

研究成果報告書

研究課題名	農業用パイプラインの効率的な機能診断技術の開発
研究開発組合代表者名	積水化学工業株式会社

1. 研究目的

農業水利施設の適切な機能保全とライフサイクルコストの低減を図る、「ストックマネジメント」の取り組みにあたり、適切かつ効率的に対策の実施時期、工法内容等を検討するためには、施設の特性に応じた調査・診断技術の向上が必要である。

農業用パイプラインでは、地中埋設構造物で圧力管路による水利システムとして機能していることから、施設の変状が管体材料の劣化のほか、埋設環境、地上部の土地利用といった外部環境の影響も大きく、また一地点における変状等が水理ユニット全体の圧力や流量等に影響を及ぼす。このため、代表箇所の施設情報による診断調査や評価だけでは、水理ユニット内の変状の進行性や外部環境の変化等を把握できず、変状の影響範囲に対して正しい評価ができない。さらに、可能な限り定量的な評価を行うことで、次回以降の機能診断において比較診断等の検討を図ることも考慮に入れなければならない。

そこで、本研究開発では、調査の作業効率や作業環境の安全性に劣る口径1500mm未満のパイプラインを対象に、ひび割れ、塗装の劣化、発錆、継手部の状況など管内面側の変状やたわみ量といったパイプライン特有の変状情報を効率的かつ合理的に調査診断する計測ロボット開発と機能診断結果の管理手法の構築を行い、パイプラインの適切な機能保全の推進に資することを目的とする。

2. 研究内容

(1) パイプラインの特性を踏まえた機能診断調査技術の検討

ストックマネジメントの手引きの検討等で整備されつつあるパイプラインの基本的な評価項目と評価区分に基づき、既存の調査技術・機器における適用性の課題を整理し、パイプラインの基本的な機能診断調査・評価に求められる測定精度や診断機器の仕様を検討する。

(2) パイプラインの機能診断調査技術の開発

パイプラインの機能診断調査・評価にあたって、管内面側の連続的な施設状況を把握する手法としては、TVカメラ調査において管内の連続画像（展開画像）を得る計測システム（以下、「画像展開システム」という）、また、たわみ量に関しては、内径と変形量を連続的に計測できるシステム（以下、「内径測定システム」という）が有効である。しかしながら、いずれも計測機器の調査条件や測定性能等の問題から実用化には至っていない。そこで、本研究開発では自走機能を有した小口径用TVカメラロボット技術をベースに、「画像展開システム」及び「内径測定システム」を選定して、パイプラインの構造等に適用可能で、ひび割れ、塗装の劣化、発錆、継手部の状況、たわみ量など管内面側の変状情報を連続的に計測するロボット開発を行う。

(3) 機能診断結果の管理手法の構築

新たに計測可能となった連続的なデータ情報を効率的に整理する帳票・台帳を検討するとともに、継続的な機能監視や情報参照が実施できるような管理手法の構築を行う。

(4) 現場検証試験

開発した調査技術について、現場検証試験を実施し、パイプライン施設の構造形状や現場条件に応じた適用性や測定精度等の診断評価の有効性を確認するとともに、調査実施上の課題を整理・解決する。また、現場運用にあたっては、機能診断調査に掛かる工程、工数の調査を行い、歩掛かり(案)を設定する。

3. 目標とする成果

3.1 目標とする成果

- 1) パイプラインの施設性能を効率的かつ合理的に調査・診断することによる機能診断コストの縮減
- 2) 間接的な調査手法による作業環境の安全性向上
- 3) パイプラインの特性を踏まえた、適切な対策の実施時期、工法内容等を実施するための機能保全計画の立案

3.2 従来技術との比較

パイプラインの機能診断技術のうち、外形的変状及びたわみ量の診断技術について、本研究開発技術と従来技術（管内潜行調査）との比較を表1に示す。

表1 新技術と従来技術の性能比較

項目	新技術	従来技術	備考
	画像展開システム 内径測定システム	管内潜行調査 (スケッチ・直接計測)	
経済性	1スパン(300m)の調査費概算 調査工：339千円/300m データ整理工：102千円/300m 設置・撤去工：826千円 開口部条件により省力・短縮が可能	1スパン(300m)の調査費概算 調査工：1,140千円/300m (2箇所/mのスケッチ・計測) データ整理工：441千円/300m (6枚/mの写真)	・洗浄・浚渫費用は除く ・潜行調査は、内面スケッチ及び地点計測調査とする
安全性	ロボット調査により安全性高い	管内作業による転倒、酸素欠乏、粉塵被害の危険性あり	
調査品質 評価指標	計測単位：連続データ データ形式：デジタル 変状判定：現場作業後チェック可能 継続性：経年比較が容易	計測単位：スケッチ・地点計測 データ形式：アナログ・写真 変状判定：調査員の熟練度に左右 継続性：同一地点のみ可能	
施工性 (効率)	管内断水が必要 工程：3日(1スパン:300m)	管内断水が必要 工程：12日(1スパン:300m/1班)	

4. 研究成果

4.1 研究成果の概要

(1) 調査診断技術の開発仕様

本調査診断技術は、パイプラインの基本的な評価項目と評価区分に基づき、調査の作業効率や作業環境の安全性に劣る施設範囲を対象として、以下の通り機器開発仕様を定めた。

1) 現場適用条件

- ・ 対象管種：すべての管種 対象口径：800～1500mm
- ・ 調査条件：調査延長300m以上 段差50mm以下 ズレ50mm以下 曲がり45°以下

2) 施工性

- ・ 計測速度：6m/分 搬出搬入： 600mm以上の開口部から設置撤去可能

3) 計測精度

- ・ 画像展開： 解像度：1.0mm以上視認可能 色調：変状(錆等)の認識 測定誤差：5mm以下
- ・ 内径測定： 測定間隔：10mm単位 測定誤差：口径の0.5%以下

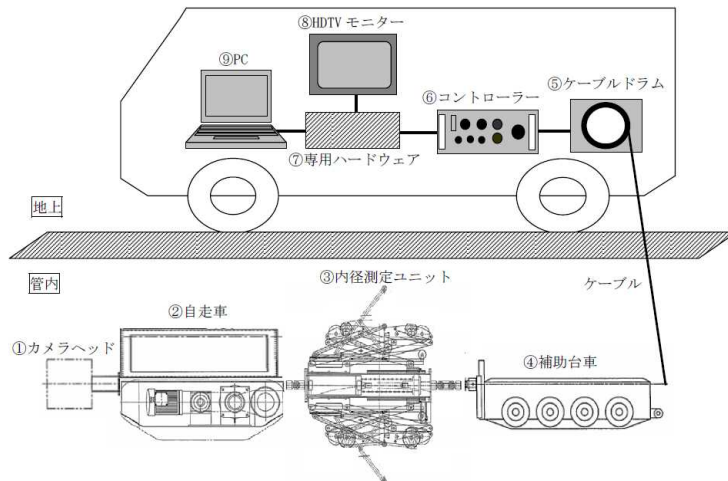
(2) 主要な技術課題への取り組み

本研究開発の主要な技術課題について、開発対応方針を表2に示す。

表2 主要な技術課題と対応方針

主要な技術課題	対応方針	
1. 長距離走行・計測	1)自走車	自走牽引力の確保 【無限軌道化】
	2)画像展開システム	映像信号の伝播能力の確保 【光ケーブル化】
	3)内径測定システム	測定データの伝播能力の確保 【光ケーブル化】
2. 大口径測定	1)画像展開システム	加角解像度の向上 【リビジョン化・超広角加角】 画像処理能力の向上 【高速画像処理】
	2)内径測定システム	支持部機構の最適化 【センシング装置・自在車輪】
3. 作業性の確保	45°曲管対応 【機器全長の短縮化：多段パンタグラフ方式】 水密性の確保 【計測部の防浸化：磁気スケール方式】	
4. 管理手法	帳票、帳票構成の最適化 【調査表への自動出力】	

(3) 調査診断システムの構成



調査診断システム全体の構成は、左図に示す内容とした。調査機器は画像展開システムと内径測定システムを連結させた構成であり、～の管内装置と、～の地上装置とがケーブルにより接続している。制御装置は、調査の操作性を考慮して車載とした。

図1 調査システム全体の構成



写真1 自走車 (800)



写真2 内径測定ユニット (1500)



写真3 制御装置(左) 画像展開装置(右)

4.2 実験施設における概要、結果、課題等

(1) 地上評価試験

開発目標	対応処置	評価内容	評価
画像取得			
直視のみで展開画像を取得			
詳細画像の取得	HDMI方式(フルハイビジョン)を採用	画像の乱れがないこと	乱れなし
展開画像からの寸法計測	画像展開ソフトに計測機能付加	ターゲットを計測	最大計測誤差2mm
内径計測			
4方向(8点)の同時計測	8方向に拡張したアームが管内面を移動	先端の接触が確実か	OK
撓みの連続計測	即時管軸中心から対角に計測	リアルな変化に追隨しているか	OK
ひずみの連続計測		表示はスムーズか	OK
任意の間隔でデータ保存	拡張子、CSVで表計算プログラムで解析可能	保存データの確認	SDカードに保存 拡張子CSV
800～1500を計測	単一装置で可変式に設定	口径の変化に対応しているか	720～1650で可変
水中での計測も可能	メカ式磁気計測システムの採用	精度確認と変化に追隨?	最大計測誤差2.8mm 0.5%以内
機器の防水性を確保	密閉による防水構造	装置の可動による温度上昇?	防水性を水密試験で確認
計測状況をVTRに記録	前方直視画面と後方の以上検知用画像の同時記録	分割画面の表示は鮮明化	分割においても鮮明
	計測データの画面表示も同時保存	VTRテープに保存	OK
水中カメラを装備	計測装置後方の確認カメラは水中10m対応	画像の画角とアイリス、ピント	前方、計測状況、後進時を切り替え
装置の移動			
自走機による牽引移動			
6m/分(MAX)の走行速度		～6m/分の確認	0m～6m/分を確認(任意に可変)
曲管を通過可能(仰角45度走破)	軟質キャタピラと反力装置の併用	走行性能確認	湿潤FRPMにおいても仰角13度可
長距離走行			
300m～500m(片側)	光ケーブルと動力線の単一ケーブル	走破力を牽引力として地上試験	牽引力は0.34kN(340kg)
		現地走行試験で確認	確認OK
制御は光通信		制御の正確性とリアルさ確認	制御OK、タイムラグ0.1秒以内

4.3 実証試験工事(現場適用)の概要、結果、課題等

別紙参照

4.4 普及活動状況等

(1) 論文等

- 宮地修平、鈴木隆善、佐藤敏明、河端俊典：パイプラインにおける適切な機能保全のための診断手法の検討、平成21年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、pp.(2010)

(2) 活動方針

- 農業土木事業協会や関連協会による調査診断マニュアル策定支援による診断技術の仕様化
- 各農政局関連事務所へのストックマネジメント関連施策における診断技術としての折込活動
- 農業農村工学会への継続的な開発・調査研究発表の実施

5. 今後の課題

(1) 計測精度の向上

地上試験では1.5mm以下に対して、現地での計測では2.8mmの誤差が見られた。計測機械装置のローリングが原因と考えられるため、重心位置の変更ローリング防止機構を強化すること

(2) 管内継手の形状によって通過性に不具合が発生する可能性を解消

制御台車の車輪構造を変更し、複数車輪の連続方式とした

(3) 搬入搬出に要する作業の短縮

制御台車車輪の形状変更、計測機器の取付方法の変更を検討する

6. 試験研究機関（神戸大学）総括者による意見・評価等

項目	評価結果	備考
研究計画の効率性・妥当性	A	農業用パイプラインの現状から総合的に判断して、当研究課題・計画の効率性・妥当性は極めて高い。
目標の達成度	B	期間内の技術開発は概ね達成したものと判断できる。
研究成果の普及可能性	A	800の現場実証試験結果から判断して、普及可能性は極めて高いと判断できる。
研究成果の出来栄	A	出来栄は、良好であると判断される。
<p>総合コメント：当開発機能診断技術は、画像展開と詳細内径計測の2の機構が核となっているが、特に、管路軸方向の凹凸形状把握に関しても精度が高く、管路の老朽化による変状を的確に捉えることが出来る極めて有用なシステムである。今後は、GISとの連動により、診断ばかりでなく維持管理システム構築が大いに期待できるものであると、容易に判断できる。</p>		

注) 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段階で記入する。

7. 研究総括者による自己評価

項目	評価結果	備考
研究計画の効率性・妥当性	A	開発課題が多くあったが、効率的な開発計画と分担により期間内に完了し、成果を出すことができた。
目標の達成度	B	目標は概ね達成できたが、搬入搬出の時間短縮など改善の必要がある。
研究成果の普及可能性	A	極めて有用な情報が効率良く取得可能であり、普及可能性は非常に高いと考える。
研究成果の出来栄	B	実運用が可能であり、おおむね良好であると考える。
<p>総合コメント：内径計測は10mmピッチでの計測が可能であり、連続的なデータであることで単にたわみ率の把握ではなく、管体の状況把握に非常に有用であると思われる。また、ハイビジョンによる管全体に渡る画像も同時取得可能で、両者の情報を合わせることでさらに詳細な変状把握が可能となった。パイプライン施設の機能診断の効率化また、調査の継続性（進行性の把握）の観点から非常に有用と考えられ、標準的な調査手法としての採用・普及が期待される。</p>		

注) 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段階で記入する。