

泥炭地盤等におけるパイプラインの診断技術に関する研究

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 26～平 28

担当チーム：水利基盤チーム

研究担当者：中村和正、大久保天、立石信次
山口健、本村由起央

【要旨】

本研究では、泥炭地盤に建設された農業用パイプラインの機能診断手法を提案することを目的とする。事故事例の各種条件を用いて、漏水の生じやすい現場条件を洗い出し、重点監視区間の概定方法を検討した。また、パイプライン敷設箇所の現地調査によって、機能診断へのコーン貫入試験の適用性を検討した。その成果として、既往のパイプラインの機能診断手法に、①事故のリスクが高い重点監視区間を概定するための管理図等を用いた現況調査、②泥炭地特有の不同沈下を考慮した地上での縦断測量、③管周辺地盤の変形係数を確認するための各種コーン貫入試験、④管内面調査や水管橋等調査におけるの施設の高さ測量、の4項目を追加することを提案した。

キーワード：パイプライン、泥炭地盤、機能診断、変形係数、とう性管

1. はじめに

北海道では、広範囲に分布する泥炭地に造成した農地に灌漑用水を送配水するためのパイプラインが供用されている。こうした泥炭地盤に建設されたパイプラインでは、時間経過にともない管体の不同沈下や変形が進行して漏水事故に至る場合がある。しかし、泥炭地盤におけるパイプラインの経時的な挙動を精度よく予測することができないため、その設計・施工段階において有効な対策を施すことは難しい。そのため、泥炭地盤におけるパイプラインでは供用開始後の維持管理における機能診断がとくに重要になる。既往研究¹⁾では、パイプラインの横断方向の変形や地下水位条件に着目した機能診断における調査を提案している。しかし、泥炭地盤におけるパイプラインにみられる不同沈下など縦断方向の変形による劣化を対象とした機能診断手法の検討は行っていない。

そこで本研究では、泥炭地盤に建設されたパイプラインの機能診断に必要な留意点の整理や現地調査方法を検証して、その成果を踏まえた機能診断手法を提案することを目的とする。そのために、本研究では、次の研究内容を実施した。

- (1) 既往の事故事例による泥炭地盤等におけるパイプラインの機能低下の実態調査と要因分析
- (2) 各種調査・試験方法による泥炭地盤等に埋設されたパイプラインの診断技術の検討

(3) 泥炭地盤等におけるパイプラインの機能診断手法の提案

以下、2. では(1)の研究内容として、泥炭地盤等におけるパイプラインの既往の事故事例を分析して、効率的に機能診断を行うための重点監視区間の概定方法について述べる。3. では(2)の研究内容として、パイプライン周辺地盤の変形特性を地上からの調査によって把握するための各種サウンディング試験等の適用性の検討を行い、泥炭地盤に埋設されたパイプラインの周辺地盤の変形特性を推定する方法について検討する。また、4. では(2)の研究内容として、管の標高やたわみ量の測定から得られたパイプラインの経年的な変動量を示す。そして、5. では(3)の研究内容として、(1)と(2)の結果をもとに、泥炭地盤等に埋設されたパイプラインに適した機能診断手法を提案する。

2. 泥炭地盤等における事故事例の実態調査と事故要因の分析

2. 1 目的

パイプラインの効率的な機能診断を行うためには、地上調査の段階で、管の過度な変形、亀裂、継手部の水密性低下などの変状が生じやすい区間を推定して、その区間を重点的に調査することが必要である。そのため、泥炭地盤におけるパイプラインのこれまでの事故事例の実態を把握して、その事故発生要因を分析する。

2. 2 調査方法

泥炭地盤のパイプラインを管理する土地改良区より過去のパイプライン事故事例に関する資料を収集した。その資料をもとに、口径、事故箇所、基礎構造、立地の各条件における事故発生件数を整理した。

2. 3 結果および考察

口径別事故件数(図-1)では、φ800~2,000mmの大口径での事故が多かった。また、事故箇所別事故件数(図-2)では、継手部からの漏水が最も多かった。具体的な事例として、ダクタイル鋳鉄管(DCIP管)のフランジ部からの漏水やポリエチレン管(PE管)と強化プラスチック複合管(FRPM管)など異管種との接合部からの漏水が挙げられる。基礎構造別事故件数(図-3)では、強固なソイルセメント使用による基礎等でも事故が発生していることが分かった。立地条件別事故件数(図-4)では、延長が長い一般部(主に農地)での事故よりも、道路横断部や付帯施設付近等の土被りや縦断が変化している地点の事故が多いことが分かった。とくに道路横断部は、一般部とは異なる管種の接続になる場合が多いことから弱部となる可能性がある。

以上のような事象がおこる場所は漏水事故を生じるリスクが高い場所として重点的に調査を実施する必要がある。

3. 各種サウンディング試験等の適用性の検討

3. 1 目的

泥炭地盤中におけるパイプの沈下や変形の原因には、パイプ下層にある泥炭層の圧密やパイプ周辺地盤の水平方向の地盤反力係数など変形特性が関係している。パイプの沈下については、管内での標高測定や地上からの観測孔を用いた沈下量測定で評価できる。一方、地盤の変形特性は変形係数によって評価される。泥炭地盤は一般に不均一であり、場所によっては水平距離で数m以内の範囲で泥炭層の層厚や土質が大きく異なる場合がある。そのため、パイプラインの機能低下に関わる局所的な泥炭地盤の変形特性を把握するためには、多地点における計測を行い密度の高い変形係数の情報を取得することが望ましい。しかし、変形係数は孔内水平載荷試験や室内試験により得られる値であり、それらの試験を実施するためには機械ボーリングによる穿孔と不攪乱試料の採取を行わなければならない。延長数 km 以上におよぶパイプライン周辺地盤の変形特性に係わる情報を機械ボーリングによる調査のみで得ることはコスト面から鑑みて現実的であるとは言えない。そのため、パイプライン周辺における泥炭地盤

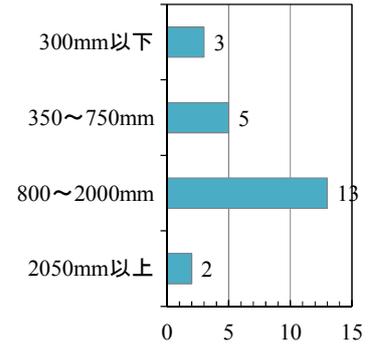


図-1 口径別事故件数

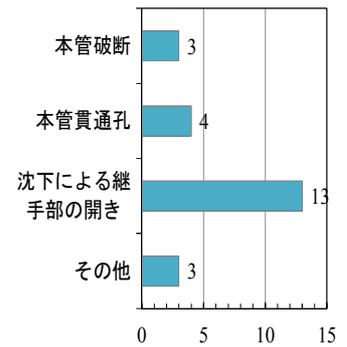


図-2 事故箇所別事故件数

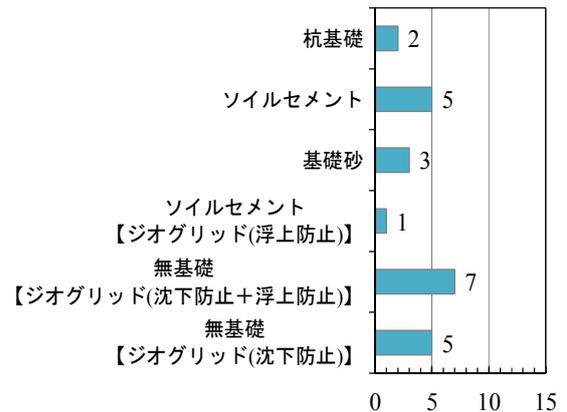


図-3 基礎構造別事故件数

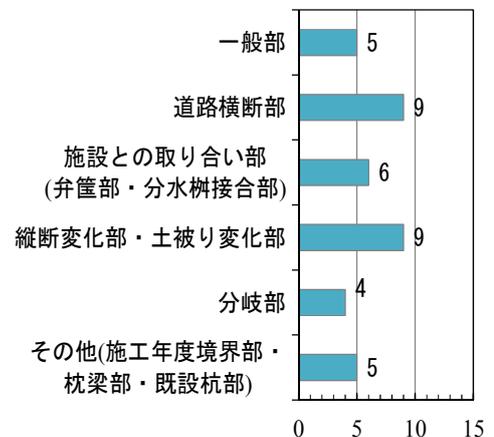


図-4 立地条件別事故件数

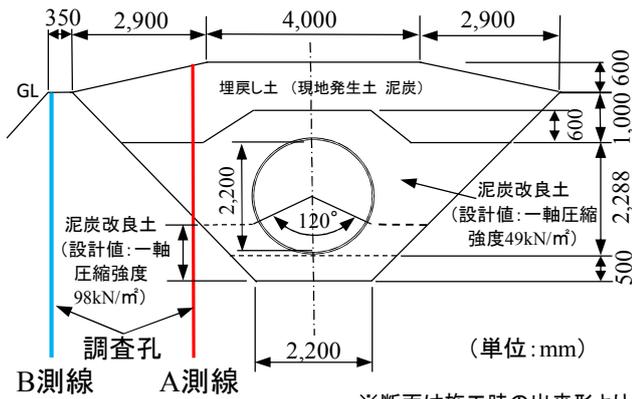


図-8 調査地点1の断面図 (改良土全巻タイプ)

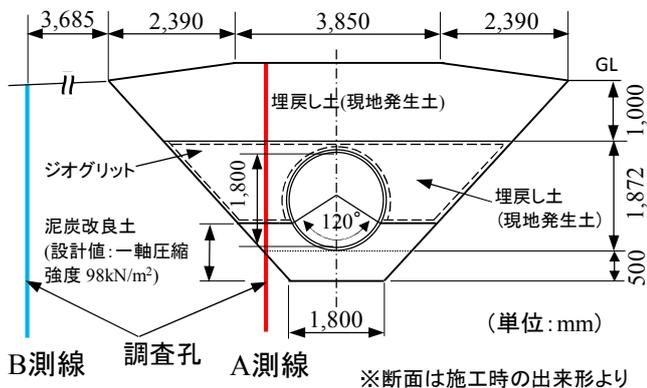


図-9 調査地点2の断面図 (改良土基礎のみタイプ)

スウェーデン式サウンディング試験 (以下、SWS) はロッドに荷重を加え、また荷重を加えたまま回転させることにより地面に貫入させ、各荷重の沈下量と貫入1mあたりの半回転数 N_{SW} を測定し土質の硬軟、締まり具合の判定、軟弱層厚の概略の傾向としてとらえる方法である⁹⁾。ダッチコーン試験や電気式コーン試験に比べてデータの精度は劣るものと考えられる。

(2) 現地試験

両調査地点の断面を図-8、9に示す。パイプラインの口径は各々2,200mm、1,800mmであり、ともにFRPM管を使用している。両調査断面ともパイプの敷設方向に平行するA測線 (泥炭改良土埋戻し部) とB測線 (泥炭地山部) のそれぞれにおいて、機械ボーリング調査 (標準貫入試験含む)、孔内水平載荷試験、電気式コーン試験、ダッチコーン試験、SWS、を実施した。また、シンウォールサンプラーによる各地盤層での不攪乱試料の採取を行った。各試験の位置は各試験相互の干渉を避けるため各々、測線の縦断方向に50cm程度離して実施した。

3. 4 結果および考察

3. 4. 1 現地調査の結果

表-1 調査地盤の物性値 (調査地点1)

試料	泥炭	泥炭改良土	粘土
自然含水比 W_n (%)	304~717	121~233	42~59
強熱減量 L_i (%)	35~93	21~34	—
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	1.542~1.887	2.383~2.391	2.649~2.669

表-2 調査地盤の物性値 (調査地点2)

試料	泥炭	泥炭改良土	粘土
自然含水比 W_n (%)	211~635	101	55
強熱減量 L_i (%)	31~87	14	7
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	1.537~2.133	2.579	2.667

採取した試料より得られた泥炭および泥炭改良土、粘性土の物性を表-1、2に示す。泥炭改良土の含水比は泥炭と粘土の中間よりやや泥炭よりで、土粒子密度は粘土に近い状態であった。

調査地点1および調査地点2における各種試験調査の結果を図-10、図-11に示す。

調査地点1の地山部B側線では主に泥炭層と粘土層が分布した。表層より深度約4.5m程度までは泥炭層であり、それより以深は主にシルト質粘土であった。A測線とB測線の離隔距離は約3mであるが両測線下の泥炭層厚は約1mの違いが見られた。このように、わずかな位置の違いで土層が異なることが泥炭地盤の特徴である。調査時の地下水位は地表から約0.70m~1.05mの深さにあった。

調査地点2の地山部B側線では、地表面から深さ約5.6mまでが泥炭で、それ以深には粘性土が確認された。地下水位は地表から約0.61mの深さにあった。

同一の測線では、ともに、2つの測線の電気式コーン貫入抵抗 q_t とダッチコーン貫入抵抗 q_c の深度方向の分布は、おおむね同様であった。また、泥炭改良土のある深度において q_t と q_c のピークがみられ、ボーリング調査結果と合致したデータが得られた。電気式コーンによる貫入抵抗に見られる変動がダッチコーンによる貫入抵抗に見られない理由は、電気式コーンの測定間隔が5cmであるのに対して、ダッチコーンの測定間隔は20cmであることによる。

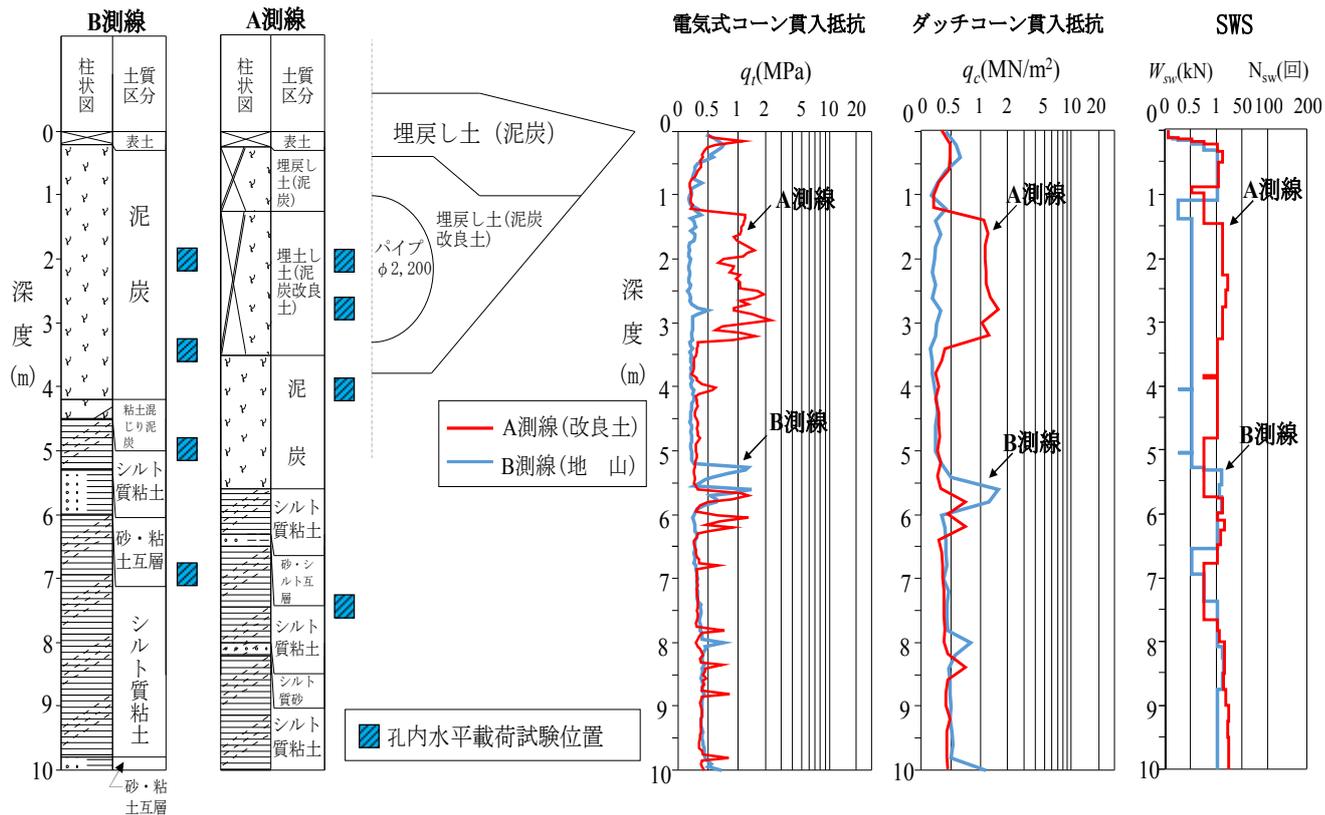


図-10 機械ボーリング、および電気式コーン、ダッチコーン、SWSの各試験の貫入抵抗等（調査地点1）

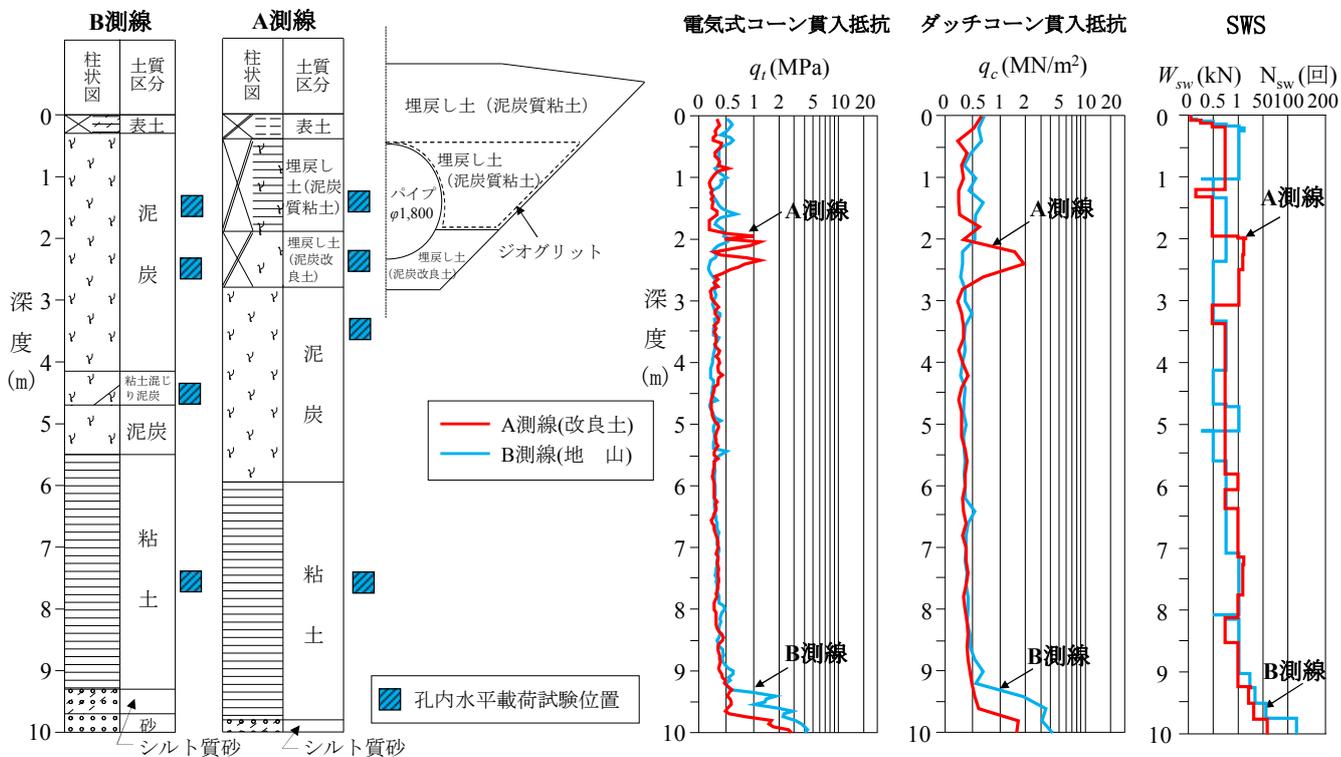


図-11 機械ボーリング、および電気式コーン、ダッチコーン、SWSの各試験の貫入抵抗等（調査地点2）

ここで、両地点のコーン貫入抵抗によって、土質区分が可能か否かをみている。調査地点1では、深度5~6m付近におけるコーン貫入抵抗が大きい。この深度は砂・シルトの互層に相当し、その砂層の貫入時における貫入抵抗の増加と考えられる。このような薄い砂層の存在をコーン貫入試験により推定できることが示唆された。しかし、調査地点1のシルト質粘土および調査地点2の粘土のコーン貫入抵抗は、泥炭土のそれよりもわずかに大きい程度であり、両者の差異をコーン貫入抵抗から確認することは困難であった。

SWSでは泥炭改良土付近の深度で半回転数 N_{SW} が得られ、貫入抵抗が相対的に大きいことがわかった。しかし、 q_t や q_c に比べて土質による際だった半回転数 N_{SW} の変化はみられなかった。

3. 4. 2 各種コーン試験と変形係数の相関

図-12に電気式コーン貫入抵抗 q_t と孔内水平載荷試験から得られた変形係数 E_m の関係を示す。また、図-13にダッチコーン貫入抵抗 q_c と孔内水平載荷試験から得られた変形係数 E_m の関係を示す。各コーン貫入抵抗値と変形係数の間には相関関係が認められた。この結果より、電気式コーン試験またはダッチコーン試験を用いて泥炭地盤中のパイプライン周辺地盤の変形係数を推定できることが示唆された。

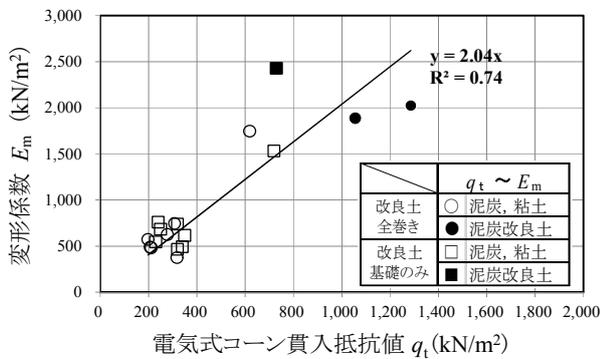


図-12 電気式コーン貫入抵抗値と変形係数 E_m の関係

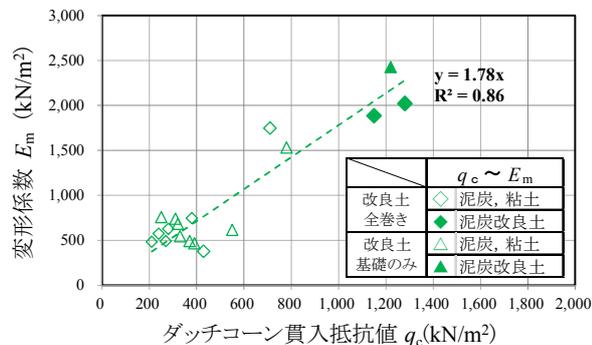


図-13 ダッチコーン貫入抵抗値と変形係数 E_m の関係

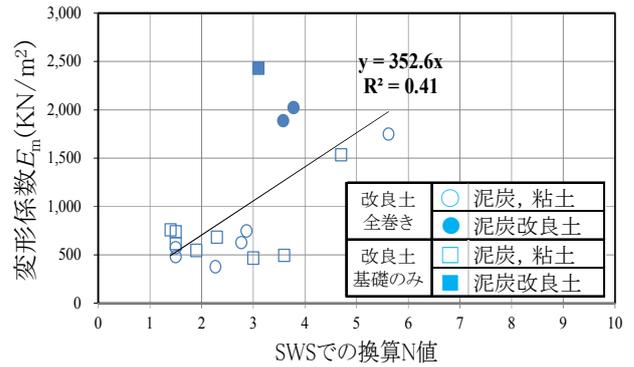


図-14 SWSでの換算N値と変形係数 E_m の関係

また、同様にほぼ同一深度でのSWSから得られた荷重 W_{SW} と半回転数 N_{SW} から相関式¹⁰⁾により換算したN値と孔内水平載荷試験から得られた変形係数 E_m との関係については、明らかな相関は得られなかった(図-14)。

4. パイプラインの変動量の測定

4. 1 目的

泥炭地盤パイプラインは、長期間にわたり沈下をおこす場合があることが知られている。泥炭地盤のパイプラインは縦断方向の高さの変動があることから、それを現地調査で確認し、機能診断手法での留意すべき点を反映するために標高測定を実施した。

4. 2 調査方法

本調査は、調査地点1で平成26、平成27年度の2年にわたりパイプライン内で、18点の管接合部の管頂高を測量し、過年度に行われた測定値と比較した。

4. 3 結果および考察

パイプライン内での管頂高を測量し、その結果より管中心高を求めた(図-15)。今回の2カ年の測定結果は、ほぼ重なり沈下は収束していると考えられる。また、管中心高について過年度の測定データと比較した。管中心高は、平成12年度の設計時から平成15年度調

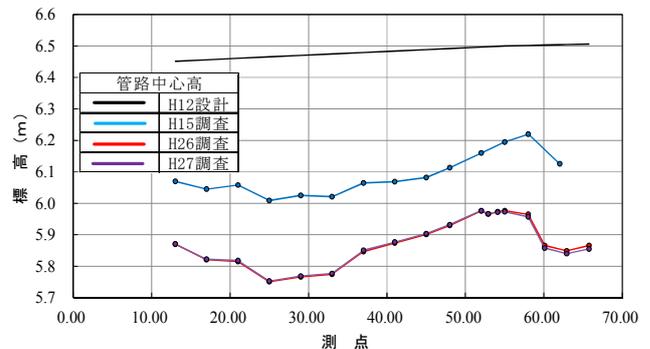


図-15 調査地点1におけるパイプライン中心高縦断図

査時までの3年間で平均約40cm沈下しており、平成26および平成27年調査の結果ではさらに約20cmの沈下が確認された。また、パイプラインの縦断方向に沈下量の相違が見られた。例えば測点30.00付近の沈下量は約65cmであるが、測点50.00付近の沈下量は約50cmである。この調査区間の事故は確認されていないが、事故数の少ない一般部でも以上のような沈下量の相違が起り得る。泥炭地盤におけるパイプラインでは、こうした不同沈下が破損・漏水事故の主要な原因のひとつとみられ、機能診断において特に着目すべき事象である。

なお、調査地点1におけるパイプラインのたわみ量測定を行った結果、水平方向の最大たわみ量は0.022m、最大たわみ率は-0.96%であり、許容たわみ率±5%¹¹⁾の範囲内であった。

5. 泥炭地盤等に埋設されたパイプラインに適した機能診断技術の体系化

5. 1 目的

本章では、2. ～ 4. で述べた成果を踏まえて、泥炭地盤におけるパイプラインの機能診断手法を提案する。

5. 2 方法

農業水利施設の機能保全手引き「パイプライン」¹²⁾に掲載されている機能診断調査のフロー図に対して本研究で得られた知見から、泥炭地盤における機能診断で必要と考えられる項目を追加し作成した。

5. 3 結果および考察

5. 3. 1 泥炭地盤等におけるパイプラインの機能診断の基本フローの作成

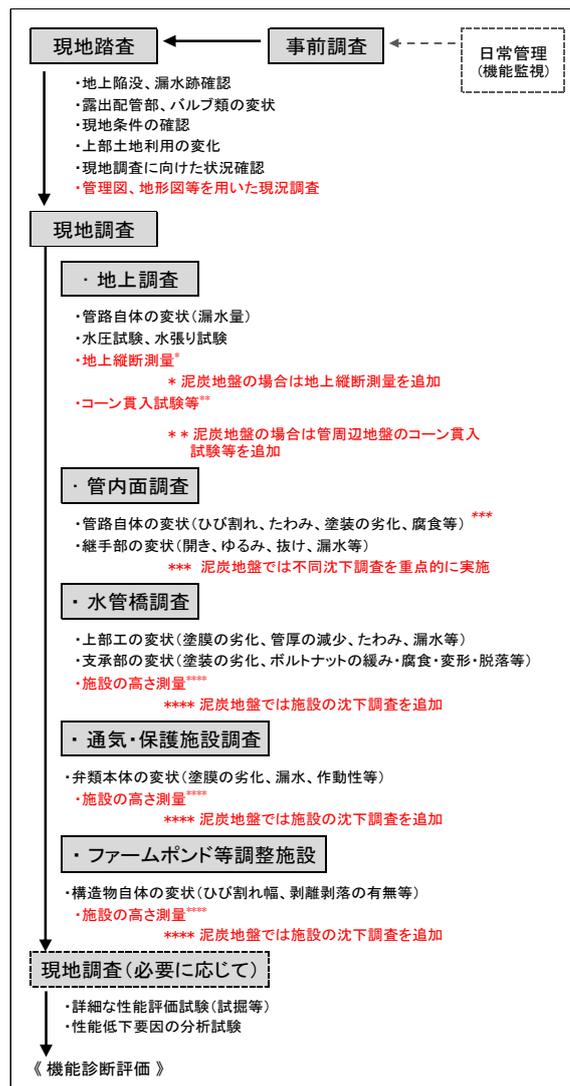
泥炭地盤等におけるパイプラインを対象とした機能診断調査の基本フローを図-16に示す。追加した項目は次のとおりである。

- ① 管理図、地形図等を用いた現況調査

事故のリスクが高い重点監視区間を概定するため、管理図等を用いて、道路横断部や施設の取り付け部等の縦断や土被りの変化部を現地で確認し、重点的な調査箇所を概定するための現況調査
- ② 地上縦断測量

泥炭地特有の不同沈下を考慮し、地表面標高や観測孔を設けてパイプライン管頂高を測定し、沈下量を確認する地上縦断測量
- ③ コーン貫入試験

パイプライン周辺地盤の変形係数を確認するための電気式コーン試験やダッチコーン試験



標準スタイルの記載箇所は全国共通的な調査項目(参考文献-12から引用)
赤字記載箇所は泥炭地盤のパイプラインで必要と考えられ追加した調査項目

図-16 泥炭地盤等におけるパイプラインの機能診断調査の基本フロー

④ 施設の高さ測量

管内面調査や水管橋等調査において、施設の沈下を確認するための施設標高の測量

また、パイプライン内部の調査等によって変状が認められた区間は、調査の費用対効果等を考慮したうえで、必要に応じて試掘等調査を行い、パイプライン外周面の目視調査や周辺地盤の力学的性質の評価を行う。

口径が800mm未満の区間や急傾斜区間等については、パイプライン内部に診断者が入管できないため、人による直接的な調査ができないことがある。このような制約がある区間は、当該施設の重要度や経過年数、事故・補修履歴等について施設管理者から聞き取りを行い、現地調査で実施可能な診断項目や調査手法の検

[事故リスクの評価]

付表 1

事故発生確率	内 容
高	類似箇所にて複数の漏水事故事例がある
中	類似箇所にて漏水事故事例がある
低	事故事例がない 事故事例はあるが、特異な状況であったことから類似箇所における発生リスクは低い

注：類似箇所とは同一施設管理者における事故発生事例を立地条件や管種等から分析
参考：泥炭地盤では一般部と異なる管種を用いている道路横断、施設との取り合い部、縦断・土被り変化部において漏水事故発生事例が多い。

付表 2

口径区分	内 容
大口径	管内の調査が可能であるφ800mm以上
中口径	管内の調査が不可能であるφ350～750mm
小口径	基準書で小口径として取り扱われるφ300mm以下

事故リスクの目安

		事故発生確率		
		高	中	低
口径区分	大	I	II	III
	中	II	II	III
	小	III	III	III

[施設重要度の評価]

付表 3

区分	農業面
I	農業被害額が非常に高い 復旧難易度が非常に高い
II	農業被害額が高い 復旧難易度が高い
III	農業被害額が比較的低い 復旧作業が容易

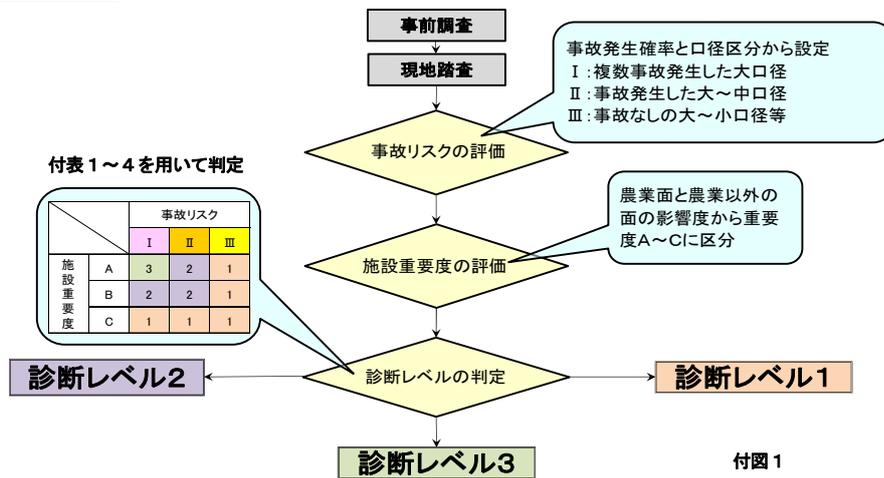
施設重要度の目安

		農業面		
		I	II	III
農業以外の面	I	A	A	A
	II	A	B	B
	III	A	B	C

付表 4

区分	農業以外の面
I	社会的被害の可能性大
II	非農業部門への影響あり
III	非農業部門への影響なし

※施設重要度は、地域の実情や施設の利用実態、立地条件等から総合的に判断し、別途に設定しても良い



付図 1

[診断レベルの判定]

診断レベル1	施設重要度が低い、または施設重要度が高～中で事故発生確率が低い大～小口径、あるいは事故確率が高～低の小口径を対象とし、破損事故等のリスクが高い要因に限定し、主に漏水調査により診断する
診断レベル2	施設重要度が中で事故発生確率が高い大口径、または施設重要度が高～中で事故発生確率が中である大口径、あるいは事故発生確率が高～中の中口径を対象とし、性能低下要因を漏水調査・管内調査・試掘調査を主体に診断する
診断レベル3	施設重要度が高く、事故発生確率が高い大口径を対象とし、管路の構造機能の低下要因全般を対象とし、性能低下要因全般を対象に漏水調査・地上調査・管内調査・試掘調査により診断する

図-17 泥炭地盤等におけるパイプラインの機能診断の実施フロー（現地調査前の診断レベルの判定）

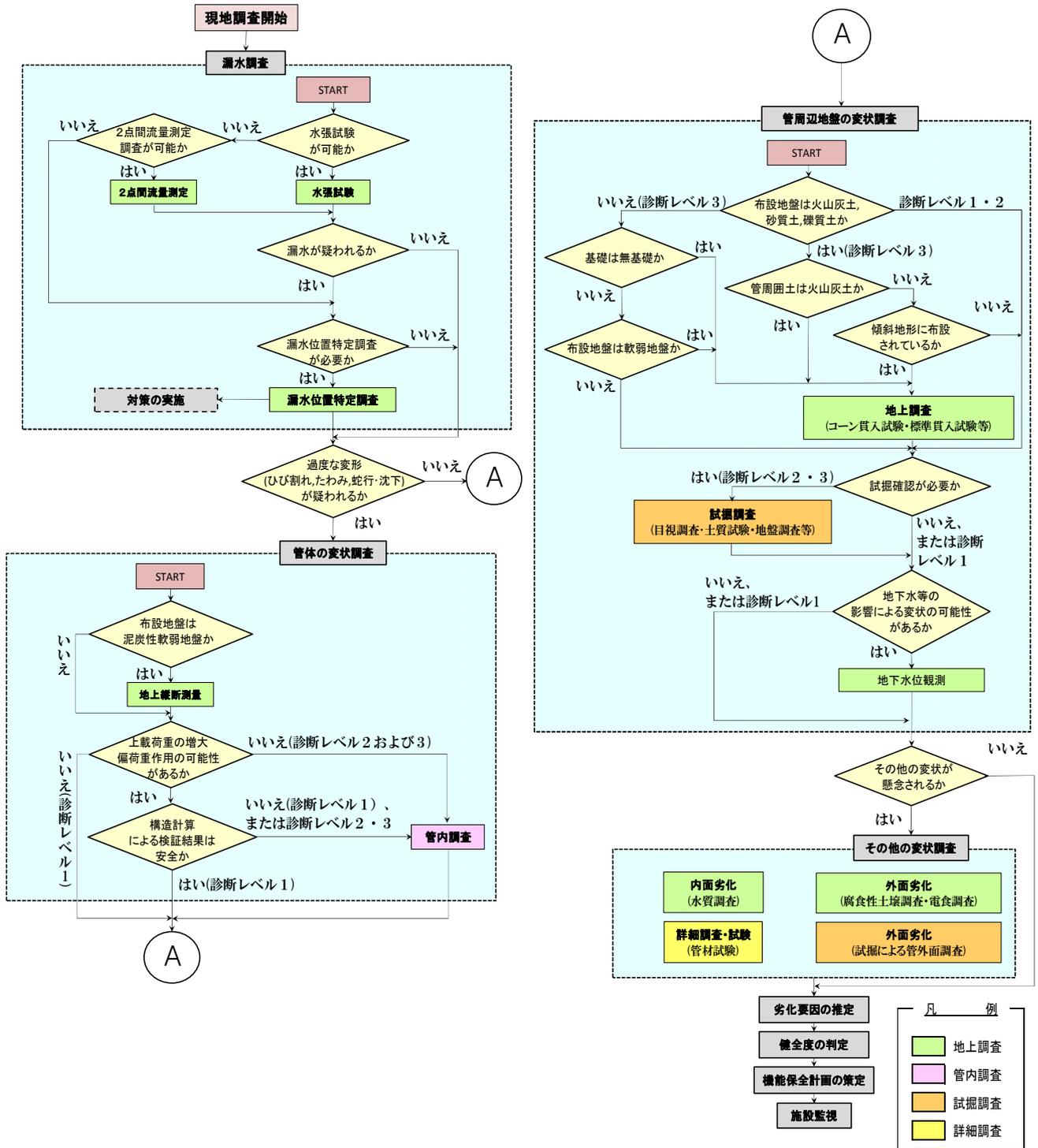


図-18 泥炭地盤等におけるパイプラインの機能診断の実施フロー（現地調査）

討を行う。以上の調査を実施し、機能診断評価を行うこととする。

また、機能診断調査は継続的に行われる必要があるため、以前の調査データと比較考察できるように、記録を蓄積し保全することが重要である。

5. 3. 2 泥炭地盤等におけるパイプラインの機能診断手法の実施フローの作成

既往研究¹⁾で作成した機能診断の実施フローを基に、泥炭地盤等での漏水事故事例の特徴等を考慮して作成した泥炭地盤等におけるパイプラインの機能診断の実施フローを図-17、18に示す。泥炭地盤等におけるパイプラインの機能診断調査の基本フロー(図-16)に基づくパイプラインの調査、診断の流れについては、以下のとおりである。

- ① 診断対象となるパイプラインについて、事前調査と現地踏査を実施する。
- ② 現地調査で診断対象となるパイプラインの診断レベルを判定するため事前調査、現地調査をもとに、図-17の付表1~4を用いて、当該パイプラインの事故リスクの評価、施設重要度の評価を行い、図-17の付図1のフロー図にしたがい、診断レベル1、2、3を判定する。診断レベルの判定に用いる区分は、既往の漏水事例に考慮して設けたものであるが、施設の立地条件等を総合的に評価し、別途に設定しても良いこととしている。
- ③ 現地調査は図-18の漏水調査から開始する。その後は3種の診断レベルに応じた調査を行う。

6. まとめ

北海道内の泥炭地盤に建設された農業用パイプラインの機能診断手法の策定にむけて、泥炭地盤等での事故事例の要因分析等を行い漏水発生の傾向を整理した。また、泥炭地盤に建設されたパイプライン周辺において、各種サウンディング試験および孔内水平載荷試験を行い、得られた各貫入抵抗値と変形係数の間に相関関係があることを検証した。さらに、パイプラインの管内調査を行い、縦断的な変形の状況を確認した。これらの結果を踏まえて、既往の研究成果¹⁾をもとに、北海道内の泥炭地盤における農業用パイプラインに適した機能診断手法を提案した。

今後は、本研究で得た知見を踏まえ、泥炭地盤に建設されたパイプラインの更新設計において、不同沈下に対応する工法の設計上の留意点を提案する予定である。

参考文献

- 1) 小野寺康浩・本村由起央・大久保天・伊藤暢男：「北海道におけるパイプラインの構造機能の診断に関する検討」、第62回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、pp. 48-53、2013. 10
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp. 322、687、2013
- 3) 秀島好昭・津田進・秋元浩樹・西川祐司：「固化材を用いた泥炭性軟弱地盤の改良による管路施工」、農業土木学会誌、第67巻、第5号、pp. 511-516、1999
- 4) 秀島好昭・小野寺康浩・宮川真・宮崎晃・西川祐司・渡辺卓也：「泥炭性軟弱地盤におけるパイプライン布設工法」、地盤工学会北海道支部技術報告集、第40号、pp. 59-66、2000
- 5) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp. 663-695、2013
- 6) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp. 345-361、2013
- 7) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp. 366-403、2013
- 8) 林宏親・西本聡：「電気式静的コーン貫入試験による泥炭地盤の非排水せん断強さの決定法」、寒地土木研究所月報、No699、pp. 23-28、2011
- 9) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp. 325-335、2013
- 10) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、p. 331、2013
- 11) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説「パイプライン」、p. 302、2009
- 12) 農業土木事業協会：「農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」」、pp. 1-48、2016. 8

STUDY ON A DIAGNOSTIC TECHNOLOGY FOR PIPELINES ON PEATY GROUND

Research Period : FY2014-2016

Research Team : Cold-Region Agricultural Development Research Group
(Irrigation and Drainage Facilities)

Author : NAKAMURA Kazumasa

OHKUBO Takashi

TATEISHI Sinji

YAMAGUCHI Ken

HOMMURA Yukio

Abstract : This study aims at proposing a method for diagnosing the functionality of agricultural pipelines constructed in peaty ground. With reference to various conditions that were recorded in agricultural pipeline accidents, the onsite conditions under which water leakage tends to occur were determined, and a method for determining which sections of a pipeline need special monitoring was examined. The applicability of a cone penetration test (CPT) to the functional diagnosis of pipelines was examined through an onsite survey on the location of an existing pipeline. As the result of the CPT, four new items were proposed to be added to the existing functional diagnosis items for existing pipelines: 1) a survey on current conditions that uses management drawings to identify high-risk sections for selective monitoring, 2) a survey along a pipeline on the ground surface that considers uneven settlement, which characterizes peaty ground, 3) various cone penetration tests for identifying the modulus of deformation of the ground around the pipe, and 4) a survey of the heights of the facility, which is done in the survey of pipe inner surfaces and the survey of water pipe bridges.

Key words : pipeline, peaty ground, diagnosing the functionality, modulus of deformation, flexible pipe