動画、目視からの情報）を得る。
- ③集水井の外部、周辺部はデジタルカメラなどの画像が基本データとなる。また、集水井の内部状況は後から述べる全方位カメラの動画が基本データとなる。
- ④1つの集水井の調査時間は3人体制で30分程度を想定している。
- ⑤現場で得た画像、動画データを根拠に調査結果を調査票にまとめる。これは、現場で行わず、事務所に戻って行う。つまり、現場では目視によるデータを調査票に記載し、

画像及び動画を元にした情報の整理は調査後に行う。

⑥画像や動画は1次データとして保存する。これらは、将来的にはAIによる劣化の自動判定などの学習データとして集積していく（当面は画像から機能低下や諸元を人間が判定するが、将来的には自動判定に切り替える。そのためには、地道に定量データを集積していく必要がある）。

⑦調査結果を基に、集水井の機能評価を行い、概略の対策を選定する。

2) 全方位カメラを用いた集水井の内部調査

(1) 調査方法の概要

図 1-6-2-2 に示す全方位カメラをランタンの先に取り付けた集水井の内部調査用カメラを作成し、集水井の天蓋からカメラをつり下げ、集水井の内部動画を撮影する。得られた動画から集水、排水機能、補強リングの状態および植生などを把握する。



図 1-6-2-2 全方位カメラ

(2) 集水井の内部調査カメラ

図 1-6-2-3 にカメラの概要を示す。内部調査カメラは市販品を組み合わせ作成した。ランタンの先端に図 1-6-2-2 の全方位カメラを取付ける。



図 1-6-2-3 全方位カメラ

(3) 調査方法の概要

調査手順の概要を述べる。調査は必要に応じて落下防止器具を付けて行う。

- ①水位測定：水位計により、最初に天蓋から底までの距離、水面までの距離を計る。水面までの距離を大体把握し、それより内部調査カメラを下ろさないようにする。水位計が細長いため、底を感知するのは難しいが、テープを細かく移動させ、手の感覚から底を感知する。



②目印用のリボンロッドの設置

リボンロッドを集水井の内面に沿わせてたれ下げる.

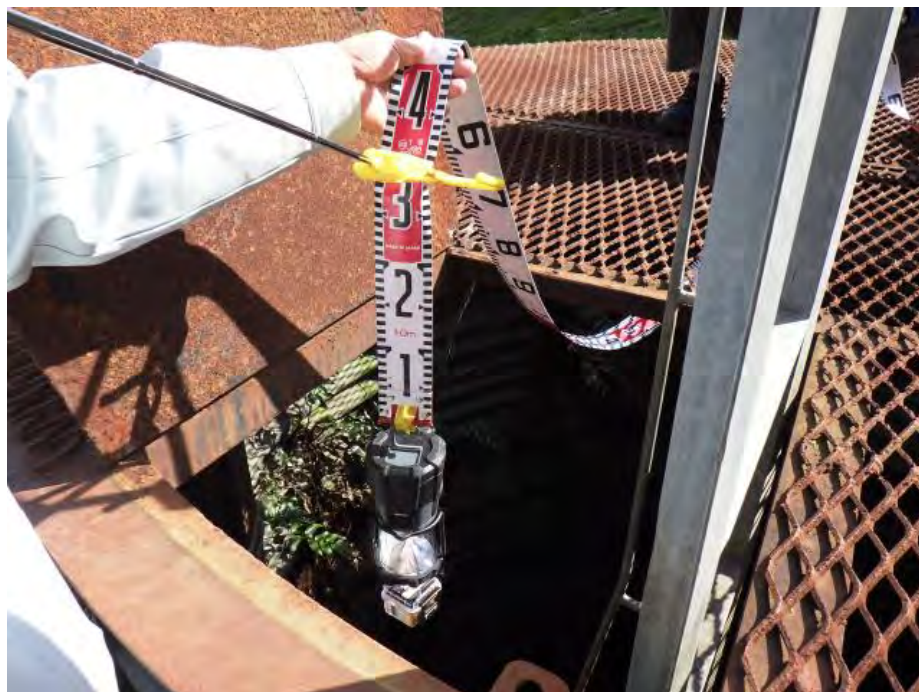


- 赤白が1m毎に設置された側を集水井の内側に向けて設置
- リボンの先端が水面の位置にくるように設置

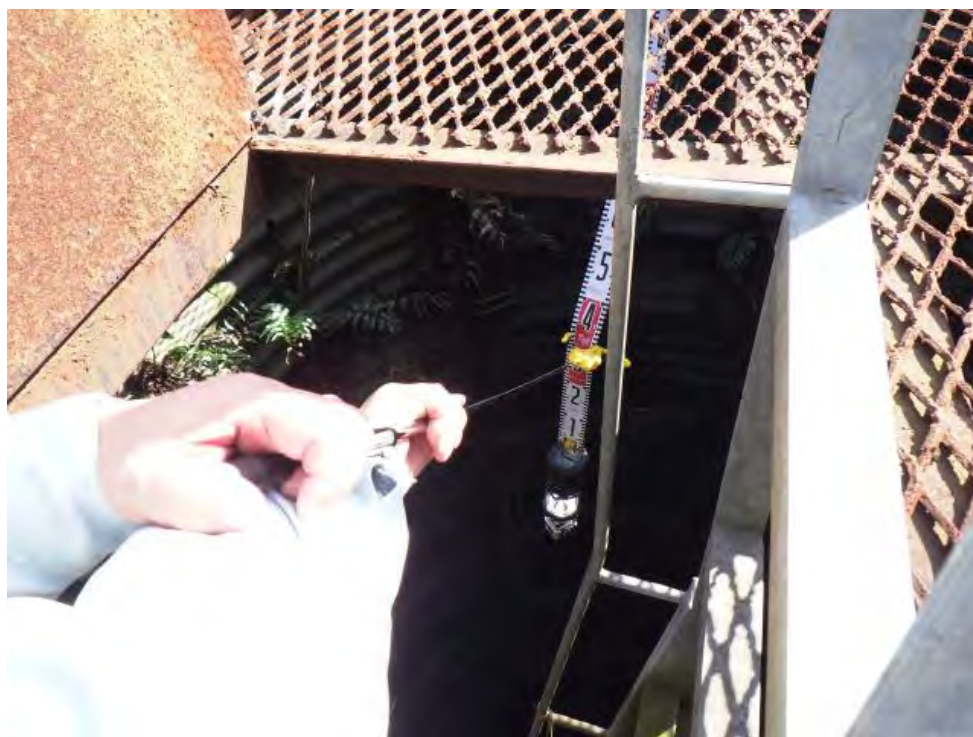
③内部調査用カメラの釣り込み：リボンロッドの先を集水井の蓋の間から差し込み入坑口から外に引っ張りだす。このとき、リボンロッドをたぐる引っ掛け棒があると便利.



⑤内部調査カメラの釣り込み：リボンロッドの先に内部調査用カメラを結び、引っ掛け棒で慎重に中央に吊す（レンズに傷をつけないこと）



⑥引っ掛け棒で慎重に中央に吊す（レンズに気をつけて）



⑦タブレットの動画録画ボタンを押す.



⑧内部探査カメラを降下させる.

水面までの距離を確認し、水面から 50cm ぐらい上の位置まで、内部調査カメラを降下させる。1m 当たり 3～4 秒で降ろす。集水井の底までカメラが達したら、モニタ同じ手順でカメラを上昇させ、動画を録画する。



⑨内部カメラを途中止めながら上昇させる。

モニタを確認しながら，途中1時停止をしながら，1m 当たり 5 秒程度でカメラを上昇させる．途中停める時間は 10 秒程度，位置は，①底部（排水 B の観察），②下段集水 B，③上段集水 B，④中間，⑤最上部，⑥植生のある位置，⑦変状位置，である．

カメラは，下の写真のように Panorama モードのちょうど真ん中に対象物が写る位置で停止するのが良い（例は少し下過ぎるが）．



⑨カメラの回収

投入と同様に引っかけ棒でカメラを回収する．

3) 調査結果の整理 (内部動画の結果を施設情報個表としてまとめる)

集水井の施設情報個表－１－（１）

基本諸元			
記 入 者	中嶋勇	位 置	37.116485, 138.034543
所 属	農研機構	管 理 者	県
調 査 日 時	2018/04/19 10:50	形 式	ライナー
天 候	くもり		
施 設 I D			
地 す べ り 区 域 名	丸山地区		
地 す べ り ブ ロ ッ ク 名			
施 設 名	丸山2号		
施 工 年	1976		
外観等からの諸元情報			
全 体 画 像	☒	天 蓋 形 式	エキスパンドメタル
天 蓋 画 像	☒	メッシュ幅 (cm)	8
直 径 (m)	3.0	入 孔 蓋 の 有 無	有
立 ち 上 が り (m)	0.75	鍵 の 有 無	無
深 度 (m)	14.5	入 孔 の 可 能 性	可
防 護 柵	無		
内部の諸元情報 (全方位カメラの情報を加味して)			
内 部 映 像	☒	備考	
リボンロッド設置方位	南		
点 検 梯 子	直線		
ラ イ ナ ー プ レ ー ト	黒皮		
集 水 B の 上 段 の 数	6		
集 水 B の 上 段 の 深 度 (m)	8.9		
集 水 B 下 段 数	6		
集 水 B の 下 段 の 深 度 (m)	13.9		
連 結 管	無		
排 水 B の 状 態	水面		
排 水 B の 数	1		
排 水 B の 深 度 (m)	14.1		
補 強 リ ン グ 間 隔 (m)	1.0		
パーティカルスティフナ本数	4		
ラテラルストラッド段数	0		
ラテラルストラッド本数	0		

集水井の施設情報個表－1－（２） 画像

全体位置



全体画像



集水井の施設情報個表－ 1 －（ 3 ） 画像

上部



中間



集水井の施設情報個表－1－（４） 画像

下部



植生（蓋から3m付近）

