

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。

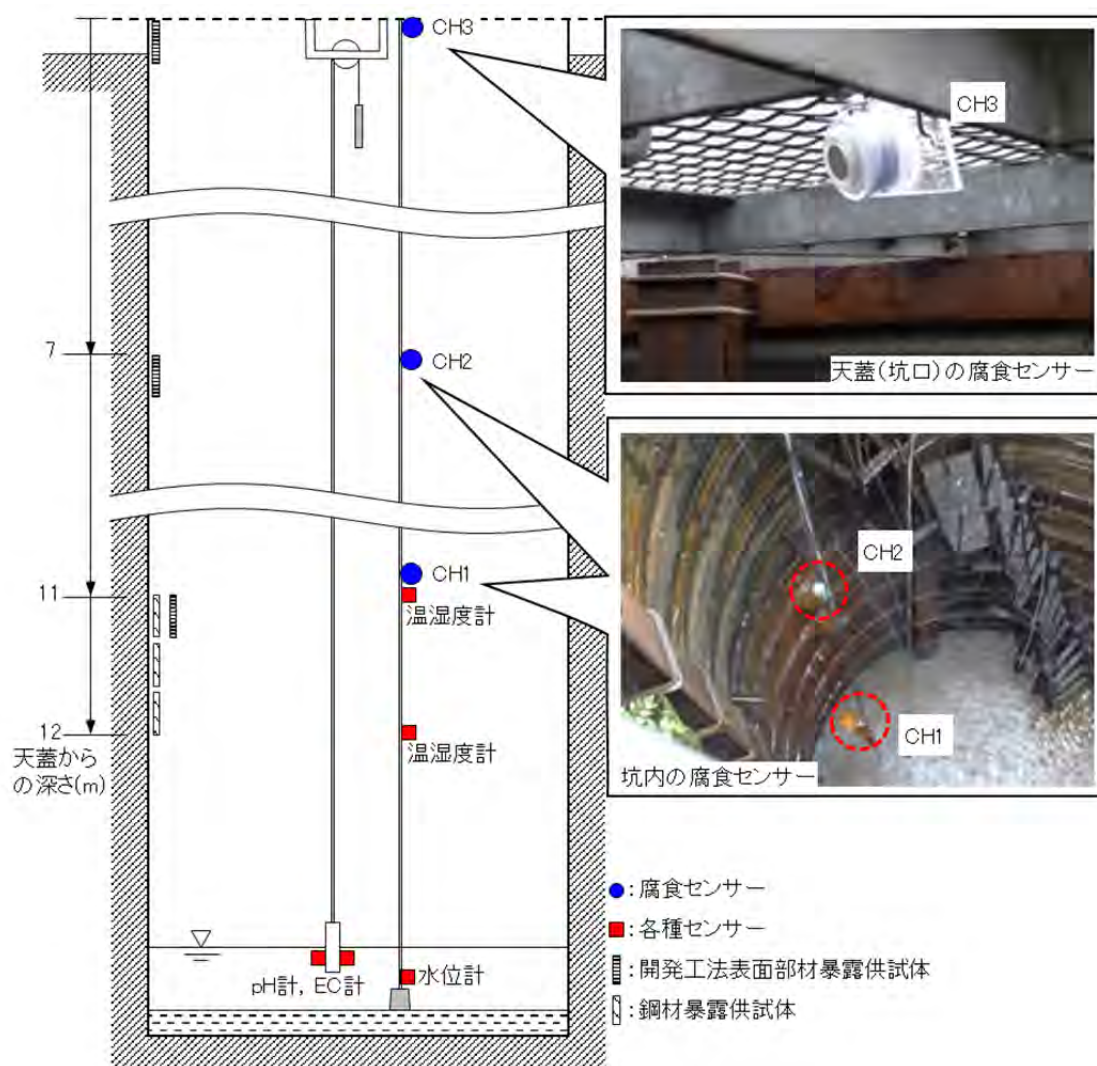


図 1-6-1-1 腐食センサーの配置図



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

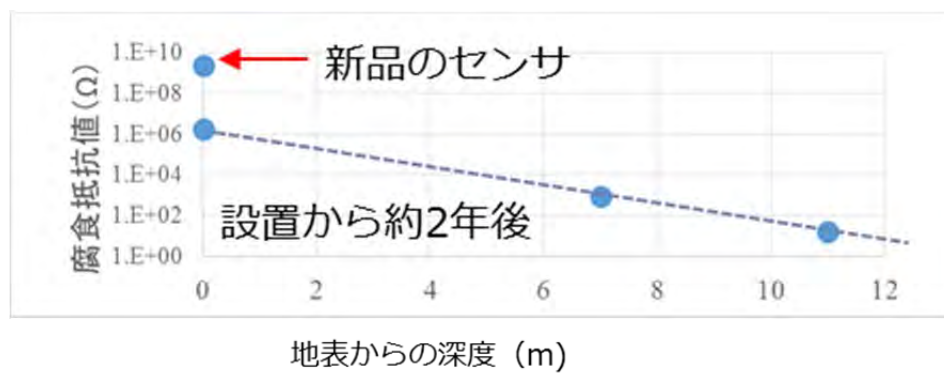


図 1-6-1-4-1 腐食抵抗値の変化



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。

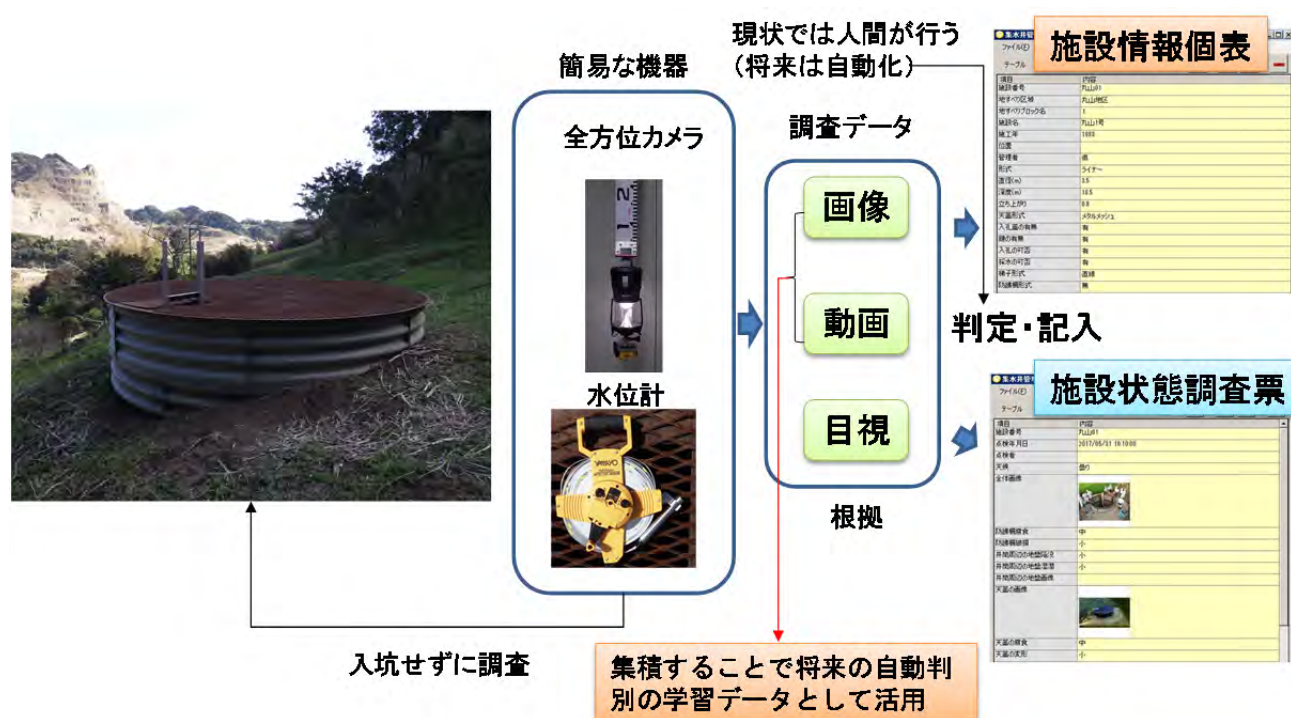
1. 6. 2 集水井の腐食度調査マニュアルの開発

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

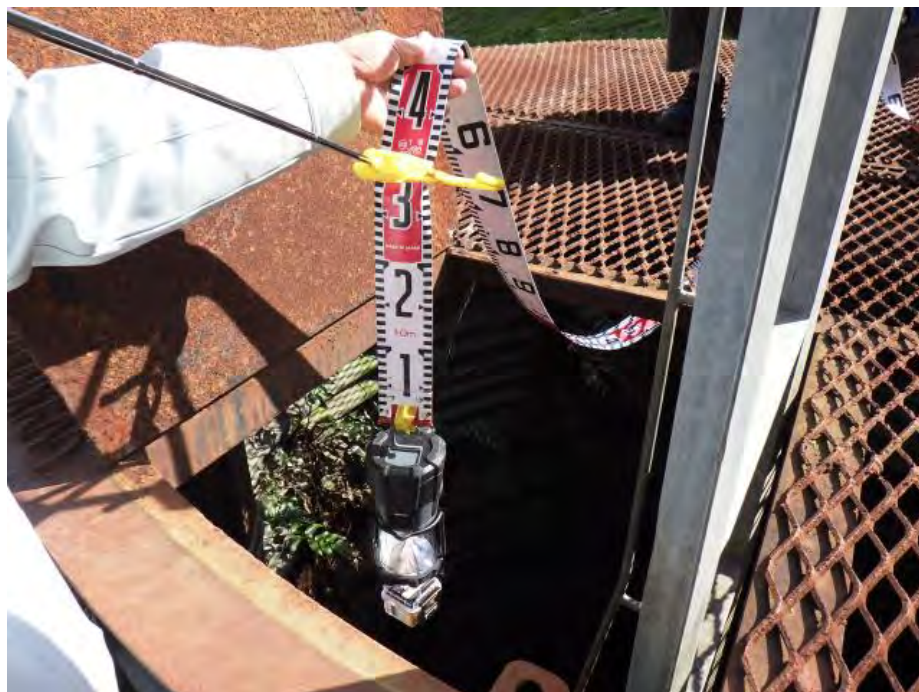
リボンロッドを集水井の内面に沿わせてたれ下げる.



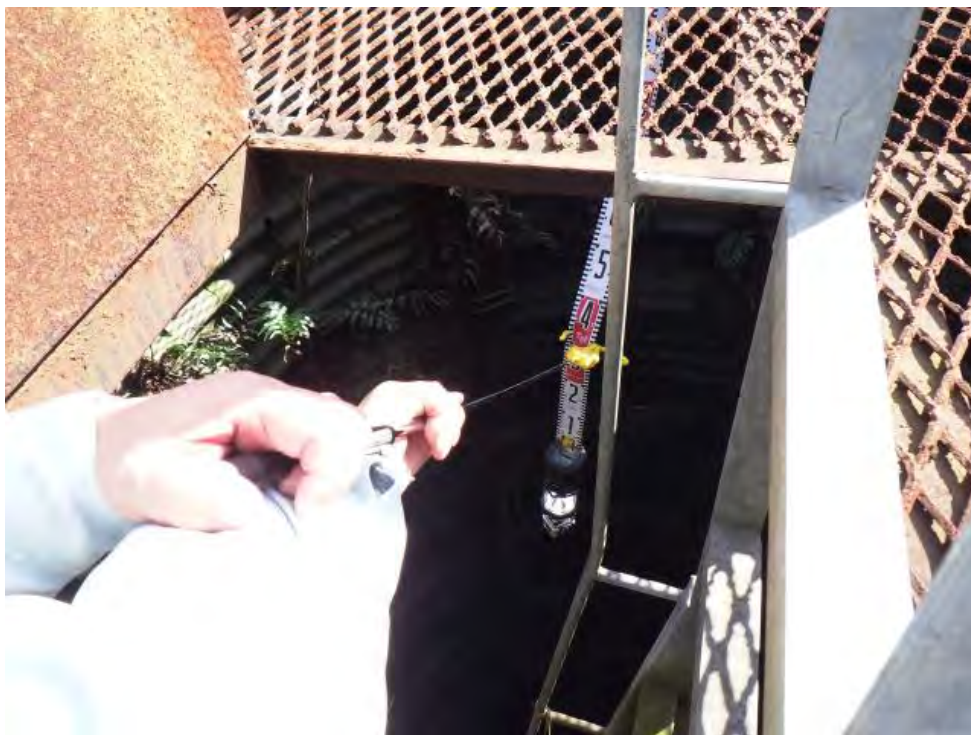
③内部調査用カメラの釣り込み：リボンロッドの先を集水井の蓋の間から差し込み入坑口から外に引っ張りだす。このとき、リボンロッドをたぐる引っ掛け棒があると便利.



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

投入と同様に引っ掛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

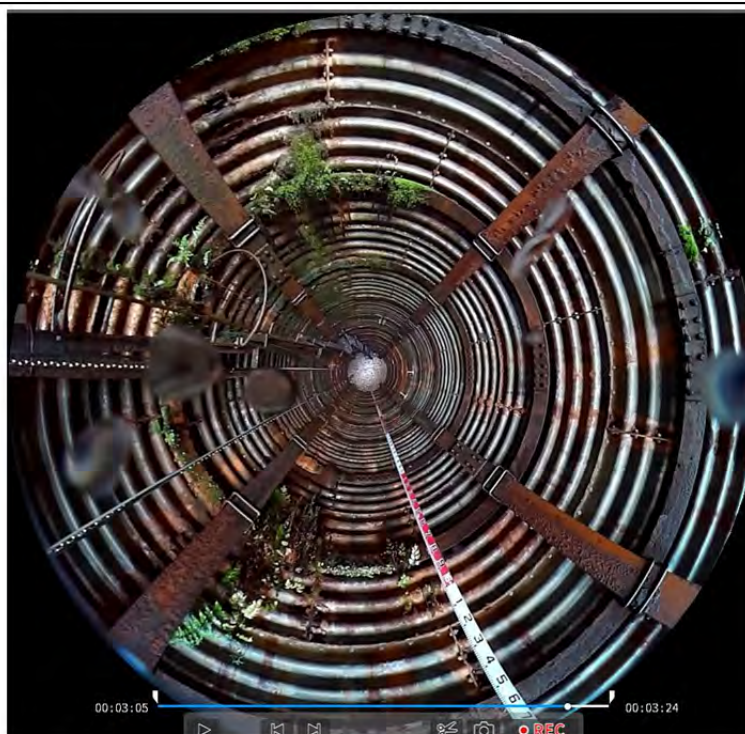


集水井の施設情報個表－1－（４） 画像

下部



植生（蓋から3m付近）



1. 6. 3 試設計による内巻管の構造計算基準の開発

内巻管に作用する外圧については、「地すべり防止技術指針及び同解説」の鋼構造集水井を参考とし、設計土圧は主働土圧として考えた。また、地すべり運動に伴い発生する偏土圧については、同解説では（通常）考慮しないこととなっており、施工後に変形が予想される場合はラテラルストラットやバーチカルスティフナーで補強することや、明確な偏土圧が予想される場合は別途考慮することになっている。そこで、偏土圧の考え方については過去の文献等を調査したが、統一された見解が無く、また考え方も整理されていないことから、偏土圧を明確な荷重として考慮する場合は、過剰設計にならないように地すべり活動の有無による判断が必要と考えられた。

このため、本施工対象の丸山 1 号集水井における外圧条件として次のように設定し、内巻管に作用する断面力の算出を行った。周辺の地すべり活動は停滞しているものと判断し主土圧を考慮した。偏土圧については、既に設置されているバーチカルスティフナーの本数から作用土圧を逆算し偏土圧とした。

内巻管の構造照査については、後述の 1.6.4 のフローリング内巻補強工法の強度試験より、 $\phi 1300\text{mm}$ の円環外圧試験によるフローリング内巻補強工法の耐荷能力評価を行った結果に基づき、鋼製リングを引張部材、充てん材を圧縮部材とした許容応力度法に基づく RC 断面照査により実施した。

尚、現場実証試験でのフローリング内巻補強工法の仕様は上記の検討により決定した。

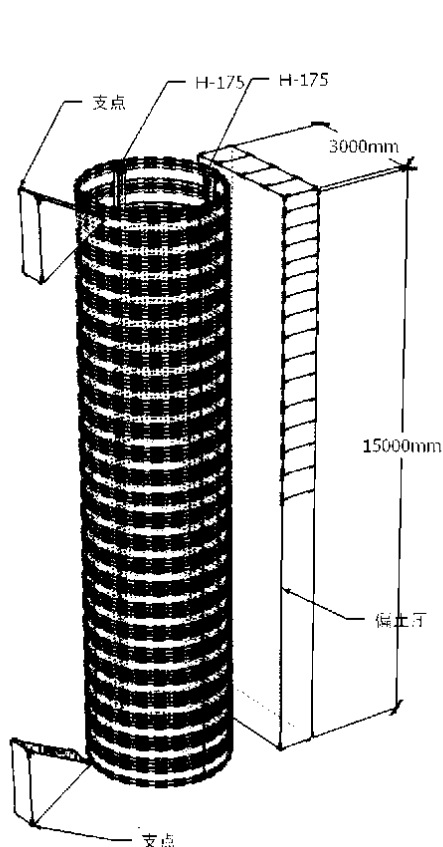


図 1-6-3-1 荷重概要図

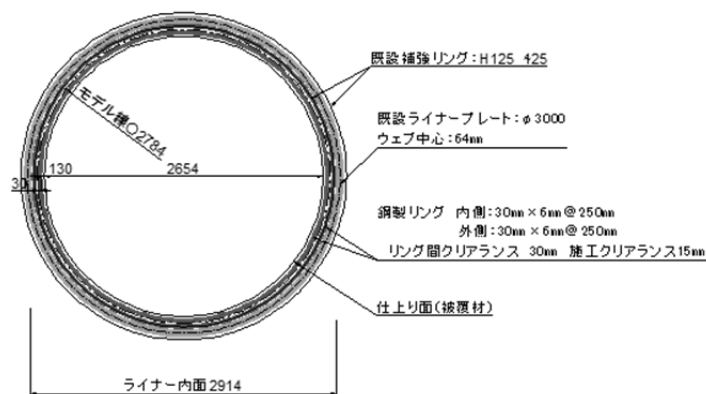


図 1-6-3-2 補強概略図

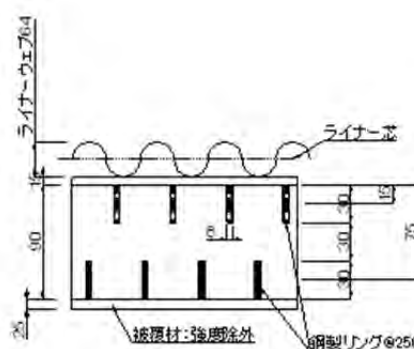


図 1-6-3-3 補強断面図

1. 6. 4 内巻管の構造部材強度試験による構造部材の選定（平成 27～28 年実施）

1) 円環外圧強度試験と梁曲げ載荷試験の検討項目

引張部材である鋼製リングは 4 分割して集水井内で組み立てる。このため、接合部が 4 か所あり、この部分が構造部材の弱点と想定した。平成 27 年度の検討時は接合部の重ね合わせ部を 5 本のボルトで結合し、 $\phi 1300\text{mm}$ の円環外圧強度試験を実施したが、この部分の剛性が高くなりすぎたため、接合部の境目に応力集中が発生し、局所的な破壊が生じた。平成 27 年度の円環外圧強度試験状況を図 1-6-4-1 に示す。

平成 28 年度検討時に接合部の重ね合わせ部を見直し、ボルト数を 2 本に減らして結合して円環外圧強度試験を実施した。平成 28 年度の円環外圧強度試験状況を図 1-6-4-2 に示す。



図 1-6-4-1 平成 27 年度円環外圧強度試験実施状況



図 1-6-4-2 平成 28 年度円環外圧強度試験実施状況

構造照査においては引張部材を丸鋼として計算している。当初、鋼製リングには凹凸があり、異形鉄筋のような付着力が期待できると想定し、 $W100 \times H150 \times L1500\text{mm}$ の梁試験体を使用し、梁曲げ載荷試験により確認を行った。併せて充てん材のコストダウンとして、使用している専用モルタルの配合を見直し、梁曲げ載荷試験による比較を実施し、鋼製リングの有効断面がどの部分であるか調べるために凹凸部分を一定にし、構造計算に用いる有効高さの幅を変化させて確認を行った。梁曲げ載荷試験状況を図 1-6-4-3 に示す。



図 1-6-4-3 梁曲げ載荷試験実施状況

2) 結果

円環外圧強度試験の結果、接合部を 2 本のボルト結合とした場合、図 1-6-4-4 に示すように供試体にはひび割れが分散して発生しており、局所的な破壊の発生は解消された。供試体は局所的な破壊に至らず、断面に均一なひび割れが発生する構造となることを確認した。図 1-6-4-4 に円環外圧強度試験ひび割れ発生状況を示す。(左図が平成 27 年度実施供試体、右図が平成 28 年度実施供試体)



図 1-6-4-4 円環外圧強度試験ひび割れ発生状況

梁の曲げ載荷試験においては鋼製リングの付着力が同一断面積の異形鉄筋と同程度あることを期待し、各種確認試験を実施したが、鋼製リング梁の耐力は異形鉄筋 D13 仕様の梁の耐力を上回ることとはなく、鋼製リング単体 (Case-A) における荷重変位曲線は $\phi 13$ の丸鋼の梁相当であることを確認した。すなわち、鋼製リング梁の耐力計算では、鋼製リングを同断面積の丸鋼相当と換算して RC 断面計算を行えば良いという結果を得た。図 1-6-4-5 に梁曲げ載荷試験結果を示す。

梁曲げ載荷試験 荷重変位曲線

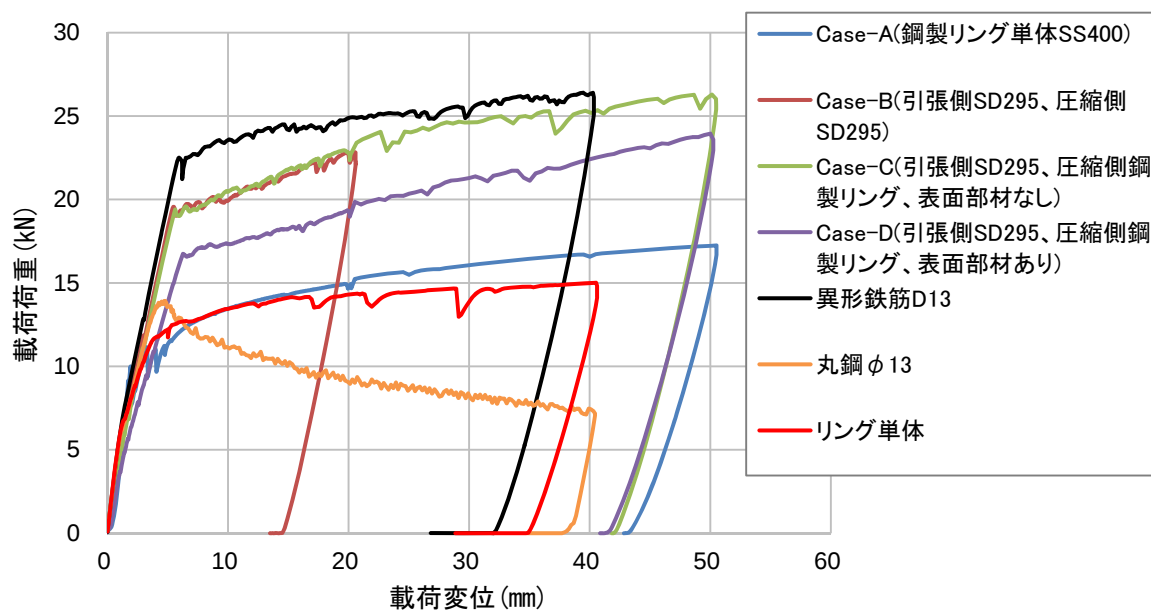


図 1-6-4-5 梁曲げ載荷試験結果

充てん材のコストダウンとして、使用している専用モルタルの配合を見直し、梁曲げ載荷試験による比較と鋼製リングの有効断面がどの部分であるか調べるために凹凸部分を変化させず一定にし、構造計算に用いる有効高さを変化させて、破壊強度が有効高さの幅に対応しているか確認を行った。図 1-6-4-6 に梁曲げ載荷試験結果を示す。

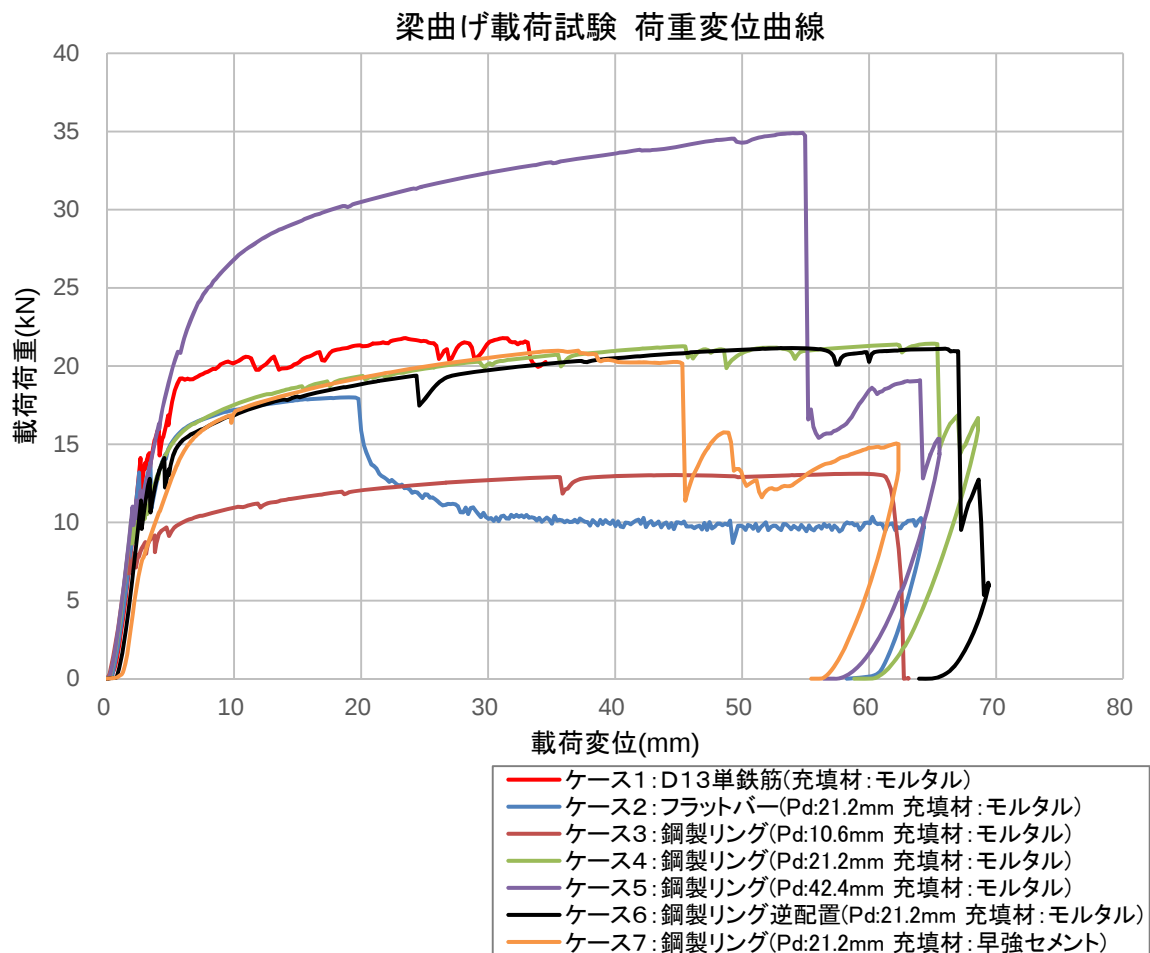


図 1-6-4-6 梁曲げ載荷試験結果

円環外圧強度試験では、円環の頂部と底部が内側圧縮、外側引張の曲げ破壊を示し、円環の側方は逆に外曲げ状態で破壊した。(図 1-6-4-7) 供試体は破壊に至るまで大きく変形しており、ひび割れも通常の鉄筋コンクリート構造と同様に分散して発生しており、脆性的な破壊は生じず、ねばり強い構造であることが示された。このように鋼製リングとセメント系充填材の複合構造においても鉄筋コンクリート構造と同じ破壊挙動となることが明らかになった。また、構造計算に用いる有効高さ(図 1-6-4-8)においては、有効高さの幅に対応している破壊強度であることが確認された。

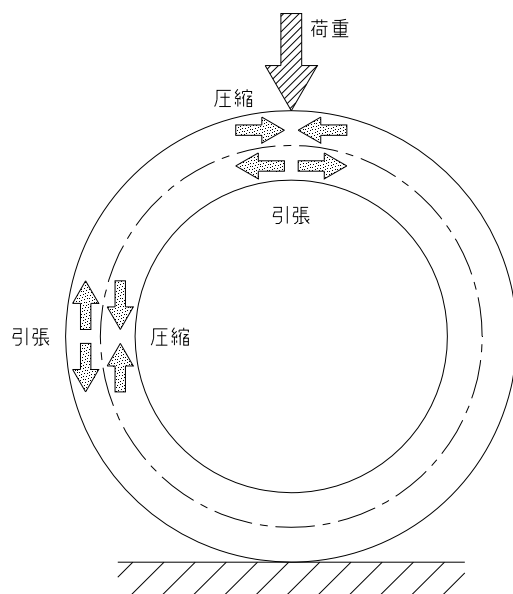


図 1-6-4-7 円環の破壊状態

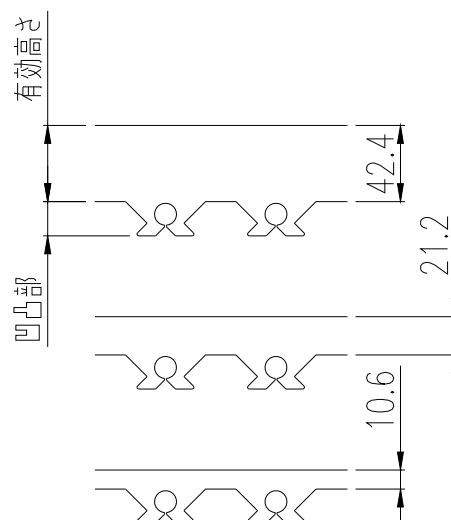


図 1-6-4-8 有効高さを変化させた鋼製リング

以上より、フローリング内巻補強工法はコンクリート構造とみなすことができ、RC 断面照査においては鋼製リングを丸鋼相当の引張部材、充てん材を圧縮部材として許容応力度法により対応できることを確認した。

専用モルタルの配合を見直して、同じ設計強度の早強コンクリートを梁曲げ載荷試験において確認した。(図 1-6-4-6 中ケース 7) 強度は同等であったが、鋼製リングと仕上がり内面部材のわずかな数 mm の隙間には充てんが十分ではなかったため再検討を要する。本研究開発では試験施工までに十分な時間がなかったことから、試験施工では従来の専用モルタルを使用した。材料のコストダウンとして今後の検討が必要である。

1. 6. 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

1) 背景

既存集水井は何らかの要因（地すべり外力、移動、施工）で変形、変位している場合が多い。これが、施工時変位か経年の外力に起因しているのか把握することは困難である。しかし、集水井内の腐食、昇降設備、集水・排水施設付近の変位が大きい場合や補強材の設置位置、変形状況の把握は補強工事を施工する際の材料加工にとって必要な情報となる。

2) 3D スキャナーによる形状測量

集水井は、測量対象が狭小高所となり従前の測量器具では測量が困難且つ正確にはできず、補強部材を製作するために mm 単位で測量が必要となる。今回は、平成 27 年度に外部形状を確認するための実施した 3D 測量で形状把握を行った。

3) 測量方法

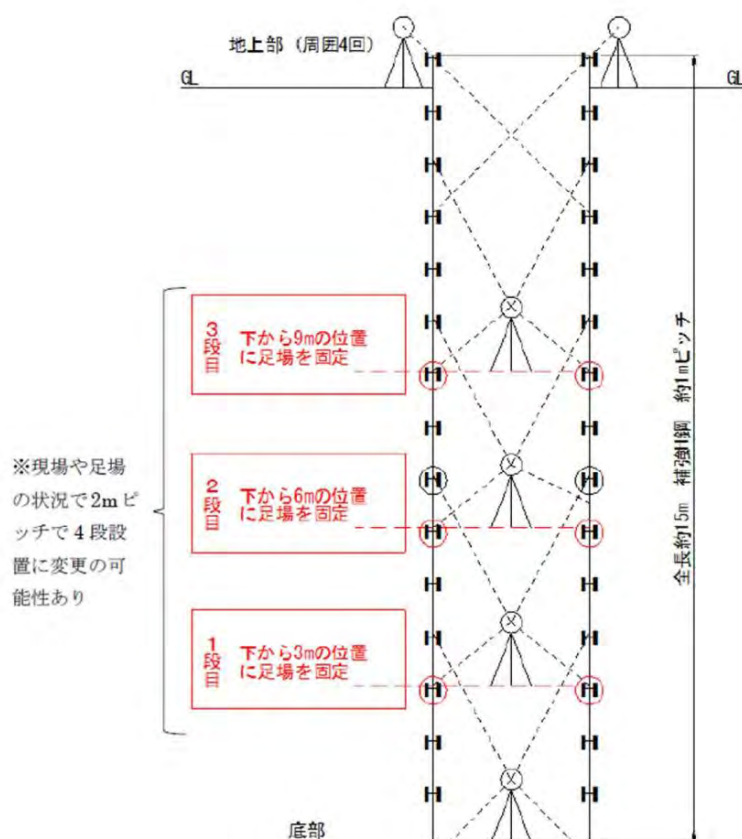


図 1-6-5-1 3D 測量作業計画図



図 1-6-5-2

3D スキャナー（ライカ社）

左図のように井筒内に足場を設置し最下段より無人で 3D スキャナーで測量した。



図 1-6-5-3

測量状況（リモート）

4) 測量結果

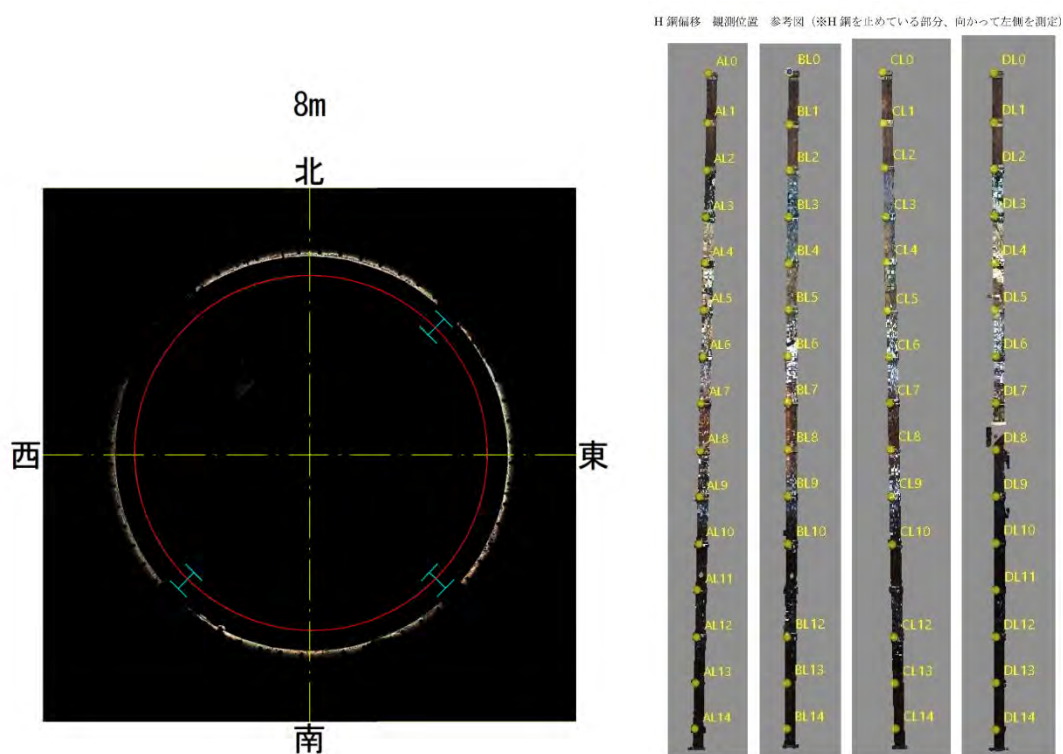


図 1-6-5-4 内径図面

図 1-6-5-5 偏心状況

集水井内の点群を基に任意の深さ別に内径図面を作成した。(図 1-6-5-4) また、縦方向では基準線を決めて点群データを追うことで集水井の偏心を確認した。(図 1-6-5-5) これらの点群データを使用して任意の部材間距離や変形を必要に応じて確認できることを確認した。

以上の 3D スキャナー測量によって補強施工の伴う設計計画、部材の切り出し、施工計画などを実施した。

1. 6. 6 実証施工集水井の選定(平成 27 年～28 年実施)

平成 27 年度に現場調査を実施し対象となる集水井を選定した。平成 28 年 8 月に丸山 1 号集水井のバーチカルスティフナーの固定金具を一部撤去した際のひずみ測定、光波測距、3D スキャナー測量により確認した。

1) ひずみ測定

ひずみゲージを補強リング 3 段目 (CH01) 及びバーチカルスティフナーの CH01 近傍 (CH03) などに取り付け、固定バンド撤去時のバーチカルスティフナーの挙動を確認した。引張側に $40\mu\text{m}$ のひずみが生じており、その他の箇所は $20\mu\text{m}$ のひずみを観測し、非常に微小なひずみ程度であった。図 1-6-6-1 に測定方法と挙動を示す。

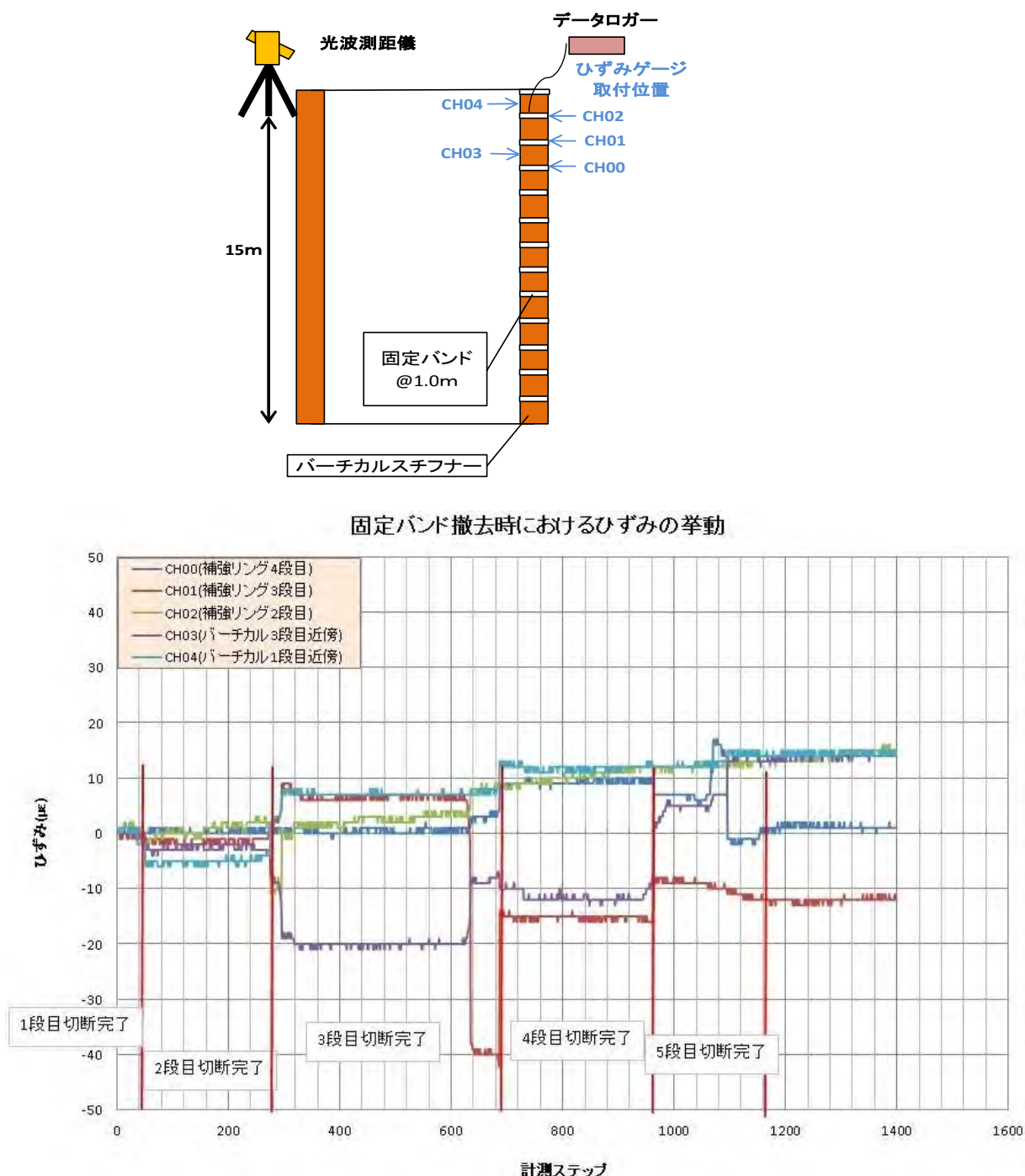


図 1-6-6-1 ひずみ測定方法と挙動

2) 光波測距測定

光波測距儀を地上に設置して、1 段目から 5 段目までの補強リング間にシートプリズムを貼付し距離を測定した。その結果、3 段目及び 4 段目の固定バンドを撤去した際の 2 ～3 段目までの距離が、4mm 短く測定された。その他の箇所は 0～2mm 程度の測定結果となり、測定誤差範囲内の微小な動きとなった。図 1-6-6-2 に測定状況と結果を示す。

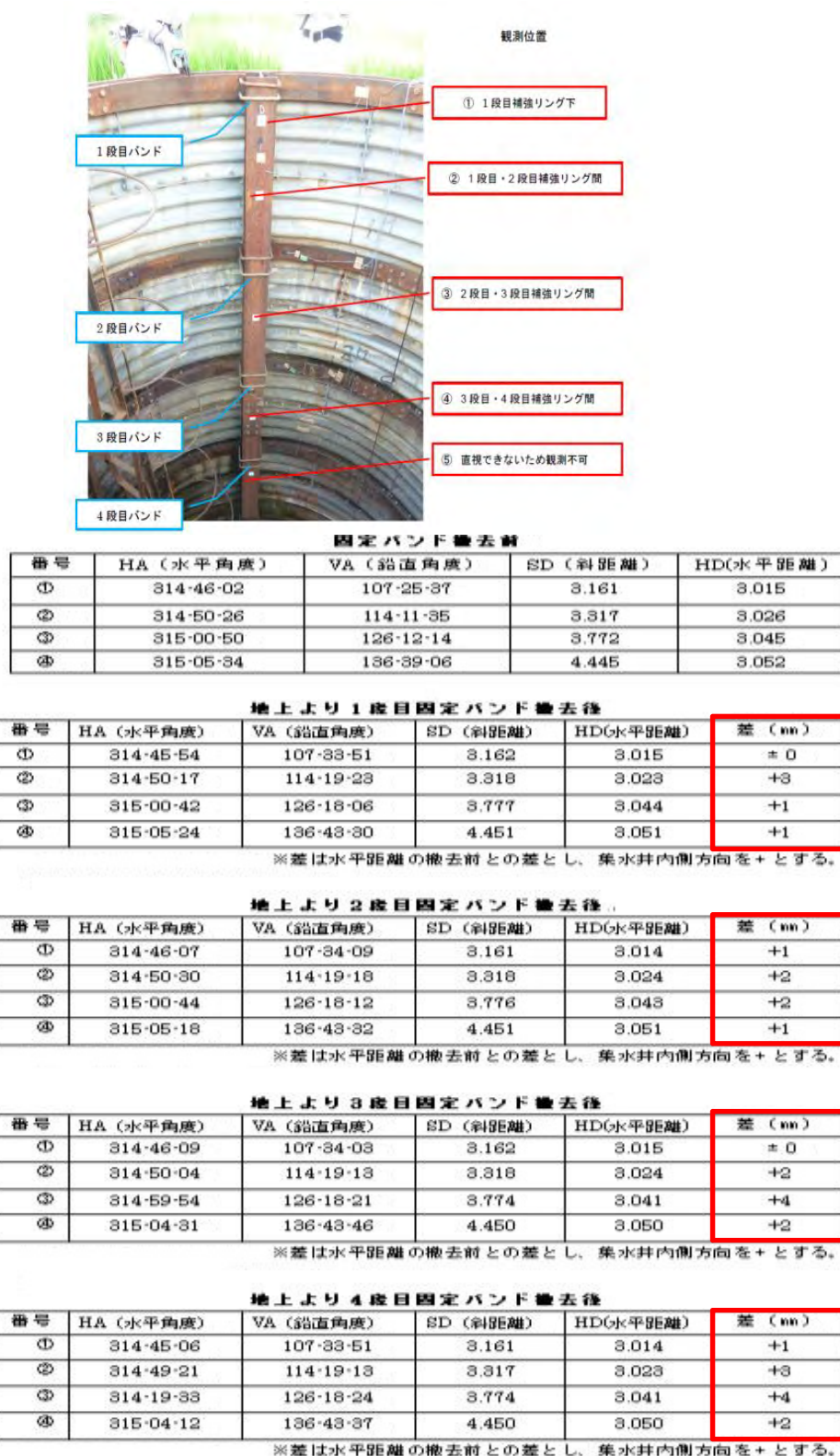
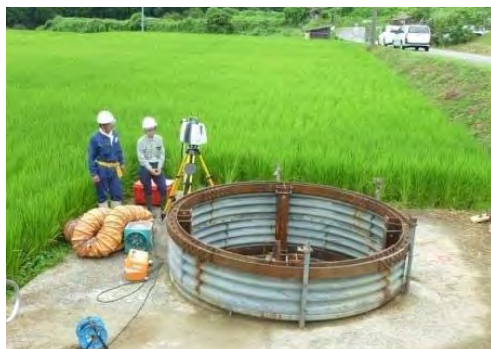


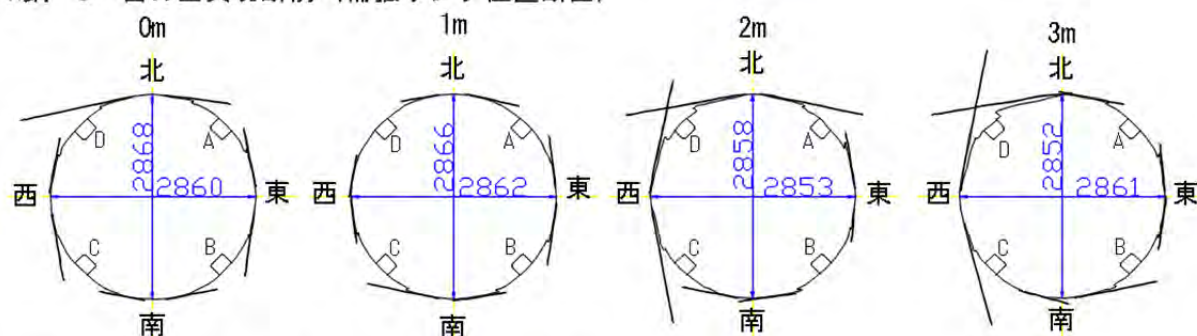
図 1-6-6-2 光波測距による測定状況と結果

3) 3D スキャナー測量

3D スキャナーを地上に設置して、3D スキャナーからの距離がバーチカルスティフナー固定バンドの撤去前・後で変化するかを調べた。地上より 0m・1m の断面では変化はなく、地上より 2m の断面で撤去前・後で北南方向 1mm、東西方向 2mm の変位、地上より 3m の位置で北南方向 1mm 東西方向 0mm と測量誤差範囲内の結果となった。図 1-6-6-3 に測量状況と結果を示す。



H鋼” D” 留め金具切断前（補強リング位置断面）



H鋼” D” 留め金具切断後（補強リング位置断面）

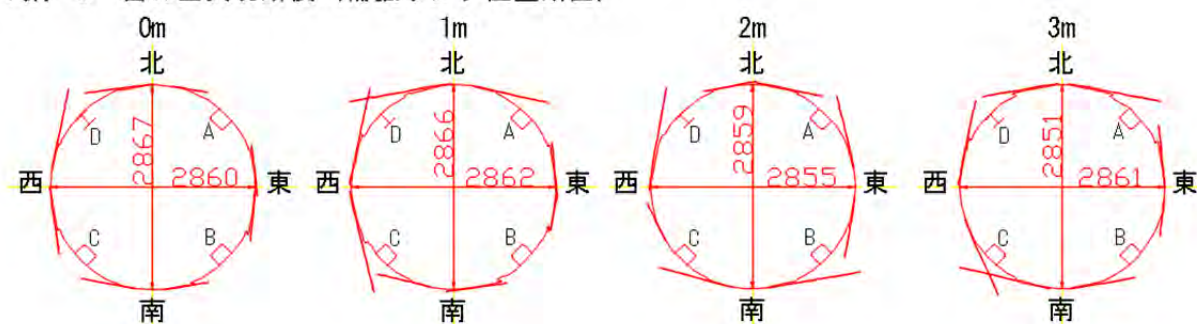


図 1-6-6-3 3D スキャナー測量状況と結果

1) ~3) の測定結果よりバーチカルスティフナーのひずみ量は最大で $40\mu\text{m}$ と微量であり、光波測量での変位は 1~4mm で大きな動きはなかった。また 3D スキャナーで測量したが、集水井全体の変位は発生していない。したがって撤去しても安全とみなし、バーチカルスティフナーの全撤去を行うこととした。

1. 6. 7 補修・補強設計施工ガイドラインの作成

試験施工結果に基づきガイドラインを作成する。また平成 29 年度 農業農村工学会大会（神奈川大会）に於いて集水井補修に関する企画セッションにて報告した。当事業の成果発表並びに、専門家の意見を踏まえてガイドラインを作成した。

集水井の補修・補強工法に関する
設計・施工・歩掛例

平成30年 3 月 31 日

新技術共同研究開発組合

1. 目次

1. 総則	4
1.1. 目 的	4
1.2. 適用の範囲と補強工法	4
1.3. 用語	5
2. 設 計	8
2.1. 集水井内巻コンクリートの設計	8
2.1.1. 設計荷重	9
2.1.2. 許容応力度及び許容耐力	12
2.1.3. かぶり	13
2.1.4. 土質条件	13
2.1.5. 円環状態での検討	13
2.1.6. 縦方向の検討	15
2.2. 図面	16
2.2.1. 鋼製リング 2 重	16
2.2.2. 鋼製リング 1 重	17
3. 規 格	18
3.1. 構成部材	18
4. 施 工	20
4.1. 施工前の安全性確認	20
4.1.1. ひずみ測定	20
4.1.2. 光波測距測定	21
4.2. 施工手順	22
4.2.1. 施工手順	22
4.2.2. 既設集水井測量工	23
4.2.3. 仮設工	24
4.2.4. 足場設置工	25
4.2.5. 集水井内面洗浄工	27
4.2.6. 前処理工	28
4.2.7. 鋼製リング組立工	29
4.2.8. かん合・表面部材組付工、足掛金物設置工	32
4.2.9. 裏込め充てん工	35
4.2.10. 上端部仕上げ工	37
4.2.11. 昇降設備設置工	38
4-2-11. 出来形測定	39

4.2.12. 片付け	40
4.3. 安全管理	41
4.3.1. 安全管理	41
5. 施工歩掛	42
5.1. フローリング内巻補強工法の施工歩掛	42
5.2. 適用範囲	42
5.2.1. 施工概要	42
5.2.2. ・使用材料	42
5.2.3. 施工歩掛	45
6. 鋼製集水井の構造について	57
6.1. 鋼製集水井の構造実態と外力の考え方	57
6.2. 鋼製集水井の実態調査	57
6.3. 鉄筋コンクリート内巻断面の設計について	60
6.3.1. 鉄筋コンクリート内巻断面作用する外力	60
6.3.2. ライナープレート集水井設計の基本的考え方	60
6.4. ライナープレート集水井の設計の流れ	62
6.5. 横断面の設計	62
6.6. 縦方向の設計	64
6.7. 丸山地区 1 号井における補修断面設計（例）	66
6.7.1. 設計条件	67
6.7.2. 水平方向の地盤反力係数	67
6.7.3. 内巻コンクリートの横方向の設計	67
6.7.4. 内巻コンクリートの縦方向の設計	69
6.7.5. 円筒形断面二次モーメント	70
7. 付属資料	74
7.1. 作業が容易な集水井に対する低コスト補修工法の検討	74
7.1.1. 耐腐食性塗装工	74
7.1.2. ライナープレート製の洗浄・塗装工	74
7.2. 被覆工によるライナープレートの長寿命化（情報提供：新潟大学）	76

1. 6. 8 フローリング内巻管補強工法の現場実証施工（平成 28 年度実施）

1) 目的

フローリング内巻補強工法は、腐食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であり、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、その間を高流動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。施工前の状況を図 1-6-8-1、施工後の状況を図 1-6-8-2 に示す。



図 1-6-8-1 施工前



図 1-6-8-2 施工後

2) 施工

(1) 施工フロー

フローリング内巻補強工法を施工する際の施工フロー図を図 1-6-8-3 に示す。

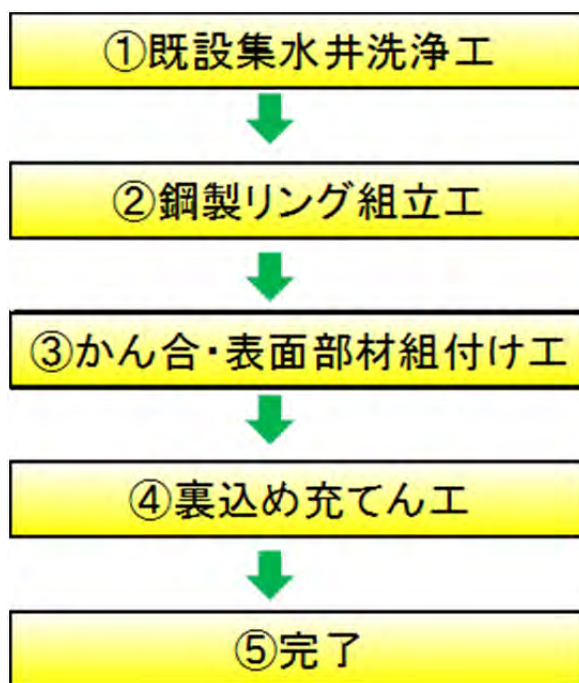


図 1-6-8-3 施工フロー図

(2) 施工手順

各手順の説明を以下に示す。

1.既設集水井洗浄工

既設集水井を高圧洗浄する。



図 1-6-8-4 高圧洗浄状況

2.鋼製リング組立工

内側・外側の鋼製リングをそれぞれ@250mm の間隔で組み立てる。



図 1-6-8-5 鋼製リング組み立て状況

3.かん合・表面部材組付工

組み立てた鋼製リングにかん合部材を組み付け、仕上り及び内型枠となる表面部材を組み付ける。

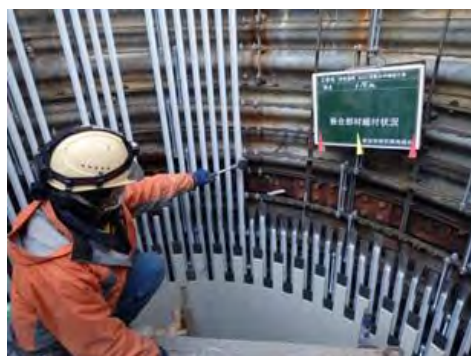


図 1-6-8-6 かん合・表面部材組み付け状況

4.裏込め充てん工

地上プラントで混練する。



図 1-6-8-7 混練状況（地上プラント）

充填材のフロー値を確認する。フロー値規格は $300 \pm 30\text{mm}$ とする。

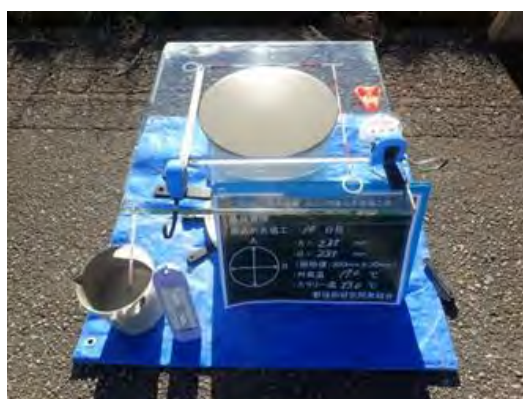


図 1-6-8-8 フロー値確認状況

ライナープレートと表面部材の間に高流動充てん材を充てんする。1日約 1.5m の打設高さで施工が可能であった。



図 1-6-8-9 充てん状況

3) 工程

施工は平成 28 年 11 月から 12 月に実施した。

4) 品質管理

品質管理項目は現場モルタルフロー試験およびモルタル圧縮強度試験（材齢 28 日）である。

5) 出来形検査

出来形検査は深さ方向に 5m 間隔で補強厚みを 4 か所、延長 4 か所を測定した。現場実証施工における規格を表 1-6-8-1 に示す。

表 1-6-8-1 出来形検査規格

項目	規格
補強厚み	設計値と実測値の差が 0mm 以上、100mm 以下
延長	設計値と実測値の差が 0mm 以上、100mm 以下

厚み測定の結果を表 4-8-2、延長測定結果を表 4-8-4 の竣工時欄に示す。

表 1-6-8-2 補強厚み測定結果

(mm)

測定位置	厚み①	厚み②	厚み③	厚み④	平均	設計値	差
1.0m	150	155	155	150	152	130	+22
7.0m	150	150	160	150	152	130	+22
14.0m	140	140	150	160	147	130	+17

6) フローリング内巻補強工法追跡調査

現場実証施工実施 1 年後の平成 29 年 12 月に対象集水井の追跡調査を行った。内径測定・延長測定を行い、1 年前の竣工時と比較したところ大きな変異は見られなかった。また目視にて現況を確認し異常のないことを確認した。測定結果を表 1-6-8-3、4 に測定位置および状況を図 1-6-8-10～12 に示す。

表 1-6-8-3 内径測定結果

(mm)

測定位置	X 方向	Y 方向	平均値	竣工時	竣工時との差	計画値
1.0m	2,648	2,650	2,649	2,649	±0	2,654
7.0m	2,652	2,643	2,647	2,648	-1	2,654
14.0m	2,648	2,648	2,648	2,648	±0	2,654

表 1-6-8-4 延長測定結果

(mm)

測定位置	実測値	竣工時	竣工時との差	計画値
H1	14,600	14,620	-20	14,580
H2	14,640	14,630	-10	14,580
H3	14,580	14,580	±0	14,580
H4	14,560	14,580	-20	14,580

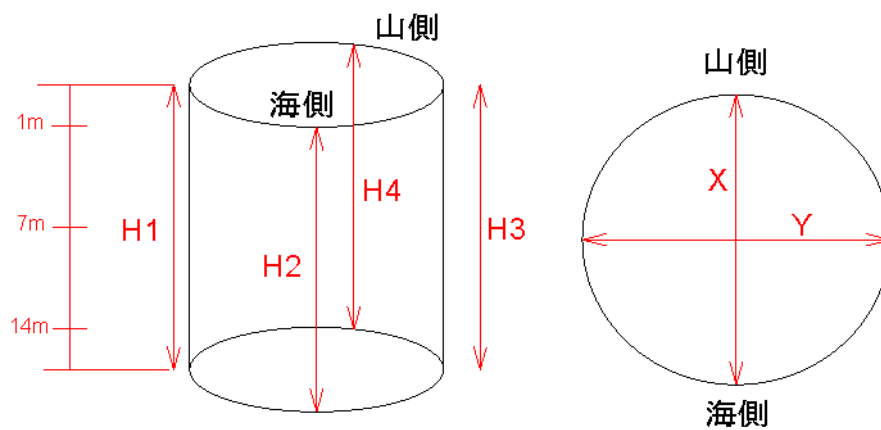


図 1-6-8-10 測定位置



図 1-6-8-11 施工後 1 年の状況

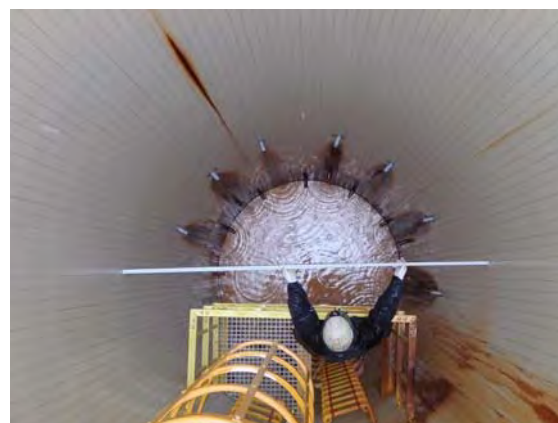


図 1-6-8-12 測定状況

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

1) 集水井の施工環境及び健全度調査手法の開発

機能保全の手引きにおける日常点検、概査、詳細調査に基づいて現場で安全かつ簡単に概査と詳細調査の間のレベルにおいて機能診断を行い、補修・補強の選択が行える評価手法を開発した。また補強・補修の際に参考となる現場周辺の環境モニタリングとして、地すべり地帯の代表的な集水井において長期にわたる無人観測を実施して、集水井内の水質、湿度、鋼材の腐食度を調査することも必要であり、調査法の一部として整理した。

2) 作業困難集水井に対する補強工法の開発

(1) 設計方法の確立

新設の鋼製集水井の構造計算は静止土圧を外圧としており、この外圧に耐えうるようにライナーの厚みと補強リングの強度を決定する方法である。一方既設集水井内にはバーチカルスティフナー、ラテラルストラットが設置されている場合もあり、補強工法として設計する場合においては既設の構造と同程度の強度を確保する必要があった。従来は静止土圧に加えて、バーチカルスティフナーが分担する作用荷重を偏土圧として考慮することで構造計算を行う方法を提案した。

(2) 構造体の確認

本事業で開発する補強工法は、下水道の更生工法として実績のあるフローリング工法が基礎である。地すべり地帯では、静止土圧に加え偏土圧が作用すると考えられるため集水井の構造として要求機能を満足しているか確認する必要があった。 $\phi 1300\text{mm}$ の円環供試体 3 体の外圧強度試験を実施して破壊モードを解明した。また要素試験として梁供試体 20 体の梁曲げ載荷試験を実施して、構造部材の機能を確認した。

(3) 施工方法の確立

安全作業を行うためには、外部からの調査が好ましい。本事業では 3D スキャナーを用いて集水井内の測量を行い、設計のためのデータを採取した。この方法により、施工後の出来形確認にも応用できることを確認した。

(4) 安全施工の確認

集水井内にはバーチカルスティフナーが設置しているため、施工前に撤去する必要があった。撤去方法を検討するため、バーチカルスティフナー固定バンドを切断しながら、鋼材に発生するひずみ、光波測距、3D スキャナー、目視で詳細な変状観測を行った。この結果固定金具を切断しても変状が認められないことが確認できたので、施工前にすべてのバーチカルスティフナーを撤去して安全に施工することができた。これらも施工における留意事項としてマニュアルには記載して整理した。

(5) 実証施工

本工法は型枠支保工が不要なため、狭い空間の集水井内でも安全に作業を行うことができる。そのため内型枠である表面部材に負担がかからないようにモルタル充填量を

調整する必要がある。このため事前にモルタル充てん高さの確認を行い、1.5m 打ちあがり高さで管理することにした。このため全長 15m に対して 15 サイクルの工程で施工を行い、全行程は 32 日で完了した。

(6) ガイドラインとしてのまとめ

本事業の課題である集水井の施工環境及び健全度調査手法の開発については「集水井の調査・診断マニュアル」に、作業困難集水井に対する補強工法の開発については「集水井の補修・補強工法に関する設計・施工・歩掛（例）」としてまとめた。

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

既存工法の資料を収集してまとめた。

2. 2 目標の達成度

2. 2. 1 成果から得られる効果

集水井の機能診断に基づき、その性能低下に応じた補修・補強を行うための基礎資料を作成した。また、広い範囲の性能低下に対応可能な内巻補強工法の設計、施工方法を開発するとともにその設計・施工マニュアルを作成した。本研究開発で開発した内巻補強工法の特徴はバーチカルスティフナーやラテラルストラットがあっても最小限の補強厚みで集水井の内巻きを施工することができる点にある。当工法を行うことで集水井の機能が回復して、集水井本来の目的である集水・排水が安全に確保することができる。また当工法で採用した点検梯子は合性樹脂製で錆びないため、施設管理者は安心して使用することができる。



図 2-2-1-1 フローリング内巻補強工法

2. 2. 2 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

「地すべり防止施設の機能保全の手引き ～抑制工編～」巻末資料において集水井本体工の補強工法として直径 3m のライナープレート集水井に直径 2.5m のライナープレートで内巻施工の事例がある。施工例は補強リング、バーチカルスティフナーがなく、施工において比較的クリアランスを大きく取ることができる施工事例であった。当工法では補強リング、バーチカルスティフナーがあり条件が大きく異なる。そこで巻末資料施工事例として掲載されている、集水井を埋戻し、再施工して集水および排水ボーリングを実施する同位置同径工法と比較する。この工法では集水ボーリングおよび排水ボーリング、昇降設備も新たに作り直す必要があると記載されているため、標準的な集水ボーリング、排水ボーリングの延長を 50m とした。集水ボーリングの本数は、直径 3.5m では 5～10 本と考えられるので 7 本施工とした。

2) 従来技術に対する優位性

新技術が適用されるのは 30 年以上前に施工された、老朽化した集水井が対象となる。本事業においても既設直径 3m の集水井内に補強工法を実施した。当時は直径 3m の集水井が主流であるが、近年はボーリングマシンの大型化に伴い、集水井の直径が 3.5m 以上に変遷している。現在入手できるのが直径 3.5m の集水井の施工費用であるため、既設 3.5m の集水井内にフローリング内巻補強工法を実施した場合のコストを示す。表 2-2-2-1 に施工条件を示す。

表 2-2-2-1 施工条件

項目	従来技術	新技術
直径	3.5m	3.5m
深さ	15m	15m
埋戻し	砂（バックホー使用）	—

(1) 経済性

新技術では従来技術に比べ材料費が 2.6 倍になるが、集水管、排水管をそのまま利用できる。従来工法で新規に集水・排水ボーリングを行うと、従来技術のトータルコストの 91%となる。

表 2-2-2-2 従来技術との比較（施工費）（円）

工種	従来技術		新技術	
	m 当たり	小計	m 当たり	小計
埋戻し工				
144m ³	48,000	720,000	0	0
本体工				
施工費	600,000	9,000,000	707,000	10,605,000
材料費	380,000	5,700,000	1,151,000	17,265,000
集水ボーリング工				
洗浄工 50m×14 本=700m			445	311,500
上段 50m×7=350m	20,000	7,000,000	0	0
下段 50m×7=350m	20,000	7,000,000	0	0
排水ボーリング工				
50m	30,000	1,500,000	0	0
合計		30,920,000		28,181,500

(2) 工程

従来技術が埋戻し工と本体工で 38 日かかるのに対して、新技術では 32 日である。さらに従来技術では集水・排水ボーリングに 60 日かかるためトータルでは従来技術の 32%となる。

表 2-2-2-3 従来技術との比較（施工日数）

工種	従来技術 日	新技術 日
埋戻し工		
144m ³	2	0
本体工	36	31
集水ボーリング工		
洗浄工		1
上段 50m×7=280m	27	0
下段 50m×7=280m	27	0
排水ボーリング工		
50m	6	0
合計	98	32

その他の項目は以下の通り。

表 2-2-2-4 従来技術との比較（その他）

	従来技術	新技術
(3) 品質	鋼製のため錆びる可能性がある。	硬質塩化ビニル製で品質は向上する。 点検梯子も合成樹脂を採用しており、錆びる可能性はない。
(4) 安全性	ラテラルストラットがある場合は埋戻し後再掘削する場合、安全管理の基準が必要になる。	ラテラルストラットを撤去しなくても施工が可能である。
(5) 施工性		本体のみの施工日数は従来工法の 86% で向上する。
(6) 周辺環境への影響	特になし	特になし

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲

当工法の特徴は、すべての部材が人力で運搬できることから、特に山間部などの交通の不便な場所においては、大規模な仮設道路設置などが不要である。

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

地すべり等防止法で示される施工管理者（各都道府県）第 2 章、第 7 条による。

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

- 1) 本事業成果における「集水井の調査・診断マニュアル」並びに「集水井の補修・補強工法に関する設計・施工・歩掛（例）」のホームページ上での配布
- 2) 農業農村工学・地すべり学会等の各学会発表または、学会誌への投稿
- 3) 当事業での新技術研究開発組合参加企業各々の PR 活動

以上によって、「インフラ長寿命化計画（行動計画）」の実施に伴う各都道府県への広報活動を行うとともに、施工実績を積む。

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

事業の最終目標とした「集水井の調査・診断マニュアル」、「集水井の補修・補強工法に関する設計・施工・歩掛（例）」を当事業の新技術組合各社のホームページに掲載する。また、農林水産省・官民連携新技術研究開発事業のホームページや ARIC のデータベースの掲載を活用し、各都道府県地すべり施設維持管理担当者が必要とした場合には速やかに入手・参考とすることが出来るように整備する。官民連携新技術研究開発事業参加企業担当者がこれをフォローする。

1) 集水井の調査・診断マニュアル

「地すべり防止施設の機能保全の手引き ～統合版～」(平成 29 年 3 月 農林水産省)、「斜面对策工維持管理実施要領」(一般社団法人 斜面防災対策技術協会)などの調査・診断の手引きが発表されているが、専門的で一般管理者の個人評価差が生じやすく客観的機能診断が求めにくいことから、熟練技術者の診断によらず、一般管理者が行っても平坦な診断ができるような点検法・検査法・診断表を提示することを目的とする。

2) 「集水井の補修・補強工法に関する設計・施工・歩掛（例）」

「地すべり防止施設の機能保全の手引き～統合版～」には集水井の補修・補強工法（機能回復工事例）として、

- (1) ライナーin ライナー工法 (φ3m → φ2.5m、充てん材＝碎石)
- (2) ライナーin 重防食ライナー (φ3.5m → φ3m、充てん材＝栗石)
- (3) 同位置同径再掘削工事 (ライナー → ライナー)

以上の工法が提案されているが、いずれも同年経年した時には現状と同じ問題が発生することが想定される。その場合の集排水機能を考慮すれば安全な状態にして放棄することも考慮する必要があるが、本事業では、「ライナーin コンクリート内巻」を原則として残存するライナーの構造耐力は考慮しないものとして工法の提案を行った。また、本工法の設計・施工・施工歩掛を提示することでライフサイクルコスト（以下 LCC）を考慮したこの機能回復の比較検討を可能とした。

1. LCC 試算

「ライナープレート集水井の腐食調査事例から考える集水井の維持管理」（榊興和など、日本地すべり学会誌）から

- ①ライナープレート集水井の板厚の設計において腐食代の概念は採用されていない
- ②集水井としての工法が確立した昭和 40 年以前から亜鉛メッキ処理されていた記録もあるが、確認はとれない。現在はメッキ処理が主流
- ③補強材のメッキ処理は平成 5 年以降である
- ④当技術報告書集水井では

腐食速度＝腐食厚/経過年数

$$=0.057\text{mm/y} \quad (\text{深度 } 2.0\text{m})$$

$$=0.059\text{mm/y} \quad (\text{深度 } 3.0\text{m})$$

- ⑤一般鋼矢板水路水面付近

腐食速度＝0.052mm/y

- ⑥昭和 40 年以降の亜鉛メッキ（両面 900g/m²）のもので耐用年数は 15～18 年などの報告があり、ライナープレート製集水井の耐用年数を 20 年として LCC を算定する。

2. 鋼製集水井の LCC の概念

鋼製集水井の LCC の概念を図 3-3-1 に示す。

集水井の LCC		建設	共用		内巻補強
地すべり地の集水機能		↑	→	↑	↑
集水井機能	管理 調査・計画	建設	管理→ 調査→	パイプ 洗浄→	パイプ洗浄 本体内巻
排水機能		良好	不良	回復	不良→回復
管理者の安全 ／費用		建設費	維持管理費→ 調査費→	洗浄費	
第三者の安全 ／費用	防護柵、天 蓋の管理	建設費	維持管理 ・点検費→		

図 3-3-1 鋼製集水井の LCC の概念

ここで、2.2.2 で従来技術として示した同位置同径再掘削工事と本研究のフローリング内巻補強工法の LCC 比較を行う。

3. LCC 比較

同位置同径再掘削工事とフローリング内巻補強工法の LCC 比較を以下の条件にて行い、表 3-3-1 に LCC 比較を示す。

- ①同位置同径再掘削工法は実施後もライナープレート製となるので耐用年数は 20 年とする。
- ②フローリング内巻補強工法は下水道基準では耐用年数を 50 年として考慮
- ③社会的割引率は考慮しない。
- ④補強工事にかかる経費のみの LCC 比較
- ⑤補強後の維持管理費用は同等とする。(集水井本体に関する維持管理費)

表 3-3-1 LCC 比較 (円)

工種	従来技術 (同位置同径)		新技術	
深さ = 15m	m 当たり	計	m 当たり	計
埋戻し工	48,000	720,000		
掘削・ライナー組立工	600,000	9,000,000	707,000	10,605,000
ライナー材料費	380,000	5,700,000	1,151,000	17,265,000
小計		15,420,000		27,870,000
洗浄工 50m×14 本=700m				311,500
集水ボーリング 50m×7=350m	20,000	7,000,000		
集水ボーリング 50m×7=350m	20,000	7,000,000		
排水ボーリング 50m	30,000	1,500,000		
合計		30,920,000		28,181,500
LCC 比較				
(本体工のみ)	建設費/年	更新総費用	建設費/年	更新総費用
20 年	771,000	15,420,000		
40 年	771,000	30,840,000		
50 年	771,000	38,550,000	563,630	28,181,500
LCC 比較				
(ボーリング含む)				
20 年	1,546,000	30,920,000		
40 年	1,546,000	61,840,000		
50 年	1,546,000	77,300,000	563,630	28,181,500

以上の表より

耐用年数 50 年として、年間に掛かる更新総費用は、集水井本体工のみの LCC 比較では、年間 $(563,630/771,000) \times 100 \approx 73\%$ となり、集・排水ボーリング工を含めると $(563,630/1,546,000) \times 100 = 36\%$ となる。

また、50 年後の更新に掛かる総投資金額は、

(集水井本体のみ)

$$28,181,500 - 38,550,000 = -10,368,500$$

(集水・排水ボーリング含む)

$$28,181,500 - 77,300,000 = -49,118,500$$

となり、新技術のほうが安くなる。

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

現状の工法では特になし。

4 研究総括者による自己評価

審査の ポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価 の理由 ^{注3}
目標の 達成度	・ 効果 (従来技術に対する優位性)	・ 同位置同径工法 に対する工程の短縮	Ⓐ: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・ 本体工で 86%
	・ 信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・ 耐久性の向上 ・ 工事の安全性	Ⓐ: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・ 鋼製の耐用 年数20年に対しコンクリートは50年で 2.5倍 ・ 集水井内支保工を残置したまま施工が可能
	・ 適用範囲・適用 条件等	・ 山間部での適用 ・ 既存集水ボーリングを活かすことができる	Ⓐ: 広範囲に適用 B: 概ね妥当 C: 限定的	・ 資材運搬は 人力も可能 ・ 管口処理で 対応可能
普及の 可能性	・ 想定される利用者への普及啓発の方法	・ ARICのNNTDに登録(事業終了後)	Ⓐ: 十分な利用が見込まれる B: 概ね妥当 C: 限定的	・ 技術情報が 充実している
	・ 利用者に対するサポート体制 (設計・積算・施工等の参考資料、相談窓口等)	・ 土木工事地すべり防止施設に登録	Ⓐ: 十分に整備されている B: 概ね妥当 C: 改善が必要	・ 同上
総合 コメント ^{注4}	3年間という時間的制約の中で、集水井の「フローリング内巻補強工法」の実施工を実施できたことは、集水井の維持管理工法の選択肢が一つ増えたことになる。 集水井内の腐食環境を考慮すると鋼材よりもコンクリートのほうが耐用年数は長い。今後は、集水井補強工法としての完成度を高め、集水井の付帯安全施設についての部材提案も含め、工法の改良が必要となる。			

注1) 成果報告書に記載の研究開発目標を記載する。

注2) 評価結果欄は、A・B・Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3

段階で記入（○付け）する。

注 3）自己評価の理由を記載する。

注 4）総合的なコメントを記載する。

5 今後の課題及び改善方針

本研究開発で開発したフローリング内巻補強工法および集水井の機能診断方法に関する今後の課題と改善方針について以下に示す。

1) 既設集水井の設計手法の明確化

ライナープレート製集水井へのバーチカルスティフナー、ラテラルストラット等の補強部材の設計法については不明確な点が多く経験的な背景に基づく部分も多い。既設集水井の補修・補強を安全かつ効率的に行うためには、対象とする集水井の設計思想・方法を理解することが必要不可欠であり、現在の設計手法を整理するとともに、経験的な部分を順次高度化する必要がある。

特に、集水井に作用する偏土圧については不明な点が多く、今後もデータの収集と設計値の検討が必要である。

2) 新工法の高度化

今回の実証試験から、フローリング内巻補強工法は 1 日 1.5m の立ち上がり施工が可能であり、内部が複雑な集水井に対しても高い施工性が得られることがわかった。しかし、付帯する細部工事（集水・排水管口の手当、ウィープホールの設置、湧水地点の補修等）に関しては予想外の施工の困難さと時間がかかった。付帯設備、環境条件は個々の集水井により大きく異なることが考えられるため、今後は様々な条件に対応した施工方法の確立が必要と考える。

3) 新工法の低コスト化

新技術の低コスト化を行うために以下の検討、改良が必要と考える。

(1) 既設集水井の残存耐力を考慮した断面設計

既設集水井の残存耐力を考慮することにより、フローリング内巻補強工法の補強厚みと鋼製リングの使用量を減少させることが可能と考える。これらの鋼製材料を減少させることにより低コスト化が可能と考える。

(2) リフト高を大きくする

現状のリフト高は 1.5m であるが、これをより高くすることにより施工日数およびコストを減少させることが可能である。

4) 点検用梯子の改良

本文では述べなかったが、点検用梯子の施工は最も困難であり、時間も費やされた。本体施工ではないが、点検用梯子の改良が必要と考える。

5) 経済性の改善

従来技術との比較において集水ボーリングを考慮しない場合、費用は 1,542 万円で新技

術は 2,786 万円になる。コストだけを考えた場合 45%コストダウンが必要になる。そこで低コスト化の各項目を実施した場合の試算を表-5-1 に行った。

表-5-1 コストダウンした場合の試算

項目	C/D(%)	全体に占める割合(%)	備考
残存耐力を考慮した断面設計	24	24	断面を 54%削減
モルタルの改良	50	8.5	改良した場合施工性に難がある
リフト高改善	5	0.2	
点検梯子見直し	8.6	4.3	従来のらせん式を使用すれば錆びる問題がある
合計		37	

コストダウン 45%の目標に対して 37%まで可能と考えるが、施工事例を増やしながらか検証する必要がある。特にモルタルの改良の場合施工性の確認は可能であるが、品質の確認においては長期間の暴露試験が必要であるので徐々に改善することが望ましい。一方新技術はすべての材料を重機なしで運搬することができるので、狭隘地において材料運搬が困難な場合の仮設費用を大幅に削減することができる。施工費用については今後様々な条件下で施工して検証する必要がある。

6) 「調査診断マニュアル」「設計・施工・歩掛（例）」の改良・改善

「調査診断マニュアル」については、全方位カメラを用いた調査で、従来のカメラつりさげ調査にくらべ鮮明な画像を得ることがわかってきた。調査事例を増やすことでマニュアルを充実させることができると考えられるので、新たな情報が得られた場合更新を行う。また「設計・施工・歩掛（例）」においてもコストダウンの検証を行い改善が見られた場合更新する。

7) 施工時の安全対策について

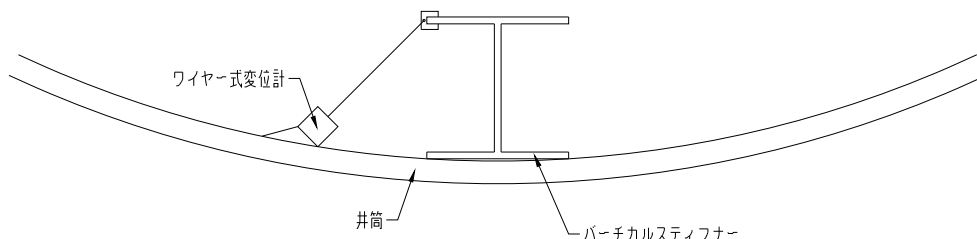
バーチカルスティフナー撤去時の安全対策について次の 3 つを提案する。

バーチカルスティフナー撤去時の安全対策（案）

①ワイヤー式変位計の使用

井筒とバーチカルスティフナーにマグネット等を使用してワイヤー式変位計を設置する。ワイヤー式変位計のワイヤーを有効長さの半分まで引き出し、正負方向の変位に追従できる状態で設置する。

異常な変位が測定された場合、警告灯や警報が発動するように設定しておき、非常時に退避できるようにする。



ワイヤー式変位計の使用例（イメージ）

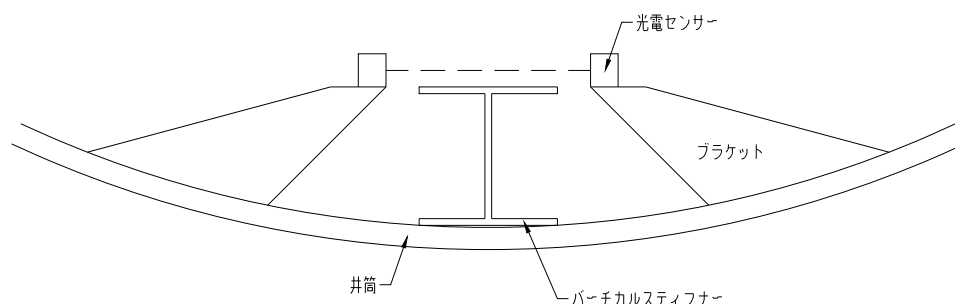
課題：

- ・変位量のしきい値を設定する必要がある。
- ・データロガー等の計測機器から警告灯や警報を発動させるプログラムが必要である。

②光電センサーの使用

バーチカルスティフナー両端の井筒よりブラケット等を使用して光電センサーを設置する。異常な変位が現れた場合、バーチカルスティフナーが光電センサーのレーザー光に触れる。

この異常を検知させて、警告灯や警報を発動し、非常時に退避できるようにする。



光電センサーの使用例（イメージ）

課題：

- ・変位時、レーザー光に触れるまでの離隔を設定する必要がある。
- ・バーチカルスティフナーより内側に設置する必要がある、スペースを要する。

③機械的な安全策

撤去されるバーチカルスティフナーを地上よりクレーンや三脚に設置したチェンブロック等で吊り上げ、異常な変位を抑制する。



吊り上げ策の例（長谷川工業株式会社 HP より）